

UNIVERSIDADE DE ÉVORA

MESTRADO EM ENGENHARIA DO SOLO E DA ÁGUA

ESTUDO COMPARATIVO DE DOIS SISTEMAS DE REGA POR ASPERSÃO COM ENROLADOR – CANHÃO E BARRA – COM APLICAÇÃO DE POLIACRILAMIDA

Dissertação orientada pelo Prof. Ricardo Serralheiro
apresentada na Universidade de Évora para satisfação
parcial dos requisitos para obtenção do grau de Mestre

Maria Manuel Picanço Madeira

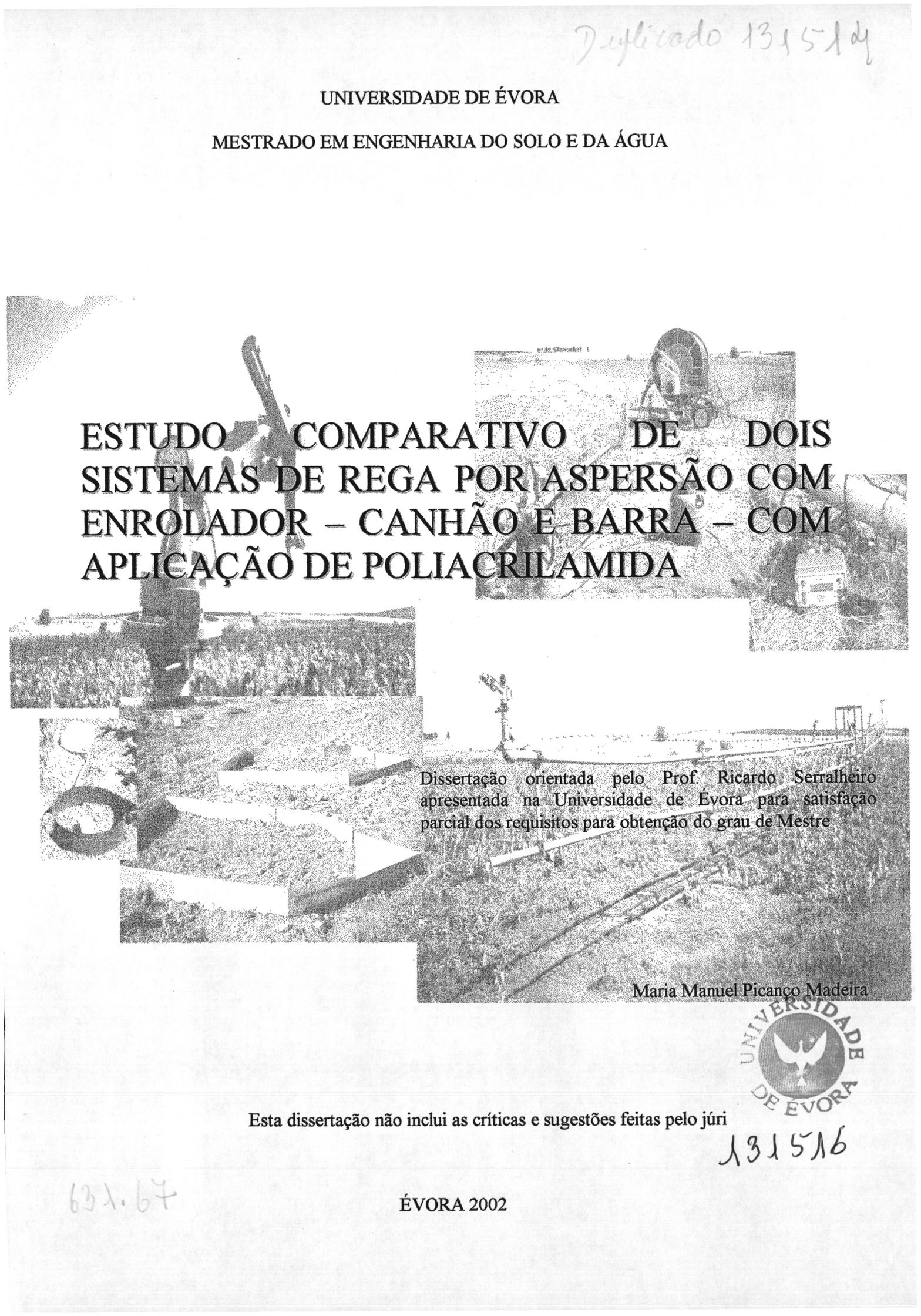
Esta dissertação não inclui as críticas e sugestões feitas pelo júri

ÉVORA 2002

Duplicado 13151dy

UNIVERSIDADE DE ÉVORA

MESTRADO EM ENGENHARIA DO SOLO E DA ÁGUA



ESTUDO COMPARATIVO DE DOIS SISTEMAS DE REGA POR ASPERSÃO COM ENROLADOR – CANHÃO E BARRA – COM APLICAÇÃO DE POLIACRILAMIDA

Dissertação orientada pelo Prof. Ricardo Serralheiro apresentada na Universidade de Évora para satisfação parcial dos requisitos para obtenção do grau de Mestre

Maria Manuel Picanço Madeira



Esta dissertação não inclui as críticas e sugestões feitas pelo júri

131516

631.67

ÉVORA 2002

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho resulta da colaboração e amizade de muitas pessoas. Uma delas, directamente relacionadas com os objectivos que foram estabelecidos assumiram frontalmente posições de apoio, incentivo e crítica, enquanto que outras, por não se enquadrarem dentro do domínio científico abordado, colaboraram como melhor sabem, com toda a amizade e carinho que por mim sentem.

Ao meu orientador, Prof. Ricardo Serralheiro, muito obrigada por todo o apoio, críticas, sugestões e revisão do texto... aqui ficam expressos os meus agradecimentos por toda a colaboração prestada e interesse demonstrado. Alguns dos seus comentários nalgumas secções deste estudo, foram fundamentais para a sua preparação definitiva.

Ao meu co-orientador, Prof. Lúcio Santos, por todo o apoio, não só ao nível do tratamento de resultados, mas também de todo o trabalho desenvolvido com o condicionador Poliacrilamida Aniónica. A sua grande experiência nesta área foi de crucial importância para a base deste trabalho: os ensaios de campo.

À Eng.^a Célia Toureiro, que conheci durante a fase de dissertação da presente tese, por toda a disponibilidade demonstrada, não só ao nível do tratamento dos resultados, mas também dos ensaios de campo. Foi alguém com que pude sempre contar, e que quando precisei, sempre esteve presente.

À Cooperativa Agrícola do Cabido e Anexas na pessoa do seu sócio gerente, Sr. Josué Freixa, pela disponibilidade de tempo e equipamento.

Aos Eng.^{os} Leopoldo Silva, Paula Bráz, e Rafael Silva, por toda a colaboração e disponibilidade manifestadas, nas mais diversas áreas.

Ao Eng.^o João Roma pela grande ajuda ao nível da instalação do equipamento necessário à execução dos ensaios de campo e pela sua disponibilidade quando solicitado.

Aos funcionários do laboratório de Hidrologia da Universidade de Évora, Beatriz, Sr. Manuel Junça e Custódio Alves.

E, não nos esquecendo que os últimos são sempre os primeiros, aos meus pais, por todo o apoio incondicional com que pude e sei que poderei sempre contar.

Ao Nuno ... compreensão ... paciência ... apoio ... carinho ... amizade ... disponibilidade colaboração... incentivo ... aqui fica um agradecimento muito especial ...

RESUMO

Existe uma grande interdependência entre a agricultura e o meio ambiente. A agricultura convencional tem exercido efeitos negativos nos solos (erosão), o que por sua vez origina a deterioração da qualidade das águas superficiais (sedimentos erodidos são transportados nas águas de escoamento). Problemas como estes são bastante comuns no Alentejo, o que é também agravado pelo facto de 40% dos seus solos serem Mediterrâneos, com um Horizonte A bastante permeável mas delgado e um Horizonte B pouco permeável (argiloso). A erosão e a baixa infiltração são problemas inerentes a estes solos, factores estes que podem ser melhorados, com a aplicação do condicionador do solo, Poliacrilamida Aniónica, na água de rega.

No presente trabalho caracterizou-se e avaliou-se o desempenho do equipamento de rega automotor - canhão móvel e barra de rega. Os ensaios de campo consistiram na avaliação dos sistemas mediante uma rede de pluviómetros colocados na área dominada pelos aspersores.

Os valores da Uniformidade de Distribuição e do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen obtidos nas diferentes avaliações foram baixos, especialmente nas regas efectuadas com o canhão móvel, dependendo fundamentalmente da velocidade do vento. As perdas originadas pelo vento foram superiores na modalidade canhão, originando baixas Eficiências Potenciais de Aplicação.

Verificou-se a existência de escoamento especialmente junto da linha de passagem do aspersor e com a velocidade de deslocação de 10 m/h, quando a intensidade pluviométrica é superior à infiltrabilidade do solo.

A aplicação do condicionador polimérico PAM, na água da 1ª rega, utilizando o canhão móvel e a barra de rega, num solo cultivado, foi efectuada nas concentrações 1, 2 e 4 kg/ha. O escoamento foi quantificado com anéis infiltrómetros. Com o canhão, a infiltração aumentou 21% nos anéis em que se efectuou o tratamento com 1 e 2 kg/ha de PAM e 2.5% nos anéis em que se aplicou a concentração de 4 kg/ha. Com a modalidade barra os aumentos da infiltração foram de 16, 17 e 5%, nos anéis infiltrómetros em que se aplicaram as concentrações de 1, 2 e 4 kg/ha de PAM. Face aos resultados obtidos, muito semelhantes quando se aplicou PAM a 1 e 2 kg/ha, houve necessidade de realizar outro ensaio, tentando a obtenção de diferenças significativas entre os valores observados com ambos os equipamentos. Realizou-se pois outro ensaio, em que se

aplicaram as concentrações de 1 e 2 kg/ha. O ensaio foi realizado num solo não cultivado e apenas com a modalidade canhão. O escoamento foi quantificado em talhões de escoamento e a perda de solo com cones de Imhoff. O efeito da PAM é bastante mais significativo na perda de solo, originando diminuições de 67.9 e 90.8% nos talhões em que se aplicaram as concentrações de 1 e 2 kg/ha. Quanto ao escoamento, verificaram-se aumentos na infiltração de 9.9 e 20.9%, respectivamente. Sendo assim, para o equipamento de rega em estudo no solo Pmg, é a concentração de 2 kg/ha de PAM que resulta em menor perda de solo e maior aumento da quantidade de água infiltrada.

Palavras - chave: rega por aspersão, canhão, barra, uniformidade, eficiência, avaliação, erosão, infiltração, escoamento, poliacrilamida aniónica, PAM.

ABSTRACT

There is a large interdependence between agriculture and the environment. Conventional agriculture has had adverse impact on soil (by erosion) and on water quality. Such problems are still very common in southern Portugal, with Mediterranean soil, characterised by having a thin sandy A Horizon and a compact (clay) B Horizon . Erosion and low infiltration are common problems in these soils. These problems can be significantly reduced by applying PAM (Anionic Polyacrilamide) in the irrigation water.

In this work two types of moving sprinkler equipment have been characterised and evaluated: a gun sprinkler and a moving lateral equipped with medium pressure impact sprinklers. This evaluation in the field was done by a set of catch cans conveniently placed on the area irrigated by the sprinklers.

The values of Uniformity and Efficiency observed in different evaluations are lower, especially those relative to the gun sprinkler, depending on the wind speed during the evaluation. Losses due to wind were higher with the gun sprinkler, when low values of Potential Application Efficiency were observed.

PAM was applied in the water of the first irrigation, using a lateral bar and a gun sprinkler, at three concentration levels (1, 2 and 4 kg/ha). The infiltration was increased 21% with the gun sprinkler when PAM was applied at rates 1 and 2 kg/ha, and 2.5% to the concentration 4 kg/ha. With the lateral bar, infiltration increased 16, 17 and 5%, when PAM concentrations were 1, 2 and 4 kg/ha . The results are not conclusive. Using the same gun sprinkler another field application was done. The runoff and soil loss have been controlled. PAM was more effective in reducing erosion than in reducing runoff. The treatments caused significantly less soil loss and runoff than the control. Applying PAM at 1 and 2 kg/ha, reduces soil loss approximately 67.9 90.8%, respectively. Compared to the control, infiltration increases 9.9 and 20.9% (1 and 2 kg/ha). These preliminary results are encouraging. Under field conditions, the results are conclusive, the effect of PAM concentration in reducing runoff and soil loss with sprinkler irrigation is better at 2 kg/ha.

Key-words: sprinkler irrigation, travelling sprinkler systems, erosion, infiltration, runoff, anionic polyacrilamide, uniformity, efficiency, evaluation.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	XV
ÍNDICE DE QUADROS	XXI
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	XXIII

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS

1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS	1
1.2 OBJECTIVOS	4
1.3 ENQUADRAMENTO DO TRABALHO	5

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CLASSIFICAÇÃO NAS INSTALAÇÕES DE REGA POR ASPERSÃO.....	9
2.2 SISTEMA DE APLICAÇÃO	9
2.2.1 Factores de que depende a correcta selecção do aspersor	10
2.3 MÁQUINAS SEMOVENTES COM ENROLADOR.....	14
2.3.1 Canhões com Enrolador	15
2.3.2 Componentes do sistema.....	16
2.3.2.1 Sistema de Pulverização	16
2.3.2.2 Mecanismo indutor de movimento de translação	17
2.3.2.2.1 Mecanismo de Turbina	18
2.3.2.3 Tubagem de Alimentação	19
2.3.2.4 Condições de Funcionamento	20
2.3.2.4.1 Culturas	20
2.3.2.4.2 Pressão de serviço	20
2.3.2.4.3 Ângulo de Trajectória do aspersor	21
2.3.2.4.4 Sector regado	22
2.3.2.4.5 Largura útil das faixas regadas	22
2.3.2.4.6 Falta de uniformidade no início e fim da parcela	23
2.3.2.4.7 Efeito do vento	25
2.3.2.4.7.1 Medidas a adoptar para evitar as desvantagens do vento sobre a rega por aspersão.....	27

2.3.2.4.7.2 Perdas por evaporação e arrastamento do vento.....	29
2.3.2.5 Barras de Aspersores.....	30
2.3.2.6 Dimensionamento e Cálculo da Rega com Canhões	31
2.4 AVALIAÇÃO EM REGA POR ASPERSÃO	33
2.4.1 Uniformidade de Aplicação	35
2.4.1.1 Factores que afectam a Uniformidade de Aplicação	36
2.4.2 Eficiência	37
2.4.2.1 Eficiência de Aplicação (EA).....	38
2.4.2.2 Eficiência Potencial de Aplicação (EPA)	39
2.5 INFILTRAÇÃO	39
2.5.1 Taxa de infiltração	39
2.5.2 Equações de Infiltração	40
2.5.3 Determinação das equações de Infiltração	42
2.5.4 Precipitação VS Infiltração	44
2.6 ESTABILIDADE DE AGREGADOS	45
2.6.1 Introdução	45
2.6.2 Formação da crosta	48
2.6.3 Teste da gota	49
2.7 CONDICIONADORES DO SOLO	50
2.7.1 Considerações Gerais	50
2.7.2 Poliacrilamida aniónica (PAM)	51
2.7.3 Como actua a PAM ?	53
2.7.4 Aplicação de PAM	54
2.7.5 Efeito da PAM na erosão e infiltração	55
2.7.6 Resultados em regas por sulcos	56
2.7.7 Resultados em rega por aspersão	56
 CAPÍTULO 3 – MATERIAL E MÉTODOS	
3.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ENSAIO	61
3.1.1 Localização Geográfica	61
3.1.2 Caracterização Topográfica	62
3.1.3 Dados Climáticos	62
3.1.4 Caracterização Hidropedológica	64

3.1.4.1 Análise Textural	65
3.2 DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO DE REGA: ENROLADOR COM CANHÃO E COM BARRA	66
3.2.1 Enrolador com canhão automotor	66
3.2.1.1 O aspersor	68
3.2.2 Barra com aspersores	69
3.2.3 Sistema de Bombagem	70
3.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE REGA	71
3.4 AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE REGA	72
3.4.1 Parâmetros de Avaliação	73
3.4.2 Procedimento de Campo	73
3.5 PRECIPITAÇÃO VS INFILTRAÇÃO	77
3.5.1 Determinação da taxa de infiltração – Processo de Schockley	77
3.6 ESTABILIDADE DE AGREGADOS – TESTE DA GOTA	79
3.7 APLICAÇÃO DE POLIACRILAMIDA ANIÓNICA NA ÁGUA DE REGA.....	81
3.7.1 Aplicação do condicionador	81
3.7.2 Quantificação do escoamento superficial – Infiltrômetros Diferenciais..	84
3.7.3 Quantificação do escoamento – Talhões de escoamento	86
3.7.3.1 Quantificação da perda de solo – Cones de Imhoff.....	88
3.7.3.2 Humidade do solo	90

CAPÍTULO 4 – APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 AVALIAÇÃO DO EQUIPAMENTO DE REGA	95
4.1.1 Uniformidade	95
4.1.2 Variação da uniformidade em função da sobreposição entre faixas.....	97
4.1.3 Diagramas pluviométricos	100
4.1.4 Diagramas da precipitação recolhida.....	103
4.1.5 Eficiência de aplicação.....	107
4.1.6 Quantificação das perdas.....	109
4.1.7 Efeito do vento.....	110
4.1.8 Infiltração vs Intensidade de precipitação.....	112
4.1.8.1 Infiltração.....	112
4.2 ESTABILIDADE DOS AGREGADOS AO EMBATE DA GOTA.....	114
4.3 EFEITOS DA APLICAÇÃO DE POLIACRILAMIDA.....	115

4.3.1 Ensaio 1.....	115
4.3.1.1 Efeitos da aplicação de Poliacrilamida com a velocidade de deslocção de 10 m/h	117
4.3.1.2 Efeitos da aplicação de Poliacrilamida com a velocidade de deslocção de 30 m/h.....	123
4.3.1.3 Efeitos da aplicação de Poliacrilamida com a velocidade de deslocção de 50 m/h.....	129
4.3.1.4 Efeitos da aplicação de PAM na infiltração (globalidade das regas)	133
4.3.2 ENSAIO 2.....	134
4.3.2.1 Efeitos da aplicação de Poliacrilamida na infiltração.....	135
4.3.2.2 Efeitos da aplicação de Poliacrilamida aniônica nas concentrações 1 e 2 kg/ha de PAM na perda de solo.....	139
4.4 TEOR DE ÁGUA NO SOLO.....	141
CAPÍTULO 5 – RESUMO E CONCLUSÕES.....	147
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	155
ANEXOS	
ANEXO I - Classificação das instalações de rega (Raposo, 1996).....	165
ANEXO II - Características gerais dos principais tipos de aspersores.....	166
ANEXO III - Espaçamento recomendado segundo o diâmetro do círculo regado e a velocidade do vento (Rolland, 1986; Keller e Bliesner, 1990).....	167
ANEXO IV - Cálculos necessários para o dimensionamento da rega com canhões (Adaptado de Martin-Benito, 1995).....	168
ANEXO V - Alguns dos resultados obtidos em rega por sulcos com a aplicação de Poliacrilamida aniônica.....	169
ANEXO VI - Alguns dos resultados obtidos em rega por aspersão com a aplicação de Poliacrilamida aniônica.....	170
ANEXO VII - Descrição geral do solo Pmg (Cardoso, 1965).....	171
ANEXO VIII - Dados técnicos do canhão MIZAR.....	172
ANEXO IX - Dados técnicos dos aspersores utilizados na barra (Modelo B82 - 1” SPECIAL).....	173

ANEXO X - Curva característica da bomba Tecnidráulica Tipo 402 S e da bomba EFACEC NJ/NJM 50-250.....	174
ANEXO XI - Valores de retenção da água no solo (Ramos, 1995).....	175
ANEXO XII - Diagramas da precipitação recolhida, considerando sobreposições de 15, 25 e 35%.....	176
ANEXO XIII - Valores da dotação média aplicada e da dotação média recolhida no quartil inferior para as modalidades canhão automotor e barra com quatro aspersores.....	184
ANEXO XIV - Perdas por evaporação e arrastamento verificadas nas modalidades, barra e canhão.....	185
ANEXO XV - Resultados do Teste da Gota	186

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – Efeito do vento no padrão de distribuição de um aspersor (Scherer <i>et al.</i> , 1999)..	10
2.2 – Padrão de distribuição de um aspersor (Keller e Bliesner, 1990).....	10
2.3 – Efeitos da pressão de funcionamento na distribuição pluviométrica (Silva, 1999b).....	12
2.4 – Efeitos do vento e do ângulo do aspersor nas perdas por arrastamento do vento (Scherer <i>et al.</i> , 1999).....	13
2.5 – Canhão com enrolador (Martin-Benito, 1995)	15
2.6 – Esquema de funcionamento do canhão com enrolador (Martin-Benito, 1995).....	16
2.7 – Canhão de braço oscilante(Martin-Benito, 1995).....	17
2.8 – Tipos de turbinas dos enroladores (Martin-Benito, 1995).....	17
2.9 – Exemplo do mecanismo guia para enrolamento da tubagem (Martin-Benito, 1995).....	17
2.10 – Intervalo de pressão recomendado no canhão segundo o caudal descarregado (Cemagref, 1992)	21
2.11 – Sector regado por um aspersor gigante.....	22
2.12 – Diagrama pluviométrico obtido com um canhão, $v = 40$ m/h (Keller e Bliesner, 1990).....	23
2.13 – Situações que podem ocorrer na parte inicial da faixa regada (Rolland, 1986)...	24
2.14 – Diagramas que representam o início da rega com um canhão automotor com enrolador, sem e com temporização, no rectângulo inicial (Rolland, 1986).....	25
2.15 – Perímetro molhado por um aspersor trabalhando com um bico de 3.5 mm, pressão de 300 kPa, com diferentes velocidades de vento (Martin-Benito, 1995).....	26
2.16 – Disposição dos aspersores favoráveis a situações ventosos (Tiercelin, 1998).....	28
2.17 – Barras sobre o carro (Martin-Benito, 1995)	30
2.18 – Possível organigrama de dimensionamento de um sistema de rega por aspersão (Martinez de Haro, 1993 cit. Por Martin-Benito, 1995).....	31
2.19 – Objectivos da avaliação dos sistemas de rega (Merriam <i>et al.</i> , 1983).....	34
2.20 – Factores que podem afectar a determinação do Coeficiente de Uniformidade (Adaptado de Solomon, 1979)	37
2.21 – Factores mais específicos que condicionam a infiltração (Santos, 1997)	39

2.22 – Curvas de infiltrabilidade para três solos (Adaptado de Santos, 1997)	40
2.23 – Infiltrómetro de aspersão (Keller e Bliesner, 1990).....	43
2.24 – Abordagem clássica da problemática da precipitação e infiltração (Serafim, 1994).....	45
2.25 – Factores de que depende a estabilidade de agregados (Adaptado de Trout e Neibling, 1993)	46
2.26 – Resistência ou estabilidade dos agregados à água (Hillel, 1980).....	48
2.27 – Acontecimentos que contribuem para a formação da crosta (McIntyre, 1958)....	49
2.28 – Descrição do componente de um monómero de acrilamida na molécula de Poliacrilamida (Sojka e Lentz, 1996a).....	52

CAPÍTULO 3 – MATERIAL E MÉTODOS

3.1 – Esquema geral do campo de ensaios.....	61
3.2 – Área onde se realizaram os ensaios.....	62
3.3 – Valores médios mensais da temperatura do ar, na Estação Meteorológica do Campo de Ensaio, no ano hidrológico 98-99.....	63
3.4 – Valores médios mensais da humidade relativa do ar, na Estação Meteorológica do Campo de Ensaio, no ano hidrológico 98-99.....	63
3.5 – Valores médios mensais da velocidade do vento na Estação Meteorológica do Campo de Ensaio, no ano hidrológico 98-99.....	63
3.6 – Valores médios mensais da precipitação na Estação Meteorológica do Campo de Ensaio, no ano hidrológico 98-99.....	63
3.7 – Valores médios mensais da evapotranspiração de referência na Estação Meteorológica do Campo de Ensaio, no ano hidrológico 98-99.....	64
3.8 – Perfil do solo Pmg.....	65
3.9 – Análise granulométrica do solo (Adaptado de Ramos, 1995).....	66
3.10 – Canhão automotor com enrolador modelo IRROMOTOR 70 (63/270) da VALDUCI.....	66
3.11 – Guia do tubo de polietileno.....	67
3.12 – Sistema de turbina de fluxo parcial.....	68
3.13 – Aspersor de braço oscilante.....	69
3.14 – Barra com os quatro aspersores utilizados nas regas.....	70
3.15 – Manómetros instalados nos aspersores.....	70
3.16 – Grupo motobomba utilizado nas regas.....	71

3.17 – Parâmetros de rega.....	71
3.18 – Parâmetros de avaliação.....	73
3.19 – Avaliação elaborada em campo: esquema de recolha da precipitação.....	74
3.20 – Realização de um teste de avaliação em campo com a barra.....	74
3.21 – Pluviómetros utilizados nos testes de avaliação.....	75
3.22 – Esquema de avaliação do equipamento de rega (Keller e Bliesner, 1990).....	75
3.23 – Numeração dos pluviómetros para sobreposição das faixas.....	76
3.24 – Sobreposição de duas faixas adjacentes.....	76
3.25 – Anemómetro portátil.....	77
3.26 – Realização de um teste de infiltração com a barra.....	78
3.27 – Agregados de 6.3, 4.75 e 2.8 mm utilizados no teste da gota.....	79
3.28 – Pré-humedecimento dos agregados.....	80
3.29 – Realização do teste.....	80
3.30 – Bomba utilizada para aplicação de PAM.....	82
3.31 – Aplicação de PAM na água de rega.....	82
3.32 – Caudalímetro ultra-sónico.....	84
3.33 – Organização do campo de ensaio com infiltrómetros diferenciais.....	85
3.34 – Anel infiltrómetro diferencial.....	85
3.35 – Organização do campo com talhões de escoamento.....	87
3.36 – Vista geral do campo de ensaio.....	87
3.37 – Talhão de escoamento.....	88
3.38 – Recipientes de recolha do escoamento.....	88
3.39- Cones de Imhoff.....	89

CAPÍTULO 4 – APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DO RESULTADOS

4.1 – Variação da uniformidade em função da sobreposição (s), para a velocidade de deslocação de 10 m/h, na modalidade barra com quatro aspersores.....	98
4.2 – Variação da uniformidade em função da sobreposição (s), para a velocidade de deslocação de 30 m/h, na modalidade barra com quatro aspersores.....	98
4.3 – Variação da uniformidade em função da sobreposição (s), para a velocidade de deslocação de 50 m/h, na modalidade barra com quatro aspersores.....	98
4.4 – Variação da uniformidade em função da sobreposição (s), para a velocidade de deslocação de 10 m/h, na modalidade canhão automotor.....	99

4.5 – Variação da uniformidade em função da sobreposição (s), para a velocidade de deslocação de 30 m/h, na modalidade canhão automotor.....	99
4.6 – Variação da uniformidade em função da sobreposição (s), para a velocidade de deslocação de 50 m/h, na modalidade canhão automotor.....	100
4.7 – Diagrama pluviométrico da barra com quatro aspersores com velocidade de deslocação de 10 m/h e velocidade do vento média de 1.8 m/s.....	101
4.8 – Diagrama pluviométrico da barra com quatro aspersores com velocidade de deslocação de 30 m/h e velocidade do vento média de 1.9 m/s.....	101
4.9 – Diagrama pluviométrico da barra com quatro aspersores com velocidade de deslocação de 50 m/h e velocidade do vento média de 1.8 m/s.....	102
4.10 – Diagrama pluviométrico do canhão automotor com velocidade de deslocação de 10 m/h e velocidade do vento média de 2.4 m/s.....	102
4.11 – Diagrama pluviométrico do canhão automotor com velocidade de deslocação de 30 m/h e velocidade do vento média de 2.0 m/s.....	103
4.12 – Diagrama pluviométrico do canhão automotor com velocidade de deslocação de 50 m/h e velocidade do vento média de 3.0 m/s.....	103
4.13 – Diagrama da precipitação recolhida, considerando uma sobreposição de 15%, na modalidade barra com quatro aspersores e velocidade de deslocação de 50 m/h.....	104
4.14 – Diagrama da precipitação recolhida, considerando uma sobreposição de 25%, na modalidade barra com quatro aspersores e velocidade de deslocação de 50 m/h.....	104
4.15 – Diagrama da precipitação recolhida, considerando uma sobreposição de 35%, na modalidade barra com quatro aspersores e velocidade de deslocação de 50 m/h.....	104
4.16 – Diagrama da precipitação recolhida, considerando uma sobreposição de 15%, na modalidade canhão automotor e velocidade de deslocação de 50 m/h.....	105
4.17 – Diagrama da precipitação recolhida, considerando uma sobreposição de 25%, na modalidade canhão automotor e velocidade de deslocação de 50 m/h.....	106
4.18 – Diagrama da precipitação recolhida, considerando uma sobreposição de 35%, na modalidade canhão automotor e velocidade de deslocação de 50 m/h.....	106
4.19 – Comparação entre as dotações médias aplicadas e as dotações médias recolhidas, para a modalidade barra.....	108
4.20 – Comparação entre as dotações médias aplicadas e as dotações médias recolhidas, para a modalidade canhão automotor.....	108
4.21 – Perdas por evaporação e arrastamento verificadas nas modalidades, barra com quatro aspersores e canhão automotor (s=15%).....	110

4.22 – Diagramas pluviométricos na modalidade canhão automotor e velocidade de deslocação de 50 m/h, com velocidade do vento de 2 e 3 m/s.....	110
4.23 – Relação entre o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CU) e a velocidade do vento nas avaliações realizadas, no equipamento barra.....	111
4.24 – Relação entre o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CU) e a velocidade do vento na modalidade canhão.....	111
4.25 – Relação entre o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CU) e a velocidade do vento nas modalidades barra e canhão.....	112
4.26 – Curva de infiltrabilidade do solo (1º teste).....	113
4.27 – Curva de infiltrabilidade do solo (2º teste).....	113
4.28 – Curva de infiltrabilidade do solo (3º teste).....	113
4.29 – Curva de infiltrabilidade do solo, com base nos 3 testes de avaliação realizados.....	113
4.30 – Número de gotas para os percentis 20, 50 e 80%, e respectivos crivos.....	114
4.31 – Dotações infiltradas no 1º anel infiltrómetro, com o canhão automotor à velocidade de deslocação de 10 m/h.....	119
4.32 – Dotações infiltradas no 2º anel infiltrómetro, com o canhão automotor à velocidade de deslocação de 10 m/h.....	119
4.33 – Dotações infiltradas no 2º anel infiltrómetro, com a barra à velocidade de deslocação de 10 m/h.....	119
4.34 – Dotações infiltradas no 3º anel infiltrómetro, com o canhão automotor à velocidade de deslocação de 10 m/h.....	119
4.35 – Dotações infiltradas no 3º anel infiltrómetro, com a barra à velocidade de deslocação de 10 m/h.....	119
4.36 – Dotações infiltradas no 1º anel infiltrómetro, com o canhão automotor à velocidade de deslocação de 30 m/h.....	125
4.37 – Dotações infiltradas no 2º anel infiltrómetro, com o canhão automotor à velocidade de deslocação de 30 m/h.....	125
4.38 – Dotações infiltradas no 2º anel infiltrómetro, com a barra à velocidade de deslocação de 30 m/h.....	125
4.34 – Dotações infiltradas no 3º anel infiltrómetro, com o canhão automotor à velocidade de deslocação de 30 m/h.....	125
4.40 – Dotações infiltradas no 1º anel infiltrómetro, com o canhão à velocidade de deslocação de 50 m/h.....	130

4.41 – Dotações infiltradas no 2º anel infiltrómetro, com o canhão à velocidade de deslocação de 50 m/h.....	130
4.42 – Dotações infiltradas no 3º anel infiltrómetro, com o canhão à velocidade de deslocação de 50 m/h.....	130
4.43 – Escorrimento total verificado ao longo das regas.....	135
4.44 – Curvas de infiltração acumulada para o talhão 1.....	136
4.45 – Curvas de infiltração acumulada para o talhão 2.....	136
4.46 – Curvas de infiltração acumulada para o talhão 3.....	137
4.47 – Curvas de infiltração acumulada para o talhão 4.....	137
4.48 – Curvas de infiltração acumulada para o talhão 5.....	138
4.49 – Perda de solo no talhão de escorrimento 1.....	139
4.50 – Perda de solo no talhão de escorrimento 2.....	140
4.51 – Perda de solo no talhão de escorrimento 3.....	140
4.52 – Perda de solo no talhão de escorrimento 4.....	140
4.53 – Perda de solo no talhão de escorrimento 5.....	140
4.54 – Humidade do solo (tubo que se encontrava mais próximo da linha de passagem do aspersor).....	142
4.55 – Humidade do solo (tubo que se encontrava num ponto intermédio relativamente à linha de passagem do aspersor).....	143
4.54 – Humidade do solo (tubo que se encontrava mais afastado da linha de passagem do aspersor).....	144

ÍNDICE DE QUADROS

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – Valores de uniformidade e eficiência de aplicação dos canhões com enrolador (Martin-Benito, 1995).....	26
2.2 – Valores recomendados de espaçamento entre faixas adjacentes na rega com canhões, em função do vento (Martin-Benito, 1995)	28
2.3 – Infiltrabilidade do solo em função da textura (Rolland, 1986).....	32
2.4 – Largura da faixa regada dependendo da velocidade do vento (Cemagref, 1992).....	33

CAPÍTULO 3 – MATERIAL E MÉTODOS

3.1 – Pressão e caudal correspondente do canhão e barra com aspersores.....	72
3.2 – Velocidades de deslocação do equipamento em cada rega.....	86
3.3 – Parâmetros das equações de regressão linear ($y=a+bx$) de calibração dos cones de Imhoff para a estimativa dos sedimentos recolhidos em solo Pmg, e correspondentes às regas tratadas e não tratadas com Poliacrilamida aniónica (Martins, 2000).....	89

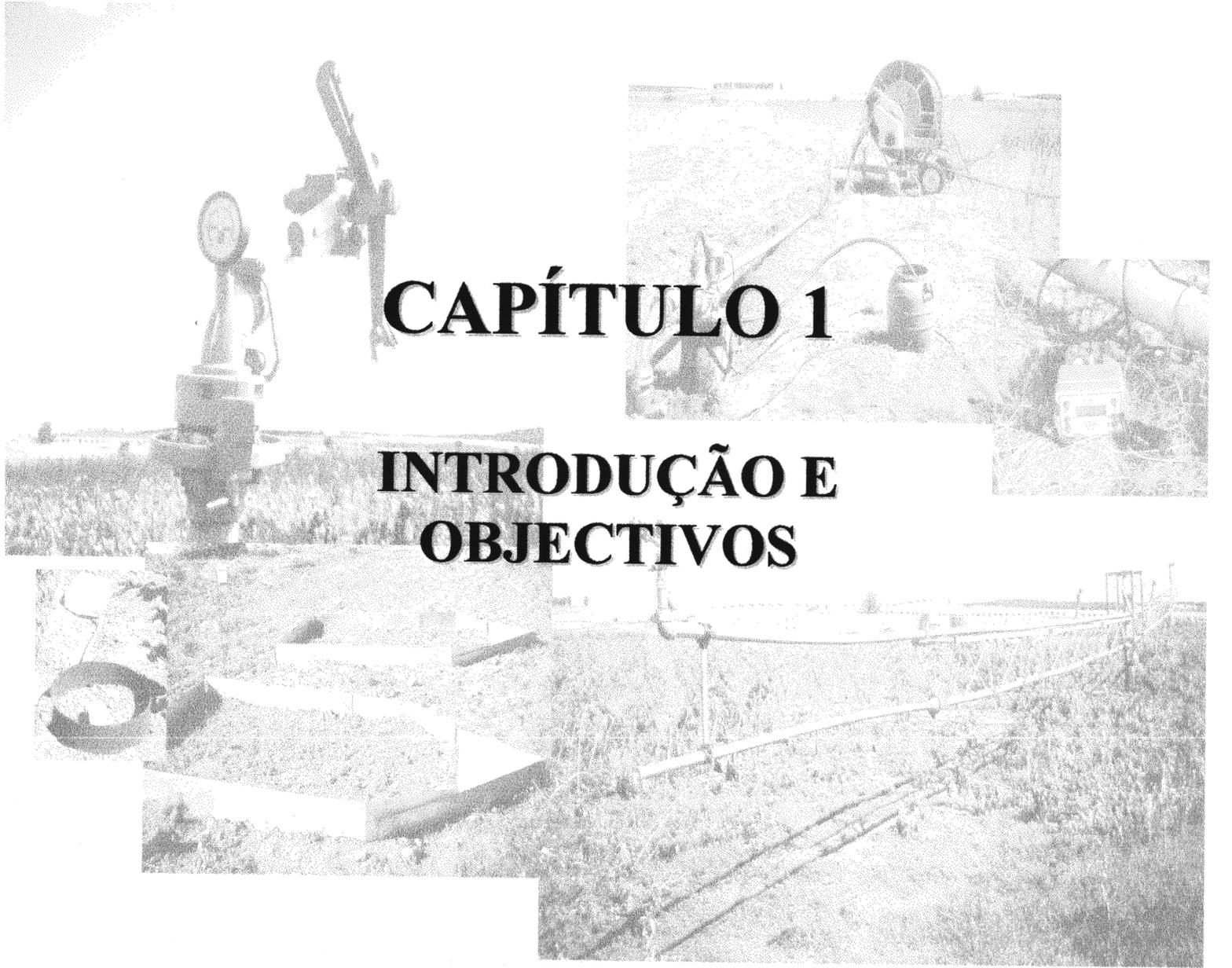
CAPÍTULO 4 – APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DO RESULTADOS

4.1 – Valores médios de UD e CU obtidos nas avaliações realizadas, considerando uma sobreposição entre faixas adjacentes de 15, 25 e 35 %.....	95
4.2 – Valores médios de EPA, considerando uma sobreposição entre faixas adjacentes de 15, 25 e 35%.....	107
4.3 – Dotações médias aplicadas com ambas as modalidades.....	116
4.4 – Aumento da quantidade de água infiltrada para ambas as modalidades ($v=10$ m/h).....	122
4.5 – Aumento da quantidade de água infiltrada para ambas as modalidades ($v=30$ m/h).....	128
4.6 – Aumento da quantidade de água infiltrada para ambas as modalidades ($v=50$ m/h)	132
4.7 – Valores observados nos talhões de escoamento.....	139
4.8 – Capacidade de campo (Ramos, 1995).....	142

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

SÍMBOLO	GRANDEZA/REPRESENTATIVIDADE	DIMENSÕES
a	Expoente empírico da equação de infiltração de Kostiakov	L^2
A	Área	L^2
α	Ângulo do sector regado	-
C	Largura do talhão	L
CC	Capacidade de campo	-
CE	Coefficiente de emurchecimento	-
CU	Coefficiente de Uniformidade de Christhansen	-
Da	Altura média da água aplicada	L
Di	Dotação recolhida num pluviómetro	L
Dm	Dotação média	L
Dr	Dotação real	L
Drec	Altura média de água recolhida nos pluviómetros	L
Drec _{qi}	Altura média da água recolhida em 25% dos pluviómetros que menos recolhem	L
Drec _{0,5}	Média da altura de água recolhida em 50% dos pluviómetros que menos recolhem	L
Du	Dotação útil	L
Du _{qi}	Média de 25% dos valores mais baixos da altura de água infiltrada e armazenada na zona radical	L
E	Espaçamento entre posições de rega	L
Ea	Eficiência de Aplicação	-
EPA	Eficiência Potencial de Aplicação	-
ET°	Evapotranspiração de referência	LT^{-1}
ETP	Evapotranspiração Potencial	LT^{-1}
ETc	Evapotranspiração da cultura	LT^{-1}
HR	Humidade relativa	-
i	Infiltrabilidade do solo	LT^{-1}
if	Infiltrabilidade final do solo	LT^{-1}
I	Volume infiltrado por unidade de comprimento	L^2

IG	Índice de Pulverização	-
Int	Intervalo entre regas	T
ip	Intensidade pluviométrica	LT ⁻¹
ip _m	Intensidade de precipitação média	LT ⁻¹
L	Comprimento do talhão	L
M	Altura média de água recolhida nos pluviómetros	L
Ms	Massa de sedimentos da amostra	M
Msi	Massa de sedimentos por volume de amostra	ML ⁻³
n	Número total de pluviómetros	-
p	Coefficiente facilmente utilizável	-
P	Pressão de Funcionamento	ML ⁻¹ T ⁻²
Prec	Precipitação mensal acumulada	L
PAM	Poliacrilamida Aniónica	-
Pe	Porção efectiva de água emitida pelos aspersores que atinge a superfície do solo	-
Pi	Intervalo de tempo entre cada recolha	T
Ps	Quantidade de solo destacado	M
k	Parâmetro empírico da equação de infiltração de Kostiakov	LT ⁻¹⁻ⁿ
Q	Caudal	L ³ T ⁻¹
Q _{si}	Caudal que não se infiltra	L ³ T ⁻¹
r	Raio de alcance	L
t	Tempo de infiltração	T
Tar	Temperatura média mensal do ar	-
Td	Tempo de rega por dia	T
UD	Uniformidade de Distribuição	-
U _z	Capacidade utilizável para uma dada profundidade z	L
v	Velocidade de Deslocação	LT ⁻¹
V _{CU}	Varição normal do coeficiente de uniformidade	-
V _{UD}	Varição normal da uniformidade de distribuição	-
V _S	Volume de sedimentos da amostra	L ³ L ⁻³
V _V	Velocidade do vento	LT ⁻¹
Z	Profundidade radical efectiva	L



CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS

1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A água e o solo são recursos naturais que desde sempre têm mantido uma relação de interdependência não só com a agricultura, mas também com a evolução do Homem. Esta relação tem sido ao longo do tempo cada vez mais acentuada, surgindo impactos bastante negativos ao nível da quantidade e qualidade da água e da degradação e erosão do solo.

A rega por aspersão beneficia actualmente no Mundo, de acordo com Raposo (1996), uma área total de cerca de 28 milhões de hectares, o que corresponde a cerca de 10% do regadio global existente, de 280 milhões de hectares. Ainda conforme Raposo (1996), em Portugal este método de rega é usado em cerca de 72 mil hectares, o que corresponde a aproximadamente 10% do regadio total do território, que é da ordem dos 720 mil hectares.

No Alentejo este método é já bastante utilizado. A maioria dos solos pertence ao grupo dos Mediterrâneos, com uma representatividade de 40% no Alentejo e de 20% no total dos solos do País. Estes solos apresentam limitações no que diz respeito ao seu uso agrícola, sendo bastante comum a formação de crosta superficial que diminui bastante a taxa de infiltração, conduzindo a grandes escorrimentos da água aplicada em cada rega e, conseqüentemente, a maior perda de solo.

Se, por um lado, a fraca estrutura que caracteriza os solos Mediterrâneos e a conseqüente erodibilidade dos mesmos colocam em risco a sua capacidade produtiva, por outro, segundo Raposo (1996) a utilização da rega por aspersão apresenta como grande desvantagem o calcamento do solo e a formação da crosta, factores estes que se agravam com o tipo de equipamento de rega e de solo. Então, sendo o solo Pmg um dos mais regados, confrontam-se circunstâncias que tendencialmente irão favorecer a formação da crosta, devido à ocorrência de grandes escorrimentos e, conseqüentemente, maior perda de solo. Face a esta realidade, torna-se necessário adequar as técnicas culturais, e em especial a tecnologia de rega, ao tipo de solo, de modo a garantir a preservação não só do recurso solo, mas também do recurso água. Para a satisfação de tal objectivo contribuem todos os estudos sobre a caracterização e avaliação do equipamento de rega (de modo a adequá-lo a cada tipo de solo), mas também a aplicação de condicionadores, capazes de reduzir ou mesmo impedir a formação gradual da crosta e, conseqüentemente, facilitar o processo de infiltração.

A avaliação de um método de rega tem por objectivo conhecer as condições actuais de gestão da água de rega, ou seja, conhecer a eficiência actual de aplicação da água, e a partir desse conhecimento, identificar as alternativas viáveis que possam conduzir ao seu melhoramento. Esta avaliação realizada num conjunto de sistemas de rega permite o estabelecimento de critérios de eleição que nos capacitam para a escolha do sistema adequado para cada situação. A mesma avaliação baseia-se nos parâmetros de dimensionamento dos sistemas: uniformidade e eficiência.

No presente trabalho estudam-se dois métodos de rega por aspersão - canhão móvel e barra de rega - com o objectivo de se contribuir para a optimização do desempenho destes tipos de sistemas de rega, de grande importância no Alentejo. Estes dois equipamentos apresentam-se como uma boa solução para pequenas áreas, sendo alternativa para grandes áreas a rampa rotativa de baixa pressão, ou como é mais comumente conhecida “center pivot”. É também um equipamento de rega muito utilizado no Alentejo, sendo o seu uso geralmente restrito para rega de grandes áreas, não se justificando para áreas reduzidas, em que duas possíveis soluções são o canhão móvel e a barra. Ambos os métodos de rega objectos do presente estudo apresentam vantagens e desvantagens, no que respeita à sua adequação a todos os factores inerentes à própria rega (tipo de solo, caudal de rega, tipo de cultura, velocidade do vento, entre outros).

O canhão móvel, com um único aspersor, possui um raio de alcance superior ao equipamento barra, o que origina uma maior influência no raio do canhão pela velocidade do vento. Por outro lado, a energia cinética das gotas do canhão móvel é também superior à das da barra de rega, o que provoca maior tendência para a compactação e formação da crosta, maiores escorrimentos e conseqüentemente diminuição da taxa de infiltração. Para tentar ter em conta todos estes factores, no canhão móvel apenas se podem escolher aspersores com diâmetros maiores ou menores, enquanto na barra se pode utilizar um diferente número de aspersores, com vários diâmetros, ou mesmo nebulizadores em substituição dos anteriores, resultando uma variedade muito maior de situações de características de aspersão e adaptação ao solo.

Sendo a qualidade do desempenho de rega por aspersão extremamente dependente das características de infiltração do solo, merece especial atenção o facto do solo Mediterrâneo ser desse ponto de vista particularmente difícil. É por isso outro objectivo do presente trabalho melhorar a infiltrabilidade do solo Mediterrâneo regado por aspersão. Neste sentido, aplicou-se na água da 1ª rega o condicionador polimérico

de alta densidade, Poliacrilamida Aniónica, PAM, em consonância com estudos semelhantes que têm vindo a ser realizados noutros países e com estudos de aplicação na água de rega que têm sido realizados na Universidade de Évora.

A utilização de condicionadores do solo para melhorar e/ou estabilizar a agregação e a estrutura do solo remonta aos anos 50. No entanto, as elevadas quantidades de polímeros requeridas, assim como os métodos de aplicação utilizados para obter resultados satisfatórios, inviabilizavam a sua utilização na agricultura (Sojka e Lentz, 1996a). Posteriormente, o uso da PAM de elevado peso molecular veio reduzir as taxas de aplicação anteriormente utilizadas, tendo sido os agricultores atraídos por esta nova tecnologia, pois reconhecem o valor da agricultura de regadio e a eficácia e facilidade do uso da PAM (Sojka e Lentz, 1996a). As reduções da erosão assim como o aumento da infiltração em rega por sulcos, foram significativos e de acordo com o tipo de solo e com a concentração de PAM, assim variam. Aplicando a taxa de 1 kg/ha de PAM: Lentz *et al.*, (1992) reduziram a erosão em cerca de 97%, Lentz e Sojka (1996) aumentaram a infiltração em 15%, Trout *et al.*, (1995) aumentaram nos estudos realizados a infiltração em cerca de 30% e a erosão diminuiu 85 a 99%. No mesmo solo onde foram realizados os ensaios do presente trabalho, Melhorado (1998), aplicando PAM na concentração de 1 kg/ha, obteve diminuições da perda de solo de 95.9 a 99.3% e aumentos da taxa de infiltração de 58.1 a 79.2%. Martins (1998), com a mesma concentração, obteve reduções de erosão de cerca de 96.8%.

Comparativamente com a rega por sulcos, menos estudada é a eficácia da PAM quando misturado na água de rega por aspersão. Desde 1980, vários estudos foram realizados em simuladores de chuva, em solos pré-tratados com PAM (Sojka e Lentz, 1996a). Aase *et al.*, (1998) aplicando 2 lbs/acre num solo limo-argiloso, em testes de laboratório, reduziram o escoamento em cerca de 70% e a perda de solo em 75%. Bjorneberg *et al.*, (1996), aplicando o condicionador em rampas rotativas de baixa pressão com a concentração de 1 kg/ha na água de rega, diminuíram a perda de solo e o escoamento para cerca de 75%.

Com o objectivo de melhorar a infiltrabilidade do solo Mediterrâneo, aplicou-se a PAM na água de rega efectuada com o canhão móvel e a barra de rega. O solo encontrava-se cultivado e foram aplicadas as concentrações 1, 2 e 4 kg/ha de PAM na água de rega, no sentido de saber, para o solo em estudo, qual a concentração que maximiza os benefícios obtidos com a aplicação do condicionador. Em vários estudos anteriormente realizados, verificou-se que a taxa de aplicação que provoca maior

aumento da infiltração e menor perda de solo varia com o sistema de rega, com o tipo de solo e com o caudal de rega. Os estudos já efectuados em rega por aspersão referem taxas de aplicação de 20 kg/ha (Aase *et al.*, 1998), 5 kg/ha (Aase *et al.*, 1998), 1 kg/ha (Bjornberg *et al.*, 1997), 2 kg/ha (Bjornberg *et al.*, 1998), entre outras. Dado que, ensaios realizados com a PAM no mesmo solo revelaram aumentos consideráveis da infiltração e da diminuição da perda de solo, com baixas taxas de aplicação, 1, 2 e 4 kg/ha de PAM foram as concentrações escolhidas para a aplicar nos ensaios realizados no presente estudo. O escoamento superficial foi quantificado com anéis infiltrómetros e, no fim dos ensaios, os resultados obtidos revelaram uma maximização dos benefícios com as concentrações de 1 e 2 kg/ha, pois os valores entre as duas eram muito semelhantes. Houve então necessidade de executar outro ensaio, em que apenas se aplicaram as concentrações 1 e 2 kg/ha utilizando-se, para quantificar o escoamento superficial, talhões que à partida parecem representar com maior fiabilidade o escoamento que realmente ocorre no solo. Para este ensaio, as regas foram efectuadas apenas com o canhão móvel. O solo não estava cultivado, por ser nesta condição que ocorre maior escoamento. Mediu-se também a perda de solo pelo método dos cones de Imhoff.

1.2 OBJECTIVOS

Um dos objectivos genéricos do trabalho foi o estudo das condições de funcionamento do equipamento de rega automotor, canhão e barra, funcionando com aspersores de impacto de média pressão.

Por outro lado, utilizando o equipamento de rega atrás referido, aplicou-se na água de rega o condicionador do solo - Poliacrilamida aniónica - no sentido de saber qual a concentração de PAM que maximiza a infiltração e minimiza a perda de solo, num solo com características tão limitantes como o solo Pmg.

Sendo assim, para se atingir ambos os objectivos genéricos, teve-se como objectivos específicos do estudo:

- Avaliação e caracterização do equipamento de rega quanto à Uniformidade de Distribuição, Coeficiente de Uniformidade de Christiansen e Eficiência Potencial de Aplicação;

- Quantificação das perdas, assim como do efeito do vento e consequentes efeitos no funcionamento do equipamento de rega;
- Estudo da infiltração utilizando o Método de Shockley (1968);
- Quantificação do escoamento com anéis infiltrómetros e talhões de escoamento;
- Quantificação da perda de solo com cones de Imhoff;
- Monitoração da humidade do solo com sonda TDR;
- Caracterização da estabilidade dos agregados do solo Pmg utilizando o Teste da Gota.

1.3 ENQUADRAMENTO DO TRABALHO

O presente trabalho é a continuação de vários estudos realizados nos últimos tempos ao nível da rega por aspersão e da aplicação de condicionadores do solo, nomeadamente a Poliacrilamida Aniónica.

Relativamente à rega por aspersão, estabeleceram-se objectivos relativos ao funcionamento do próprio equipamento de rega. É grande a complexidade que envolve a rega por aspersão, o que se deve não só aos numerosos elementos intervenientes, mas também devido ao funcionamento do próprio equipamento. Um dos factores mais importantes neste processo é sem dúvida o solo. Neste estudo, o solo em que se realizaram os ensaios foi o solo Pmg, com elevada representatividade no Alentejo, apresentando graves problemas especialmente ao nível da infiltração. É sem dúvida devido à sua representatividade e às suas limitações, que tem sido objecto de muitos trabalhos realizados em investigação científica.

Braz em 1998, no mesmo tipo de solo e com o mesmo equipamento de rega, elaborou a sua tese de mestrado que se revelou de crucial importância para a planificação e desenvolvimento do presente estudo. Os ensaios de campo foram realizados com o mesmo equipamento, tendo-se utilizado diferentes diâmetros e número de bicos, comparando-se as diferentes uniformidades e eficiências.

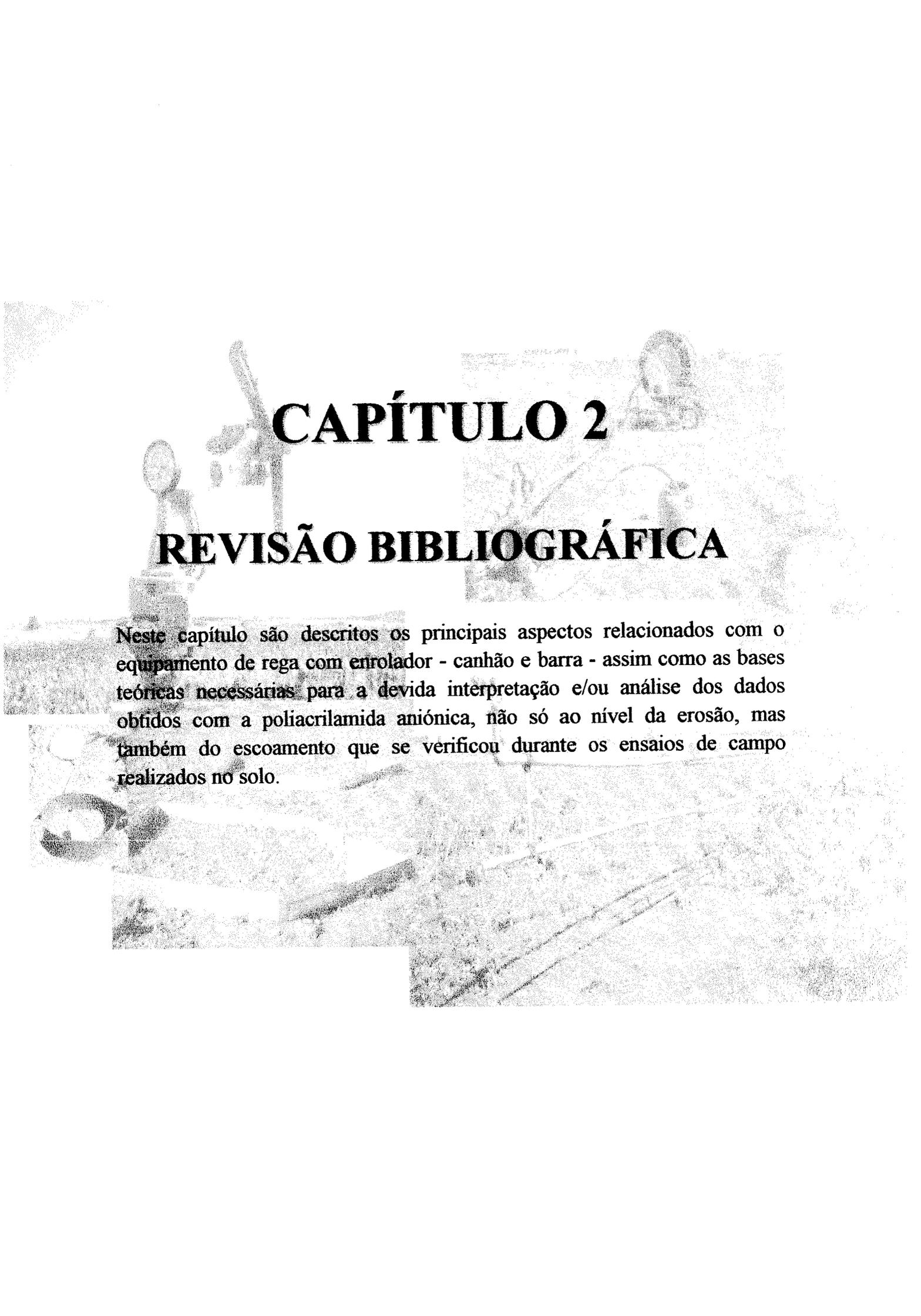
Embora com outro tipo de equipamento de rega (rampa rotativa), mas no mesmo tipo de solo, Gamito, em 1998, elaborou um estudo cujo objectivo principal foi a “Caracterização e Avaliação do funcionamento de uma rampa rotativa em Solos Mediterrâneos”. Baptista, em 1997, elaborou um trabalho bastante semelhante ao

anterior, intitulado “Avaliação de rega com uma rampa rotativa em Solos Mediterrâneos”.

Os estudos referidos foram realizados na Universidade de Évora, porém outros especialistas, como Serafim e Brito da Luz, se têm debruçado sobre estes temas. Serafim, em 1994, na sua tese de doutoramento, estudou rampas polares, sistemas estes com grande utilização não só no nosso País, mas também por todo o Mundo. Também este tem sido o equipamento objecto de estudo de Brito da Luz, que em 1999, elaborou a sua tese de mestrado.

Paralelamente ao estudo do funcionamento de rega, também a aplicação de condicionadores do solo tem sido efectuada no sentido de melhorar a estrutura dos solos, podendo ser um importante instrumento no futuro, especialmente em solos com problemas de infiltração, como o solo Pmg.

Silva (1991) utilizou, para além de PAM, gesso como condicionador do solo, realizando ensaios laboratoriais com simuladores de chuva. Afonso (1992), testou também laboratorialmente a eficácia da aplicação de PAM, mas em diversos tipos de solo. Mais recentemente, Martins (1998) e Melhorado (1998) reiniciaram os estudos de aplicação de PAM, em ensaios de campo, em rega por sulcos. Bica (2000), aplicou a PAM em rega por aspersão, surgindo o presente trabalho na mesma linha. A investigação científica sobre este tema, não tem sido só realizada em Portugal, sendo vários autores conhecidos pelos interessantes trabalhos realizados.



CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são descritos os principais aspectos relacionados com o equipamento de rega com enrolador - canhão e barra - assim como as bases teóricas necessárias para a devida interpretação e/ou análise dos dados obtidos com a poliacrilamida aniónica, não só ao nível da erosão, mas também do escoamento que se verificou durante os ensaios de campo realizados no solo.

2.1 CLASSIFICAÇÃO DAS INSTALAÇÕES DE REGA POR ASPERSÃO

Factores como a adaptação ao regadio, o tipo de solo, a quantidade e a qualidade de água ou o clima, influenciam a escolha de determinado método de rega, dependendo este tanto de factores físicos como económicos, que permitem determinar a viabilidade técnica e económica do método escolhido.

A rega por aspersão consiste num processo artificial de distribuição da água às plantas sob a forma de chuva. Trata-se de um método de aplicação de água que pode ser utilizado com um número muito variável de culturas, de tipos de solos e condições topográficas.

Um dos modos de classificar as instalações de rega por aspersão é em função da mobilidade dos diferentes elementos do próprio sistema (Anexo I).

2.2 SISTEMA DE APLICAÇÃO

De todos os elementos da rede de rega por aspersão é o sistema de aplicação que constitui a parte mais característica dos sistemas de rega por aspersão, pois executa a tarefa fundamental do sistema, a distribuição da água em forma de chuva.

Existem dois tipos principais de aspersores, classificados em função da pressão a que funcionam, o **aspersor rotativo por impacto** (de acordo com a pressão são agrupados em três categorias - baixa, média e alta) e o **nebulizador fixo** (fixos, funcionam a baixa pressão). Em Anexo (II) apresentam-se as características gerais dos principais tipos de aspersores (pressão, caudais, alcance do jacto, intensidade de aplicação e dimensão relativa das gotas).

O princípio de funcionamento dos aspersores baseia-se no facto de que a pressão disponível no, ou nos orifícios de saída de cada aspersor, é convertida em velocidade, o que faz com que o jacto de saída seja decomposto em gotas de diferentes dimensões, as quais se vão espalhar numa área em torno do aspersor.

A forma do padrão de distribuição é influenciada entre outros factores, pela velocidade do vento. Em condições de inexistência de vento apresenta uma forma

circular, em condições adversas, a forma circular tem tendência a alongar-se na direcção predominante do vento (Fig. 2.1).

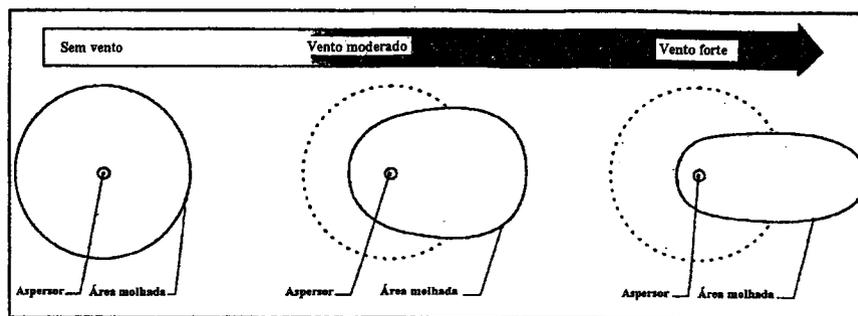


Figura 2. 1 - Efeito do vento no padrão de distribuição de um aspersor (Scherer *et al.*, 1999)

Ao considerarmos um aspersor isolado, podemos observar que a zona do terreno que recebe mais água é a próxima do aspersor, e que à medida que nos afastamos do aspersor, a quantidade de água que vai chegando ao terreno vai diminuindo (Fig. 2.2).

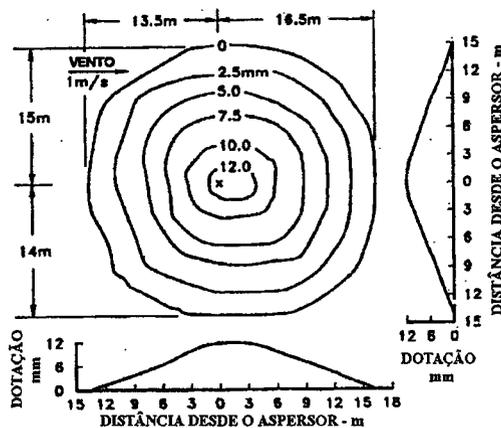


Figura 2. 2 - Padrão de distribuição de um aspersor (Keller e Bliesner, 1990)

2.2.1 FACTORES DE QUE DEPENDE A CORRECTA SELECÇÃO DO ASPERSOR

A correcta selecção do aspersor é fundamental para que a eficiência e a uniformidade de rega sejam maximizadas. Em rega por aspersão, a correcta selecção do

aspersor, depende de vários factores tais como: o diâmetro do orifício de saída, a pressão da água na secção do orifício de saída, a energia cinética das gotas de água, o ângulo do jacto de saída, o movimento de rotação do aspersor, o modelo de distribuição, a sobreposição dos círculos regados pelos diferentes aspersores, a acção do vento, a altura do aspersor acima do solo e a intensidade de aplicação.

O **diâmetro do orifício de saída**, conjuntamente com a pressão e o caudal do aspersor, influenciam a uniformidade de distribuição e a dimensão das gotas de água em que se transforma o jacto de água à saída do orifício.

O volume de água aplicado sob a forma de gotas de grandes dimensões aumenta à medida que aumenta o diâmetro de saída do orifício, para a mesma pressão de funcionamento. Os aspersores que normalmente se utilizam em rega por aspersão possuem um ou dois orifícios de saída, sendo estes normalmente de diâmetros diferentes. O orifício de maior diâmetro assegura geralmente a saída de maior caudal (maior cobertura de área regada), enquanto que o de menores dimensões, provoca uma maior pulverização do jacto, sendo utilizado com a finalidade de tornar o padrão de distribuição da água efectuado por cada aspersor o mais uniforme possível.

O caudal de cada aspersor é função do diâmetro do orifício de saída e da **pressão de água** na secção de saída do mesmo. Estes dois factores vão também influenciar o tamanho das gotas, que aumenta com bicos maiores e/ou pressões maiores.

Para que o aspersor funcione correctamente, deverá funcionar nas condições indicadas pelo fabricante de modo a que seja obtida a melhor uniformidade de distribuição (UD). No caso de tal não ocorrer, pode verificar-se ou excesso de pressão ou abaixamento de pressão.

O aumento do número de gotas de menor dimensão ocorre à medida que aumenta a pressão. Este aumento é consequência do aumento da velocidade do jacto e da maior diferença com a velocidade do ar (Kohl, 1974 cit. por Heermann e Kohl, 1983).

Segundo Heermann (1981, cit. por Oliveira, 1993) o **excesso de pressão** provoca uma diminuição do volume de água aplicado sob a forma de gotas de grande diâmetro e conseqüentemente, o aumento do volume de água aplicado sob a forma de gotas de pequeno diâmetro. Esta influência do excesso de pressão ao nível das gotas, deve-se à proporcionalidade que existe entre a velocidade do jacto de saída e a pressão da água na entrada dos aspersores, pois as pressões elevadas normalmente correspondem velocidades relativas elevadas entre a água e o ar circundante, o que provoca o

fraccionamento do jacto de água num número elevado de gotas de pequeno diâmetro em relação às de maior diâmetro.

Esta situação origina a perda de alcance do jacto, o excesso de acumulação de água junto do aspersor em relação às condições normais de funcionamento desse mesmo aspersor e como o volume de água aplicado sob a forma de gotas de pequeno diâmetro é o predominante, estas estão mais sujeitas à acção do vento, distorcendo-se o padrão de distribuição inicialmente previsto.

Quando o aspersor funciona com uma **pressão inferior** à recomendada pelo fabricante, o jacto de água à saída do aspersor não se fracciona como o previsto, sendo a produção de gotas de maior diâmetro superior à de gotas de menor diâmetro, o que origina uma maior quantidade de água nos pontos mais afastados do círculo regado pelo aspersor. Para além das gotas maiores resistirem melhor ao arrastamento pelo vento, alcançando maiores distâncias, podem ter efeitos nocivos sobre as culturas e na formação da crosta do solo.

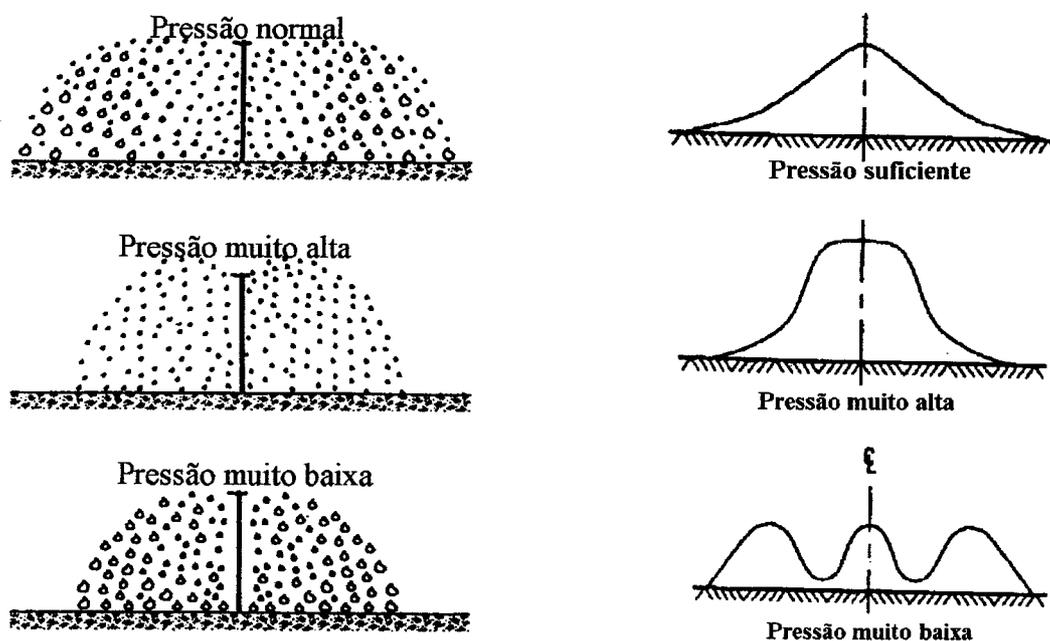


Figura 2. 3 - Efeitos da pressão de funcionamento na distribuição pluviométrica (Silva, 1999b)

A **energia cinética**, ou energia de impacto das gotas no solo, é de extrema importância, especialmente no caso dos solos sujeitos à erosão e à formação da crosta superficial.

A energia cinética pode ser reduzida aumentando a pressão de funcionamento e diminuindo o diâmetro do orifício de saída para o mesmo volume de água aplicado. Sendo assim, é de extrema importância a escolha de ambos, na gestão da rega.

O melhor processo para tentar minimizar os problemas causados pela formação de crosta no solo é manter uma adequada pressão de funcionamento nos aspersores durante a operação de rega.

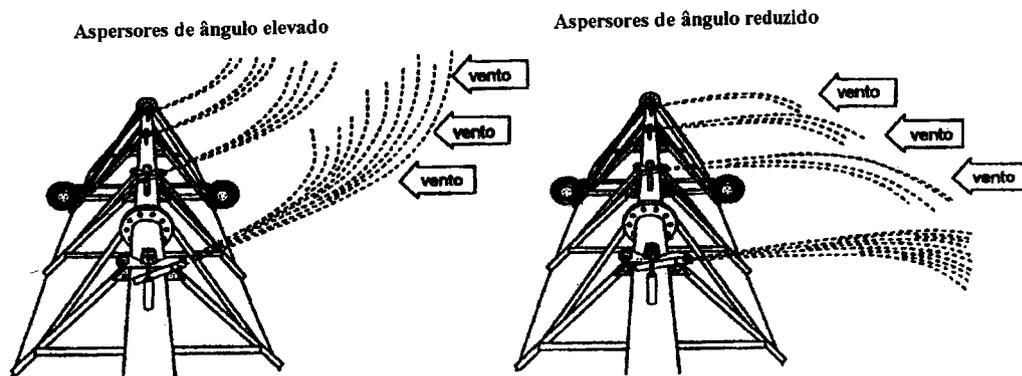


Figura 2. 4 - Efeitos do vento e do ângulo do aspersor nas perdas por arrastamento do vento (Scherer et al., 1999)

O **ângulo do jacto de saída** é outro parâmetro muito importante, sendo geralmente utilizados aspersores cuja inclinação do jacto de saída é da ordem dos 30° , por ser esta inclinação que em condições de ausência de vento, maior raio de alcance origina.

Em condições de intensidade de vento apreciáveis, os melhores diagramas de distribuição são verificados para inclinações do jacto inferiores a 30° .

Ângulos maiores (até 33°) fazem com que a água atinja distâncias maiores, mas que esteja mais sujeita a maior dispersão pelo vento.

A **rotação do aspersor**, quando este é móvel, deve ser o mais uniforme possível, a fim que a distribuição da água também o seja.

A velocidade de rotação do aspersor é função do diâmetro do orifício de saída, da pressão de funcionamento e do mecanismo que assegura a rotação (geralmente um balanceiro que recebe o impacto do jacto e uma mola que acumula a respectiva energia, fazendo o balanceiro regressar, após bater no aspersor, fazendo-o rodar, à posição de

impacto). O mau funcionamento da mola pode ser motivo para uma rotação pouco uniforme, excessivamente rápida ou lenta. Por outro lado, e para o mesmo aspersor, quanto mais rápida for a rotação do aspersor, mais pequeno é o raio de alcance.

2.3 MÁQUINAS SEMOVENTES COM ENROLADOR

Estes equipamentos de rega tiveram na década de 70, uma grande popularidade no nosso país, em virtude de serem muito práticos e envolverem custos de primeiro investimento relativamente baixos. Têm porém, graves inconvenientes, tais como:

- o aspersor trabalha a pressões muito elevadas, em geral entre 5 e 10 bares (por vezes mais), o que origina grandes despesas de funcionamento, facto que torna a sua utilização inviável economicamente para determinadas culturas;
- jactos constituídos por gotas de grandes diâmetros, que podem afectar as culturas mais sensíveis e provocar o calcamento de muitos solos, com possível formação de crosta;
- provocam uma irregular distribuição da água quando a rega se realiza em dias ventosos, devido à altura de trajectória das gotas, sendo o seu jacto mais afectado pelo vento, contrariamente ao que acontece em outras instalações semoventes.

O aspersor encontra-se geralmente incorporado numa base com rodas ou munida de patins ou trenós, e é abastecido de água através de um tubo de plástico maleável, que se arrasta sobre o terreno, puxado pelo enrolador. O modo como se processa o movimento de translação do aspersor - sempre efectuado à custa da energia da própria água - varia com o tipo de instalação, podendo considerar-se dois tipos de máquinas diferentes: canhões automotores (puxados por cabo) e canhões com enrolador.

Estes canhões trabalham normalmente com caudais de 20 a 170 m³/h, e podem regar faixas de 500 m de comprimento (ou mais) e 100 m de largura. A pluviometria pode variar entre 5 e 35 mm/h.

Dado que, nos ensaios de campo realizados, se utilizou o enrolador com equipamento automotor, será este o tipo de equipamento abordado.

2.3.1 CANHÕES COM ENROLADOR

Têm sido estes os canhões que mais se têm expandido na Europa, por terem mais fácil manejo e por necessitarem de menor mão de obra para o seu funcionamento.

Os canhões com enrolador, frequentemente designados apenas por enroladores, são compostos por um aspersor grande (canhão), que colocado sobre um suporte com rodas é arrastado pelo próprio tubo de alimentação flexível que abastece o sistema de água.

O aspersor é colocado na extremidade de um tubo de polietileno flexível, com um comprimento da ordem dos 200 - 400 m. O tubo enrola-se num tambor que é accionado pelo próprio caudal de alimentação do aspersor, através de um mecanismo de turbina ou fole hidráulico.

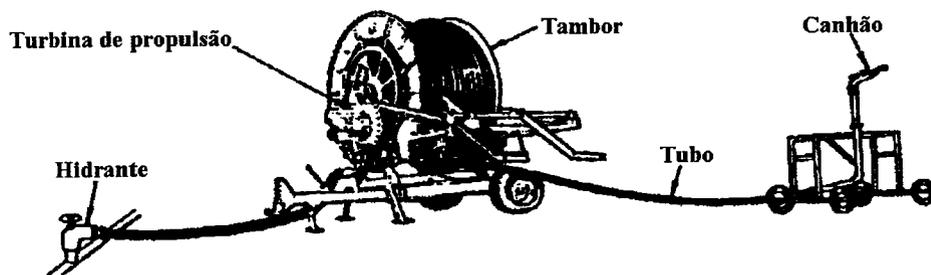


Figura 2. 5 - Canhão com enrolador (Martin-Benito, 1995)

Para realizar a rega, o tambor é colocado junto à tomada de água. O suporte com o aspersor é puxado com a ajuda de um tractor, até à extremidade da faixa a regar, ocupando o tubo a zona central da faixa. Iniciada a rega após a abertura da válvula de ligação à linha de abastecimento, inicia-se o funcionamento de uma turbina situada no tambor, que através de um sistema de engrenagens faz rodar o tambor no sentido do enrolamento. Quando o suporte do aspersor atinge o tambor, há um mecanismo que automaticamente faz parar a rega, sendo necessário efectuar uma rotação de 180⁰ no tambor e repetir a operação, podendo regar nova faixa. Para regar uma nova faixa, é necessário transportar o conjunto formado pelo tambor e aspersor para uma nova posição, que relativamente à anterior (ou anteriores) deverá ser paralela e ter alguma sobreposição.

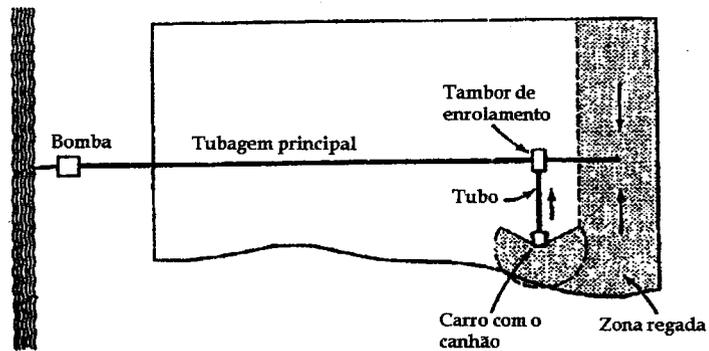


Figura 2. 6 - Esquema de funcionamento do canhão com enrolador (Martin-Benito, 1995)

Os enroladores apresentam o inconveniente da velocidade de enrolamento do tambor ser irregular, quer pela variação do diâmetro do carroto onde se enrola o tubo, quer devido à variação do peso do tubo, o que conseqüentemente origina alterações na uniformidade da rega.

2.3.2 COMPONENTES DO SISTEMA

O estudo dos componentes do sistema (o sistema de pulverização, o mecanismo indutor de movimento de translação e a tubagem de alimentação) é bastante importante devido à influência que o seu mau funcionamento pode ter na gestão da rega.

2.3.2.1 SISTEMA DE PULVERIZAÇÃO

O aspersor que equipa este sistema denomina-se canhão, sendo um aspersor giratório, de construção robusta para resistir aos esforços originados pelos elevados caudais e pressões com que trabalha, podendo ser de braço oscilante ou de turbina. Em qualquer caso, estão dotados dos mecanismos necessários para funcionar de forma sectorial, cobrindo normalmente sectores de 200 a 220^o (Martin-Benito, 1995).

Nos ensaios de campo realizados utilizou-se um canhão de braço oscilante, sendo de seguida apresentados os seus aspectos mais relevantes.

Nos canhões de braço oscilante (Fig. 2.7), o movimento de rotação é efectuado por meio de uma alavanca que, por acção do jacto de água, é deslocado para baixo e lateralmente.

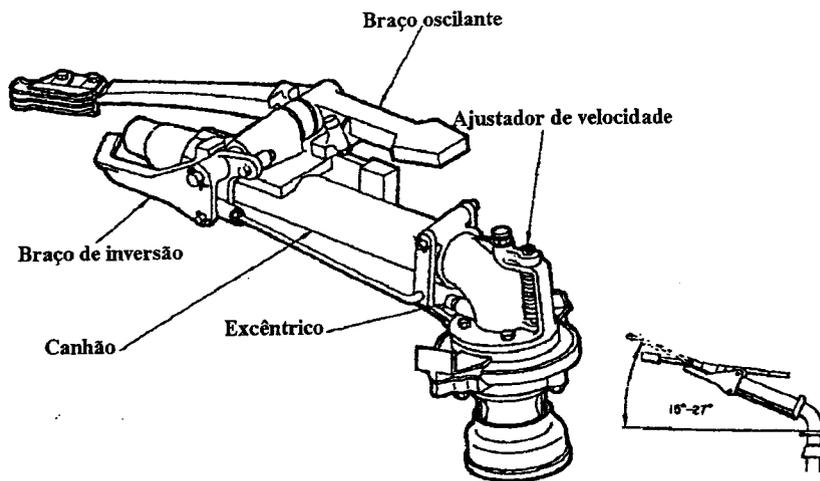


Figura 2. 7 - Canhão de braço oscilante (Martin-Benito, 1995)

Devido à acção de uma mola, a alavanca regressa à mesma posição, relativamente à saída do jacto, e o movimento repete-se, obrigando assim o aspersor a rodar. Simultaneamente, o jacto ao bater na alavanca, faz com que este se fraccione em gotas menores, o que origina uma maior uniformidade de distribuição.

A velocidade de rotação do aspersor pode ser controlada pela inclinação do prato colocado no terminal da alavanca à saída do aspersor. Esta oscila entre 2 a 5 minutos, regressando rapidamente à sua posição inicial.

2.3.2.2 MECANISMO INDUTOR DE MOVIMENTO DE TRANSLAÇÃO

Nos canhões automotores o movimento de translação é normalmente conseguido com o auxílio de um motor, geralmente hidráulico, accionado pela própria corrente de água, existindo o mecanismo de fole hidráulico e de turbina.

O equipamento automotor utilizado nos ensaios de campo para obtenção dos objectivos relativos ao presente trabalho é constituído por um mecanismo de turbina.

2.3.2.2.1 Mecanismo de turbina

Este é o mecanismo mais frequentemente utilizado. Ao contrário do mecanismo de fole hidráulico, não consome água, mas produz uma perda de carga no fluxo principal de 50 a 100 kPa.

De acordo com a alimentação de caudal, a turbina pode ser de **fluxo parcial** (alimentada por uma parte do caudal do sistema - Fig. 2.8-a) e de **fluxo total** (alimentada por todo o caudal - Fig. 2.8-b).

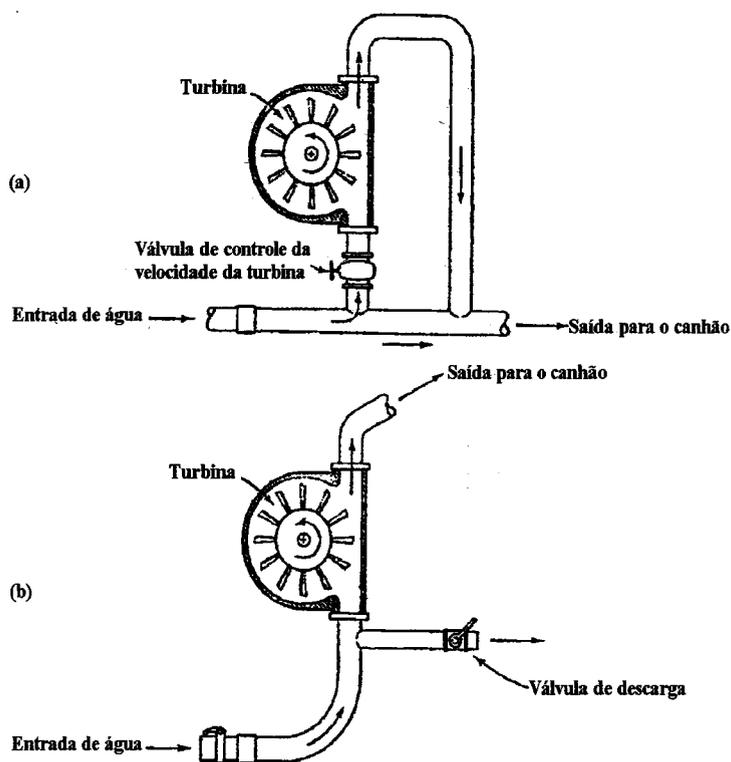


Figura 2. 8 - Tipos de turbinas dos enroladores (a - Fluxo parcial, b -Fluxo total) (Martin-Benito, 1995)

A turbina transmite o movimento de rotação do tambor enrolador através de um conjunto de engrenagem ou rodas dentadas.

Nas turbinas de **fluxo parcial**, a velocidade da turbina é regulada ou por um sistema de “by-pass”, ou por um tubo com uma válvula no início da turbina que permite fazer passar por esta um caudal variável.

Nas turbinas de **fluxo total**, a velocidade de rotação do canhão controla-se com um regulador de velocidade da roldana, ou com um jogo de rodas dentadas.

Para que o movimento do canhão seja uniforme durante o enrolamento, pode colocar-se um “by-pass” regulado por um sensor, que indica o diâmetro de enrolamento da tubagem no tambor.

Todas as máquinas possuem um mecanismo de enrolamento do tubo accionado pela tomada de força do tambor.

2.3.2.3 TUBAGEM DE ALIMENTAÇÃO

A tubagem pode ter diâmetros que variam entre 50 e 125 mm, e comprimentos entre 120 e 500 m. Geralmente é fabricada para suportar elevadas pressões, podendo a sua vida útil variar entre 6 a 8 anos.

Nos canhões enroladores as mangueiras podem ser de polietileno de média densidade, para que tenham resistência suficiente e não sejam demasiado rígidas. Geralmente possuem um mecanismo guia que facilita o enrolamento correcto do tubo no enrolador.



Figura 2. 9 - Exemplo do mecanismo guia para enrolamento da tubagem (Martin - Benito, 1995)

2.3.2.4 CONDIÇÕES DE FUNCIONAMENTO

O sistema de rega com canhões é muito criticado devido a vários factores, sendo alguns deles a má uniformidade de distribuição, o grande tamanho da gota, a elevada pressão de serviço e a elevada pluviometria.

No entanto, estudos científicos realizados neste âmbito, parecem demonstrar que se pode conseguir uma boa uniformidade de distribuição e um tamanho médio de gota, se se escolher bem a pressão de serviço, o tamanho, o tipo de bico, e o espaçamento entre posições de rega.

Muitas das desvantagens dos canhões, são compensadas pelo seu baixo custo, assim como pela sua escassa necessidade em mão de obra.

De seguida, apresentam-se algumas recomendações referidas na bibliografia especializada, algumas delas baseadas em ensaios de campo, de modo a permitir o bom funcionamento destes equipamentos.

2.3.2.4.1 Culturas

Os canhões de rega são adequados para várias culturas, mas é necessário ter certos cuidados, sobretudo na fase da germinação e floração. As culturas que melhor se adaptam a este sistema são os prados e as pastagens, mas de um modo geral podem regar-se com estes sistemas as culturas que cobrem bem o terreno.

Uma técnica que pode ser vantajosa na fase da germinação é a utilização de bicos mais pequenos e pressões mais elevadas, o que conduz a gotas de tamanhos mais pequenos.

2.3.2.4.2 Pressão de serviço

As pressões de serviço adequadas para o canhão, de modo a obter-se um tamanho de gota médio, e uma boa distribuição de água encontram-se representadas na Fig. 2.10.

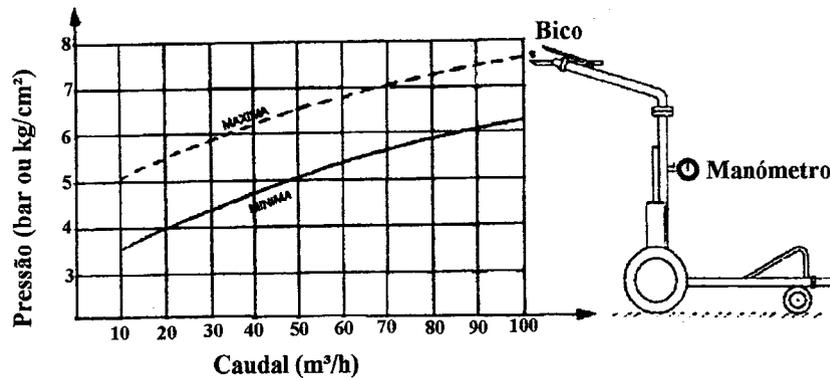


Figura 2. 10 - Intervalo de pressão recomendado no canhão segundo o caudal descarregado (Cemagref, 1992)

Enquanto que o excesso de pressão produz maior proporção de gotas pequenas, mais sensíveis à acção do vento, o contrário produz maior proporção de gotas grandes.

A partir dos valores da Fig. 2.10, pode calcular-se a pressão à entrada do sistema, variando esta entre 6 e 10 bar.

A pressão de funcionamento do canhão não deve variar mais de 20% do que a sua pressão nominal em nenhum ponto da parcela, para que o caudal descarregado não varie mais que 10%. Realizaram-se cálculos para o ponto mais desfavorável (H_{min}) e para o mais favorável ($H_{máx}$) da parcela. Quando $H_{máx} > 1.2H_{min}$ deve colocar-se um regulador de pressão à entrada do canhão, de modo a garantir este intervalo de variação de pressão (Martin-Benito, 1995).

2.3.2.4.3 Ângulo de trajectória do aspersor

O ângulo de trajectória do jacto mais recomendável parece ser entre 21° e 23° , de modo a ter um alcance suficiente e não ser muito afectado pelo vento. Quando os ventos médios são superiores a 4 m/s, devem usar-se ângulos de 20° a 21° (Martin-Benito, 1995). Estes valores podem variar um pouco, de acordo com a referência bibliográfica considerada. Keller e Bliesner (1990) estabelecem valores um pouco diferentes dos acima mencionados para o ângulo de trajectória do jacto em situações moderadas de vento, sendo as trajectórias de 20° e 25° as mais satisfatórias.

Sabe-se que quanto maior for o ângulo de trajectória, maior será a altura do jacto, o que origina o esgotamento da velocidade horizontal do fluxo de água, antes das gotas de água atingirem a superfície do solo, ou seja, originará uma maior cobertura (em situação de vento fraco), e o impacto das gotas será minimizado. Ângulos de trajectória baixos, permitem uma cobertura mais uniforme em situações de ventos superiores a 4.4 m/s, mas o impacto das gotas pode ser muito severo, especialmente quando a pressão de funcionamento é baixa (Heermann e Kohl, 1983).

2.3.2.4.4 Sector regado

O ângulo do sector regado (α) mais recomendado (Cemagref, 1992), situa-se entre 200° e 230° .

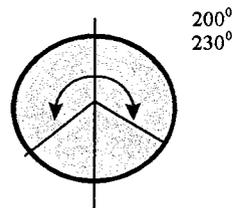


Figura 2. 11 - Sector regado por um aspersor gigante

Keller e Bliesner (1990) elaboraram diagramas de altura de água aplicada em sectores circulares de rega compreendidos entre 180° e 330° , produzidos por canhões com movimento contínuo sobre uma linha de pluviómetros perpendicular à direcção do movimento, concluindo que o diagrama mais uniforme se obtém com o sector regado com $\alpha = 220^\circ$.

2.3.2.4.5 Largura útil das faixas regadas

Ao definir o espaçamento entre itinerários do aspersor, devemos ter sempre presente como objectivo a obtenção de uma distribuição uniforme, ou seja, uma relação satisfatória entre a altura de água regada e a superfície regada. Não nos podemos no entanto esquecer da grande influência que o vento tem nas características acima mencionadas.

Na Fig. 2.12 representa-se o diagrama pluviométrico, efectuado por um canhão, em condições de vento fraco, e velocidade de deslocação de 40 m/h.

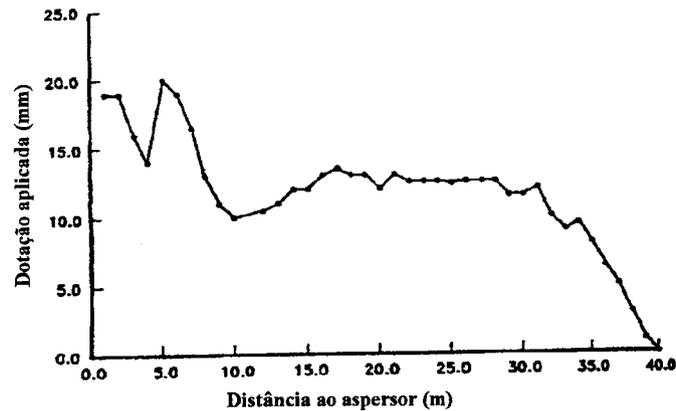


Figura 2. 12 - Diagrama pluviométrico obtido com um canhão, $v = 40$ m/h (Keller e Bliesner, 1990)

Ao efectuar-se a sobreposição de 80 e 90% entre faixas adjacentes obter-se-á uma excelente uniformidade e decerto existirão pontos em que a dotação aplicada será excessiva.

Keller e Bliesner (1990) fornecem uma tabela com os espaçamentos entre faixas recomendados para canhões, com ângulos de trajectória entre 23 e 25° (Anexo III). Os espaçamentos recomendados são função do diâmetro molhado e da velocidade do vento. Usando este espaçamento, situações em que os recipientes a meio da parcela recebem uma dotação inferior à necessária, poderão ser evitadas.

2.3.2.4.6 Falta de uniformidade no início e fim da parcela

Na parte central das faixas regadas, a rega normalmente não apresenta grandes problemas.

A heterogeneidade da rega sobre a faixa, também se deve estudar na extremidade desta, pois mesmo que a superfície afectada não seja considerável, nem sempre se podem admitir perdas.

Poderão ocorrer duas situações no final da faixa regada, quando se pára a rega, atingindo o canhão o limite da parcela, sendo a rega no fim insuficiente e quando se rega para além do extremo da parcela, originando-se perdas de água. A mesma situação poderá ocorrer no início da faixa regada.

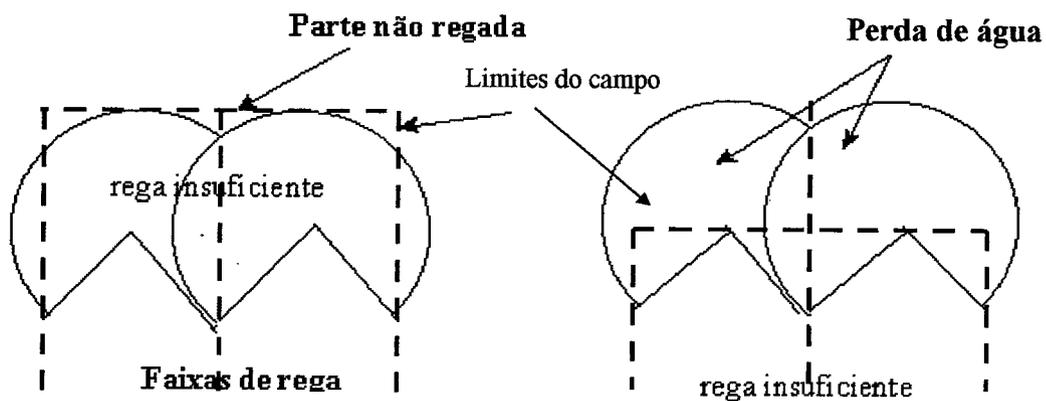


Figura 2. 13 - Situações que podem ocorrer na parte inicial da faixa regada (Rolland, 1986)

Nestas situações ocorre menor aplicação de água no fim, mas também no começo da rega da parcela, por falta de cobertura do modelo de distribuição de água do aspersor, ao não poder deslocar-se o canhão nesses pontos da parcela. No começo da rega, a área molhada recebe uma dotação crescente, desde zero, até ao valor desejado. O mesmo ocorre no final da rega, embora com menores diferenças de água aplicada. Por outro lado, se se regar para além do extremo da parcela, irão ocorrer perdas.

No entanto, equipando as máquinas com temporizadores, podem ultrapassar-se as situações anteriormente referidas, melhorando-se a rega. Estes retardam um pouco o tempo de avanço do canhão no início da rega e permanecem numa posição fixa no fim desta (antes de activarem a válvula de paragem). Estas temporizações podem ser efectuadas com fixação manual do tempo e cálculo automático da duração (em função da dotação programada).

Na Fig. 2.14, o primeiro bloco de diagramas, apresenta a mesma rega, com temporização de 1 hora e 30 minutos, podendo observar-se a melhoria, que se traduz num aumento do CU de 74.2% para 86.8%.

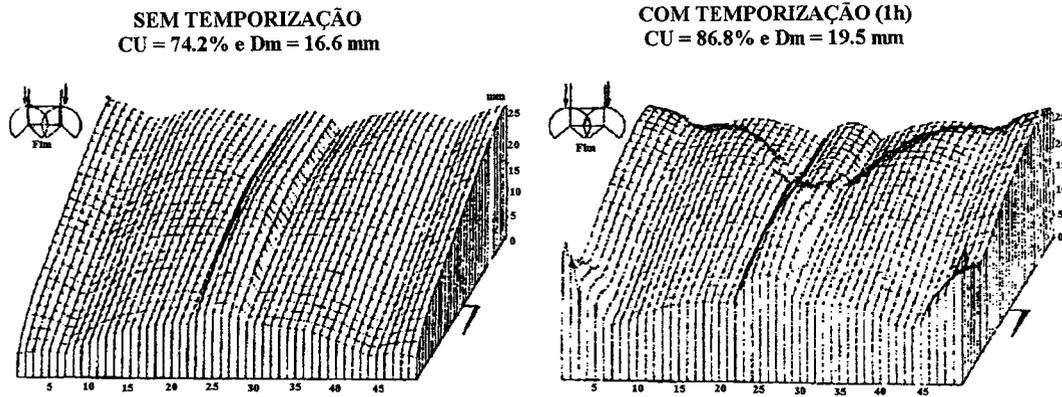


Figura 2. 14 - Diagramas que representam o início da rega com um canhão automotor com enrolador, sem e com temporização, no rectângulo inicial (Rolland, 1986)

Porém, antes de se adquirir o equipamento necessário para efectuar a temporização, deve examinar-se se os incrementos de produção são suficientes para amortizar o custo desta.

2.3.2.4.7 Efeito do vento

As perturbações impostas pelo vento, constituem a grande dificuldade da rega por aspersão, sendo por isso o ponto mais estudado pelos especialistas da aspersão (Augier, 1997; Marco *et al.*, 18989; Matsura, 1993; Seginer, 1991, *in* Tiercelin; 1998).

Na verdade, é incontestável que o vento, com velocidade superior a 4 m/s, provoca normalmente uma distribuição irregular da água, na superfície coberta pelos aspersores (Raposo, 1996).

Normalmente, este é um fenómeno que é subestimado, e até por vezes ignorado na fase de projecto e/ou condução das regas. Sendo um fenómeno episódico, uma solução simples seria que quando o vento ultrapassasse determinada velocidade, e o jacto fosse deformado, se parasse a rega. No entanto, tal procedimento pode diminuir de modo significativo o tempo de rega.

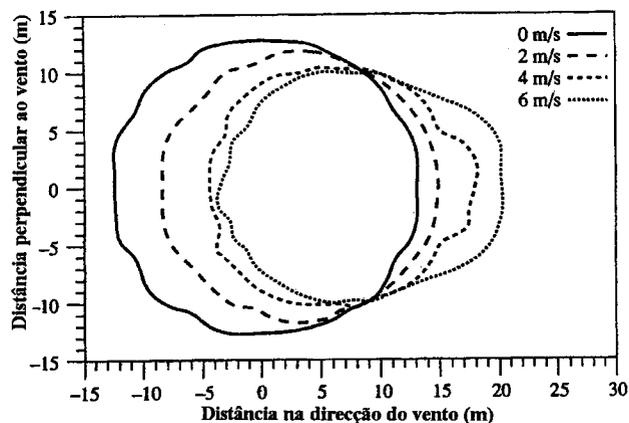


Figura 2. 15 - Perímetro molhado por um aspersor trabalhando com um bico de 3.5 mm, pressão de 300 kPa, com diferentes velocidades de vento (Martin-Benito, 1995)

A procura de uma disposição óptima dentro das condições reais de campo é complexa, sendo caracterizadas para situações típicas variáveis meteorológicas do local, características do solo e o tipo de equipamento de rega utilizado (Augier *et al.*, 1995 in Tiercelin, 1998).

Pode-se no entanto, praticar a rega por aspersão em zonas relativamente ventosas, com inteiro êxito, desde que o problema seja devidamente estudado e adaptada a solução mais apropriada para as respectivas circunstâncias (Quadro 2.1).

Quadro 2. 1 - Valores de uniformidade e de eficiência de aplicação dos canhões com enrolador(Martin-Benito, 1995)

Velocidade do vento (m/s)	Coef. de Uniformidade - CU (%)	Efic. de aplicação - Ea (%)
0 - 2	82	77
2 - 4	70	65

2.3.2.4.7.1 Medidas a adoptar para evitar as desvantagens do vento sobre a rega por aspersão

Algumas das medidas possíveis de adoptar (isoladamente ou em conjunto) para resolver de forma satisfatória este problema são segundo Raposo (1996), o tempo diário de funcionamento, cortinas de abrigo, tipos de aspersor e de instalação e disposição dos aspersores.

Tal como já foi referido, o vento é um fenómeno isolado, podendo variar muito a sua intensidade ao longo das 24 horas do dia, registando-se algumas horas em que desaparece quase por completo. Consequentemente, nas regiões em que isto acontece, devem projectar-se as instalações de rega por aspersão com base no seu funcionamento apenas durante as horas em que este se reveste de menor importância. No nosso País, as horas em que o vento exerce uma maior influência na rega por aspersão, são geralmente as correspondentes ao período nocturno e parte da manhã.

Outra medida poderá ser a instalação de cortinas de abrigo, ou seja, a compartimentação da zona a beneficiar com sebes, que não devem ser totalmente impermeáveis ao vento, para que não ocorram turbilhões. O ideal é que possuam uma permeabilidade de 50%, o que permite que a sua influência se faça sentir até uma distância igual a cerca de vinte vezes da respectiva altura (Raposo, 1996).

Os aspersores mais aconselhados são (Raposo, 1996) os de pequeno ou médio alcance, de sector, e de jacto raso (preferencialmente). O regime de funcionamento deve basear-se numa pressão relativamente elevada, e de diâmetros de agulhetas nunca inferiores a 6 mm (para que o grau de pulverização não seja excessivo).

Nas regiões ventosas, deve dar-se preferência às disposições em rectângulo ou em triângulo isósceles, com a maior dimensão segundo a direcção do vento (Fig. 2.17).

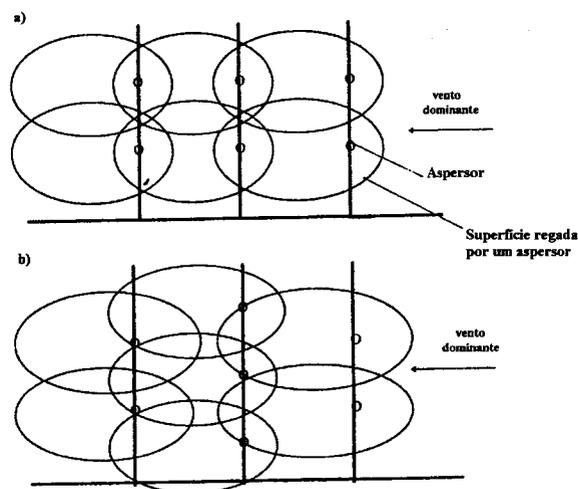


Figura 2. 16 - Disposição dos aspersores favoráveis a situações ventosas (a - disposição em retângulo/ b - disposição em triângulo) (Tiercelin, 1998)

Na generalidade, quanto maior for a velocidade do vento, mais se deve reduzir o espaçamento, para evitar o aumento da heterogeneidade e consequentemente a diminuição dos rendimentos. Por outro lado, não se consegue regular a distância entre duas passagens do canhão em cada rega em função do vento, devendo-se optar por uma distância que corresponda às condições de vento mais prováveis nos períodos de rega críticos para a planta (Rolland, 1986).

Segundo Martin-Benito (1995), os valores de espaçamento entre faixas adjacentes na rega com canhões, em função da velocidade do vento, poderão ser os do Quadro 2.2.

Quadro 2. 2 - Valores recomendados de espaçamento entre faixas adjacentes na rega com canhões, em função da velocidade do vento (Martin-Benito, 1995)

Espaçamento (% diâmetro molhado)	Velocidade do vento (m/s)
80	0-1
75-70	1-2.5
65-60	2.5-5
55-50	> 5

2.3.2.4.7.2 Perdas por evaporação e arrastamento do vento – Estudos realizados

Há muito tempo que as perdas de água por evaporação e arrastamento do vento na rega por aspersão têm sido estudadas em trabalhos de campo, de laboratório, e estudos analíticos. No entanto, os valores obtidos são muito díspares, uma vez que os critérios de precisão utilizados são diferentes.

Segundo Martin-Benito (1995), em ensaios realizados com pluviómetros, as perdas quantificam-se entre 2 e 40% (principalmente entre 10 e 20%), calculando-se com base na diferença entre a dotação aplicada pelos aspersores e a recolhida nos pluviómetros. Em estudos analíticos e de laboratório estas perdas quantificam-se entre 0.5 e 2%.

Heermann e Kohl (1983) consideram um intervalo de perdas por evaporação e arrastamento que varia entre 1 - 2% da água aplicada (limite de 6%), dependendo do tamanho da gota e das condições atmosféricas (tendo por base trabalhos de diferentes autores).

Keller (1990) considera que, em condições normais, as perdas por evaporação e arrastamento variam entre 5 e 10% do caudal descarregado. Não obstante, em condições severas tais como baixa humidade, alta temperatura, dimensão da gota muito pequena, velocidade do vento muito elevada (entre outras), podem ser consideravelmente superiores.

Desde há algum tempo que se têm realizado estudos no sentido de quantificar a porção efectiva de água aplicada pelo aspersor - P_e - que atinge a superfície do solo.

Uma equação que permite quantificar as perdas por evaporação e arrastamento, é a desenvolvida por Fisher e Allen (1988), cit. por Keller e Bliesner (1990):

$$P_e = 0.976 + 0.005 ETP - 0.00017 ETP^2 + 0.0012 V_v - IG (0.00043 ETP + 0.00018 V_v + 0.000016 ETP * V_v) \quad (2.1)$$

onde P_e representa a porção efectiva de água emitida pelos aspersores que atinge a superfície do solo (decimal); ETp a evapotranspiração potencial (mm/dia); V_v a velocidade do vento (km/h) e IG o índice de pulverização.

A expressão é válida para $7 \leq IG \leq 17$. Se $IG < 7$ (gota grossa), deve considerar-se $IG = 7$; se $IG > 17$ (gota fina), considera-se $IG = 17$.

Em qualquer caso, o efeito das perdas por evaporação no processo de aplicação de água ao solo através da rega por aspersão é pequeno, quando comparado com os

efeitos do vento sobre os diagramas de distribuição de água, ou até, com os problemas ao nível da estrutura do solo, devido ao impacto da gota.

2.3.2.5 BARRAS DE ASPERORES

Estes sistemas podem ser considerados como uma variante dos canhões com enrolador, em que se substitui o canhão por uma barra ou ramal com aspersores de pequenas dimensões, sendo o seu funcionamento semelhante ao dos canhões.

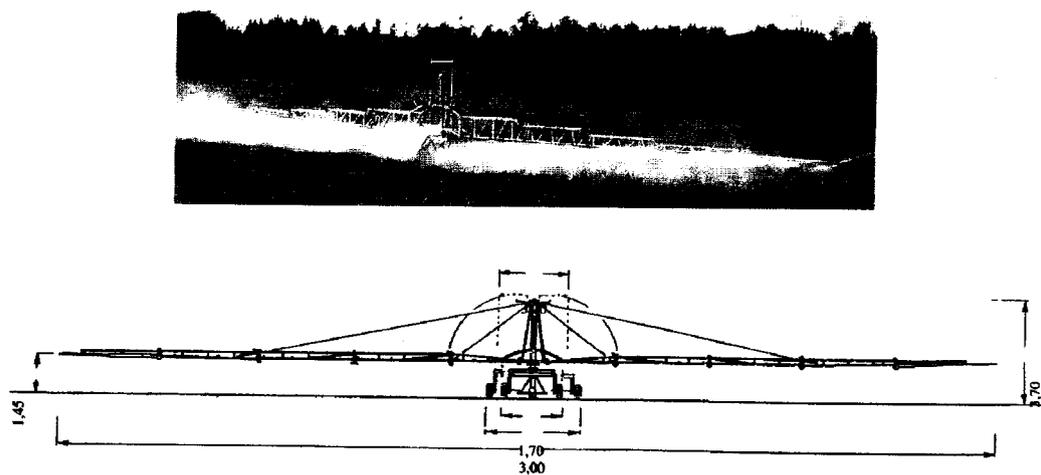


Figura 2. 17 - Barras sobre o carro (Martin-Benito, 1995)

Podem trabalhar a pressões baixas (200 - 250 kPa) com aspersores fixos de pequena dimensão (difusores), e aspersores rotativos de baixa pressão. Também podem ser equipados com tubos verticais suspensos com difusores ($P = 50$ kPa) nas suas extremidades, colocando a água junto ao pé da planta (sem molhar a folhagem), o que pode ser muito útil em culturas como o tomate e o melão, mais sensíveis a doenças quando a sua folhagem está húmida, evitando-se assim uma boa parte dos tratamentos fitossanitários.

De um modo geral, com estes sistemas obtém-se melhor Uniformidade de Distribuição (UD) do que com os aspersores gigantes (canhões). Rolland (1986) realizou ensaios com uma barra de aspersores, com resultados de UD satisfatórios (embora mais ensaios sejam necessários para determinar uma melhor distribuição dos aspersores sobre a barra).

Quando comparadas com os canhões, as barras trabalham com menor pressão e não apresentam problemas quanto ao tamanho da gota, sendo uma solução muito interessante pela grande mobilidade e adequação a diferentes condições de parcelas e culturas. No entanto, estas barras têm que estar bem dimensionadas, para que não ocorra escorrimento, devido à pequena largura da área regada, o que obriga a regas com dotações menores e mais frequentes.

O comprimento da barra pode variar entre 20 e 40 m, regando faixas com largura entre 20 e 50 m, dependendo do comprimento da barra e do tipo de emissor utilizado.

A estrutura das barras baseia-se em vários troços retrácteis, que se podem recolher durante o transporte, voltando a abrir junto de uma nova posição de rega, o que implica maior necessidade de mão de obra relativamente aos canhões enroladores.

2.3.2.6 DIMENSIONAMENTO E CÁLCULO DA REGA COM CANHÕES

Uma possível sequência das etapas a atingir para dimensionar um sistema de rega com canhões é a da Fig. 2.18.

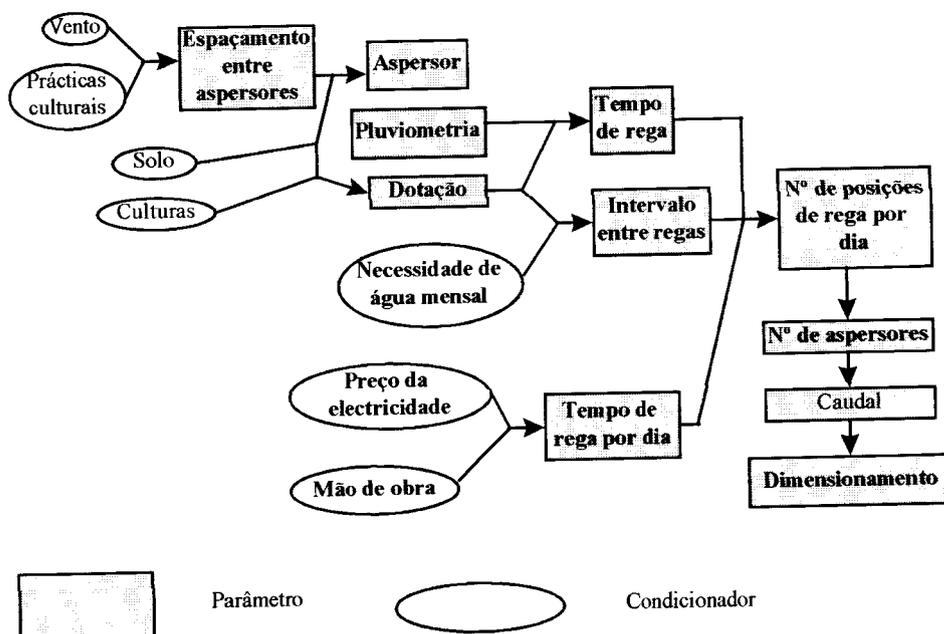


Figura 2.18 - Possível organograma de dimensionamento de um sistema de rega por aspersão (Martínez de Haro, 1993 cit. por Martín-Benito, 1995)

Para efectuar o dimensionamento e cálculo da rega com canhões, são necessários, segundo Martin-Benito (1995) como dados iniciais:

- a carta topográfica do terreno com curvas de nível e detalhes dos obstáculos e impedimentos ao movimento da máquina;
- culturas a regar, assim como as suas necessidades hídricas de ponta e profundidade radical (entre outros);
- tipo de solo, capacidade de retenção da água e permeabilidade;
- caudal e qualidade da água disponível;
- regime de ventos.

Conhecendo todos os dados atrás mencionados, podem efectuar-se os cálculos necessários para dimensionar o sistema de rega, os quais se baseiam em várias etapas (Anexo IV).

Quanto ao **caudal médio de bombagem**, com este tipo de máquina, a duração máxima de uma posição de rega não deverá ultrapassar as 23 horas, ou as 11 horas se forem realizadas 2 posições por dia, a fim de se terem em conta os tempos de mudança necessários.

Ao efectuar-se a **selecção do aspersor**, este deve ter caudal igual ou superior ao requerido. A intensidade de aplicação também não deve ser superior à infiltrabilidade do solo. O Quadro 2.3 pode dar uma estimativa desse valor, em função da textura e do tipo de cobertura do solo.

Quadro 2.3 - Infiltrabilidade do solo em função da textura (Rolland, 1986)

Textura do solo	Infiltrabilidade (mm/h)	
	Solo nu	Solo coberto
Arenoso	25	50
Franco - Arenoso	18	38
Franco - Arenoso	12	25
Franco - argiloso	6	12
Argiloso	2	5

Segundo dados obtidos pelo Cemagref, as **larguras de faixa** recomendadas para diferentes velocidades de vento são as indicadas no Quadro 2.4.

Quadro 2. 4 - Largura de faixa regada dependendo da velocidade do vento (Cemagref, 1992)

Importância do vento	Largura de faixa aconselhada (m)
• Até 10 km/h (Escala Beaufort 2 - brisa ligeira: as folhas estremecem).	$1.6 \times r^*$
• Até 20 km/h (Escala Beaufort 3 - pequena brisa: as folhas e os pequenos ramos const. agitados)	$1.5 \times r^*$
• Até 30 km/h (Escala Beaufort 4 - brisa forte: o vento revolve a poeira e as folhas)	$1.4 \times r^*$
• Acima de 30 km/h	Interromper a rega
r^* alcance do jacto	

Depois de calculada a **velocidade de avanço**, para comprovar a sua constância durante o percurso total, deverá antes comprovar-se a velocidade em cada uma das camadas de enrolamento do tubo no tambor. Se a diferença entre a velocidade mínima constatada e a velocidade máxima não exceder os 10-15%, pode considerar-se que a regulação da velocidade funciona de forma aceitável. Se ultrapassar esse valor, deve ser ajustado um sistema de regulação (geralmente um sensor colocado sobre o tambor de enrolamento, que actua sobre a válvula e que por sua vez faz variar o caudal que passa através do mecanismo de propulsão).

2.4 AVALIAÇÃO EM REGA POR ASPERSÃO

Na rega por aspersão, os ensaios de avaliação são efectuados colocando uma rede de pluviómetros no campo, devendo-se seleccionar uma área da parcela que seja representativa das suas condições médias.

Os objectivos da avaliação em rega por aspersão segundo Merriam *et al.*, (1983), podem traduzir-se do modo apresentado na Fig.2.19.

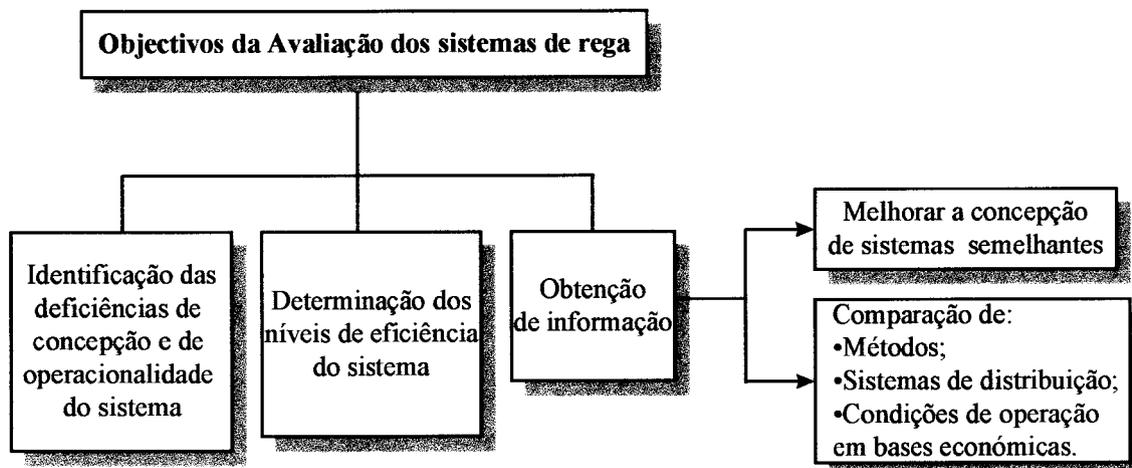


Figura 2. 19 - Objectivos da avaliação dos sistemas de rega (Merriam et al., 1983)

Livingston *et al.*, (1985), assim como Martin-Benito (1995), têm tentado testar os dados obtidos com os pluviómetros, referindo que estes devido ao facto de abrangerem uma área muito pequena quando comparada com a superfície do solo, não representam suficientemente bem o funcionamento do sistema. Martin-Benito (1995), admite uma variação de cerca de 5% sobre os valores reais.

O arrastamento que o vento provoca, caindo as gotas de água fora da zona do teste, assim como a interação que existe entre a geometria dos pluviómetros e o vento (não caindo as gotas de água dentro destes), são factores que fazem com que a quantidade de água recolhida nos pluviómetros não corresponda à que na realidade é aplicada.

Vários são os factores que neste tipo de rega podem afectar o rendimento da cultura, sendo todo o processo complexo e de difícil quantificação, devido ao número de variáveis envolvidas. Quando se pretende identificar a qualidade do sistema de rega, os parâmetros que devem ser considerados são (Martin-Benito, 1995):

- Uniformidade de Distribuição (UD);
- Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CU);
- Eficiência Potencial de Aplicação (EPA).

No entanto, os parâmetros mais estudados e referidos na bibliografia (Merriam e Keller, 1978; Merriam *et al.*, 1983; Rolland, 1986; Martin-Benito, 1995) são a uniformidade e a eficiência.

2.4.1 UNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO

Este conceito não tem uma terminologia e concepção única, sendo frequentemente utilizados 2 termos que quantificam a uniformidade de aplicação:

- Uniformidade de distribuição (UD);
- Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CU).

A uniformidade de aplicação da água é uma medida da regularidade de distribuição da água por toda a área regada. Os sistemas de rega devem aplicar a água uniformemente e em quantidades suficientes para fazer face às necessidades hídricas das culturas, sem encharcar o terreno ou originar escorrimentos superficiais (Silva, 1999b).

Outro aspecto da uniformidade de aplicação de água é a uniformidade de infiltração. O projectista deve ter em consideração as condições topográficas e pedológicas do terreno quando faz a selecção do tipo de aspersores a utilizar (Silva, 1999b).

A uniformidade de distribuição (UD) é um conceito utilizado para expressar a uniformidade de aplicação da água, que compara a altura de água recebida no quartil inferior (dados de 25% dos pluviómetros que menos recolhem - $D_{rec_{qi}}$), com a altura média de água recebida em toda a parcela (recolhida nos pluviómetros - D_{rec}). Pode ser definida como:

$$UD(\%) = \frac{D_{rec_{qi}}}{D_{rec}} \quad (2.2)$$

Outro parâmetro muito utilizado é o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CU), que quantifica a uniformidade com que a água é aplicada numa determinada área. É uma representação estatística da uniformidade, utilizada principalmente nos sistemas de rega por aspersão. Resulta da comparação entre o valor médio de água recolhida em vários pontos de observação (pluviómetros), e os desvios da água recolhida em cada um dos pontos relativamente à média:

$$CU(\%) = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |D_m - D_i|}{D_m n} \right) 100 \quad (2.3)$$

em que D_m representa o valor médio de água recolhida nos pluviómetros, D_i o valor recolhido num pluviómetro e n o nº total de pluviómetros.

Segundo Keller e Bliesner (1990), nos testes em que o $CU > 70\%$, a distribuição pluviométrica é usualmente normal e razoavelmente simétrica em relação à média. Nestas situações, o CU pode calcular-se relacionando a média da altura de água recolhida em 50% dos pluviómetros que menos recolhem ($D_{rec0.5}$) e o valor médio de água recolhida nos pluviómetros (M):

$$CU(\%) = \frac{D_{rec0.5}}{M} \times 100 \quad (2.4)$$

Pode também relacionar-se a UD com o CU (Keller e Bliesner, 1990):

$$CU \cong 1 - 0.63 (1-UD) \quad (2.5)$$

Os dados obtidos nos testes de uniformidade, mesmo utilizando aspersores praticamente idênticos, podem variar numa percentagem significativa (Keller e Bliesner, 1990). A precisão dos dados, resulta num desvio que varia entre 1 a 2%. Solomon (1978, cit. por Keller e Bliesner, 1990), definiu a variação do CU (V_{CU}) e a variação da UD (V_{UD}), através das seguintes expressões:

$$V_{CU} (\%) = \pm [0.2(100-CU)] \quad (2.6)$$

$$V_{UD} (\%) = \pm [0.2(100-UD)] \quad (2.7)$$

2.4.1.1 FACTORES QUE AFECTAM A UNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO

A base de cálculo da uniformidade, são os pluviómetros, e os volumes de água que estes acumulam em cada rega. Presume-se que a altura de água aplicada (que se obtém nos pluviómetros), é igual à altura de água infiltrada (quando não existe escoamento superficial).

Uma aplicação uniforme da água não significa que o sistema é eficiente, dado que a água pode ser aplicada uniformemente em excesso ou em défice. A obtenção de

eficiências de rega elevadas só se consegue, no entanto, com uma boa uniformidade de aplicação da água em todo o terreno.

A uniformidade de aplicação depende de várias variáveis, sendo o seu estudo muito complexo. Várias são as causas que podem provocar a variação do CU, sendo uma das mais significativas o facto de nem todos os factores serem controlados, medidos ou referidos, acabando por ser muitas das vezes ignorados.

Segundo Solomon (1979), os factores que podem afectar o resultado de um teste para determinação do CU:

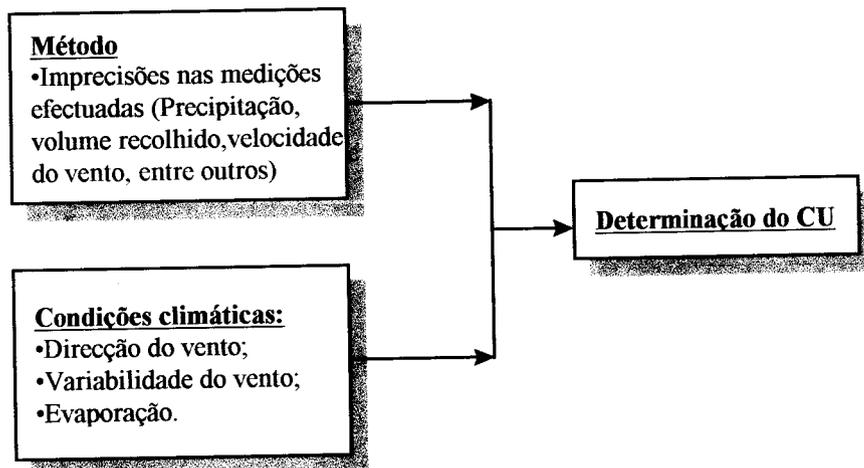


Figura 2. 20 - Factores que podem afectar a determinação do Coeficiente de Uniformidade (Adaptado de Solomon, 1979)

Dos factores acima mencionados, é o vento a variável mais incontrolável. O tipo de aspersor, o tipo do bico, a pressão e o espaçamento são variáveis a ter em conta na concepção e dimensionamento do sistema e que, tal como os factores anteriormente referidos, podem também provocar variações na Uniformidade.

2.4.2 EFICIÊNCIA

A eficiência permite comparar as características de funcionamento de diversos sistemas e podem considerar-se dois indicadores de eficiência:

- Eficiência de aplicação (EA);
- Eficiência potencial de aplicação (EPA).

2.4.2.1 EFICIÊNCIA DE APLICAÇÃO (EA)

Este parâmetro de avaliação expressa a relação entre a fracção de água fornecida ao solo que é armazenada e está disponível para ser utilizada pelas plantas (o que corresponde à média de 25% dos valores mais baixos de altura de água - Du_{qi} e a altura média de água aplicada (Da):

$$EA(\%) = \frac{Du_{qi}}{Da} \times 100 \quad (2.8)$$

Quando Du_{qi} é superior ao valor que o solo pode armazenar na zona de aprofundamento radical: $Du_{qi} = Du$, ficando $EA = UD$.

O volume médio de água infiltrada e armazenada no quartil inferior não pode exceder o défice de humidade do solo. Quando tal ocorre, o numerador da equação será igual a esse valor pois, para além desse valor, a água infiltrada não fica armazenada à disposição das raízes, perdendo-se por percolação em profundidade (Braz, 1998).

A EA resulta da combinação das características do sistema, do modo como ele é gerido, e das condições edafo-climáticas existentes. É um parâmetro difícil de calcular, pela dificuldade em saber qual o volume do solo ocupado pelas raízes das plantas e portanto qual o volume a considerar para calcular a quantidade de água útil para as plantas em cada rega. Isto leva a que muitas vezes a determinação deste termo seja exageradamente simplificada conduzindo a resultados enganadores (Silva, 1999b).

Este indicador é por vezes calculado considerando apenas a diferença entre a água aplicada e a água que chega ao solo (assumindo-se que a água que chega ao solo fica disponível para as plantas), não sendo contabilizadas as perdas por percolação ou por escorrimento.

Um valor baixo de EA é indicativo de uma má gestão da água de rega (Merriam e Keller, 1978; Merriam *et al.*, 1983).

Sendo assim, a EA não é um instrumento suficiente na avaliação em tempo real de um sistema pois, para além de altas eficiências poderem ser obtidas com rega deficitária, também não nos fornece a adequabilidade da UD.

2.4.2.2 EFICIÊNCIA POTENCIAL DE APLICAÇÃO (EPA)

Este é um conceito que surge para comparação de sistemas e métodos de rega, e expressa a relação entre a altura média de água recolhida em 25% dos pluviómetros que menos recolhem ($D_{rec_{qi}}$), e a altura média de água aplicada (D_a) (Merriam e Keller, 1978; Merriam *et al.*, 1983):

$$EPA(\%) = \frac{D_{rec_{qi}}}{D_a} \times 100 \quad (2.9)$$

Um baixo valor de EPA, é indicativo de problemas na concepção e dimensionamento do sistema de rega. Por outro lado, a diferença entre os conceitos de EPA e EA, é uma medida dos problemas de gestão de rega (Merriam e Keller, 1978; Merriam *et al.*, 1983).

2.5 INFILTRAÇÃO

2.5.1 TAXA DE INFILTRAÇÃO

Infiltração, é a entrada de água no solo, através da sua superfície (Santos Júnior, 1987). A sua evolução à superfície do solo exerce uma influência determinante na intensidade do escoamento superficial, enquanto que a propagação e a redistribuição da água infiltrada condiciona o armazenamento de água no perfil, a sua disponibilidade para as plantas e a recarga dos aquíferos. O processo, à primeira vista simples, é condicionado por diversos factores (Santos, 1997).

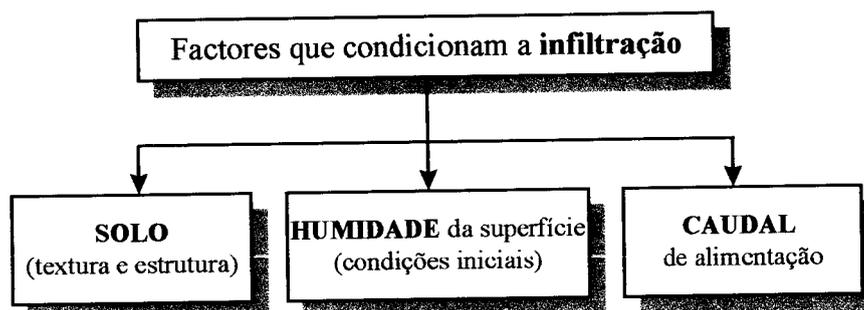


Figura 2.21 - Factores mais específicos que condicionam a infiltração (Santos, 1997)

Quando se aplica água ao solo, sob a forma de rega ou de chuva, surge uma perturbação do perfil hídrico que se irá propagar em profundidade. A água infiltra, devido ao gradiente de potencial que se estabelece entre a camada superficial do solo e o solo seco, que se encontra a maior profundidade.

A taxa de infiltração designa o volume de água que entra no solo por unidade de tempo e por unidade de área e é expressa em altura de água infiltrada por unidade de tempo (Santos Júnior, 1987). O seu valor é máximo no início do processo de infiltração e decresce com o tempo, tornando-se constante para tempos bastante largos (Santos, 1997).

Ainda que a evolução da infiltração com o tempo seja idêntica, diferentes solos, devido à suas características hidrodinâmicas, de textura e de estrutura específicas, apresentam distintas curvas de infiltração (Santos, 1997).

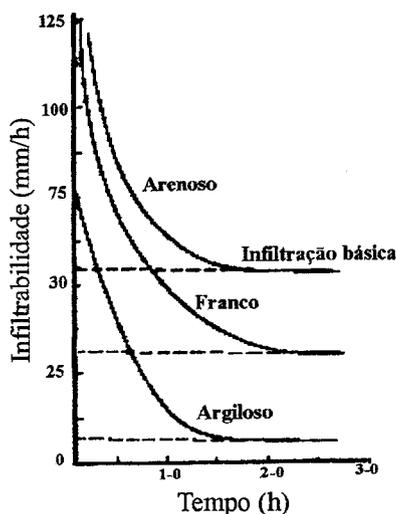


Figura 2. 22 - Curvas de infiltrabilidade para três solos (Adaptado de Santos, 1997)

2.5.2 EQUAÇÕES DE INFILTRAÇÃO

A generalidade dos autores que têm estudado a rega de superfície, nomeadamente através da modelação matemática do respectivo escoamento, têm descrito as características de infiltração do solo através de uma ou mais equações de determinado tipo, de base mais empírica que analítica (Serralheiro, 1988). Esta constatação é inteiramente válida também para a rega por aspersão.

Esta generalizada tendência para obter empiricamente as equações de infiltração dever-se-á certamente à dificuldade de considerar e quantificar todos os parâmetros determinantes para um modelo analítico do fenómeno. Por outro lado, é relativamente fácil obter séries de dados medidos de volumes infiltrados e dos respectivos tempos. Assim, a obtenção empírica dos parâmetros das equações surge como a mais fácil e adequada (Serralheiro, 1988).

As teorias de predição da infiltração são aplicadas aos métodos de rega em que a superfície do solo fica coberta por uma lâmina de água, mais ou menos espessa, durante o tempo de rega, muito variável de método para método (Serafim, 1994).

De entre os vários processos empíricos e teorias fisicamente fundamentadas abordar-se-ão as de Kostiakov, Philip e Lewis.

A equação de Kostiakov “é provavelmente a fórmula mais utilizada nos estudos agronómicos no que respeita a problemas de gestão de recursos hídricos quer a nível de grande escala, ou micro escala” (Tabuada, 1986, cit. por Serafim, 1994).

Em 1932 **Kostiakov**, formulou uma equação que representa o volume (ou altura) de água infiltrada (I) no tempo de infiltração t:

$$I = kt^a \quad (2.10)$$

Em que k e a são parâmetros empíricos, característicos de um determinado solo. O valor de a está compreendido entre 0 e 1 (infiltrabilidade decrescente). A equação de Kostiakov na forma derivada:

$$i = \frac{\partial I}{\partial t} = akt^{a-1} \quad (2.11)$$

De acordo com a equação, à medida que aumenta o tempo e tende para infinito, a infiltrabilidade tende para zero. Mas, como a maior parte dos solos apresenta depois de algum tempo de infiltração, tendência para estabilizar a infiltrabilidade num valor constante, alguns autores como Elliot e Walker (1982), preferem usar a equação de Kostiakov modificada, também conhecida como equação de Lewis ou de Kostiakov-Lewis, que é uma modificação do modelo de Kostiakov, na tentativa de ultrapassar as suas limitações:

$$I = kt^a + ift \quad (2.12)$$

onde, para além dos termos da equação (2.10), aparece a constante i_f , que designa a infiltrabilidade final (estabilizada).

Para além das equações atrás referidas, também a de Horton, Green-Ampt, ou de Philip podem permitir quantificar a infiltração, sendo no entanto a equação de Kostiaikov, tal como já foi referido, a mais utilizada.

2.5.3 DETERMINAÇÃO DAS EQUAÇÕES DE INFILTRAÇÃO

A determinação das equações de infiltração, a partir de testes de campo e de qualquer um dos modelos apropriados ao caso em estudo, é de extrema importância tanto para o conhecimento do escoamento superficial, como para o controlo da água a aplicar ao solo pelos diversos sistemas de rega. Na rega por aspersão, o conhecimento da taxa com que a água pode ser aplicada ao solo sem escoamento superficial, é determinado pelo conhecimento da infiltrabilidade do solo. É ainda este parâmetro, que define em grande parte, o dimensionamento e a gestão dos sistemas que praticam a rega por escoamento de água na superfície do solo, em sulcos, faixas, canteiros ou outros (Santos, 1997).

Em cada um dos sistemas de rega, a infiltração pode ocorrer de diferentes modos. No caso da rega por aspersão a infiltração é monodimensional e processa-se uniformemente por toda a superfície, no sentido vertical.

Para obtenção das curvas de infiltração em rega por aspersão pode utilizar-se o processo de Shockley, ou o infiltrómetro de aspersão.

O **infiltrómetro de aspersão**, consiste num simulador de chuva (Beggs 1981; Reinders e Low, 1985 cit. por Keller *et al.*, 1981) “portátil” que pode ser aplicado em terrenos onde se prevê a instalação de sistemas de rega por aspersão. Trata-se de um aparelho simples, que simula o modo de aplicação de água por um aspersor.

Reinders e Low (1984), desenvolveram um infiltrómetro que basicamente é constituído por um reservatório de água de pequenas dimensões, uma bomba accionada por um motor de explosão e por um aspersor rotativo protegido por uma estrutura que recolhe grande parte da água aplicada.

Quando o aspersor começa a funcionar, a estrutura pela qual está protegido, tem uma janela estreita através da qual passa o jacto de água à medida que o aspersor roda. A água que sai por esta janela, vai molhar uma área de terreno triangular, em que a

intensidade de aplicação vai diminuindo mais ou menos uniformemente à medida que a distância ao aspersor aumenta. O alcance do jacto é de cerca de 3 m (Fig. 2.23).

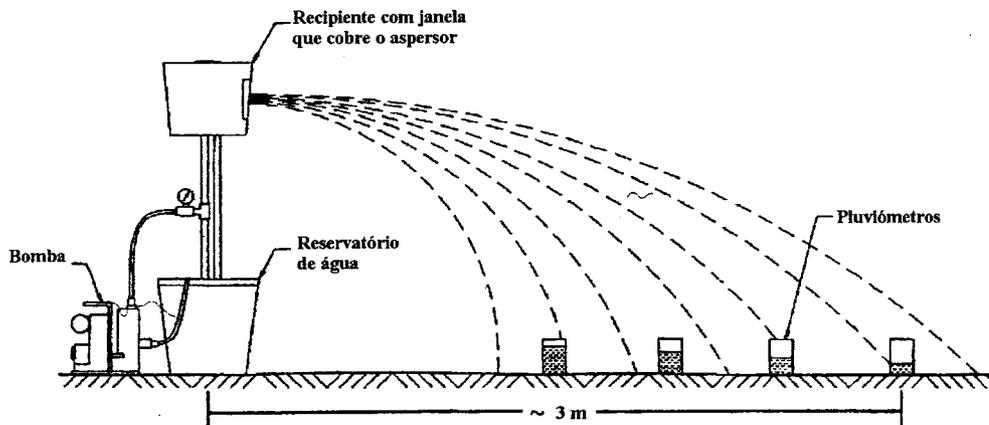


Figura 2. 23 - Infiltrómetro de aspersão (Keller e Bliesner, 1990)

Numa linha perpendicular à janela, sobre o solo, colocam-se recipientes com função de pluviómetro para recolher a precipitação, sendo o 1º colocado a 1.5 m do aspersor, e os restantes distanciados 0.5 m uns dos outros.

Iniciado o ensaio, observam-se permanentemente e atentamente todos os recipientes, contabilizando-se o tempo desde o início, até que o solo junto aos recipientes comece a ficar encharcado, ou seja, até que ocorra a saturação superficial.

Sendo assim, para cada recipiente é registado:

- volume recolhido até ao instante em que na sua área envolvente começa a surgir saturação superficial, ao qual corresponde uma altura de água infiltrada;
- tempo decorrido desde o início da aplicação.

No fim do ensaio, para cada recipiente, teremos um par de dados tempo/volume infiltrado, que serão tratados por regressão linear, aplicando-se logaritmos aos dados para ajustamento da função que se pretende obter e que é do tipo $y = ax^b$, em que a e b são coeficientes a determinar pela regressão.

O teste deve ser realizado numa área representativa de toda a parcela, o qual deve ser submetido a pelo menos duas regas antes do início de cada teste, devido à formação da crosta na superfície do solo, que provoca grande impacto no processo de infiltração. Os resultados revelam que a formação de crosta pode reduzir a aplicação de 25 mm para 2.5 mm (Reinders e Low, 1984).

São necessários no mínimo, 3 pares de valores (tempo/volume infiltrado) para um teste completo, devendo ser a sua duração de pelo menos 30 minutos (Reinders e Low, 1984).

Após finalizado o ensaio, para obter os restantes pares de valores, ou se repete o processo num ponto próximo, ou, no caso de se pretender realizar o ensaio no mesmo local, serão necessários alguns dias de tempo seco para que se possa repetir o teste (Keller e Bliesner, 1990).

Dillon (1972) citando Shockley (1968), descreve outro processo para obtenção das curvas de infiltração, em que o simulador é a própria máquina de rega, que durante todo o tempo, se mantém imóvel, colocando-se em funcionamento apenas o equipamento de aspersão. São colocados recipientes sobre o solo, perpendiculares à máquina de rega, equidistantes 1,5 m.

A obtenção de dados, assim como o seu tratamento, é semelhante ao descrito anteriormente para o infiltrómetro de aspersão.

No processo de Schockley não se coloca a questão de criar um simulador de chuva, porque o próprio sistema de rega, já instalado, praticará, com vantagens, a chuvada que realmente ocorre e as curvas obtidas podem ser tomadas tanto com carácter geral, como local (para redimensionamento do sistema de rega ou reconsideração da gestão da rampa) (Serafim, 1994).

2.5.4 PRECIPITAÇÃO VS INFILTRAÇÃO

O valor da intensidade de precipitação “permitida” numa instalação clássica de rega por aspersão é encarado em comparação com o valor da taxa de infiltração do solo que, como 1ª regra, não deve ser excedida (Serafim, 1994).

A intensidade de precipitação média não deve exceder um certo limite, função das características do terreno, ou melhor, da velocidade de infiltração de água no perfil do solo (Raposo, 1986).

A intensidade pluviométrica que ocorre sobre cada ponto do solo, é para além de outros factores, função da sua distância ao aspersor.

Sendo assim, a intensidade pluviométrica é superior para os pontos que se encontram mais próximos e, quanto maior o afastamento, menor será o seu valor.

No processo precipitação - infiltração, consideram-se 3 fases, sequenciais no tempo:

- **1ª Fase** - Desde o início da chuvada até ao instante t_s , em que a intensidade de precipitação é inferior à infiltrabilidade, $i(t) < q(t)$. Para $t = t_s$ é $i(t) = q(t)$;
- **2ª Fase** - Corresponde ao intervalo de tempo em que a intensidade de precipitação é superior á taxa de infiltração $i(t) > q(t)$. É nesta fase que se gera o excesso de água sobre o solo. Define-se excesso como a fracção de altura de água aplicada com intensidade de precipitação superior à taxa de infiltração do solo. No instante t_f volta a ser $i(t) = q(t)$;
- **3ª Fase** - Desde o instante t_f até ao final da chuvada durante a qual é sempre a intensidade de precipitação inferior à taxa de infiltração potencial, $i(t) < q(t)$.

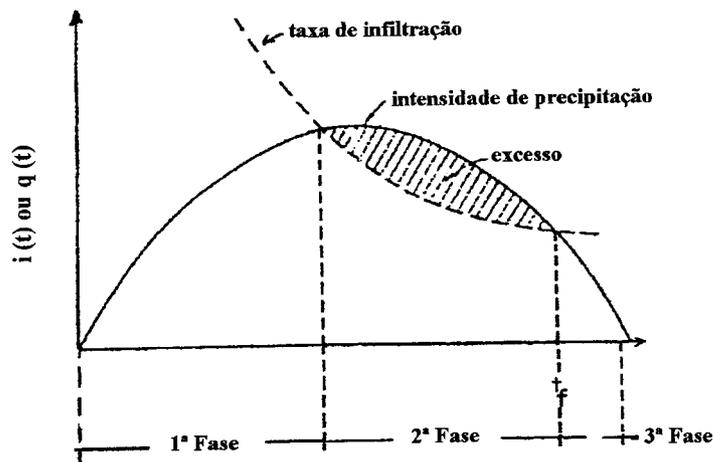


Figura 2. 24 - Abordagem clássica da problemática da precipitação e infiltração (Serafim, 1994)

2.6 ESTABILIDADE DE AGREGADOS

2.6.1 INTRODUÇÃO

Considera-se perda de solo ou erosão do solo, o transporte de material do solo promovido por qualquer agente erosivo para zonas diferentes do seu local de formação. Este processo de modelação da crosta terrestre que promove a aplanagem do relevo, é a

chamada erosão geológica. A intervenção provocada pela actividade humana transforma-a em erosão acelerada (Silva, 1999a).

A erosão é função da erosividade da chuva e da erodibilidade do solo, estando esta última relacionada com a estabilidade dos agregados e com as forças de coesão (Afonso, 1993).

A erosividade da água da chuva traduz-se no impacto da velocidade de queda das gotas de água na superfície do solo e calcula-se através dos índices de erosividade, baseados na energia cinética da chuva (Morgan, 1995).

A erodibilidade é a maior ou menor susceptibilidade dos agregados à erosão, e depende essencialmente da coesão entre as partículas e da resistência que estas oferecem ao escoamento. Por sua vez, a maior ou menor coesão das partículas do solo depende segundo Trout e Neibling (1993) e Morgan (1995), da textura, da estabilidade dos agregados, do teor em matéria orgânica, da capacidade de infiltração e da composição química do solo.

Tanto a erosividade como a erodibilidade decrescem com o tempo, tendo Kabir e King cit. por Neibling (1993) modelado esta variação, com uma função que decresce logaritmicamente com o tempo.



Figura 2. 25 - Factores de que depende a estabilidade de agregados (Adaptado de Trout e Neibling, 1993)

Evans (1980) criou um modelo de erodibilidade, no qual a argila é um indicador. Solos com fracções de argila entre 9 e 30% são os mais susceptíveis à erosão. O uso da percentagem de argila é um indicador da erodibilidade do solo mais coerente do que por exemplo o limo, pois são os agregados e torrões, resultantes da combinação das

partículas com a argila e matéria orgânica, que determinam a resistência do solo à erosão (Morgan, 1995).

Segundo Melhorado (1998) os tipos de minerais de argila presentes também influenciam a estabilidade de agregados:

- Tipo 2:1 - aumentam a probabilidade de formação de agregados, mas por outro lado são instáveis (expansibilidade e contração com o humedecimento e secagem)
- Tipo 1:1 - minerais mais estáveis, com trocas catiónicas limitadas (pequeno espaçamento basal e fraca espessura), mas com poucos pontos de dispersão.

A percentagem de minerais base é um importante factor de estabilidade pois são estes minerais que determinam a resistência de agregados, já que proporcionam as ligações químicas entre as partículas do solo.

A erosão é, deste modo, um processo dinâmico, que envolve o destacamento, transporte, e deposição de partículas. Trata-se de um grave problema, que se torna cada vez mais necessário controlar, no sentido da agricultura sustentável, pois as taxas de perda de solo são superiores às taxas de formação.

Em relação às características físicas e hidrológicas do solo, segundo Silva (1999a) pode actuar-se de 2 modos, ao tentar reduzir-se a erosão:

- dificultar o destacamento das partículas tornando mais resistente a camada superficial ou protegendo-a do embate directo das gotas de chuva;
- reduzir o efeito do escoamento superficial, quer quantitativamente por intermédio do aumento da taxa de infiltração, quer qualitativamente através da diminuição da sua velocidade, aumentando por exemplo a rugosidade da superfície.

No que respeita à resistência ou estabilidade dos agregados à água podem distinguir-se dois processos a desagregação física e a dispersão química das argilas.

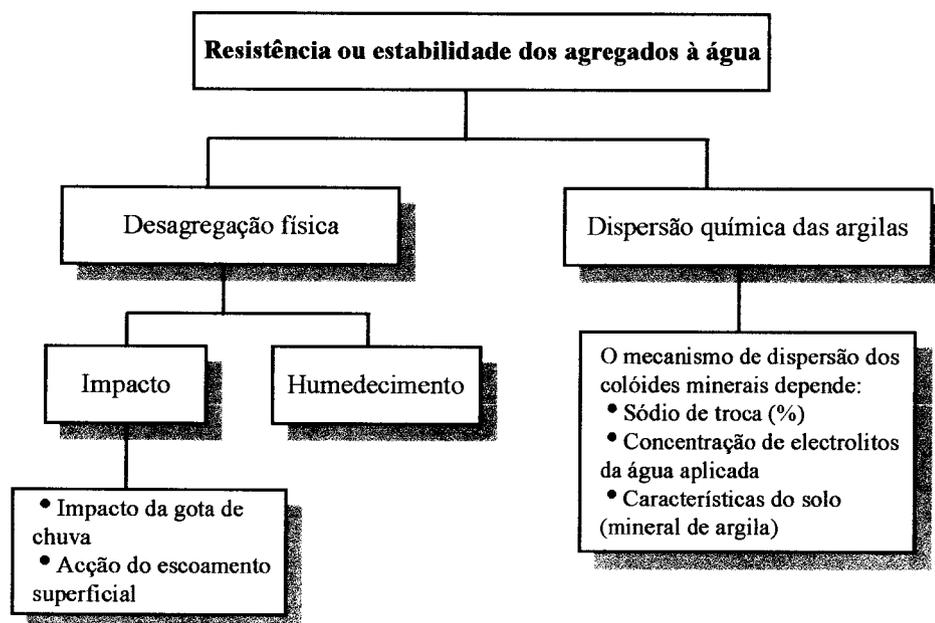


Figura 2. 26 - Resistência ou estabilidade dos agregados à água (Hillel, 1980)

A desagregação por aprisionamento do ar no interior dos agregados secos, surge devido ao humedecimento rápido da superfície externa do agregado. O ar do interior vai sendo progressivamente comprimido à medida que a água avança para o centro do agregado, culminando o processo com o colapso do agregado, libertação do ar aprisionado, e humedecimento completo do fragmentos (agregados) resultantes (Hillel, 1980; Dexter, 1988).

Todos os fenómenos acima descritos (Fig. 2.26), variam de solo para solo, existindo uma variabilidade dos solos na resistência à erosão.

2.6.2 FORMAÇÃO DA CROSTA

A destruição da estrutura e a conseqüente formação de crosta, inicia-se pelo mecanismo de impacto das gotas e pela baixa concentração de electrólito da água da chuva.

A formação da crosta deve-se não só ao embate das gotas de chuva e dispersão física dos agregados, mas também à dispersão química das argilas (Emerson e Grundy, 1954, cit. por Helalia *et al.*, 1988).

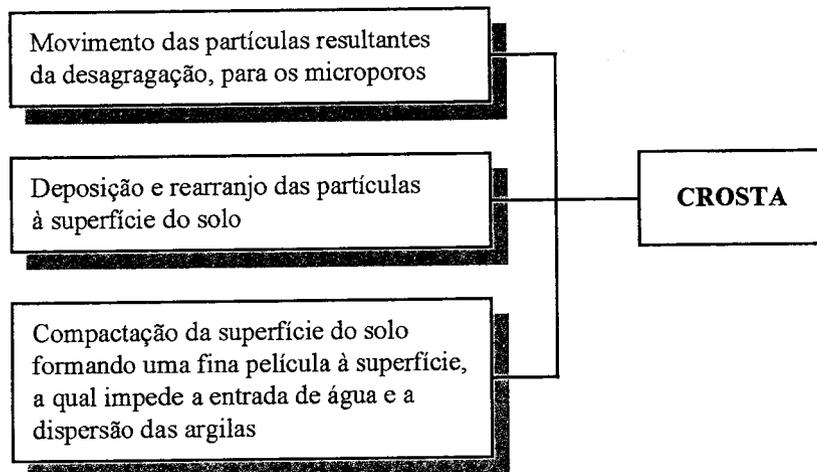


Figura 2. 27 - Acontecimentos que contribuem para a formação da crosta (McIntyre, 1958)

Podem diferenciar-se 2 tipos de crosta (de acordo com os mecanismos que a originam):

- Estrutural (resultante de acções físicas como o impacto da gota de chuva);
- Deposição (formada predominantemente pela dispersão e destruição dos agregados devido ao ar aprisionado).

Os mecanismos de formação da crosta diminuem a taxa de infiltração, resultando um aumento do escoamento superficial, podendo em alguns casos o solo erodir-se. Para além destes factores, uma baixa taxa de infiltração pode originar um uso ineficiente de água e prejuízos nas plantas devido ao alagamento.

A formação de crosta do solo pode ser controlada através da diminuição da energia cinética da chuva, da concentração electrolítica da solução e da estabilidade dos agregados (Afonso, 1993).

Desde há muito tempo que várias práticas e tratamentos têm sido usados com o objectivo de evitar a formação da crosta, aumentando a resistência e a estabilidade dos agregados à água.

2.6.3 TESTE DA GOTA

É devido à influência da estabilidade dos agregados na maior ou menor erodibilidade dos solos que, desde há muito, diversos autores têm proposto diferentes testes de laboratório (teste da gota, teste de formação da crosta, crivagem seca e húmida

dos agregados, entre outros), para classificar o comportamento destes elementos e as consequências da sua maior ou menor estabilidade na diminuição da infiltração.

A estabilidade estrutural dos agregados é um bom indicador não só do material disponível que poderá ser erodido, mas também do escoamento superficial que poderá ser gerado pela precipitação. Por estas razões, diversos autores como McCalla (1944), Smith e Genuda (1950), Low (1954), Atukum (1976), Imesson e Jungerius (1976) e Bergsma e Valenzuela (1981), assumem que o teste da gota pode ser utilizado também como um teste de erodibilidade, e não apenas como um teste de estabilidade estrutural (Silva, 1999a).

2.7 CONDICIONADORES DO SOLO

2.7.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Depois de 1940, vários investigadores demonstraram que diversos microorganismos do solo produziam, através da decomposição da matéria orgânica, polissacarídeos e outros polímeros afins de elevado peso molecular, os quais têm forte poder agregante, facilitando a formação de agregados estáveis em água, mas que o seu efeito é relativamente fugaz, dado que são decompostos por acção microbiana (Costa, 1991).

Em 1951, a Monsanto Chemical Co, anunciou a produção de polímeros sintéticos, com efeito análogo aos produtos metabólicos acima referidos, mas tendo a vantagem de resistir à acção dos microorganismos. O primeiro produto deste género lançado no mercado foi denominado krilium, afirmando-se que, para efeito da melhoria da agregação dos solos, é 50 a 100 vezes mais eficaz do que o estrume. Depois disso apareceram vários produtos similares (ou como tal indicados), destinados a beneficiar a agregação dos solos, e que são em geral designados por condicionadores do solo (Costa, 1991). Na década de 50, vários destes produtos, aplicados em pequenas quantidades, melhoraram rápida e apreciavelmente as condições físicas de muitos solos, sendo esta modificação mantida por um período de tempo bastante considerável, surgindo em numerosos casos, aumento de produção de várias culturas (Costa, 1991).

Os condicionadores do solo são considerados práticas de conservação, utilizados no sentido de se diminuir a erodibilidade, mantendo-se a agregação. Como já foi referido, a preocupação com este tipo de problemas vem de há muito; no entanto, as elevadas quantidades que era preciso aplicar, assim como os métodos de aplicação utilizados para obter resultados satisfatórios, inviabilizavam a sua utilização na agricultura.

Há poucos anos, a situação alterou-se radicalmente, com a descoberta de que alguns condicionadores poliméricos podem ser altamente eficazes em doses muito reduzidas, desde que aplicados com a água de rega. Um dos condicionadores artificiais utilizado é uma poliacrilamida aniónica, PAM, tendo-se mostrado particularmente eficaz na diminuição da erodibilidade dos solos (Lentz *et al.*, 1992; Trout *et al.*, 1995).

Uma das grandes vantagens da utilização deste tipo de condicionador do solo é o facto de ter um custo de aplicação acessível a qualquer agricultor, ser ambientalmente seguro e largamente utilizado como floculante no tratamento das águas municipais, na indústria alimentar e cosméticos (Melhorado, 1998).

No entanto, a acção dos condicionadores é essencialmente de cimentação e estabilização dos conjuntos já existentes de partículas e não propriamente a de provocar a agregação. A condição física favorável assim criada, que em solos mal agregados desapareceria dentro de relativamente pouco tempo, é então estabilizada pela acção dos condicionadores (Costa, 1991).

2.7.2 POLIACRILAMIDA ANIÓNICA (PAM)

A Poliacrilamida, ou como muitas vezes é denominada PAM, é, tal como o prefixo “poli” indica, um químico constituído por muitas subunidades de moléculas de acrilamida. Por sua vez, a acrilamida, é um composto simples orgânico que pode estabelecer ligações a muitas cópias de si mesmo, formando longas cadeias de moléculas, que originam o polímero (Al-Kaisi, 1997).

Há de facto uma grande variedade de PAM, que tal como todos os polímeros, varia com o comprimento e a ionicidade da cadeia formada. As propriedades físicas e químicas da PAM variam, dependendo grandemente do monómero de acrilamida (AMD), que se combina para formar a cadeia de Poliacrilamida (Sojka e Lentz, 1996a).

A PAM usada em água de rega para combater a erosão é constituída por copolímeros, de elevado peso molecular de Poliácrilamida, geralmente 12-15 Mg/mole, o que corresponde a mais do que 150 000 unidades de AMD por molécula. Em cerca de 1 a 5 unidades de AMD, o grupo funcional NH_2 é substituído por um grupo diferencial que dá à molécula do polímero uma carga negativa (aniónica) (Sojka e Lentz, 1996a).

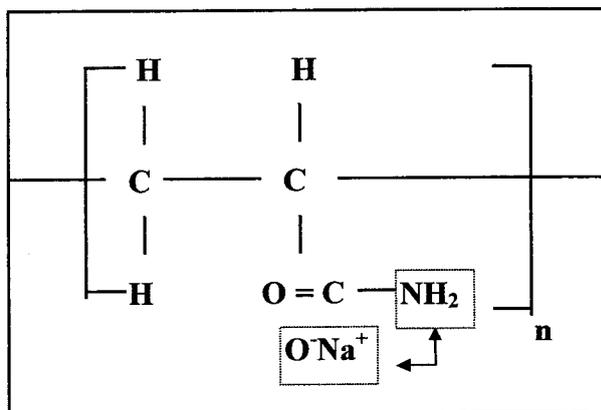


Figura 2. 28 - Descrição do componente de um monómero de acrilamida na molécula de Poliácrilamida (Sojka e Lentz, 1996a)

A substituição que ocorre é a do grupo funcional Na^+ pelo grupo amida. Quando o Na^+ se dissocia em água, a molécula de PAM fica com uma carga negativa, sendo esta uma das suas características (Sojka e Lentz, 1996a).

Tem sido sugerido, que os catiões divalentes na água, ligam a PAM e o solo, incrementando a coesão do mesmo e aumentando o tamanho dos agregados (De Boodt *et al.*, 1990; Barvenik, 1994; Sojka e Lentz, 1996b cit. por Sojka e Lentz, 1996a).

O monómero de acrilamida é uma conhecida neurotoxina. No entanto, as moléculas de PAM são muito grandes, não conseguindo penetrar nas membranas biológicas, o que faz com que o condicionador tenha baixa toxicidade, não sendo conhecidos impactos negativos no solo, nas plantas, ou na água, quando a Poliácrilamida é usada na água de rega (Benham e Yonts, 1998).

2.7.3 COMO ACTUA A PAM?

A PAM aplicada na água de rega, aumenta a coesão do solo e fortalece o contacto entre os agregados, unindo mais eficazmente as partículas do solo que estão expostas. Isto reduz o destacamento e o transporte dos sedimentos no escoamento. A erodibilidade do solo na interface solo/água é reduzida por inter agregados que se unem, e por uma melhor manutenção da rugosidade da superfície. A PAM também pode actuar como um agente que favorece a sedimentação. Floclula as pequenas partículas dispersadas e que são transportadas pelo fluxo de água, causando-lhes sedimentação e deposição (McElhiney e Osterli, 1996).

Quando finas partículas se encontram dispersas no fluxo de água, depositam-se nos poros, reduzindo a taxa de infiltração. A estrutura dos poros com a aplicação de PAM é deste modo mantida, prevenindo-se a redução da taxa de infiltração, o que diminui a quantidade de escoamento, e conseqüentemente, diminui a força do caudal e a capacidade de transporte do mesmo (McElhiney e Osterli, 1996).

A PAM não penetra nos agregados, apenas a sua superfície exterior fica estabilizada (Aase *et al.*, 1998). Actua como um agente de “força”, deixando as partículas do solo juntas, sendo mais difícil para a água, destacá-las do solo (Benham e Yonts, 1998). O seu efeito na estabilidade será tanto maior, quanto menos partidos pela energia de impacto das gotas de água estiverem as ligações entre os agregados (Malik e Letey, 1991; Ben-Hur e Keren, 1997 cit. por Aase *et al.*, 1998). Na rega por sulcos o PAM apenas penetra 2 a 3 mm do solo (Malik *et al.*, 1991 cit. por Aase *et al.*, 1998). No entanto, são estes os milímetros críticos para o processo de erosão (Sojka e Lentz, 1996a).

Num solo que tenha a sua estrutura destruída a PAM não exerce qualquer efeito, pois só actua na estabilização da estrutura do solo existente (Cook e Nelson, 1986; Shaviv *et al.*, 1987; Sojka e Lentz, 1997 cit. por Aase *et al.*, 1998). Quando a água de rega não tem PAM, a estrutura do solo é destruída. Se o tratamento for efectuado, este efeito é reduzido.

A eficiência da PAM aniónica como floclulante, varia com a mineralogia, sendo mais eficiente em condições ácidas do que básicas, e com Ca-argilas do que com Na-argilas. Os resultados sugerem que a ligação com o catião: PAM-Ca-argila, é a ligação que mais surge entre o PAM aniónico e a superfície das argilas (Sojka e Lentz, 1996a).

2.7.4 APLICAÇÃO DE PAM

A maioria da PAM aplicada tem sido na forma em pó, estando agora a começar a usar-se em solução. Este tipo de PAM é constituído por petróleo destilado (30 a 50%). A forma em solução é geralmente usada em rega por aspersão, podendo ser injectada directamente no sistema (Al-Kaisi, 1997).

Aplicar PAM na água de rega, é muito diferente de aplicar a maior parte de outros produtos. Por exemplo, se adicionarmos sal à água, este rapidamente se dissolve, num curto período de tempo. No entanto, quando a PAM é aplicada à água de rega, é necessária turbulência para que a mistura seja bem feita. Sem a turbulência necessária, a PAM não se dissolve imediatamente e vão formar-se flocos, que se depositam. No casos dos sistemas de rega por aspersão os bicos podem entupir se a diluição não for bem efectuada (Benham e Yonts, 1998).

Em tubagens fechadas a PAM em solução é geralmente a recomendada. Usando uma bomba injectora o condicionador pode ser bombeado directamente na tubagem de rega. A turbulência existente na própria tubagem ajuda a misturar a PAM com a água (Benham e Yonts, 1998).

A PAM em solução também pode ser usada em tubagens abertas, no entanto tem que se ter em consideração as alterações da temperatura do ar, que têm influência na viscosidade do condicionador. Para que este efeito seja minimizado, devem colocar-se os recipientes num local em que não estejam em exposição directa ao sol (Benham e Yonts, 1998).

A aplicação da PAM deve ser efectuada na 1ª rega, pois é nesta altura que o solo está mais susceptível à erosão (Al-Kaisi, 1997).

Após a aplicação do condicionador, as sucessivas regas vão fazer com que haja perda de eficiência da Poliacrilamida aniónica, devendo ser reaplicada, pois esta não é efectiva para toda a campanha de regas. No entanto, após a 1ª rega com a aplicação do condicionador, este continua a ter efeito. Factores como o tipo de solo, o declive do campo e o caudal de rega, determinam a eficiência a longo prazo de uma única aplicação de PAM (Benham e Yonts, 1998).

A forma, ou o modo, com que se aplica a PAM, o tempo de rega e a sequência das regas, vão ter bastante influência no modo como o condicionador vai actuar (Sojka e Lentz, 1996b).

Há 40 anos, o uso de estabilizadores do solo implicava a aplicação de taxas da ordem dos 560 a 1120 kg/ha sendo aplicados em “spray” sob o solo. Os altos valores aplicados fizeram com que a PAM não fosse viável economicamente (Sojka e Lentz, 1996a). Actualmente o grande peso molecular da PAM é a razão para as suas baixas taxas de aplicação, pois cada molécula de PAM tem a capacidade de se ligar a muitas argilas e finas partículas de limo ao mesmo tempo (Sojka e Lentz, 1996a).

As pequenas quantidades de PAM a aplicar, para se obterem bons resultados é um instrumento bastante importante. As diferentes texturas de solo, os diferentes declives, tipos de solo, caudais de rega, vão originar diferentes resultados quando sujeitos à mesma concentração de PAM. Pode deste modo ser possível obter bons resultados com diferentes taxas de aplicação (Benham e Yonts, 1998).

Vários foram os investigadores que se dedicaram ao estudo da taxa de aplicação óptima em rega por sulcos e em rega por aspersão. Segundo Benham e Yonts (1998), a taxa de aplicação recomendada é de 1 kg/ha para a rega por sulcos e aspersão. Para Sojka e Lentz (1996b) a taxa de aplicação que maximiza os benefícios segundo 3 anos de estudo é de 0.7 kg/ha. Sendo assim, o tipo de solo, as condições e características da rega, assim como outros factores, vão ter influência na taxa de aplicação, ou seja, na quantidade de PAM a aplicar que maximiza os benefícios do condicionador no solo.

2.7.5 EFEITO DA PAM NA EROSÃO E INFILTRAÇÃO

Muitos solos semi-áridos e áridos, onde se pratica a rega por aspersão, têm sofrido erosão nos seus horizontes superficiais, estando sujeitos, devido à rega, a uma erosão induzida e a uma rápida perda de produtividade, se não forem devidamente acompanhados (Carter, 1993 cit. por Aase *et al.*, 1998).

O escoamento e a erosão aumentam com o aumento da energia cinética das gotas, sendo a erosão mais facilmente controlada. Contudo, a PAM limita a desintegração física dos agregados causada pelo impacto das gotas de água. Smith *et al.*, (1990) e Levin *et al.*, (1991), constataram que o efeito relativo da PAM aumenta com o aumento da energia cinética das gotas de água, sendo mais eficaz na redução da erosão do que do escoamento (Aase *et al.*, 1998).

Segundo Benham e Yonts (1998), quando a rega é efectuada com uma rampa rotativa de baixa pressão, esta contribui para uma pequena porção da perda total de solo

erodido. A maior parte da perda de solo ocorre quando a intensidade pluviométrica é superior à taxa de infiltração, ou seja, quando surge o escoamento superficial.

Em rega por aspersão pode não ocorrer escoamento, a menos que o equipamento esteja com problemas. Para baixas pressões, existem diferentes tipos de aspersores, com diferentes diâmetros, que devem ser seleccionados de acordo com as condições de campo existentes. Por outro lado, pode aumentar-se a taxa de infiltração recorrendo a práticas de conservação (Benham e Yonts, 1998).

A rega por sulcos é o maior contribuinte para a perda de solo, pois enquanto que na rampa rotativa de baixa pressão a água de rega é transportada com a tubagem, na rega por sulcos é o solo que faz a distribuição da mesma ao longo do sulco. Neste método de rega é então necessário o escoamento, que provoca grande perda de solo (Benham e Yonts, 1998).

2.7.6 RESULTADOS EM REGA POR SULCOS

A PAM em rega por sulcos, permite uma maior uniformidade na aplicação da água, e uma maior qualidade e produtividade da cultura. Sem PAM, os caudais nos sulcos causam intoleráveis erosões (Sojka e Lentz, 1996b).

Vários têm sido os estudos realizados em rega por sulcos, em diferentes solos, com diferentes declives e diferentes condições de rega, o que por sua vez origina diferentes aumentos na infiltração e consequentes diminuições da perda de solo.

Em Anexo (V), encontram-se alguns dos resultados obtidos em rega por sulcos com a aplicação de PAM.

2.7.7 RESULTADOS EM REGA POR ASPERSÃO

Comparativamente com a rega por sulcos, menos estudada é a eficácia da PAM quando misturada na água de rega do sistema de aspersão, ou injectada directamente no sistema.

Desde 1980, vários estudos de laboratório têm sido realizados em simuladores de chuva, utilizando solo pré-tratado com PAM, no sentido de caracterizar o seu efeito na erosão e infiltração (Sojka e Lentz, 1996a).

Desde 1980, vários estudos de laboratório têm sido realizados em simuladores de chuva, utilizando solo pré-tratado com PAM, no sentido de caracterizar o seu efeito na erosão e infiltração (Sojka e Lentz, 1996a).

Em Anexo (VI), encontram-se alguns dos resultados obtidos em rega por aspersão com a aplicação de PAM em laboratório e em ensaios de campo.

Actualmente, a eficácia da PAM na redução da perda de solo e no aumento da taxa de infiltração está comprovada, sendo os estudos direccionados noutros sentidos, tal como ao nível dos agregados ou das aplicações isoladas ou consecutivas de PAM para que se atinja um conhecimento mais vasto das capacidades do condicionador e também dos seus efeitos.

Lehrsch *et al.*, (1996), realizaram ensaios de campo com uma barra de rega, funcionando a diferentes pressões para testar a estabilidade dos agregados. Concluíram que os agregados tratados são mais estáveis do que os outros (não tratados), sendo importante prevenir a alta energia das gotas, especialmente nos agregados que se encontram à superfície do solo. Algumas medidas a tomar poderão ser a protecção da superfície com os resíduos das culturas, ou a existência de uma cobertura vegetal no solo.

Bjorneberg *et al.*, (2000), realizaram ensaios em laboratório que tiveram como objectivo avaliar os benefícios da aplicação de PAM em sucessivas regas e numa rega isolada. Aplicou-se a PAM com uma concentração de 3 lb/a numa só rega e em 3 regas consecutivas. Quer as aplicações de PAM consecutivas, quer isoladas, causaram uma diminuição significativa do escoamento quando comparadas com a parcela não tratada. Aplicando o PAM numa só rega, ou em 3 regas consecutivas, reduz-se a perda de solo em cerca de 60 e 80% (respectivamente), quando comparadas com a testemunha. Quer uma só aplicação de PAM, ou aplicações múltiplas, reduzem o escoamento e a perda de solo, no entanto, as aplicações sucessivas controlam mais o escoamento do que só uma aplicação.

CAPÍTULO 3

MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo são descritos os materiais e métodos utilizados no desenvolvimento do trabalho experimental em que se baseou este estudo. Os materiais utilizados compreendem o equipamento necessário às regas (equipamento automotor canhão e barra); à quantificação do escoamento superficial (anéis infiltrômetros e talhões de escoamento); à monitorização da erosão (cones de Imhoff) e do teor de humidade (sonda TDR). Foram também elaborados ensaios de laboratório para caracterização da estabilidade dos agregados, utilizando o Teste da gota.

3.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ENSAIO

3.1.1 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA

A parte experimental do trabalho foi realizada no Campo Experimental e de Demonstração do Divor, que o Departamento de Engenharia Rural da Universidade de Évora conduz na Cooperativa Agrícola do Cabido, freguesia de S. Gregório, concelho de Arraiolos, distrito de Évora. Esta exploração encontra-se parcialmente inserida no perímetro de rega do Divor, tendo o campo experimental servido vários projectos de investigação desde há cerca de 10 anos (Fig. 3.1).

Os ensaios decorreram entre os meses de Julho e Setembro de 1999 e Junho e Setembro de 2000.

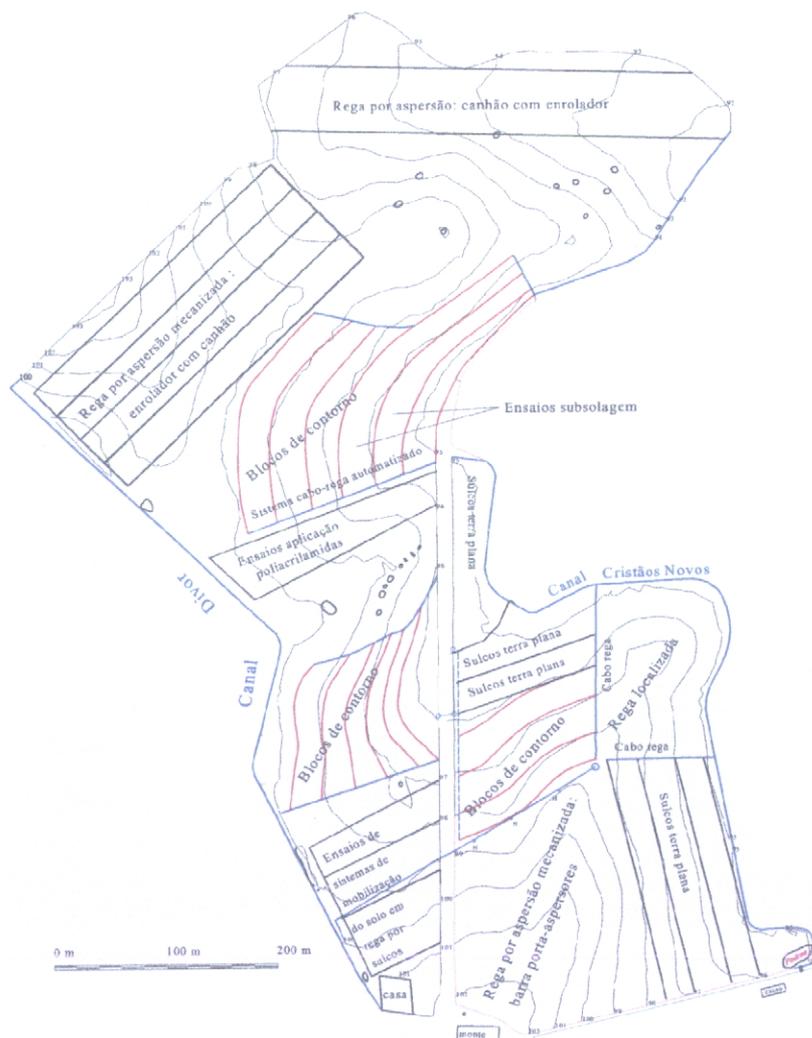


Figura 3.1 - Esquema geral do campo de ensaios

3.1.2 CARACTERIZAÇÃO TOPOGRÁFICA

Do ponto de vista topográfico, a área onde foram realizados os ensaios, encontra-se numa zona de declive de 1%.

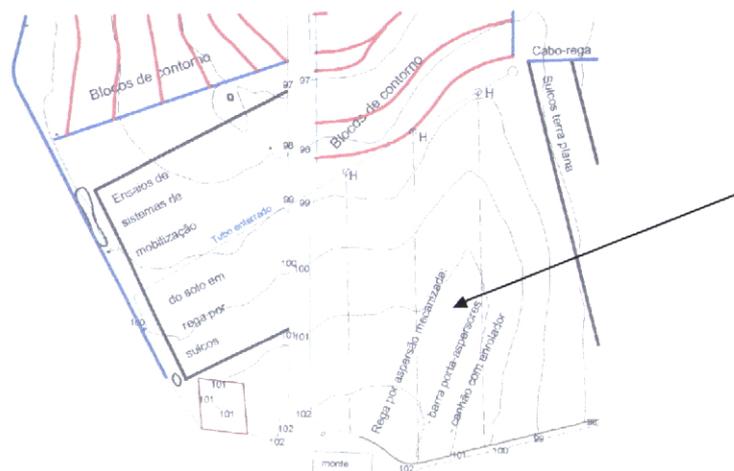


Figura 3.2 - Área onde se realizaram os ensaios

3.1.3 DADOS CLIMÁTICOS

Utilizaram-se os dados climáticos da Estação Meteorológica do Campo Experimental e de Demonstração. A estação, pertencente ao Instituto de Ciências Agrárias Mediterrâneas (ICAM), é explorada e mantida pelo Departamento de Engenharia Rural, com a colaboração técnica do Centro de Geofísica de Évora (CGE).

Os dados climáticos, sintetizados nas seguintes figuras, têm por base os valores médios mensais do ano hidrológico de 1999 (Outubro 1998 - Setembro 1999), por ser neste período que se realizaram os ensaios. Apresentam-se os valores médios mensais da temperatura média mensal do ar (Tar), humidade relativa média mensal do ar (HR), velocidade do vento média mensal (v), precipitação mensal acumulada desde o início do ano hidrológico (P) e da Evapotranspiração de referência, Penman - Monteith (ET_0).

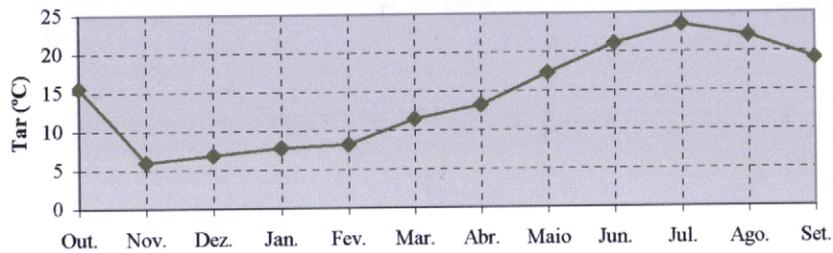


Figura 3. 3 - Valores médios mensais da temperatura do ar, na Estação Meteorológica do Campo de Ensaio, no ano hidrológico 98-99

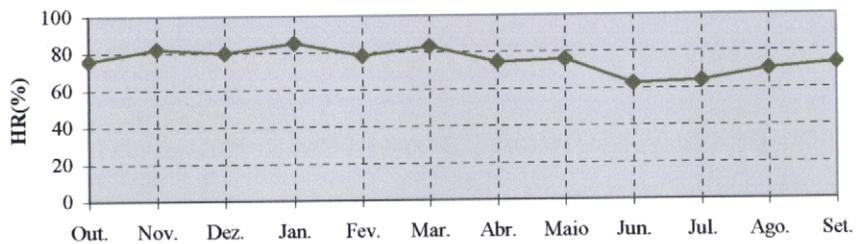


Figura 3. 4 - Valores médios mensais da humidade relativa do ar, na Estação Meteorológica do Campo de Ensaio, no ano hidrológico 98-99

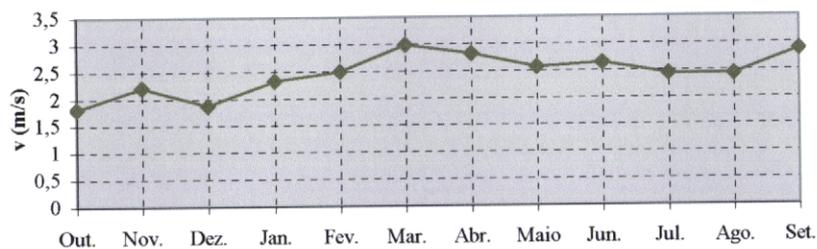


Figura 3. 5 - Valores médios mensais da velocidade do vento na Estação Meteorológica do Campo de Ensaio, no ano hidrológico 98-99

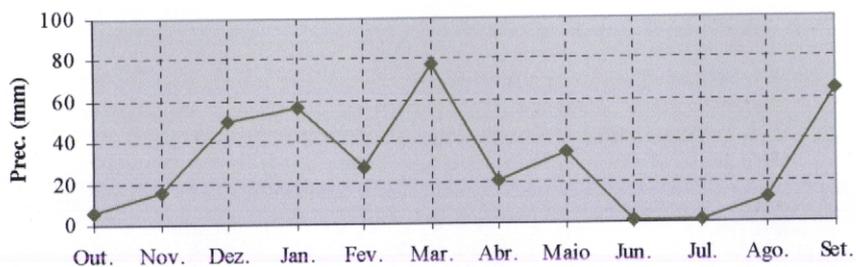


Figura 3. 6 - Valores médios mensais da precipitação na Estação Meteorológica do Campo de Ensaio, no ano hidrológico 98-99

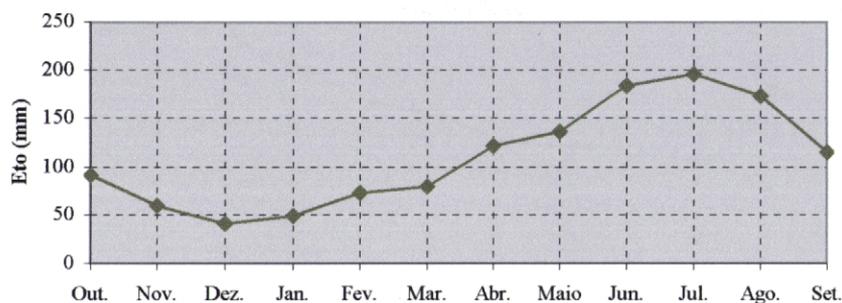


Figura 3. 7 - Valores médios mensais da evapotranspiração de referência, na Estação Meteorológica do Campo de Ensaio, no ano hidrológico 98-99

3.1.4 CARACTERIZAÇÃO HIDROPEDOLÓGICA

A área onde se realizou o ensaio encontra-se representada na carta de Solos de Portugal nº 36 - C e na carta complementar de solos nº 438.

O solo é classificado como Pmg, grupo dos solos Mediterrâneos Pardos de Materiais não calcários, subgrupo Normais de Quartzodioritos. Este solo está incluído na ordem dos solos Argiluvitados Pouco Insaturados, pertencendo à sub-ordem dos solos Mediterrâneos Pardos, correspondendo aos “Ustalfs”, “Normustalfs” e “Vetustalfs” na classificação Norte-Americana e aos “Luvisols” na classificação da FAO (1988) (Cardoso, 1965).

No Anexo VII, encontram-se descritas as principais características deste tipo de solos e o seu perfil característico.

Pinheiro (1990) refere que este tipo de solos é maioritário na Herdade do Cabido, ocupando cerca de 58% da área total. São caracterizados essencialmente por possuírem uma nítida diferença de permeabilidade entre os horizontes A e B, resultante do processo pedogenético de argiluviação. A infiltração é rápida no Horizonte A, até a frente de humedecimento atingir o Horizonte B. A partir desse momento a infiltração quase só se dá horizontalmente. Estes solos apresentam limitações, que resultam da má drenagem interna e da fraca espessura efectiva, devido à existência do Horizonte B muito compacto. No entanto, se forem resolvidos os problemas desta má drenagem interna, estes solos terão um bom potencial produtivo (Serralheiro, 1988).

Os problemas referidos revestem-se de grande importância, atendendo a que cerca de 40% (800 000 ha) dos solos do Alentejo e 26% (1 200 000 ha) dos solos do

País são solos Mediterrâneos, representando estes a maioria dos solos regados do Alentejo.



Figura 3. 8 - Perfil do solo Pmg

3.1.4.1 ANÁLISE TEXTURAL

Por textura, entende-se a proporção relativa, em um horizonte ou camada, de lotes constituídos por partículas minerais de dimensões compreendidas entre certos limites (Costa, 1991).

Vários foram os trabalhos de investigação anteriormente desenvolvidos que determinam a granulometria do solo do campo experimental (Ramos, 1995; Baptista, 1997; Martins, 1998), o que permitiu a determinação das proporções em que se encontram na terra fina (conjuntos de partículas minerais menores que 2 mm), as diversas fracções das partículas minerais, a partir da análise mecânica ou granulométrica (Fig. 3.9).

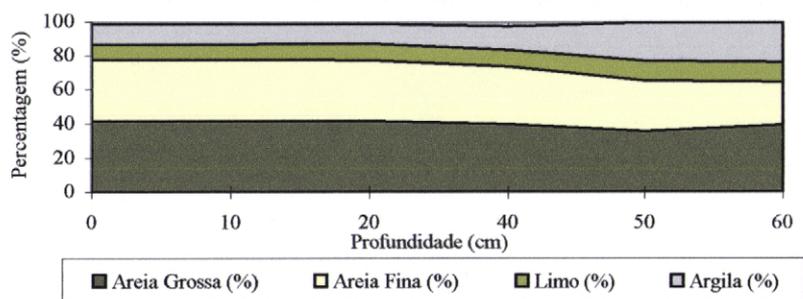


Figura 3. 9 - Análise granulométrica do solo (Adaptado de Ramos, 1995)

No solo em estudo, a quantidade de argila aumenta com a profundidade, o que origina a existência de texturas ligeiras franco-arenosas nas camadas superiores (até 40 cm) e texturas franco-argilo-arenosas nas camadas inferiores.

3.2 DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO DE REGA: ENROLADOR COM CANHÃO E COM BARRA

3.2.1 ENROLADOR COM CANHÃO AUTOMOTOR

O enrolador com canhão automotor utilizado, é um modelo IRROMOTOR 70 (63/270) da VALDUCCI (Fig. 3.10), cujas características se apresentam em seguida.

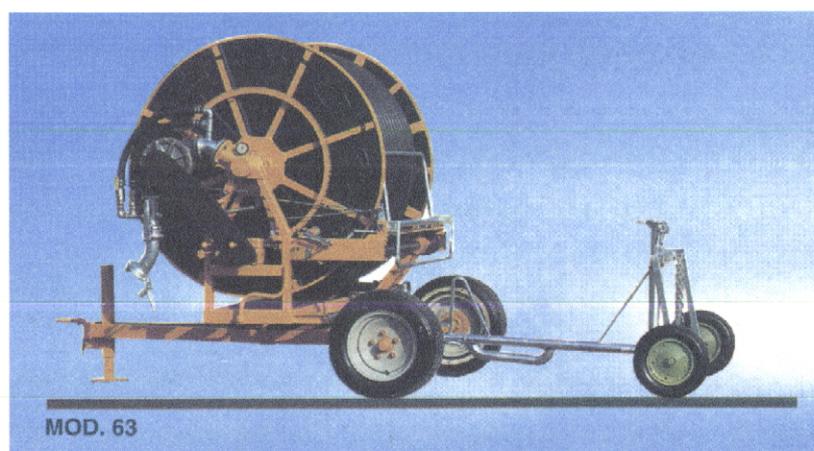


Figura 3. 10 - Canhão automotor com enrolador modelo IRROMOTOR 70 (63/270) da VALDUCCI

Os elementos constituintes do canhão são essencialmente: o carro suporte do tambor, o tambor com o tubo de polietileno e o carro de transporte do canhão ou da barra de aspersores.

O **carro de suporte do tambor** (enrolador) é constituído por um chassis com barras de material galvanizado a quente e duas rodas pneumáticas. O chassis suporta a parte fixa do tambor, que possui uma rotação de 360°. Sobre o chassis que suporta o tambor está montada uma barra metálica que permite recolher o carro de transporte do canhão quando termina a rega da parcela. Um dispositivo automático eleva a barra com o carro e interrompe a rega. O carro suporte do tambor possui um dispositivo que guia o tubo durante o enrolamento, de forma que as camadas da espiral fiquem adjacentes. A peça que guia o tubo é uma pequena barra, com suportes laterais arredondados para não danificar o tubo de polietileno. O enrolamento regular do tubo realiza-se mediante um braço com espiras cruzadas, que roda accionado por um carreto ligado a outro fixo ao tambor.

O **tambor com tubo de polietileno** é formado por um cilindro de material zincado a quente, reforçado por raios, fixos a barras soldadas ao interior do cilindro. O eixo do tambor é sustentado por dois apoios soldados no chassis do carro suporte do tambor. O tubo de polietileno está enrolado no cilindro em camadas justapostas.



Figura 3. 11 - Guia do tubo de polietileno

O tambor é accionado por uma turbina de fluxo parcial de água que alimenta o canhão, passando a restante água por uma conduta de derivação. Do caudal admitido pela conduta de derivação, depende o que chega à turbina. A velocidade de rotação da turbina e portanto do enrolamento do tambor, podem ser regulados, mediante o controlo manual de quantidade de água que passa pela conduta de derivação.



Figura 3. 12 - Sistema de turbina de fluxo parcial

O **carro de transporte do canhão ou da barra de aspersores** é composto por três rodas que garantem a sua estabilidade. Possui um tubo vertical rígido, com uma curva de 90° na base, ao qual se liga o tubo de polietileno. No extremo superior poderá fixar-se o canhão ou a barra com aspersores.

3.2.1.1 O ASPERSOR

O enrolador com canhão automotor anteriormente descrito está equipado com um aspersor que apresenta as seguintes características:

- braço de avanço provido com a colher de guia de posição regulável para variar a velocidade de rotação e de pêndulo registável para variar a frequência dos batimentos;
- braço de inversão que não necessita de regulação;
- intermitência do jacto para assegurar uma perfeita distribuição de água em toda a superfície regada.

O caudal debitado pelo aspersor pode variar entre 12.6 e 27.0 m³/h, dependendo do bico com que este está equipado e da pressão da água na base do canhão. Em Anexo (VIII) apresentam-se os dados técnicos do aspersor.



Figura 3. 13 - Aspersor de braço oscilante

Devido à grande influência da pressão nas condições de rega, instalou-se no canhão um manómetro, para que durante as regas se controlasse este factor.

3.2.2 BARRA COM ASPERSORES

A barra de rega é constituída por uma torre central móvel e articulada, com braços laterais amovíveis, providos de sistema de engate rápido e sustentados por meio de cabos de aço reguláveis. Possui uma envergadura de 30 m, e a sua estrutura é em aço galvanizado, tendo-se adaptado sobre esta tubos de PVC, onde se instalaram os aspersores, pois pretendeu-se avaliar o comportamento de aspersores de impacto de média pressão, e não de nebulizadores, que inicialmente equipavam a barra.

Instalaram-se sobre a barra 4 aspersores, e em cada um destes 4 manómetros, pois poderiam surgir durante as regas diferenças de pressão entre os aspersores, o que implicaria aplicações diferentes de água de rega sobre o solo. As características dos aspersores utilizados encontram-se em Anexo (IX).



Figura 3. 14 - Barra com os quatro aspersores utilizados nas regas



Figura 3. 15 - Manómetros instalados nos aspersores

3.2.3 SISTEMA DE BOMBAGEM

A bombagem da água fez-se através de um grupo motobomba, constituído por um motor directamente acoplado a uma bomba. Esta possui um manómetro, que permite medir a pressão de elevação.

A curva característica da bomba encontra-se em Anexo (X).

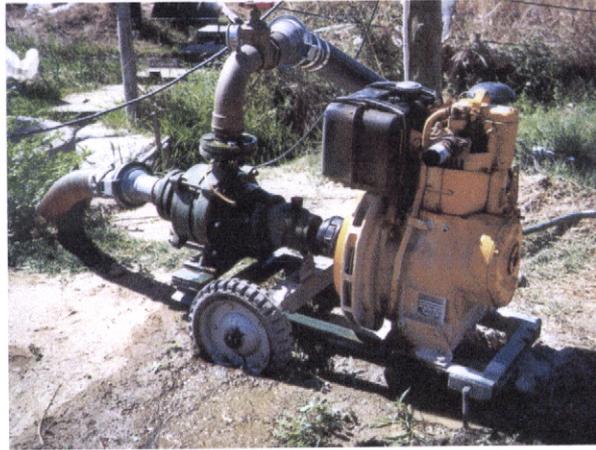


Figura 3. 16 - Grupo motobomba utilizado nas regas

3.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE REGA

Para o dimensionamento do sistema de rega, calcularam-se os parâmetros de rega (dotação útil, real e intervalo entre regas), o caudal de projecto e a velocidade de deslocação e seleccionaram-se os aspersores a utilizar.

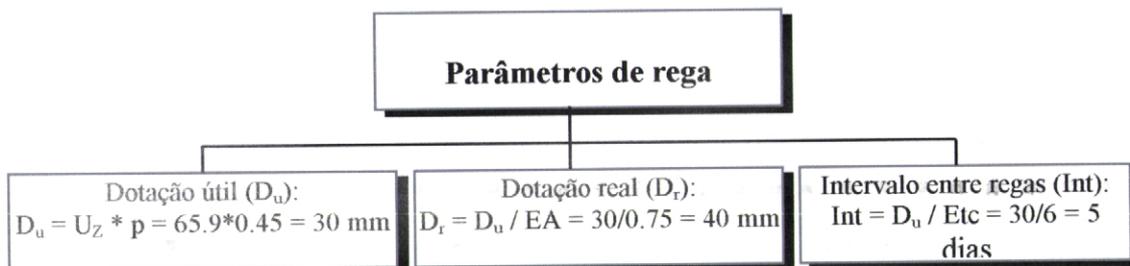


Figura 3. 17 - Parâmetros de rega

em que U_z representa a capacidade utilizável para uma dada profundidade z (mm); p o coeficiente facilmente utilizável; EA a eficiência de aplicação do sistema (decimal) e Etc a evapotranspiração da cultura (mm/dia). Os valores da capacidade utilizável foram obtidos por Ramos (1995), através da diferença entre a capacidade de campo e o coeficiente de emurhecimento (Anexo XI). O coeficiente facilmente utilizável utilizado foi o de Doorenbos e Kassam (1988), sendo este 0.45 e a eficiência de aplicação de 75%.

O caudal de projecto (Q):

$$Q = \frac{ETc * 10000 * A}{EA * Td * 3600} = \frac{6 * 10000 * 3.82}{0.75 * 18 * 3600} = 4.721 / s = 17m^3 / h$$

O trabalho útil por dia considerado foi de 18 horas, prevendo-se a existência de dois turnos de pessoal.

Para seleccionar os aspersores, utilizaram-se os dados técnicos do canhão e dos aspersores utilizados na barra e a combinação diâmetro de bico/pressão de serviço que fornecesse o caudal pretendido.

Quadro 3. 1 - Pressão e caudal correspondente do canhão e barra com aspersores

Modalidade	Aspersores Ø (mm) - pressão (kPa)	Caudal (m ³ /h)
Canhão	16 - 300	16.5
Barra com 4 aspersores	9 - 200	17.2

Na realização dos ensaios foram utilizadas as velocidades de deslocação 10, 30 e 50 m/h.

3.4 AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE REGA

Para efectuar a avaliação do sistema de rega (equipamento automotor canhão e barra), foram necessários diferentes tipos de dados, tais como a velocidade e direcção do vento, caudal debitado, volume de água recolhido nos pluviómetros, velocidade de avanço da máquina de rega, entre outros.

3.4.1 PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO

As avaliações realizaram-se no próprio sistema de rega, utilizando a metodologia de Merriam e Keller (1978), pois segundo Faci (1992 cit. por Martin-Benito, 1995) é uma das mais utilizadas. Os parâmetros utilizados e já anteriormente abordados são os que se encontram representados na Fig. 3.18.

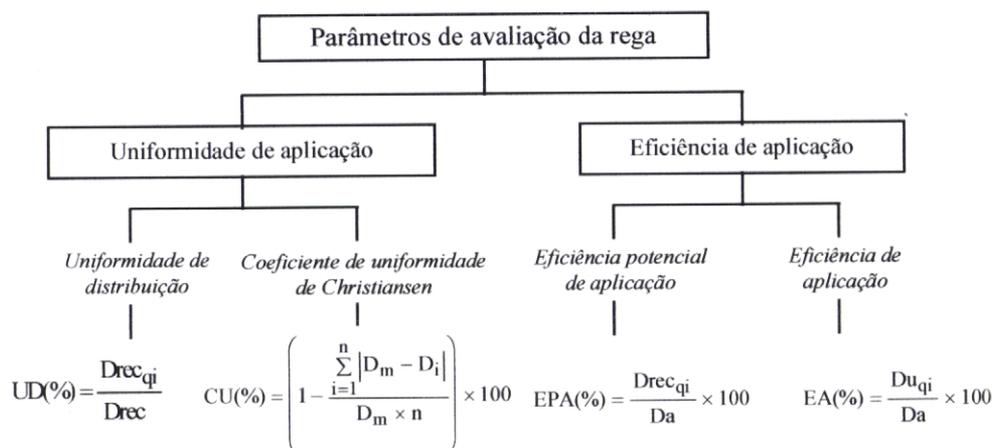


Figura 3. 18 - Parâmetros de avaliação

em que UD representa a uniformidade de distribuição; $Drec_{qi}$ a altura de água recebida no quartil inferior (dados de 25% dos pluviómetros que menos recolhem); Drec a altura média de água recolhida nos pluviómetros; CU o coeficiente de uniformidade de Christiansen; D_m o valor médio de água recolhida nos pluviómetros; D_i a altura de água recolhida num pluviómetro; n o nº total de pluviómetros; EPA a eficiência potencial de aplicação; D_a a altura média de água aplicada; EA a eficiência de aplicação; Du_{qi} a média de 25% dos valores mais baixos de altura de água.

3.4.2 PROCEDIMENTO DE CAMPO

Para uma correcta avaliação do sistema de rega, devem colocar-se 3 linhas de pluviómetros, a meio da parcela, com direcção perpendicular à trajectória do aspersor, para um e outro lado deste. Os pluviómetros devem estar distanciados 3 m.

Segundo Merriam e Keller (1978) uma linha de pluviômetros é suficiente para caracterizar o modelo de distribuição do aspersor. No entanto, podem colocar-se linhas separadas 1 m, com a finalidade de obter repetições.

Nos ensaios realizados, os pluviômetros não foram colocados a meio da parcela, mas sim no início, dado que esta zona é representativa da parcela a regar, e os recipientes de recolha de água abrangem o diagrama total da distribuição do aspersor durante o seu percurso.

Utilizaram-se 2 linhas de pluviômetros, a fim de obter uma repetição dos dados.

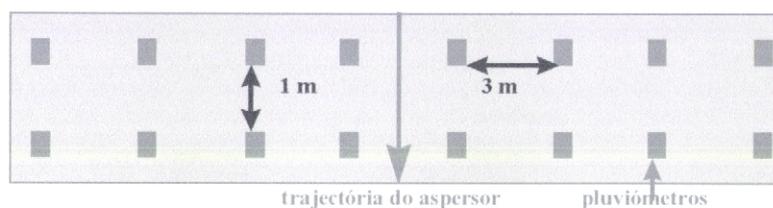


Figura 3. 19 - Avaliação elaborada em campo: esquema de recolha da precipitação



Figura 3. 20 - Realização de um teste de avaliação em campo com a barra

Os pluviômetros, cuja função é a recolha da dotação aplicada, são recipientes de forma cilíndrica, com um diâmetro interno de 8.7 cm, e uma altura de 10 cm, de acordo com as normas da ASAE (1995).



Figura 3. 21 - Pluviômetros utilizados nos testes de avaliação

O desenvolvimento da cultura não pode interferir na recolha da precipitação, pelo que os recipientes foram colocados em suportes telescópicos de aproximadamente 1 m de altura, para que não houvesse interferência da cultura.

Nos ensaios realizados, não se regaram duas faixas adjacentes, no entanto para tratamento dos resultados consideraram-se sobreposições de 15, 25 e 35%.

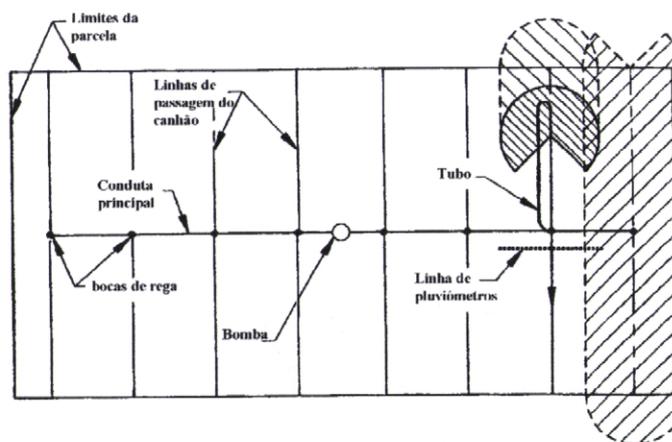


Figura 3. 22 - Esquema de avaliação do equipamento de rega (Keller e Bliesner, 1990)

Para simular as sobreposições, foi necessário numerar os pluviômetros, a partir do centro da parcela que está a ser regada, de uma forma crescente para um e outro lado da trajectória do aspersor:

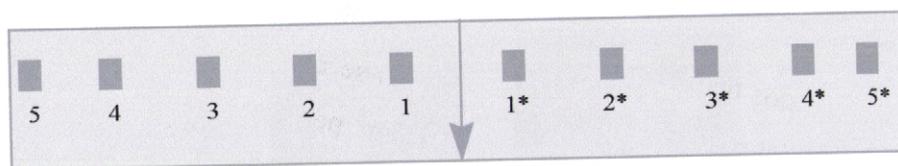


Figura 3. 23 - Numeração dos pluviómetros para sobreposição das faixas

Partindo do princípio que as faixas adjacentes vão ser regadas de igual modo, poderemos somar os valores do volume de água recolhido nos pluviómetros situados à direita, com os valores recolhidos nos pluviómetros situados à esquerda (simulando-se assim a sobreposição).

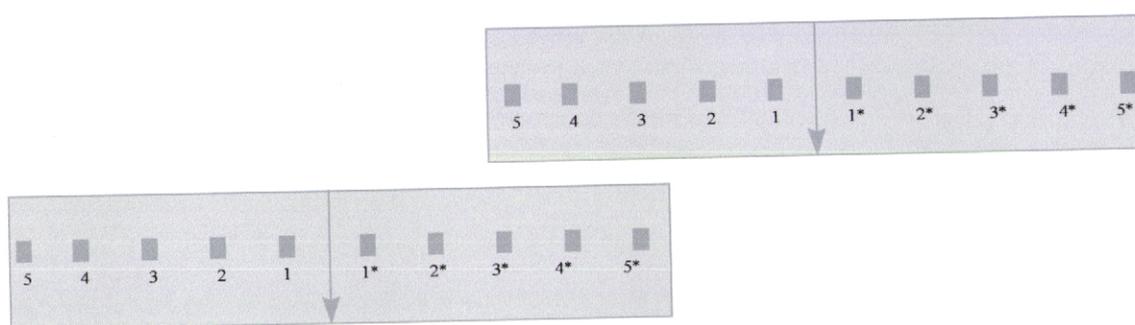


Figura 3. 24 - Sobreposição de duas faixas adjacentes

De acordo com a sobreposição que se pretende, assim é o número de pluviómetros que se sobrepõem.

Após a passagem da máquina de rega, procedeu-se à leitura dos volumes recolhidos em cada pluviómetro, com o auxílio de uma proveta. A leitura deve ser efectuada a partir do instante em que já não haja água a ser aplicada na área abrangida pelos pluviómetros, para que se diminuam as potenciais interferências provocadas pela evaporação.

Antes, durante e após a realização de cada teste, efectuou-se a medição da velocidade do vento, com um anemómetro portátil, a cerca de 2 m de altura do solo, dada a grande influência deste factor no diagrama de distribuição. Quando a intensidade da velocidade do vento exerce uma grande influência no padrão de distribuição dos aspersores, o ensaio não deve ser realizado.



Figura 3. 25 - Anemómetro portátil

Durante a realização dos testes, para além do factor vento, também a velocidade de avanço do canhão automotor foi controlada, efectuando-se uma marca no tubo de polietileno e registando-se a distância percorrida num período de 6 minutos. Multiplicando-se o valor obtido pelo período de tempo (6 minutos) obtém-se a velocidade em m/h. Este procedimento foi efectuado antes e durante cada teste.

3.5 PRECIPITAÇÃO VS INFILTRAÇÃO

Quando a infiltrabilidade do solo (i) é inferior à intensidade pluviométrica (ip), forma-se uma lâmina de água à superfície do solo, ou seja, escoamento superficial, o qual poderá erodir o solo.

3.5.1 DETERMINAÇÃO DA TAXA DE INFILTRAÇÃO - PROCESSO DE SCHOCKLEY

A infiltrabilidade do solo foi calculada de acordo com o Processo de Schockley, que consiste na determinação do tempo necessário para se produzir empoçamento à superfície do solo, para obtenção de uma equação representativa da infiltrabilidade em determinado ponto.

Realizaram-se 3 testes de infiltração, com o equipamento barra com quatro aspersores, a uma pressão de 200 kPa, e com um débito de 4.78 l/s (mantendo-se estas condições constantes nos 3 testes realizados).

Antes de cada teste, retiraram-se 3 amostras de solo da camada superficial, para quantificar o seu teor de humidade e mediu-se a velocidade e direcção do vento. Os recipientes foram colocados sobre o solo, equidistantes 1.5 m, na direcção perpendicular ao movimento de deslocação da barra, que durante o teste se mantém imóvel, apenas funcionando o equipamento de aspersão.



Figura 3. 26 - Realização de um teste de infiltração com a barra

Os recipientes utilizados foram os mesmos que se utilizaram nos testes de avaliação dos sistemas.

Após o início do funcionamento do equipamento de aspersão, observaram-se atentamente todos os recipientes que se encontravam colocados sobre o solo. Quando em redor dos recipientes se começa a formar empçoamento (o que significa que se ultrapassou a infiltrabilidade do solo), regista-se o volume recolhido (o qual

corresponde à altura de água infiltrada), e o tempo decorrido desde o início da aplicação. Posteriormente, a intensidade de precipitação para cada localização, é determinada dividindo a altura de água recolhida pelo tempo correspondente.

Dos métodos estatísticos que se têm usado para ajustamento ou regressão destacam-se o dos mínimos quadrados, o “método dos dois pontos” e um método de ajustamento iteractivo (Serralheiro, 1996).

Segundo Jaynes (1987) e Serralheiro (1988), os ajustamentos verificados para os dados das regas foram melhores no método de optimização iteractiva.

3.6 ESTABILIDADE DE AGREGADOS - TESTE DA GOTA

A determinação da estabilidade dos agregados permite classificar os solos quanto à sua maior ou menor estabilidade. Solos menos estáveis, apresentam maior facilidade em desenvolverem a formação da crosta, diminuindo a infiltração. Muitas são as medidas e os procedimentos a adoptar para se aumentar a estabilidade dos solos, sendo uma delas a aplicação do condicionador do solo PAM na água de rega, que poderá revelar-se um instrumento muito importante no controle e combate da erosão, especialmente em solos como o Pmg, com graves problemas de infiltração. Posteriormente, a aplicação do condicionador será devidamente abordada.

Para determinar a estabilidade de agregados do solo, realizou-se o Teste da gota, que se baseia na determinação do número de gotas necessárias para quebrar um agregado de determinada dimensão.

Inicialmente efectuou-se a crivagem dos torrões de solo, utilizando os crivos de 2.8, 4.75 e 6.3 mm, tendo-se posteriormente retirado as pequenas pedras e os pedaços de gravilha que se encontravam misturados com os agregados.

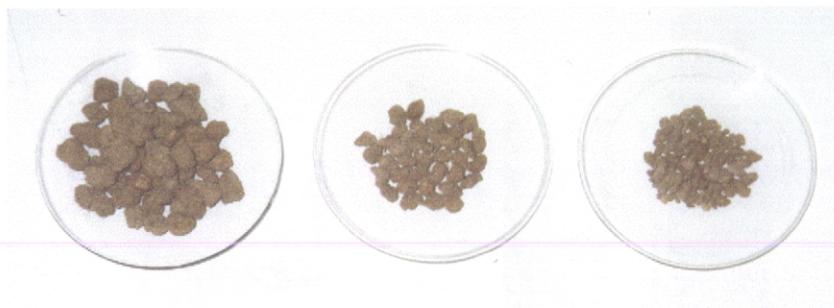


Figura 3. 27- Agregados de 6.3, 4.75 e 2.8 mm utilizados no teste da gota

Para realização dos testes apenas são necessários 30 agregados; no entanto, como estes vão ser humedecidos durante 24 horas, muitos deles colapsam, devendo-se deste modo assegurar a quantidade necessária para cada teste, e escolher cerca de 40 agregados (Bergsma e Valenzuela, 1981).

Depois dos agregados serem seleccionados, são humedecidos, colocando-se um filtro de papel sobre uma camada de areia pura, com uma profundidade de 10 cm, a qual é encharcada por um nível de água permanente a 5 cm abaixo da superfície de areia. A ascensão capilar humedece o papel de filtro e por sua vez os agregados.



Figura 3. 28- Pré-humedecimento dos agregados

Passadas 24 horas, pode iniciar-se a realização dos testes. Conta-se o número de gotas que caem num minuto do recipiente cilíndrico onde se encontra a água destilada, que cai de uma bureta, a uma altura de cerca de 1 m. Com muito cuidado, retiram-se os agregados do papel de filtro e colocam-se no respectivo crivo (de acordo com as suas granulometrias).

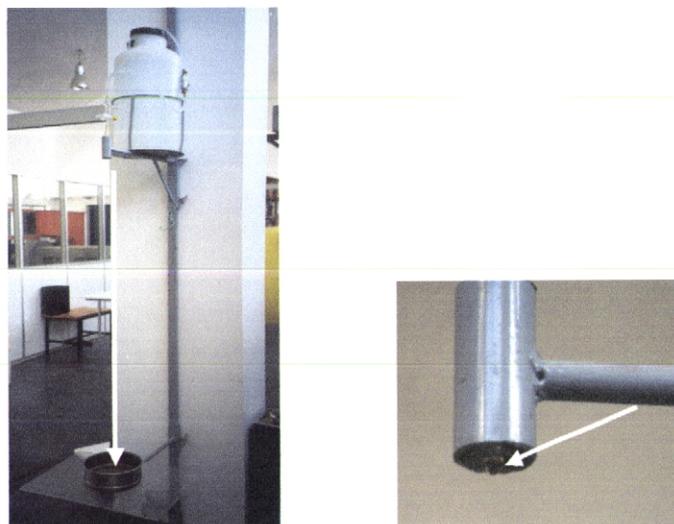


Figura 3. 29 - Realização do teste

Posteriormente, coloca-se um agregado na direcção da queda das gotas, e conta-se o número de gotas necessárias para destruir o agregado, até que o material passe através do crivo que lhe serve de suporte. O teste termina quando tiver sido efectuado a 30 agregados de cada classe de diâmetros.

3.7 APLICAÇÃO DE POLIACRILAMIDA ANIÓNICA NA ÁGUA DE REGA

A aplicação de Poliacrilamida aniónica na água de rega foi efectuada de 2 modos:

- Aplicação das concentrações 1, 2 e 4 kg/ha de PAM na água de rega, com o equipamento automotor canhão e barra, num solo cultivado com girassol, quantificando-se o escoamento superficial com anéis infiltrómetros (Julho - Setembro de 1999);
- Aplicação das concentrações 1 e 2 kg/ha de PAM na água de rega, com o equipamento de rega canhão automotor, num solo sem cultura, quantificando-se o escoamento superficial com talhões de escoamento e a perda de solo com cones de Imhoff (Julho - Setembro de 2000).

3.7.1 APLICAÇÃO DO CONDICIONADOR

Inicialmente houve uma certa dificuldade na aplicação da PAM, dado que a maior parte das bombas que existem no mercado, para debitem o caudal necessário correspondente às concentrações aplicadas, trabalham a pressões muito inferiores às do canhão com enrolador. Adquiriu-se uma bomba que trabalha a grandes pressões, mas que debita pequenas quantidades.



Figura 3. 30 - Bomba utilizada para aplicação de PAM

Para se aplicar a PAM na água sobre pressão, no hidrante que transportava a água de rega adaptou-se uma entrada, onde se instalou a bomba injetora de PAM.



Figura 3. 31 - Aplicação de PAM na água de rega

Antes de se adquirir a bomba que se utilizou na aplicação, outras foram experimentadas e o que acontecia era que não tinham pressão suficiente para injectar a PAM na água de rega. Foi necessário efectuar-se a calibração da bomba, para conhecer o seu modo de funcionamento com a Poliacrilamida aniónica, que sendo uma substância muito viscosa, induz alterações nos débitos da bomba injetora.

A aplicação de PAM fez-se na 1ª rega, tendo-se escolhido o equipamento barra com aspersores, por ser o que à partida induz uma menor destruição da estrutura do solo. A velocidade com que se fez a aplicação foi a velocidade de deslocação de 30 m/h.

Consideraram-se faixas para aplicação de PAM de 25 m.

Cálculos efectuados para aplicação de PAM:

- Velocidade de deslocação do equipamento de rega = 30 m/h
- Caudal = 4.78 l/s
- Área = 1575 m² = 0.1575 ha
- Dado que as faixas eram de 25 m, e a v = 30 m/h, cada faixa foi regada em 0.83 horas
- Taxa de aplicação: 0.83 horas/0.1575 ha = 5.29 horas/ha

Para a concentração de 1 kg/ha:

$$V_{\text{PAM a aplicar}} \times C_{\text{PAM inicial}} = V_{\text{caudal debitado}} \times C_{\text{PAM final}} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow V \times 1 \text{ kg/l} = 4.78 \text{ l/s} \times 10 \text{ mg/l}$$

$$\Leftrightarrow V = 0.172 \text{ l/h}$$

Para a concentração de 2 kg/ha:

$$V_{\text{PAM a aplicar}} \times C_{\text{PAM inicial}} = V_{\text{caudal debitado}} \times C_{\text{PAM final}} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow V \times 1 \text{ kg/l} = 4.78 \text{ l/s} \times 20 \text{ mg/l}$$

$$\Leftrightarrow V = 0.344 \text{ l/h}$$

Para a concentração de 4 kg/ha:

$$V_{\text{PAM a aplicar}} \times C_{\text{PAM inicial}} = V_{\text{caudal debitado}} \times C_{\text{PAM final}} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow V \times 1 \text{ kg/l} = 4.78 \text{ l/s} \times 40 \text{ mg/l}$$

$$\Leftrightarrow V = 0.688 \text{ l/h}$$

Para se ter uma maior certeza relativamente ao caudal que realmente estava a ser debitado pelo canhão e pela barra, utilizou-se um caudalímetro (Fig. 3.32).



Figura 3.32 - Caudalímetro ultra-sónico

3.7.2 QUANTIFICAÇÃO DO ESCORRIMENTO SUPERFICIAL – INFILTRÓMETROS DIFERENCIAIS

O campo de ensaios foi organizado em 4 parcelas, tendo-se instalado em cada uma delas 3 anéis infiltrómetros, modificados para constituírem anéis diferenciais.

Na 1ª parcela, não foi aplicado o condicionador do solo (testemunha), sendo os valores do escoamento obtidos comparados com os das parcelas em que se efectuou o tratamento com a poliacrilamida aniónica.

Quanto à instalação dos anéis, como se pretendeu comparar escoamentos obtidos com diferentes aplicações de água, colocou-se um dos anéis junto da linha de passagem do equipamento de rega, dado que este é um dos pontos em que a intensidade pluviométrica é maior. Os restantes anéis foram colocados a uma distância de 16.5 m da linha de passagem do equipamento de rega, por ser neste local, no caso da barra de rega, que ocorre a sobreposição do raio de alcance dos aspersores; no caso do canhão, onde a intensidade pluviométrica é menor, dado que o raio de alcance destes aspersores é de 28 m.

A localização dos anéis manteve-se em todas as parcelas, para que os valores obtidos possam ser comparáveis, dado que posições diferentes dos anéis infiltrómetros implicam diferentes dotações.

Na 2ª parcela, aplicou-se o condicionador do solo na concentração 1 kg/ha na primeira água de rega e quantificou-se o escoamento superficial com os anéis infiltrómetros nos pontos atrás referidos.

Na 3ª e 4ª parcelas, o procedimento foi semelhante, tendo variado apenas a concentração em que a PAM foi aplicada na água de rega, 2 e 4 kg/ha, respectivamente.

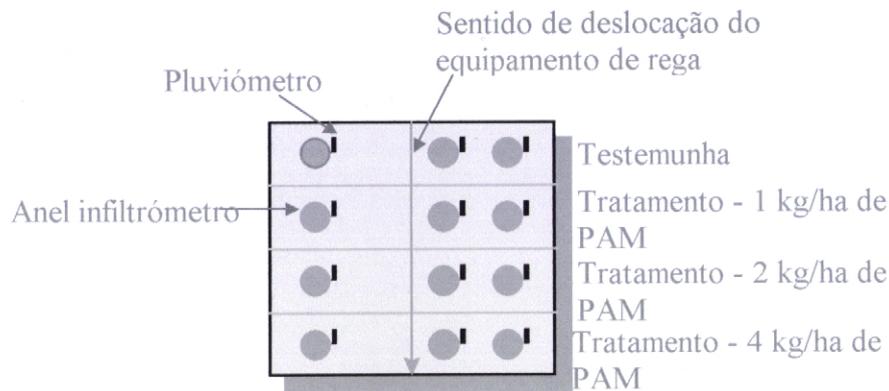


Figura 3. 33 - Organização do campo de ensaio com infiltrómetros diferenciais

A cada anel ligou-se um segmento de tubo, que conduziu a água que excedeu a capacidade de infiltração do solo, após cada rega, para um depósito, constituindo-se assim um anel diferencial. Cada anel foi desenhado com uma altura de 20 cm e um diâmetro de 50 cm. Dentro de cada anel colocou-se um copo (pluviómetro) para quantificar a dotação aplicada. Após cada rega, foram efectuadas as medições da quantidade de água que excedeu a infiltração em cada anel, e que se encontrava em cada depósito. Sendo assim, foi possível em cada rega, a determinação simultânea de 2 parâmetros – intensidade de aplicação e infiltração.



Figura 3. 34 - Anel infiltrómetro diferencial

Para se poder quantificar a infiltração que ocorreu em cada anel infiltrómetro, implantou-se em cada um, um pluviómetro, semelhante aos utilizados na avaliação do equipamento de rega.

Foram efectuadas 9 regas, com diferentes velocidades de deslocação (10, 30 e 50 m/h) do equipamento de rega canhão e barra, sujeitando-se o solo a diferentes quantidades de água aplicada.

Quadro 3. 2 - Velocidades de deslocação do equipamento em cada rega

	Velocidade de deslocação		
	10 m/h	30 m/h	50 m/h
Rega n°	2,5,8	1,4,7	3,6,9

3.7.3 QUANTIFICAÇÃO DO ESCORRIMENTO - TALHÕES DE ESCORRIMENTO

O campo de ensaios foi organizado em 3 parcelas, tendo-se implementado em cada uma delas 5 talhões de escorrimento.

Pretendeu-se caracterizar com este ensaio, a eficácia da aplicação de PAM no aumento da infiltração, não se aplicando o condicionador na 1ª parcela (testemunha) para comparação dos escorrimentos obtidos com os da 2ª e 3ª parcelas, em que se aplicaram as concentrações 1 e 2 kg/ha, respectivamente. Em ambas as parcelas (2 e 3) a PAM foi aplicada ao solo na 1ª água de rega.

Junto de cada talhão foram também colocados pluviómetros, e em 3 locais controlou-se a humidade do solo.

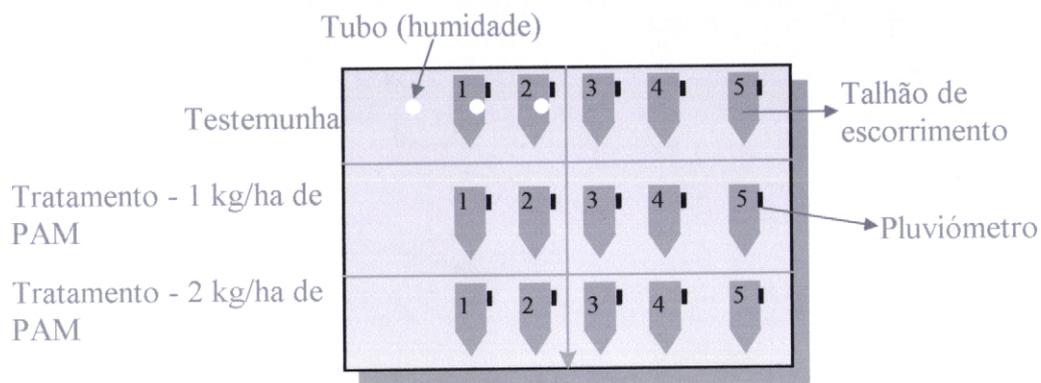


Figura 3. 35 - Organização do campo com talhões de escoamento



Figura 3. 36 - Vista geral do campo de ensaio

Na escolha da localização dos talhões de escoamento, estiveram subjacentes os mesmos critérios utilizados na colocação dos anéis infiltrômetros. Quantificou-se a infiltração nos pontos em que a intensidade pluviométrica é superior (junto da linha de passagem do canhão) e nas zonas em que esta é inferior.

Os talhões de escoamento foram desenhados com uma largura de 1.5 m e 2 m de comprimento. A água que excedia a infiltrabilidade do solo, bem como os sedimentos destacados pelo impacte das gotas, foram conduzidos através de um segmento de tubo para um reservatório enterrado no solo. Após cada rega, foram efectuadas as medições do escoamento recolhido nos reservatórios.



Figura 3. 37 - Talhão de escoamento



Figura 3. 38 - Recipientes de recolha do escoamento

Junto de cada talhão de escoamento foi também colocado um pluviómetro, similar ao utilizado nos anéis infiltrómetros, controlando-se a água aplicada pelo canhão automotor para se poder quantificar a água infiltrada em cada talhão.

A velocidade de deslocação do canhão automotor utilizada nas regas foi constante (10 m/h).

3.7.3.1 QUANTIFICAÇÃO DA PERDA DE SOLO - CONES DE IMHOFF

Tal como a quantificação do escoamento, também a quantificação da perda de solo foi efectuada após cada rega, tendo sido instalados junto de cada talhão suportes onde se colocaram os cones de Imhoff. As recolhas de sedimentos foram realizadas a partir do momento em que deixou de ocorrer escoamento. A recolha foi efectuada nos reservatórios que se encontravam ligados aos talhões de escoamento (atrás

mencionados), sendo depois transferidas as amostras de água para os cones de Imhoff, que se encontravam sustentados por suportes de 1.20 m.



Figura 3.39 - Cones de Imhoff

Depois das amostras de água estarem a sedimentar durante 30 minutos nos cones de Imhoff (Sojka *et al.*, 1992), realizaram-se em seguida as leituras dos valores recolhidos (ml/l de amostra), tendo sido posteriormente convertidas em massa de sedimentos por litro de amostra (g/l), com a equação de calibração dos cones para o solo em causa. Os coeficientes das equações de calibração são apresentados no Quadro 3.4, sendo os valores de x correspondentes ao volume de sedimentos lidos nos cones (ml/l) e os de y à sua correspondente conversão para mg/l.

Quadro 3. 3 - Parâmetros das equações de regressão linear ($y=a+bx$) de calibração dos cones de Imhoff para a estimativa dos sedimentos recolhidos em solo Pmg, e correspondentes às regas tratadas e não tratadas com Poliacrilamida aniónica (Martins, 2000)

Tratamento	Descrição da equação			
	x	a	b	r ²
Testemunha	Volume	0	1.2011	0.98
PAM	Volume	0	1.1206	0.99

A curva de calibração obtida para os cones de Imhoff, no solo tratado com Poliacrilamida:

$$M_s = 1.1206 \times V_s \quad (r^2 = 0.99) \quad (3.1)$$

enquanto que para os sedimentos recolhidos nos talhões testemunha a curva obtida é representada pela seguinte equação:

$$M_s = 1.2011 \times V_s \quad (r^2 = 0.98) \quad (3.2)$$

em que M_s representa a massa de sedimentos de amostra (g/l) e V_s o volume de sedimentos da amostra lido nos cones de Imhoff (ml/l).

Depois de serem convertidos os valores do volume de sedimentos recolhido no escoamento com as equações atrás descritas para massa de sedimentos da amostra (g/l), a determinação da quantidade de sedimentos perdidos é obtida através da equação:

$$P_s(g) = \sum_{i=1}^n M_{s_i} \times Q_{s_i} \times P_i \quad (3.3)$$

em que M_{s_i} representa a massa de sedimentos por volume de amostra (g/l), Q_{s_i} o caudal excedente que não se infiltra (l/s) e P_i o intervalo de tempo entre cada recolha.

A conversão da quantidade de solo destacado dos talhões de escoamento para 1 hectare obtém-se através da seguinte relação:

$$P_s(kg/ha) = \frac{P_s \times 10}{L \times C} \quad (3.4)$$

onde L é o comprimento do talhão (m) e C a largura do mesmo.

Com base no modelo de Sojka *et al.*, (1992) a erosão pode ser determinada empiricamente para cada local em estudo.

3.7.3.2 HUMIDADE DO SOLO

Em cada rega, dado que existe uma relação directa entre o teor de água do solo e a ocorrência de escoamento, foram efectuadas medições da humidade do solo até à profundidade de 50 cm com uma sonda TDR, em 3 pontos que receberam durante a realização das regas diferentes quantidades de água.

Toureiro (1999), elaborou uma curva de calibração para o solo Pmg, obtendo-se coeficientes de correlação da ordem dos 80%:

$$y = 23.22651 + 15.960642 \text{ Ln } x \quad (3.5)$$

em que x representa o valor do teor de água medido com a sonda TDR a diferentes profundidades (%/volume) e y o teor corrigido para o solo Pmg (%/volume).

CAPÍTULO 4

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O presente capítulo é composto por 4 partes. A primeira destina-se à análise e discussão dos resultados da avaliação e caracterização do equipamento de rega, sendo estudadas as uniformidades, eficiências, perdas e infiltração verificadas com o equipamento de rega enrolador, com canhão e barra. Na 2ª parte são analisados e discutidos os resultados da estabilidade de agregados, obtidos com a realização do ensaio laboratorial - Teste da Gota. A 3ª parte destina-se à análise dos resultados da aplicação na água da 1ª rega, com ambas as variedades do equipamento de aspersão, do condicionador do solo Poliacrilamida aniónica, nas concentrações de 1, 2 e 4 kg/ha num solo cultivado com girassol, sendo estudada a infiltração verificada ao longo das regas nos anéis infiltrómetros. Na 4ª parte são analisados os resultados da aplicação de PAM na água de 1ª rega do canhão, nas concentrações 1 e 2 kg/ha, num solo não cultivado. É abordada não só a infiltração verificada nos talhões de escoamento ao longo de todas as regas efectuadas, mas também a perda de solo e a variação do teor de água em profundidade.

4.1 AVALIAÇÃO DO EQUIPAMENTO DE REGA

4.1.1 UNIFORMIDADE

No Quadro 4.1 apresentam-se os valores médios da uniformidade de distribuição (UD) e coeficiente de uniformidade de Christiansen (CU) obtidos em 3 testes realizados, considerando 15, 25 e 35% de sobreposição entre faixas adjacentes, para cada uma das velocidades de deslocação (10, 30 e 50 m/h).

As pressões de funcionamento utilizadas são as recomendadas pelo fabricante com base na combinação diâmetro de bico/pressão de serviço, de acordo com o caudal pretendido. Muitas vezes os valores recomendados pelo fabricante não são os mais correctos, o que se reveste de grande importância, pois é uma das bases de dimensionamento dos sistemas de rega. Deve-se nesse caso, sempre que possível tentar confrontar os dados fornecidos pelo fabricante com os dados observados durante a realização das regas.

Quadro 4. 1 - Valores médios de UD e CU obtidos nas avaliações realizadas, considerando uma sobreposição entre faixas adjacentes de 15, 25 e 35%

	Velocidade desl. (m/h)	Vel. vento (m/s)	Sobreposição (%)	UD (%)			CU (%)				
BARRA COM 4 ASPERSORES Ø = 9 mm P = 200 kPa	10	1.8	15	36	22.1	30	29	55.1	43.7	54.4	51
			25	57.7	35.7	42.4	45	64.1	51.8	63.2	60
			35	68.5	49.3	63	60	71.4	60.5	72.9	68
	30	1.9	15	38.6	19.3	19.7	26	62.8	48.3	47.6	53
			25	59.2	36.7	31.7	43	73.1	55.8	53.4	61
			35	79	55.9	46.2	60	81.6	68.3	67.5	72
	50	1.8	15	19.5	42	17	26	45	55	47	49
			25	37	49.5	32	40	53	65	56	58
			35	51.6	59	49	53	61.1	71	68	67
CANHÃO Ø = 16 mm P = 300 kPa	10	2.4	15	16.4	14.2	14.1	15	48.5	47.2	47.6	48
			25	27.8	23.4	23.3	25	53.7	52.9	52.9	53
			35	40.6	39.9	46.9	42	65.3	63	63.5	64
	30	2.0	15	22.9	12.5	12.2	16	52.1	45	43.9	47
			25	43.9	35.7	23.5	34	53.5	50.9	49.4	51
			35	51	44.4	44.4	47	64.7	58.9	57.8	60
	50	3.0	15	18.2	16.7	16.7	17	52.7	40	40	42
			25	34.5	32.2	24.5	30	61.4	45.2	42.6	50
			35	47.6	30.7	30.8	36	72.5	52.3	52.3	59

Ambos os parâmetros - CU, UD - quantificam a uniformidade de aplicação da água por toda a parcela regada.

Os valores de CU obtidos para o canhão automotor foram baixos (inferiores a 70%), com excepção de um valor, para a sobreposição de 35% e velocidade de deslocação de 30 m/h. Braz (1998) com o mesmo equipamento e o mesmo aspersor (diâmetro de boca 16 mm), a trabalhar à mesma pressão (300 kPa), obteve valores mais elevados, cerca do dobro dos do Quadro 4.1. Dado que, o equipamento de rega foi o mesmo, assim como a pressão de serviço e o diâmetro do aspersor, as diferenças existentes poderão dever-se ao facto da velocidade do vento média ter sido de 2.5 m/s, enquanto na realização dos ensaios de Braz (1998) foi de 1.0 m/s.

Aumentando o diâmetro da boca, ou aumentando a pressão de funcionamento, decerto os resultados obtidos teriam sido superiores pois, à medida que a pressão aumenta, a velocidade inicial das gotas aumenta, originando um aumento da distância percorrida. Para além deste facto, o jacto é mais pulverizado, isto é, contém maior proporção de gotas pequenas (von Bernuth e Gilley, 1984 cit. por Vories e von Bernuth, 1986), sendo estas facilmente arrastadas pelo vento, distorcendo o padrão de repartição de água e aumentando a evaporação.

Na modalidade barra com quatro aspersores (Quadro 4.1), alguns dos valores do CU para a sobreposição de 35% são superiores a 70%. Nesta situação segundo Keller e Bliesner (1990), a distribuição pluviométrica é normal e simétrica em relação à média. Para a velocidade de deslocação de 30 m/h e sobreposição de 35%, obteve-se o valor de 81.6% que, de acordo com Luz (1991), pode ser classificado como bom, e para a sobreposição de 25% um valor de 73.1%.

A velocidade do vento durante a realização dos testes de avaliação com a barra foi inferior à que se verificou durante a realização dos ensaios com o canhão, o que poderá estar em parte na origem da diminuição do parâmetro CU na modalidade canhão quando comparado com a barra.

Tal como para o CU, a UD apresenta valores mais elevados na modalidade barra do que no canhão e também aumenta com a sobreposição, o que à partida seria de esperar pois para as mesmas condições obtém-se melhores valores de uniformidade para a modalidade barra do que para o canhão devido em parte, às condições de funcionamento do próprio equipamento.

Relativamente à UD ($Drec_{qi}/Drec$), os valores obtidos foram baixos, especialmente na modalidade canhão automotor. Na modalidade barra com aspersores

obtiveram-se valores um pouco mais elevados que os anteriores, especialmente na velocidade de deslocação de 10 e 30 m/h e sobreposição de 35% (68.5 e 79%).

Estes resultados permitem concluir que a UD é significativamente afectada pelos valores da dotação nos pontos que se localizam no limite das faixas e que recebem reduzida precipitação em relação ao pretendido. Considerando 35% de sobreposição, apenas a barra com quatro aspersores apresenta alguns valores aceitáveis (60%) para as velocidades de deslocação de 10 e 30 m/h. Os valores mais baixos devem-se à reduzida precipitação média ocorrida no quartil inferior.

De acordo com Keller e Bliesner (1990), um intervalo de valores prováveis para o CU varia entre 60 e 75% neste tipo de equipamento, e para a UD entre 50 e 60%. Os valores obtidos para o equipamento automotor canhão e barra que se encontram nos limites estabelecidos por Keller e Bliesner são cerca de 22 e 52 %, respectivamente.

Com o equipamento automotor com barra obtiveram-se valores de CU e UD mais elevados, quando comparados com a modalidade canhão, diferenças estas que poderão ter sido originadas pela velocidade do vento, que foi superior durante as regas efectuadas com a modalidade canhão. Por outro lado, as condições inerentes ao próprio equipamento, a elevada pressão de serviço e pluviometria de funcionamento (quando comparado com a modalidade barra), facilmente se reflectem em má UD nas regas efectuadas com este equipamento.

4.1.2 VARIAÇÃO DA UNIFORMIDADE EM FUNÇÃO DA SOBREPOSIÇÃO ENTRE FAIXAS

Nas Figuras 4.1, 4.2 e 4.3, foram sobrepostos os dados de uma só passagem da modalidade barra com quatro aspersores, no sentido de simular o funcionamento de uma barra idêntica na faixa adjacente, para a velocidade de deslocação de 10 m/h, 30 m/h e 50 m/h.

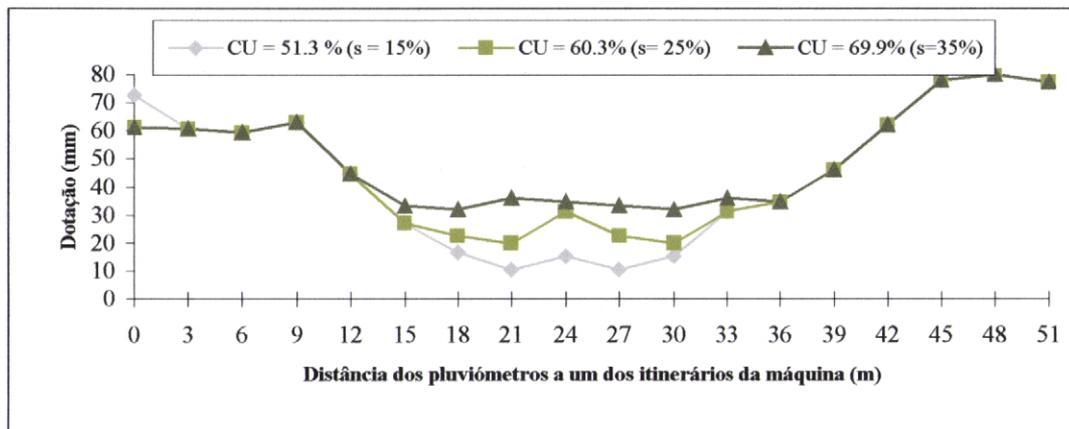


Figura 4. 1 - Variação da uniformidade em função da sobreposição (s), para a velocidade de deslocação de 10 m/h, na modalidade barra com quatro aspersores

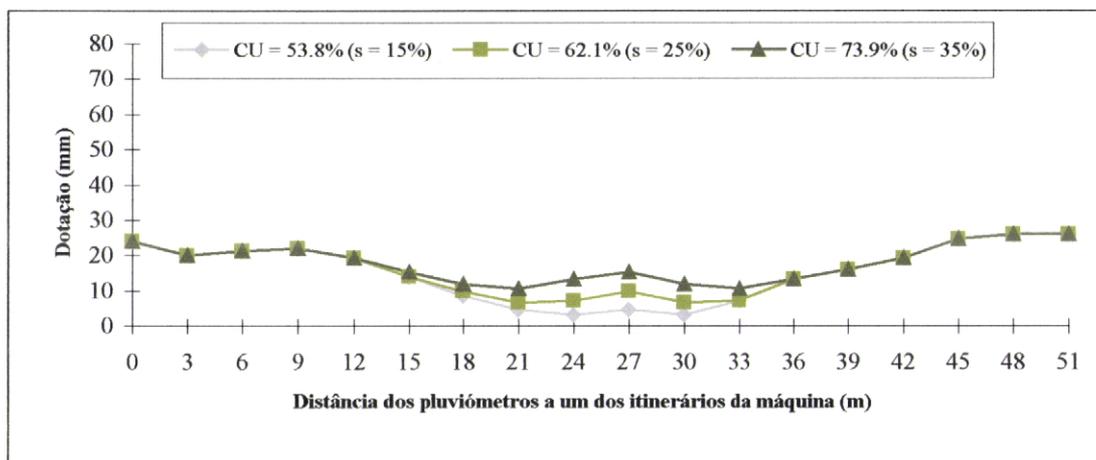


Figura 4. 2 - Variação da uniformidade em função da sobreposição (s), para a velocidade de deslocação de 30 m/h, na modalidade barra com quatro aspersores

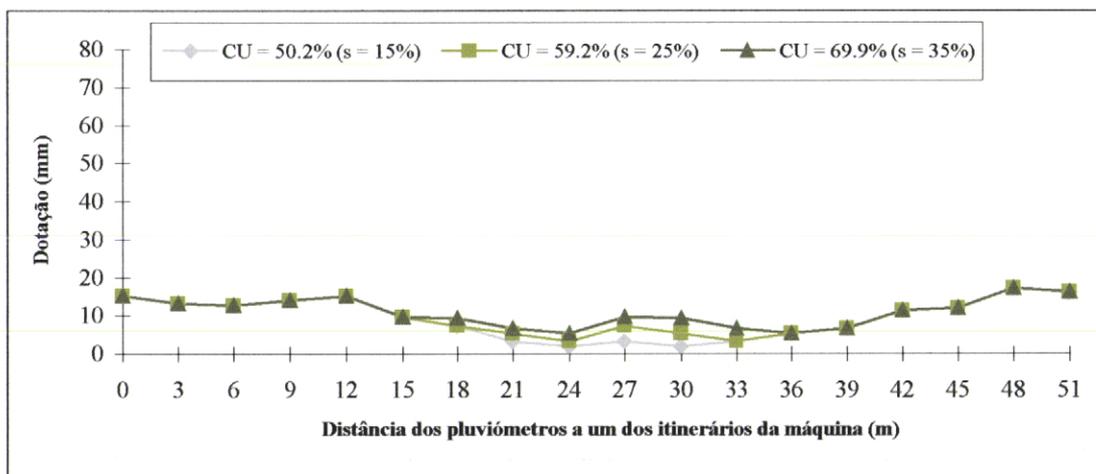


Figura 4. 3 - Variação da uniformidade em função da sobreposição (s), para a velocidade de deslocação de 50 m/h, na modalidade barra com quatro aspersores

Os melhores valores do CU ocorrem para a velocidade de deslocação de 30 m/h, e posteriormente para a velocidade de deslocação de 10 m/h, embora se encontrem muito próximos do anterior. Braz (1998) utilizando a barra com 2 aspersores e diâmetro de 10 mm e as velocidades de 10 e 30 m/h, obteve também os melhores resultados para a velocidade de deslocação de 30 m/h.

Há uma tendência para que o CU aumente com a sobreposição, o que se justifica pela existência de pontos na faixa de rega que recebem uma dotação inferior à pretendida, sendo com a sobreposição de 35% que se obtém maiores valores de CU.

Nas figuras 4.4, 4.5 e 4.6, os dados de uma só passagem foram sobrepostos para a modalidade canhão, no sentido de simular o funcionamento de um equipamento idêntico na faixa adjacente, para a velocidade de deslocação de 10, 30 e 50 m/h.

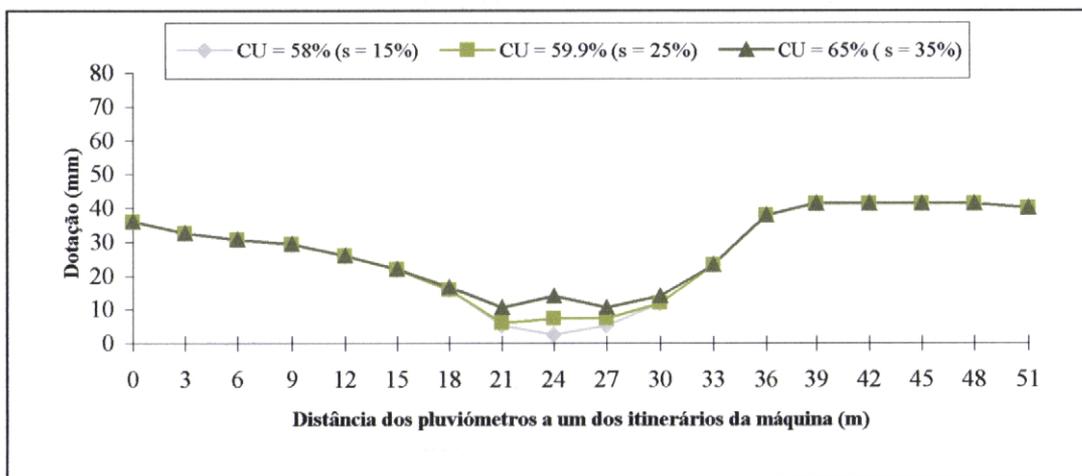


Figura 4. 4 - Variação da uniformidade em função da sobreposição (s), para a velocidade de deslocação de 10 m/h, na modalidade canhão automotor

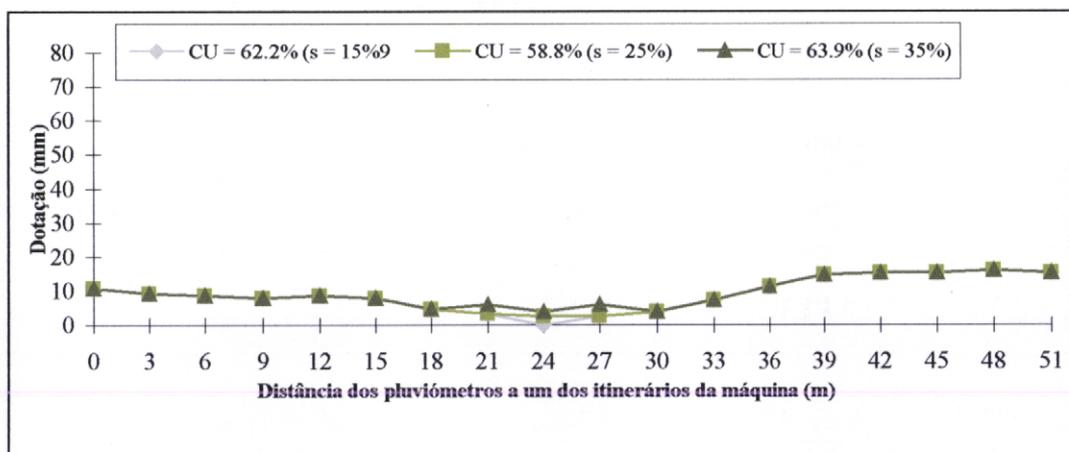


Figura 4. 5 - Variação da uniformidade em função da sobreposição (s), para a velocidade de deslocação de 30 m/h, na modalidade canhão automotor

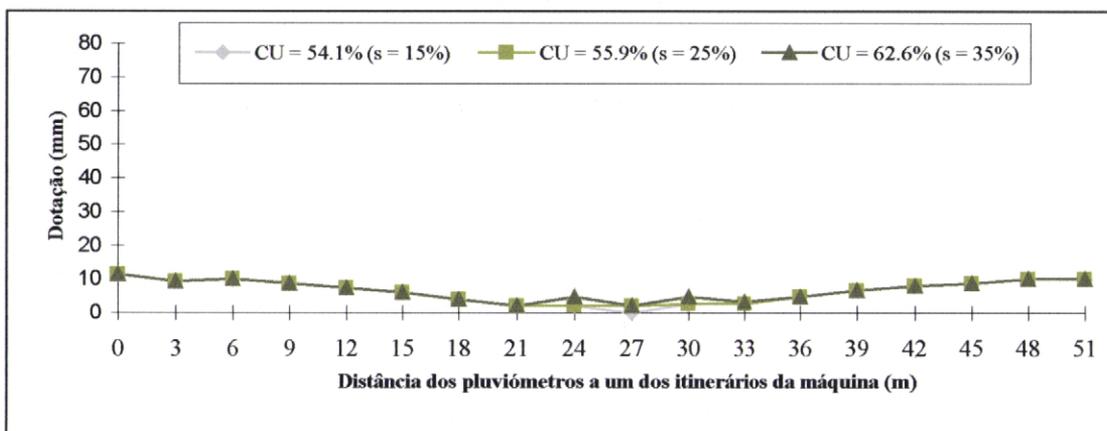


Figura 4. 6 - Variação da uniformidade em função da sobreposição (s), para a velocidade de deslocamento de 50 m/h, na modalidade canhão automotor

Os melhores valores do CU na modalidade canhão automotor ocorrem também com a velocidade de deslocamento de 30 m/h, sendo bastante semelhantes os valores obtidos com as velocidades de deslocamento de 10 e 50 m/h.

Paralelamente ao que acontece na modalidade barra, também para todas as velocidades de deslocamento (10, 30 e 50 m/h) se observa um aumento do valor do CU à medida que se reduz o espaçamento entre faixas. Quanto maior for a homogeneidade na distribuição da água, maior será o valor do CU.

No geral, os resultados das avaliações mostram que, para ambas as modalidades, quanto maior for a velocidade do vento menor terá que ser o espaçamento entre faixas, a fim de evitar aumento da heterogeneidade na distribuição da água e, conseqüentemente, uma diminuição no rendimento da cultura. A velocidade de deslocamento de 30 m/h e a sobreposição de 35% são duas situações que traduzem melhores resultados no CU.

Há que ter em atenção que os valores obtidos representam regas individuais. No período de crescimento de uma cultura, a distribuição de água aplicada ao longo do seu ciclo pode colmatar a falta de uniformidade relativa a uma só rega.

4.1.3 DIAGRAMAS PLUVIOMÉTRICOS

Nas figuras 4.7, 4.8 e 4.9, pode observar-se a distribuição pluviométrica ao longo da faixa regada, no equipamento barra com quatro aspersores, para a velocidade de deslocamento de 10, 30 e 50 m/h. Verifica-se que os principais desvios em relação à

média ocorrem nas proximidades da linha de passagem da máquina, sendo estes provocados pelo vento.

Nos limites da faixa verifica-se uma zona de défice pluviométrico, que diminui à medida que diminui o espaçamento entre faixas. Na zona central, em todas as figuras a dotação recolhida nos pluviómetros é superior à dotação média aplicada, o que se deve ao facto de ser nestes pontos que a intensidade pluviométrica é maior, sendo também menos influenciável pela velocidade do vento.

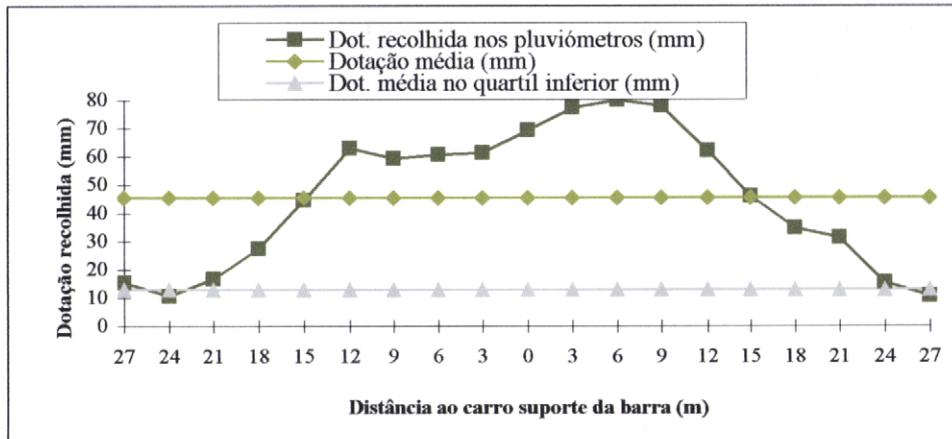


Figura 4. 7 - Diagrama pluviométrico da barra com quatro aspersores com velocidade deslocação de 10 m/h e velocidade do vento média de 1.8 m/s

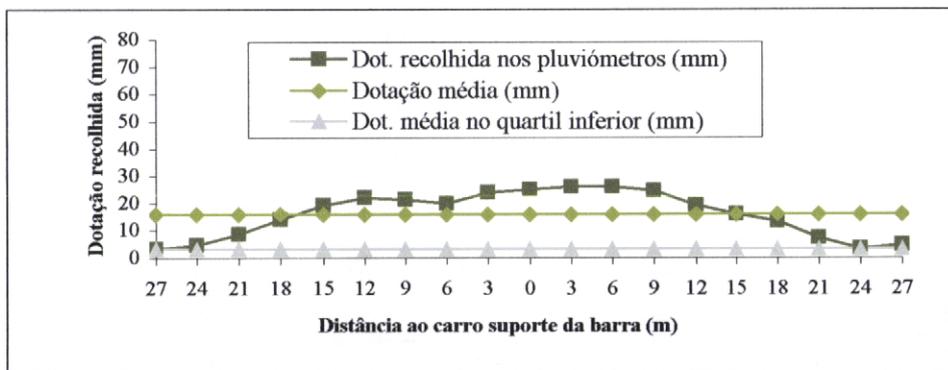


Figura 4. 8 - Diagrama pluviométrico da barra com quatro aspersores com velocidade deslocação de 30 m/h e velocidade do vento média de 1.9 m/s

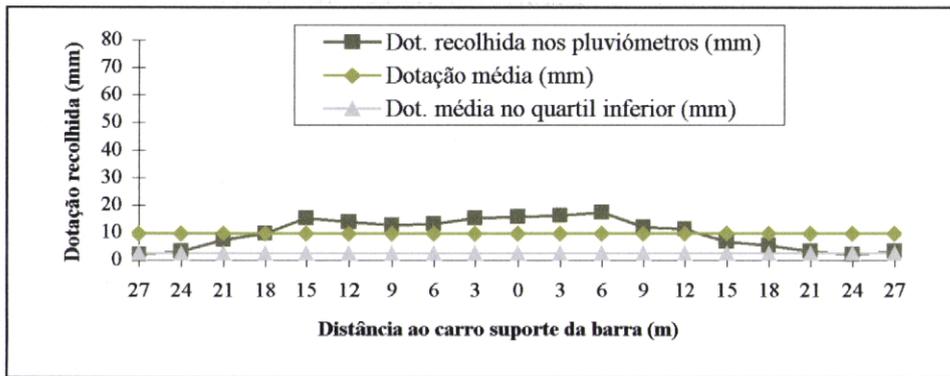


Figura 4. 9 - Diagrama pluviométrico da barra com quatro aspersores com velocidade deslocação de 50 m/h e velocidade do vento média de 1.8 m/s

Nas figuras 4.10, 4.11 e 4.12, pode observar-se a distribuição das pluviometrias ao longo da faixa regada, na modalidade canhão automotor, para a velocidade de deslocação de 10, 30 e 50 m/h. Verifica-se que os principais desvios em relação à média são maiores do que na modalidade anterior, sendo provocados não só pelo vento mas também pelo impacto do jacto no braço do aspersor que, segundo von Bernuth e Gilley (1984) cit. por Vories e von Bernuth (1987), interfere em cerca de 10% da água emitida pelo aspersor. Nos limites da faixa, continua a verificar-se uma zona de défice pluviométrico e na zona central, em que a intensidade pluviométrica é superior, a dotação recolhida nos pluviómetros é maior que a dotação média aplicada, o que se explica pela baixa influência do vento nestes pontos do diagrama pluviométrico, paralelamente ao que acontece com a modalidade barra.

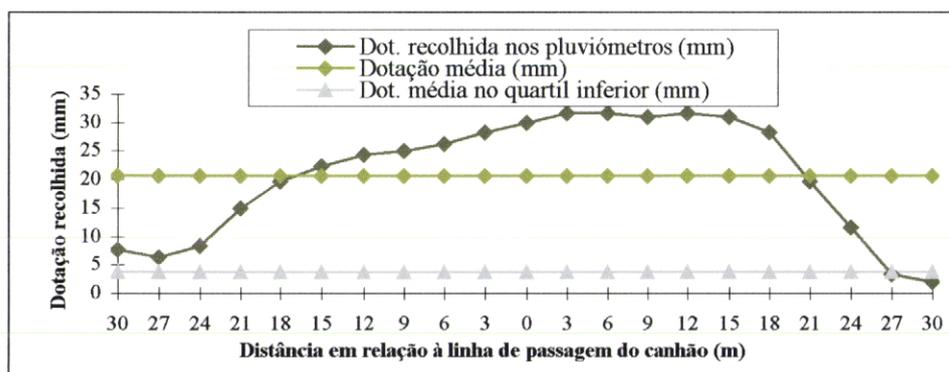


Figura 4. 10 - Diagrama pluviométrico do canhão automotor com velocidade deslocação de 10 m/h e velocidade do vento média de 2.4 m/s

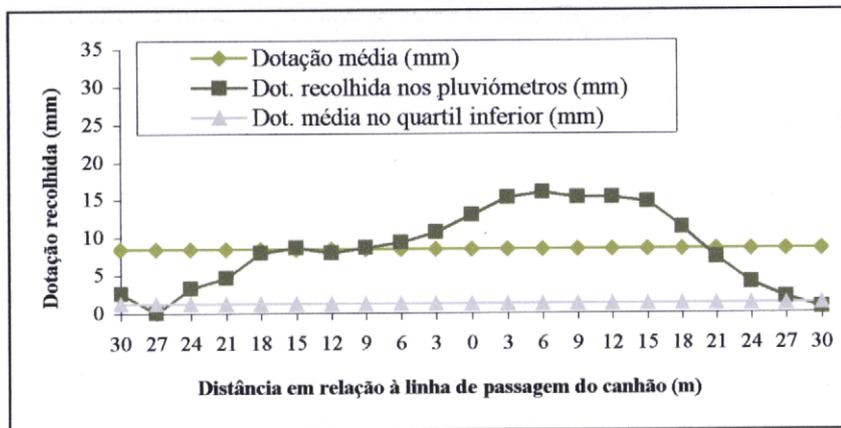


Figura 4.11 - Diagrama pluviométrico do canhão automotor com velocidade de deslocação de 30 m/h e velocidade do vento média de 2.0 m/s

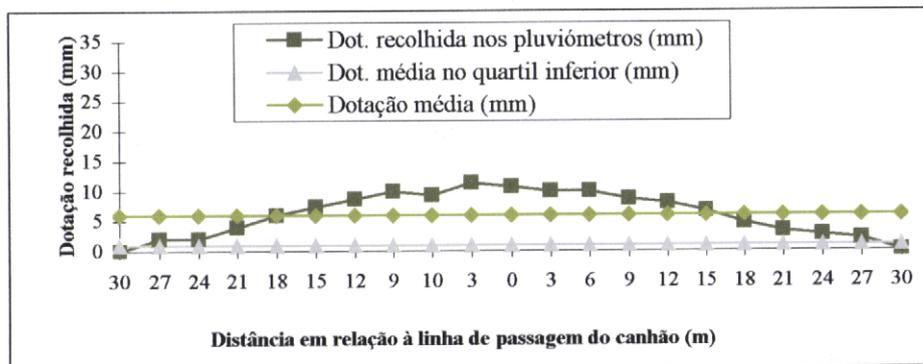


Figura 4.12 - Diagrama pluviométrico do canhão automotor com velocidade de deslocação de 50 m/h e velocidade do vento média de 3.0 m/s

De um modo geral, nos diagramas observa-se uma zona de déficit pluviométrico, que diminui à medida que diminui o espaçamento entre faixas. Em ambas as modalidades os diagramas têm um comportamento semelhante, sendo os maiores desvios relativamente à média na modalidade canhão.

4.1.4 DIAGRAMAS DA PRECIPITAÇÃO RECOLHIDA

Nas figuras 4.13, 4.14 e 4.15, podem observar-se os diagramas das precipitações recebidas entre faixas adjacentes para a modalidade barra com aspersores, considerando 15, 25 e 35% de sobreposição, para as velocidades de deslocação de 50 m/h.

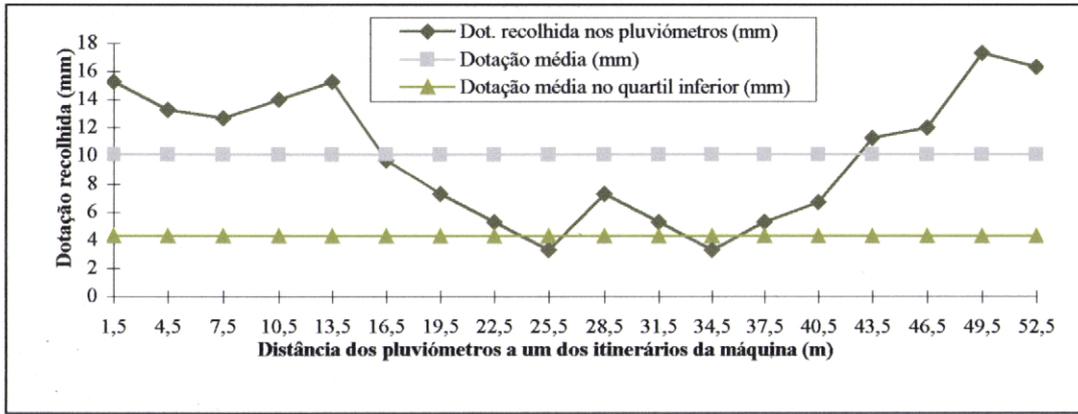


Figura 4.13 - Diagrama da precipitação recolhida, considerando uma sobreposição de 15%, na modalidade barra com quatro aspersores e velocidade de deslocação de 50 m/h

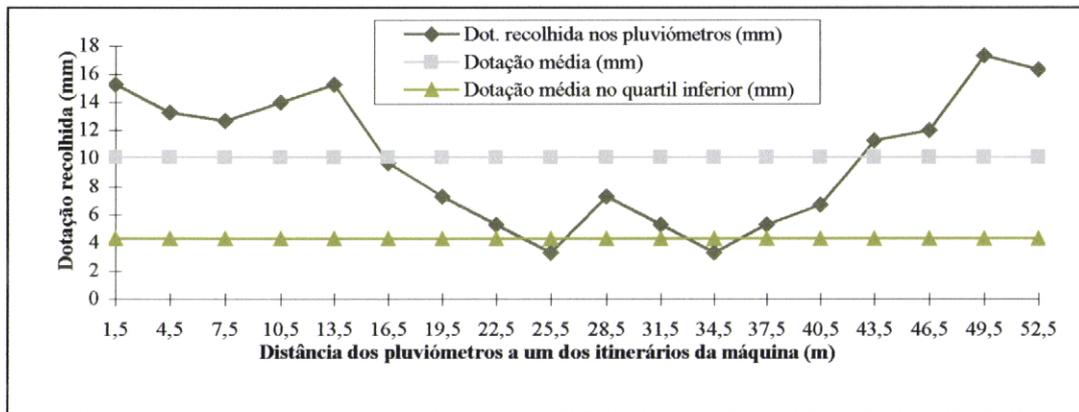


Figura 4.14 - Diagrama da precipitação recolhida, considerando uma sobreposição de 25%, na modalidade barra com quatro aspersores e velocidade de deslocação de 50 m/h

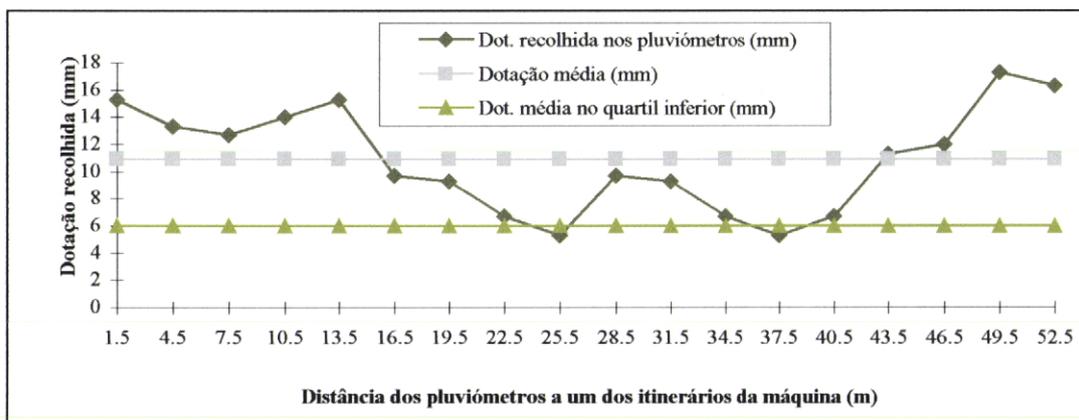


Figura 4.15 - Diagrama da precipitação recolhida, considerando uma sobreposição de 35%, na modalidade barra com quatro aspersores e velocidade de deslocação de 50 m/h

Dos diagramas das Fig. 4.13 a 4.15, representam-se os gráficos com diferentes sobreposições, em que os valores mais baixos da dotação recolhida (entre 25.5-34.5 m) aumentam, o que compensa alguma falta de uniformidade. Em condições de inexistência de vento, o diagrama de precipitação recolhida é superior e mais homogénea nas proximidades do aspersor, diminuindo à medida que a distância aumenta. A forma dos diagramas varia devido ao efeito do vento, que tal como já foi referido, exerce um efeito muito grande em rega por aspersão, chegando a inviabilizar a rega, quando atinge velocidades elevadas.

Por outro lado, pequenas variações na pressão de funcionamento dos aspersores e oscilações na velocidade do equipamento enrolador (causadas pela variação do diâmetro do carreto e do peso do tubo), podem também estar na origem das diferenças existentes nos diagramas de precipitação recolhida.

Nas figuras 4.16, 4.17 e 4.18, podem observar-se os diagramas da precipitação recolhida no canhão automotor com velocidade de deslocação de 50 m/h.

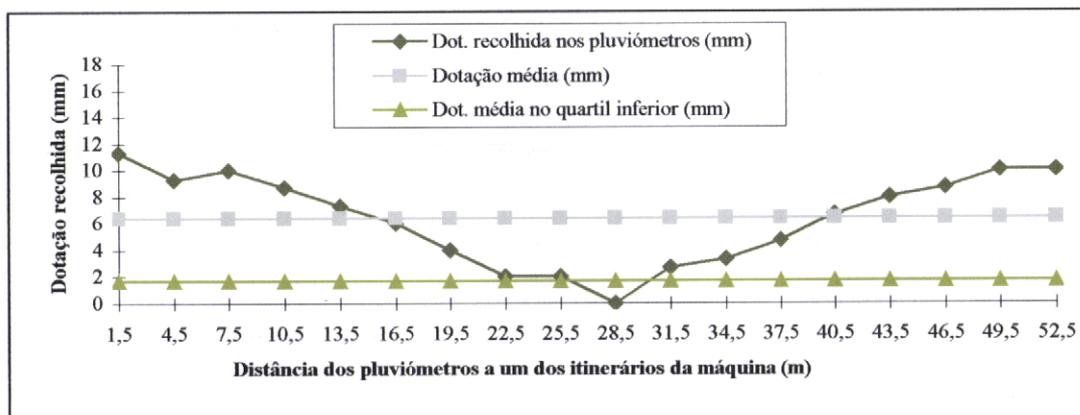


Figura 4. 16 - Diagrama da precipitação recolhida, considerando uma sobreposição de 15%, na modalidade canhão automotor e velocidade de deslocação de 50 m/h

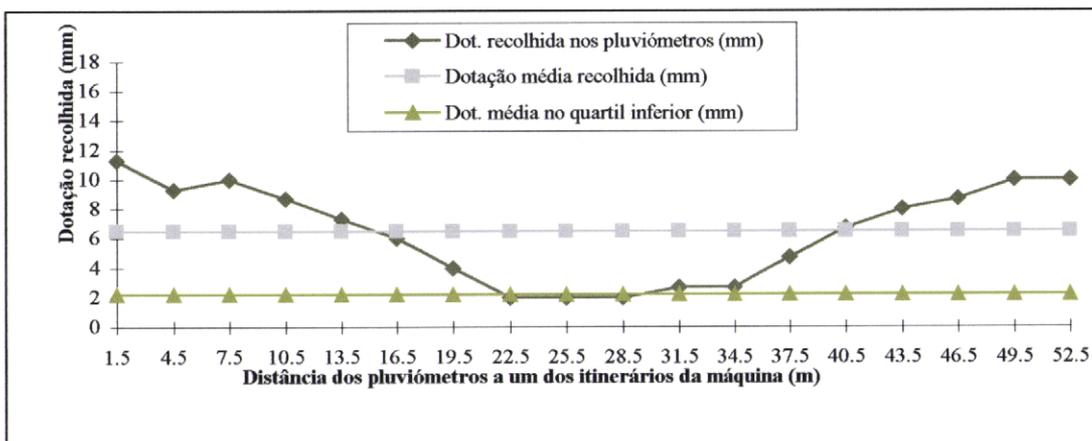


Figura 4. 17- Diagrama da precipitação recolhida, considerando uma sobreposição de 25%, na modalidade canhão automotor e velocidade de deslocação de 50 m/h

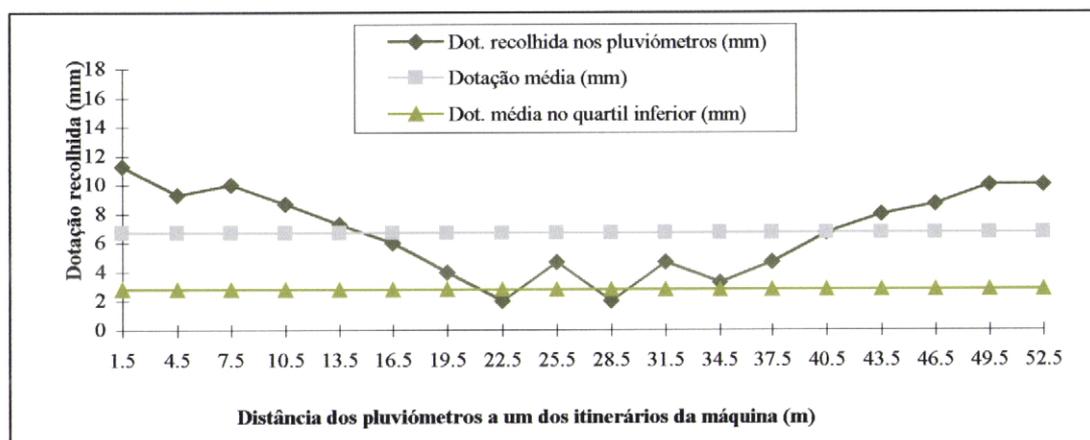


Figura 4. 18 - Diagrama da precipitação recolhida, considerando uma sobreposição de 35%, na modalidade canhão automotor e velocidade de deslocação de 50 m/h

Os diagramas da precipitação recolhida das Figuras 4.16 a 4.18 traduzem o comportamento da modalidade canhão. Similarmente ao que acontece com a modalidade barra, também à medida que a sobreposição aumenta, as dotações, que são inferiores à dotação média no quartil inferior têm tendência a igualarem ou superarem estes valores, o que aumenta a uniformidade das regas. O mesmo acontece para as restantes velocidades de deslocamento, em ambas as modalidades (Anexo XII).

A heterogeneidade induzida pelo vento nos diagramas referentes à modalidade barra (Fig. 4.13 a 4.15) também se verifica com o canhão, sendo no entanto as dotações recolhidas inferiores, o que significa que foi aplicada água no solo fora da faixa de rega. Também estes diagramas representam regas individuais, que poderão ser compensadas ao considerar-se a distribuição de água acumulada, ao longo do ciclo da cultura.

4.1.5 EFICIÊNCIA DE APLICAÇÃO

Eficiências de rega elevadas obtêm-se com boas uniformidades de rega. Nos ensaios realizados, os valores obtidos foram relativamente baixos, o que nos leva a concluir que a eficiência das mesmas regas também não será elevada.

Quadro 4. 2 - Valores médios de EPA, considerando uma sobreposição entre faixas adjacentes de 15, 25 e 35%

Modalidade	Velocidade de desl. (m/h)	Velocidade do vento (m/s)	EPA (%)		
			s ₁ =15%	s ₂ =25%	s ₃ =35%
BARRA	10	1.8	25.4	37	45
	30	1.9	23.4	36	48
	50	1.8	24.3	34	43
CANHÃO	10	2.4	12.1	19	30
	30	2.0	13.2	26	33
	50	3.0	16.6	22	29

As Eficiências Potenciais de Aplicação (EPA) calculadas apresentam valores baixos, pois existe uma grande diferença entre a dotação média aplicada (teórica) e a quantidade média realmente recolhida nos pluviômetros, ocorrendo valores de perdas bastante elevados. É na modalidade canhão automotor que estas são mais elevadas, podendo as perdas por evaporação e arrastamento pelo vento estar na origem das diferenças.

Em Anexo (XIII) encontram-se os valores da dotação média aplicada e da dotação média recolhida no quartil inferior, que permitiram o cálculo da Eficiência Potencial de Aplicação (EPA).

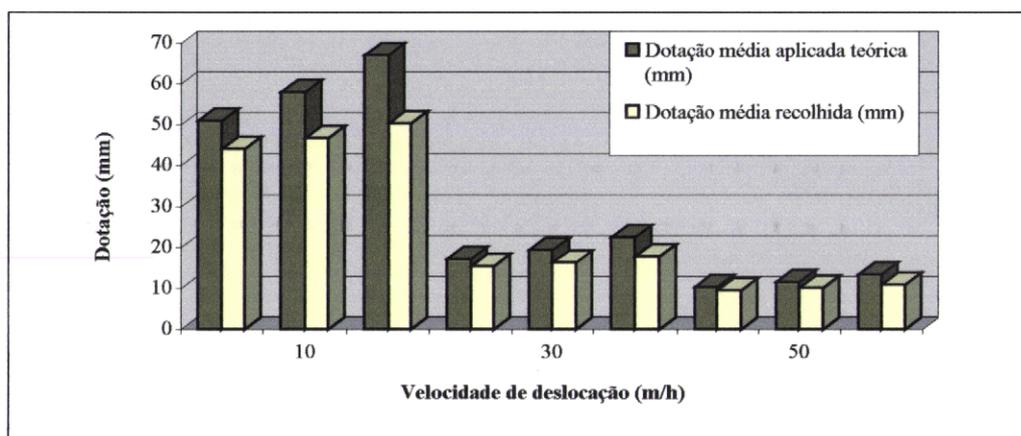


Figura 4. 19 - Comparação entre as dotações médias aplicadas e as dotações médias recolhidas, para a modalidade barra

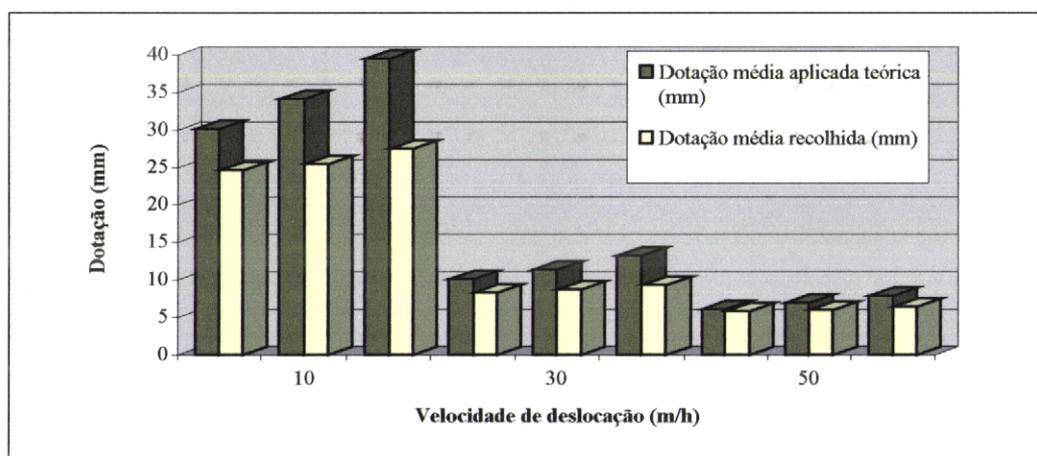


Figura 4. 20 - Comparação entre as dotações médias aplicadas e as dotações médias recolhidas, para a modalidade canhão automotor

Em ambas as modalidades, a dotação média aplicada (teórica) é sempre superior à dotação média recolhida, podendo as perdas por evaporação e arrastamento do vento estar na origem das diferenças apresentadas entre as dotações.

Por outro lado, dado que a dotação média aplicada é teórica, calculada com base nos dados do fabricante, também este factor poderá estar, em parte, na origem das diferenças observadas, o que a nível de projecto se revela de extrema importância, pois são muitas das vezes os dados do fabricante que se utilizam no dimensionamento dos sistemas de rega.

4.1.6 QUANTIFICAÇÃO DAS PERDAS

Vários foram os investigadores que se dedicaram à quantificação das perdas por evaporação e arrastamento, indicando um intervalo de variação para estas:

- Heermann e Kohl (1983): 6%
- Keller e Bliesner (1990): 5 – 10%
- Christhansen (1942) cit. por Faci e Bercero, (1989): 2 - 52%

No presente trabalho verificou-se uma variação nas perdas ocorridas por evaporação e arrastamento na modalidade barra de 13.8, 9.4 e 7.8%, para as velocidades de deslocação de 10, 30 e 50 m/h, respectivamente. Para a modalidade canhão, as perdas por evaporação e arrastamento variam entre 18.4, 17 e 2.8%, para as velocidades de deslocação 10, 30 e 50 m/h, respectivamente, sendo estas um pouco inferiores às obtidas com a modalidade barra. Em Anexo (XIV) encontram-se todos os valores obtidos.

Como foi anteriormente referido, inicialmente pensou-se que os elevados valores calculados de perdas se devessem ao facto do caudal considerado (teórico, calculado com base nos dados fornecidos pelo fabricante) não correspondessem verdadeiramente às dotações aplicadas durante as regas efectuadas. No entanto, o valor obtido através da medição por caudalímetro ultra-sónico foi semelhante ao utilizado.

No início de cada rega, colocou-se dentro de um pluviómetro determinada quantidade de água, medindo-se no final do ensaio a dotação que se encontrava dentro do mesmo. Este, era colocado num local fora do raio de influência do aspersor, para que não ocorressem entradas de água. Esta pequena metodologia, permitia quantificar em cada rega, as perdas por evaporação, que variaram entre 5 a 10%.

As perdas verificadas são um pouco elevadas enquadrando-se apenas nos limites definidos por Christhansen, conduzindo a valores de EPA não muito altos.

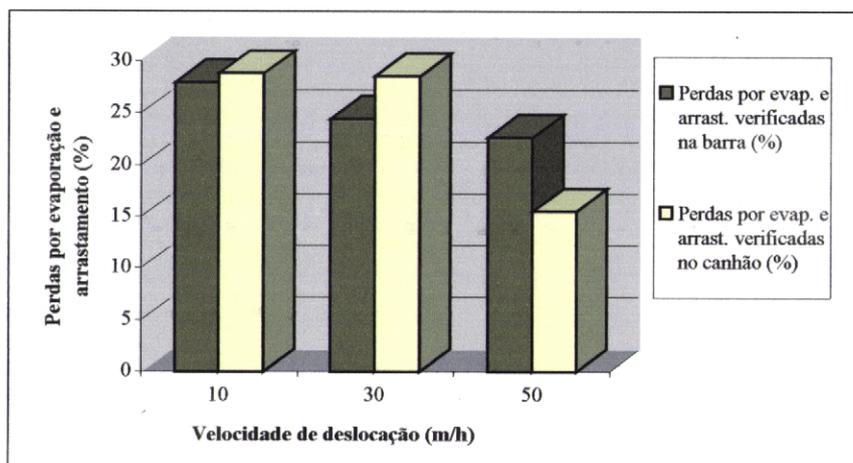


Figura 4. 21 – Perdas por evaporação e arrastamento verificadas nas modalidades, barra com quatro aspersores e canhão automotor ($s= 15\%$)

4.1.7 EFEITO DO VENTO

O vento é um factor que tem bastante influência na uniformidade das regas, provocando um alcance não idêntico do jacto para ambos os lados do eixo vertical do canhão, bem como a sua assimetria.

Na Fig. 4.22, encontra-se o aumento verificado nos valores do CU, na modalidade canhão automotor, com velocidade de deslocação de 50 m/h, quando se verificou a diminuição do vento de 3.0 m/s para 2.0 m/s.

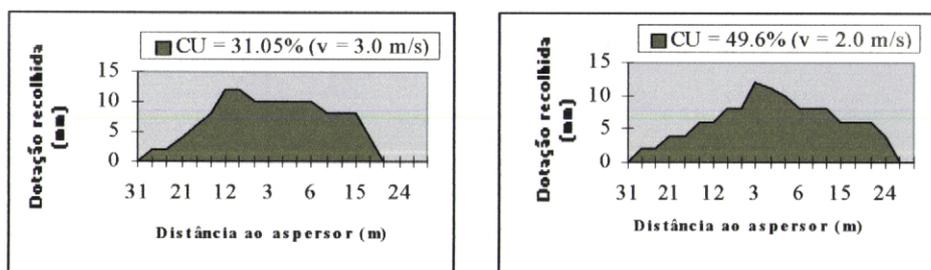


Figura 4. 22 - Diagramas pluviométricos na modalidade canhão automotor e velocidade de deslocação de 50 m/h, com velocidade do vento de 2 e 3 m/s

Faci e Bercero (1990) num estudo em que avaliaram a uniformidade da rega em três sistemas de rega por aspersão, encontraram uma relação inversa entre o CU e a velocidade do vento (V_v), com base numa equação linear:

$$CU (\%) = 90.53 - 2.435 V_V \quad \text{com } r^2 = 0.85 \quad (4.1)$$

No presente trabalho também se encontrou uma relação inversa entre os valores médios de CU obtidos nas diversas avaliações e a velocidade do vento, para ambas as modalidades:

$$CU (\%) = 80.7 - 11.5 V_V \quad \text{com } r^2 = 0.90 \quad (4.2)$$

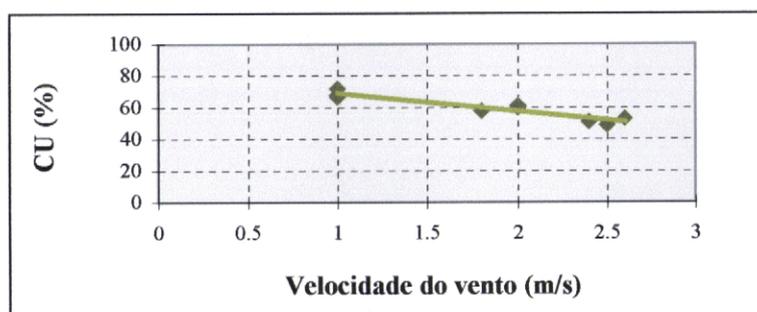


Figura 4.23 - Relação entre o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CU) e a velocidade do vento nas avaliações realizadas, no equipamento barra

Tal como na barra, no canhão automotor também se verificou uma relação inversa entre os valores médios de CU obtidos nas diversas avaliações e a velocidade do vento, sendo no entanto o valor do coeficiente de determinação (r^2) bastante inferior ao obtido na barra com aspersores:

$$CU (\%) = 72.8 - 8.3 V_V \quad \text{com } r^2 = 0.61 \quad (4.3)$$

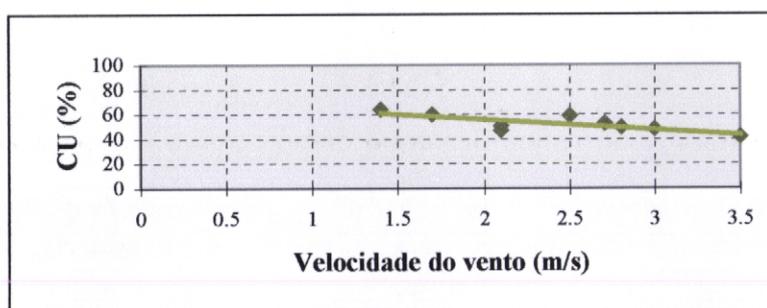


Figura 4.24 - Relação entre o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CU) e a velocidade do vento na modalidade canhão

Na figura 4.25 podemos observar que os maiores valores da velocidade do vento correspondem ao canhão automotor, assim como os menores valores do CU. A relação inversa entre o CU e a velocidade do vento para ambas as modalidades:

$$CU (\%) = 79 - 10.9 V_V \quad \text{com } r^2 = 0.82 \quad (4.4)$$

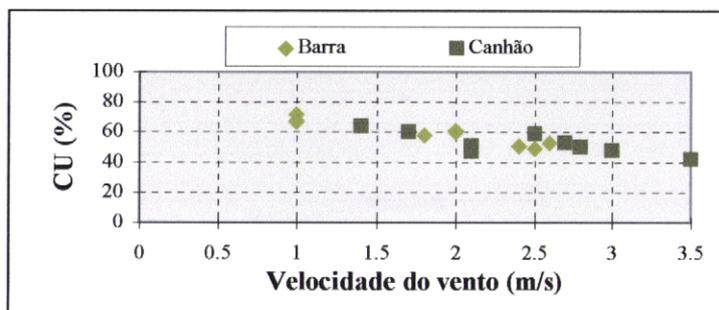


Figura 4. 25 - Relação entre o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CU) e a velocidade do vento nas modalidades barra e canhão

O valor do coeficiente de determinação (r^2) é superior na barra (90%), pois o vento exerce uma menor influência na aplicação de água às parcelas com este equipamento quando comparado com o canhão ($r^2=61\%$), induzindo nesta modalidade menores valores de CU.

4.1.8 INFILTRAÇÃO VS. INTENSIDADE DE PRECIPITAÇÃO

4.1.8.1 INFILTRAÇÃO

Com base na metodologia de Schockley (1968) obtiveram-se os dados do volume recolhido (mm) e do tempo decorrido desde o início da aplicação (min), que foram tratados com regressão para uma equação do tipo potência. Para cada um dos testes, obtiveram-se as respectivas curvas de infiltração que, transformadas por derivação, são as curvas de infiltrabilidade apresentadas nas Figuras 4.26 a 4.28.

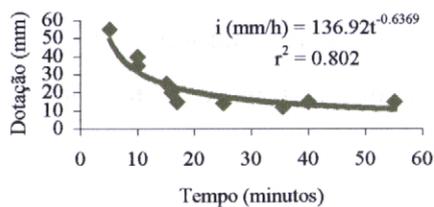


Figura 4. 26 - Curva de infiltração do solo (1º teste)

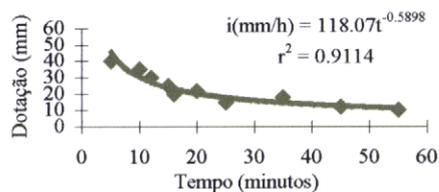


Figura 4. 27 - Curva de infiltração do solo (2º teste)

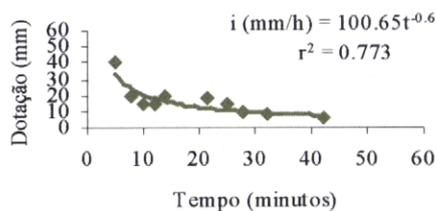


Figura 4. 28 - Curva de infiltração do solo (3º teste)

Conjugando-se todos os valores obtidos nos testes realizados, obteve-se a seguinte curva de infiltração, com um coeficiente de determinação de 87%.

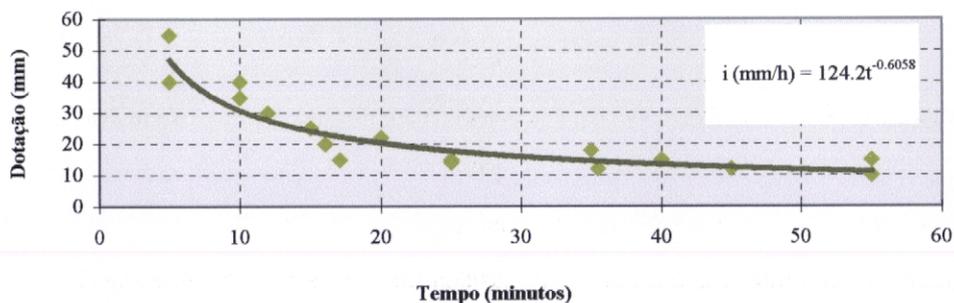


Figura 4. 29 - Curva de infiltração do solo, com base nos 3 testes de infiltração realizados

Antes de se efectuarem os testes de infiltração, recolheram-se amostras e determinou-se a humidade na camada superficial do solo nos primeiros 5 cm do Horizonte A, sendo esta de 10%.

4.2 ESTABILIDADE DOS AGREGADOS AO EMBATE DA GOTA

Um agregado que mantém a sua estabilidade mesmo quando o solo está húmido, que resiste bem à passagem das máquinas agrícolas, que resiste ao impacto directo das gotas de chuva, é um agregado que, por si só, diminui o impacto dos processos erosivos de destacamento e transporte que possam ocorrer no solo (Silva, 1999a).

Depois de se ter realizado o teste da gota descrito por Bergsma e Valenzuela (1981), testaram-se 30 agregados, para cada classe de diâmetro, contando-se o nº de gotas necessárias para fazer passar o agregado pela fenda do crivo de menor diâmetro da classe onde estava inserido. Posteriormente calcularam-se os percentis 20, 50 e 80 (P_{20} , P_{50} e P_{80}), para cada um dos crivos e respectivos agregados (Anexo XV).

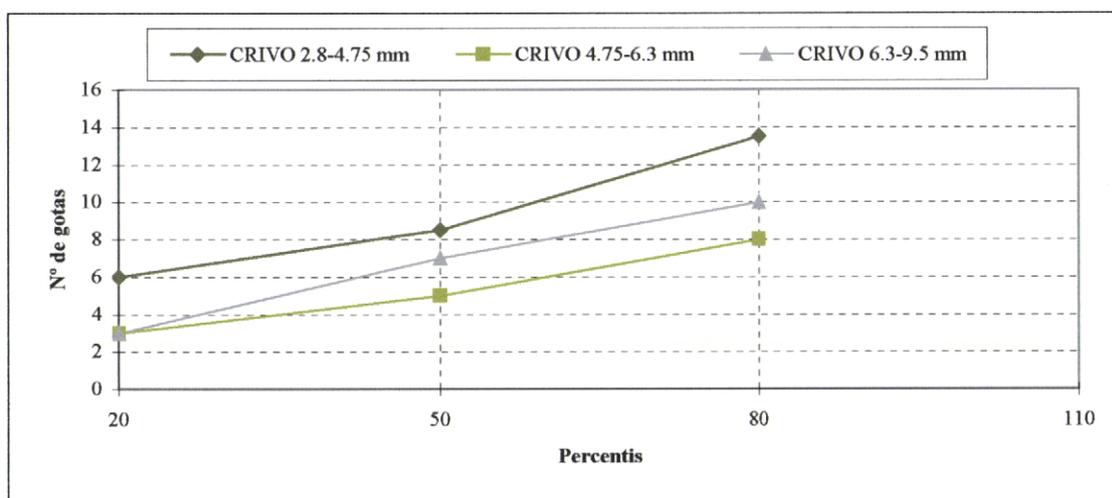


Figura 4. 30 - Número de gotas para os percentis 20, 50 e 80% e respectivos crivos

Podemos concluir que é a classe de agregados 2.8-4.75 mm, que apresenta maior variabilidade na estabilidade no solo P_{mg} , sendo a que apresenta uma menor variabilidade da estabilidade a classe de 4.75-6.3 mm.

Silva (1999a) realizou o teste da gota para diferentes tipos de solos, obtendo para o solo Pmg os seguintes resultados:

- Classe 2.8 - 4.75 mm: Estabilidade abaixo da média
- Classe 4.75-6.3 mm: Estabilidade acima da média
- Classe 6.3-9.5 mm: Estabilidade abaixo da média

Comparando os resultados obtidos com os de Silva (1999a) para todos os solos estudados, conclui-se que para o solo Pmg em estudo, a classe que apresenta uma estabilidade acima da média é a de 2.8-4.75 mm, apresentando as classes de diâmetro 4.75-6.3 mm e 6.3-9.5 mm, estabilidade abaixo da média. Os resultados obtidos são bastante semelhantes aos obtidos por Silva (1999a).

Sendo assim, o solo Pmg tem uma estabilidade abaixo da média (relativamente a todos os solos estudados por Silva, 1999a), sendo o uso de condicionadores um dos métodos a utilizar para aumentar a estabilidade e conseqüentemente diminuir a erosão, muito característica deste tipo de solos.

4.3 EFEITOS DA APLICAÇÃO DE POLIACRILAMIDA

4.3.1 ENSAIO 1

No presente ensaio a poliacrilamida foi aplicada apenas na primeira água de rega, à velocidade de deslocação de 30 m/h com o equipamento de rega canhão e barra, nas concentrações 1, 2 e 4 kg/ha. Para além da velocidade de deslocação de 30 m/h, as regas foram também efectuadas às velocidades de 10 e 50 m/h. Diferentes velocidades de deslocação correspondem a diferentes quantidades de água aplicada sobre o solo, tendo sido estas devidamente controladas com os pluviómetros, que se colocaram junto de cada anel infiltrómetro diferencial.

Para além da velocidade, os cálculos realizados tiveram em consideração a diferente localização dos anéis relativamente aos itinerários dos aspersores, ou seja, as diferenças pluviométricas provocadas por se situarem mais próximos ou mais afastados da linha de passagem do aspersor. Os anéis que se localizam mais próximos da linha de passagem do equipamento de rega (anel 2), estão sujeitos a uma maior intensidade pluviométrica quando comparados com os anéis que se localizam a cerca de 16.5 m da linha de

passagem do equipamento (anéis 1 e 3). A discussão dos resultados obtidos teve sempre como base este factor, dado que as diferentes localizações dos anéis reflectem diferentes quantidades de água aplicada. Deve ainda salientar-se que não foi feita a sobreposição entre faixas adjacentes, o que originou, principalmente para as velocidades de deslocação de 50 e 30 m/h, dotações relativamente pequenas, como se pode observar no Quadro 4.3.

Quadro 4.3 - Dotações médias aplicadas com ambas as modalidades

Equipamento	Velocidade de deslocação (m/h)		
	10 (2ª, 5ª e 8ª regas)	30 (1ª, 4ª e 7ª regas)	50 (3ª, 6ª e 9ª regas)
Barra	8.8 mm	3.2 mm	2 mm
Canhão	6.5 mm	2.1 mm	1.3 mm

Os valores de escorrimento observados, nas diferentes regas, têm uma relação directa com as dotações aplicadas e as respectivas velocidades de deslocação do equipamento com que foram aplicadas. Velocidades maiores correspondem a menores dotações, assim como velocidades menores correspondem a maiores dotações.

A velocidade de deslocação do equipamento de rega na 1ª, 4ª e 7ª regas, foi de 30 m/h. Na 2ª, 5ª e 8ª regas, o equipamento deslocou-se à velocidade de 10 m/h e na 3ª, 6ª e 9ª regas, aplicou-se a dotação à velocidade de deslocação de 50 m/h (Quadro 4.3).

Devido à grande influência da velocidade de deslocação do equipamento de rega nas dotações médias aplicadas em ambas as modalidades, a discussão dos resultados é elaborada de acordo com os valores observados para cada velocidade. Por outro lado, como foi referido, os anéis infiltrómetros, por se situarem em diferentes pontos do raio de alcance do equipamento de rega, representam situações distintas e que como tal devem ser abordadas isoladamente. Daí, a apresentação e discussão dos resultados ser elaborada para cada velocidade mas também para cada um dos anéis infiltrómetros.

4.3.1.1 EFEITOS DA APLICAÇÃO DE POLIACRILAMIDA COM A VELOCIDADE DE DESLOCAÇÃO DE 10 m/h

Como já foi referido, as regas que se efectuaram com a velocidade de deslocação de 10 m/h (2^a, 5^a e 8^a) do equipamento de rega, e portanto aquelas em que se aplicou sobre o solo maior quantidade de água, foram também as regas em que em ambas as modalidades ocorreram os maiores escorrimentos, o que se justifica pela sobressaturação em humidade do solo, pois sujeitou-se o solo a dotações muito superiores às que caracterizam a sua capacidade de infiltração. Aquando dos ensaios de campo, após a elaboração das regas à velocidade de 10 m/h, era bastante visível o impacto destas regas sobre o solo, encontrando-se este completamente encharcado, sendo o escorrimento nestas situações bastante elevado.

Com a velocidade de 10 m/h, em todos os anéis utilizados no ensaio, se verificou a diminuição da quantidade de água infiltrada com o desenrolar das regas. Os maiores valores da dotação infiltrada nas primeiras regas explicam-se pelo baixo teor de água existente no solo antes da 1^a rega, o que por sua vez influencia a ocorrência de menor escorrimento superficial. Por outro lado, a formação da crosta superficial, muito comum neste tipo de solos, contribui também bastante para a diminuição da quantidade de água infiltrada. Porém, os benefícios que se obtém com a aplicação do condicionador vão sendo também inferiores com o decorrer da época, pois como a PAM apenas foi aplicada na primeira água de rega, os seus efeitos com o aumento da quantidade de água aplicada no solo diminuem. Sendo assim, é natural que as figuras que a seguir se apresentam (Fig. 4.31 à 4.35) para cada modalidade e para cada anel, traduzam uma diminuição da quantidade de água infiltrada com o desenrolar das regas. Posteriormente, poderá também observar-se o mesmo tipo de comportamento para as restantes velocidades de deslocação do equipamento de rega.

Da Figura 4.31 à 4.35, representam-se as dotações infiltradas para ambas as modalidades em cada anel, relativamente à Testemunha.

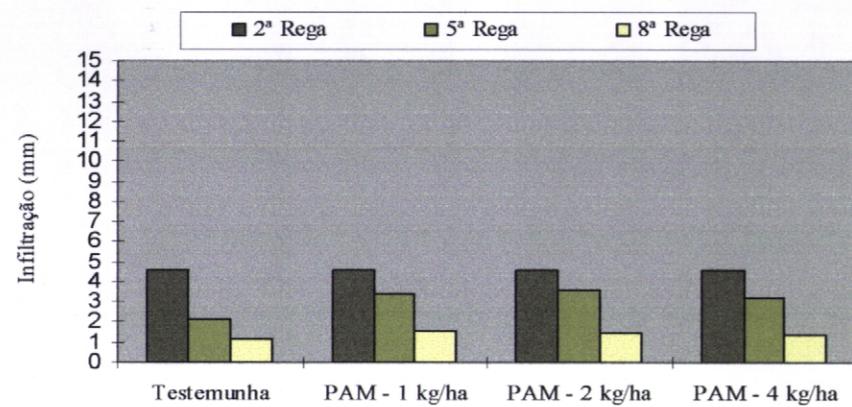


Figura 4. 31 - Dotações infiltradas no 1º anel infiltrômetro, com o canhão à velocidade de deslocação de 10 m/h

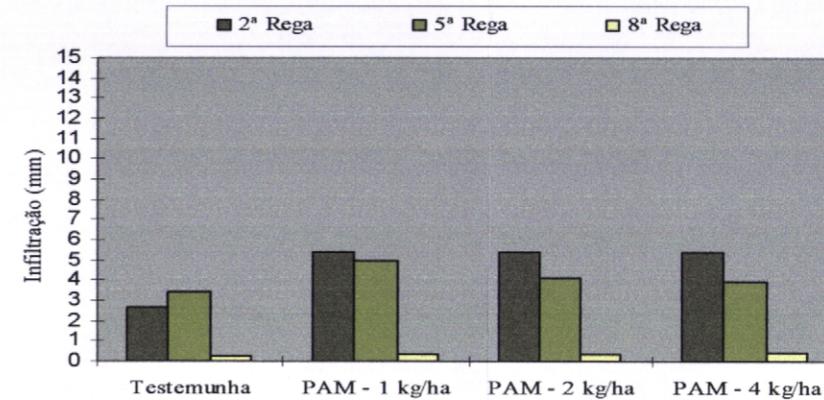


Figura 4. 34 - Dotações infiltradas no 3º anel infiltrômetro, com o canhão à velocidade de deslocação de 10 m/h

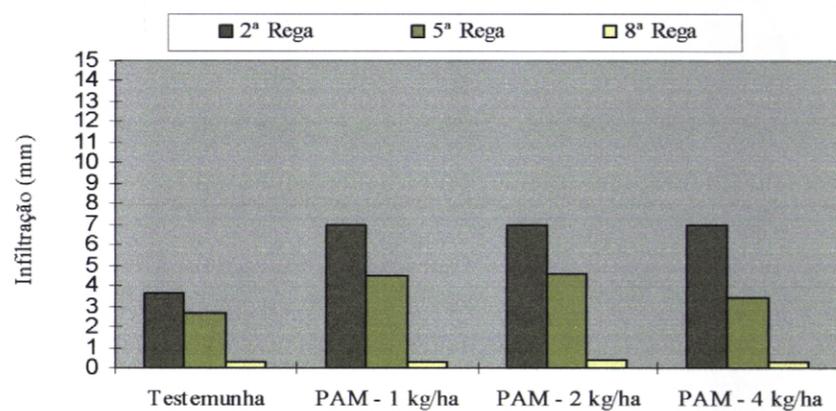


Figura 4. 32 - Dotações infiltradas no 2º anel infiltrômetro, com o canhão à velocidade de deslocação de 10 m/h

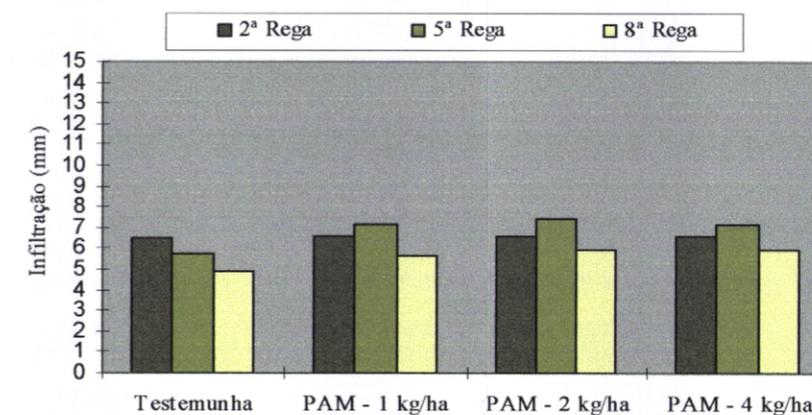


Figura 4. 35 - Dotações infiltradas no 3º anel infiltrômetro, com a barra à velocidade de deslocação de 10 m/h

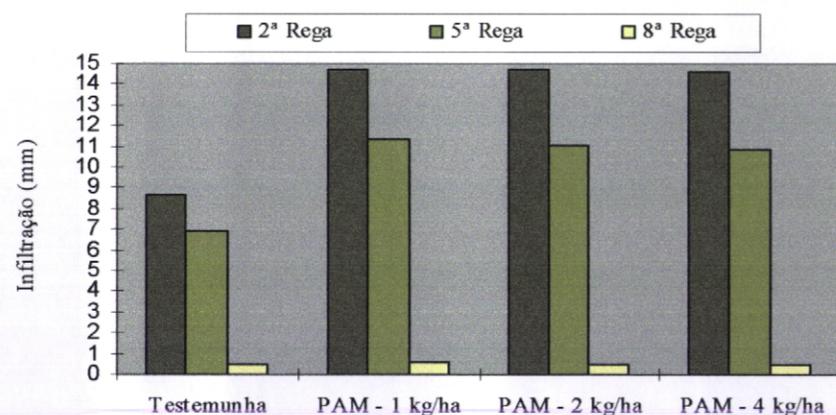
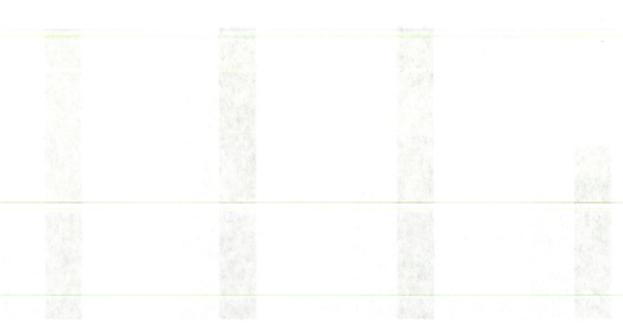


Figura 4. 33 - Dotações infiltradas no 2º anel infiltrômetro, com a barra à velocidade de deslocação de 10 m/h



Da observação das anteriores Figuras (Fig. 4.31 à 4.35) é notória a diminuição da eficácia do condicionador com o desenrolar das regas, o que se deve não só ao baixo teor de água existente no solo antes da primeira rega, mas também à formação da crosta superficial muito comum neste tipo de solos e/ou à diminuição dos benefícios obtidos pela aplicação de PAM (aplicada apenas na primeira água de rega) com o desenrolar das regas.

No 1º anel infiltrómetro, em todas as regas efectuadas com a barra à velocidade de 10 m/h, não se verificou escorrimento (daí não ser apresentada nenhuma Figura). Dado que, o 1º e 3º anel se localizam no mesmo ponto mas em lados opostos da linha de passagem do aspersor, se o equipamento de rega funcionasse em condições de inexistência de vento e de constância de pressão, a quantidade de água a ser debitada em cada instante em ambos os anéis seria a mesma. Por outro lado, se não existissem variações espaciais na espessura do Horizonte A, muito comuns no solo Pmg, a quantidade de água infiltrada em ambos os anéis, também seria a mesma. Sendo assim, as diferenças obtidas entre o 1º e o 3º anel poderão dever-se, entre outros factores, ao vento, à pressão e/ou à variação espacial da espessura do Horizonte A.

Comparando as Figuras relativas a ambas as modalidades, conclui-se que, como foi referido, a modalidade barra induz maiores infiltrações no solo quando comparada com a modalidade canhão, o que se poderá explicar pelas características inerentes ao próprio equipamento, pois o jacto da barra é mais pulverizado e formado por um maior número de gotas pequenas, com um menor raio de alcance, sendo a energia de impacto das gotas no solo inferior (quando comparada com a do canhão), havendo tendência para que o processo de formação da crosta seja mais lento; traduzindo-se todo este processo numa maior infiltração para as regas efectuadas com a modalidade barra.

De realçar também que no 2º anel infiltrómetro (Fig. 4.32 e 4.33), ocorreram as maiores infiltrações por ser este o anel que se localiza mais próximo da linha de passagem do aspersor e por isso mesmo onde são aplicadas as maiores dotações.

Relativamente à eficácia das diferentes concentrações de PAM utilizadas na primeira água de rega, a observação das figuras não nos permite concluir com qual delas existe uma optimização dos efeitos da aplicação de PAM, tendo-se elaborado o Quadro 4.4 em que se apresentam os aumentos da quantidade de água infiltrada que ocorreram nas regas.

Quadro 4.4 - Aumento da quantidade de água infiltrada para ambas as modalidades ($v = 10 \text{ m/h}$)

Anéis Infiltrômetros	Modalidades	Regas	Aumento da Quantidade de Água Infiltrada (% relativamente à Testemunha)			Observações
			1 kg/ha	2 kg/ha	4 kg/ha	
1º Anel	Canhão	2ª	---	---	---	Na 2ª rega não se verificou escoimento (Fig. 4.31).
		5ª	61	70	51	
		8ª	33	25	17	
	Barra	2ª	---	---	---	Não ocorreu escoimento em nenhuma rega.
		5ª	---	---	---	
		8ª	---	---	---	
2º Anel	Canhão	2ª	---	---	---	Na 2ª rega apenas ocorreu escoimento nos anéis Testemunha (Fig. 4.32).
		5ª	68	71	30	
		8ª	---	36	---	
	Barra	2ª	71	71	70	Não ocorreu escoimento na 8ª rega com aplicação de 2 kg/ha de PAM (Fig. 4.33).
		5ª	64	61	58	
		8ª	22	---	11	
3º Anel	Canhão	2ª	---	---	---	Na 2ª rega não se verificou escoimento (Fig. 4.34).
		5ª	46	23	17	
		8ª	17	21	35	
	Barra	2ª	---	---	---	Na 2ª rega não se verificou escoimento (Fig. 4.35).
		5ª	25	29	23	
		8ª	17	20	19	

Parece de difícil explicação o que aconteceu na 8ª rega com a modalidade canhão e com a concentração de 4 kg/ha, em que a quantidade de água infiltrada relativamente à testemunha aumentou 35%, enquanto que na 5ª rega aumentou apenas 17%. Trata-se de um resultado não esperado, não se conhecendo nenhuma causa para este aumento de infiltração.

Após ter ocorrido escorrimento na 5ª rega, na 8ª rega para ambas as modalidades não ocorreu escorrimento superficial. Um dos factores que poderá estar em parte na origem do aumento da quantidade de água aplicada em determinados pontos da parcela é o factor vento, responsável pela falta de uniformidade da distribuição, ou mesmo as variações de pressão, originando que determinados pontos na parcela, recebam dotações superiores à que receberiam com pressões constantes durante a realização das regas.

De acordo com os resultados obtidos (Quadro 4.4), parece ser para ambos os equipamentos de rega e para a velocidade de deslocação de 10 m/h, a concentração de 2 kg/ha a que maiores quantidades de água infiltrada origina, sendo no entanto também de todo o interesse a aplicação de 1 kg/ha, cujo efeito na infiltração parece superar em determinadas situações a aplicação de 2 kg/ha.

4.3.1.2 EFEITOS DA APLICAÇÃO DE POLIACRILAMIDA COM A VELOCIDADE DE DESLOCAÇÃO DE 30 m/h

Maiores velocidades de deslocação implicam menores quantidades de água aplicada sobre o solo. Sendo assim, as Figuras 4.36 à 4.39 representam quantidades de água infiltrada menores que as Figuras correspondentes à velocidade de 10 m/h, pois as regas foram efectuadas à velocidade de deslocação de 30 m/h (regas 1, 4 e 7).

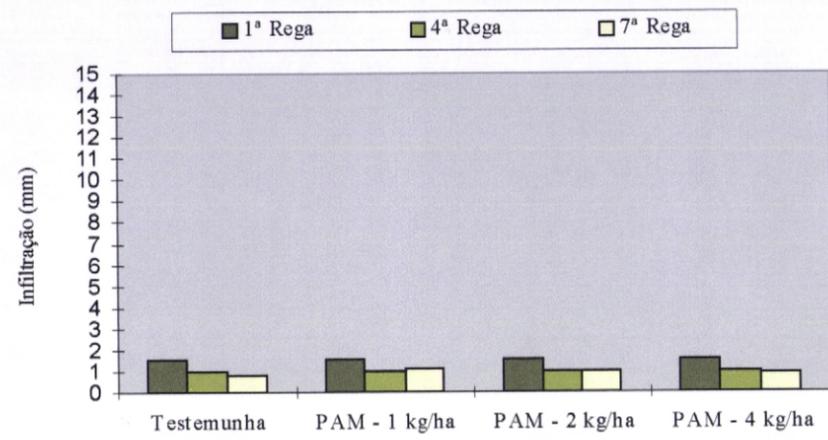


Figura 4. 36 - Dotações infiltradas no 1º anel infiltrômetro, com o canhão à velocidade de deslocação de 30 m/h

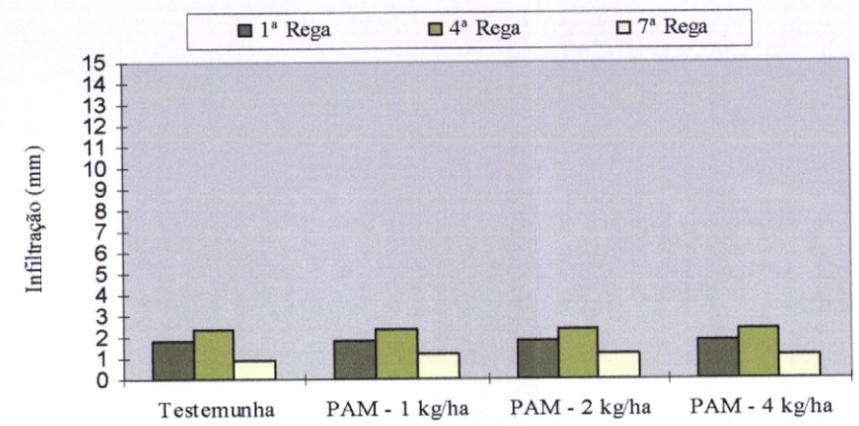


Figura 4. 39 - Dotações infiltradas no 3º anel infiltrômetro, com o canhão à velocidade de deslocação de 30 m/h

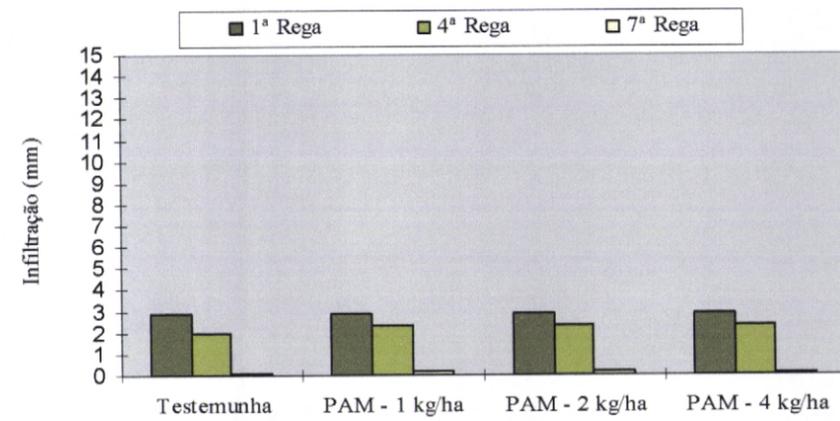


Figura 4. 37 - Dotações infiltradas no 2º anel infiltrômetro, com o canhão à velocidade de deslocação de 30 m/h

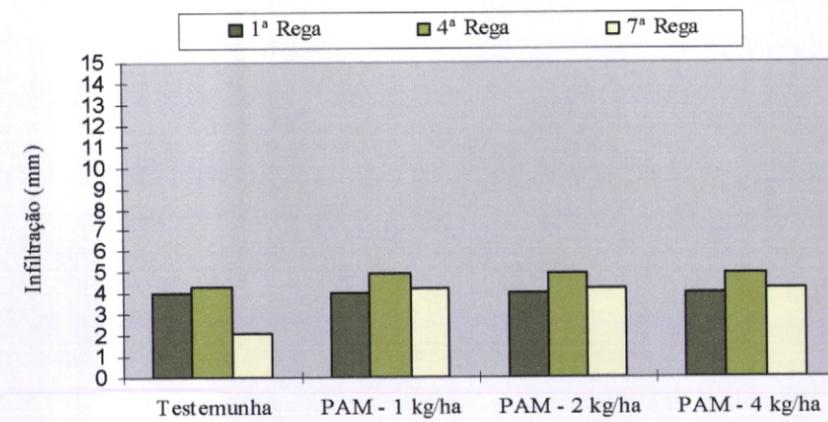


Figura 4. 38 - Dotações infiltradas no 2º anel infiltrômetro, com a barra à velocidade de deslocação de 30 m/h

Para além das diferenças bastante visíveis relativas à quantidade de água infiltrada, facilmente justificada pelas menores dotações aplicadas, é notória a grande diminuição de escoamento essencialmente nas regas realizadas com a modalidade barra. Com esta modalidade, no 1º e 3º anel, o escoamento não ocorreu nas parcelas em que foi efectuado o tratamento com o condicionador polimérico.

Relativamente ao 2º anel infiltrómetro, como seria de esperar, por este se situar próximo da linha de passagem do aspersor e estar sujeito a maiores intensidades pluviométricas (quando comparado com os anéis 1 e 3), o baixo teor de humidade que caracteriza o solo nas primeiras regas é mais rapidamente elevado, o processo de formação da crosta mais acelerado e os benefícios obtidos com a aplicação da PAM são mais depressa minimizados. Daí, ter sido neste anel, devido à posição que o mesmo ocupava no campo de ensaios, que ocorreu maior intensidade pluviométrica e, conseqüentemente, maior escoamento em ambas as modalidades (Fig. 4.37 e 4.38).

Similarmente ao que aconteceu nas Figuras relativas á velocidade de deslocação de 10 m/h, também com a velocidade de 30 m/h se verificou diminuição da eficácia do condicionador e com o desenrolar das regas.

Nas figuras 4.38 e 4.39, na 4ª rega verificaram-se maiores infiltrações do que na 1ª rega. Os dados obtidos com os pluviómetros revelam que nesta rega a dotação aplicada foi superior à que se verificou para a 1ª e 7ª regas. Esta diferença de dotação aplicada pelo equipamento poderá justificar-se não só por variações de pressão que podem ocorrer durante a realização das regas mas também devido à intensidade e direcção do vento.

No Quadro 4.5, apresenta-se o aumento da quantidade de água infiltrada relativamente à Testemunha, para a velocidade de deslocação de 30 m/h, para ambas as modalidades e todos os anéis utilizados nos ensaios realizados.

Quadro 4.5 - Aumento da quantidade de água infiltrada para ambas as modalidades ($v = 30$ m/h)

Anéis Infiltrômetros	Modalidades	Regas	Aumento da Quantidade de Água Infiltrada (% relativa à Testemunha)			Observações
			1 kg/ha	2 kg/ha	4 kg/ha	
1º Anel	Canhão	1ª	---	---	---	Não ocorreu escoamento na 1ª e 4ª regas (Fig. 4.36)
		4ª	---	---	---	
		7ª	32	26	19	
	Barra	1ª	---	---	---	Não ocorreu escoamento em nenhuma rega
		4ª	---	---	---	
		7ª	---	---	---	
2º Anel	Canhão	1ª	---	---	---	Não ocorreu escoamento na 1ª rega e na 4ª rega apenas ocorreu na Testemunha (Fig. 4.37)
		4ª	---	---	---	
		7ª	40	45	9	
	Barra	1ª	---	---	---	Não ocorreu escoamento na 1ª rega; na 4ª e 7ª regas apenas ocorreu na Testemunha (Fig. 4.38)
		4ª	---	---	---	
		7ª	---	---	---	
3º Anel	Canhão	1ª	---	---	---	Não ocorreu escoamento na 1ª e 4ª regas (Fig. 4.39)
		4ª	---	---	---	
		7ª	24	29	14	
	Barra	1ª	---	---	---	Não ocorreu escoamento em nenhuma rega
		4ª	---	---	---	
		7ª	---	---	---	

Da observação do Quadro 4.5 conclui-se que apenas ocorreu escoamento nos anéis localizados nas parcelas em que foi efectuado o tratamento com PAM para a modalidade canhão e na 7ª rega. Na modalidade barra apenas ocorreu escoamento nos anéis testemunha, na 4ª rega (3º anel) e na 7ª rega.

Para ambas as modalidades à velocidade de deslocação de 30 m/h, e para o solo Pmg, parece ser a concentração de 2 kg/ha que maiores benefícios traduz ao nível da infiltração.

4.3.1.3 EFEITOS DA APLICAÇÃO DE POLIACRILAMIDA COM A VELOCIDADE DE DESLOCAÇÃO DE 50 m/h

É com a velocidade de deslocação de 50 m/h (regas 3, 6 e 9), como foi referido anteriormente, que é aplicada sobre o solo uma menor quantidade de água, o que consequentemente origina menores escoamentos superficiais e menor quantidade de água infiltrada no solo, o que se torna bem evidente se compararmos as Figuras relativas à velocidade de deslocação de 10 e 30 m/h, com as das Figuras 4.40 à 4.42.

A diminuição do escoamento que se verificou com a modalidade barra na passagem da velocidade de deslocação de 10 m/h para 30 m/h leva-nos a concluir que com a velocidade de 50 m/h se ocorrer escoamento é apenas no 2º anel infiltrómetro, devido à posição que ocupa face à linha de passagem do equipamento aspersor. No entanto, as pequenas dotações aplicadas com a velocidade de 50 m/h no 2º anel infiltrómetro não provocaram escoamento superficial no solo regado para a modalidade barra. Ou seja, com a modalidade barra, à velocidade de 50 m/h não se verificou escoamento superficial em nenhum ponto da parcela em estudo.

Com a modalidade canhão, verificou-se escoamento superficial apenas na 9ª rega (1º e 2º anel) e nos anéis testemunha (3º anel). Nas Figuras 4.40 à 4.42 representam-se os valores obtidos da infiltração para cada rega.

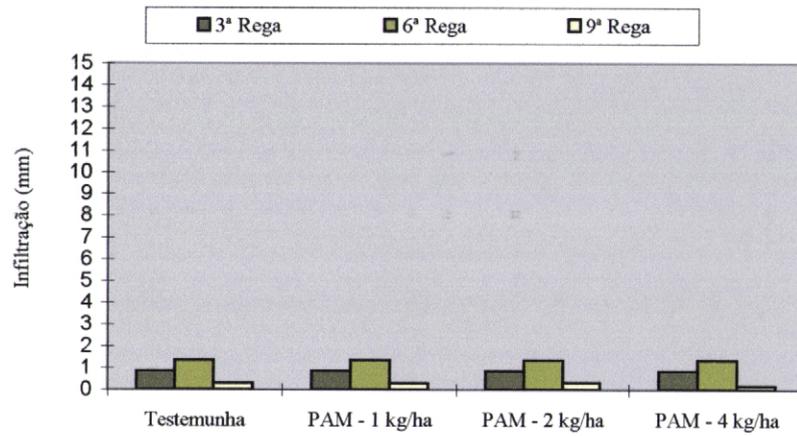


Figura 4. 40 - Dotações infiltradas no 1º anel infiltrômetro, com o canhão à velocidade de deslocação de 50 m/h

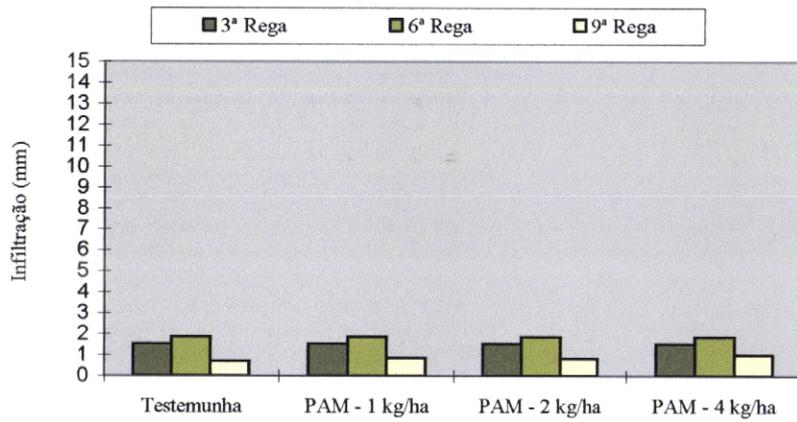


Figura 4. 41 - Dotações infiltradas no 2º anel infiltrômetro, com o canhão à velocidade de deslocação de 50 m/h

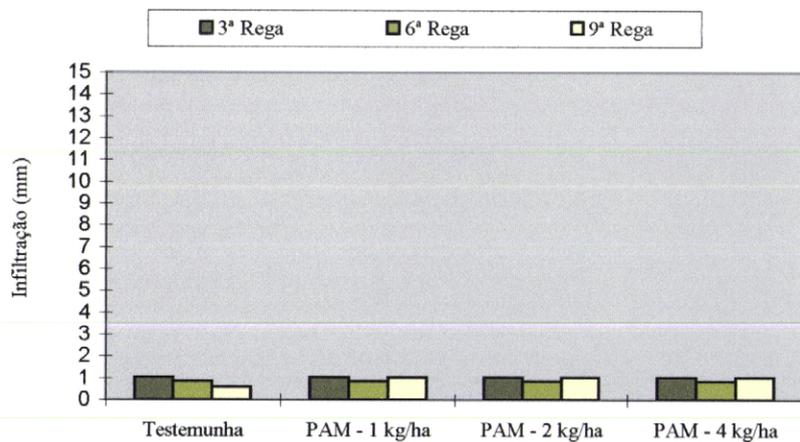


Figura 4. 42 - Dotações infiltradas no 3º anel infiltrômetro, com o canhão à velocidade de deslocação de 50 m/h

Da observação das Figuras 4.40 e 4.41 conclui-se que na 6ª rega, no 1º e 2º anel infiltrómetro se verificou infiltração superior à que ocorreu na 3ª e 9ª regas. Tais diferenças correspondem a uma maior dotação aplicada nestes pontos, devido a variações de pressão e/ou à influência da direcção e intensidade do factor vento.

Paralelamente ao que acontece nas velocidades de 10 e 30 m/h, também com a velocidade de 50 m/h se verifica uma diminuição da infiltração o que se deve ao teor de humidade, à formação da crosta e à diminuição da eficácia do condicionador aplicado apenas na primeira água de rega.

No Quadro 4.6 encontram-se representados os dados obtidos com a velocidade de deslocação de 50 m/h.

Quadro 4.6 - Aumento da quantidade de água infiltrada para ambas as modalidades (v = 50 m/h)

Anéis Infiltrômetros	Modalidades	Regas	Aumento da Quantidade de Água Infiltrada (% relativa à Testemunha)			Observações
			1 kg/ha	2 kg/ha	4 kg/ha	
1º Anel	Canhão	3ª	Não ocorreu escoamento na 3ª e 6ª regas (Fig. 4.40). Não ocorreu escoamento.
		6ª	.....	.....	.....
		9ª	3,9	15,5	.....
	Barra	3ª	.....	.....	.....
		6ª	.....	.....	.....
		9ª	.....	.....	.....
2º Anel	Canhão	3ª	Não ocorreu escoamento na 3ª e 6ª regas (Fig. 4.41). Não ocorreu escoamento.
		6ª	.....	.....	.....
		9ª	21,6	19	43	
	Barra	3ª	.....	.....	.....
		6ª	.....	.....	.....
		9ª	.....	.....	.....
3º Anel	Canhão	3ª	Apenas ocorreu escoamento nos anéis Testemunha (Fig. 4.42). Não ocorreu escoamento.
		6ª	.....	.....	.....
		9ª	.....	.....	.....
	Barra	3ª	.....	.....	.....
		6ª	.....	.....	.....
		9ª	.....	.....	.....

Da análise do Quadro 4.6, podemos concluir embora com pouca fiabilidade (devido á quase inexistência de dados) que é a concentração de 2 e 4 kg/ha que provocam menores escorrimentos com a modalidade canhão, à velocidade de deslocação de 50 m/h.

4.3.1.4 EFEITOS DA APLICAÇÃO DE PAM NA INFILTRAÇÃO (GLOBALIDADE DAS REGAS)

No sentido de apresentar uma visão mais generalizada para cada modalidade e cada anel, apresentam-se de seguida os dados obtidos da infiltração para globalidade das regas.

Com a modalidade **canhão**, no 1º **anel** infiltrómetro localizado na parcela em que não se aplicou o condicionador, a infiltração total foi de 14 mm, enquanto que nos anéis infiltrómetros em que se aplicou a concentração de 1 e 2 kg/ha de PAM, foi de 16 mm (o que corresponde a uma eficácia do condicionador de 14%). Com a aplicação da concentração de 4 kg/ha de PAM a quantidade total de água infiltrada foi de 15 mm, o que corresponde a um benefício de 9.8%. No 2º **anel** infiltrómetro, a acumulação das regas efectuadas com o canhão, originaram nos anéis testemunha uma dotação infiltrada de 16 mm e de 21, 22 e 20 mm para os anéis em que se aplicaram as concentrações de 1, 2 e 4 kg/ha de PAM. Os aumentos na quantidade de água infiltrada foram de 37, 38 e 31%, respectivamente. Por fim, a quantidade total de água infiltrada no 3º **anel** infiltrómetro testemunha foi de 17 mm e de 19 mm nos anéis em que se aplicou a concentração de 1 kg/ha de PAM, o que corresponde a um benefício de 14%. Por sua vez, a aplicação de 2 e 4 kg/ha PAM originou uma quantidade total de água infiltrada de 18 mm, aumentando a quantidade de água infiltrada 9 e 8%, respectivamente.

Com a modalidade **barra**, no 1º **anel** infiltrómetro a quantidade total de água infiltrada é a mesma em todas as parcelas, não ocorrendo variações com a aplicação de PAM. No 2º **anel** infiltrómetro a quantidade de água acumulada na testemunha foi de 35 e 47 mm nos anéis em que se aplicou a concentração de 1 e 4 kg/ha de PAM e de 48 mm para a concentração de 2 kg/ha, o que corresponde a um benefício de 38% para esta concentração e de 36% para as anteriores. No 3º **anel** infiltrómetro testemunha a quantidade de água infiltrada acumulada foi de 28 mm, de 30 mm nos anéis em que se aplicaram as concentrações de 1 e 4 kg/ha do condicionador e de 31 mm nos anéis em

que se aplicou a concentração de 2 kg/ha sendo de 9 e 10% o aumento da infiltração, relativamente aos anéis testemunha.

Sendo assim, para as condições do ensaio realizado, ou seja, para o equipamento de rega canhão e barra, num solo Pmg, parecem ser as concentrações de 1 e 2 kg/ha de PAM as que maximizam os benefícios obtidos com a aplicação do condicionador PAM.

4.3.2 ENSAIO 2

No ensaio anteriormente realizado testaram-se 3 concentrações de PAM, tendo-se concluído que as concentrações de 1 e 2 kg/ha são as que maximizam os benefícios obtidos com a aplicação do condicionador. Daí, no 2º ensaio realizado com PAM não se ter utilizado a concentração de 4kg/ha, dado que esta à partida não é a concentração que implica maiores benefícios.

Por outro lado, também se constatou que a variação da velocidade do equipamento de rega por vezes dificulta a interpretação dos resultados dado que todo processo por si só é já bastante complexo, devendo-se variar o mínimo de factores, para que se possa com maior segurança interpretar todos os resultados obtidos. Deste modo, optou-se por realizar os ensaios somente à velocidade de deslocação de 30 m/h, apenas com a modalidade canhão por ser a velocidade que em situações normais de rega iria ser utilizada pelo agricultor para satisfazer as necessidades hídricas da cultura.

Paralelamente ao que aconteceu no anterior ensaio, também neste a aplicação de PAM foi efectuada apenas na 1ª água de rega.

Dado que, durante a realização dos ensaios pareceu que os anéis infiltrómetros são de menor fiabilidade na quantificação do escoamento, foram utilizados neste 2º ensaio talhões de escoamento, em maior número do que os anéis infiltrómetros, por parecerem melhor opção para a quantificação do escoamento.

Em cada uma das parcelas de ensaio foram implantados 5 talhões de escoamento que, devido às diferenças de intensidade pluviométrica do equipamento de rega, receberam diferentes dotações. Os talhões 2 e 3 encontravam-se mais próximos da linha de passagem do aspersor (similarmemente ao que acontece no anterior ensaio com o anel infiltrómetro 2), recebendo dotações superiores relativamente aos restantes. Os talhões 1 e 4 ocupam uma posição intermédia, sendo o talhão 5 o que se localiza na

zona de menor intensidade pluviométrica, ou seja, na zona mais afastada da linha de passagem do aspersor.

4.3.2.1 EFEITOS DA APLICAÇÃO DE POLIACRILAMIDA NA INFILTRAÇÃO

Relativamente ao escoamento total, este intensifica-se com o nº de regas, sendo inicialmente bastante reduzido (nas primeiras regas), aumentando gradualmente com o decorrer da época, devido ao aumento da humidade do solo, à formação de crosta e à perda de eficiência do condicionador, que apenas foi aplicado na 1ª água de rega. Dos tratamentos efectuados, a concentração de 2 kg/ha de PAM é a que conduz a menores escoamentos, ocorrendo os maiores valores nos talhões em que não foi aplicado o condicionador (Fig. 4.43).

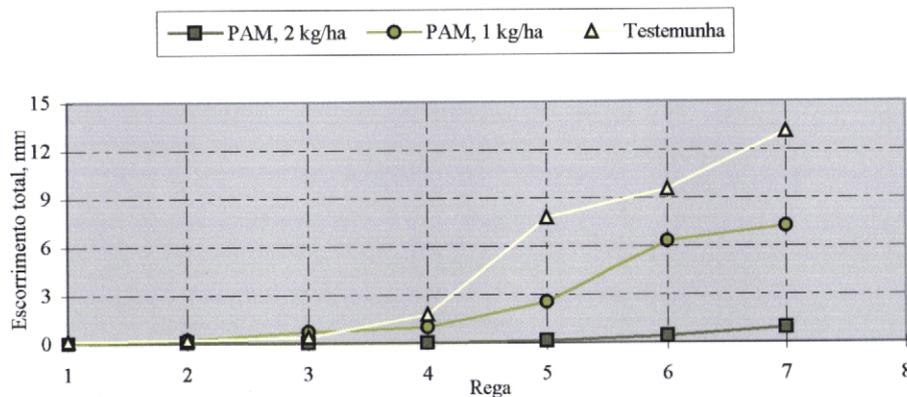


Figura 4. 43 - Escoamento total verificado ao longo das regas

As curvas de dotação acumulada, traduzem muito claramente a acção da Poliacrilamida na quantidade de água infiltrada, sendo superior nos talhões onde se efectuou o tratamento (revelam maior volume infiltrado). As figuras 4.44 a 4.48, representam as curvas de dotação acumulada, desde o início das regas, em cada talhão.

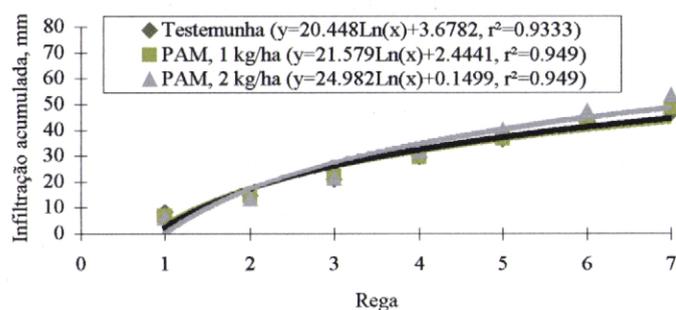


Figura 4.44 - Curvas de infiltração acumulada para o talhão 1

Relativamente ao talhão 1, obtiveram-se volumes infiltrados acumulados da ordem dos 42 mm no talhão testemunha. Nas parcelas onde foi efectuado o tratamento com 1 kg/ha de condicionador o valor é de 52 mm, enquanto que no tratamento com 2 kg/ha obtiveram-se valores de infiltração da ordem dos 57 mm. Sendo assim, para a totalidade das regas no talhão 1, a aplicação de 1 kg/ha provocou aumentos de 22%, enquanto que a aplicação de 2 kg/ha, provocou aumentos de 35% (Fig. 4.44).

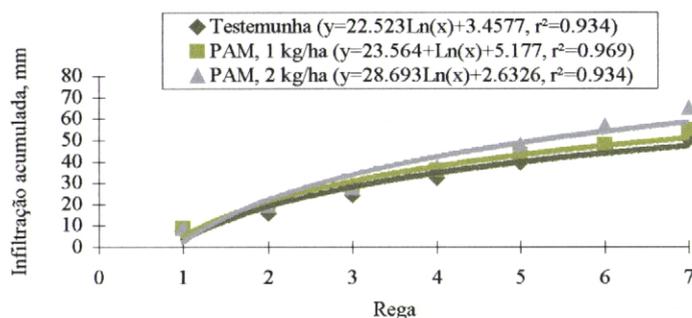


Figura 4.45 - Curvas de infiltração acumulada para o talhão 2

Nos talhões testemunha referentes ao talhão 2, obtiveram-se volumes infiltrados acumulados da ordem dos 50 mm e nas parcelas onde foi efectuado o tratamento com 1 e 2 kg/ha obtiveram-se valores de infiltração da ordem dos 55 e 65 mm, respectivamente. Sendo assim, para a totalidade das regas no talhão 2, a aplicação de 1 kg/ha provocou aumentos de 8.6%, enquanto que a aplicação de 2 kg/ha, provocou aumentos de 29.2% (Fig. 4.45).

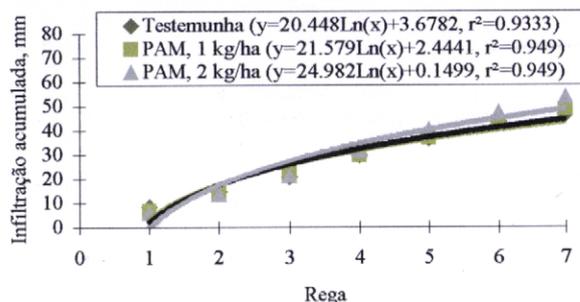


Figura 4.46 - Curvas de infiltração acumulada para o talhão 3

No talhão testemunha relativo ao talhão 3, obtiveram-se volumes infiltrados acumulados da ordem dos 47 mm. Nas parcelas onde foi efectuado o tratamento com 1 e 2 kg/ha de condicionador obtiveram-se valores de infiltração da ordem dos 49 e 54 mm, respectivamente. Sendo assim, para a totalidade das regas no talhão 3, a aplicação de 1 kg/ha provocou aumentos de 4.3%, enquanto que a aplicação de 2 kg/ha, provocou aumentos de 15.6% (Fig. 4.46).

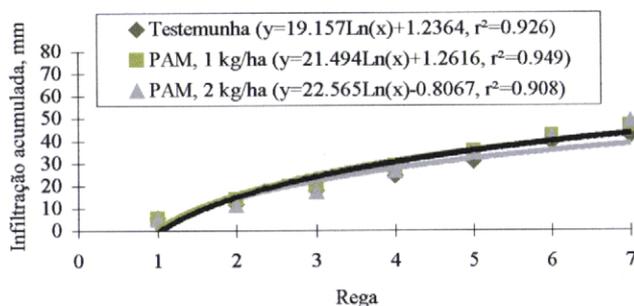


Figura 4.47 - Curvas de infiltração acumulada para o talhão 4

No talhão testemunha referente ao talhão 4, obtiveram-se volumes infiltrados acumulados da ordem dos 42 mm, nas parcelas onde foi efectuado o tratamento com 1 e 2 kg/ha, obtiveram-se valores de infiltração da ordem dos 47 e 49 mm, respectivamente. Sendo assim, para a totalidade das regas no talhão 4, a aplicação de 1 kg/ha provocou aumentos de 10%, enquanto que a aplicação de 2 kg/ha provocou aumentos de 16% (Fig. 4.47).

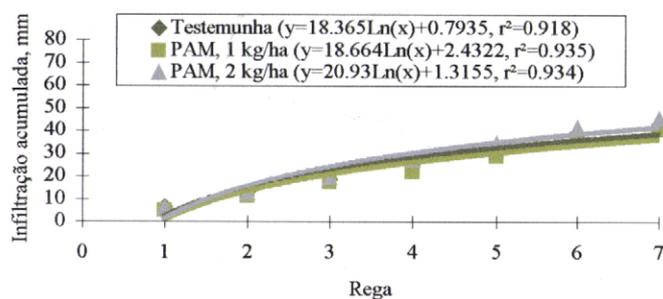


Figura 4. 48 - Curvas de infiltração acumulada para o talhão 5

No talhão testemunha que se localiza mais afastado da linha de passagem do aspersor (talhão 5), obtiveram-se volumes infiltrados acumulados da ordem dos 42 mm. Nas parcelas onde foi efectuado o tratamento com 1 kg/ha de condicionador, 44 mm, enquanto que com o tratamento com 2 kg/ha obtiveram-se valores de infiltração da ordem dos 46 mm. Sendo assim, para a totalidade das regas no talhão 5, a aplicação de 1 kg/ha provocou aumentos de 4.2%, enquanto que a aplicação de 2 kg/ha, provocou aumentos de 9.2% (Fig. 4.48).

No Quadro 4.7, encontram-se representados os valores globais observados nos talhões de escoamento e anteriormente apresentados.

Similarmente ao que acontece com os anéis infiltrómetros, foram aplicadas nos talhões diferentes quantidades de água, ocorrendo nos talhões 2 e 3 maior escoamento, por se situarem mais próximos da linha de passagem do aspersor, mas também por isso mesmo é aplicada uma maior quantidade de água, que origina maior infiltração. Os restantes talhões foram instalados em zonas mais afastadas da linha de passagem do aspersor, sendo inferior a quantidade de água aplicada e consequentemente o escoamento e o volume infiltrado.

É também notório o maior volume infiltrado nos talhões 1, 2 e 3, o que se justifica por ser nestes talhões que a dotação aplicada foi superior, provavelmente devido à direcção do vento e/ou às diferenças de pressão que originaram heterogeneidades no diagrama pluviométrico.

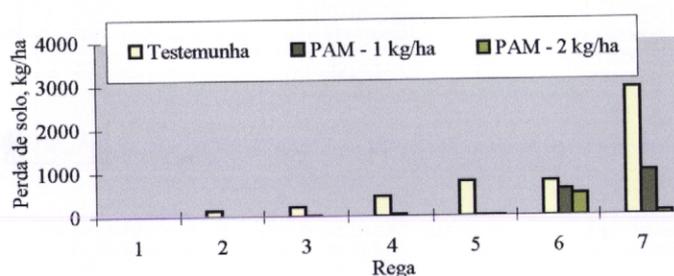
Quadro 4. 7 – Valores observados nos talhões de escorrimento

Talhões	Volume Infiltrado Acumulado			Eficácia do Condicionador (%)	
	Testemunha	PAM - 1 kg/ha	PAM - 2 kg/ha	PAM - 1 kg/ha	PAM - 2 kg/ha
Talhão 1	42	52	57	22	35
Talhão 2	50	55	65	8,6	29,2
Talhão 3	47	54	54	4,3	15,6
Talhão 4	42	49	49	10	16
Talhão 5	42	46	46	4,2	9,2

Em todos os talhões, o volume infiltrado é superior na parcela onde se aplicou a concentração 2 kg/ha de PAM, sendo também nesta parcela que os aumentos obtidos com a aplicação do condicionador foram mais homogêneos. Podemos então concluir que é a concentração de PAM de 2 kg/ha que mais benefícios induz no solo Pmg, para o equipamento canhão à velocidade de deslocação de 30 m/h.

4.3.2.2 EFEITOS DA APLICAÇÃO DA POLIACRILAMIDA ANIÓNICA NAS CONCENTRAÇÕES 1 E 2 kg/ha NA PERDA DE SOLO

Paralelamente ao efeito sobre o escorrimento, a acção da Poliacrilamida também se faz sentir ao nível da perda de solo sendo neste caso mais facilmente contabilizável. Nas figuras 4.49 a 4.53 apresenta-se a perda de solo por unidade de área ocorrida em cada talhão, ao longo das regas efectuadas e controladas.

**Figura 4. 49** - Perda de solo no talhão de escorrimento 1

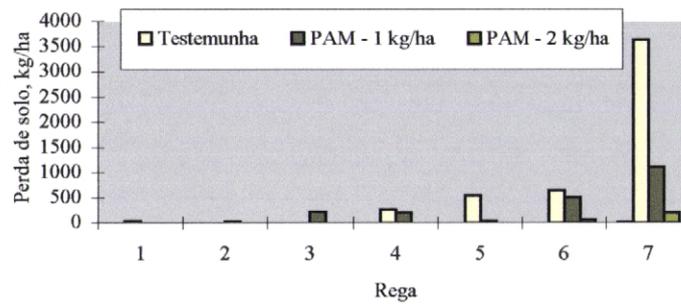


Figura 4.50 - Perda de solo no talhão de escoamento 2

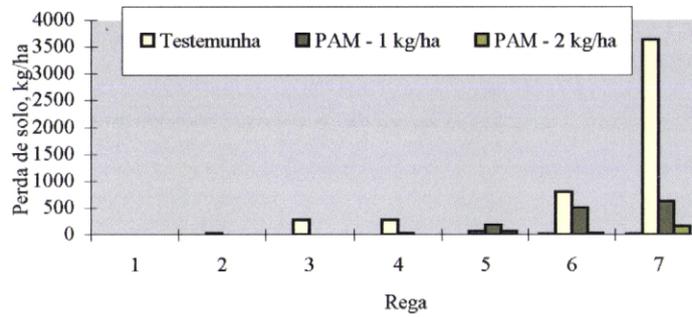


Figura 4.51 - Perda de solo no talhão de escoamento 3

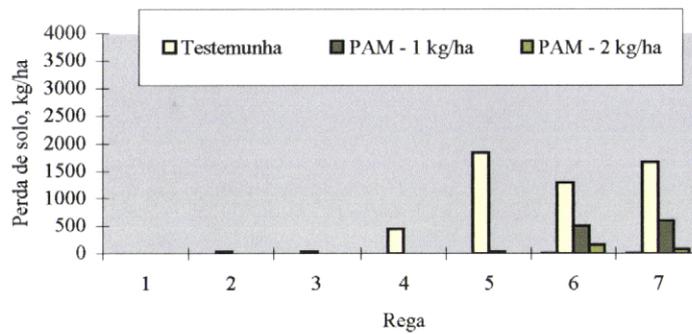


Figura 4.52 - Perda de solo no talhão de escoamento 4

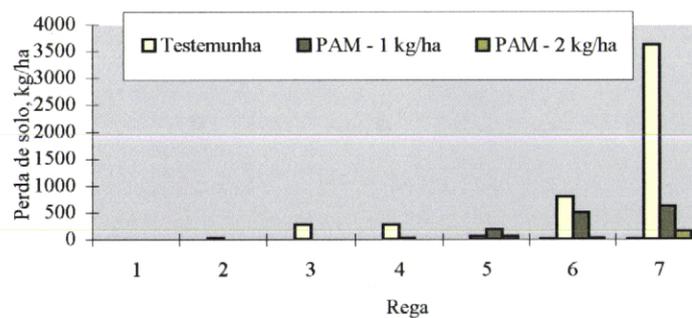


Figura 4.53 - Perda de solo no talhão de escoamento 5

Em geral, os valores da perda de solo nos talhões testemunha e nos restantes em que se aplicou o condicionador são inferiores nas primeiras regas, aumentando posteriormente com o decorrer da época. As razões para este fenómeno poderão estar relacionadas com maior infiltração ocorrida na rega inicial, consequência do baixo teor de água existente no solo antes da 1ª rega e da inexistência de crosta superficial, o que influencia por sua vez a ocorrência de menor escoamento.

Na 1ª rega, apenas o talhão 2 na parcela testemunha apresentou perda de solo (32.4 kg/ha) o que se deve à posição que este ocupa junto da linha de passagem do aspersor, sendo sujeito a maior intensidade pluviométrica, originando mais rápida desagregação dos agregados e a consequente formação da crosta. De um modo geral, os valores de perda de solo, posteriormente à 1ª rega vão sempre aumentando. Relativamente às parcelas onde se aplicou 1 kg/ha de PAM, a perda de solo é sempre inferior à testemunha. No tratamento 2 kg/ha de PAM, a perda de solo começou a partir da 4ª rega para os talhões 1 e 5, e na 6ª rega para os restantes.

De notar que os valores de perda de solo são superiores nos talhões 1, 2 e 3, especialmente com o desenrolar das regas, pois nesses locais a intensidade pluviométrica é maior e, conseqüentemente, maior é a ocorrência de escoamento.

Conclui-se que é a concentração de 2 kg/ha de PAM a que permite menores perdas de solo, quando este é regado com o canhão automotor à velocidade de deslocação do equipamento de rega de 30 m/h.

4.4 TEOR DE ÁGUA DO SOLO

Ao longo de todas as regas realizadas no ensaio 2, houve um controle da humidade do solo, efectuando-se as leituras até 50 cm de profundidade, em 3 pontos, com uma sonda TDR. Corrigiram-se os valores medidos com a curva de calibração obtida por Toureiro (1999).

O tubo que se encontrava localizado mais próximo da linha de passagem do aspersor recebeu maior dotação, sendo as curvas do teor de água antes de cada rega as que se encontram representadas na Fig. 4.54.

Em abcissas, a humidade está representada em função da capacidade de campo (Ramos, 1995), para mais fácil interpretação dos dados observados com a sonda TDR

no solo Pmg, dado que, observando-se as Figuras 4.54 à 4.56, podem-se tirar ilações acerca do grau de saturação do solo em estudo, ou seja, da disponibilidade efectiva de água do mesmo. Caso os cálculos tivessem sido elaborados em função directa da percentagem de água do solo em questão, uma observação directa da Figura não nos permitiria tirar ilações sem antes se saber qual a capacidade de campo do solo em estudo, dado que esta varia de acordo com o tipo de solo. Sendo assim, a metodologia seguida na elaboração dos cálculos, facilita a leitura dos dados observados e a sua interpretação.

Quadro 4. 8 - Capacidade de Campo (Ramos, 1995)

Profundidade	Capacidade de Campo (%)
0-10	19.9
10-20	20.1
20-40	21.9
40-50	26.8

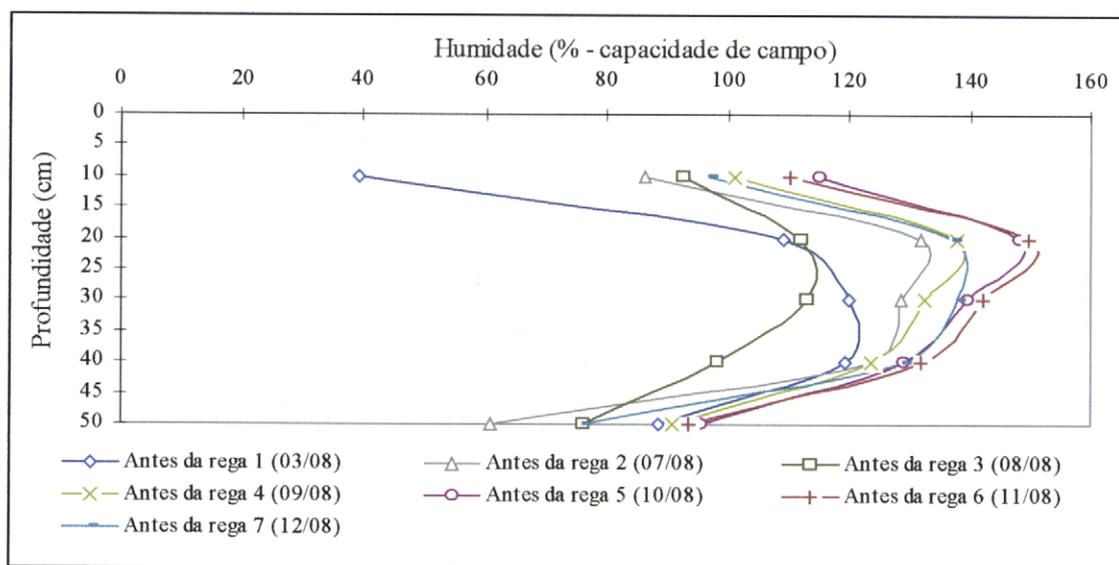


Figura 4. 54 - Humidade do solo (tubo que se encontrava mais próximo da linha de passagem do aspersor)

As curvas (Fig. 4.54) traduzem um aumento da humidade no solo com o decorrer da época, assim como uma sobressaturação do mesmo, no Horizonte A. Da observação da figura conclui-se que se formou uma toalha freática suspensa entre os 20

e os 40 cm de profundidade, não conseguindo a água infiltrar-se a maiores profundidades, devido à impermeabilidade que caracteriza o Horizonte B deste tipo de solos. Como consequência deste factor, a cerca de 50 cm de profundidade, a humidade do solo encontra-se abaixo da capacidade de campo.

No local onde foi instalado o tubo que se localiza numa zona intermédia em termos de distanciamento à linha de passagem do equipamento de rega, verificou-se que a rocha mãe se encontrava a pouca profundidade, pelo que o tubo de acesso da sonda capacitiva (TDR) não atingiu profundidade superior a 40 cm (Fig. 4.55).

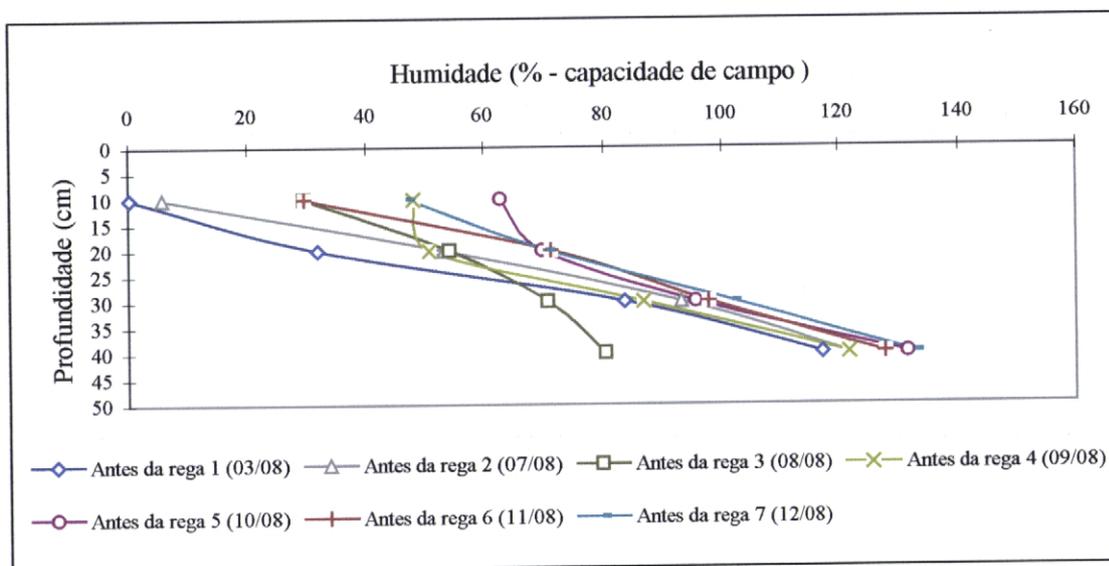


Figura 4.55 - Humidade do solo (tubo que se encontrava num ponto intermédio relativamente à linha de passagem do aspersor)

As curvas de humidade do solo da Fig. 4.56 traduzem um comportamento um pouco diferente do apresentado na Fig. 4.55, pois não evidenciam a formação de uma toalha freática suspensa, tendo-se infiltrado a água no solo, que apenas se encontra saturado a profundidades superiores a 30 cm, enquanto que na Fig. 4.55, a partir desta profundidade a humidade do solo diminuiu. Entre os 30 e os 40 cm de profundidade a humidade do solo aumenta, não sendo no entanto possível inferir acerca do comportamento das curvas a partir dos 40 cm.

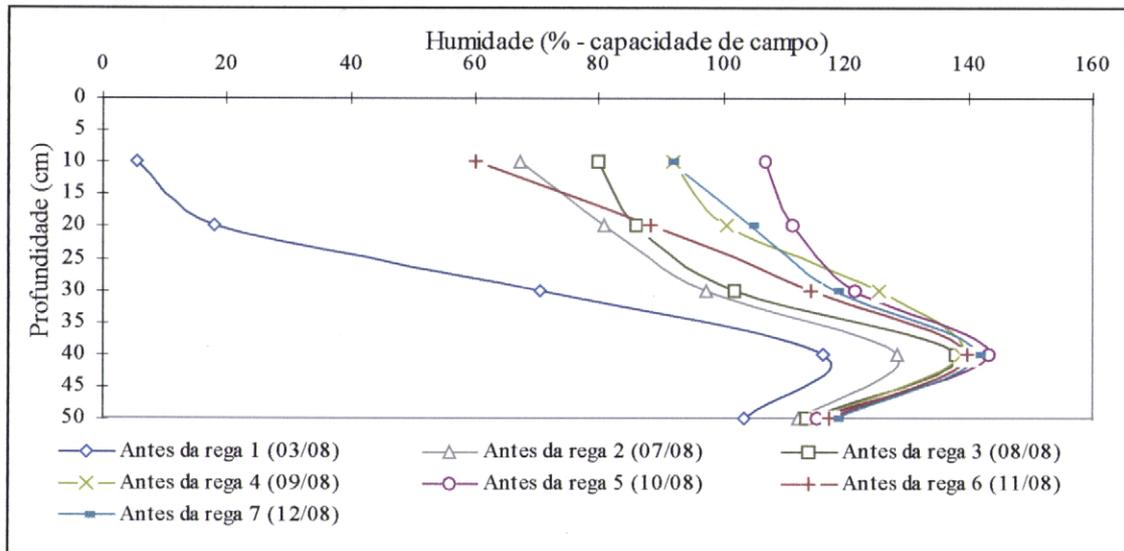


Figura 4. 56 - Umidade do solo (tubo que se encontrava mais afastado da linha de passagem do aspersor)

Para além do solo se encontrar saturado a uma profundidade inferior (a cerca de 10 cm) à verificada na Fig. 4.55, até aos 40 cm as curvas de ambas as Figuras (4.55 e 4.56) são muito semelhantes. Com o aumento da profundidade a umidade do solo também aumenta. No entanto, a partir dos 40 cm os valores decrescem, mas encontram-se acima da capacidade de campo. Esta é a única situação em que entre os 40 e os 50 cm o solo se encontra saturado, o que provavelmente terá ocorrido por imediatamente antes a cada rega (quando foram efectuadas todas as medições) ainda se verificar excesso de água, repetindo-se as regas com muita frequência.

Uma possível causa que poderá estar na origem das variações do comportamento da água no solo é a variabilidade da espessura do Horizonte A, podendo encontrar-se a uma profundidade inferior no local referente à Fig. 4.54 e a uma profundidade superior no local referente à Fig. 4.56.

CAPÍTULO 5

RESUMO E CONCLUSÕES

Um dos objectivos genéricos do presente estudo é a caracterização das condições de funcionamento do equipamento de rega automotor, canhão e barra, revelando os resultados obtidos que são muito os factores que afectam a uniformidade e a eficiência dos sistemas de rega, factores esses que se verificam não só ao nível do dimensionamento, mas também factores inerentes ao seu próprio funcionamento. Sendo assim, este é um estudo bastante complexo, tornando-se muito importantes todos os ensaios realizados que possam contribuir para um conhecimento crescente dos sistemas de rega.

Todos os equipamentos utilizados em rega por aspersão apresentam vantagens e desvantagens, devendo estas ser conhecidas e confrontadas com as condições de campo, para que na fase de projecto e/ou de condução das regas se maximizem os rendimentos e paralelamente se pratique uma agricultura conservacionista.

Os canhões apresentam várias vantagens, tais como o seu baixo custo, a reduzida mão de obra necessária para o seu funcionamento e o seu fácil manejo. No entanto, é um equipamento que implica grandes despesas de funcionamento, só se justificando o seu uso com determinadas culturas. O seu jacto é caracterizado por gotas de grande diâmetro, acelerando em todos os solos a formação da crosta. É também muito afectado pela acção do vento. Funciona com elevada pressão de serviço e conseqüentemente com elevada pluviometria, com variações que facilmente se reflectem em má Uniformidade de Distribuição. No caso dos canhões com enrolador, a velocidade de enrolamento do tambor é irregular devido à variação do diâmetro do carreto (onde se enrola o tubo) e à variação do peso do tubo, o que origina variação da uniformidade das regas.

No entanto, estudos científicos realizados revelam que se pode conseguir uma boa Uniformidade de Distribuição e um tamanho médio da gota, se se escolher bem a pressão de serviço, o espaçamento entre posições de rega e o diâmetro e tipo de bico.

O equipamento barra trabalha a pressões menores que o canhão, não apresentando problemas quanto ao tamanho da gota. Com este equipamento obtém-se melhor Uniformidade de Distribuição. Possui uma grande mobilidade, implantando-se facilmente em diferentes condições de parcelas e culturas. No entanto, este tipo de equipamento tem que estar bem dimensionado, para que não ocorra escorrimento. Dada a pequena largura da faixa regada, devem realizar-se regas com dotações menores e mais frequentes. Comparativamente com os canhões, necessitam de maior mão-de-obra, pois são constituídos por vários troços retrácteis, que se podem recolher durante o transporte, voltando a abrir junto da nova posição de rega.

Uma das grandes vantagens da avaliação é a obtenção de informação que futuramente melhore a concepção de sistemas semelhantes. Devido às condições inerentes ao próprio equipamento de rega, existe uma tendência para que a Uniformidade de Distribuição seja superior no equipamento barra, o que se verificou nos ensaios realizados.

De um modo geral, os valores obtidos são baixos (especialmente para a modalidade canhão automotor), aumentando com a sobreposição, o que permite concluir que a Uniformidade de Distribuição depende de um número restrito de pontos, que se localizam nas faixas e que por isso mesmo recebem reduzida precipitação em relação ao pretendido. Tal como a Uniformidade de Distribuição, também o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen apresenta valores mais elevados na modalidade barra, aumentando ainda com a sobreposição entre faixas.

A velocidade do vento durante a realização dos testes de avaliação com o equipamento barra, foi inferior à velocidade do vento durante a realização dos testes com o canhão, o que poderá também ter contribuído para a diminuição dos parâmetros de rega com este equipamento. Por outro lado, o jacto do canhão contém maior número de gotas pequenas, sendo estas mais facilmente arrastadas pelo vento, o que nos leva a concluir, que em situações idênticas de vento, os parâmetros de avaliação do canhão serão sempre inferiores aos da barra.

Os valores mais elevados do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen ocorreram, para ambas as modalidades, com a velocidade de deslocação de 30 m/h. Contudo, há que ter em consideração, que os valores obtidos representam regas individuais, sob condições climáticas determinadas, podendo admitir-se que com a aplicação de várias regas sucessivas durante o período de crescimento da cultura, a distribuição da altura de água acumulada ao longo do ciclo da cultura compense alguma da falta de uniformidade relativa a uma só rega.

A obtenção de eficiências de rega elevadas só se consegue com uma boa uniformidade de aplicação de água em todo o terreno. Sendo assim, as eficiências das regas realizadas não poderiam apresentar valores elevados.

A Eficiência Potencial de Aplicação apresenta, na generalidade, valores reduzidos, devido à baixa uniformidade e às elevadas perdas. É no equipamento canhão que os valores das perdas são mais elevados, com excepção da velocidade de 50 m/h. Em ambos os equipamentos a diminuição das perdas ocorre com a diminuição da velocidade de deslocação, ou seja, com a diminuição da dotação aplicada. A eficiência

apresenta um comportamento semelhante ao da uniformidade com a sobreposição, quando a sobreposição aumenta, também a EPA aumenta. Os baixos valores de EPA têm origens em perdas e indicam claramente problemas na concepção e dimensionamento do sistema de rega.

Quantificaram-se as perdas por evaporação, encontrando-se um intervalo de variação de 5 a 10%. Por outro lado, também se pensou que a origem das perdas poderia estar no cálculo da EPA, que foi efectuado com base nos dados fornecidos pelo fabricante. Utilizou-se um caudalímetro ultra-sónico e verificou-se que o caudal debitado era semelhante ao valor fornecido pelo fabricante. Deste modo, as perturbações impostas pelo vento deverão ser responsáveis em grande parte pelos baixos valores de EPA, representando uma das grandes dificuldades da rega por aspersão. Geralmente, este factor é ignorado na fase de projecto e/ou na condução das regas, sendo muito importante, para além da intensidade, a sua direcção predominante. Uma das soluções mais simples e que foi adoptada em alguns ensaios para eliminar o efeito deste factor, foi a paragem da rega, o que apresenta desvantagens para a cultura. Para além da grande influência deste factor em rega por aspersão, esta pode ser praticada em zonas ventosas, devendo adaptar-se a solução mais apropriada para as condições de campo. Raposo (1996) apresenta algumas das soluções que podem ser tomadas para minimizar os efeitos deste factor, tais como a elaboração de cortinas de abrigo, a adaptação do tempo diário de rega às horas em que o vento apresenta menor intensidade, a selecção dos tipos de aspersores e a sua disposição. Quanto maior for a velocidade do vento, menor deve ser o espaçamento considerado, para evitar o aumento de heterogeneidade e a consequente diminuição dos rendimentos.

Estabeleceram-se relações inversas entre o valor de CU observado nas avaliações realizadas e a velocidade do vento, obtendo-se para a barra um coeficiente de determinação de 90% e para o canhão, devido à maior heterogeneidade dos valores, os cálculos da uniformidade e da eficiência têm como base os pluviómetros e a quantidade de água que estes recebem em cada ensaio realizado, o que nos leva a pensar que se a metodologia utilizada não for a mais correcta, todos estes valores são colocados em dúvida. Segundo Livingston *et al.*, (1985) e Martin-Benito (1995), os pluviómetros ao abrangerem uma área reduzida quando comparada com a superfície do solo, não representam suficientemente bem o funcionamento do sistema. Martin-Benito (1995) admite uma variação de cerca de 5% sobre os valores reais. Por outro lado, o arrastamento das gotas de água provocado pelo vento para fora da zona do teste, assim

como a interacção entre a geometria dos pluviómetros e o vento, são factores que fazem com que a quantidade de água recolhida nos pluviómetros não corresponda à que na realidade é aplicada.

Recomenda-se que em ensaios posteriores, se direcione este tipo de estudos para a influência do factor vento, devendo ser elaborados ensaios com o mesmo equipamento em locais menos ventosos, ou então adoptar soluções alternativas para minimizar o efeito desta variável, no processo tão complexo e de difícil quantificação: a avaliação e caracterização do funcionamento do equipamento de rega.

Com base na metodologia de Schockley realizaram-se testes de infiltração, nos quais a dotação infiltrada diminui com o nº de regas, o que se explica pelo aumento do teor de humidade e pelo início da formação da crosta.

Para além do estudo das características do próprio equipamento de rega, também o conhecimento das condições de campo pode contribuir para um aumento da rentabilidade, numa perspectiva conservacionista dos recursos solo e água. Sendo as características do solo determinantes dos resultados da rega por aspersão e tendo-se o solo Pmg como especialmente frágil em termos de estabilidade da sua estrutura, caracterizou-se a estabilidade dos seus agregados, realizando o Teste da Gota. Este tipo de testes traduz apenas o processo de embate e de desagregação dos agregados. Comparando os resultados obtidos com outros tipos de solo, conclui-se que o solo Pmg apresenta uma estabilidade abaixo da média (comparativamente com os resultados obtidos para outros solos por Silva, 1999), o que significa que é um solo que com maior facilidade desenvolve a formação da crosta superficial. Uma das medidas a adoptar para aumentar a estabilidade dos agregados do solo Pmg, poderá ser a aplicação do condicionador do solo PAM, na 1ª água de rega.

O condicionador polimérico foi aplicado nas concentrações 1, 2 e 4 kg/ha, revelando os resultados obtidos que a PAM provoca aumentos substanciais na taxa de infiltração do solo, sendo bem significativas as diferenças entre as parcelas onde não foi aplicada (testemunha) e as restantes.

De um modo geral, com o decorrer da época, a quantidade de água infiltrada no solo vai diminuindo, o que se justifica pelo aumento progressivo do teor de água no solo, assim como a formação crescente da crosta superficial..

Nas regas efectuadas com a velocidade de deslocação de 10 m/h, ocorreram os maiores escorrimentos superficiais, devido às maiores quantidades de água que foram aplicadas sobre o solo, quando comparadas com as dotações aplicadas com as

velocidades de 30 e 50 m/h. No 2º anel infiltrómetro, que se localizou na zona mais próxima da linha de passagem do equipamento de rega, ocorreram os maiores escorrimentos superficiais, assim como com o canhão, o que à partida já seria de esperar, devido às características inerentes ao próprio equipamento.

Considerando a globalidade das regas, obteve-se um maior nº de dados de escorrimento superficial com o canhão do que com a barra, apenas ocorrendo escorrimento superficial com este equipamento nas parcelas onde se aplicou o condicionador com a velocidade de deslocação de 10 m/h.

De um modo geral, os benefícios obtidos com a aplicação de PAM nas concentrações de 1 e 2 kg/ha nas regas efectuadas com o canhão foram de 21% e de 2.5% com a aplicação da concentração de 4 kg/ha. O aumento da quantidade de água infiltrada nas regas realizadas pela barra foi de 16, 17 e 5%, para as concentrações de 1, 2 e 4 kg/ha, respectivamente. Não se obtiveram diferenças significativas com a aplicação de PAM de 1 e 2 kg/ha, havendo necessidade de se realizar outro ensaio em que se verificasse uma maior ocorrência de escorrimento superficial. Com este objectivo não se utilizou a barra de rega nem os anéis infiltrómetros, mas em substituição desta metodologia implantaram-se no campo talhões de escorrimento, num solo não cultivado.

Nos talhões de escorrimento em que se aplicou o condicionador, obteve-se um maior aumento do volume médio infiltrado, à semelhança do que ocorreu com os anéis infiltrómetros. Para a totalidade das regas, e para as concentrações de 1 e 2 kg/ha, o aumento médio do volume infiltrado proporcionado pela aplicação de PAM foi de 4.4 e 9.4 mm, relativamente à testemunha, o que corresponde a uma eficácia de 9.9 e 20.9% do condicionador, respectivamente.

A acompanhar o escorrimento, a acção da Poliacrilamida também se faz sentir ao nível da perda de solo. Os valores da perda de solo em todos os talhões têm um comportamento semelhante ao verificado nos anéis, sendo inferiores nas primeiras regas, aumentando também com o decorrer das mesmas, o que se pode explicar com a maior infiltração ocorrida na rega inicial devido ao baixo teor de água no solo antes da 1ª rega e também pela inexistência da crosta superficial. A aplicação de PAM de 1 e 2 kg/ha conduz a reduções da perda de solo acumulada média da ordem de 3408 e 4681 kg/ha, o que corresponde em termos relativos, a uma eficácia do condicionador de 67.9 e 90.8%, respectivamente, para a totalidade das regas. Conclui-se que é a concentração

de 2 kg/ha a que consegue maiores reduções nas perdas de solo, quando este é regado com o canhão automotor.

O escoamento é um parâmetro mais difícil de quantificar do que a perda de solo. No ensaio realizado com os anéis infiltrómetros diferenciais, os valores obtidos na parcela em que se aplicou 1 kg/ha de PAM são muito semelhantes aos obtidos na parcela em que se aplicou a concentração de 2 kg/ha. No entanto, no ensaio realizado com os talhões de escoamento, a diferença entre o volume infiltrado já é mais acentuada, o que nos leva a concluir que é a concentração de 2 kg/ha de PAM que consegue maior aumento da infiltração e menores perdas de solo, num solo Pmg.

O estudo do teor de água no solo dá-nos uma visão do processo de infiltração em profundidade. Colocaram-se em 3 locais do campo de ensaios tubos onde se fizeram medições até cerca de 50 cm de profundidade, concluindo-se que existe uma pequena variabilidade no seu comportamento, variabilidade essa que poderá ser originada pela diferenças espaciais existentes na espessura do Horizonte A.

É bastante importante o uso da metodologia que melhor quantifique o escoamento superficial, dado que esta é uma variável bastante complexa, sendo de todo o interesse a elaboração de estudos que confrontem ambas as metodologias utilizadas - anéis infiltrómetros e talhões de escoamento. No presente trabalho não foi objecto de estudo o declive em cada um dos talhões, pois o campo era, em termos de declive, bastante homogéneo. No entanto, devido à grande influência deste factor no escoamento superficial, deverá ser em futuros estudos um elemento a considerar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASE, J. K.; BJORNEBERG, D. L.; SOJKA, R. E. (1998) - Sprinkler irrigation runoff and erosion control with polyacrilamide - Laboratory Tests. Soil Science. Soc. Am. J. 62:1681 - 1687.

AFONSO, M. J. (1993) - Estabilidade dos agregados do solo com a aplicação de condicionadores do solo. Trabalho de fim de curso de Eng^a. Agrícola. Universidade de Évora.

AL - KAISI, M. (1997) - "Polyacrilamide" - A New weapon in Fight Erosion caused by Irrigation. Colorado State University Golden Plains Area Cooperative Extension - Irrigation Management.

ASAE (1995) – Test procedure for determining the uniformity of water distribution of center pivot, coerner pivot, and moving lateral irrigation machines equipped with spray or sprinkler nozzles. 750-751.

BAPTISTA A. J. (1997) - Avaliação da rega com uma rampa rotativa numa cultura de milho em solo Mediterrâneo. Trabalho de fim de curso de Eng^a Agrícola. Universidade de Évora.

BARVENIK, F. W. (1994) - Polyacrilamide characteristics related to soil applications. Soil Science. 158: 235 - 243.

BENHAM, B.; YONTS, C. D. (1998) - A method to reduce soil erosion. Irrigation Journal.

BERGSMA, E.; VALENZUELA, C. R. (1981) – Drop Testing Aggregate Stabily of Some Soils Near Merida. Spain. Earth Surface and Landforms. Vol. 6., 309-318.

BJORNBERG, D. L.; KASAE, J. K.; SOJKA, R. E. (1996) – Preliminary results using polyacrilamide with sprinkler irrigation. University of Idaho.

BJORNBERG, D. L.; KASAE, J. K.; SOJKA, R. E. (2000) – Sprinkler irrigation runoff and erosion control with Polyacrilamide. Proceedings, Irrigation. 2000 Symposium, Pheonix.

BRAZ, P. M. H. (1998) - Estudo Comparativo de dois sistemas de rega por aspersão: canhão automotor e barra de aspersores. Dissertação apresentada na Universidade de Évora para obtenção do grau de mestre. Évora.

CARDOSO J. C. (1965) – Os solos de Portugal – sua classificação, caracterização e génese (1-A Sul do rio Tejo). Direcção Geral dos Serviços Agrícolas. Lisboa.

CEMAGREF (1992) - Irrigation. Guide pratique. Cemagref. CEP e RNED-HA. 2ª Edição. Montpellier.

COSTA, J. C. (1991) - Caracterização e constituição do solo. 4ª Edição. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa.

DE-BOODT, M. F.; HAYNES, M.; HERBILLON, A. (1990) - Application of Polymeric substances as physical soil conditioners. *IN* Soil Colloids their associations in aggregates. Plenum Press. New York. 517-556.

DEXTER, A. R. (1988) - Advances in characterization of soil structure. *Soil & Tillage Research*, 11, 119-138.

DILLON, R. C.; HILLER, E. A.; VITTETOE G. (1972) – Center-Pivot sprinkler design based on Intake characteristics *Transactions of the ASAE*. Vol. 15(5):996-1001.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. (1988) – Efectos del água sobre el rendimento de los cultivos. *Estudios de FAO Riego y Drenage* nº 33. FAO, Roma.

ELLIOT, R. L.; WALKER, W. R. (1982) - Field evaluation of furrow infiltration and advance functions. *Transaction ASAE*, 25(2), 396-400.

FACI, J.; BERCERO, A. (1989) – Medida de la uniformidad del riego por aspersión aplicado bajo condiciones variadas de presión de funcionamiento y de viento y por sistemas diversos. *Investigación Agraria – Producción y protección vegetales Vol 4* (1).

FACI, J.; BERCERO, A. (1990) – Efecto del viento en la uniformidad y en las pérdidas por evaporación y arraste en el riego por aspersión. *Investigación Agraria – Producción y protección vegetales Vol 4* (1).

HEERMANN, D. F.; KOHL, R. A. (1983) – Fluid dynamics of sprinkler systems. In design and operation of farm irrigation systems. *ASAE Monograph 3:583 – 614*. St. Joseph.

HELALIA, A. M.; LETEY, J. (1988) - Polymer type and water quality effects on soil dispersion. *Soil Science Soc. Am. J.* 52, 247-250.

HILLEL, D. (1980) - *Fundamentals of soil physics*. New York. Academic Press.

JAYNES, D. B. (1987) - Fitting the power function to data. *Transactions ASAE*, vol, 30(2), 415-416.

KELLER, J. et al., (1981) - Evaluation of irrigation systems. In irrigation challenges of the 80's. *Proceedings of the ASAE. Second National irrigation symposium*. 95-105. St. Joseph.

KELLER, J.; BLIESNER, R. (1990) - *Sprinkle and Trickle Irrigation*. AVI Book. Van Nostrand Reinhold. New York.

LENTZ, R. D.; SHAINBERG, I.; SOJKA, R. E.; CARTER, D. L. (1992) - Preventing irrigation furrow erosion with small applications of polymers. *Soil Science. Soc - Am. J.* 56:1926-1932.

LERSCH, E. A.; KINCAID, D. C.; LENTZ, R. D. (1996) - Polyacrilamide sprayed on soil surfaces can stabilize soil aggregates. *IN Erosion control technology - bringing it*

home. Proc. Of. Conf. 27, Seattle WA. 27 Feb. - 1 Mar. International Erosion Control Association, Steamboat Springs, C. O. pp. 533-538.

LIVINGSTON, P.; LOFTIS, J. C.; DUKE, H. R. (1985) - A wind tunnel study of sprinkler catch-can performance. Transactions of the ASAE. Vol. 28(6): 1961-1965.

LUZ, P. F. A. B. (1991) - Avaliação global da rega por "center-pivot". Tese submetida para satisfação parcial dos requisitos para o grau de Mestre. Instituto Superior de Agronomia - Universidade Técnica de Lisboa.

MADEIRA, M. M.; MARTINS, O. C.; SERRALHEIRO, R. P.; SANTOS, F. L. (2000) - Conservação do solo e da água em regadio. Artigo apresentado no congresso "II Congresso Ibérico de Planeamento e Gestão de Recursos Hídricos".

MARTIN-BENITO, J. M. T. (1995) - El riego por aspersion y su tecnologia. Edições Mundi-Prensa. Madrid.

MARTINS, O. (1998) - Avaliação da Qualidade da Água de Drenagem e da Perda de Sedimentos na Rega de Superfície. Trabalho de Fim de Curso de Eng^a de Recursos Hídricos. Universidade de Évora.

Mc ELHINEY; OSTERLI, P. (1996) - An integrated approach for water quality: The PAM connection. *IN* Sojka R. E. and R. D. Lentz (eds). Proceedings: Managing irrigation - Induced erosion and infiltration with Polyacrilamide May 6, 7 and 8, College of Southern Idaho. University of Idaho. Misc. Pub. 101 - 96, pages 27-30.

MELHORADO, F. (1998) - Controle da erosão e da infiltração em solo Mediterrâneo com a aplicação de Poliacrilamida Aniônica na água de rega. Dissertação apresentada na Universidade de Évora para obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Solo e da Água. Évora.

MERRIAM, J. L.; KELLER, J. (1978) - Farm irrigation system evaluation: A guide for management. Utah State University. Logan, Utah.

MERRIAM, J. L. et al., (1983) – Evaluating irrigation systems and practices. In design and operation of farm irrigation systems. ASAE Monograph 3:721 – 749. St. Joseph.

MORGAN, R. P. C. (1995) - Erosion and Conservation. Longman Group Limited. Second Edition. London.

OLIVEIRA , I. (1993) - Técnicas de Regadio. Tomo I e II. Instituto de Estruturas Agrárias e Desenvolvimento Rural, Lisboa.

PINHEIRO J. R. S. (1990) – Estudo da reorganização da rega da Herdade do Cabido e Anexas; Trabalho de Fim de Curso, Universidade de Évora, Évora.

RAMOS, A. F. P. F. (1995) - Caracterização do enraizamento em função das condições hidropedológicas de um solo argiluvado sujeito à rega por sulcos. Trabalho de Fim de Curso. Universidade de Évora.

RAPOSO, J. R. (1996) – A rega. Dos primitivos regadios às modernas técnicas de rega. Fundação Calouste Gulbenkian.

REINDERS, F. B.; LOW, A. A. (1984) - Infiltration: measurement and use. Department Agricultural Technical Services. Republic of South Africa: 17-20.

ROLLAND, L. (1986) – Mecanizacion del riego por aspersion. Estudio FAO, Riego y Drenaje, nº 35. FAO, Roma.

SANTOS JÚNIOR, A. G. (1987) – O movimento da água no solo. 2ª Edição. Universidade de Évora.

SANTOS, F. L. (1997) - Transferência de água e de solutos no solo. Publicações “Universidade de Évora”, Série “Ciências Agrárias”, nº 6, Évora.

SCHERER, T. F. et al., (1999) - Sprinkler Irrigation Systems. MWPS - 30, Iowa State University.

SERRALHEIRO, R. P. (1988) - Um estudo da rega por sulcos num solo argiluvado. Dissertação apresentada à Universidade de Évora para obtenção do grau de Doutor. Universidade de Évora, Évora.

SERRALHEIRO, R. P. (1996) - Modernização e Desenvolvimento da rega de superfície. Publicações Universidade de Évora. Série: Ciências Agrárias. Nº 2.

SERRALHEIRO, R. P. (1997) - Perspectiva da agricultura de regadio em Portugal. Publicações Universidade de Évora. Série: Ciências Agrárias. Nº 5.

SERAFIM, A. M. P. B. (1994) - Sobre a Implantação de Rampas Polares. Dissertação para Doutoramento em Engenharia Agronómica. Instituto Superior de Agronomia. Universidade Técnica de Lisboa.

SHARMA, P. P.; GUPTA, S. C. (1989) - Sand detachment by single raindrop of varying kinetic energy and momentum. Soil science of America Journal, 52:1005 - 1010.

SILVA, J. R. (1991) - Estudo de rega gota-a-gota por sulcos compridos na cultura do milho no Vale do Soraia. Trabalho de fim de curso de Eng.^a Agrícola. Universidade de Évora.

SILVA, J. R. (1999a) - Susceptibilidade do solo à erosão hídrica. Dissertação apresentada à Universidade de Évora para obtenção do grau de Doutor. Universidade de Évora, Évora.

SILVA, L. L. (1999b) - Algumas notas sobre sistemas de rega por aspersão. Texto apresentado na acção de formação "Protecção do Solo e da Água". Universidade de Évora.

SOJKA, R. E.; CARTER, D. L.; BROWN, M. J. (1992) - Imhoff cone determination of sediment in irrigation runoff. Soil Sci. Soc. Am. J. Vol. 56:884-890.

SOJKA, R. E.; LENTZ, R. D.; FOERSTER, J. A. (1994) - Software utilizing Imhoff cone volumes to estimate furrow-irrigation erosion. *J. Soil and water Cons.* 49(4):400-406.

SOJKA R. E.; LENTZ R. D.; ROSS, C. W.; TROUT, T. J. (1996a) - A PAM Primer: A brief history of PAM and PAM - issues related to irrigation. *IN* Sojka, R. E. and R. D. Lentz (eds). *Proceedings: Managing irrigation - induced erosion and infiltration with Polyacrilamide.* May 6, 7 and 8. College of Southern Idaho, Twin Falls, I. D. University of Idaho Misc. Pub. 101-96, 97-102.

SOJKA R. E.; LENTZ R. D. (1996b) - Polyacrilamide for furrow irrigation erosion control. *Irrigation Journal.* 64:8-11.

SOLOMON, K. (1979) - Variability of sprinkler coefficient of uniformity test results. *Transactions of the ASAE* 22(5): 1078-1080, 1086.

TIERCELIN, J. (1998) – *Traité D'irrigation.* Technique e Documentation. Paris.

TOUREIRO, C.; SERRALHEIRO, R. P. (1999) - Gestão da rega: Necessidades Hídricas; Aspectos agronómicos das culturas. Artigo apresentado no estudo Comparativo de Métodos de rega no Alentejo. Projecto PAMAF 4063.

TOUREIRO, C. (2000) - Gestão da água em regadio. Texto de apoio para a acção de formação Tecnologia da rega no Centro Operativo de Tecnologias de regadio - Beja.

TROUT T. J.; NEIBLING W. H. (1993) - Erosion and Sedimentation Process on Irrigation Fields. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE* 119(6), 947-963.

TROUT, T. J.; SOJKA, R. E. ; LENTZ, R. D. (1995) - Polyacrilamide effect on furrow erosion and infiltration. *Trans ASAE.* 38(3): 761-765.

VORIES, E. D.; von BERNUTH, R. D. (1986) - Single nozzle sprinkler performance in wind. *Transactions of the ASAE.* Vol. 29(5):1325-1330.

VORIES, E. D.; von BERNUTH, R. D. (1987) – Simulating sprinkler performance in wind. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. ASCE, vol. 113 (1):119-130.

KELLER, J.; BLIESNER, R. (1990) – Sprinkler and trickle irrigation. *AVI Book*. Van Nostrand Reinhold. New York.

ANEXOS

ANEXO I

Classificação das instalações de rega (Raposo, 1996)

	com ramais móveis	móveis	completamente
			parcialmente
ESTACIONÁRIAS (clássicas)	fixas (sem ramais móveis)	semi - fixas	
		temporariamente fixas	
		permanentemente fixas	
SEMOVENTES (máquinas de rega)	com movimento de rotação	em torno da parte central (aspersores gigantes)	
		em torno de um extremidade (rampas rotativas)	
	com movimento de translação	com vários aspersores (rampas laterais)	
com um só aspersor (canhões automotores)			
	mistas (com movimento de rotação e translação)		

ANEXO II

Características gerais dos principais tipos de aspersores

Tipo de aspersor	Gama de pressões (kPa)	Caudais (l/min)	Alcance do jacto (m)	Intensidade de aplicação	Dimensão relativa das gotas
IMPACTO					
Baixa pressão					
• um orifício de saída	103-207	119-19	18-24	baixa	grande
• dois orifícios de saída	103-207	11-38	21-25	média	grande
Média pressão					
• um orifício de saída	207-414	15-76	21-43	baixa a média	média
• dois orifícios de saída	207-414	15-360	21-61	média	média
Alta pressão					
• um orifício de saída	345-690	15-416	27-73	média	pequena
• dois orifícios de saída	345-690	15-530	27-73	média a alta	pequena
• orifício caudal const.	276-552	8-38	27-37	baixa a média	média
• orifício difusor	172-345	8-195	20-40	média	pequena
• tipo canhão	276-896	197-4542	61-183	média a alta	pequena
TIPO NEBULIZADOR					
Sector de 180°	35-276	1-95	2-11	muito alta	fina
			3-12	muito alta	fina
Sector de 360° com deflector plano e liso	35-276	1-95	3-12	alta a muito alta	fina
			6-17	alta a muito alta	fina
Sector de 360° com deflector plano e serrado	35-276	1-95	4-15	alta	pequena
			8-21	média a alta	pequena

ANEXO III

Espaçamento recomendado segundo o diâmetro do círculo regado e a velocidade do vento

(Rolland, 1986; Keller e Bliesner, 1990)

Diâmetro molhado (m)	Velocidade do vento (m/s)						
	> 4.5	2 - 4.5		< 2		sem vento	
	Espaçamento (% do diâmetro molhado)						
	50	55	60	65	70	75	80
Espaçamento recomendado (m)							
34	30	34	37	40	43	46	49
42	38	42	46	49	53	57	61
50	46	50	55	59	64	69	73
59	53	59	64	69	75	80	85
67	61	67	73	79	85	91	98
76	69	76	82	89	96	103	110
84	76	84	91	99	107	114	122
92	84	92	101	109	117	126	134
101	91	101	110	119	128	-	-

ANEXO IV

Cálculos necessários para o dimensionamento da rega com canhões
(Adaptado de Martin-Benito, 1995)

Etapas	Dados de entrada	Cálculos
Cálculo dos parâmetros de rega	<ul style="list-style-type: none"> • CC - capacidade de campo • CE - coeficiente de emurchecimento • z - profundidade radical efectiva (m) • U_z - capacidade utilizável para uma dada profundidade (mm) • p - coeficiente facilmente utilizável • ETC - evapotranspiração máxima da cultura (mm/dia) • EA - eficiência de aplicação do sistema (decimal) • A - área a regar (ha) • Q - caudal disponível (l/s) • Td - tempo de rega por dia (h) 	<ul style="list-style-type: none"> • Dotação útil (D_u): $D_u = U_z \diamond p$ • Dotação real (D_r): $D_r = \frac{D_u}{EA}$ • Intervalo entre regas (Int): $Int = \frac{D_u}{ETC}$
Caudal médio de bombagem	<ul style="list-style-type: none"> • Q - caudal disponível (l/s) • ETC - evapotranspiração máxima da cultura (mm/dia) • A - área a regar (ha) • EA - eficiência de aplicação do sistema (decimal) • Td - tempo de rega por dia (h) 	<ul style="list-style-type: none"> • Caudal médio de bombagem: $Q = \frac{ETC \times 10000 \times A}{EA \times Td \times 3600}$
Seleção do aspersor	<ul style="list-style-type: none"> • ip_m - intensidade de precipitação média (mm/h) • Q - caudal (l/h) • E - espaçamento entre faixas (m) • α - ângulo do sector molhado ($^\circ$) 	<ul style="list-style-type: none"> • Intensidade de precipitação média (mm/h): $ip_m = \frac{Q}{(E^2)} \times \frac{360}{\alpha}$
Largura de faixa aconselhada	<ul style="list-style-type: none"> • Alcance do jacto do canhão • Velocidade do vento 	<ul style="list-style-type: none"> • Calculada com base em Cemagref (1992)
Velocidade de avanço e tempo de rega	<ul style="list-style-type: none"> • V_d - velocidade de deslocação (m/h) • Q - caudal (l/h) • D_r - dotação real (l/m²) • E - espaçamento entre posições de rega 	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidade de avanço e tempo de rega: $V_d = \frac{Q}{D_r \times E}$
Pressão necessária à entrada do enrolador	<ul style="list-style-type: none"> • Pressão de serviço do canhão • Perdas de carga no tubo flexível • Perdas de carga na turbina e noutros elementos do enrolador • Altura do canhão sobre o solo 	<ul style="list-style-type: none"> • Soma dos dados de entrada

ANEXO V

Alguns dos resultados obtidos em rega por sulcos com a aplicação de Poliacrilamida aniónica

Autores	Ensaio	Resultados obtidos	
	Taxa de aplicação de PAM	Redução da perda de solo	Aumento da taxa de infiltração
Sojka e Lentz, 1996a	1 kg/ha	94%	15%
Yonts e Benham, 1988		95%	
Sojka e Lentz, 1996b	0.55 kg/ha	94.8%	
	1.15 kg/ha		19.5%
McElhiney e Osterli, 1996	0.25, 0.5 e 1 kg/ha	0.5 kg/ha reduziu em 98% e as restantes em 96%	10-40%
Lentz <i>et al.</i> , 1992	1 kg/ha	97%	
Trout <i>et al.</i> , 1995	1 kg/ha	85 a 99%	30%
Melhorado, 1998	1 kg/ha	95.9 a 99.3%	58.1 a 79.2%
Martins, 2000	1 kg/ha	96%	55%
Castanheira, 2000			

ANEXO VI

Alguns dos resultados obtidos em rega por aspersão com a aplicação de Poliacrilamida aniónica

Autores	Características dos ensaios	Taxa de aplicação de PAM
Strainberg <i>et al.</i> , (1990) cit. por Aase <i>et al.</i> , (1998)	A concentração de 20 kg/ha é a que mantém taxas mais altas de infiltração.	20 kg/ha
Smith <i>et al.</i> , (1990); Levin <i>et al.</i> , (1991) cit. por Aase <i>et al.</i> , (1996)	Concluíram ser a concentração de 20 kg/ha a que mais aumenta a infiltração e diminui o escoamento superficial.	20 kg/ha
Ben-Hur <i>et al.</i> , (1989) cit. por Aase <i>et al.</i> , (1998)	É mais efectiva a manutenção da taxa de infiltração quando a PAM é aplicada num simulador, do que quando é aplicada sob a superfície.	5 kg/ha
Bjornberg <i>et al.</i> , (1997)	Utilizando uma rampa rotativa de baixa pressão, a perda de solo e o escoamento superficial diminuíram para cerca de 75%.	1 kg/ha
Bjornberg <i>et al.</i> , (1998)	Testes de laboratório demonstraram que o escoamento superficial e a perda de solo foi 2 a 6× maior quando a rega não foi efectuada com PAM	2 kg/ha
Aase <i>et al.</i> , (1998)	Num solo limo-argiloso realizaram-se testes de laboratório, reduzindo-se o escoamento superficial em 70% e a perda de solo em cerca de 75%.	2 lbs/acre

ANEXO VII

Descrição geral do solo Pmg (Cardoso, 1965)

HORIZONTE A1 - 15 a 35 cm; pardo ou castanho; franco-arenoso a arenoso; estrutura granulosa fina a fraca ou sem agregados; não aderente; não plástico; muito friável ou solto; pH 5.5 a 6.5. Transição nítida ou abrupta para o Horizonte B.

HORIZONTE B - 20 a 50 cm; pardo ou castanho com pontuações esbranquiçadas de feldspatos; franco-argiloso-arenoso, franco-argiloso, argilo-arenoso ou argiloso; estrutura prismática média ou grosseira moderada ou fraca; há películas de argilas nas faces dos agregados; aderente, plástico, muito firme ou firme; muito rijo ou rijo; pH 6.5 a 7.5. Transição nítida ou gradual para Horizonte C.

HORIZONTE C - Material originário proveniente da desagregação de quartzodioritos, notando-se nele além de feldspatos, partículas de quartzo e micas.

Características gerais do solo Pmg (Cardoso, 1965)

Características Gerais	
Camada Superior	Textura arenosa (ligeira) com transição nítida ou abrupta para uma textura mais pesada, resultante de uma alteração do tipo de argila no horizonte B.
Troca Iónica	Muito variável, nos horizontes superiores é baixa ou mediana (o cálcio é o catião dominante).
Grau de Saturação	Muito elevado, geralmente superior a 75%, e aumenta geralmente com a profundidade.
Capacidade de Campo	Valores moderados ou elevados.
Permeabilidade	Lenta, sendo o horizonte B dificilmente penetrável pelas raízes.
Percentagem de matéria orgânica	Nos solos cultivados é sempre baixa, mas em incultos pode atingir valores elevados, decresce muito, em geral gradualmente, com a profundidade.

ANEXO VIII

Dados técnicos do canhão MIZAR

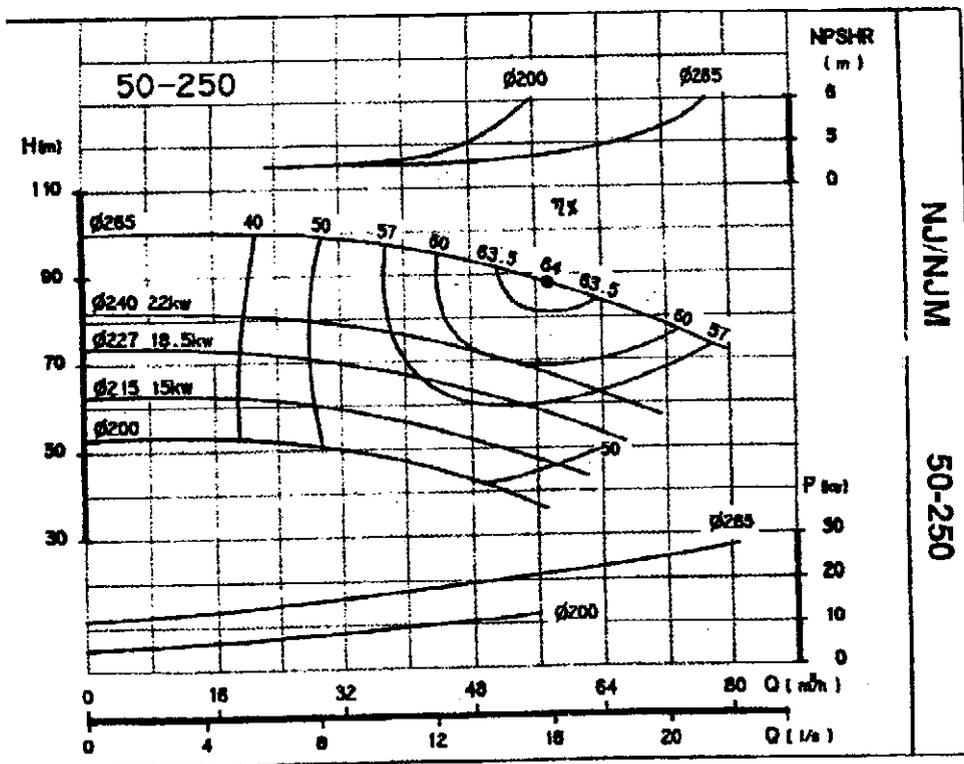
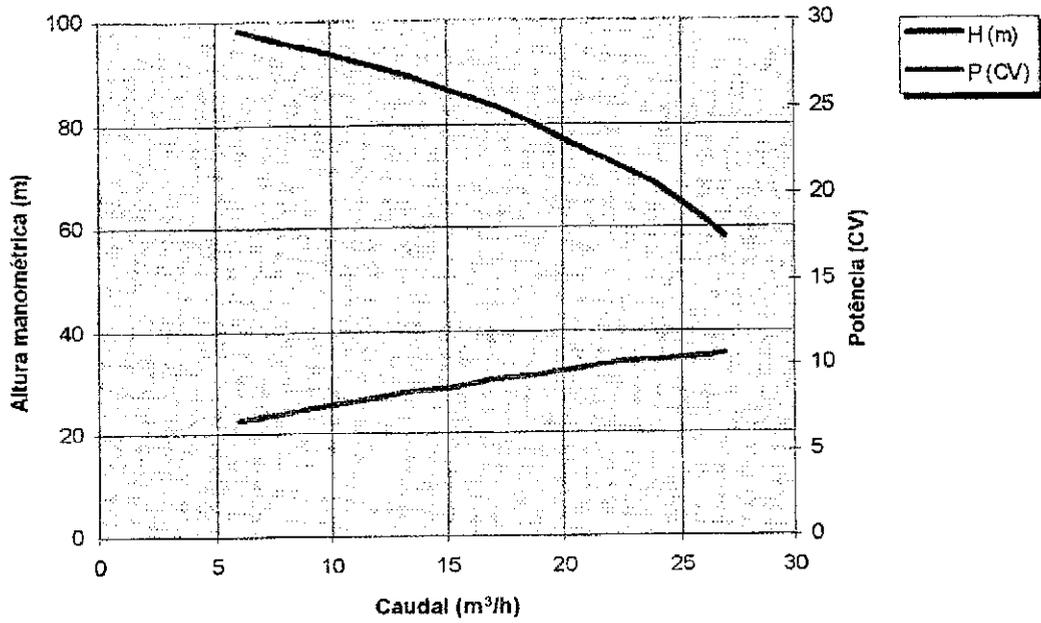
Pressão (Atm)	Alcance do jacto (m)	Débito (l/min)	Débito (m ³ /h)	Dados rel. a um só aspersor	
				Sup. regada (m ²)	Int. pluv. (mm/h)
3.0	28.0	275	16.5	2461	6.7
3.5	30.0	298	17.9	2826	6.3
4.0	31.5	319	19.1	3115	6.1
4.5	33.0	338	20.2	3419	5.9
5.0	34.5	356	21.4	3737	5.7
5.5	36.0	373	22.4	4071	5.5
6.0	38.0	391	23.4	4521	5.2
7.0	40.0	421	25.2	5026	5.0
8.0	41.5	451	27.0	5400	5.0

ANEXO IX**Dados técnicos dos aspersores utilizados na barra (Modelo B82 - 1" SPECIAL)**

Pressão (Atm)	Alcance do jacto (m)	Débito (m ³ /h)
1.5	15.5	3.7
2.0	16.5	4.3
3.0	17.5	5.3
4.0	19.0	6.1
4.5	20.0	6.5

ANEXO X

Curva característica da bomba Tecnidráulica Tipo 402 S e da bomba Efacec NJ/NJM 50-250



ANEXO XI**Valores de retenção da água no solo (Ramos, 1995)**

Profundidade (cm)	CC (% vol)	CE (% vol)	CU (% vol)	Armazenamento (mm)
0 - 10	19.9	9.7	10.2	10.2
10 - 20	20.1	10.9	9.2	9.2
20 - 40	21.9	11.4	10.5	21.0
40 - 50	26.8	14.2	12.6	12.6
50 - 60	29.5	16.6	12.9	12.9

ANEXO XII - A

Diagramas da precipitação recolhida, considerando sobreposições de 15, 25 e 35%, velocidade de deslocação de 30 m/h, para a modalidade canhão automotor.

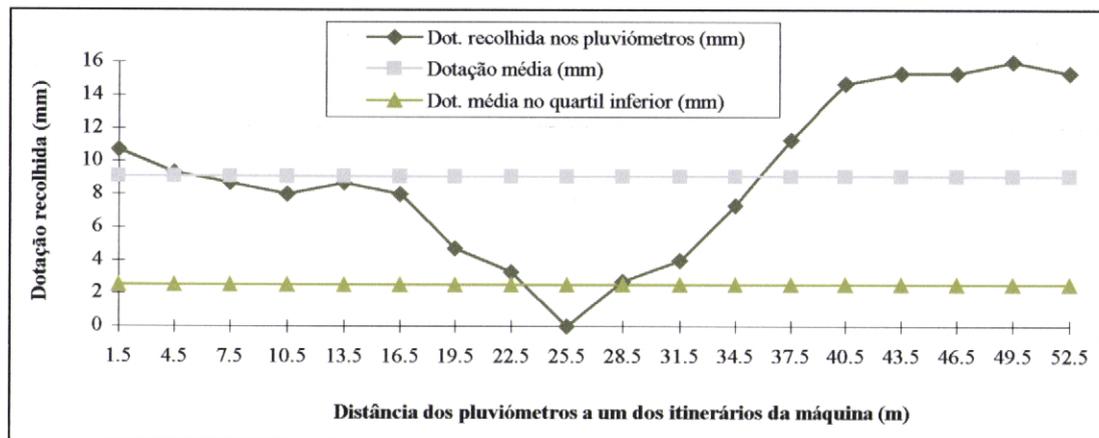


Fig. 1 - Diagrama da precipitação recolhida, considerando uma sobreposição de 15%, na modalidade canhão automotor e velocidade de deslocação de 30 m/h.

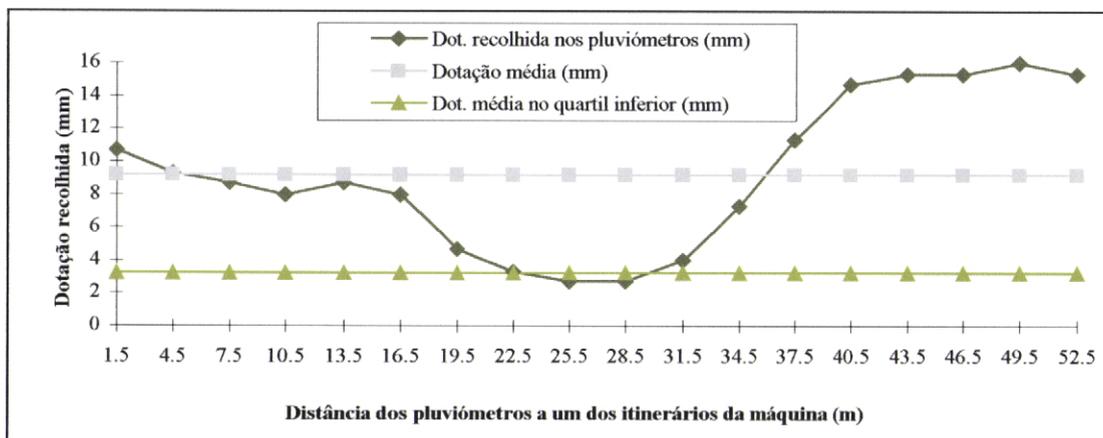


Fig. 2 - Diagrama da precipitação recolhida, considerando uma sobreposição de 25%, na modalidade canhão automotor e velocidade de deslocação de 30 m/h.

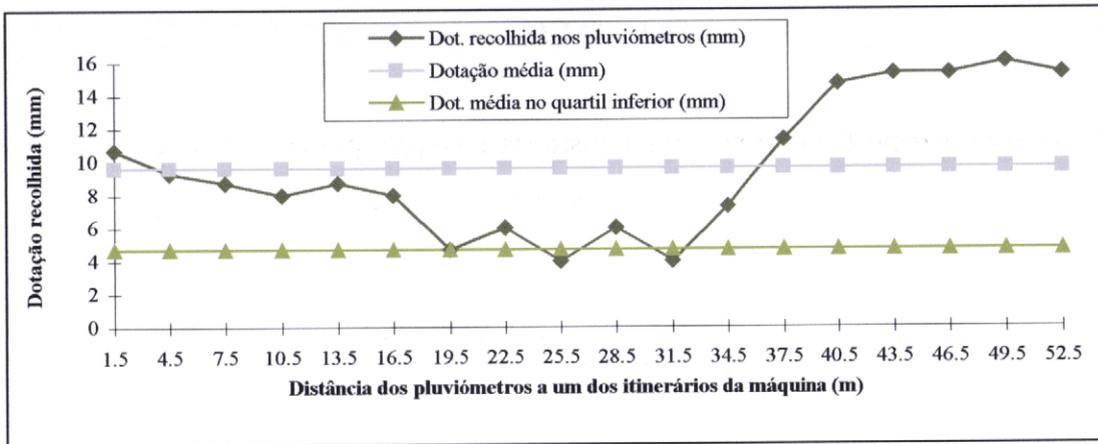


Fig. 3 - Diagrama da precipitação recolhida, considerando uma sobreposição de 35%, na modalidade canhão automotor e velocidade de deslocação de 30 m/h.

ANEXO XII - B

Diagramas da precipitação recolhida, considerando sobreposições de 15, 25 e 35%, velocidade de deslocação de 30 m/h, para a modalidade barra com quatro aspersores.

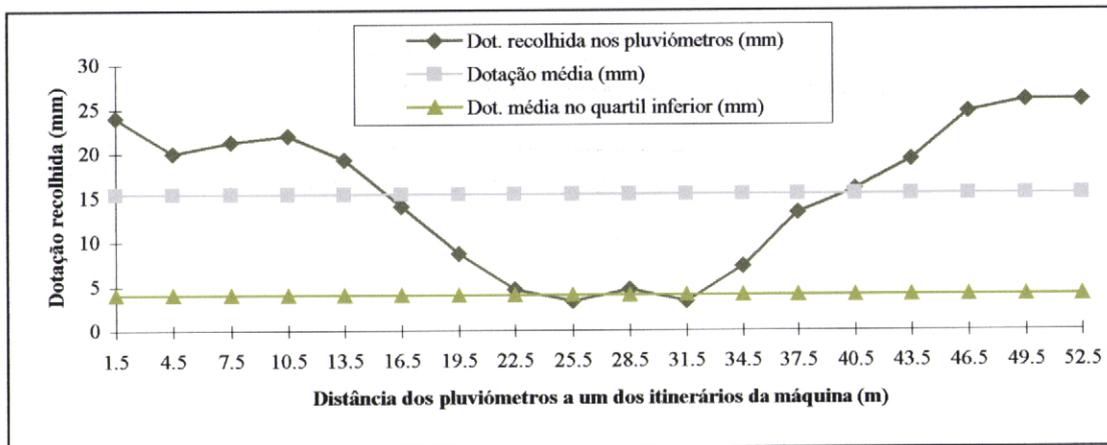


Fig. 1 - Diagrama da precipitação recolhida, considerando uma sobreposição de 15%, na modalidade barra com quatro aspersores e velocidade de deslocação de 30 m/h.

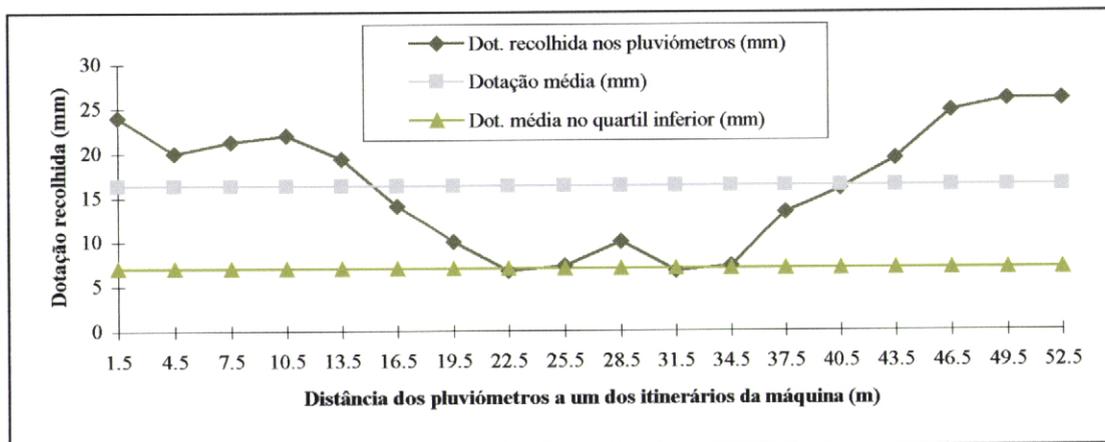


Fig. 2 - Diagrama da precipitação recolhida, considerando uma sobreposição de 25%, na modalidade barra com quatro aspersores e velocidade de deslocação de 30 m/h.

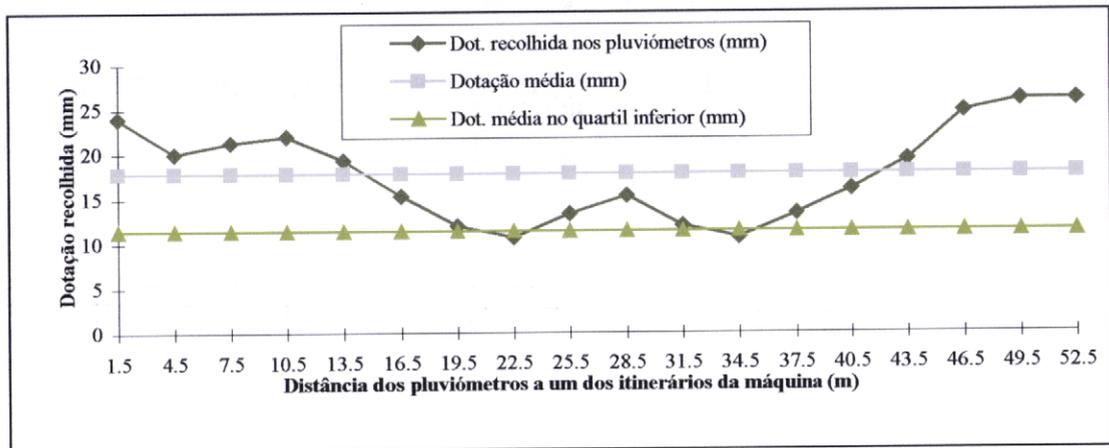


Fig. 3 - Diagrama da precipitação recolhida, considerando uma sobreposição de 35%, na modalidade barra com quatro aspersores e velocidade de deslocação de 30 m/h.

ANEXO XII - C

Diagramas da precipitação recolhida, considerando sobreposições de 15, 25 e 35%, velocidade de deslocação de 10 m/h, para a modalidade canhão automotor.

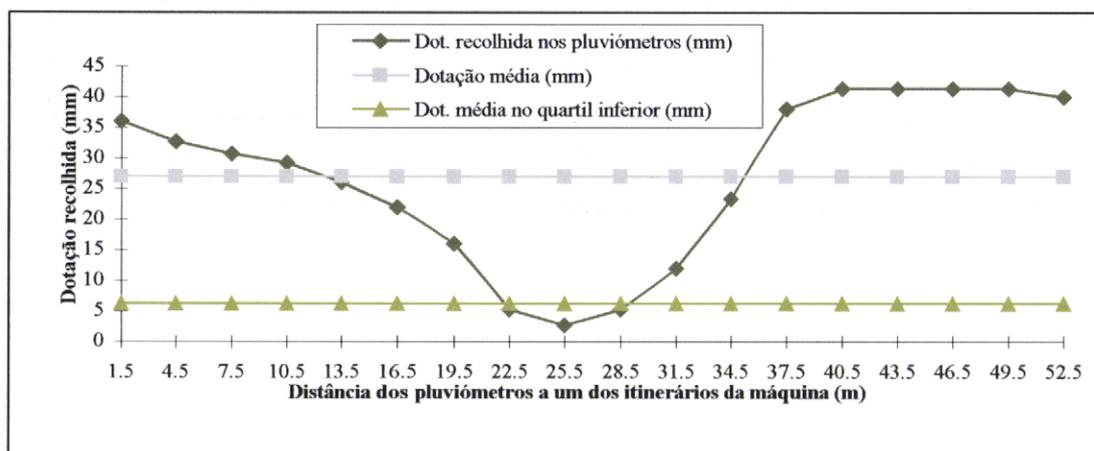


Fig. 1 - Diagrama da precipitação recolhida, considerando uma sobreposição de 15%, na modalidade canhão automotor e velocidade de deslocação de 10 m/h.

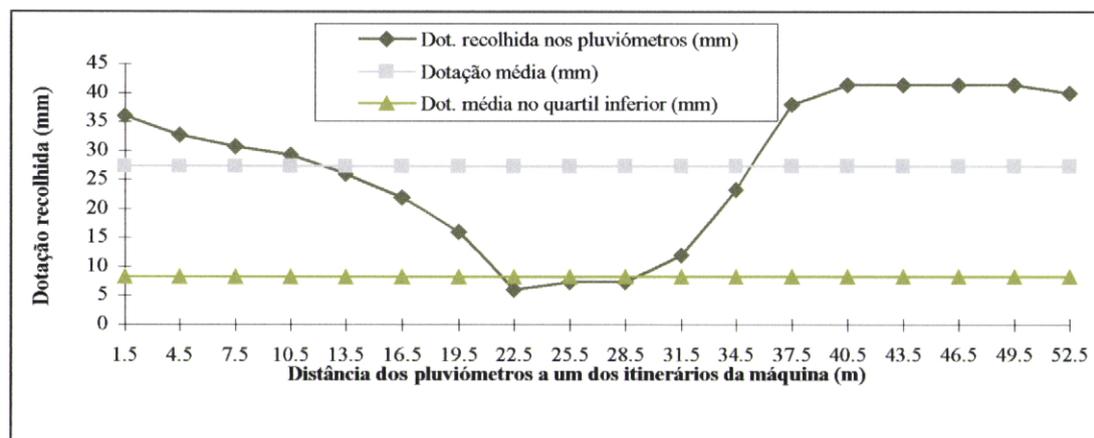


Fig. 2 - Diagrama da precipitação recolhida, considerando uma sobreposição de 25%, na modalidade canhão automotor e velocidade de deslocação de 10 m/h.

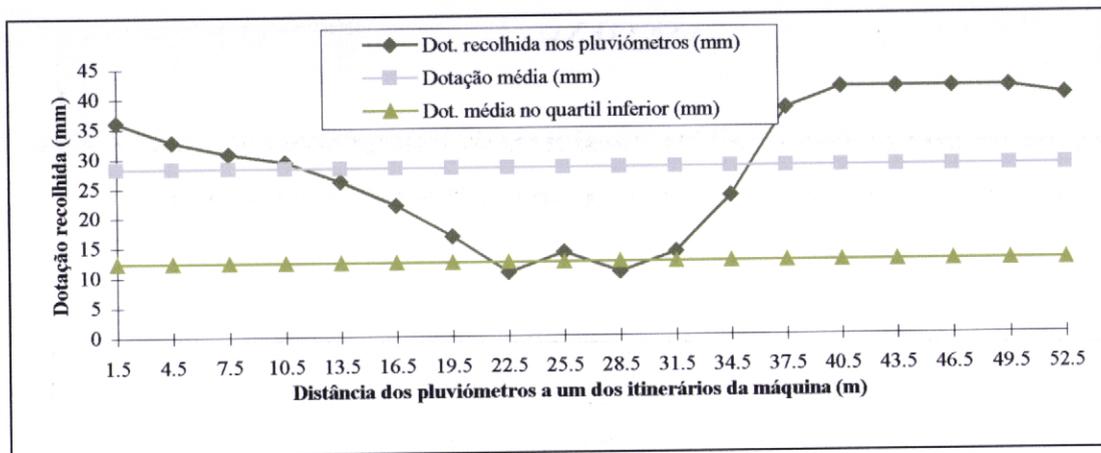


Fig. 3 - Diagrama da precipitação recolhida, considerando uma sobreposição de 35%, na modalidade canhão automotor e velocidade de deslocação de 10 m/h.

ANEXO XII - D

Diagramas da precipitação recolhida, considerando sobreposições de 15, 25 e 35%, velocidade de deslocação de 10 m/h, para a modalidade barra com aspersores.

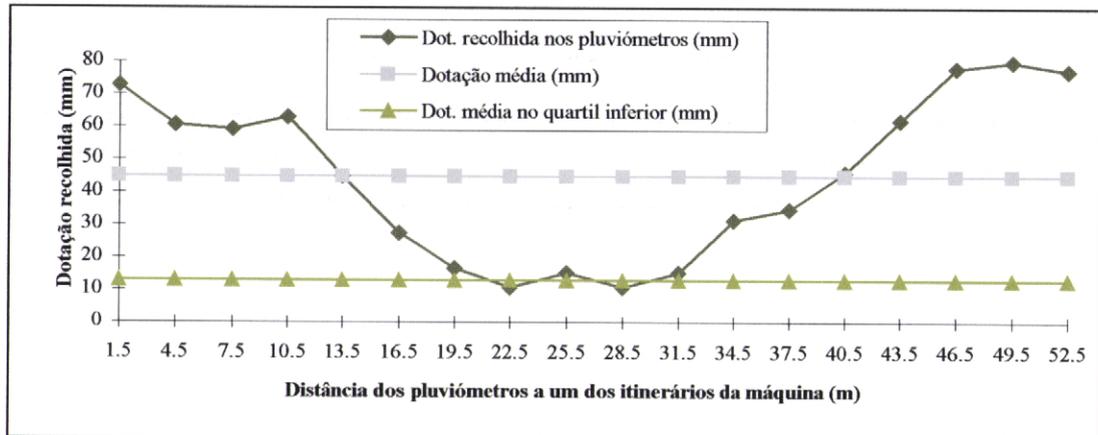


Fig. 1 - Diagrama da precipitação recolhida, considerando uma sobreposição de 15%, na modalidade barra com quatro aspersores e velocidade de deslocação de 10 m/h.

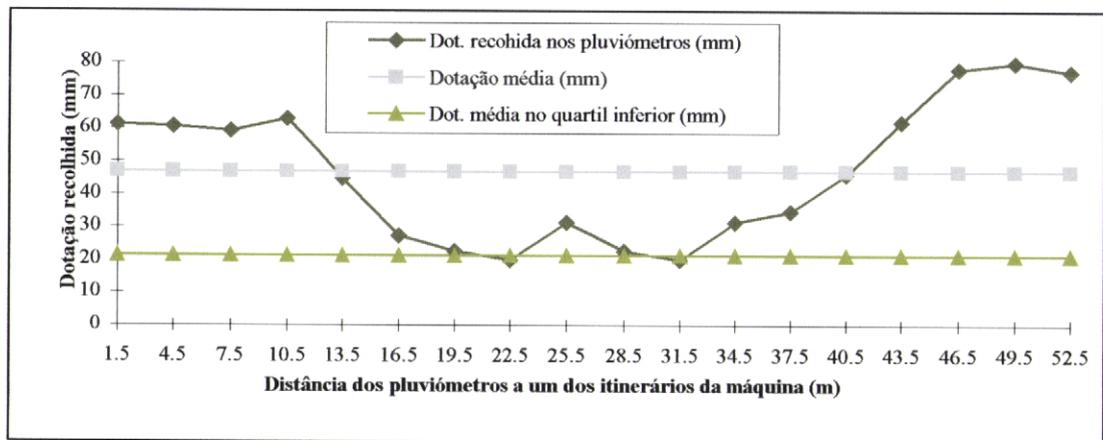


Fig. 2 - Diagrama da precipitação recolhida, considerando uma sobreposição de 25%, na modalidade barra com quatro aspersores e velocidade de deslocação de 10 m/h.

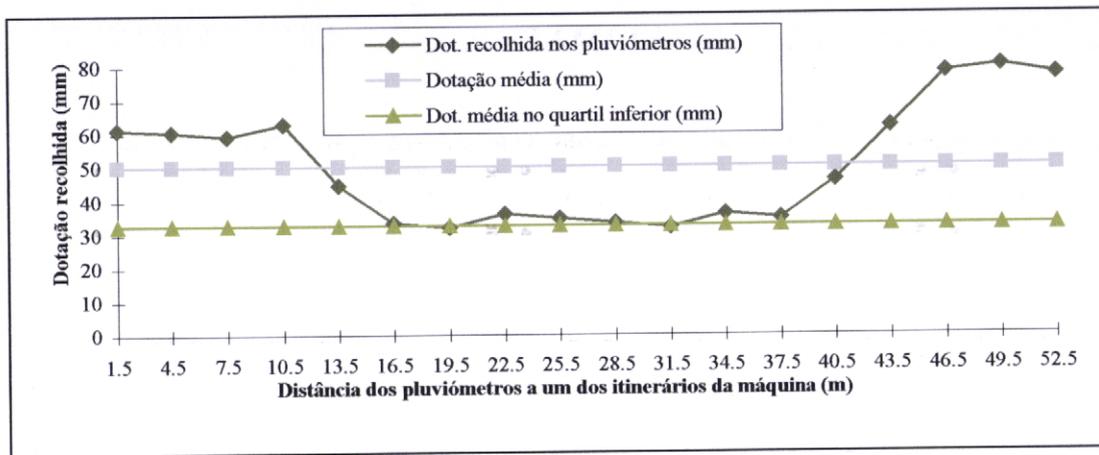


Fig. 3 - Diagrama da precipitação recolhida, considerando uma sobreposição de 35%, na modalidade barra com quatro aspersores e velocidade de deslocação de 10 m/h.

ANEXO XIII

Valores da dotação média aplicada e da dotação média recolhida no quartil inferior para as modalidades canhão automotor e barra com quatro aspersores

Dotações médias aplicadas e recolhidas no quartil inferior

Modalidades	Vel. desl. (m/h)	Vel. Vento (m/s)	Dot. média aplicada (mm)			Dot. média quartil inferior (mm)		
			15%	25%	35%	15%	25%	35%
Barra	10	1.8	51.2	58.1	67	13	21.3	30.3
	30	1.9	17.1	19.4	22.4	4	7	10.8
	50	1.8	10.3	11.6	13.4	2.5	4	5.8
Canhão	10	2.4	30.2	34.2	39.5	3.7	6.3	11.7
	30	2.0	10.1	11.4	13.2	1.3	3	4.3
	50	3.0	6.1	6.9	7.9	1	1.5	2.3

ANEXO XIV

Perdas por evaporação e arrastamento verificadas nas modalidades, barra e canhão

Modalidade	Velocidade de desl. (m/h)	Velocidade do vento (m/s)	Dotação média aplicada (mm)	Dotação média recolhida (mm)	PERDAS (%)
BARRA	10	1.8	51.2	44.13	13.8
	30	1.9	17.1	15.5	9.4
	50	1.8	10.3	9.5	7.8
CANHÃO	10	2.4	30.2	24.63	18.4
	30	2.0	10.1	8.3	17
	50	3.0	6.1	5.83	2.8

ANEXO XV

Resultados do Teste da Gota

Número de gotas necessárias para destruir os agregados , no crivo de 2.8 mm

Nº de Agregados	Nº de gotas	Agregados (%)	% - Acumulada
1	3	3.3	3.3
1	4	3.3	6.7
3	5	10	17
2	6	6.7	23
4	7	13	37
1	8	3.3	40
6	9	20	60
2	10	6.7	67
2	11	6.7	73
1	12	3.3	77
3	15	10	87
1	16	3.3	90
2	17	6.7	97
1	19	3.3	100

Número de gotas necessárias para destruir os agregados , no crivo de 4.75 mm

Nº de Agregados	Nº de gotas	Agregados (%)	% - Acumulada
2	2	6.7	6.7
5	3	16.7	23.3
3	4	10	33.3
5	5	16.7	50
4	6	13.3	63.3
4	7	13.3	76.7
1	8	3.3	80
1	9	3.3	83.3
3	10	10	93.3
2	11	6.7	100

Número de gotas necessárias para destruir os agregados , no crivo de 6.3 mm

Nº de Agregados	Nº de gotas	% -Agregados	% -Acumulada
2	2	6.7	6.7
3	3	10	16.7
3	4	10	26.7
3	5	10	36.7
2	6	6.7	43.3
2	7	6.7	50
4	8	13	63.3
4	9	13	76.7
1	10	3.3	80
1	11	3.3	83.3
2	12	6.7	90
2	13	6.7	96.7
1	17	3.3	100