

UNIVERSIDADE DE ÉVORA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA RURAL

**Estudo da influência da água e do azoto no crescimento e produção
de milho para grão e definição de uma função de produção**

ISABEL MARIA ABREU DA SILVA COSTA

MESTRADO EM ENGENHARIA DO SOLO E DA ÁGUA

Évora
1999

ERRATA

- Na figura 11: substituir “78.54 cm²” por “0.007854 m²”
substituir “kg/ha” por “10⁻³ t.ha⁻¹”
substituir “MJ.mm/ha.h” por “MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹”
- Na figura 25A: substituir “s” por “h.3600⁻¹”
- Na figura 19: substituir “Above” por “Acima”
- Na figura 14: substituir “MJ.mm/ha.h” por “MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹”
- Na página 13: substituir no quadro 2 os valores do factor P dos talhões 6 (0.6), 7 (0.7), 14 (0.8) e 15 (0.8) pela unidade.
- Na página 30: substituir “0.25 a 0.30 m” por “250 a 300 mm”
- Na página 56: substituir “3^a chuvada – com duração de uma hora” por “3^a chuvada – com duração de meia hora”
- Na página 93: substituir “(1968)” por “(1978)”
- Na página 129: substituir “o que não acontece com o DPG, pois este é superior nos sedimentos” por “o que também acontece com o DPG, pois a variabilidade dos constituintes do solo diminui nos sedimentos”

UNIVERSIDADE DE ÉVORA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA RURAL

**Estudo da influência da água e do azoto no crescimento e produção
de milho para grão e definição de uma função de produção**

ISABEL MARIA ABREU DA SILVA COSTA

99607

MESTRADO EM ENGENHARIA DO SOLO E DA ÁGUA

**“Dissertação apresentada nesta Universidade para efeitos de
obtenção do grau de Mestre”**

Évora
1999

Resumo

A água e a fertilidade do solo são os dois factores que têm merecido maior atenção, quando se trata a questão da utilização eficiente dos factores de crescimento controláveis, de modo a otimizar a produção. A resposta das culturas a estes factores tem sido utilizada para determinar funções de produção.

Utilizou-se uma linha de aspersores para estudar o efeito de quatro níveis de aplicação de azoto e de água, nos parâmetros relativos ao crescimento e à produção do milho (*Zea mays* L.) e para determinar uma função de produção.

Verificou-se que a altura de água aplicada diminui com o aumento da distância à linha de aspersores. Foram obtidos bons ajustamentos de equações de regressão de segundo grau que relacionam a altura de água aplicada com a distância ao limite lateral do campo de ensaio. O vento e a sebe foram determinantes nas diferenças registadas entre as duas metades do campo de ensaio e entre as três repetições.

Relativamente à influência do azoto e da água na altura das plantas, constatou-se que a primeira não foi significativa e que a segunda, que não pode ser estatisticamente testada, foi considerável. Nos restantes parâmetros referentes ao crescimento do milho verificou-se que a influência do azoto foi significativa apenas em duas amostragens. De um modo geral, foram obtidos bons ajustamentos das equações de regressão de segundo grau que relacionam, por amostragem e por nível de aplicação de azoto, os resultados referentes aos parâmetros de crescimento com a altura de água aplicada.

Os valores de R^2 e R^2_a obtidos (0,796 e 0,772, respectivamente) indicam um bom ajustamento da equação polinomial que relaciona a produção de grão com os níveis de aplicação de água e de azoto. O máximo da função de produção (14,27 tonha⁻¹) obtém-se aplicando 311,19 kg de azoto por hectare e 708,76 mm de água.

Palavras-chave: Milho, água, azoto, crescimento, produção, função de produção.

Agradecimentos

Uma vez concluído este trabalho, não posso deixar de expressar o meu agradecimento a todos os que colaboraram para que a sua realização fosse possível. Deste modo, agradeço:

Ao Prof^o Francisco Lúcio Santos da Universidade de Évora pela orientação desta tese, e por todas as sugestões, correcções e revisões que contribuíram para a realização do trabalho que agora apresento.

À Eng^a Ana Maria Morgado Santos da Universidade de Évora, por toda a colaboração, nomeadamente na preparação do trabalho de campo, delineamento do ensaio e acompanhamento do mesmo.

À Prof^a Maria do Rosário Oliveira da Universidade de Évora, pelas sugestões que ajudaram na execução do trabalho de campo.

Ao Eng^o Carlos, ao Sr. Junça, ao Sr. Custódio e ao Sr. Francisco funcionários da Universidade de Évora, agradeço a colaboração na instalação e do ensaio.

À Eng^a Jesuína Bica e ao Eng^o Manuel Bica pela colaboração prestada na Estação de Regadio de Alvalade durante o trabalho de campo, incluindo a disponibilização de todo o equipamento e pessoal necessários.

Aos funcionários da Estação de Regadio de Alvalade, Sr. Francisco José, Sr. Valentim, Sr. Francisco Gamito, Sr. Maria Dolores, Sr. Eduardo, Sr. João, Sr. Amaral, Sr. Luísa e Sr. Baltazar.

Ao Prof^o João Mexia e ao Dr^o Paulo Infante da Universidade de Évora pela colaboração no tratamento dos dados.

Ao Prof^o José Tomé e à Prof^a Helena Pereira do Instituto Superior de Agronomia pela colaboração no tratamento dos dados.

À Eng^a Anabela Gaspar e à Eng^a Paula Rodrigues do Instituto Superior de Agronomia pela ajuda na pesquisa bibliográfica.

À colega de Mestrado Alice Ramos pela ajuda durante o ensaio de campo.

Ao Fernando Lopes por toda a ajuda.

Agradeço ainda a toda a minha família e amigos a importante ajuda que me deram.

À JNICT pela concessão de uma Bolsa de Mestrado no âmbito do Programa PRAXIS XXI.

Índice

Lista de figuras
Lista de quadros
Lista de símbolos

1 Introdução	1
1.1 A importância do regadio no Mundo e em Portugal	1
Sustentabilidade do regadio	8
1.2 Modelos água/produção	9
Importância e aplicações dos modelos água/produção	9
Classificação dos modelos	11
Funções de produção	12
Aplicações económicas das funções de produção	15
1.3 Azoto	16
Importância do azoto para as culturas	16
Perdas e ganhos de azoto no solo	17
Importância do azoto e da condução de rega na poluição das águas	18
Código de boas práticas agrícolas	20
1.4 A linha de aspersores	21
1.5 Objectivos	24
2 Caracterização edafo-climática do local de ensaio	25
2.1 Caracterização edáfica	25
2.2 Caracterização climática	26
2.2.1 Temperatura	27
2.2.2 Precipitação	28
2.2.3 Outros parâmetros	30
Humidade relativa	30
Velocidade média do vento	31
2.2.4 Índices climatológicos	33
3 Material e métodos	35
3.1 O campo de ensaio	35
3.2 Dados meteorológicos	38
3.3 Operações culturais realizadas	38
3.3.1 Sementeira	38
3.3.2 Abertura dos covachos	38
3.3.3 Piquetagem	38
3.3.4 Fertilização	39
3.3.5 Rega	39
3.4 Medições e determinações	42
3.4.1 Altura de água aplicada	42
3.4.2. Humidade do solo	42
Determinação do teor de humidade do solo com a sonda capacitiva	42

Determinação do teor de humidade do solo pelo método Gravimétrico	44
3.4.3 Armazenamento de água no solo	45
3.4.4 Evapotranspiração	45
Método da tina evaporimétrica	45
Método do balanço hídrico	46
Equação de Penman-Monteith	46
3.4.5 Lixiviação de nitratos	47
3.4.6 Parâmetros relativos ao crescimento da cultura	49
Altura das plantas	50
Índice de área foliar	50
Matéria seca aérea total	50
3.4.7 Parâmetros relativos à produção	50
Produção de grão por unidade de área	50
Matéria seca aérea total	51
Índice de colheita	51
Eficiência de uso de água	51
3.5 Análises laboratoriais	51
3.5.1 Análises foliares para determinação do teor de macronutrientes principais	51
3.5.2 Análises para determinação do teor de proteína no grão	52
3.5.3 Análises das terras	52
3.6 Tratamento dos dados	53
3.6.1 Análise de variância	53
3.6.2 Superfície de produção	53
Coeficiente de determinação e coeficiente de determinação ajustado	54
Máximos e mínimos da superfície de resposta	55
Produtividade média	56
Produtividade marginal	56
Isoquanta	56
Razão marginal de substituição	56
4 Resultados e discussão	57
4.1 Alturas de água aplicadas	57
4.2 Humidade do solo	61
4.2.1 Perfis hídricos do solo	61
Perfis hídricos do solo 24 horas antes da rega	61
Perfis hídricos do solo 48 horas após a rega	62
4.2.2 Armazenamento de água no solo	65
4.3 Evapotranspiração	68
4.4 Lixiviação de nitratos	70
4.5 Parâmetros relativos ao crescimento da cultura	71
4.5.1 Altura das plantas	71
4.5.2 Matéria seca aérea total	77
4.5.3 Índice de área foliar	82
4.6 Parâmetros relativos à produção	88
4.6.1 Matéria seca aérea	88
4.6.2 Produção de grão	90
Superfície de produção	92

4.6.3 Índice de colheita	98
4.6.4 Eficiência de uso de água	98
4.7 Teor de macronutrientes principais na planta	101
4.7.1 Azoto	101
4.7.2 Fósforo	104
4.7.3 Potássio	105
4.8 Teor de proteína do grão	108
4.9 Análises de terra	108
5 Conclusões	111
6 Bibliografia	115
Anexos	

Lista de figuras

Figura 1.1 Produtividade do milho de regadio e de sequeiro, em Portugal Continental e no Alentejo, entre 1986 e 1995 (INE, 1995).	2
Figura 1.2 Produção de milho de regadio e de sequeiro, em Portugal Continental e no Alentejo, entre 1986 e 1995 (INE, 1995).	3
Figura 1.3 Resposta de uma cultura, em termos de produção, ao momento de aplicação de água (Adaptado de Heady e Hexem, 1978).	14
Figura 2.1 Evolução da temperatura média (MÉDIA) e das médias das temperaturas máximas (MÁX.) e mínimas (MIN.) ao longo do ano para o período de 1961-1990 (IM, 1998a).	27
Figura 2.2 Evolução da temperatura média (MÉDIA) e das médias das temperaturas máximas (MÁX.) e mínimas (MIN.) ao longo do ano de 1997 (IM, 1998b).	28
Figura 2.3 Evolução da média da precipitação mensal para o período de 1961 a 1990 (IM, 1998a).	29
Figura 2.4 Evolução da precipitação mensal no ano de 1997 (IM, 1998b).	29
Figura 2.5 Diagrama ombrotérmico para Alvalade do Sado, referente ao período de 1961 a 1990 (IM, 1998a).	30
Figura 2.6 Diagrama ombrotérmico para Alvalade do Sal, referente ao ano de 1997 (IM, 1998b).	30
Figura 2.7 Evolução da humidade relativa média, em %, ao longo do ano para o período de 1961 a 1990 (IM, 1998a) e para o ano de 1997 (IM, 1998b).	31
Figura 2.8 Velocidade média do vento ao longo do ano para o período entre 1961 a 1990 (IM, 1998a) e para o ano de 1997 (IM, 1998b).	31
Figura 3.1 Aspecto geral do campo de ensaio, 49 dias após a sementeira.	35
Figura 3.2 Esquema geral do campo de ensaio.	37
Figura 3.3 Aspecto do campo de ensaio em que são visíveis os covachos utilizados para evitar o escoamento superficial, 33 dias após a sementeira.	39
Figura 3.4 Curva de calibração da sonda capacitiva, que relaciona a frequência universal com o teor de humidade volumétrico do solo, em %.	43
Figura 3.5 Cápsula cerâmica porosa.	48

Figura 3.6 Bomba de vácuo e copo de Erlenmeyer, material necessário, respectivamente, para a colocação das cápsulas cerâmicas porosas à carga e para a recolha da amostra de solução do solo.	48
Figura 4.1 Curvas de distribuição da água e as respectivas alturas de água aplicadas em função da distância à Bordadura 4, nas repetições REP1, REP2 e REP3.	60
Figura 4.2 Perfis hídricos do solo, 24 horas antes das regas R1,... e R11, para os níveis de aplicação de água W1, W2, W3 e W4, capacidade de campo (θ_{cc}) e coeficiente de emurchecimento (θ_{ce}).	63
Figura 4.2 (Continuação) Perfis hídricos do solo, 24 horas antes das regas R1,... e R11, para os níveis de aplicação de água W1, W2, W3 e W4, capacidade de campo (θ_{cc}) e coeficiente de emurchecimento (θ_{ce}).	64
Figura 4.3 Perfis hídricos do solo, 48 horas após as regas R1,... e R11, para os níveis de aplicação de água W1, W2, W3 e W4, capacidade de campo (θ_{cc}) e coeficiente de emurchecimento (θ_{ce}).	66
Figura 4.3 (Continuação) Perfis hídricos do solo, 48 horas após as regas R1, ... e R11, para os níveis de aplicação de água W1, W2, W3 e W4, capacidade de campo (θ_{cc}) e coeficiente de emurchecimento (θ_{ce}).	67
Figura 4.4 Altura das plantas nas amostragens posteriores à aplicação dos tratamentos (A3, A4, A5, A6 e A7), em função dos níveis de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3) e de água (W1, W2, W3 e W4).	74
Figura 4.5 Aspecto do campo de ensaio, 93 dias após a sementeira, em que é evidente a influência da água na altura das plantas.	75
Figura 4.6 Evolução da altura das plantas para as amostragens de A1 a A7, em função dos níveis de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3) e de água (W1, W2, W3 e W4).	77
Figura 4.7 Evolução do peso seco das folhas, caules e espigas para as amostragens de A1 a A7, em função do nível de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3) e do nível de aplicação de água (W1, W2, W3 e W4).	81
Figura 4.7 (Continuação) Evolução do peso seco das folhas, caules e espigas para as amostragens de A1 a A7, em função do nível de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3) e do nível de aplicação de água (W1, W2, W3 e W4).	82
Figura 4.8 Evolução do índice de área foliar para as amostragens de A1 a A7, em função do nível de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3) e do nível de aplicação de água (W1, W2, W3 e W4).	86
Figura 4.9 Evolução do peso seco de folhas verdes e de folhas secas do milho para as amostragens de A1 a A7, em função do nível de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3).	87
Figura 4.11 Superfície de produção.	93
Figura 4.12 Mapa de isoquantas.	96

Figura 4.13 Índice de colheita em função do nível de aplicação de azoto e do nível de aplicação de água.	99
Figura 4.14 Evolução do teor de azoto foliar para as amostragens Aaf1 a Aaf3, em função do nível de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3) e do nível de aplicação de água (W1, W2, W3 e W4).	103
Figura 4.15 Evolução do teor de fósforo foliar para as amostragens de Aaf1 a Aaf3, em função do nível de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3) e do nível de aplicação de água (W1, W2, W3 e W4).	106
Figura 4.16 Evolução do teor de potássio foliar para as amostragens de Aaf1 a Aaf3, em função do nível de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3) e do nível de aplicação de água (W1, W2, W3 e W4).	107
Figura 4.17 Teor de azoto (N-NO ₃) por camadas de solo, em função dos níveis de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3) e de água (W1, W2, W3 e W4).	109
Figura 4.18 Teor de fósforo (P-P ₂ O ₅) por camadas de solo, em função dos níveis de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3) e de água (W1, W2, W3 e W4).	110
Figura 4.19 Teor de potássio (K-K ₂ O) por camadas de solo, em função dos níveis de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3) e de água (W1, W2, W3 e W4).	110

Lista de quadros

Quadro 1.1 Área total de regadio em Portugal, entre 1986 e 1996, e área de milho de regadio em Portugal Continental e no Alentejo, entre 1986 e 1995.	5
Quadro 2.1 Textura e classes de textura das camadas do solo (Santos <i>et al.</i> , 1995).	25
Quadro 2.2 Capacidade de campo, coeficiente de emurchecimento e capacidade utilizável das camadas do solo (Santos <i>et al.</i> , 1995).	26
Quadro 2.3 Densidade aparente do solo (Santos <i>et al.</i> , 1995).	26
Quadro 2.4 Frequência do vento por rumo, para o período entre 1961 e 1990 (IM, 1998a).	32
Quadro 2.5 Velocidade média do vento por rumo, para o período entre 1961 e 1990 (IM, 1998a).	32
Quadro 2.6 Coeficientes termopluviométricos para a zona de Alvalade do Sado referentes aos dados climáticos do período de 1961 a 1990.	34
Quadro 3.1 Coeficientes culturais do milho (Doorenbos e Kassam, 1979).	40
Quadro 3.2 Regas realizadas ao longo do ciclo vegetativo do milho e respectivas durações e dotações de rega.	41
Quadro 3.3 Coeficiente de tina evaporimétrica de Classe "A" (K_p), para as condições de velocidade média do vento (v_{med}) e humidade média relativa (HR_{med}) encontradas ao longo do ensaio (Adaptado de Lencastre e Franco, 1992).	45
Quadro 3.4 Amostragens de plantas realizadas ao longo do ciclo vegetativo do milho para determinação dos parâmetros relativos ao crescimento da cultura.	49
Quadro 4.1 Altura de água acumulada (w), em função do nível de aplicação de água ($W1$, $W2$, $W3$ e $W4$), nas repetições REP1, REP2 e REP3 das metades M1 e M2, após as onze regas do milho.	58
Quadro 4.2 Equações de regressão que relacionam a altura de água aplicada (w), em mm, com a distância à Bordadura 4 (d), em m, e respectivos coeficientes de determinação (r^2).	58
Quadro 4.3 Rumos do vento registados, durante as regas, na Estação Meteorológica de Alvalade do Sado.	59

Quadro 4.4 Médias e respectivo desvio padrão das dotações relativas de rega, obtidas por Hanks <i>et al.</i> (1976) nas metades Sul e Norte do campo de ensaio e as obtidas no presente ensaio em M1 e M2. Assume-se como 1,0 a média das dotações de rega nos níveis de aplicação de água mais elevados (W5, para Hanks <i>et al.</i> (1976) e W4, neste ensaio).	61
Quadro 4.5 Armazenamento de água no solo 24 horas antes da rega, para os quatro níveis de aplicação de água W1, W2, W3 e W4.	65
Quadro 4.6 Armazenamento de água no solo 48 horas após a rega, para os quatro níveis de aplicação de água W1, W2, W3 e W4.	68
Quadro 4.7 Evapotranspiração cultural (<i>ETc</i>), até à rega R1 e de R1 à colheita, determinada pelo método da tina evaporimétrica, com coeficiente de tina (<i>Kp</i>) constante e variável, e a partir da equação de Penman-Monteith.	69
Quadro 4.8 Evapotranspiração (<i>ET</i>) determinada pelo método do balanço hídrico, da rega R1 até à colheita, para os níveis de aplicação de água W1, W2, W3 e W4.	69
Quadro 4.9 Análises de variância relativas à altura do milho sujeito a dois tratamentos (azoto e água) com quatro níveis de aplicação cada, nas cinco amostragens posteriores à primeira rega e à adubação de cobertura (A3, A4, A5, A6 e A7).	71
Quadro 4.10 Altura média do milho na terceira amostragem de plantas (A3), em função dos níveis de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3) e dos níveis de aplicação de água (W1, W2, W3 e W4).	73
Quadro 4.11 Coeficientes das equações de regressão do tipo: $z = A_0 + A_1w + A_{11}w^2$, que relacionam, por amostragem (A3, A4, ..., A7) e nível de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3), a altura das plantas (<i>z</i>), em cm, com a altura de água aplicada (<i>w</i>), em mm.	76
Quadro 4.12 Análises de variância relativas à matéria seca aérea total do milho nas cinco amostragens posteriores à primeira rega e à adubação de cobertura (A3, A4, ..., A7), com a cultura sujeita a dois tratamentos (azoto e água) com quatro níveis de aplicação cada.	77
Quadro 4.13 Produção média de matéria seca aérea, em função do nível de aplicação de água (W1, W2, W3 e W4) nas amostragens posteriores à aplicação dos tratamentos (A3, A4, A5, A6 e A7). Entre parêntesis o desvio padrão.	80
Quadro 4.14 Coeficientes das equações de regressão do tipo: $z = A_0 + A_1w + A_{11}w^2$, que relacionam, por amostragem (A3, A4, ..., A7) e nível de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3), a produção de matéria seca aérea (<i>z</i>), em tonha ⁻¹ , com a altura de água aplicada (<i>w</i>), em mm.	80
Quadro 4.16 Análises de variância relativas ao índice de área foliar do milho sujeito a dois tratamentos (azoto e água) com quatro níveis de aplicação cada, nas cinco amostragens posteriores à primeira rega e à adubação de cobertura.	83

Quadro 4.17 Índice de área foliar (IAF) médio do milho, na quarta e sexta amostragens de plantas (A4 e A6), em função dos níveis de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3).	84
Quadro 4.18 Índice de área foliar (IAF) médio para cada nível de aplicação de água (W1, W2, W3 e W4) nas amostragens posteriores à aplicação dos tratamentos (A3, A4, A5, A6 e A7). Entre parêntesis o desvio padrão.	85
Quadro 4.19 Coeficientes das equações de regressão do tipo: $z = A_0 + A_1w + A_{11}w^2$, que relacionam, por amostragem (A3, A4, ..., A7) e nível de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3), o índice de área foliar (z) com a altura de água aplicada (w), em mm.	86
Quadro 4.20 Índice de área foliar (IAF) máximo, em função dos níveis de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3) e de água (W1, W2, W3 e W4). Entre parêntesis o desvio padrão.	87
Quadro 4.21 Análise de variância relativa à produção de matéria seca de milho sujeito a dois tratamentos (azoto e água) com quatro níveis de aplicação cada.	88
Quadro 4.22 Produção média de matéria seca aérea para as modalidades consideradas no ensaio (valores médios de três repetições), e em cada nível de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3) e de água (W1, W2, W3 e W4). Entre parêntesis o desvio padrão.	89
Quadro 4.23 Coeficientes das equações de regressão do tipo: $z = A_0 + A_1w + A_{11}w^2$, que relacionam, por nível de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3), a produção de matéria seca (z), em tonha ⁻¹ , com a altura de água aplicada (w), em mm.	89
Quadro 4.24 Coeficientes das equações de regressão do tipo: $z = A_0 + A_1ET + A_{11}ET^2$, que relacionam, por nível de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3), a produção de matéria seca (z), em tonha ⁻¹ , com a evapotranspiração (ET) determinada pelo método do balanço hídrico, em mm.	90
Quadro 4.25 Análise de variância relativa à produção de grão de milho sujeito a dois tratamentos (azoto e água) com quatro níveis de aplicação cada.	91
Quadro 4.26 Produção média de grão para as modalidades consideradas no ensaio (valores médios de três repetições), e em cada nível de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3) e de água (W1, W2, W3 e W4). Entre parêntesis o desvio padrão.	91
Quadro 4.27 Coeficientes da equação polinomial e respectivos <i>t</i> (t-Student) e <i>p</i> (valor de probabilidade).	93
Quadro 4.28 Análise de variância relativa ao índice de colheita de milho sujeito a dois tratamentos (azoto e água) com quatro níveis de aplicação cada.	98
Quadro 4.29 Análise de variância referente à eficiência de uso de água relativa à produção de grão de milho sujeito a dois tratamentos (azoto e água) com quatro níveis de aplicação cada.	99

Quadro 4.30 Análise de variância referente à eficiência de uso de água relativa à produção de matéria seca aérea de milho sujeito a dois tratamentos (azoto e água) com quatro níveis de aplicação cada.	100
Quadro 4.31 Eficiência de uso de água relativa à produção de grão para as modalidades consideradas no ensaio (valores médios de três repetições), e em cada nível de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3) e de água (W1, W2, W3 e W4). Entre parêntesis o desvio padrão.	100
Quadro 4.32 Eficiência de uso de água relativa à produção de matéria seca aérea para as modalidades consideradas no ensaio (valores médios de três repetições), e em cada nível de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3) e de água (W1, W2, W3 e W4). Entre parêntesis o desvio padrão.	101
Quadro 4.33 Análises de variância relativas ao teor de azoto foliar do milho sujeito a dois tratamentos (azoto e água) com quatro níveis de aplicação cada, nas duas amostragens posteriores à aplicação dos tratamentos (Aaf2 e Aaf3).	101
Quadro 4.34 Teor médio de azoto foliar do milho na segunda amostragem de plantas para análise foliar (Aaf2), para quatro níveis de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3) e quatro níveis de aplicação de água (W1, W2, W3 e W4).	103
Quadro 4.35 Análises de variância relativas ao teor de fósforo foliar do milho sujeito a dois tratamentos (azoto e água) com quatro níveis de aplicação cada, nas duas amostragens de plantas para análise foliar posteriores à primeira rega e à adubação de cobertura (Aaf2 e Aaf3).	104
Quadro 4.36 Teor médio de fósforo foliar na terceira amostragem de plantas para análise foliar (Aaf3), em função dos níveis de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3) e de água (W1, W2, W3 e W4).	105
Quadro 4.37 Análises de variância relativas ao teor de potássio foliar do milho sujeito a dois tratamentos (azoto e água) com quatro níveis de aplicação cada, nas duas amostragens de plantas para análise foliar posteriores à primeira rega e à adubação de cobertura (Aaf2 e Aaf3).	106
Quadro 4.38 Teor médio de potássio foliar na segunda e na terceira amostragem de plantas para análise foliar (Aaf2 e Aaf3), para os quatro níveis de aplicação de água (W1, W2, W3 e W4). Entre parêntesis desvio padrão.	107
Quadro 4.39 Análise de variância relativa ao teor de proteína do grão de milho sujeito a dois tratamentos (azoto e água) com quatro níveis de aplicação cada.	108
Quadro 4.40 Teor médio de proteína no grão, para quatro níveis de aplicação de água (W1, W2, W3 e W4). Entre parêntesis o desvio padrão.	109

Lista de símbolos

- A - Área de solo ocupada por três plantas ($0,5 \times 0,75 \text{ m}^2$)
- A_0 - Constante da equação polinomial
- A_1, A_2 - Coeficientes lineares da equação polinomial
- A1, A2, ... e A7 - Amostras de plantas
- A_{11}, A_{22} - Coeficientes quadráticos da equação polinomial
- A_{12} - Produto dos coeficientes lineares da equação polinomial
- Aaf1, Aaf2 e Aaf3 - Amostras de plantas para análise foliar
- AF - Área foliar verde de uma amostra de três plantas (m^2)
- d - Distância à Bordadura 4 (m)
- D - Drenagem (mm)
- D_{ap} - Densidade aparente
- E_0 - Evaporação na tina evaporimétrica de Classe "A" (mm)
- ET - Evapotranspiração (mm)
- ET_0 - Evapotranspiração de referência (mm)
- ET_c - Evapotranspiração cultural (mm)
- FT - Faixa de trabalho
- FU - Frequência universal
- H - Humidade do grão (%)
- HR - Humidade relativa (%)
- HR_{med} - Humidade média relativa (%)
- IAF - Índice de área foliar
- I_{DR} - Índice de Dantin e Ravenga
- I_L - Coeficiente hidrotérmico de Lang
- I_M - Índice de aridez de Martonne

K - Coeficiente pluviométrico de Emberger

K_p - Coeficiente de tina

K_c - Coeficiente cultural para o milho

L - Leitura da sonda capacitiva no solo

L_a - Leitura da sonda capacitiva no ar

L_w - Leitura da sonda capacitiva no água

m - Número de variáveis independentes

M1 e *M2* - Metades 1 e 2

n - Número total de observações

N - Teor de azoto (kg ha⁻¹)

N0, *N1*, *N2* e *N3* - Níveis de aplicação de água

[*NO₃*⁻] - Concentração de nitrato na solução do solo

P - Precipitação (mm)

P_h - Peso húmido do grão (g)

P_{m_x} e *P_{m_y}* - Produtividade marginal dos factores *x* e *y*

PM_x e *PM_y* - Produtividade média dos factores *x* e *y*

P_s - Peso seco do grão (g)

P_{sh} - Peso do solo húmido + Tara do pesa filtro (g)

P_{ss} - Peso do solo seco + Tara do pesa filtro (g)

R - Rega (mm)

R1, *R2*, ... e *R11* - Regas realizadas ao longo do ciclo vegetativo

*r*² - Coeficiente de determinação

*R*² - Coeficiente de determinação para regressões múltiplas

*R*²_{*a*} - Coeficiente de determinação ajustado

REP1, *REP2* e *REP3* - Repetições 1, 2 e 3

RmS_{y,x} - Razão marginal de substituição do factor *y* pelo *x*

S - Armazenamento de água no solo (mm)

S_t - Armazenamento de água no solo no instante *t* (mm)

$S_{t+\Delta t}$ - Armazenamento de água no solo no instante $t+\Delta t$ (mm)

T - Temperatura média anual (°C)

T_{pf} - Tara do pesa filtro (g)

T_m - Média das temperaturas mínimas do mês mais frio (°C)

T_M - Média das temperaturas máximas do mês mais quente (°C)

v_{med} - Velocidade média do vento (kmh^{-1})

w - Altura de água aplicada (mm)

W1, W2, W3 e W4 - Níveis de aplicação de água

x - variável independente

y - variável independente

z - Variável dependente

Z - Produção de grão (tonha^{-1})

α - Nível de significância

ΔS - Variação do armazenamento de água no solo (mm)

θ - Teor de humidade do solo

$\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_n$ - Teores de humidade do solo nas camadas de solo $\Delta z_1, \Delta z_2, \Delta z_3, \dots, \Delta z_n$

θ_{cc} - Teor de humidade do solo à capacidade de campo ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$)

θ_{ce} - Coeficiente de emurchecimento ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$)

θ_g - Teor de humidade ponderal (% ou g.g^{-1})

θ_v - Teor de humidade volumétrico (% ou $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$)

$\theta_{\Delta z}$ - Teor de água médio de uma camada de solo de espessura Δz

1 Introdução

Produzir de modo eficiente exige que uma considerável atenção seja dada à utilização eficiente dos factores de produção controláveis. Os dois factores que têm merecido maior atenção, em termos de produção agrícola, são a água do solo e a fertilidade do solo.

A resposta das culturas à água e aos fertilizantes têm sido utilizadas para determinar funções de produções para muitas culturas. As funções de produção das culturas são necessárias em análises que relacionam o resultado económico com vários solos ou práticas de condução de água. Estas análises permitem um melhor controle e uso da água, um recurso que é cada vez mais escasso, particularmente em regiões menos favorecidas em termos de recursos hídricos como é o caso do Sul e do interior do país (Pereira e Henriques, 1987).

1.1 A importância do regadio no Mundo e em Portugal

A população mundial cresce a uma taxa de 1,6 % por ano (The World Bank, 1992) e, para esta população crescente, que poderá duplicar nos próximos trinta anos, será também necessário duplicar a produção de alimentos (Pereira, 1996).

A produção de cereais nos países em desenvolvimento pouco mais do que duplicou nos últimos trinta anos, com as produções unitárias a aumentar cerca de 90 %. Os níveis de produtividade situam-se em 2,3 ton/ha nos países em desenvolvimento, mas apenas 1,4 ton/ha no Médio Oriente e Norte de África, enquanto nos países desenvolvidos as produções unitárias de cereais excedem o valor médio de 4 ton/ha. Existe, assim, potencial de crescimento da produtividade nos países em desenvolvimento, tanto mais que quando se conseguem otimizar as técnicas culturais, incluindo as que se referem à rega e à drenagem, as produções unitárias de cereais excedem largamente as 4 ton/ha (Pereira, 1996). Já foi obtido um máximo de 21 ton/ha em milho (Waggoner, 1994). Contudo, o recurso a

variedades altamente produtivas, mais exigentes em água e mais sensíveis à sua carência, obriga à plena satisfação das necessidades em água das culturas, isto é, exige o domínio perfeito da água como factor de produção (Pereira, 1984).

Em Portugal Continental, a produtividade do milho de regadio aumentou entre 1986 e 1995, tendo passado de 3 ton/ha para 4,5 ton/ha. No Alentejo, a produtividade seguiu a tendência observada a nível nacional, verificando-se, no entanto, que a produtividade, em 1986, era 4 ton/ha e, em 1995, era 7 ton/ha (Figura 1.1). Os níveis mais elevados de produtividade, entre 1986 e 1995, foram registados na região do Ribatejo e Oeste. Nesta região a produtividade era, em 1995, 8 ton/ha. Os níveis de produtividade do milho de sequeiro foram consideravelmente menores que os do milho de regadio (Figura 1.1) (INE, 1995).

Santos (1991) refere que são várias as explorações, situadas sobretudo no Centro do País, em que as 12 e até mais toneladas de grão por hectare são obtidas com frequência.

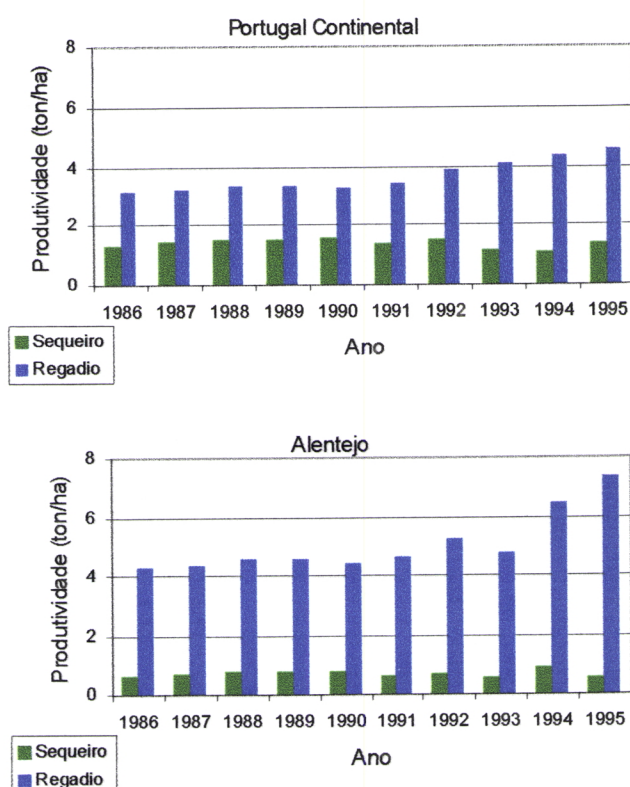


Figura 1.1 Produtividade do milho de regadio e de sequeiro, em Portugal Continental e no Alentejo, entre 1986 e 1995 (INE, 1995).

Por seu lado, como se pode observar na Figura 1.2, a produção de milho de regadio, após um período de estabilidade em termos de quantidade produzida, com valores anuais da ordem das 600 000 toneladas entre 1986 e 1993, aumentou em 1994 e em 1995 para valores ligeiramente superiores a 700 000 toneladas (INE, 1995). Pode ainda observar-se que a produção de milho de regadio no Alentejo seguiu a tendência da produção a nível nacional. A produção anual, entre 1986 e 1993, foi da ordem das 20 000 toneladas e aumentou em 1994 para um valor ligeiramente superior às 30 000 toneladas, tendo atingido as 38 000 toneladas em 1995, valor que corresponde a cerca de 5 % da produção nacional nesse ano (INE, 1995).

A produção anual de milho de sequeiro é muito reduzida (Figura 1.2) representando, em média, apenas cerca de 5 % da produção total nacional, sendo de referir que em 1994 e em 1995 foi somente 2 % (INE, 1995).

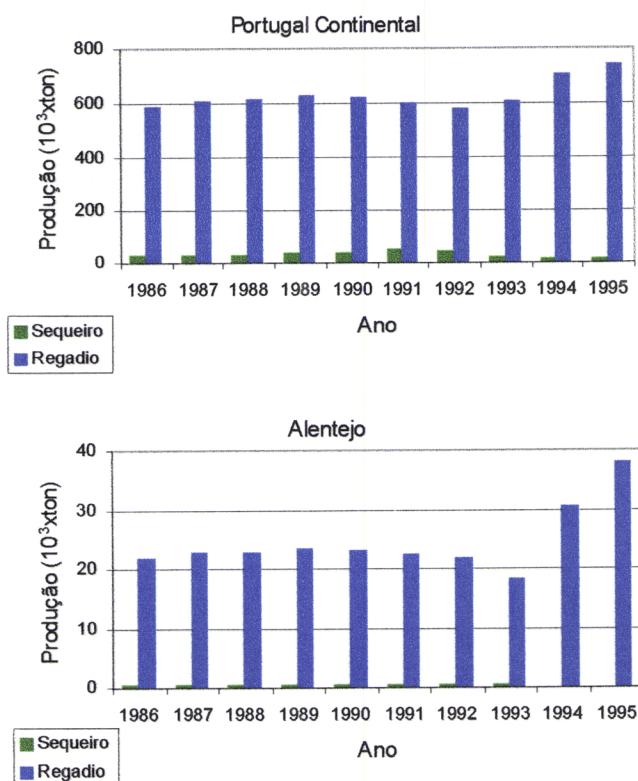


Figura 1.2 Produção de milho de regadio e de sequeiro, em Portugal Continental e no Alentejo, entre 1986 e 1995 (INE, 1995).

O regadio desempenha um papel importante neste quadro de produção alimentar. Estima-se que mais de 50 % dos acréscimos da produtividade média nos últimos 30 anos se devem à rega (Rangeley, 1990).

Constata-se que 15 % das áreas cultivadas no mundo são regadas e produzem mais de 1/3 da produção mundial de alimentos. Em Espanha, também 15 % da área cultivada é regada e a sua produção corresponde a mais de 50 % da produção agrícola. Também esta diferença indica a possibilidade de ganhos de produtividade nos países em desenvolvimento (Pereira, 1996).

As áreas regadas no mundo cresceram a um ritmo próximo de 2 % ao ano nos últimos 30 anos, tendo porém esta taxa baixado para 1 % por ano na última década (Jensen, 1993). As razões para este abrandamento relacionam-se com vários factores: as terras mais facilmente regáveis e com recursos hídricos mais facilmente mobilizáveis já foram beneficiadas, os custos de construção de infra-estruturas de rega têm crescido para além do esperado, os preços dos cereais no mercado mundial têm decrescido, os desempenhos físicos e económicos dos projectos têm geralmente ficado a níveis inferiores aos esperados, os impactos ambientais negativos dos projectos têm conduzido a uma opinião desfavorável generalizada. Assim, dado que a novos projectos se associam custos elevados, rentabilidade económica menos favorável e vulnerabilidade ambiental mais acentuada do que no passado, os investimentos em rega têm sido preferencialmente orientados para a reabilitação e a modernização dos sistemas de rega e de drenagem (Pereira, 1996).

É indubitável que o regadio tem desempenhado um papel fundamental no quadro da segurança alimentar mundial e que tem contribuído decisivamente para aliviar a pobreza e melhorar a qualidade de vida em muitas regiões do globo. Em muitas regiões áridas e semi-áridas, o seu papel tem sido decisivo para o desenvolvimento económico e social. Porém, é também verdade que ao regadio estão associados impactos ambientais negativos, nomeadamente relacionados com o desperdício de água, usada em excesso, e com a degradação de solos por salinização (Pereira, 1996).

Por outro lado, a visão dominante da "obra" e da eficácia das infra-estruturas tem conduzido a soluções ambientalmente degradantes, afectando a fauna e a flora, contrariando a biodiversidade ou afectando o património social e cultural das populações a beneficiar. Resulta, portanto, a necessidade de desenvolver técnicas

de engenharia adequadas não só à previsão e identificação de impactos, mas também orientados para minimizar, controlar e evitar tais impactos. Tais técnicas de engenharia não podem ser exógenas à engenharia da rega, antes têm que ser parte desta (Pereira, 1996).

Segundo a FAO (1998), a área regada em Portugal, entre 1986 e 1996, manteve-se constante, com valores próximos dos 630 000 ha (Quadro 1.1). Por sua vez, a área cultivada com milho de regadio, após um período sem variações significativas, diminuiu a partir de 1991, tendo atingido o mínimo em 1993, ao qual correspondeu uma área de 147 000 ha. Em 1994 e 1995, registou-se alguma recuperação atingindo-se os 162 000 ha. Entre 1986 e 1995, em média, cerca de 30 % da área regada, destinava-se à cultura do milho de regadio (INE, 1995). Ainda de acordo com a mesma fonte, a área de milho de regadio no Alentejo seguiu a tendência observada a nível nacional, representando, em média, cerca de 3 % da área total de milho de regadio (Quadro 1.1).

Quadro 1.1 Área total de regadio em Portugal, entre 1986 e 1996, e área de milho de regadio em Portugal Continental e no Alentejo, entre 1986 e 1995.

Área de regadio (10 ³ xha)	Ano										
	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Total – Portugal ^a	630	630	630	631	630	630	630	630	631	632	632
Milho – Portugal Continental ^b	185	188	183	188	189	176	149	147	162	162	-
Milho – Alentejo ^b	5,1	5,2	5,1	5,2	5,2	4,9	4,1	3,8	4,7	5,2	-

^a FAO (1998).

^b INE (1995).

A novas áreas regadas no Sul (cerca de 40 000 ha por iniciativa particular) correspondeu idêntico decréscimo no conjunto do Centro e do Norte, tanto por progressivo abandono de áreas economicamente marginais como por avanço da urbanização. As razões apontadas atrás, de carácter económico, desempenho dos projectos ou de contexto ambiental, são também causas para o que se verifica em Portugal (Pereira, 1996). A propósito do desperdício de água é de referir que, segundo Pereira e Henriques (1987), o sector agrícola, nomeadamente através da

rega, é responsável por 60,5 % das necessidades de água em Portugal Continental, enquanto que os consumos atingem os 89,5 %. Estes valores evidenciam como referem Pereira e Henriques (1987), a utilização excessiva de água e a situação ímpar do sector agrícola em termos de necessidades e consumos da mesma.

Numerosos estudos realizados para comparar a competitividade económica dos sistemas agrícolas de sequeiro e de regadio têm mostrado a superioridade do regadio, inclusive para a rega de complemento dos cereais (Pereira, 1996)

Avillez e Nina Jorge (1996) consideraram, num estudo relativo à viabilidade das explorações agrícolas, três diferentes tipos de factores que iriam afectar a evolução da agricultura portuguesa: evolução da Política Agrícola Comum (PAC), evolução da economia portuguesa e o modo de reacção dos agricultores portugueses a alterações ao nível dos preços, das ajudas e dos incentivos. Tendo constatado que as explorações agrícolas com culturas arvenses de regadio representavam 14,5 % das explorações agrícolas competitivas, ou seja, cuja viabilidade não depende das ajudas directas à produção, nem implica o recurso à reconversão tecnológica e produtiva e/ou ao ajustamento estrutural, enquanto que as explorações com culturas arvenses de sequeiro eram apenas 0,2 % das explorações competitivas.

Entre as explorações agrícolas com culturas arvenses de sequeiro, 97,6 % não eram competitivas, ou seja, a sua viabilidade depende sempre das ajudas directas à produção. Entre as explorações agrícolas com culturas arvenses de regadio, 25,1 % eram competitivas e 73,3 % eram potencialmente competitivas, ou seja, a sua viabilidade não depende das ajudas directas à produção, mas implica a criação de condições favoráveis à ocorrência de um conjunto de transformações produtivas e tecnológicas e/ou de ajustamentos estruturais.

Uma das razões que explica a relativa estagnação do regadio nacional estará relacionada com a PAC. As políticas agrárias são ditadas no contexto global da União Europeia e nelas não cabe favorecer a segurança alimentar de um país que importa mais de 50 % das suas necessidades alimentares já que outras regiões no seu interior produzem excedentes muito superiores aos défices periféricos. No entanto, poderia haver outras razões que levassem a União Europeia a procurar a sustentabilidade dos regadios nacionais. Podem apontar-se, embora sem base científica forte, a necessidade de preservar o património, de séculos no caso dos regadios do Norte, construído pelas gerações passadas; os benefícios decorrentes

do uso conservativo do solo e da água; os prejuízos ambientais que podem decorrer do abandono dos sistemas; o bem estar das populações rurais ligadas directa ou indirectamente à agricultura. Além disso, não parece apropriado não deixar de pensar em soluções de solidariedade com outros povos e regiões do mundo, com uma população rapidamente crescente e altamente desprovida de recursos. Também aqui as técnicas de engenharia desempenham um papel importante, tanto mais que a cooperação técnico-científica e a consequente transferência de saber desempenham um papel de crescente importância nas relações internacionais (Pereira, 1996).

Em consequência do desenvolvimento das actividades económicas e do incremento das necessidades das populações, vai-se constatando, à medida que a pressão dos utilizadores cresce, que os recursos hídricos são escassos e vulneráveis. Pelo que, a água deixou de ser um bem apropriável para passar a ser um bem económico e, à medida que a escassez se vá revelando mais acentuada (caso das zonas semi-áridas e sujeitas a seca), a água passará a ser também um bem social já que a sua necessidade é vital (Pereira, 1996). Em Portugal, a situação não é crítica como no Médio Oriente e no Norte de África (Pereira, 1996), onde 73% dos recursos disponíveis estão já mobilizados, a disponibilidade é de cerca de 1000 m³ per capita, o crescimento da população se situa em cerca de 3% por ano e a procura da agricultura é de 89% do total (The World Bank, 1992).

Cumulativamente aos problemas de quantidade, as questões relativas à qualidade da água vêm tomando dimensão crescente. Do reconhecimento dos problemas de poluição e contaminação, passou-se à afectação dos recursos hídricos com base em critérios de qualidade (Pereira, 1996).

Para o regadio, as exigências qualitativas prendem-se com os teores em sais e sedimentos transportados, que afectam a produção por toxicidade para as plantas, ou deterioram os equipamentos de rega, ou, ainda, provocam a degradação progressiva das características físico-químicas dos solos e da sua capacidade produtiva (Pereira e Paulo, 1987). Em diversas regiões áridas e semi-áridas, apesar de a produção de alimentos ser por demais vulnerável sem rega, as águas de inferior qualidade e as águas "usadas" são as que se tornaram disponíveis para o regadio. Porém, novos problemas surgiram, nomeadamente relativos à saúde pública e à contaminação e salinização dos solos. Isto é, em algumas regiões do mundo, a escassez de um recurso induziu a degradação de outro. Em Portugal não

é previsível que se venha a enfrentar estas situações. Os problemas de escassez e de degradação da água em meio rural e peri-urbano estão também em Portugal tomando solução, embora lenta, mas de forma alguma associados às questões de saúde pública que se conhecem em tantas regiões do mundo, devidas às carências de redes de abastecimento e de saneamento (Pereira, 1996).

Sustentabilidade do regadio. Em Portugal, como na maior parte da região mediterrânica, o principal uso da água é o regadio, sendo importante a sustentabilidade de tal uso, face à competição crescente de outros sectores e actividades utilizadoras (Pereira, 1996).

A WCED (1987) refere-se ao desenvolvimento sustentável como sendo “aquele que responde às necessidades presentes sem comprometer as capacidades das gerações futuras na satisfação das suas necessidades”. Neste sentido, define “desenvolvimento sustentável como um processo de mudança no qual a exploração dos recursos, a direcção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e as reformas institucionais são equilibradas e reforçam o potencial, presente e futuro, para a satisfação das necessidades e aspirações do Homem”. Por seu lado, visando a agricultura, a floresta e as pescas, a FAO (1990) propôs a seguinte definição, compatível com os conceitos anteriores: “o desenvolvimento sustentável consiste na gestão e conservação dos recursos naturais de base e na orientação das mudanças tecnológicas e institucionais de modo a assegurar a satisfação continuada das necessidades humanas das gerações presente e futura. Tal desenvolvimento sustentável (...) conserva o solo, a água e os recursos genéticos vegetais e animais, não degrada o ambiente e é tecnicamente apropriado, economicamente viável e socialmente aceitável”.

Nestas condições, a sustentabilidade do regadio implica:

- o conhecimento dos processos que podem levar à degradação dos recursos e das técnicas que conduzem à sua conservação;
- a afectação dos recursos em conformidade com os objectivos de produção, com as consequências ambientais e com as tecnologias apropriadas em termos ambientais e de produtividade;
- o respeito pelos usos não produtivos da terra e da água quando necessários para inverter processos de degradação em curso;

- a adopção de medidas institucionais traduzindo políticas e regras de gestão, mas que favoreçam a aceitabilidade social das decisões;
- e, finalmente, que
- os objectivos relativos à satisfação das necessidades e aspirações sociais e humanas, actuais e futuras, de certa forma prevaleçam sobre os de rentabilidade económica e financeira (Pereira, 1996).

1.2 Modelos água/produção

Importância e aplicações dos modelos água/produção. A água é um factor primordial na produção agrícola. Sem água, a vida das plantas não é possível, não só porque ela entra na sua própria composição (cerca de 80 - 90 % do peso das folhas corresponde à fracção aquosa) como desempenha também um papel importante na manutenção da temperatura em níveis compatíveis com a actividade metabólica e nas trocas necessárias à fotossíntese. Assim, sempre que as precipitações naturais que ocorrem durante o ciclo vegetativo da cultura não são suficientes, o recurso à água torna-se indispensável (Alves e Pereira, 1998). Este aspecto assume particular importância em Portugal, onde existe uma nítida discordância entre os regimes térmico-energético e pluvial (Pereira e Paulo, 1987).

Uma boa gestão da água passa pelo conhecimento de quando e quanto regar. Os principais factores que determinam a resposta a estas questões ligam-se ao clima, à planta e ao solo. Quando não existem restrições ao uso da água de rega e uma vez que a água é a maior parte das vezes um factor com pouco peso no conjunto dos encargos com a cultura, as regas são programadas de modo a manter o teor de humidade do solo na zona radicular em níveis óptimos para o crescimento das plantas, o que permitirá as melhores produções. Porém, quando as disponibilidades em água são limitadas, torna-se impossível evitar o stress hídrico em algum ou alguns períodos do ciclo vegetativo e a quebra de produção torna-se inevitável. A condução da rega torna-se então mais complexa, pois é necessário avaliar várias hipóteses e escolher a que maximize a produção da cultura para a quantidade de água de que se dispõe (Alves e Pereira, 1998).

Os modelos água/produção (que relacionam a produção das culturas, em termos de matéria seca, ou de qualquer outro produto de interesse económico,

normalmente o grão, com variáveis relacionadas com a água posta à disposição das plantas e por elas utilizada) têm vindo a despertar grande interesse na última década (Alves, 1991) pelo importante papel que podem desempenhar como auxiliar da gestão e da optimização de recursos hídricos escassos (Alves e Pereira, 1998).

Segundo (Alves, 1991) os modelos água/produção têm variadas aplicações a níveis diversificados:

- alocação da água à agricultura vs. outros utilizadores (indústria, consumo humano), problema que ganha acuidade à medida que os recursos hídricos de boa qualidade vão escasseando, sendo, por outro lado, a agricultura o maior consumidor;
- análise económica de futuros perímetros de rega, permitindo comparar os benefícios a esperar com os investimentos e desta forma estabelecer prioridades entre projectos potenciais;
- simulação dos consumos e previsão das necessidades de rega;
- dimensionamento dos sistemas de armazenamento, distribuição e transporte e também dos sistemas de rega ao nível da parcela;
- definição dos sistemas culturais, ou seja, que culturas se deverão fazer, que variedades deverão ser utilizadas, que áreas e que solos serão regados, fornecendo uma estimativa das produções que se deverão obter com um determinado volume de água;
- estabelecimento de programas de condução de rega voltados ou não para a produção máxima e seus efeitos em termos de eficiência do uso da água, aspecto que se torna tanto mais importante quanto a água se torna cada vez mais um recurso caro, representando uma parte não despreciable dos custos totais de produção;
- optimização das fertilizações consoante as disponibilidades hídricas;
- análise de variedades em termos da sua eficácia hídrica;
- definição das épocas de sementeira e plantação, com particular interesse nas culturas outono-invernais em que há utilização da rega como complemento às precipitações naturais;
- estabelecimento de estratégias no caso de se dispor de um fornecimento limitado de água, permitindo a definição dos sistemas culturais mais adequados, quantidade total de água a fornecer e programação das regas, e determinar os

impactos económicos de faltas de água sobre o agricultor e ao nível do perímetro.

Classificação dos modelos. Segundo Alves e Pereira (1998), os modelos água/produção podem ser classificados em:

- modelos estatísticos;
- modelos simplificados;
- modelos complexos.

Nos modelos estatísticos estabelecem-se relações estatísticas (tipo regressão linear) entre a produção e, normalmente, a precipitação ocorrida durante o ciclo vegetativo da cultura. Estes modelos surgiram na década de 30 e ainda são muitas vezes utilizados, inclusive em Portugal, no estudo das produções de cereais de Inverno. Mas, como referem Alves e Pereira (1998), dado o seu carácter estatístico, a sua transferibilidade é reduzida ou nula, variando os seus coeficientes de local para local e, para a mesma região, de ano para ano. Os modelos simplificados, embora de natureza estatística, procuram melhorar a transferibilidade ao utilizar valores relativos, normalizando-se assim o efeito do nível de produção e do clima. Dentro deste grupo encontram-se os modelos de Hanks (1974), Jensen (1968) e Stewart *et al.* (1977). Os modelos complexos procuram traduzir, com maior ou menor detalhe, todos os processos que ocorrem no *continuum* solo-planta-atmosfera. De uma base física mais sólida, são contudo de utilização mais delicada, exigindo dados de entrada detalhados que, na maior parte dos casos, não se conhecem com rigor e *hardware* apropriado. Desta forma, têm sido utilizados sobretudo com finalidades de ensino ou investigação (Alves e Pereira, 1998).

Segundo Addiscott e Wagenet (1985), os modelos podem também ser classificados em:

- modelos mecanísticos;
- modelos empíricos.

Os modelos mecanísticos são baseados apenas no conhecimento e modelação de mecanismos fundamentais de cada processo do modelo, assim, por exemplo, os fluxos de água no solo podem ser descritos usando a lei de Darcy (Addiscott e Wagenet, 1985).

Os modelos empíricos são obtidos essencialmente a partir de medições feitas no campo e utilizando métodos estatísticos mais ou menos sofisticados, sendo

orientados para a gestão de situações concretas. Os modelos relativos à água no solo podem, por exemplo, ter em consideração os parâmetros associados ao armazenamento de água e a definição de diferentes camadas de solo de forma a considerar a distribuição vertical e a disponibilidade de água para as plantas (Addiscott e Wagenet, 1985).

Tem-se notado actualmente uma tendência crescente para a incorporação de hipóteses associadas aos mecanismos fundamentais tanto no processo de construção dos modelos, como durante a fase de avaliação da sua eficiência (Addiscott e Wagenet, 1985).

Processos como a fotossíntese e a partição de fotoassimilados podem ser tratados segundo uma abordagem mecanística ou empírica. Os modelos de crescimento das culturas podem incluir simultaneamente componentes mecanísticas e empíricas. Contudo, os modelos mais úteis para estudar a condução de rega das culturas para várias condições de clima e de solo têm sido os empíricos (Addiscott e Wagenet, 1985).

Funções de produção. Do ponto de vista formal, a função de produção representa uma formulação matemática que expressa a relação entre os factores de produção e os produtos (Heady e Hexem, 1978).

A avaliação económica da condução de rega envolve frequentemente a quantificação da resposta da cultura à água aplicada, determinando-se para o efeito uma função de produção (Howell *et al.*, 1992). Mas, atendendo ao facto de a água interagir fortemente com outros factores de produção como os fertilizantes, as funções de produção podem incorporar os níveis de aplicação de fertilizante como variável experimental (Heady e Hexem, 1978).

Heady e Hexem (1978) determinaram, para várias culturas, expressões polinomiais que relacionavam a produção final com o azoto aplicado e a quantidade total de água de rega. Tratando-se de modelos estatísticos ou empíricos apresentavam todos os problemas anteriormente referidos, mas, segundo Alves (1991), tiveram o mérito de ter sido o primeiro grande trabalho que procurou dar uma perspectiva económica às funções de produção.

Segundo Heady e Hexem (1978), para a generalização das funções de produção, de modo a ser possível a previsão das produções numa gama de condições edáficas e ambientais eram necessários projectos de investigação em

larga escala que decorressem durante muitos anos em grandes áreas e a medição de uma vasta gama de variáveis ambientais. Heady e Hexem (1978) procederam à medição de numerosas variáveis edáficas e ambientais em vários ensaios, mas apenas um número reduzido de variáveis foi estatisticamente significativo. Os autores consideraram, no entanto, os resultados de sucesso suficiente para encorajar futuras pesquisas no âmbito da estimativa de funções de produção generalizadas.

Com a incorporação de características ou variáveis edáficas e ambientais, pretende-se prever, numa vasta gama de condições edáficas, climáticas e locais, a resposta da cultura a diferentes níveis de aplicação de água. Atingir este objectivo significa eliminar a necessidade de conduzir ensaios em cada tipo particular de solo, uma vez que a produtividade da água em interacção com outras variáveis pode ser conhecida tanto no planeamento agrícola como na avaliação de projectos (Heady e Hexem, 1978).

A investigação no âmbito da resposta da cultura à condução de rega requer, portanto, equipas multidisciplinares, que integrem investigadores de áreas como a fisiologia, o melhoramento genético, a agronomia, a pedologia, a engenharia e a economia (Howell *et al.*, 1992).

Na determinação das funções de produção, Heady e Hexem (1978) não consideraram como variável o momento de aplicação de água, assim, aos diferentes níveis de aplicação de água correspondiam iguais momentos de aplicação dos mesmos. Contudo, da aplicação de uma determinada altura de água em fases distintas do ciclo vegetativo da planta, resultam respostas consideravelmente diferentes. O método de aplicação de água também condiciona a resposta obtida, mas este aspecto também não foi considerado no estudo que Heady e Hexem (1978) efectuaram. Mas, como referem Heady e Hexem (1978), para contemplar estes aspectos da dinâmica da resposta da cultura à aplicação de água seriam necessários maiores e/ou mais complexos ensaios do que aqueles que realizaram.

Relativamente à influência do momento de aplicação de água na produção da cultura, observa-se na Figura 1.3 que para uma determinada altura de água inicialmente aplicada, a resposta da cultura à água irá depender do momento e da quantidade de água posteriormente aplicada, e do tempo que irá decorrer até à próxima aplicação de água (Heady e Hexem, 1978).

Em relação à influência do sistema de rega na produção da cultura, Stutler *et al.* (1981), num ensaio realizado com o objectivo de desenvolver funções de resposta da cultura do milho aos níveis de aplicação de água e de azoto, utilizaram dois sistemas de rega (por sulcos e aspersão) e constataram que a produção obtida era independente do sistema de rega utilizado.

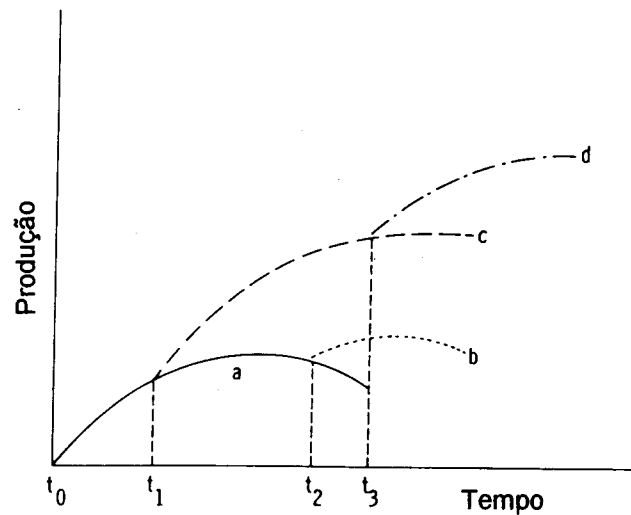


Figura 1.3 Resposta de uma cultura, em termos de produção, ao momento de aplicação de água (Adaptado de Heady e Hexem, 1978).

Além dos aspectos acima referidos, outros podem influenciar a resposta das culturas regadas, como sejam os efeitos da salinidade, da fertilização e das práticas culturais (Howell *et al.*, 1992). A salinidade do solo é um factor da maior importância em regadio, podendo afectar a produção da cultura, assim como a relação entre a produção e a evapotranspiração. A fertilização condiciona a eficiência de uso da água, sendo que uma inadequada fertilização em culturas regadas pode afectar fortemente a produção através de reduções na área foliar, na matéria seca e na quantidade e qualidade do produto de interesse económico. As práticas culturais, nomeadamente a escolha da cultivar, a data de sementeira, o espaçamento e a orientação das linhas e a mobilização do solo, podem afectar a produção da cultura através de efeitos na interceptação da radiação, na relação entre a transpiração e a evapotranspiração e na relação entre o produto económico e a matéria seca aérea produzida (Howell *et al.*, 1992).

Aplicações económicas das funções de produção. As funções de produção são utilizadas em muitas análises económicas. Qualquer estudo acerca do fornecimento de produtos, da procura de factores, e da distribuição de rendimentos assenta no conhecimento das relações factor-produção (Heady e Hexem, 1978).

A resposta, em termos de produção, de uma cultura à rega ou a uma determinada condução de rega é fundamental na avaliação do valor económico da rega e na projecção de estratégias económicas de condução de rega (Howell *et al.*, 1992).

A partir de uma função de produção pode-se estimar a quantidade máxima de produto que se pode obter a partir de uma determinada quantidade de factores, para uma dada tecnologia de produção (Heady e Hexem, 1978).

Assume-se que os factores incluídos na função de produção são homogéneos, ou seja, que, por exemplo, a composição química da água é sempre a mesma, independentemente da quantidade de água aplicada (Heady e Hexem, 1978).

Na determinação de uma função de produção está subjacente o conceito de eficiência técnica, o que significa que para uma determinada combinação de factores não é possível aumentar a produção, ou que um determinado nível de produção não pode ser atingido com uma menor quantidade de factores de produção (Heady e Hexem, 1978).

A partir das funções de produção, determina-se a produtividade marginal da cultura, necessária à determinação do benefício máximo em análises económicas e do maneio (Howell *et al.*, 1992). A produtividade marginal de um factor traduz o acréscimo na quantidade de produção atribuível ao acréscimo de uma unidade na quantidade aplicada do factor (Ferguson, 1978).

Pode-se também determinar a produtividade média de um factor de produção, a qual é dada pelo quociente entre a quantidade da produção e a quantidade do factor aplicada para a obter (Ferguson, 1978).

A partir da superfície de produção é possível estimar as isoquantas. Uma isoquanta é o lugar geométrico dos pontos da superfície de produção a que corresponde um nível de produção constante, variando continuamente, ao longo de uma isoquanta, a proporção das quantidades aplicadas dos factores de produção (Ferguson, 1978).

Pode-se ainda calcular a razão marginal de substituição de um factor y por outro factor de produção x , a qual mede a redução na quantidade aplicada do factor y por unidade de aumento da quantidade de x de modo a manter-se constante o nível de produção (Ferguson, 1978).

A razão marginal de substituição de y por x num ponto de uma isoquanta é igual ao valor negativo da inclinação da isoquanta nesse ponto. É também igual ao quociente entre as produtividades marginais dos factores x e y nesse ponto (Ferguson, 1978).

1.3 Azoto

Importância do azoto para as culturas. O azoto é normalmente considerado o primeiro entre os macronutrientes principais, na medida em que, na grande maioria dos casos, é o principal elemento limitante das produções vegetais (Santos, 1991).

O azoto encontra-se nas plantas, em quantidades que, referidas à matéria seca, são da ordem de 1 % - 5 % do total. Sendo um constituinte de compostos e complexos organominerais de interesse vital para a planta, de entre os quais se salientam os aminoácidos, as proteínas, as nucleoproteínas e a clorofila. O facto de o azoto entrar na composição da clorofila, faz que os sintomas da sua deficiência nas plantas se manifestem, mais frequentemente, por um amarelecimento (clorose) das folhas (Santos, 1991).

O efeito espectacular com que o azoto, muitas vezes, se manifesta nas culturas – traduzido por plantas mais verdes e de maior vigor vegetativo – conduz a que, em muitos casos, haja alguma tendência para se exagerar a sua aplicação. Quando tal se verifique, e dado que as plantas têm a possibilidade de absorver o azoto em “consumo de luxo”, isto é, em quantidades superiores às que lhes são necessárias para o seu metabolismo normal, podem ocorrer alguns inconvenientes, como, por exemplo, a menor resistência das plantas ao ataque de insectos e fungos, e a condições climáticas adversas, como sejam a secura e a geada; a maior tendência para a acama no caso dos cereais; e, a retardação da maturação da cultura (Santos, 1991).

Mediante a racional utilização do azoto e do reforço dos outros nutrientes, é possível usar elevadas quantidades de azoto sem reacear muitos dos inconvenientes

habitualmente atribuídos. De qualquer modo, porém, convirá não exagerar, não só porque o azoto fica sujeito a elevadas perdas por arrastamento pela acção das águas e por volatilização, como os custos de produção são desnecessariamente mais elevados (Santos, 1991).

Perdas e ganhos de azoto no solo. O azoto está bastante sujeito a perdas no solo, as quais, consoante o principal fenómeno envolvido, podem ser de natureza física, química e biológica (Santos, 1991).

As perdas físicas são, de longe, as que, em condições normais, apresentam mais significado, resultam sobretudo do arrastamento através da drenagem interna (lavagem) e incluem todas as formas de azoto que sejam solúveis na água (apenas são insolúveis, ou melhor pouco solúveis na água, as formas orgânicas de estruturas complexas), isto é, podem ser moléculas (incluindo os gases solúveis) ou iões. Enquanto o azoto amoniacal (NH_4^+), por ter carga positiva, é retido nos solos e fica menos susceptível ao arrastamento pelas águas, o azoto nítrico (NO_3^-), por ter carga negativa, não pode ser retido e, por tal motivo, sofre maiores perdas (Santos, 1991).

A quantidade de azoto susceptível de ser perdido através da lavagem pode, naturalmente, variar dentro de limites bastante afastados, de acordo com as características do solo e do clima ou as formas de azoto predominantes. Em igualdade de outros factores, serão mais elevadas em solos pobres em colóides (arenosos e com pouca matéria orgânica), situados em regiões muito chuvosas e com reduzida cobertura vegetal. Nos Estados Unidos da América calcula-se que, em solos cultivados, as perdas por lavagem atingem, em média, 28 kg/ha.ano. A drenagem externa (erosão) também é susceptível, nalguns condicionalismos, de provocar elevadas perdas por arrastamento. Agora, as diferentes formas de azoto serão igualmente arrastadas, uma vez que é o próprio solo a ser arrastado. Nos Estados Unidos da América calcula-se que, em média, as perdas por erosão atingem valores semelhantes aos da lavagem (Santos, 1991).

As perdas químicas podem ter origem na formação de gases, através de reacções em que se encontram envolvidos os nitritos. Estas perdas terão sempre um significado muito reduzido, uma vez que aquele composto têm geralmente uma pequena representação entre as formas de azoto no solo. Maior significado poderão

ter as perdas de azoto sob a forma de amoníaco, caso haja condições de formação e de não retenção do NH_3 no solo (Santos, 1991).

As perdas biológicas apenas terão interesse quando haja condições que favoreçam a desnitrificação. Podem ainda ocorrer algumas perdas de azoto através das folhas das plantas, sob a forma de NH_3 (Santos, 1991).

Os solos, através de processos naturais, isto é, com exclusão do azoto incorporado através dos adubos, recebem algum azoto da atmosfera, das culturas que nele se encontram instaladas e dos animais. Contudo, em solos cultivados o balanço das perdas e ganhos do azoto nos solos tende a ser amplamente negativo, tal facto justificando a necessidade, de quase sempre, ser necessário proceder à aplicação daquele macronutriente sob a forma de adubos. Devendo-se ter em consideração, no planeamento da sua utilização, que se trata de um elemento muito dinâmico nos solos (Santos, 1991).

Importância do azoto e da condução de rega na poluição das águas. A poluição originada pelo azoto pode atingir tanto as águas superficiais como as subterrâneas: as primeiras através do arrastamento que ocorre à superfície dos solos, podendo incluir quaisquer formas químicas daquele elemento; as segundas através da infiltração ao longo do perfil do solo, incluindo agora, sobretudo, a forma nítrica, uma vez que esta não é susceptível de retenção física nem química, e a retenção biológica (resultante da incorporação do azoto nos microrganismos) é apenas temporária. A poluição das águas por nitratos, é, de facto, em termos de fertilização, a mais provável (Santos, 1991). A água poluída com nitratos, ou seja, àquela cujo teor de nitratos é superior a 50 mg/l (MADRP, 1997), pode ter consequências nefastas para o ambiente e para a saúde dos homens (Pereira, 1991 e Santos, 1995) e dos animais (Santos, 1995).

A contaminação das águas subterrâneas por nitratos e a poluição por pesticidas é um dos maiores problemas ambientais da agricultura de regadio (Pereira, 1991).

É de extrema importância que as tecnologias de rega que visam melhorar a agricultura de regadio tenham adequada relação com o controlo dos impactos ambientais relativos a nitratos e pesticidas. O potencial para a lixiviação de nitratos varia com o tipo de fertilizantes utilizados, dado que a diferentes formas de compostos azotados correspondem processos diferentes e tempos de residência no

solo também diferentes. No caso de adubos amoniacais e da ureia podem, contudo, ser utilizados inibidores da nitrificação e da amonificação, respectivamente. Em consequência aumentam os tempos de residência no solo, diminuindo o potencial para a lixiviação. No entanto, não só os custos de tais adubos são mais elevados, como a sua fiabilidade não é ainda suficiente, sendo necessária mais investigação.

Para além deste tipo de fertilizantes, vários outros factores influenciam o potencial para a lixiviação dos nitratos, alguns bem conhecidos e fáceis de introduzir em práticas de produção agrícola, outros menos conhecidos, com resultados por vezes discordantes e apresentando difícil transferibilidade para as práticas dos agricultores.

Entre os aspectos a ter em consideração salienta-se:

- as técnicas de aplicação, ao influenciarem o posicionamento dos fertilizantes relativamente às raízes das culturas;
- a oportunidade de aplicação, por corresponder ou não à disponibilização do azoto quando as plantas o utilizam;
- o balanço do azoto, de forma a aplicar os fertilizantes em função das necessidades da cultura, do azoto residual no solo e do azoto na água de rega;
- o balanço dos fertilizantes, de forma a evitar que o desequilíbrio dos nutrientes seja obstáculo à utilização do azoto disponível, o que contribuiria para a criação de excedentes no solo;
- as técnicas de manejo das culturas, de forma a propiciar boas condições ao desenvolvimento das culturas e, portanto, ao uso do azoto no solo;
- as rotações culturais, nomeadamente a existência de cultura intercalar que consuma os excedentes de azoto da cultura principal;
- as mobilizações, por criarem ou dificultarem as condições para a actividade microbiana no solo;
- a gestão da água, por determinar a existência de excesso de água que lixivie os nitratos.

A contaminação de nitratos ocorre quando estes existam em excesso no solo e quando a água do solo seja em excesso para percolar, arrastando tais nitratos. As técnicas de rega e drenagem influenciam ou controlam a percolação.

A condução da rega revela-se um factor essencial visto corresponder à definição da quantidade e da oportunidade da rega:

- enquanto uma aplicação de dotações de rega excessivas conduz à percolação de água e arrastamento de nitratos para além da zona radicular, o uso de dotações apropriadas ao solo e à cultura limita os fornecimentos de água às necessidades e potencialidades de utilização pelas plantas;
- a oportunidade das aplicações propicia condições favoráveis ao desenvolvimento das culturas e, conseqüentemente, à utilização dos nutrientes disponíveis no solo;
- a aplicação dos fertilizantes com a água de rega facilita a disponibilização dos nutrientes e pode evitar a sua lixiviação quando a condução da rega é apropriada.

Código de boas práticas agrícolas. Com o objectivo de proteger a água da poluição causada por nitratos de origem agrícola, a União Europeia, através da Directiva 91/676, determinou que todos os Estados-Membros elaborassem um ou mais códigos de boas práticas agrícolas a aplicar voluntariamente pelos agricultores, tendo em vista eliminar ou minimizar tanto quanto possível os riscos de tal poluição.

No "Código de Boas Práticas Agrícolas, para a protecção da água contra a poluição com nitratos de origem agrícola", elaborado pelo Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas (MADRP), em 1997, estabelecem-se orientações e directrizes de carácter geral com o objectivo principal de auxiliar os empresários agrícolas e, sobretudo, os técnicos extensionistas que prestam apoio aos agricultores, na tomada de medidas que visem racionalizar a prática das fertilizações e todo um conjunto de operações e técnicas culturais que directa ou indirectamente interferem na dinâmica do azoto nos ecossistemas agrários, por forma a minimizar as suas perdas sob a forma de nitratos e, assim, proteger as águas superficiais e subterrâneas desta forma de poluição.

A Directiva 91/676 determina ainda que, com base no código de boas práticas agrícolas, poderão estabelecer-se programas de acção a implementar nas zonas vulneráveis. Neste caso, as medidas nele descritas, que em condições normais são de aplicação facultativa, terão carácter obrigatório, assumindo formas concretas em função das condições agro-climáticas e das culturas e sistemas culturais dominantes.

1.4 A linha de aspersores

Foram vários os delineamentos experimentais utilizados em ensaios de campo para determinação das respostas das culturas à água e ao fertilizante.

Em 1973, Fox descreveu um delineamento experimental em que um número elevado de tratamentos relativos à fertilização azotada (40) variava sistematicamente de uma extremidade à outra da parcela. Sendo, segundo Fox (1973), seria possível a aplicação, perpendicularmente aos tratamentos azotados, de tratamentos relativos à dotação de água. Este delineamento foi seguido por Bauder *et al.* (1975) que, perpendicularmente aos tratamentos referentes à água, aplicaram os níveis de fertilizante. O sistema de rega utilizado foi o gota-a-gota, sendo de referir que, em cada uma das quatro parcelas com 7,6x24 m², utilizaram 400 aspersores. As vantagens do delineamento experimental utilizado por Bauder *et al.* (1975) são: a visualização no campo da superfície de produção; a inexistência de bordadura em torno dos tratamentos, uma vez que a variação incremental entre tratamentos adjacentes é pequena; e, um bom controle da água aplicada, o que é indispensável para produzir os numerosos níveis de aplicação de água necessários à obtenção da superfície de produção. As desvantagens deste delineamento são: o elevado custo; a considerável exigência de mão-de-obra, para assegurar um funcionamento eficaz; a calibração e a verificação periódica dos emissores, para determinação do tempo exacto de aplicação da água de modo a obter os pequenos incrementos necessários; e, a necessidade de filtrar muito meticulosamente a água (Hanks *et al.*, 1976).

Atendendo a estes problemas, foram testados sistemas alternativos de rega por forma a obter uma variação consistente da água aplicada e uma maior eficiência do sistema. Em 1973 foi desenvolvido um sistema composto por uma linha simples de aspersores instalada no centro da parcela destinada ao ensaio. Com a linha de aspersores é possível obter numerosos níveis de aplicação de água, os quais são indispensáveis para a determinação de funções que relacionam a produção com o nível de água aplicado ao solo (Hanks *et al.*, 1976).

No delineamento experimental referido por Hanks *et al.* (1976), instala-se uma linha de aspersores no centro da parcela segundo o eixo longitudinal. O comprimento da parcela pode ser aumentado por adição de aspersores à linha, enquanto que a largura é determinada pelo diâmetro do círculo molhado dos

aspersores. A distribuição da água é uniforme ao longo do comprimento da parcela mas uniformemente variável na sua largura.

Todos os aspersores de uma linha devem ser iguais e apresentar as mesmas características e, cada aspersor deve produzir um perfil de forma triangular quando funciona à pressão projectada e com vento fraco. É ainda importante, o rigoroso espaçamento dos aspersores ao longo da linha, de modo que, da sobreposição das alturas de água fornecidas pelos aspersores individuais, resulte uma distribuição uniforme da água no solo. O melhor espaçamento, ou o ideal, resulta de um compromisso entre:

- a uniformidade ao longo do talhão, a qual é óptima com um espaçamento de aproximadamente 10% do diâmetro do círculo molhado do aspersor ou razoável para espaçamentos de aproximadamente 20 - 25% do diâmetro molhado;
- a taxa de aplicação e o caudal do sistema, os quais variam inversamente com o espaçamento dos aspersores;
- o custo do sistema, o qual aumenta com a diminuição do espaçamento dos aspersores;
- a compactação, para diminuir o tamanho da bordadura.

Atendendo à taxa de aplicação e aos custos, é, em geral, aconselhável usar o maior espaçamento, o qual dá uma uniformidade razoável, isto é, com variações ao longo da linha que não excedem em aproximadamente $\pm 10\%$ a média. Em condições calmas, obtém-se uma razoável uniformidade se se usar como critério para a determinação do espaçamento a sobreposição dos círculos molhados em 20 - 25%, independentemente da relação aspersor-orifício-pressão.

As vantagens deste sistema de rega, em termos de ensaios de campo, são as seguintes:

- outros factores como, por exemplo, cultivares e níveis de aplicação de adubo, podem ser estudados colocando os respectivos tratamentos, casualizados, em faixas perpendiculares à linha de aspersores (Hanks *et al.*, 1980). Este aspecto é particularmente relevante quando se pretende determinar resultados económicos óptimos;

- a área da parcela destinada ao ensaio e o fornecimento de água são reduzidos;

As limitações deste sistema de rega são:

- o vento, dado que até mesmo os ventos fracos alteram significativamente a forma de humedecimento dos aspersores. Pode-se manter a simetria da forma

de humedecimento utilizando o sistema de rega apenas durante os períodos calmos e instalando a linha de aspersores paralelamente à direcção do vento. Devendo-se regar apenas quando a velocidade do vento é inferior a 3 kmh^{-1} , para direcções do vento perpendiculares à linha de aspersores, e inferiores a 8 kmh^{-1} , para direcções paralelas à linha de aspersores. Se bem que, mesmo estes ventos suaves, provoquem uma variação média superior a 2 m na dotação máxima de rega;

- o intervalo entre regas, que é igual para todos os níveis de aplicação de água. Este é um aspecto importante inerente ao conceito de linha de aspersores. Em alguns estudos, porém, pode ser desejável manipular a disponibilidade de água utilizando diferentes frequências de rega.
- o alagamento e o escoamento superficial, no caso de se optar por dotações de rega relativamente elevadas que permitem uma certa flexibilidade em termos de decisão do momento conveniente para efectuar a rega. Para resolver estes problemas existem, contudo, algumas soluções e que passam por: regar de modo intermitente, isto é, regar durante 15 minutos, parar durante 15 min, etc.; utilizar sequencialmente um aspersor de cada vez; fazer pequenos muretes ou covachos, em intervalos de 1 m ao longo do sulco, para evitar o alagamento e eliminar o escoamento superficial.
- a determinação das alturas de água aplicadas em todas as regas, dada a distorção provocada pelo vento, o que pode representar um problema em culturas altas como o milho.

Para Helweg (1988), uma das vantagens da linha de aspersores prende-se com a resolução da questão do número de repetições necessárias para satisfazer as exigências estatísticas da análise de variância. A dificuldade está, segundo Helweg (1988), na determinação da altura de água aplicada com pluviómetros, dado que é difícil medir as perdas de água por evaporação.

A linha de aspersores era, segundo Hanks *et al.* (1976), correntemente utilizada no Arizona, na Califórnia, no Colorado e em Utah, em ensaios em que se relacionava a produção do milho com a rega, a fase de crescimento da planta e a salinidade.

Relativamente ao tratamento estatístico dos dados obtidos utilizando este delineamento experimental, Hanks *et al.* (1980) referem que não se pode atribuir um nível de probabilidade à influência dos níveis de aplicação de água na produção de

uma cultura regada com uma linha de aspersores, uma vez que a água é aplicada de uma forma sistemática e não pode ser casualizada. Assim, apesar de ser óbvio o efeito do nível de aplicação de água na produção, este não é passível de análise estatística. Quando não se espera um considerável efeito da água deve-se optar por outro tipo de delineamento experimental. O efeito dos tratamentos casualizados em faixas perpendiculares à linha de aspersores pode ser testado através da análise de variância, porque é válida a respectiva estimativa de erro. É também válida a estimativa de erro da interacção dos tratamentos, pelo que a influência dos tratamentos referentes à água e a dos restantes tratamentos pode ser estatisticamente testada através da interacção. Hanks *et al.* (1980) aconselham algum cuidado na interpretação das pequenas diferenças existentes entre níveis de aplicação de água e alertam para o potencial desvio no ajuste de regressões, que relacionam a produção e o nível de aplicação de água, devido ao arranjo sistemático dos tratamentos referentes à água.

Jonhson *et al.* (1983) referem, contudo, que a influência dos tratamentos não casualizados na cultura pode ser estatisticamente testada através da análise multivariada.

1.5 Objectivos

Com este trabalho pretendeu-se estudar o efeito dos níveis de aplicação de azoto e de água e da sua interacção no crescimento e na produção de uma cultura de milho, regada com uma linha de aspersores.

Pretendeu-se ainda determinar a função de produção que relacionava a produção de milho com os níveis de aplicação de azoto e de água e proceder à estimativa de indicadores económicos.

2 Caracterização edafo-climática do local de ensaio

O ensaio foi efectuado em Alvalade do Sado (37° 05' N, 8° 24' W, 61 m) no Departamento de Regadio do Instituto Nacional de Investigação Agrária (INIA), Estação de Alvalade.

2.1 Caracterização edáfica

O campo de ensaios da Estação de Alvalade está localizado na várzea do rio Sado, cujos solos pertencem predominantemente ao grupo dos aluviosolos modernos de textura mediana, sem carbonatos (Santos *et al.*, 1995).

Os dados apresentados no Quadro 2.1 dizem respeito à textura e às classes de textura das camadas do solo em que foi instalado o ensaio.

Quadro 2.1 Textura e classes de textura das camadas do solo (Santos *et al.*, 1995).

Profundidade (cm)	Textura			Classe textural
	Areia (%)	Limo (%)	Argila (%)	
0 – 20	54,50	32,00	13,50	Franco-limoso
20 – 57	50,30	27,10	22,60	Franco
57 – 73	54,34	20,80	24,86	Franco
73 – 87	47,94	26,80	25,26	Franco
87 – 99	45,38	26,88	27,74	Franco
99 – 117	45,41	30,07	24,52	Franco
117 – 136	46,88	36,43	26,69	Franco
136 – 160	43,82	29,46	26,72	Franco-limoso

Os dados relativos à capacidade de campo e ao coeficiente de emurchecimento encontram-se no Quadro 2.2. A capacidade utilizável do solo é dada pela diferença entre o teor de água do solo à capacidade de campo e o coeficiente de emurchecimento. A determinação da capacidade utilizável do solo é importante em termos de condução da rega.

Quadro 2.2 Capacidade de campo, coeficiente de emurchecimento e capacidade utilizável das camadas do solo (Santos *et al.*, 1995).

Profundidade (cm)	Capacidade de campo (cm ³ /cm ³)	Coeficiente de emurchecimento (cm ³ /cm ³)	Capacidade utilizável (cm ³ /cm ³)
0 – 10	0,2911	0,1207	0,1704
10 – 20	0,2892	0,1239	0,1653
20 – 30	0,2846	0,1224	0,1622
30 – 40	0,2800	0,1331	0,1469
40 – 50	0,3335	0,1576	0,1759
50 – 60	0,3456	0,1792	0,1664
60 – 70	0,3488	0,1712	0,1776
70 – 80	0,3647	0,1931	0,1716

Em termos de densidade aparente, foram considerados, neste trabalho, os valores apresentados no Quadro 2.3.

Quadro 2.3 Densidade aparente do solo (Santos *et al.*, 1995).

Profundidade (cm)	Densidade aparente
0 – 10	1,42
10 – 20	1,53
20 – 30	1,53
30 – 40	1,53
40 – 50	1,53
50 – 60	1,60
60 – 70	1,60
70 – 80	1,65

2.2. Caracterização climática

Para a caracterização climática de Alvalade do Sado, o local onde decorreu o ensaio, são analisados vários parâmetros climatológicos, designadamente a temperatura, a precipitação, a humidade relativa e a velocidade média do vento.

Os dados utilizados neste estudo foram recolhidos na Estação Meteorológica de Alvalade do Sado (37°57', 8°24', 61 m) e dizem respeito à série de dados

climáticos de 1961 a 1990 (IM, 1998a) e ao ano de 1997 (IM, 1998b), em que decorreu o ensaio.

2.2.1 Temperatura

Uma vez que se está perante um clima com suave influência marítima, não se registam grandes variações térmicas entre o Verão e o Inverno como sucede nas zonas do interior.

Na Figura 2.1 é possível observar a evolução da temperatura média, da média das temperaturas máximas e da média das temperaturas mínimas ao longo do ano, o que dá uma certa ideia das amplitudes térmicas em cada mês. A amplitude térmica não varia muito de mês para mês, embora apresente um ligeiro aumento no Verão, nomeadamente nos meses de Julho e Agosto. As médias das temperaturas máximas mais elevadas foram registadas em Julho e Agosto (31,1 °C e 31,4 °C, respectivamente). Os menores valores das médias das temperaturas mínimas, entre os 4,2 °C e os 5,8 °C, foram registados nos meses de Dezembro, Janeiro, Fevereiro e Março.

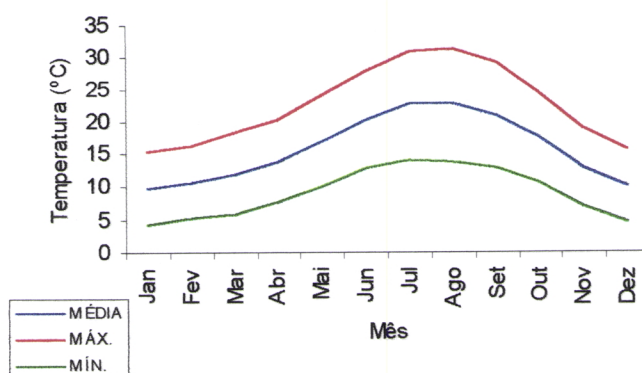


Figura 2.1 Evolução da temperatura média (MÉDIA) e das médias das temperaturas máximas (MÁX.) e mínimas (MIN.) ao longo do ano para o período de 1961-1990 (IM, 1998a).

Em relação à evolução das temperaturas médias mensais e, das médias mensais das temperaturas máximas e das temperaturas mínimas ao longo de 1997, verifica-se que em Agosto e Setembro foram registadas as médias da temperatura máxima do ar mais elevadas (31,1 °C, em ambos os meses). As médias das temperaturas mínimas mais baixas foram registadas em Janeiro, Fevereiro e Março.

(cerca de 6 °C). No mês de Março registou-se a mais elevada amplitude térmica do ano de 1997, e que foi de 18,8, contra os 17 °C e os 17,4 °C de Agosto e Setembro, respectivamente.

A principal diferença, em termos de temperatura, entre os dados da série climática e os do ano de 1997 reside no facto de no mês de Março de 1997 a média da temperatura máxima ter sido consideravelmente mais elevada que a da série de 30 anos.

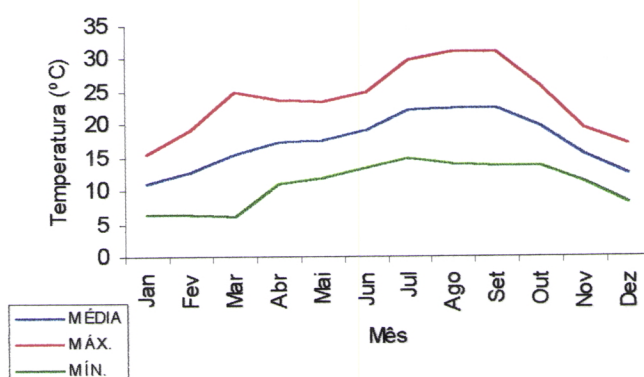


Figura 2.2 Evolução da temperatura média (MÉDIA) e das médias das temperaturas máximas (MÁX.) e mínimas (MÍN.) ao longo do ano de 1997 (IM, 1998b).

2.2.2 Precipitação

O regime pluviométrico traduz-se por uma distribuição irregular das chuvas, com um decréscimo acentuado no Verão (Figura 2.3).

Para o período de 1961 a 1990, a média da precipitação mensal nos meses mais chuvosos, Novembro e Dezembro, foi de 81,3 mm e 81,2 mm, respectivamente. Em Julho e Agosto, registaram-se as mais baixas médias da precipitação mensal e que foram de 2,9 mm e 1,5 mm, respectivamente.

O mês mais chuvoso em 1997 foi Novembro, tendo sido registados 293,0 mm de precipitação. A precipitação registada nos meses de Fevereiro e Março na Estação Meteorológica de Alvalade foi apenas de, respectivamente, 1,5 mm e 1,2 mm (Figura 2.4). De referir que nos dados da série de 1961 a 1990 a média da precipitação foi, em Fevereiro, de 76,3 mm e, em Março, de 49,1 mm.

De referir que a precipitação total em 1997 foi 907,7 mm e que a precipitação média total no período 1961-1990 foi 564,0 mm. Assim, foram diferentes não só a distribuição da precipitação ao longo do ano como a precipitação total.

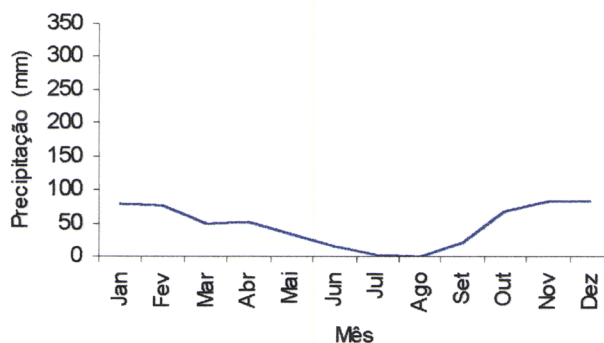


Figura 2.3 Evolução da média da precipitação mensal para o período de 1961a 1990 (IM, 1998a).



Figura 2.4 Evolução da precipitação mensal no ano de 1997 (IM, 1998b).

O diagrama ombrotérmico permite determinar a extensão do período seco para o período entre 1961 e 1990 e para o ano de 1997, entrando em linha de conta com as precipitações e temperaturas médias mensais (Figuras 2.5 e 2.6).

Pela Figura 2.5 pode-se constatar que o período seco prolonga-se de Maio a Setembro, para os dados relativos ao período de 1961 a 1990. Considerando como seco o mês em que a precipitação é inferior a duas vezes a temperatura do respectivo mês, então em Alvalade do Sado foram cinco os meses quentes (Maio, Junho, Julho, Agosto e Setembro).

Em 1997, foram dois os períodos secos, o primeiro decorreu de Fevereiro a Março e, o segundo, de Junho a Setembro, precisamente quando a precipitação foi inferior a duas vezes a temperatura do respectivo mês.

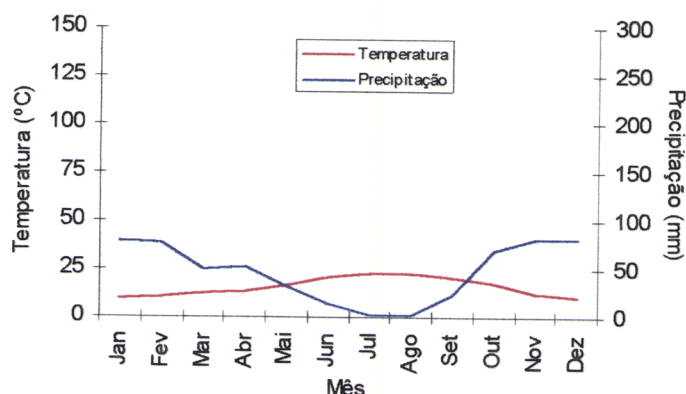


Figura 2.5 Diagrama ombrotérmico para Alvalade do Sado, referente ao período de 1961 a 1990 (IM, 1998a).

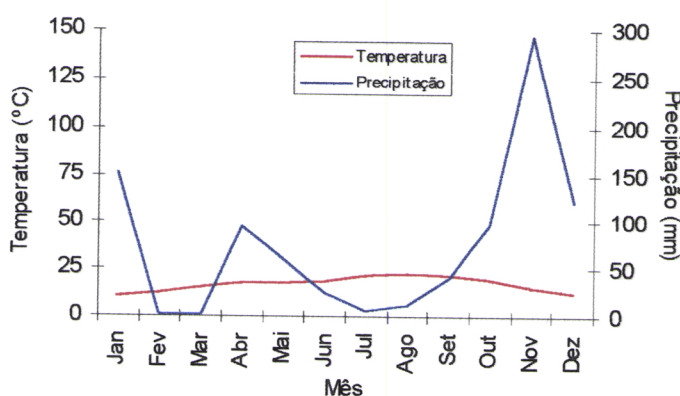


Figura 2.6 Diagrama ombrotérmico para Alvalade do Sado, referente ao ano de 1997 (IM, 1998b).

2.2.3 Outros parâmetros

A humidade relativa do ar e a velocidade média do vento, embora contribuam para caracterizar o clima, têm, comparativamente aos parâmetros anteriores, uma importância mais limitada.

Humidade relativa. A humidade relativa do ar (*HR*) refere-se à relação entre a quantidade de vapor de água existente no ar e a que poderia conter para a mesma temperatura, a designada capacidade do ar. Uma vez que a *HR* está dependente da variação de um destes parâmetros, também o estará e na razão inversa

relativamente à temperatura. Um decréscimo da temperatura traz consigo uma diminuição da capacidade do ar, ou seja um aumento da *HR* dado que o ar se encontra mais perto da saturação (Donn, 1978). Recorrendo aos gráficos das Figuras 2.1 e 2.2 e ao da Figura 2.7 confirma-se esta relação entre a humidade relativa do ar e a temperatura.

Foram registados em 1997 valores de humidade relativa inferiores aos da série de dados climáticos.

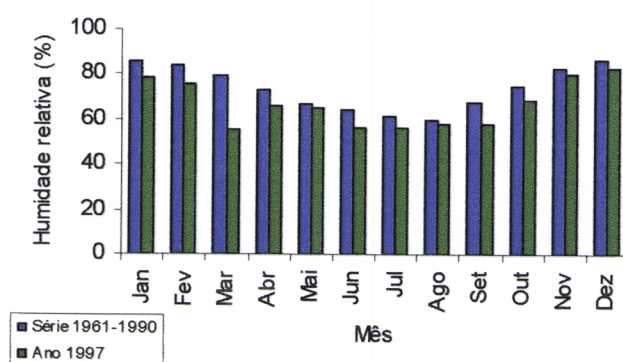


Figura 2.7 Evolução da humidade relativa média, em %, ao longo do ano para o período de 1961 a 1990 (IM, 1998a) e para o ano de 1997 (IM, 1998b).

Velocidade média do vento. Relativamente aos dados climáticos da série correspondente ao período entre 1961 e 1990, é de referir que a velocidade média do vento variou entre 5,2 e 7,4 kmhora⁻¹. Em 1997, a velocidade média do vento foi mais elevada, situando-se entre os 7,4 e os 11,6 kmhora⁻¹ (Figura 2.8).

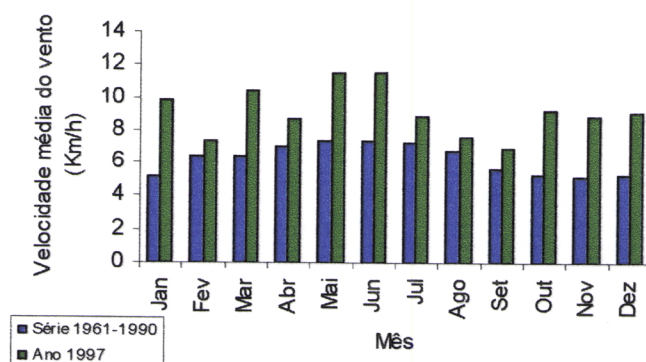


Figura 2.8 Velocidade média do vento ao longo do ano para o período entre 1961 a 1990 (IM, 1998a) e para o ano de 1997 (IM, 1998b).

No Quadro 2.4 encontram-se as frequências por rumo do vento para o período entre 1961 e 1990. Como se pode constatar as maiores frequências foram obtidas para os rumos NO, N e O, nomeadamente nos meses de Maio a Setembro.

Quadro 2.4 Frequência do vento por rumo, para o período entre 1961e1990 (IM, 1998a).

	Frequência por rumo (%)							
	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
Janeiro	7,9	4,1	4,1	6,9	6,5	7,3	9,6	9,9
Fevereiro	10,8	5,2	4,7	6,9	5,4	10,0	11,9	13,1
Março	15,0	8,3	4,7	6,7	5,9	6,1	13,2	18,4
Abril	18,6	9,5	3,1	4,0	3,6	6,2	13,1	22,1
Maio	23,2	8,0	1,4	2,0	3,2	6,5	16,7	27,3
Junho	22,4	4,7	2,2	2,9	2,5	5,3	17,5	30,0
Julho	27,8	3,9	1,5	1,6	1,6	2,4	13,3	34,0
Agosto	30,4	4,5	1,1	1,2	0,9	2,8	11,9	31,7
Setembro	19,2	4,2	1,7	2,7	3,9	3,9	15,0	26,5
Outubro	14,9	4,2	3,7	7,0	5,1	5,4	7,4	18,0
Novembro	12,9	6,7	3,0	5,6	5,2	5,4	4,8	11,5
Dezembro	11,3	6,4	3,5	7,5	5,0	6,7	6,9	6,3
Ano	17,9	5,8	2,9	4,6	4,0	5,6	11,7	20,8

Quadro 2.5 Velocidade média do vento por rumo, para o período entre 1961e1990 (IM, 1998a).

	Velocidade média por rumo (kmhora ⁻¹)								Média
	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	
Janeiro	6,2	5,0	5,6	7,6	7,1	8,3	6,6	8,8	5,2
Fevereiro	7,1	5,2	5,6	8,3	6,6	7,9	9,5	9,8	6,4
Março	8,9	6,4	6,1	7,0	6,8	7,7	8,9	10,4	6,4
Abril	9,3	7,0	6,8	8,0	5,9	8,7	9,3	10,0	7,0
Maio	9,2	7,6	5,9	6,4	7,9	9,1	9,2	10,9	7,4
Junho	8,0	6,4	5,4	8,7	6,2	8,8	9,6	9,8	7,4
Julho	8,6	6,2	5,2	7,1	6,4	6,6	9,0	9,6	7,2
Agosto	9,2	6,4	5,7	7,2	5,0	5,8	9,0	9,3	6,7
Setembro	8,3	5,3	6,1	9,5	6,1	6,8	8,3	8,3	5,6
Outubro	7,1	5,2	6,3	8,3	6,0	6,1	7,5	7,5	5,3
Novembro	6,8	5,2	5,0	8,8	6,9	7,1	6,2	7,9	5,1
Dezembro	6,0	4,7	5,6	7,9	6,1	8,4	7,3	7,5	5,3
Ano	8,2	6,0	5,8	8,0	6,6	7,8	8,6	9,4	6,3

Os dados relativos à velocidade do vento por rumo, para o período entre 1961 e1990, encontram-se no Quadro 2.5. De notar que, os valores mais elevados de velocidade média do vento foram registados para os rumos NO, O e N.

2.2.4 Índices climatológicos

Segundo Albuquerque (1954), em Portugal existem, em sentido lato, dois grandes Domínios – o Atlântico (A) e o Mediterrâneo (M). Verifica-se, porém, que estes dois grandes espaços geográficos são na maior parte e desigualmente sobreponíveis e este é o carácter mais saliente da zonagem ecológica portuguesa. Entre eles têm lugar duas zonas de transição: zona mediterrâneo-atlântica (MA) que corresponde à zona atlântica com tendências mediterrâneas; e a zona atlante-mediterrânea (AM) onde se destaca o segundo elemento. Através destas duas zonas obtêm-se zonas mistas, dependendo das proporções dos dois Domínios. Em Portugal é possível encontrar 100 % do Domínio Mediterrâneo na região do Algarve, ao passo que a melhor proporção a favor do Atlântico é de 70/30 na região de Caminha.

Alvalade do Sado situa-se na zona ecológica designada por SMxIM (Sub-mediterrânea x Ibero-mediterrânea), em que confluem as influências das zonas SM, mediterrâneas com tendências atlânticas, na proporção 80/20, e as influências das zonas IM, mediterrâneas com tendências continentais, na proporção 60/40 (Albuquerque, 1954).

Verificam-se em Portugal Continental vários tipos de “clima mediterrâneo” que, genericamente, se definem por um Inverno chuvoso e uma época estival seca e macrotérmica. A vegetação que se encontra associada a este clima tem pois de suportar, em simultâneo, rigores do calor e aridez, embora possam ser atenuados em certo grau pela oceanicidade. De acordo com Albuquerque (1954), dois climas podem ter a mesma resultante ecológica, embora combinando elementos meteorológicos diversos. Esta “resultante” dos climas pode traduzir-se por um coeficiente em função da pluviosidade, evaporação e temperatura que são as determinantes ecológicas fundamentais. Os coeficientes termopluiométricos de Lang, Martonne e Dantin e Ravenga (Quadro 2.6) podem aplicar-se à zonagem ecológica do litoral português, não permitindo, no entanto, distinguir as variantes “continental” e “marítima” dos climas mediterrâneos.

O quociente pluviométrico de Emberger vai preencher esta lacuna, uma vez que entra em linha de conta com a oscilação térmica, como índice de continentalidade (Albuquerque, 1954). Assim, na apreciação das variantes climáticas são conjugados três factores ecológicos fundamentais: precipitação, temperatura e humidade relativa.

Quadro 2.6 Coeficientes termopluviométricos para a zona de Alvalade do Sado referentes aos dados climáticos do período de 1961 a 1990.

	Fórmula	Valor calculado	Classificação
Índice de Dantin e Ravenga	$I_{DR} = \frac{100 \times T}{P}$	2,8	Clima semi-árido
Índice de aridez de Martonne	$I_M = \frac{P}{T + 10}$	22	Clima semi-húmido com vegetação arbórea
Coeficiente hidrotérmico de Lang	$I_L = \frac{P}{T}$	35	Clima seco

^a T – Temperatura média anual (°C); P – Precipitação anual (mm)

O quociente pluviométrico de Emberger (K) é calculado através da fórmula (Albuquerque, 1954):

$$K = \frac{100 \times P}{(T_M + T_m) \times (T_M - T_m)} \quad (2.1)$$

em que, P – Precipitação (mm);

T_M - Média das temperaturas máximas do mês mais quente (°C);

T_m – Média das temperaturas mínimas do mês mais frio (°C).

O valor de K permite avaliar a secura da zona mediterrânea, sendo tanto menor quanto mais árido for o ambiente. Deste modo, K valerá como factor de oceanicidade.

Para Alvalade do Sado obteve-se $K=58$, a que corresponde um clima do tipo mediterrâneo sub-húmido.

3 Material e métodos

3.1 O campo de ensaio

No centro da parcela em que se realizou o ensaio, com 87x38 m², foi instalada uma linha de aspersores, segundo o eixo longitudinal e perpendicularmente às linhas de plantas (Figuras 3.1 e 3.2).



Figura 3.1 Aspecto geral do campo de ensaio, 49 dias após a sementeira.

Foram utilizados neste ensaio 13 aspersores rotativos de latão, Chamsa modelo 30 C. Os aspersores tinham dois orifícios cujos diâmetros eram 4,76 mm e 2,38 mm, a pressão de funcionamento era $3,50 \text{ kgcm}^{-2}$ e o caudal era 2050 lh^{-1} .

O espaçamento dos aspersores era 6,1 m. Na definição deste espaçamento foram tidos em consideração:

- os critérios referidos por Hanks *et al.* (1976) - nomeadamente que, uma razoável uniformidade de aplicação é obtida quando o espaçamento é aproximadamente 20% do diâmetro do círculo molhado dos aspersores;
- o alcance previsto dos aspersores (15 m);
- o comprimento dos tubos de alumínio disponíveis para ligar os aspersores (6,1 m).

A largura do campo de ensaio (30 m) era dada pelo diâmetro do círculo molhado dos aspersores e o comprimento do campo de ensaio correspondia apenas àquele em que a distribuição de água era uniforme (53,25 m).

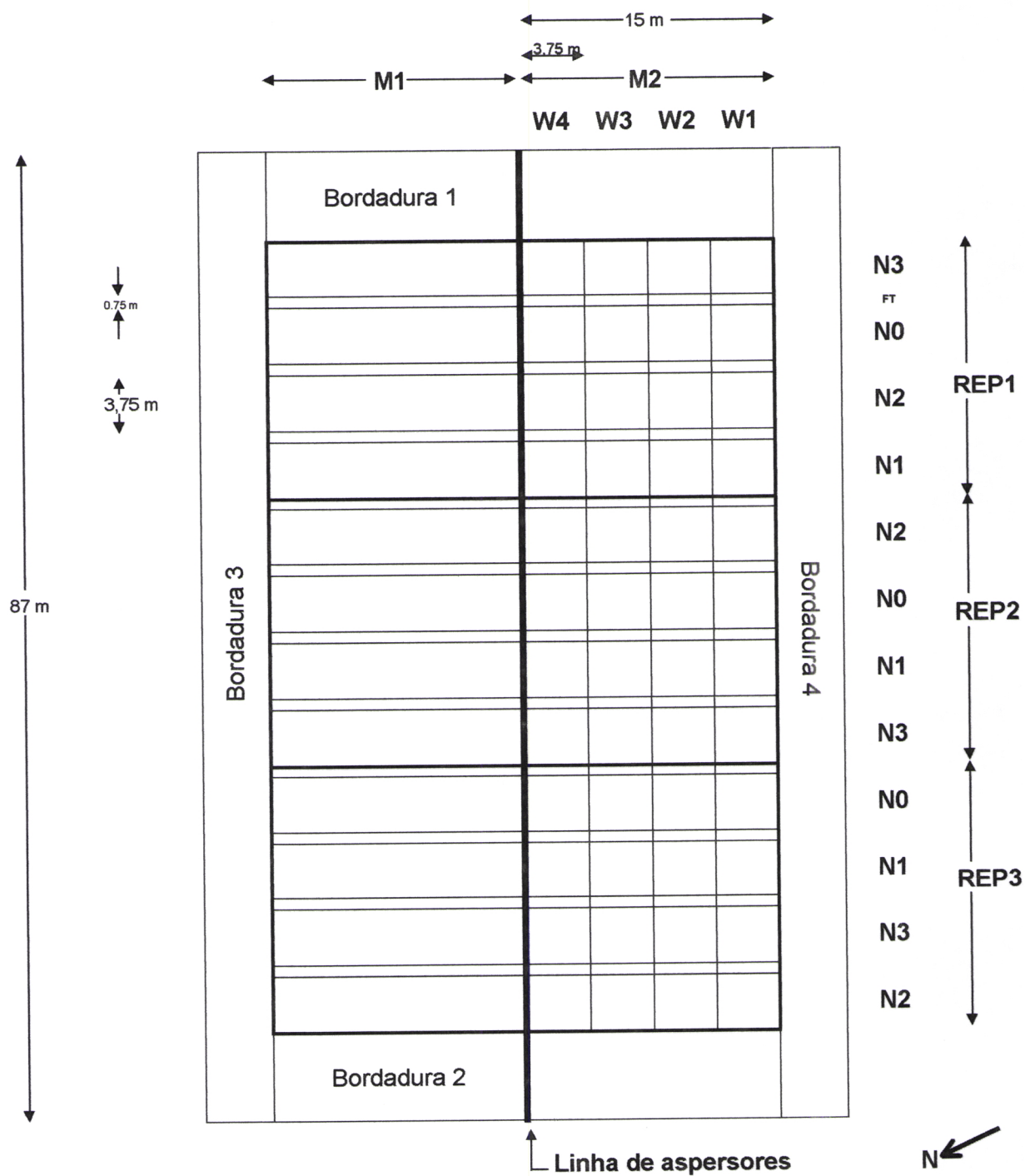
De cada lado da linha de aspersores tínhamos duas metades - Metade 1 (M1) e Metade 2 (M2). Cada metade estava dividida em 3 repetições - Repetição 1 (REP1), Repetição 2 (REP2) e Repetição 3 (REP3) – e, em cada uma destas, foram casualizados os quatro tratamentos relativos à aplicação de azoto.

Consideraram-se, na adubação de cobertura, quatro níveis de aplicação de azoto: sem adubação azotada (N0), 150 kg N/ha (N1), 250 kg N/ha (N2, quantidade de azoto aplicada por hectare igual à normalmente utilizada na região) e 350 kg N/ha (N3).

Cada tratamento ocupava uma faixa com 3,75 m de largura (o correspondente a cinco linhas de plantas) e a separar os tratamentos tínhamos uma faixa de trabalho com 0,75 m de largura (o correspondente a uma linha de plantas).

A aplicação de água era uniforme ao longo do comprimento da parcela e uniformemente variável na sua largura, pelo que, neste sentido, consideraram-se quatro níveis de aplicação de água - W4 (o mais próximo da linha de aspersores), W3, W2 e W1 (o mais afastado da linha de aspersores), os quais correspondiam à dotação de rega no ponto médio de cada talhão, cuja largura era 3,75 m.

Com os quatro níveis de aplicação de água e os quatro níveis de aplicação de azoto, tínhamos, portanto, 16 modalidades, em cada uma das três repetições.



N0, N1, N2 e N3 - Níveis de aplicação de azoto
 W1, W2, W3 e W4 - Níveis de aplicação de água
 M1 e M2 - Metades
 REP1, REP2 e REP3 - Repetições
 FT - Faixa de trabalho

Figura 3.2 Esquema geral do campo de ensaio.

3.2 Dados meteorológicos

Utilizaram-se os dados meteorológicos recolhidos diariamente na Estação Meteorológica de Alvalade do Sado situada a cerca de 100 m do campo de ensaio. Os dados utilizados encontram-se no Anexo 1 e foram os seguintes:

- precipitação (mm);
- evaporação de água na tina evaporimétrica (mm);
- temperatura máxima (°C);
- temperatura mínima (°C);
- temperatura média (°C);
- insolação (número de horas de sol);
- humidade relativa (%);
- rumo e velocidade (kmh^{-1}) do vento.

3.3 Operações culturais realizadas

3.3.1 Sementeira

O milho (*Zea mays* L.) foi semeado a 30 de Abril. Foi utilizado um híbrido simples com ciclo FAO 400 e com aptidão para produção de silagem. A distância entre linhas foi 75 cm e a distância entre plantas na linha foi, aproximadamente, 16,5 cm. A densidade de sementeira foi, portanto, 80 000 plantas por hectare.

3.3.2 Abertura dos covachos

Por forma a evitar o escoamento superficial, foi necessário proceder à abertura de covachos (Figura 3.3), a qual se realizou 31 dias após a sementeira do milho.

3.3.3 Piquetagem

Após a abertura dos covachos, efectuou-se a piquetagem do campo de ensaio. Foram colocadas estacas que permitiam uma rápida identificação das repetições e das modalidades.

3.3.4 Fertilização

Foram efectuadas duas adubações, uma de fundo e outra de cobertura. Na primeira, optou-se por adubação a lanço e localizada, tendo sido aplicados, respectivamente, 400 kg ha^{-1} e 100 kg ha^{-1} do adubo composto ternário 7:21:21. Na adubação de cobertura, realizada a 24 de Junho (ou seja, 55 dias após a sementeira), utilizou-se nitrato de amónio com 26 % de azoto. O adubo foi aplicado a lanço e conforme os tratamentos considerados neste ensaio.



Figura 3.3 Aspecto do campo de ensaio em que são visíveis os covachos utilizados para evitar o escoamento superficial, 33 dias após a sementeira.

3.3.5 Rega

As regas foram programadas com base nos dados recolhidos na tina evaporimétrica da Estação Meteorológica de Alvalade. A medição diária da altura de água na tina permitia o cálculo da diferença diária do nível de água resultante da perda por evaporação. Com esta, calculava-se a evapotranspiração cultural diária através da seguinte fórmula:

$$ET_c = E_o \times K_p \times K_c \quad (3.1)$$

em que: ET_c - Evapotranspiração cultural diária (mm);

E_o - Evaporação diária na tina evaporimétrica de Classe "A" (mm);

K_p - Coeficiente de tina;

K_c - Coeficiente cultural para o milho.

Considerou-se um valor de K_p igual a 0,8 ao longo de todo o ciclo vegetativo, valor habitualmente utilizado em ensaios de campo.

Os coeficientes culturais utilizados ao longo do ciclo vegetativo do milho encontram-se no Quadro 3.1 (Doorenbos e Kassam, 1979).

Quadro 3.1 Coeficientes culturais do milho (Doorenbos e Kassam, 1979).

Mês	Decénio	Coeficiente cultural (K_c)
Maio	1	0,45
Maio	2	0,45
Maio	3	0,50
Junho	1	0,64
Junho	2	0,82
Junho	3	1,01
Julho	1	1,10
Julho	2	1,10
Julho	3	1,10
Agosto	1	1,10
Agosto	2	1,01
Agosto	3	0,83
Setembro	1	0,64

O valor de ET_c acumulado entre regas deveria ser, contudo, inferior a 50 mm de modo que, na modalidade em que o nível de aplicação era adequado às necessidades da cultura, a capacidade utilizável do solo permanecesse superior a 70 %. Com base na evaporação cultural diária, determinava-se a quantidade de água a aplicar em cada rega, considerando uma eficiência do sistema de rega de cerca de 75%. Ao longo do ciclo vegetativo do milho foram efectuadas 11 regas. As datas de realização das regas e as respectivas durações e dotações de rega encontram-se no Quadro 3.2.

Quadro 3.2 Regas realizadas ao longo do ciclo vegetativo do milho e respectivas durações e dotações de rega.

Rega	Data		Duração (horas)	Dotação de rega (mm)
	Dia e Mês	em dias após a sementeira		
R1	25 de Junho	56	4	45
R2	8 de Julho	69	4,5	50
R3	16 e 17 de Julho	77 e 78	2,5 e 3 (respectivamente)	28 e 34 (respectivamente)
R4	21 de Julho	82	5	56
R5	29 de Julho	90	5	56
R6	5 de Agosto	97	5	56
R7	12 de Agosto	104	4,5	50
R8	18 de Agosto	110	5	56
R9	27 de Agosto	119	4	45
R10	3 de Setembro	126	2,5	28
R11	10 de Setembro	133	3	34

A quantidade de água aplicada em R4 e em R8 foi, contudo, superior à necessária, ou seja, foi superior à evapotranspiração cultural obtida pelo método da tina evaporimétrica, para o período de tempo que antecedeu a respectiva rega, considerando a eficiência de rega de 75 %. Assim, em ambas as regas foram aplicados 56 mm, quando apenas eram necessários 31 mm e 40 mm, respectivamente, em R4 e em R8. A razão para o sucedido prende-se com os trabalhos que decorriam relacionados com a utilização de cápsulas cerâmicas porosas para a determinação do teor de nitratos perdidos por lixiviação (ver 3.4.5).

Regou-se preferencialmente durante a manhã, dado que, em termos de vento, é o período mais calmo do dia. A altura dos suportes dos aspersores foi aumentada ao longo do ciclo vegetativo do milho de modo que os aspersores permanecessem acima da canópia.

3.4 Medições e determinações

3.4.1 Altura de água aplicada

Para um melhor controle da quantidade de água aplicada durante cada rega foram utilizados pluviômetros. Os pluviômetros foram colocados em três faixas de trabalho (uma por cada repetição) e perpendicularmente à linha de aspersores. Em cada faixa de trabalho, colocaram-se 8 pluviômetros (um por cada nível de aplicação de água das metades M1 e M2). As distâncias dos pluviômetros à Bordadura 4 foram as seguintes: 1,88; 5,63; 9,38; 13,13; 16,88; 20,63; 24,38 e 28,13 m. Ao longo do ciclo cultural foi necessário levantar os pluviômetros, de modo que estes permanecessem sempre acima da canópia.

3.4.2 Humidade do solo

O teor de humidade do solo foi determinado recorrendo:

- à sonda capacitiva;
- ao método gravimétrico.

Determinação do teor de humidade do solo com a sonda capacitiva. A sonda capacitiva foi utilizada para a determinação do teor de humidade do solo necessária à elaboração dos perfis hídricos e ao cálculo do armazenamento do solo.

Em cada modalidade da Repetição 2 de M2 foi instalado um tubo de acesso da sonda capacitiva até à profundidade de 140 cm.

As medições com a sonda capacitiva foram efectuadas 24 horas antes e 48 horas após cada rega. Para a determinação do teor de humidade do solo é necessário efectuar três medições com a sonda capacitiva. Assim, além das medições efectuadas às profundidades de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110 e 120 cm, nos tubos de acesso instalados no solo, foram também efectuadas duas outras leituras, uma com a sonda capacitiva num tubo de acesso ao ar e outra com a sonda num tubo de acesso mergulhado num reservatório com água. Com estas três medições, determina-se a frequência universal (*FU*) que é dada pela seguinte equação:

$$FU = \frac{L_a^{7.692} - L^{7.692}}{L_a^{7.692} - L_w^{7.692}} \quad (3.2)$$

em que: L_a - Leitura no ar;

L_w - Leitura na água;

L - Leitura no solo.

Com a frequência universal, determina-se o teor de humidade volumétrico (θ_v) através da equação ajustada à curva de calibração da sonda capacitiva. Neste trabalho, atendendo à qualidade dos dados obtidos no campo para a calibração da sonda capacitiva, considerou-se preferível utilizar a curva de calibração do manual do fabricante (Figura 3.4).

Como refere o fabricante, o principal factor que determina as medições efectuadas com a sonda capacitiva é o teor de humidade e, num determinado perfil, os ligeiros afastamentos em relação à curva de calibração, devidos à constituição e estrutura do solo, conduzem a erros na determinação do teor de humidade do solo não superiores a 2 %.

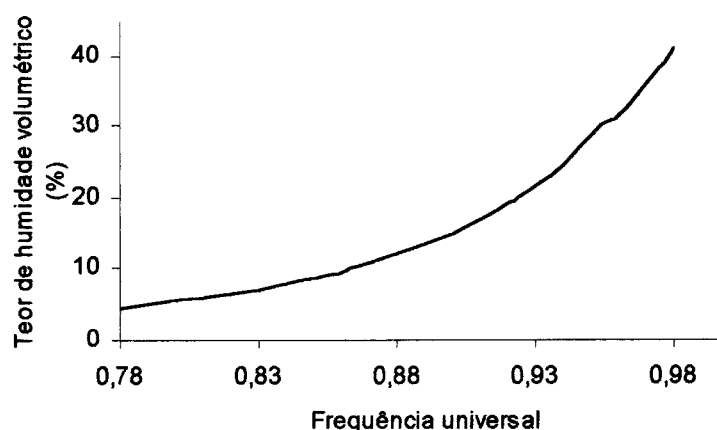


Figura 3.4 Curva de calibração da sonda capacitiva, que relaciona a frequência universal com o teor de humidade volumétrico do solo, em %.

À curva de calibração foi ajustada uma regressão exponencial, tendo sido obtida a seguinte equação para a determinação do teor de humidade volumétrico do solo:

$$\theta_v = 0,0007 \times e^{11,174 \times FU} \quad (3.3)$$

em que: θ_v - Teor de humidade volumétrico (expresso em %);

FU - Frequência universal.

Determinação do teor de humidade do solo pelo método gravimétrico. Foram efectuadas colheitas de amostras de solo, sempre que não foi possível utilizar a sonda capacitiva, para a determinação do teor de humidade do solo pelo método gravimétrico. As amostras de solo das camadas situadas às seguintes profundidades: 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60 e 60-70 cm, foram colhidas com uma sonda de meia cana e colocadas em pesa filtros. Posteriormente foram levadas para o laboratório para determinação do peso do solo húmido e do peso do solo seco (obtido após secagem em estufa a 105 °C). O teor de humidade era, para cada amostra, dado por:

$$\theta_g = \frac{P_{sh} - P_{ss}}{P_{ss} - T_{pf}} \times 100 \quad (3.4)$$

em que: θ_g – Teor de humidade ponderal (g.g^{-1});

P_{sh} – Peso do solo húmido + Tara do pesa filtro (g);

P_{ss} – Peso do solo seco a 105 °C + Tara do pesa filtro (g);

T_{pf} – Tara do pesa filtro (g).

Com os valores da densidade aparente (ver 2.1) determinou-se o teor de humidade volumétrico, o qual é dado por:

$$\theta_v = D_{ap} \times \theta_g \quad (3.5)$$

em que: θ_v – Teor de humidade volumétrico ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$);

D_{ap} – Densidade aparente;

θ_g - Teor de humidade ponderal (g.g^{-1}).

3.4.3 Armazenamento de água no solo.

O armazenamento de água no solo (S) foi calculado do seguinte modo:

$$S = \theta_1 \times \Delta z_1 + \theta_2 \times \Delta z_2 + \theta_3 \times \Delta z_3 + \dots + \theta_n \times \Delta z_n \quad (3.6)$$

em que $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_n$ correspondem aos teores de humidade do solo nas camadas de solo $\Delta z_1, \Delta z_2, \Delta z_3, \dots, \Delta z_n$.

3.4.4 Evapotranspiração

Para a determinação da evapotranspiração foram considerados:

- o método da tina evaporimétrica;
- o método do balanço hídrico;
- a equação de Penman-Monteith.

Método da tina evaporimétrica. Os procedimentos referentes à determinação da evapotranspiração cultural pelo método da tina evaporimétrica encontram-se descritos em 3.3.5.

Segundo Lencastre e Franco (1992), o coeficiente de tina depende da cobertura do solo e dos valores de humidade média relativa e da velocidade média diária do vento. Assim, atendendo a que a tina estava colocada num terreno cultivado e que a extensão da cultura a barlavento da tina era superior a 100 m, procedeu-se ainda ao cálculo de ET_c tendo consideração os coeficientes de tina e as respectivas condições de aplicação registadas ao longo do ensaio que se encontram no Quadro 3.3.

Quadro 3.3 Coeficiente de tina evaporimétrica de Classe "A" (K_p), para as condições de velocidade média do vento (v_{med}) e humidade média relativa (HR_{med}) encontradas ao longo do ensaio (Adaptado de Lencastre e Franco, 1992).

K_p	$v_{med}, \text{ kmh}^{-1}$	$HR_{med}, \%$
0,85	$v_{med} < 7,3$	$HR_{med} > 40$
0,80	$7,3 < v_{med} < 17,7$	$HR_{med} > 40$
0,75	$17,7 < v_{med} < 29,0$	$HR_{med} > 70$
0,70	$17,7 < v_{med} < 29,0$	$40 < HR_{med} < 70$

Os resultados obtidos considerando os valores de K_p que constam no Quadro 3.3 e $K_p=0,8$ foram comparados por forma a avaliar se é indiferente considerar os primeiros ou o segundo.

Método do balanço hídrico. A evapotranspiração foi calculada pelo método do balanço hídrico nos tratamentos W1, W2, W3 e W4. Admitindo como nulo o escoamento superficial devido à abertura dos covachos, tínhamos que:

$$ET = P + I - D \pm \Delta S \quad (3.7)$$

em que: ET - Evapotranspiração (mm);

P - Precipitação (mm);

I - Rega (mm);

D - Drenagem (mm);

ΔS - Variação do armazenamento (mm).

Os dados referentes à precipitação eram diariamente recolhidos na Estação Meteorológica (ver 3.2).

A I correspondem as alturas de água aplicadas em W1, W2, W3 e W4, as quais eram determinadas a partir das medições efectuadas com os pluviómetros (ver 3.4.1).

Os procedimentos seguidos para a determinação do armazenamento de água encontram-se descritos em 3.4.3, sendo a variação do armazenamento no solo (ΔS) entre os instantes t e $t+\Delta t$ dada por:

$$\Delta S = S_t - S_{t+\Delta t} \quad (3.8)$$

em que: S_t - Armazenamento de água do solo no instante t ;

$S_{t+\Delta t}$ - Armazenamento de água do solo no instante $t+\Delta t$.

Equação de Penman-Monteith. Com o objectivo de encontrar um termo de comparação para os valores de evapotranspiração determinados pelo método do balanço hídrico nos tratamentos W1, W2, W3 e W4, procedeu-se ainda ao cálculo

da evapotranspiração cultural (ET_c) utilizando a equação da FAO Penman-Monteith para o cálculo da evapotranspiração de referência:

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad (3.9)$$

em que: K_c - Coeficiente cultural para o milho (ver Quadro 3.1);

ET_o - Evapotranspiração de referência, calculada através da equação da FAO Penman-Monteith (mm).

Na determinação de ET_o foram seguidos os procedimentos indicados por Allen *et al.* (1994), tendo sido utilizados os dados climáticos diários referentes à temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura média, humidade relativa média, velocidade média do vento e número de horas de sol (3.2).

3.4.5 Lixiviação de nitratos

Para a obtenção de amostras da solução do solo foram instaladas, 63 dias após a sementeira, cápsulas cerâmicas porosas (Figuras 3.5 e 3.6) a 70 cm de profundidade em todas as modalidades de REP2 de M2. Momentos antes de se iniciar a rega do milho, as cápsulas cerâmicas eram colocadas à carga e, 24 horas após a rega, procedia-se à recolha das amostras da solução do solo. Foram efectuadas 5 tentativas de recolha das amostras (após as regas R3, R4, R5, R6 e R8). Após a oitava rega a bomba de vácuo avariou e não foi possível repará-la ou substituí-la a tempo de ser utilizada no ensaio.

O volume de solução recolhido deveria ser superior a 100 ml, o volume mínimo necessário para a determinação da concentração de nitrato na amostra de solução do solo pelo método dos eléctrodos de iões selectivos (Pungor *et al.*, 1979). A quantidade de nitratos (azoto) numa camada de solo era calculada através da seguinte equação (Vachaud *et al.*, 1996):

$$N = [NO_3^-] \theta_{\Delta z} \Delta z \frac{1}{4,42} \quad (3.10)$$

em que: N - Teor de azoto ($kg\ ha^{-1}$);

$[NO_3^-]$ - Concentração de nitrato na solução do solo;

$\theta_{\Delta z}$ - Teor de água médio de uma camada de solo de espessura Δz ;

4,42 - Razão molar entre NO_3^- e N .

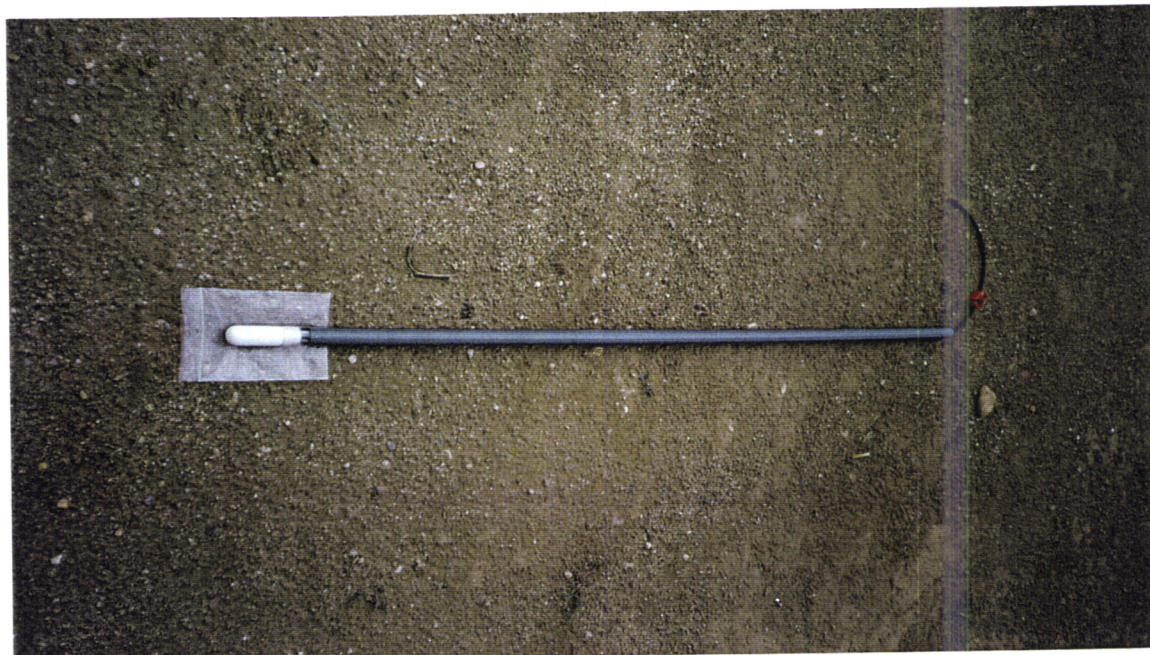


Figura 3.5 Cápsula cerâmica porosa.



Figura 3.6 Bomba de vácuo e copo de Erlenmeyer, material necessário, respectivamente, para a colocação das cápsulas cerâmicas porosas à carga e para a recolha da amostra de solução do solo.

Caso o volume da amostra da solução do solo recolhido fosse suficiente para a análise laboratorial, eram seguidos os procedimentos indicados por Vachaud *et al.* (1996) para determinação das perdas de azoto por lixiviação. Era necessário proceder, simultaneamente, à determinação da concentração da solução do solo e à determinação do fluxo de água no solo à profundidade de 70 cm. Para o efeito foram instalados, em cada modalidade da REP2 de M2, dois tensiómetros de vácuo, a 60 cm e a 80 cm de profundidade, e seriam seguidos os procedimentos indicados por Vachaud *et al.* (1996).

3.4.6 Parâmetros relativos ao crescimento da cultura

Para a determinação dos parâmetros que permitem avaliar o crescimento da cultura ao longo do ciclo vegetativo: altura da cultura, índice de área foliar e produção de matéria seca aérea total, foram efectuadas sete amostragens de plantas (Quadro 3.4), as quais foram realizadas em todas as modalidades das três repetições de M2.

Quadro 3.4 Amostragens de plantas realizadas ao longo do ciclo vegetativo do milho para determinação dos parâmetros relativos ao crescimento da cultura.

Amostragem	Data (em dias após a sementeira)	Fase do ciclo vegetativo
A1	35	6 folhas
A2	48	8 folhas
A3	69	11-12 folhas
A4	89	Emergência das sedas
A5	110	Grão pastoso
A6	124	Grão dentado
A7	138	Após a maturação fisiológica

Foram colhidas, por modalidade, três plantas em locais aleatoriamente seleccionados para o efeito. A altura das plantas era medida desde a base do colmo da planta até ao extremo da última folha totalmente distendida ou, no caso de já se ter iniciado a floração, até à base da panícula. Posteriormente procedia-se, em cada amostra de plantas, à separação das folhas dos caules e das folhas secas das verdes, dado que a superfície foliar de cada amostra de três plantas era medida utilizando apenas as folhas verdes.

Por último, as folhas secas, as folhas verdes, os caules e quando fosse caso disso as espigas e as camisas de cada amostra, eram pesadas, em separado, antes e depois da secagem em estufa para determinação, respectivamente, do peso húmido e do peso seco. A secagem do material era realizada em estufa a 80 °C durante 3-4 dias, até se atingir peso constante.

Altura das plantas. Em cada modalidade das três repetições de M2, a altura das plantas era dada pela média das alturas das três plantas colhidas.

Índice de área foliar. A área foliar verde de cada amostra de três plantas foi medida no aparelho LI-COR modelo LI-3000. O índice de área foliar (*IAF*) foi calculado através da seguinte fórmula:

$$IAF = \frac{AF}{A} \quad (3.11)$$

em que: *AF* - Área foliar verde da amostra de três plantas (m²);

A - Área de solo ocupada por três plantas (0,5x0,75 m²).

Matéria seca aérea total. A matéria seca aérea total (expressa em toneladas de matéria seca por hectare) era dada pelo peso seco das três plantas.

3.4.7 Parâmetros relativos à produção

Relativamente à produção, foram determinados os seguintes parâmetros: produção de grão por unidade de área, matéria seca aérea total, índice de colheita e uso da água.

Para tal, em cada modalidade das três repetições de M2, foram previamente seleccionadas duas linhas de plantas para a colheita da respectiva amostra.

Produção de grão por unidade de área. O grão relativo às duas linhas de plantas foi pesado para determinação do peso húmido. Posteriormente foi retirada uma amostra de menor peso (300 g) que foi seca em estufa a 80 °C durante cerca de 48 horas (até se obter peso constante). Com o peso húmido e seco da amostra determinou-se a humidade do grão através da seguinte fórmula:

$$H = \frac{Ph - Ps}{Ph} \times 100 \quad (3.12)$$

em que: H - Humidade do grão (%);
 Ph - Peso húmido do grão (g);
 Ps - Peso seco do grão (g).

Os valores de produção de grão foram posteriormente reportados à humidade de 14%.

Matéria seca aérea total. A produção de matéria seca aérea total, expressa em toneladas por hectare, é dada pelo peso de seis plantas (excluído o grão) representativas da amostra, após a secagem em estufa a 80 °C durante cerca de 48 horas, até atingir peso constante.

Índice de colheita. O parâmetro índice de colheita corresponde à razão entre a produção de grão por unidade de área e a matéria seca aérea total.

Eficiência de uso de água. O parâmetro eficiência de uso de água foi determinado relativamente à matéria seca aérea total, e correspondia à razão entre a matéria seca aérea por unidade de área e a quantidade de água aplicada, e relativamente à produção de grão por unidade de área, sendo dado pela razão entre a produção de grão por unidade de área e a quantidade de água aplicada.

3.5. Análises Laboratoriais

3.5.1 Análises foliares para determinação do teor de macronutrientes principais

Com as análises foliares, pretendia-se determinar a concentração de azoto, fósforo e potássio nas folhas do milho ao longo do ciclo vegetativo e avaliar a influência dos tratamentos na concentração destes nutrientes nas folhas.

Para tal, foram efectuadas três amostragens de plantas, em todas as modalidades das três repetições de M2. A primeira amostragem (Aaf1) foi realizada

antes da adubação de cobertura e da primeira rega (43 dias após a sementeira), a segunda (Aaf2), na fase de emergência das sedas (91 dias após a sementeira) e a última (Aaf3), 147 dias após a sementeira. Foram escolhidas em cada amostragem, fora dos locais em que se analisa o rendimento, duas plantas representativas para a análise foliar, entre oito plantas seleccionadas aleatoriamente numa linha.

As análises foram efectuadas pelo Laboratório de Química Agrícola da Universidade de Évora.

3.5.2 Análises para determinação do teor de proteína no grão

A fim de avaliar a influência dos tratamentos no teor de proteína do grão, foram colhidas 2 espigas após a maturação fisiológica do milho, em todas as modalidades de M2, e fora dos locais em que se analisa o rendimento.

As análises foram efectuadas no Laboratório de Pastagens da Universidade de Évora.

3.5.3 Análises das terras

A fim de avaliar as consequências dos níveis de aplicação de azoto e de água na fertilidade do solo procedeu-se, no final do ciclo vegetativo do milho, à colheita de amostras de terra. Assim, com uma sonda de meia cana, foram colhidas, em todas as modalidades de REP2 de M2, três amostras parciais de terra por cada uma das quatro camadas de solo consideradas - uma, da superfície do solo a 20 cm de profundidade, e as seguintes de 20 a 40 cm de profundidade, de 40 a 60 cm e de 60 a 70 cm.

A partir da mistura e homogeneização destas amostras parciais obteve-se uma amostra média para cada camada, da qual se retiraram cerca de 400 g para análise laboratorial. Em laboratório foram determinados os teores de fósforo (P_2O_5), de azoto (NO_3) e de potássio (K_2O), a textura, o pH e as necessidades em cal.

Estas análises, ditas sumárias, foram realizadas no Laboratório de Química Agrícola da Universidade de Évora.

3.6 Tratamento dos dados

3.6.1 Análise de variância

Segundo Hanks *et al.* (1980) este delineamento é similar a uma das variantes do "split-plot", o "split-plot" no tempo, apresentadas por Steel e Torrie (1960). Gomez e Gomez (1984) designam por "strip-plot", o delineamento experimental em que dois factores (o vertical e o horizontal) são, em cada repetição, casualizados por processos independentes em faixas verticais e em faixas horizontais, perpendiculares umas às outras. No presente ensaio, contudo, um dos factores (a água) não foi casualizado mas aplicado de forma sistemática, devido às características inerentes ao delineamento experimental, pelo que na análise dos respectivos resultados tem que se ter em consideração este aspecto. Assim não pode ser atribuído um nível de probabilidade à influência da água nos parâmetros em estudo.

As análises de variância foram realizadas com o programa SAS (SAS Institute Inc., 1990), com o objectivo de verificar se foi significativa a influência dos tratamentos relativos à aplicação de azoto e/ou da interacção azoto x água nos parâmetros referentes ao crescimento e à produção da cultura. Na análise de variância, considerou-se como tratamento principal o nível de aplicação de azoto e como tratamento secundário o nível de aplicação de água. Quando era significativa a influência do azoto, procedia-se ainda, para os parâmetros em que tal sucedia, à comparação das médias obtidas nos quatro tratamentos relativos à aplicação de azoto. Quando era significativa a influência da interacção azoto x água, comparavam-se as médias obtidas nas dezasseis modalidades em estudo. Para a comparação das médias utilizou-se o método das mínimas diferenças significativas, tendo sido seguidos os procedimentos indicados por Gomez e Gomez (1984).

3.6.2 Superfície de produção

Os resultados relativos à produção de grão por unidade de área foram analisados através do programa STATISTICA (StatSoft, Inc., 1997). Este programa permite ajustar uma superfície a um conjunto de pontos, representando-a segundo uma função em que a variável dependente (z) é função das variáveis independentes (x e y), acrescida de um erro ε :

$$z = f(x, y) + \varepsilon \quad (3.13)$$

Esta função pode ser representada por uma equação polinomial do tipo:

$$z = A_0 + A_1x + A_{11}x^2 + A_2y + A_{22}y^2 + A_{12}xy \quad (3.14)$$

em que: z - Resposta;

A_0 - Constante;

A_1, A_2 - Coeficientes lineares;

A_{11}, A_{22} - Coeficientes quadráticos;

A_{12} - Produto dos coeficientes lineares.

Coeficiente de determinação e coeficiente de determinação ajustado. Para avaliação do ajuste do modelo aos resultados experimentais foi calculado o coeficiente de determinação para regressões múltiplas (R^2). A partir de R^2 foi calculado outro coeficiente - o R^2 ajustado (R^2_a) - que, juntamente com R^2 , permite estudar a aplicabilidade da superfície de resposta. O R^2_a é calculado a partir da seguinte equação (Zar, 1996):

$$R^2_a = 1 - \frac{n-1}{n-m-1} \times (1 - R^2) \quad (3.15)$$

em que: n - Número total de observações;

m - Número de variáveis independentes.

Enquanto que o R^2 aumenta sempre que se adiciona uma observação à regressão, o R^2_a apenas aumenta se da adição de uma observação resultar um melhor ajustamento da regressão aos dados. O R^2_a pode ser utilizado para comparar regressões com diferente número de variáveis independentes e de repetições (Zar, 1996).

Considera-se que o ajustamento da regressão aos dados é bom quando R^2_a é elevado e semelhante a R^2 .

Máximos e mínimos da superfície de resposta. Para a determinação de máximos e mínimos de uma superfície de resposta é necessário ter em consideração os seguintes teoremas (Piskounov, 1988):

Teorema 1: Se a função $z = f(x, y)$ admite um extremo para os valores $x = x_0$ e $y = y_0$, então, cada derivada parcial de primeira ordem de z anula-se para esses valores das variáveis independentes ou não existe (condições necessárias para a existência dum extremo).

Teorema 2: Seja $f(x, y)$ uma função definida num domínio que contém o ponto $M_0(x_0, y_0)$ e cujas derivadas parciais são contínuas até à terceira ordem inclusive; suponhamos, além disso, que o ponto $M_0(x_0, y_0)$ seja um ponto crítico da função $f(x, y)$, isto é,

$$\frac{\partial f(x_0, y_0)}{\partial x} = 0 \quad \text{e} \quad \frac{\partial f(x_0, y_0)}{\partial y} = 0$$

Então, para $x = x_0$, $y = y_0$:

1) $f(x, y)$ tem um máximo, se

$$\frac{\partial^2 f(x_0, y_0)}{\partial x^2} \times \frac{\partial^2 f(x_0, y_0)}{\partial y^2} - \left(\frac{\partial^2 f(x_0, y_0)}{\partial x \partial y} \right)^2 > 0 \quad \text{e} \quad \frac{\partial^2 f(x_0, y_0)}{\partial x^2} < 0;$$

2) $f(x, y)$ tem um mínimo, se

$$\frac{\partial^2 f(x_0, y_0)}{\partial x^2} \times \frac{\partial^2 f(x_0, y_0)}{\partial y^2} - \left(\frac{\partial^2 f(x_0, y_0)}{\partial x \partial y} \right)^2 > 0 \quad \text{e} \quad \frac{\partial^2 f(x_0, y_0)}{\partial x^2} > 0;$$

3) $f(x, y)$ não tem um máximo nem mínimo, se

$$\frac{\partial^2 f(x_0, y_0)}{\partial x^2} \times \frac{\partial^2 f(x_0, y_0)}{\partial y^2} - \left(\frac{\partial^2 f(x_0, y_0)}{\partial x \partial y} \right)^2 < 0.$$

Produtividade média. A produtividade média dos factores de produção x e y é dada, respectivamente, por (Ferguson, 1978):

$$PM_x = \frac{z}{x} \text{ e } PM_y = \frac{z}{y}. \quad (3.16) \text{ e } (3.17)$$

Produtividade marginal. A produtividade marginal dos factores de produção x e y é dada, respectivamente, por (Ferguson, 1978):

$$Pm_x = \frac{\partial z}{\partial x} \text{ e } Pm_y = \frac{\partial z}{\partial y}. \quad (3.18) \text{ e } (3.19)$$

Isoquanta. A equação de uma isoquanta é dada por (Ferguson, 1978):

$$z=f(x,y)=constante. \quad (3.20)$$

Razão marginal de substituição. A razão marginal de substituição do factor y pelo factor x ($RmS_{y,x}$) é dada por (Ferguson, 1978):

$$RmS_{y,x} = -\frac{dy}{dx} = \frac{\frac{\partial z}{\partial x}}{\frac{\partial z}{\partial y}} = \frac{Pm_x}{Pm_y}. \quad (3.21)$$

4 Resultados e discussão

Com o objectivo de estudar a relação entre dois importantes factores de produção, a água e o azoto, e o crescimento e a produção de milho para grão, são apresentados e discutidos os resultados relativos à água (alturas de água aplicadas, humidade no solo e evapotranspiração), aos parâmetros do crescimento (altura das plantas, matéria seca aérea total e índice de área foliar) e da produção (matéria seca aérea, produção de grão, índice de colheita e eficiência de uso de água), sendo apresentada uma função de produção que relaciona os níveis de aplicação de água e de azoto com a produção de grão. Finalmente, são apresentados os resultados relativos ao teor de macronutrientes principais nas folhas das plantas, ao teor de proteína do grão e às análises de terra efectuadas.

4.1 Alturas de água aplicadas

A partir das medições efectuadas com os pluviómetros determinaram-se, para os níveis de aplicação de água considerados neste trabalho, as alturas de água aplicadas em cada rega (Anexo 2) e a quantidade total de água aplicada (Quadro 4.1).

Como mostram os resultados do Quadro 4.1, à medida que aumenta a distância à linha de aspersores, ou seja, de W4 para W1, diminui a quantidade de água aplicada, tanto em M1 como em M2. Foram aplicadas, excepto em W3 de REP3, maiores quantidades de água em M2 do que em M1.

Às alturas de água do Quadro 4.1 foram ajustados polinómios de segundo grau. As equações de regressão obtidas e os respectivos coeficientes de determinação encontram-se no Quadro 4.2.

Quadro 4.1 Altura de água acumulada (w), em função do nível de aplicação de água (W1, W2, W3 e W4), nas repetições REP1, REP2 e REP3 das metades M1 e M2, após as onze regas do milho.

		w (mm)	
		M1	M2
W1	REP1	47,53	114,22
	REP2	27,71	76,82
	REP3	48,72	93,30
	MÉDIA	41,32	94,78
W2	REP1	210,10	305,40
	REP2	182,47	243,00
	REP3	255,38	288,41
	MÉDIA	215,99	278,94
W3	REP1	367,72	685,46
	REP2	405,83	495,14
	REP3	453,38	449,21
	MÉDIA	408,98	543,27
W4	REP1	823,94	1088,97
	REP2	719,69	893,56
	REP3	578,49	700,06
	MÉDIA	707,37	894,20

Quadro 4.2 Equações de regressão que relacionam a altura de água aplicada (w), em mm, com a distância à Bordadura 4 (d), em m, e respectivos coeficientes de determinação (r^2).

Repetições	Equação de regressão	r^2
REP1	$w = -4,6884d^2 + 133,79d - 150,41$	0,787
REP2	$w = -4,0686d^2 + 118,60d - 182,71$	0,835
REP3	$w = -3,2011d^2 + 94,172d - 97,626$	0,941
MÉDIA	$w = -3,986d^2 + 115,52d - 143,58$	0,854

É possível determinar a quantidade de água aplicada num dado local do campo de ensaio por substituição da respectiva distância à Bordadura 4 (d) na equação de regressão correspondente.

Atendendo aos coeficientes de determinação obtidos, pode-se afirmar que se obtiveram bons ajustamentos das regressões aos dados. De notar que o coeficiente de determinação aumenta de REP1 para REP2 e de REP2 para REP3, onde atinge o valor de 0,941.

As distâncias à Bordadura 4 para as quais se anulam as equações de regressão foram: 1,2 m e 27,4 m para REP1; 1,6 m e 27,5 m para REP2; 1,1 m e 28,3 m para REP3; e 1,3 m e 27,7 m para os valores médios.

Tendo em consideração os teoremas referidos em 3.6.2, foram determinados os seguintes máximos das equações de regressão: 804,1 mm em REP1, 681,6 mm em REP2, 595,0 mm em REP3 e 693,4 mm para os valores médios. Estes valores foram obtidos para distâncias à Bordadura 4 de, respectivamente, 14,3 m, 14,6 m, 14,7 m e 14,5 m, ou seja, em M2.

Na interpretação dos resultados obtidos há que ter em consideração que o rumo do vento durante as regas foi frequentemente N ou NO (Quadro 4.3) e que, junto à Bordadura 2, existia uma sebe viva com plantas do género *Ligustrum* com cerca de 4 m de altura.

Quadro 4.3 Rumos do vento registados, durante as regas, na Estação Meteorológica de Alvalade do Sado.

Rega	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11
Rumo do vento	N	NO	NO e N	NO	NO	NO	N	SE	SO	N	N

Quando o rumo do vento era N ou NO, a sua influência na forma de humedecimento dos aspersores, que se encontravam mais próximos da sebe, era menor devido à presença da sebe. À medida que aumentava a distância dos aspersores à sebe, aumentava a influência do vento na forma de humedecimento dos aspersores.

Assim, com o aumento da distância da repetição à sebe, diminui o coeficiente de determinação e diminui a distância à Bordadura 4 para a qual se obtém o máximo da função. Relacionado com os rumos do vento está ainda o facto de em M2 ter sido aplicada maior quantidade de água que em M1.

Verifica-se ainda que, devido à influência do vento, a forma das curvas de distribuição da água tende a ser, como refere Hanks *et al.* (1976), mais curvilínea (Figura 4.1).

Importa referir que, como se pode verificar no Anexo 1, foram registados apenas em 28 dias, dos 78 entre R1 e R11, rumos e velocidades do vento durante o período da manhã que, de uma forma aproximada, cumpriam as condições referidas por Hanks *et al.* (1976) (ver 1.4). Assim, e também por questões relacionadas com a

condução de rega, nem sempre foi possível regar apenas em dias pouco ventosos, o que contribuiu para os resultados obtidos.

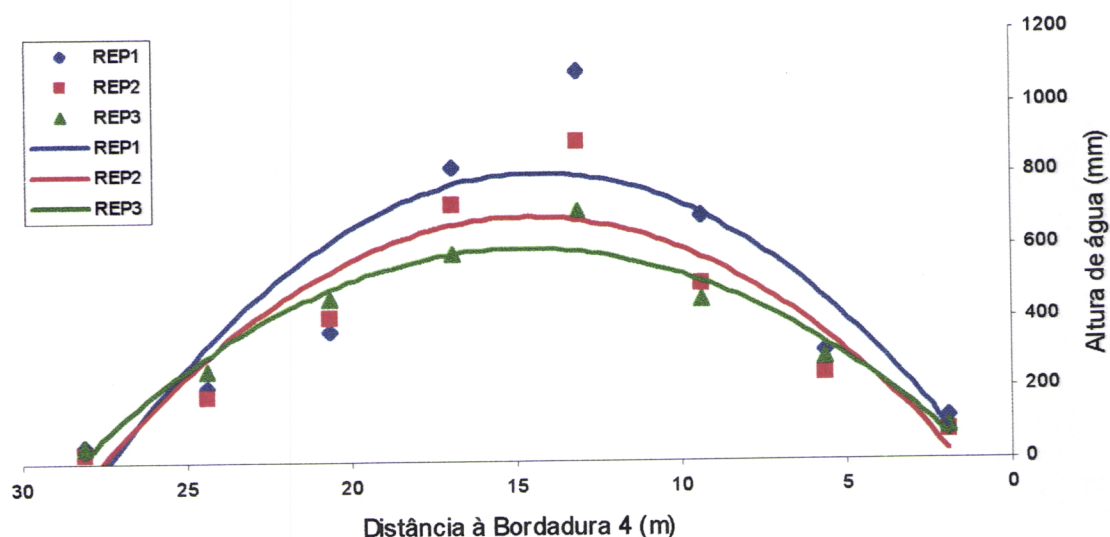


Figura 4.1 Curvas de distribuição da água e as respectivas alturas de água aplicadas em função da distância à Bordadura 4, nas repetições REP1, REP2 e REP3.

O principal problema encontrado por Hanks *et al.* (1976) foi o vento. Estes autores referem, aliás, uma situação em que não sendo possível esperar mais dias por períodos calmos, decidiram regar e verificaram que a máxima altura de água tinha sido aplicada num local afastado cerca de 8 m da posição habitual. O desvio padrão da média das dotações relativas (dotação de rega / dotação máxima de rega) era, em dias calmos, cerca de 0,1 e igual para todas as distâncias à linha mas, ao incluírem os dados do dia ventoso, o desvio padrão aumentou para cerca de 0,2 (ou mais na metade Sul do campo de ensaio) (Quadro 4.4).

Considerando, tal como Hanks *et al.* (1976), a dotação de rega em termos relativos, determinaram-se as dotações médias e os desvios padrão que se encontram no Quadro 4.4. Como se pode verificar, tanto o desvio padrão como a dotação média atingem valores mais elevados em M2 do que em M1, o que reflecte a influência do vento na aplicação de água. Em M2, os desvios padrão são, para alguns níveis de aplicação de água, menores que os obtidos por Hanks *et al.* (1976) na metade Sul, quando os referidos autores incluem os dados do dia ventoso. Em

M1, contudo, obtiveram-se valores de desvio padrão superiores aos encontrados por Hanks *et al.* (1976) na metade Norte.

Quadro 4.4 Médias e respectivo desvio padrão das dotações relativas de rega, obtidas por Hanks *et al.* (1976) nas metades Sul e Norte do campo de ensaio e as obtidas no presente ensaio em M1 e M2. Assume-se como 1,0 a média das dotações de rega nos níveis de aplicação de água mais elevados (W5, para Hanks *et al.* (1976), e W4, neste ensaio).

	Metade Sul					Metade Norte				
	W1	W2	W3	W4	W5	W5	W4	W3	W2	W1
Média	0,08	0,44	0,72	0,79	1,01	0,99	0,93	0,80	0,53	0,20
Média ^a	0,09	0,50	0,80	0,90	1,01	0,99	0,90	0,94	0,52	0,20
Desvio padrão	0,05	0,22	0,26	0,29	0,05	0,05	0,13	0,15	0,09	0,10
Desvio padrão ^a	0,04	0,14	0,10	0,08	0,05	0,06	0,12	0,06	0,10	0,10
	M1				M2					
	W1	W2	W3	W4	W4	W3	W2	W1		
Média	0,05	0,28	0,53	0,88	1,12	0,69	0,37	0,13		
Desvio padrão	0,04	0,12	0,12	0,16	0,16	0,17	0,19	0,09		

^a Não inclui os dados de uma rega efectuada num dia ventoso.

4.2 Humidade do solo

4.2.1 Perfis hídricos do solo

Com base nos teores de humidade do solo, determinados a partir das medições efectuadas com a sonda capacitiva 24 horas antes e 48 horas após cada rega, foram elaborados, para os quatro níveis de aplicação de água, perfis hídricos do solo. Os valores utilizados correspondem à média das quatro medições efectuadas por nível de aplicação de água.

Perfis hídricos do solo 24 horas antes da rega. Na véspera da primeira rega é possível observar já algumas diferenças entre os perfis hídricos (Figura 4.2), as quais estão relacionadas com o facto de nas semanas anteriores se ter procedido à instalação e ensaio do sistema de rega. À excepção das camadas de solo de W3 e

W4 situadas aproximadamente entre os 25 cm e os 40 cm de profundidade, o teor de humidade do solo (θ) era inferior à capacidade de campo (θ_{CC}) até aos 80 cm de profundidade. Em W1, na camada superficial do solo (até cerca de 20 cm de profundidade) o teor de humidade do solo era, aliás, inferior ao coeficiente de emurhecimento (θ_{CE}). Em W2, o teor de humidade do solo era superior ao de W1 mas inferior aos de W3 e W4. O teor de humidade do solo, de uma maneira geral, aumentava com a profundidade.

Como se pode constatar pela observação dos perfis hídricos da Figura 4.2, nos dias anteriores à realização das regas, o teor de humidade do solo em W1 atingiu valores muito baixos, nomeadamente na véspera das regas R2, R3, R4, R5, R6 e R11, em que θ , até à profundidade de aproximadamente 20 cm, era inferior a θ_{CE} . O valor de θ aumentava com a profundidade, mas mantinha-se sempre inferior a θ_{CC} . A partir dos 80 cm de profundidade, ainda se regista o aumento de θ .

Em W2, W3 e W4, θ foi sempre superior a θ_{CE} e, apresentou apenas na véspera de R2 valores inferiores aos de θ_{CC} até à profundidade de 80 cm.

Nas vésperas das restantes rega θ atinge, em determinadas camadas de solo, valores superiores aos de θ_{CC} . A espessura de cada camada dependia, no entanto, do nível de aplicação de água considerado. Assim, em W2, a espessura da camada variou entre os 10 cm, na véspera de R5, e os 50 cm, antes de R7, R9 e R10. Em W3 variou entre os 20 cm, antes de R5, e os 60 cm, antes de R4, R7, R9, R10 e R11. No nível de aplicação de água W4 variou entre os 30 cm, antes de R3, e os 70 cm, antes de R7, R9 e R10.

Perfis hídricos do solo 48 horas após a rega. Após a primeira rega é possível observar algumas diferenças entre os perfis hídricos (Figura 4.3). W1 apresenta, comparativamente aos restantes níveis de aplicação de água, os menores valores de θ . Neste nível de aplicação de água, θ aumenta com a profundidade e é, até aos 80 cm de profundidade, superior a θ_{CE} e inferior a θ_{CC} . Em W2 e em W3, θ é inferior a θ_{CC} até à profundidade de, respectivamente, 15 cm e 12 cm. Em W4, θ é superior a θ_{CC} até aos 40 cm de profundidade. A partir dos 40 cm de profundidade, os teores de humidade do solo em W2, W3 e W4 são da mesma ordem de grandeza e inferiores à capacidade de campo.

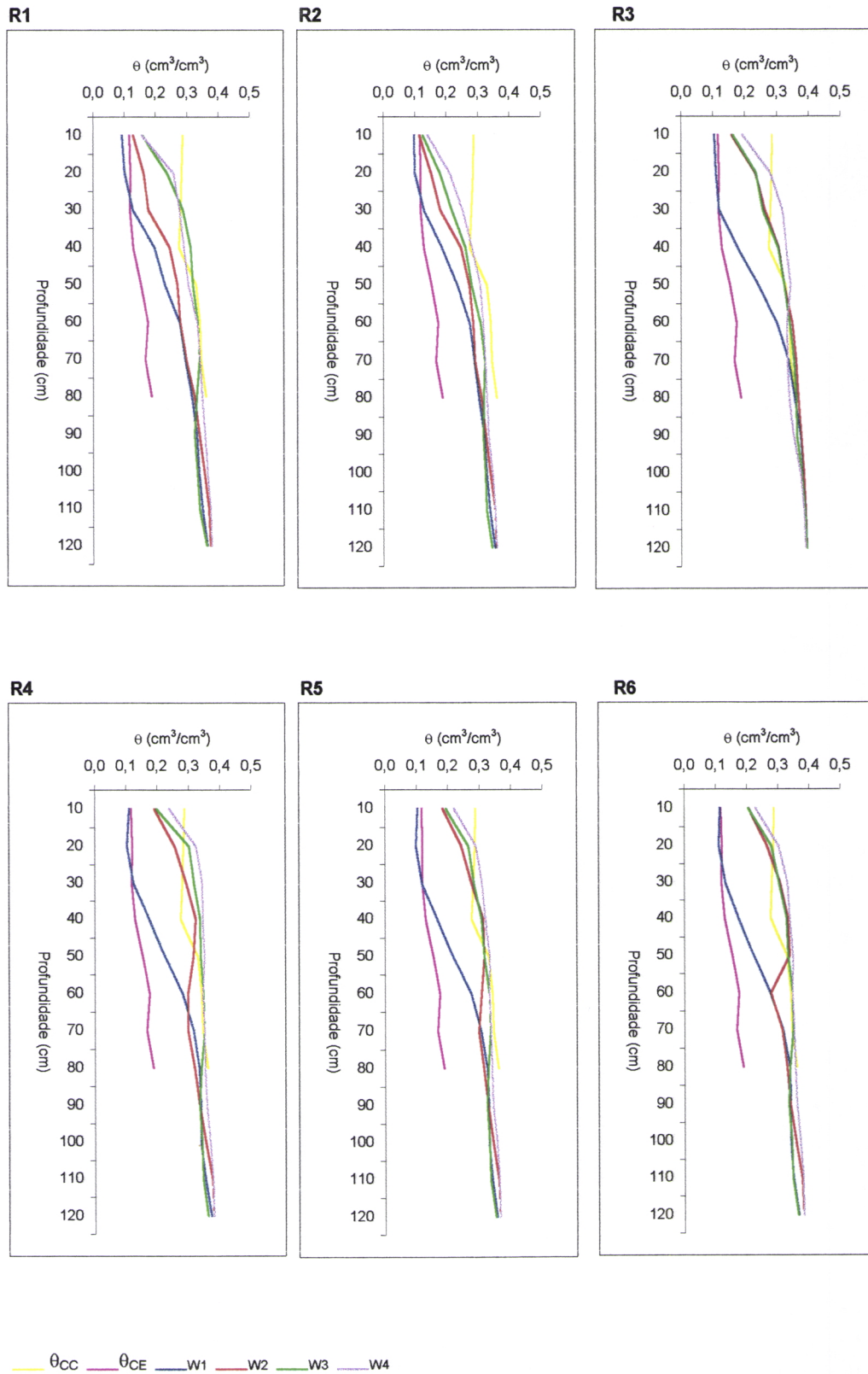


Figura 4.2 Perfis hídricos do solo, 24 horas antes das regas R1, ... e R11, para os níveis de aplicação de água W1, W2, W3 e W4, capacidade de campo (θ_{CC}) e coeficiente de emurchecimento (θ_{CE}).

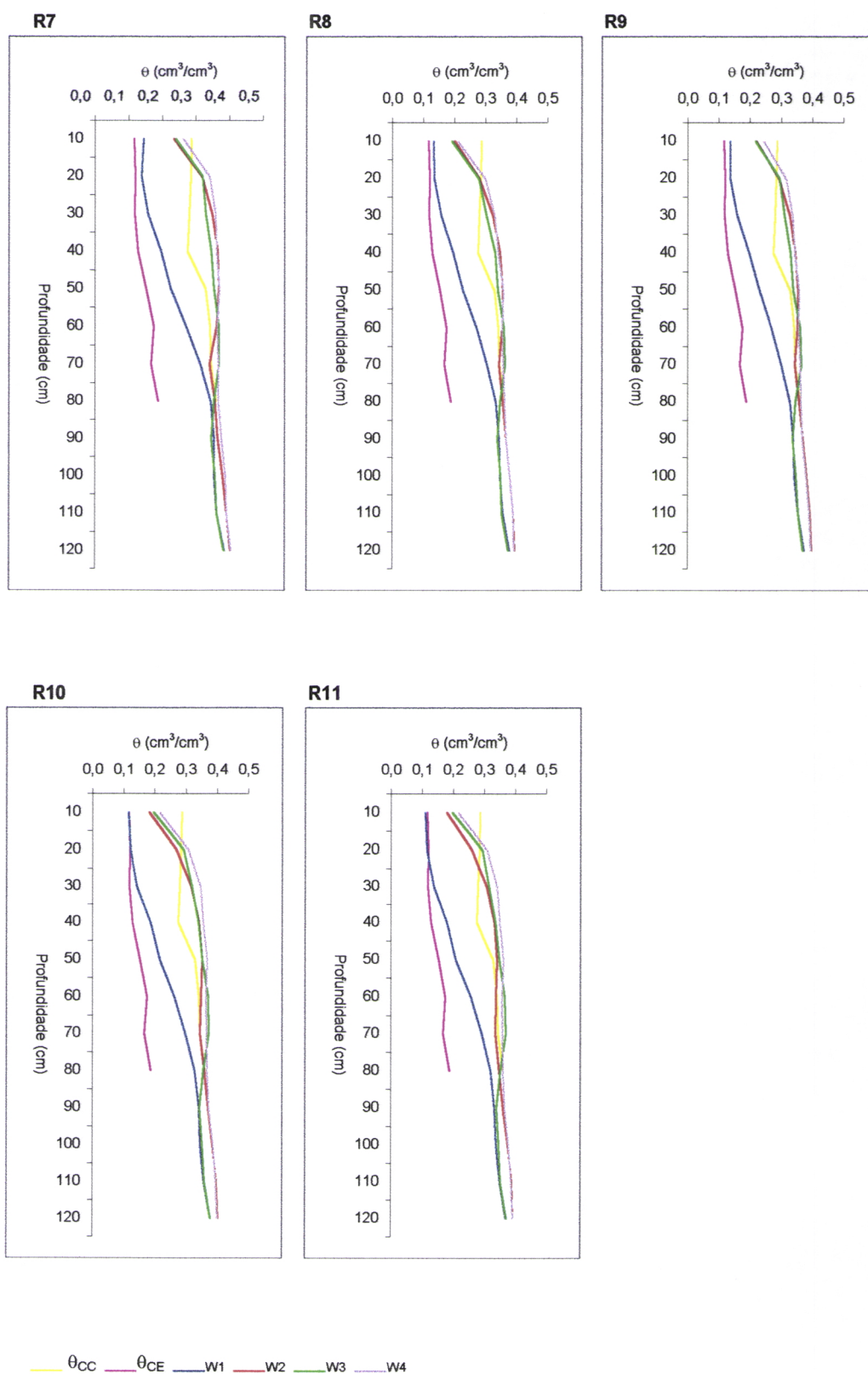


Figura 4.2 (continuação) Perfis hídricos do solo, 24 horas antes das regas R1, ... e R11, para os níveis de aplicação de água W1, W2, W3 e W4, capacidade de campo (θ_{CC}) e coeficiente de emurchecimento (θ_{CE}).

Nas restantes medições verifica-se que, em W1, θ é, de uma maneira geral, superior a θ_{CE} e inferior a θ_{CC} . O teor de humidade aumenta com a profundidade, apresentando aos 80 cm de profundidade valores relativamente próximos dos da capacidade de campo.

Em W2, apenas na segunda rega os valores de θ são inferiores aos de θ_{CC} em todo o perfil. Em R3, R4, R5, R6, R7, R10 e R11 distinguem-se no perfil três camadas de espessura variável: a camada superficial com $\theta < \theta_{CC}$, a camada intermédia com $\theta > \theta_{CC}$ e a camada inferior com $\theta < \theta_{CC}$. A espessura da camada intermédia aumenta entre R3 a R7. Em R8 e R9, à excepção da camada superficial, o solo apresenta até aos 80 cm de profundidade $\theta > \theta_{CC}$. A partir dos 80 cm de profundidade, θ aumenta com a profundidade. Em W3 distinguem-se, em todas as regas, três camadas de solo com características idênticas às encontradas em W2, mas a espessura da camada intermédia é maior. Em W4, θ é maior que θ_{CC} até aos 80 cm de profundidade, excepto nas camadas superficiais, com cerca de 10 cm de espessura, encontradas em R2, R10 e R11.

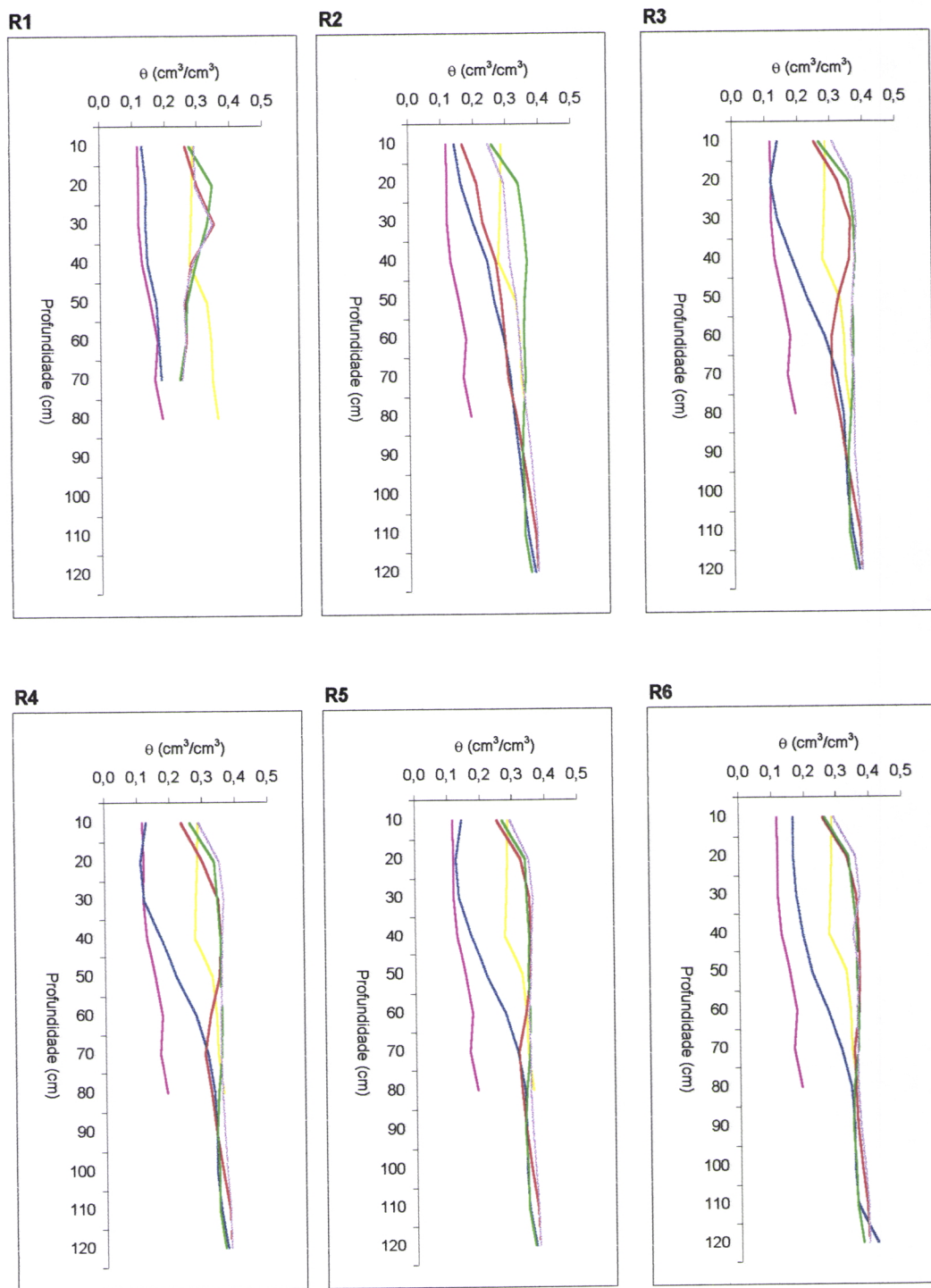
4.2.2 Armazenamento de água no solo

Os dados relativos ao armazenamento de água no solo até à profundidade de 80 cm encontram-se nos Quadros 4.5 e 4.6.

Quadro 4.5 Armazenamento de água no solo 24 horas antes da rega, para os quatro níveis de aplicação de água W1, W2, W3 e W4.

Rega	Armazenamento de água no solo ^a , em mm			
	W1	W2	W3	W4
R1	171,49	198,77	243,42	242,83
R2	169,97	195,33	211,22	227,16
R3	183,32	248,39	245,66	260,60
R4	175,31	242,53	266,46	280,81
R5	169,00	237,51	248,86	261,96
R6	177,00	250,61	261,57	275,33
R7	189,67	284,49	283,22	295,55
R8	185,50	269,50	264,11	275,11
R9	185,73	273,83	270,58	283,47
R10	176,59	264,59	273,54	283,99
R11	171,10	257,13	271,37	280,23

^a Teor de humidade do solo determinado com a sonda capacitiva até à profundidade de 80 cm.



— θ_{CC} — θ_{CE} — W1 — W2 — W3 — W4

Teor de humidade determinado em R1 pelo método gravimétrico até à profundidade de 70 cm.

Figura 4.3 Perfis hídricos do solo, 48 horas após as regas R1, ... e R11, para os níveis de aplicação de água W1, W2, W3 e W4, capacidade de campo (θ_{CC}) e coeficiente de emurchecimento (θ_{CE}).

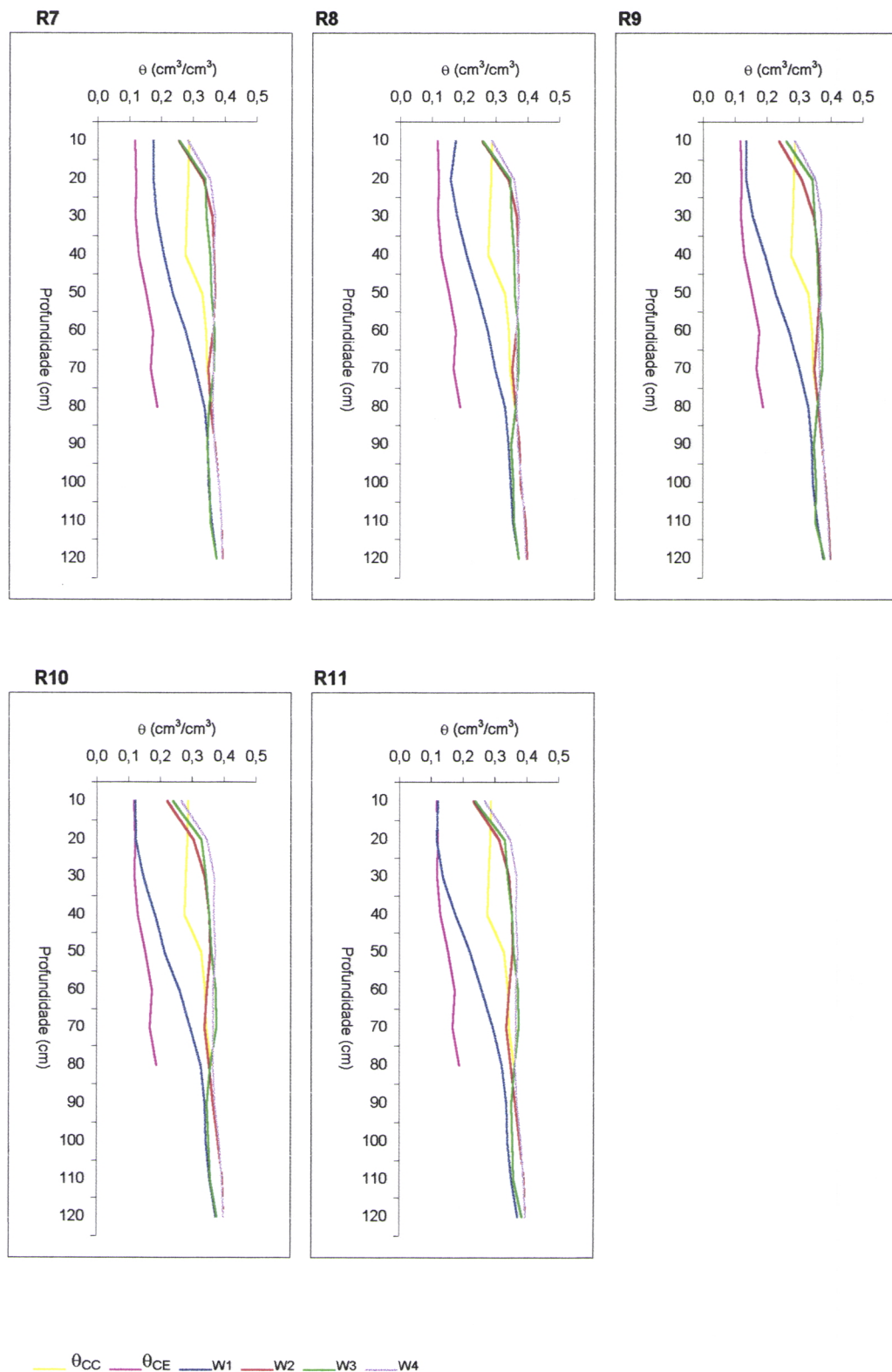


Figura 3.3 (continuação) Perfis hídricos do solo, 48 horas após as regas R1, ... e R11, para os níveis de aplicação de água W1, W2, W3 e W4, capacidade de campo (θ_{CC}) e coeficiente de emurchecimento (θ_{CE}).

Quadro 4.6 Armazenamento de água no solo 48 horas após a rega, para os quatro níveis de aplicação de água W1, W2, W3 e W4.

Rega	Armazenamento de água no solo ^a , em mm			
	W1	W2	W3	W4
R1	109,34	200,62	206,75	204,11
R2	203,68	220,52	288,94	268,92
R3	184,44	270,73	299,84	308,59
R4	177,30	269,75	287,57	296,71
R5	182,70	278,12	285,44	294,80
R6	196,61	292,60	291,78	300,18
R7	202,09	291,55	289,59	300,59
R8	198,34	294,68	293,55	302,98
R9	184,36	284,27	293,94	301,53
R10	176,60	276,46	289,01	298,82
R11	174,47	278,49	288,30	298,74

^a Teor de humidade do solo determinado pelo método gravimétrico em R1 até à profundidade de 70 cm. Nas restantes regas, o teor humidade do solo foi determinado com a sonda capacitiva até à profundidade de 80 cm.

Em todos os níveis de aplicação de água, o armazenamento de água no solo na véspera de cada rega é, como seria de esperar, atendendo aos valores de precipitação registados (Anexo 1), inferior ao armazenamento de água no solo 48 horas após a realização da respectiva rega.

Salvo algumas exceções, verifica-se que o armazenamento de água no solo aumenta com o nível de aplicação de água, em consequência do aumento na quantidade de água aplicada de W1 para W4 (ver 4.1).

4.3 Evapotranspiração

Os valores de evapotranspiração cultural determinados pelo método da tina evaporimétrica e os determinados com base nos valores de ET_o calculados com a fórmula de Penman-Monteith encontram-se no Quadro 4.7.

Relativamente à evapotranspiração cultural determinada pelo método da tina evaporimétrica, verifica-se que, em termos de resultados, é indiferente considerar o coeficiente de tina constante ou variável, atendendo a que as diferenças encontradas são muito reduzidas. Em termos de utilização do método,

nomeadamente pelos agricultores na programação da rega, é muito mais simples considerar o valor de K_p constante.

Quadro 4.7 Evapotranspiração cultural (ET_c), até à rega R1 e de R1 à colheita, determinada pelo método da tina evaporimétrica, com coeficiente de tina (K_p) constante e variável, e a partir da equação de Penman-Monteith.

	<i>Etc</i> , em mm		
	Método da tina evaporimétrica		Equação de Penman-Monteith
	K_p constante	K_p variável	
Até R1	134,71	133,57	181,54
De R1 à colheita	381,64	389,30	534,00

A evapotranspiração cultural determinada pelo método da tina evaporimétrica foi, contudo, cerca de 73 % da determinada com a fórmula de Penman-Monteith, pelo que se poderão colocar algumas reservas quanto à sua utilização.

Os valores de evapotranspiração determinados pelo método do balanço hídrico encontram-se no Quadro 4.8. Consideraram-se desprezíveis as perdas de água por drenagem, dado que dos 80 cm aos 120 cm de profundidade não foram substanciais as variações do teor de humidade entre a primeira e a última rega, nas medições posteriores às regas.

Não foi possível calcular os valores de ET até R1, uma vez que não foram efectuadas determinações semanais do teor de humidade do solo antes da primeira rega.

Quadro 4.8 Evapotranspiração (ET) determinada pelo método do balanço hídrico, da rega R1 até à colheita, para os níveis de aplicação de água W1, W2, W3 e W4.

	<i>ET</i> , em mm			
	W1	W2	W3	W4
De R1 à colheita	125,33	252,41	554,50	895,35

Analisando os resultados respeitantes à evapotranspiração determinada pelo método do balanço hídrico, constata-se que *ET* aumenta de W1 para W4.

Os valores de evapotranspiração obtidos para W1 e W2 são claramente inferiores à evapotranspiração cultural calculada a partir da equação de Penman-Monteith, donde se pode concluir que a quantidade de água fornecida à cultura, nestes níveis de aplicação de água, não foi suficiente para responder às suas necessidades. Em W3 a evapotranspiração é da mesma ordem de grandeza da determinada recorrendo à equação de Penman-Monteith. Assim, pode-se concluir que a dotação de rega neste nível de aplicação de água foi adequada às necessidades da cultura.

Considerando como adequada às necessidades do milho a água aplicada em W3, então em W4, em que foram aplicados, em média, mais 325 mm, a quantidade de água fornecida à cultura foi excessiva.

4.4 Lixiviação de nitratos

As cinco tentativas efectuadas para obter amostras da solução do solo, utilizando as cápsulas cerâmicas porosas, foram infrutíferas em todas as modalidades, na medida em que o volume de amostra recolhido ou era nulo ou era bastante menor que o volume mínimo necessário para as análises laboratoriais. Pelo que, optou-se por não seguir nenhum dos procedimentos indicados por Vachaud *et al.* (1996).

As razões para o sucedido poderão estar relacionadas com: a incorrecta instalação das cápsulas cerâmicas porosas, parecendo, no entanto, pouco provável que um número tão considerável de cápsulas cerâmicas tenha sido mal instalado dado que foram cuidadosamente seguidos todos os procedimentos necessários para a sua correcta instalação; o reduzido teor de humidade do solo que impossibilitava a extracção da amostra de solução do solo, sendo de referir, no entanto, que em W3 e W4 o teor de humidade do solo era superior à capacidade de campo; o vácuo criado no interior da cápsula cerâmica, que poderia não ter sido suficiente para a extracção da amostra de solução do solo; o reduzido movimento da água no solo, devido à elevada percentagem de limo no solo.

4.5 Parâmetros relativos ao crescimento da cultura

4.5.1 Altura das plantas

No Quadro 4.9 encontram-se os resultados das análises de variância realizadas para tratamento dos dados respeitantes à altura das plantas nas amostragens posteriores à primeira rega e à adubação de cobertura.

Os tratamentos relativos à aplicação de azoto não tiveram, excepto em A7, influência significativa na altura das plantas. Em A7, por comparação múltipla das médias, verifica-se que a altura das plantas de N0 é significativamente menor que a altura das plantas de N1 e que as de N2 para $\alpha = 0,10$ e $\alpha = 0,05$, respectivamente (Anexo 3).

À influência dos níveis de aplicação de água na altura das plantas não pode ser atribuído um nível de probabilidade, uma vez que os tratamentos W1, W2, W3 e W4 não foram casualizados. Contudo, e como se pode observar na Figura 4.4, foi considerável a influência da água na altura das plantas. As plantas mais altas encontravam-se em W3 e W4 e as mais baixas em W1, apresentando uma altura intermédia as plantas de W2.

Quadro 4.9 Análises de variância relativas à altura do milho sujeito a dois tratamentos (azoto e água) com quatro níveis de aplicação cada, nas cinco amostragens posteriores à primeira rega e à adubação de cobertura (A3, A4, A5, A6 e A7).

Origem de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Observado	F Tabelado		
				10 %	5 %	1 %
Repetições(R)	2	5238,90				
Azoto (N)	3	785,58	2,21	3,29	4,76	9,78
Erro a (N x R)	6	355,78				
Água (W)	3	8007,74	36,11 †	3,29	4,76	9,78
Erro b (W x R)	6	221,78				
N x W	9	226,11	2,09 *	2	2,46	3,6
Erro c (NxWxR)	18	108,27				
Total	47	942,70				

A3

Origem de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Observado	F Tabelaado		
				10 %	5 %	1 %
Repetições(R)	2	801,90				
Azoto (N)	3	689,03	1,51	3,29	4,76	9,78
Erro a (N x R)	6	456,01				
Água (W)	3	11082,25	60,21 †	3,29	4,76	9,78
Erro b (W x R)	6	184,06				
N x W	9	125,49	0,89	2	2,46	3,6
Erro c (NxWxR)	18	140,25				
Total	47	944,93				

A4

Origem de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Observado	F Tabelaado		
				10 %	5 %	1 %
Repetições(R)	2	1721,81				
Azoto (N)	3	579,50	1,90	3,29	4,76	9,78
Erro a (N x R)	6	305,72				
Água (W)	3	36139,39	206,86 †	3,29	4,76	9,78
Erro b (W x R)	6	174,70				
N x W	9	117,44	1,73	2	2,46	3,6
Erro c (NxWxR)	18	67,73				
Total	47	2526,79				

A5

Origem de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Observado	F Tabelaado		
				10 %	5 %	1 %
Repetições(R)	2	2603,65				
Azoto (N)	3	337,30	2,65	3,29	4,76	9,78
Erro a (N x R)	6	127,51				
Água (W)	3	33752,97	161,36 †	3,29	4,76	9,78
Erro b (W x R)	6	209,17				
N x W	9	35,59	0,34	2	2,46	3,6
Erro c (NxWxR)	18	104,11				
Total	47	2376,44				

A6

Origem de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Observado	F Tabelado		
				10 %	5 %	1 %
Repetições(R)	2	330,33				
Azoto (N)	3	699,03	4,83 **	3,29	4,76	9,78
Erro a (N x R)	6	144,69				
Água (W)	3	19212,69	80,86 †	3,29	4,76	9,78
Erro b (W x R)	6	237,61				
N x W	9	72,75	1,44	2	2,46	3,6
Erro c (NxWxR)	18	50,64				
Total	47	1367,15				

A7

† Não pode ser atribuído um nível de probabilidade à influência da água, porque os tratamentos não foram casualizados.

** Significativo a 5 %.

* Significativo a 10 %.

Essa relação entre as alturas das plantas é, em parte, confirmada pela única interação NxW significativa que se obteve, a de A3. Por comparação múltipla das médias das alturas (Quadro 4.10), verifica-se que, em todos os níveis de aplicação de azoto, é significativa a diferença de médias entre as plantas de W1, as mais pequenas, e as de W2, W3 e W4. Mas, apenas em N0 e em N3, é significativa a diferença de médias entre W2 e W3 e entre W2 e W4. Em todos níveis de aplicação de azoto, as diferenças de alturas entre W3 e W4 não foram significativas.

Quadro 4.10 Altura média do milho na terceira amostragem de plantas (A3), em função dos níveis de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3) e dos níveis de aplicação de água (W1, W2, W3 e W4).

	Altura média das plantas em A3, cm ^a			
	W1	W2	W3	W4
N0	200,7	221,7	242,3	243,3
N1	214,7	249,3	251,7	261,0
N2	192,3	252,7	259,3	260,3
N3	199,3	242,0	266,0	267,0

^a Média de três repetições. Mínima diferença significativa (m.d.s.) para comparações entre níveis de aplicação de azoto com igual nível de aplicação de água: 19,6 cm ($\alpha = 0,10$); 24,3 cm ($\alpha = 0,05$); 35,3 cm ($\alpha = 0,01$). m.d.s. para comparações entre níveis de aplicação de água com igual nível de aplicação de azoto: 17,4 cm ($\alpha = 0,10$); 21,4 cm ($\alpha = 0,05$); 30,7 cm ($\alpha = 0,01$).

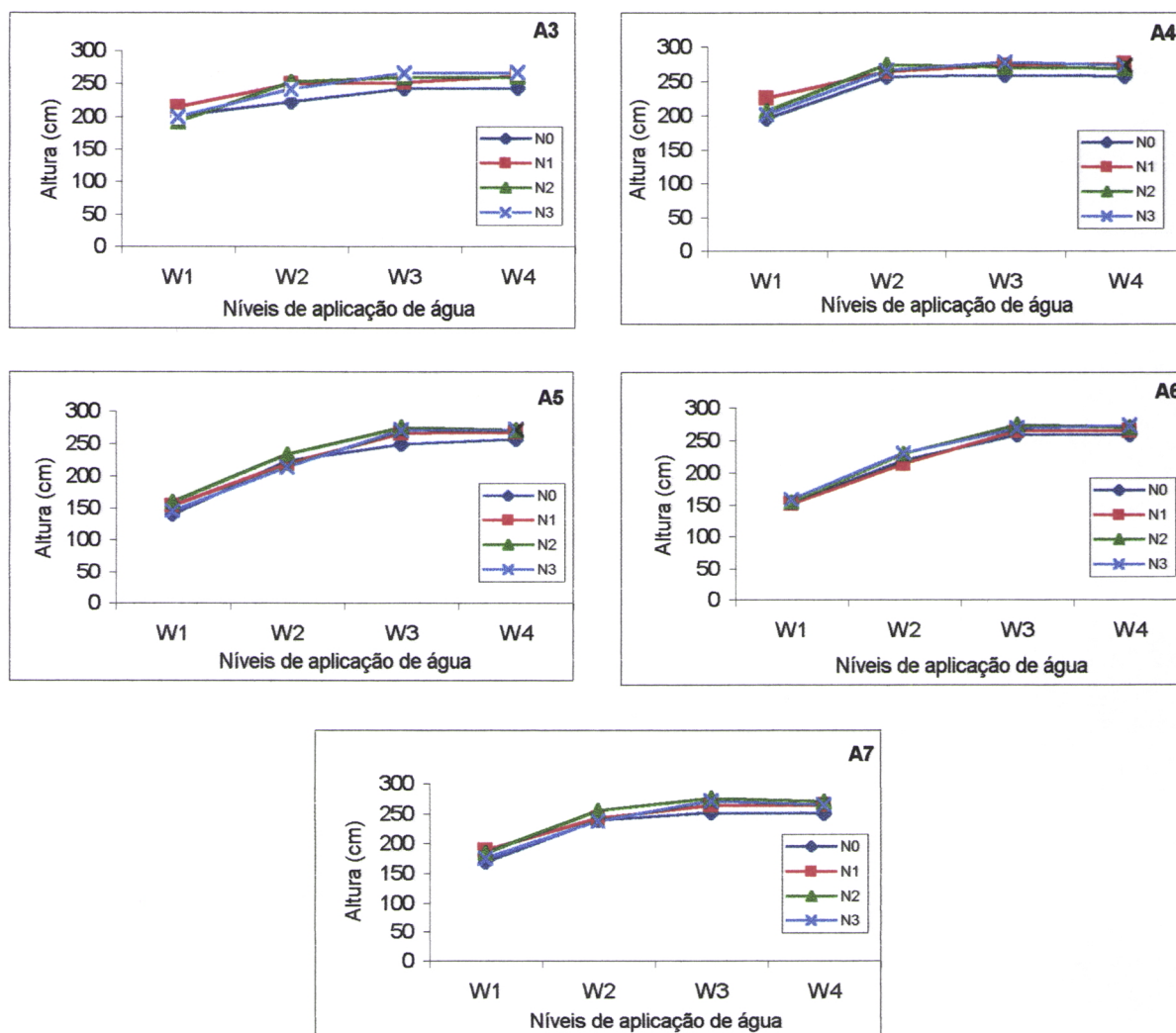


Figura 4.4 Altura das plantas nas amostragens posteriores à aplicação dos tratamentos (A3, A4, A5, A6 e A7), em função dos níveis de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3) e de água (W1, W2, W3 e W4).

Obtiveram-se resultados menos consistentes na comparação múltipla das médias por níveis de aplicação de água.

O efeito da água na altura do milho era, aliás, visível no campo de ensaio (Figura 4.5).

Tendo em consideração as formas das curvas da Figura 4.4, procedeu-se ao ajustamento de polinómios de segundo grau, que relacionam a altura das plantas com a altura de água aplicada, por amostragem e nível de aplicação de azoto. Os coeficientes das equações de regressão obtidas e os respectivos coeficientes de determinação encontram-se no Quadro 4.11

Foram obtidos bons ajustamentos das equações, nomeadamente nas amostragens A5, A6 e A7. Verifica-se, em cada uma destas amostragens, que o coeficiente linear (A_1) e o coeficiente quadrático (A_{11}) são da mesma ordem de grandeza nos quatro níveis de aplicação de azoto. A constante A_0 varia entre níveis de aplicação de azoto.



Figura 4.5 Aspecto do campo de ensaio, 93 dias após a sementeira, em que é evidente a influência da água na altura das plantas.

Em termos de evolução da altura do milho ao longo do ciclo vegetativo (Figura 4.6), verifica-se que a altura máxima das plantas foi atingida na quarta amostragem de plantas. Nesta amostragem, as plantas de W1 apresentavam, em média, 207 cm de altura, as de W2, 265 cm, as de W3, 270 cm e as de W4, 268 cm.

Quadro 4.11 Coeficientes das equações de regressão do tipo: $z = A_0 + A_1w + A_{11}w^2$, que relacionam, por amostragem (A3, A4, ..., A7) e nível de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3), a altura das plantas (z), em cm, com a altura de água aplicada (w), em mm.

		Coeficientes da regressão			r^2
		A_0	A_1	A_{11}	
A3	N0	184,52	1,6851	-0,0120	0,9978
	N1	200,19	1,9517	-0,0157	0,8397
	N2	158,43	4,1134	-0,0367	0,8942
	N3	170,50	3,1947	-0,0254	0,97996
A4	N0	191,84	0,6424	-0,0013	0,7977
	N1	221,56	0,4501	-0,0008	0,8882
	N2	205,44	0,6487	-0,0013	0,7119
	N3	195,08	0,7560	-0,0015	0,8744
A5	N0	111,09	0,6182	-0,0006	0,9597
	N1	120,52	0,6008	-0,0006	0,9992
	N2	124,80	0,6514	-0,0007	0,9934
	N3	107,91	0,6633	-0,0006	1,0000
A6	N0	119,74	0,4884	-0,0004	0,9930
	N1	115,19	0,5062	-0,0004	0,9999
	N2	117,15	0,5552	-0,0005	0,9930
	N3	125,17	0,5051	-0,0004	0,9881
A7	N0	142,47	0,3769	-0,0003	0,9277
	N1	162,97	0,3228	-0,0002	0,9781
	N2	154,00	0,4094	-0,0003	0,9549
	N3	142,04	0,4119	-0,0003	0,9919

As plantas de W1 e W2 colhidas em A5 e A6 eram, contudo, mais pequenas que as colhidas em A4 e A7 (Figura 4.6). Esta aparente diminuição da altura das plantas poderá ser explicada pelo facto de as amostragens A5 e A6 terem sido efectuadas, em cada modalidade, em locais mais afastados da linha de aspersores, aonde as plantas recebiam menor quantidade de água.

O local de colheita das plantas, não coloca problemas na interpretação dos resultados de cada amostragem, dado que em cada uma mantém-se a relação entre as alturas das plantas (plantas de W3 e W4 mais altas que as de W2 e estas que as de W1), mas coloca algumas dificuldades quando se pretende tirar conclusões acerca da evolução das alturas ao longo do ciclo vegetativo. Será

interessante repensar a forma como se seleccionam os locais de amostragem das plantas.

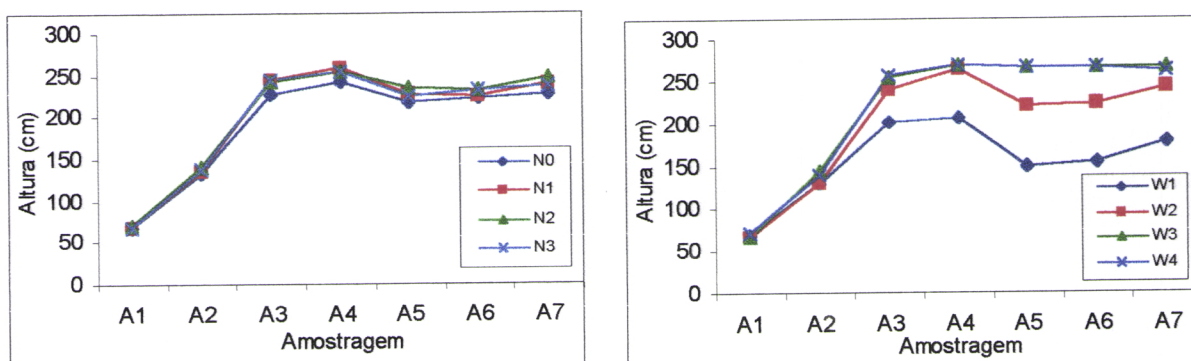


Figura 4.6 Evolução da altura das plantas para as amostragens de A1 a A7, em função dos níveis de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3) e de água (W1, W2, W3 e W4).

4.5.2 Matéria seca aérea total

No Quadro 4.12 encontram-se as análises de variância do parâmetro relativo à produção de matéria seca aérea.

Quadro 4.12 Análises de variância relativas à matéria seca aérea total do milho nas cinco amostragens posteriores à primeira rega e à adubação de cobertura (A3, A4, ..., A7), com a cultura sujeita a dois tratamentos (azoto e água) com quatro níveis de aplicação cada.

Origem de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Observado	F Tabelado		
				10 %	5 %	1 %
Repetições(R)	2	13,67				
Azoto (N)	3	3,22	2,93	3,29	4,76	9,78
Erro a (N x R)	6	1,10				
Água (W)	3	4,94	13,05 †	3,29	4,76	9,78
Erro b (W x R)	6	0,38				
N x W	9	0,56	0,83	2	2,46	3,6
Erro c (NxWxR)	18	0,68				
Total	47	1,66				

A3

Origem de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Observado	F Tabelado		
				10 %	5 %	1 %
Repetições(R)	2	13,56				
Azoto (N)	3	31,45	6,48 **	3,29	4,76	9,78
Erro a (N x R)	6	4,86				
Água (W)	3	40,89	7,44 †	3,29	4,76	9,78
Erro b (W x R)	6	5,50				
N x W	9	2,46	0,89	2	2,46	3,6
Erro c (NxWxR)	18	2,77				
Total	47	8,05				

A4

Origem de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Observado	F Tabelado		
				10 %	5 %	1 %
Repetições(R)	2	9,90				
Azoto (N)	3	31,16	2,46	3,29	4,76	9,78
Erro a (N x R)	6	12,66				
Água (W)	3	357,38	28,87 †	3,29	4,76	9,78
Erro b (W x R)	6	12,38				
N x W	9	5,67	0,87	2	2,46	3,6
Erro c (NxWxR)	18	6,52				
Total	47	32,00				

A5

Origem de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Observado	F Tabelado		
				10 %	5 %	1 %
Repetições(R)	2	44,70				
Azoto (N)	3	34,77	1,73	3,29	4,76	9,78
Erro a (N x R)	6	20,16				
Água (W)	3	634,15	80,67 †	3,29	4,76	9,78
Erro b (W x R)	6	7,86				
N x W	9	17,12	1,75	2	2,46	3,6
Erro c (NxWxR)	18	9,76				
Total	47	55,19				

A6

Origem de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Observado	F Tabelado		
				10 %	5 %	1 %
Repetições(R)	2	41,30				
Azoto (N)	3	117,83	13,29 ***	3,29	4,76	9,78
Erro a (N x R)	6	8,87				
Água (W)	3	233,52	3,57 †	3,29	4,76	9,78
Erro b (W x R)	6	65,47				
N x W	9	7,85	0,42	2	2,46	3,6
Erro c (NxWxR)	18	18,69				
Total	47	42,33				

A7

† Não pode ser atribuído um nível de probabilidade porque os tratamentos não foram casualizados.

*** Significativo a 1 %.

** Significativo a 5 %.

Relativamente à influência do azoto na produção de matéria seca aérea, obtiveram-se resultados significativos em A4 e em A7. Por comparação múltipla das médias (Anexo 3), verifica-se, em A4, que a produção de matéria seca em N0 é significativamente menor que em N2 ($\alpha = 0,01$) e em N3 ($\alpha = 0,05$) e que em N1 é significativamente menor que em N2 e em N3 ($\alpha = 0,10$). No final do ciclo vegetativo (amostragem A7), a menor produção de matéria seca foi obtida em N0, sendo esta, para $\alpha = 0,01$, significativamente menor que a de N1 e N2 e, para $\alpha = 0,05$, menor que a de N3. A maior produção de matéria seca ocorreu em N2, a qual é significativamente maior que a obtida em N0 ($\alpha = 0,01$), em N1 ($\alpha = 0,10$) e em N3 ($\alpha = 0,05$).

Relativamente à influência da água, constata-se que, a níveis de aplicação de água mais elevados correspondem, de uma maneira geral, produções de matéria seca mais elevadas (Quadro 4.13). Entre os níveis de aplicação de água W2, W3 e W4, os acréscimos de produção devidos ao aumento da quantidade água aplicada são, por vezes, apenas da ordem de 1 tonha^{-1} .

Foram ajustadas equações de regressão de segundo grau, por amostragem e por nível de aplicação de azoto, que relacionam a produção de matéria seca com a altura de água aplicada. Os coeficientes das equações de regressão e respectivos coeficientes de determinação encontram-se no Quadro 4.14.

Quadro 4.13 Produção média de matéria seca aérea, em função do nível de aplicação de água (W1, W2, W3 e W4) nas amostragens posteriores à aplicação dos tratamentos (A3, A4, A5, A6 e A7). Entre parêntesis o desvio padrão.

	Produção média de matéria seca aérea, tonha ⁻¹ ^a				
	A3	A4	A5	A6	A7
W1	7,25 (1,15)	10,96 (2,22)	11,12 (2,84)	11,65 (1,58)	19,45 (4,69)
W2	7,51 (1,36)	13,60 (2,54)	21,26 (2,98)	21,34 (4,12)	27,04 (5,93)
W3	7,84 (0,94)	15,18 (2,59)	21,84 (3,14)	25,54 (3,64)	28,04 (7,12)
W4	8,72 (1,29)	14,48 (2,26)	22,79 (3,53)	27,27 (3,52)	29,21 (3,06)

^a Média de 4 tratamentos de azoto x 3 repetições

Quadro 4.14 Coeficientes das equações de regressão do tipo: $z = A_0 + A_1w + A_{11}w^2$, que relacionam, por amostragem (A3, A4, ..., A7) e nível de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3), a produção de matéria seca aérea (z), em tonha⁻¹, com a altura de água aplicada (w), em mm.

		Coeficientes da regressão			r^2
		A_0	A_1	A_{11}	
A3	N0	7,7208	-0,0705	0,0009	0,9988
	N1	7,0353	0,0522	-0,0003	0,6184
	N2	7,6798	-0,0204	0,0003	0,9929
	N3	7,5224	-0,0297	0,0006	0,9728
A4	N0	9,7657	0,0198	-3×10^{-5}	0,9935
	N1	9,0443	0,0488	-9×10^{-5}	0,7886
	N2	11,504	0,0447	-9×10^{-5}	0,954
	N3	10,855	0,0538	-0,0001	0,9443
A5	N0	6,1839	0,0737	-9×10^{-5}	0,7793
	N1	9,4543	0,0659	-7×10^{-5}	0,765
	N2	10,027	0,0546	-5×10^{-5}	0,9301
	N3	8,5444	0,0659	-7×10^{-5}	0,9736
A6	N0	7,4054	0,0611	-5×10^{-5}	0,9986
	N1	5,6611	0,0681	-5×10^{-5}	0,9998
	N2	6,9556	0,0483	-3×10^{-5}	0,9461
	N3	7,8081	0,0759	-6×10^{-5}	0,9274
A7	N0	15,413	0,0181	-6×10^{-6}	0,9164
	N1	15,771	0,051	-4×10^{-5}	0,7706
	N2	18,853	0,0464	-4×10^{-5}	0,9167
	N3	17,828	0,0333	-2×10^{-5}	0,9981

Como se pode observar, o coeficiente de determinação varia entre 0,6184 (terceira amostragem, nível de aplicação de azoto N1) e 0,9998 (sexta amostragem, nível de aplicação de azoto N1). Mas como, em quinze, das vinte regressões ajustadas, o coeficiente de determinação foi superior a 0,90, pode-se concluir que

se obtiveram, de um modo geral, bons ajustamentos dos polinómios de segundo grau.

Nos níveis de aplicação de azoto N0, N2 e N3 de A3, como indica o sinal positivo de A_{11} , a concavidade da parábola está voltada para cima, o que significa que a produção de matéria seca aumenta com a quantidade de água aplicada. O que parece lógico na medida em que a cultura encontrava-se na fase de crescimento vegetativo e, até esse momento, tinham sido aplicados cerca de 80 mm de água em W4.

Em termos de evolução, observa-se ao longo do tempo ao aumento da produção de matéria seca aérea (Figura 4.7), que atinge o máximo em A7 (Quadro 4.15). A partir de A5, o aumento da matéria seca aérea fez-se essencialmente à custa do aumento do peso das espigas (Figura 4.7).

Quadro 4.15 Produção média de matéria seca aérea na sétima amostragem de plantas (A7), para quatro níveis de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3) e de água (W1, W2, W3 e W4). Entre parêntesis o desvio padrão.

Produção média de matéria seca aérea em A7, tonha ⁻¹ ^a				
	W1	W2	W3	W4
N0	16,34 (2,16)	21,59 (6,41)	22,21 (7,75)	26,79 (1,12)
N1	18,69 (2,92)	30,27 (5,83)	29,02 (6,02)	29,47 (4,49)
N2	22,11 (8,31)	30,81 (5,04)	32,15 (8,28)	31,90 (2,49)
N3	20,67 (3,21)	25,48 (2,79)	28,76 (5,97)	28,69 (1,93)

^a Média de 3 repetições

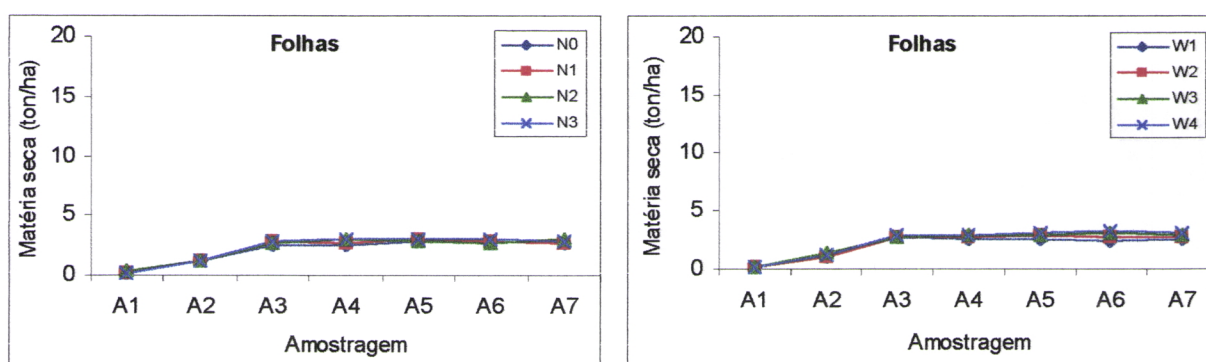


Figura 4.7 Evolução do peso seco das folhas, caules e espigas para as amostragens de A1 a A7, em função do nível de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3) e do nível de aplicação de água (W1, W2, W3 e W4).

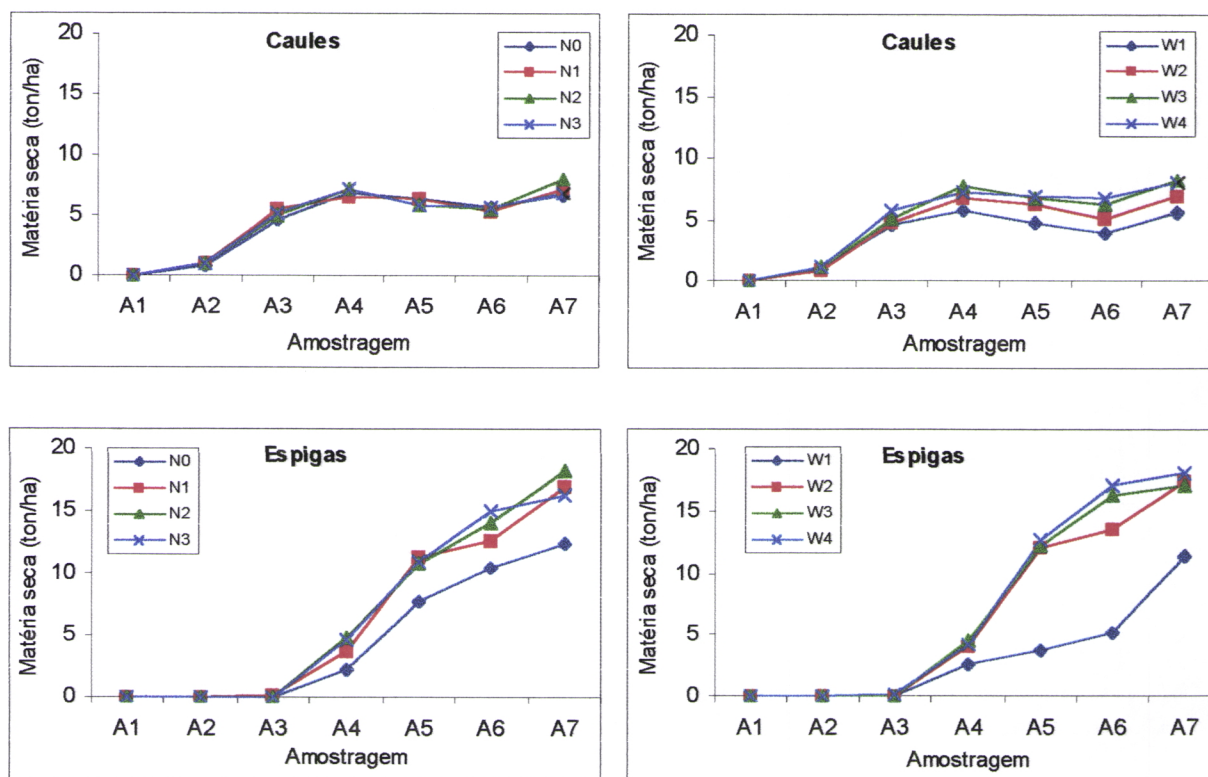


Figura 4.7 (Continuação) Evolução do peso seco das folhas, caules e espigas para as amostragens de A1 a A7, em função do nível de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3) e do nível de aplicação de água (W1, W2, W3 e W4).

4.5.3 Índice de área foliar

As análises de variância relativas ao índice de área foliar encontram-se no Quadro 4.16. Como se pode verificar, relativamente à influência dos níveis de aplicação de azoto no índice de área foliar das plantas, apenas se obtiveram resultados significativos em duas amostragens (A4 e A6).

Da comparação múltipla das médias dos tratamentos (Quadro 4.17), conclui-se que, quando se efectuou a quarta amostragem, as plantas que não receberam adubação de cobertura apresentavam índices de área foliar significativamente menores que os das plantas que receberam 150 kg N/ha, 250 kg N/ha ou 350 kg N/ha na adubação de cobertura. Mais tarde, em A6, as plantas de N2 e N3 apresentavam índices de área foliar significativamente maiores que as de N0 e N1.

Quadro 4.16 Análises de variância relativas ao índice de área foliar do milho sujeito a dois tratamentos (azoto e água) com quatro níveis de aplicação cada, nas cinco amostragens posteriores à primeira rega e à adubação de cobertura.

Origem de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Observado	F Tabelado		
				10 %	5 %	1 %
Repetições(R)	2	1,97				
Azoto (N)	3	0,40	1,46	3,29	4,76	9,78
Erro a (N x R)	6	0,28				
Água (W)	3	0,93	6,05 †	3,29	4,76	9,78
Erro b (W x R)	6	0,15				
N x W	9	0,09	1,16	2	2,46	3,6
Erro c (NxWxR)	18	0,07				
Total	47	0,27				

A3

Origem de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Observado	F Tabelado		
				10 %	5 %	1 %
Repetições(R)	2	2,45				
Azoto (N)	3	2,34	7,05 **	3,29	4,76	9,78
Erro a (N x R)	6	0,33				
Água (W)	3	0,62	4,98 †	3,29	4,76	9,78
Erro b (W x R)	6	0,12				
N x W	9	0,12	1,10	2	2,46	3,6
Erro c (NxWxR)	18	0,11				
Total	47	0,42				

A4

Origem de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Observado	F Tabelado		
				10 %	5 %	1 %
Repetições(R)	2	0,56				
Azoto (N)	3	0,44	1,03	3,29	4,76	9,78
Erro a (N x R)	6	0,42				
Água (W)	3	5,09	27,15 †	3,29	4,76	9,78
Erro b (W x R)	6	0,19				
N x W	9	0,28	1,19	2	2,46	3,6
Erro c (NxWxR)	18	0,24				
Total	47	0,60				

A5

Origem de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Observado	F Tabelaado		
				10 %	5 %	1 %
Repetições(R)	2	2,89				
Azoto (N)	3	2,30	5,07 **	3,29	4,76	9,78
Erro a (N x R)	6	0,45				
Água (W)	3	11,40	10,64 †	3,29	4,76	9,78
Erro b (W x R)	6	1,07				
N x W	9	0,27	0,56	2	2,46	3,6
Erro c (NxWxR)	18	0,48				
Total	47	1,43				

A6

Origem de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Observado	F Tabelaado		
				10 %	5 %	1 %
Repetições(R)	2	1,24				
Azoto (N)	3	0,06	0,17	3,29	4,76	9,78
Erro a (N x R)	6	0,36				
Água (W)	3	3,66	29,67 †	3,29	4,76	9,78
Erro b (W x R)	6	0,12				
N x W	9	0,34	2,18 *	2	2,46	3,6
Erro c (NxWxR)	18	0,16				
Total	47	0,48				

A7

† Não pode ser atribuído um nível de probabilidade porque os tratamentos não foram casualizados.

** Significativo a 5 %.

* Significativo a 10 %.

Quadro 4.17 Índice de área foliar (IAF) médio do milho, na quarta e sexta amostragens de plantas (A4 e A6), em função dos níveis de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3).

	IAF médio em A4 ^a	IAF médio em A6 ^b
N0	3,75	2,68
N1	4,55	2,90
N2	4,65	3,59
N3	4,67	3,47

^a Média de 4 níveis de aplicação de água x 3 repetições. m.d.s. para comparações entre níveis de aplicação de azoto: 0,46 ($\alpha = 0,10$); 0,58 ($\alpha = 0,05$); 0,87 ($\alpha = 0,01$).

^b Média de 4 níveis de aplicação de água x 3 repetições. m.d.s. para comparações entre níveis de aplicação azoto: 0,53 ($\alpha = 0,10$); 0,67 ($\alpha = 0,05$); 1,02 ($\alpha = 0,01$).

Não se pode atribuir um nível de probabilidade à influência da água no índice de área foliar. Todavia, como se pode verificar no Quadro 4.18, as plantas de W1 apresentaram sempre menores índices de área foliar que as restantes. Constata-se ainda que, à excepção de W4 em A4, à medida que aumenta a quantidade de água aplicada à cultura, aumenta o índice de área foliar, embora em alguns casos os acréscimos sejam reduzidos.

Quadro 4.18 Índice de área foliar (IAF) médio para cada nível de aplicação de água (W1, W2, W3 e W4) nas amostragens posteriores à aplicação dos tratamentos (A3, A4, A5, A6 e A7). Entre parêntesis o desvio padrão.

	IAF médio ^a				
	A3	A4	A5	A6	A7
W1	4,90 (0,51)	4,07 (0,60)	2,98 (0,48)	1,71 (1,33)	0,60 (0,60)
W2	4,92 (0,47)	4,47 (0,57)	4,19 (0,61)	3,56 (0,56)	1,38 (0,34)
W3	5,24 (0,41)	4,56 (0,79)	4,25 (0,46)	3,57 (0,76)	1,51 (0,48)
W4	5,49 (0,49)	4,52 (0,55)	4,38 (0,60)	3,80 (0,58)	1,92 (0,57)

^a Média de 4 tratamentos de azoto x 3 repetições

Foram ajustadas equações de regressão de segundo grau, por amostragem e por nível de aplicação de azoto, que relacionam o índice de área foliar com a altura de água aplicada. Os coeficientes das equações de regressão e respectivos coeficientes de determinação encontram-se no Quadro 4.19.

Obtiveram-se coeficientes de determinação que variavam entre 0,3901 (sétima amostragem, N3) e 0,9997 (terceira amostragem, N3). Das vinte regressões ajustadas, apenas catorze apresentam coeficientes de determinação superiores a 0,80, e destas apenas oito tinham $r^2 > 0,90$. Os ajustamentos não foram tão bons como os relativos à altura das plantas e à matéria seca aérea.

Em termos de evolução do IAF ao longo do ciclo vegetativo (Figura 4.8), verifica-se que os valores máximos foram atingidos, em todas as modalidades, em A3 (Quadro 4.20). Nas amostragens seguintes observa-se um decréscimo do IAF, que está relacionado com a diminuição das folhas verdes (Figuras 4.9 e 4.10).

Quadro 4.19 Coeficientes das equações de regressão do tipo: $z = A_0 + A_1w + A_{11}w^2$, que relacionam, por amostragem (A3, A4, ..., A7) e nível de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3), o índice de área foliar (z) com a altura de água aplicada (w), em mm.

		Coeficientes da regressão			r^2
		A_0	A_1	A_{11}	
A3	N0	5,0342	-0,0229	0,0003	0,9984
	N1	5,0301	-0,0011	0,0001	0,8224
	N2	5,0926	-0,0132	0,0002	0,8314
	N3	4,5847	0,0192	-6×10^{-5}	0,9997
A4	N0	3,6122	5×10^{-5}	3×10^{-6}	0,4595
	N1	4,0255	0,0071	-1×10^{-5}	0,7767
	N2	4,3171	0,0049	-1×10^{-5}	0,6507
	N3	4,1403	0,0075	-2×10^{-5}	0,9119
A5	N0	2,8327	0,0063	-8×10^{-6}	0,9496
	N1	2,3599	0,0101	-1×10^{-5}	0,7563
	N2	2,3655	0,0094	-9×10^{-6}	0,8916
	N3	3,1387	0,0050	-4×10^{-6}	0,9263
A6	N0	1,3133	0,0064	-5×10^{-6}	0,8908
	N1	0,3371	0,0125	-1×10^{-5}	0,868
	N2	1,5600	0,0106	-9×10^{-6}	0,9092
	N3	1,8888	0,0076	-6×10^{-6}	0,6239
A7	N0	-0,2374	0,0060	-4×10^{-6}	0,9937
	N1	0,1301	0,0033	-1×10^{-6}	0,8907
	N2	0,4625	0,0039	-3×10^{-6}	0,9856
	N3	1,2429	-0,0001	7×10^{-7}	0,3901

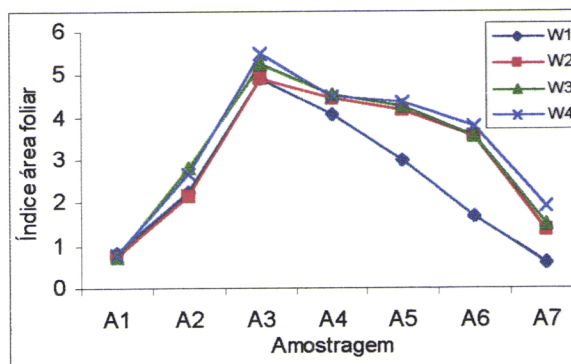
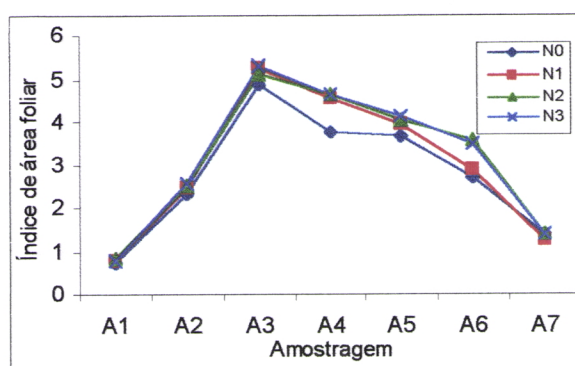


Figura 4.8 Evolução do índice de área foliar para as amostragens de A1 a A7, em função do nível de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3) e do nível de aplicação de água (W1, W2, W3 e W4).

Quadro 4.20 Índice de área foliar (IAF) máximo, em função dos níveis de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3) e de água (W1, W2, W3 e W4). Entre parêntesis o desvio padrão.

IAF máximo ^a				
	W1	W2	W3	W4
N0	4,83 (0,21)	4,64 (0,53)	4,89 (0,18)	5,21 (0,37)
N1	4,96 (0,59)	5,20 (0,23)	5,25 (0,13)	5,66 (0,67)
N2	5,03 (0,79)	4,79 (0,55)	5,23 (0,48)	5,32 (0,38)
N3	4,78 (0,61)	5,06 (0,55)	5,57 (0,57)	5,74 (0,52)

^a Média de 3 repetições

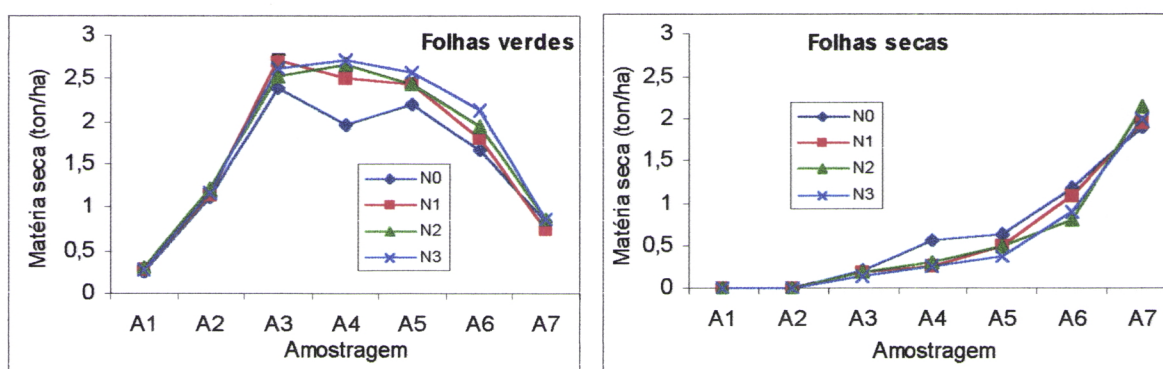


Figura 4.9 Evolução do peso seco de folhas verdes e de folhas secas do milho para as amostragens de A1 a A7, em função do nível de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3).

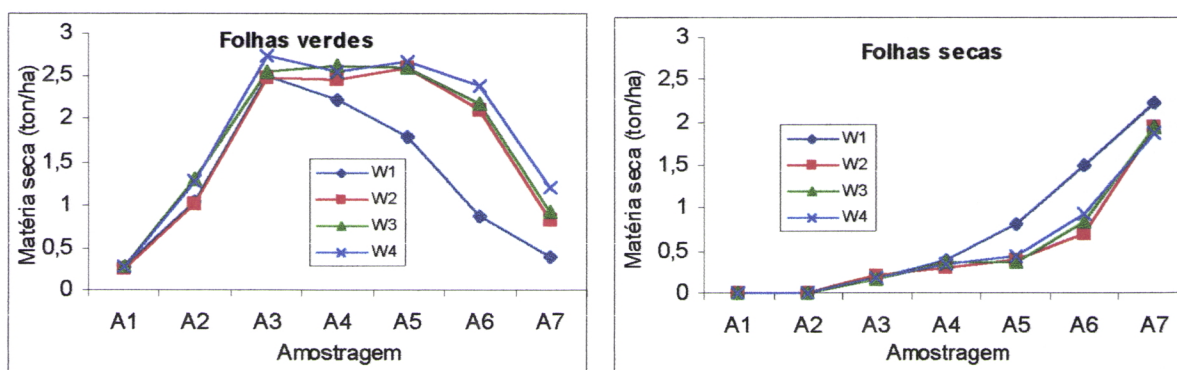


Figura 4.10 Evolução do peso seco de folhas verdes e de folhas secas do milho para as amostragens de A1 a A7, em função dos níveis de aplicação de água (W1, W2, W3 e W4).

4.6 Parâmetros relativos à produção

4.6.1 Matéria seca aérea

Os resultados da análise de variância relativa à produção de matéria seca por unidade de área encontram-se no Quadro 4.21.

Quadro 4.21 Análise de variância relativa à produção de matéria seca aérea de milho sujeito a dois tratamentos (azoto e água) com quatro níveis de aplicação cada.

Origem de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Observado	F Tabelado		
				10 %	5 %	1 %
Repetições(R)	2	2,85				
Azoto (N)	3	5,52	3,65*	3,29	4,76	9,78
Erro a (N x R)	6	1,51				
Água (W)	3	24,81	6,66†	3,29	4,76	9,78
Erro b (W x R)	6	3,73				
N x W	9	2,75	1,14	2	2,46	3,6
Erro c (NxWxR)	18	2,42				
Total	47	4,18				

† Não pode ser atribuído um nível de probabilidade à influência da água porque os tratamentos não foram casualizados.

* Significativo a 10 %.

Como se pode verificar a influência do azoto na produção de matéria seca foi significativa ($\alpha=0,10$). Por comparação múltipla das médias, verifica-se que a produção de matéria seca em N0 é significativamente menor que a de N1 ($\alpha=0,10$) e que a de N2 e N3 ($\alpha=0,05$). Em N2, obteve-se a maior produção de matéria seca (12,09 tonha⁻¹) (Quadro 4.22).

Relativamente à influência da água na produção de matéria seca constata-se que foi em W3 que se obteve a maior produção de matéria seca (12,74 tonha⁻¹) (Quadro 4.22). Em W4, a produção de matéria seca foi de 12,47 tonha⁻¹ e, portanto, maior que a de W2 (11,45 tonha⁻¹) e que a de W1 (9,57 tonha⁻¹).

Pode-se, assim, concluir que aos tratamentos W4 e N3, com um maior nível de aplicação de factores, não correspondeu a maior produção de matéria seca.

Quadro 4.22 Produção média de matéria seca aérea para as modalidades consideradas no ensaio (valores médios de três repetições), e em cada nível de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3) e de água (W1, W2, W3 e W4). Entre parêntesis o desvio padrão.

	Produção média de matéria seca, tonha ⁻¹				Média (N)
	W1	W2	W3	W4	
N0	9,41 (2,23)	9,52 (1,20)	11,45 (0,62)	11,87 (2,49)	10,56 (1,93)
N1	8,16 (3,12)	12,62 (1,24)	13,61 (0,74)	12,70 (1,36)	11,77 (2,72)
N2	9,79 (0,42)	11,82 (1,06)	13,78 (1,45)	12,98 (0,86)	12,09 (1,79)
N3	10,90 (0,14)	11,83 (1,80)	12,12 (1,88)	12,32 (1,65)	11,79 (1,43)
Média (W)	9,57 (1,94)	11,44 (1,68)	12,74 (1,50)	12,47 (1,51)	

m.d.s. para comparações entre níveis de aplicação de azoto: 0,97 tonha⁻¹ ($\alpha = 0,10$); 1,23 tonha⁻¹ ($\alpha = 0,05$); 1,86 tonha⁻¹ ($\alpha = 0,01$).

Aos dados do Quadro 4.22 referentes às dezasseis modalidades ensaiadas, foram ajustados, por nível de aplicação de azoto, polinómios de segundo grau que relacionam a produção de matéria seca com a altura total de água aplicada (Quadro 4.23) e que relacionam a produção de matéria seca com a evapotranspiração determinada pelo método do balanço hídrico (Quadro 4.24).

Quadro 4.23 Coeficientes das equações de regressão do tipo: $z = A_0 + A_1w + A_{11}w^2$, que relacionam, por nível de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3), a produção de matéria seca (z), em tonha⁻¹, com a altura de água aplicada (w), em mm.

	Coeficientes da regressão			r^2
	A_0	A_1	A_{11}	
N0	8,6594	0,0056	-2x10 ⁻⁶	0,8992
N1	6,2058	0,0263	-2x10 ⁻⁵	0,9445
N2	8,1948	0,0173	-1x10 ⁻⁵	0,9947
N3	10,537	0,0050	-3x10 ⁻⁶	0,9572

Foram obtidos bons ajustamentos das equações, considerando como variável independente a altura de água aplicada ou a evapotranspiração.

Hanks *et al.* (1976), por seu lado, verificaram que existia uma forte relação linear entre a produção de matéria seca e a evapotranspiração estimada (soma da água aplicada com a precipitação e a variação de armazenamento do solo,

assumindo desprezíveis o escoamento superficial e a drenagem ou a ascensão capilar).

Quadro 4.24 Coeficientes das equações de regressão do tipo: $z = A_0 + A_1ET + A_{11}ET^2$, que relacionam, por nível de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3), a produção de matéria seca (z), em tonha⁻¹, com a evapotranspiração (ET) determinada pelo método do balanço hídrico, em mm.

	Coeficientes da regressão			r^2
	A_0	A_1	A_{11}	
N0	8,3306	0,0072	-4×10^{-6}	0,9456
N1	5,6965	0,0284	-2×10^{-5}	0,8569
N2	7,6403	0,0198	-2×10^{-5}	0,9953
N3	10,453	0,0053	-4×10^{-6}	0,8952

4.6.2 Produção de grão

Os resultados da análise de variância relativa à produção de grão por unidade de área encontram-se no Quadro 4.25.

Foi significativa a influência do azoto na produção de grão. Da comparação múltipla das médias, conclui-se que a produção de grão obtida em N0 é significativamente menor que a obtida em N1, N2 e N3 ($\alpha = 0,01$), e que a de N1 é significativamente menor que a dos tratamentos N2 e N3 ($\alpha = 0,05$) (Quadro 4.26). Não são significativas as diferenças de produção de grão entre N2 e N3. Parece, assim, que em termos de quantidade de grão produzido, é indiferente aplicar 250 kg N/ha ou 350 kg N/ha, uma vez que não são de esperar aumentos significativos de produção de grão com este aumento de 100 kg/ha da quantidade de azoto aplicada. Mas, do ponto de vista económico, aplicar 350 kg N/ha, em vez de 250 kg N/ha, representa um aumento dos custos de produção, o qual não se traduz numa melhoria dos resultados económicos. Além disso, poder-se-ão colocar problemas de natureza ambiental, relacionados com a lixiviação de nitratos, que poderá ocorrer, não durante o ciclo vegetativo, dado ser desprezível a drenagem, mas com as chuvas inverniais, como sucedeu com Kengni *et al.* (1994).

Relativamente à influência da água (Quadro 4.26), verifica-se que foi acentuado o aumento da produção de grão entre os tratamentos W1 e W2, enquanto que, entre os níveis de aplicação de água W2 e W3 e entre W3 e W4,

foram muito menores os acréscimos de produção de grão devidos ao aumento da quantidade de água aplicada ao milho.

Quadro 4.25 Análise de variância relativa à produção de grão de milho sujeito a dois tratamentos (azoto e água) com quatro níveis de aplicação cada.

Origem de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Observado	F Tabelado		
				10 %	5 %	1 %
Repetições(R)	2	2,89				
Azoto (N)	3	59,17	60,58 ***	3,29	4,76	9,78
Erro a (N x R)	6	0,98				
Água (W)	3	90,19	63,42 †	3,29	4,76	9,78
Erro b (W x R)	6	1,42				
N x W	9	2,28	1,17	2	2,46	3,6
Erro c (NxWxR)	18	1,95				
Total	47	11,14				

† Não pode ser atribuído um nível de probabilidade à influência da água porque os tratamentos não foram casualizados.

*** Significativo a 1 %.

Quadro 4.26 Produção média de grão para as modalidades consideradas no ensaio (valores médios de três repetições), e em cada nível de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3) e de água (W1, W2, W3 e W4). Entre parêntesis o desvio padrão.

	Produção média de grão, tonha ⁻¹				Média (N)
	W1	W2	W3	W4	
N0	4,60 (1,42)	7,30 (1,23)	7,20 (0,50)	8,11 (0,89)	6,80 (1,65)
N1	5,59 (1,87)	11,54 (0,18)	11,56 (1,45)	12,34 (1,16)	10,26 (3,05)
N2	6,69 (2,62)	12,73 (0,73)	13,16 (1,39)	14,12 (1,36)	11,67 (3,37)
N3	6,87 (1,06)	12,38 (1,62)	12,97 (0,75)	12,97 (0,77)	11,30 (2,84)
Média (W)	5,94 (1,84)	10,99 (2,45)	11,22 (2,68)	11,89 (2,54)	

m.d.s. para comparações entre níveis de aplicação de azoto: 0,78 tonha⁻¹ ($\alpha = 0,10$); 0,99 tonha⁻¹ ($\alpha = 0,05$); 1,50 tonha⁻¹ ($\alpha = 0,01$).

Num ensaio realizado por Stutler *et al.* (1981) para determinação de funções de produção do milho em El Salvador durante a estação seca, foram obtidas produções próximas de zero na modalidade em que não foram aplicados água e fertilizante azotado, produções reduzidas quando aplicavam apenas um deles e produções elevadas quando ambos eram aplicados. Bauder *et al.* (1975) obtiveram

em talhões testemunha (sem rega nem fertilização azotada) produções de milho de aproximadamente 30 % da produção máxima, uma vez que os solos utilizados eram profundos, apresentavam elevada capacidade de campo e elevado teor de azoto residual. Na modalidade N0-W1 (sem adubação de cobertura e com 94,78 mm de água) do presente ensaio, a produção foi $4,60 \text{ tonha}^{-1}$ o que correspondia aproximadamente a 33 % da máxima produção obtida ($14,12 \text{ tonha}^{-1}$, na modalidade N2-W4), em virtude, provavelmente, do azoto aplicado na adubação de fundo, da altura de água aplicada e da precipitação.

Superfície de produção. Na Figura 4.11 encontra-se a superfície de produção ajustada através do programa "Statistica".

A equação polinomial obtida foi a seguinte:

$$Z = 1,917 + 2,904 \times 10^{-2} N - 5,645 \times 10^{-5} N^2 + 2,210 \times 10^{-2} W - 1,747 \times 10^{-5} W^2 + 8,587 \times 10^{-6} NW \quad (4.1)$$

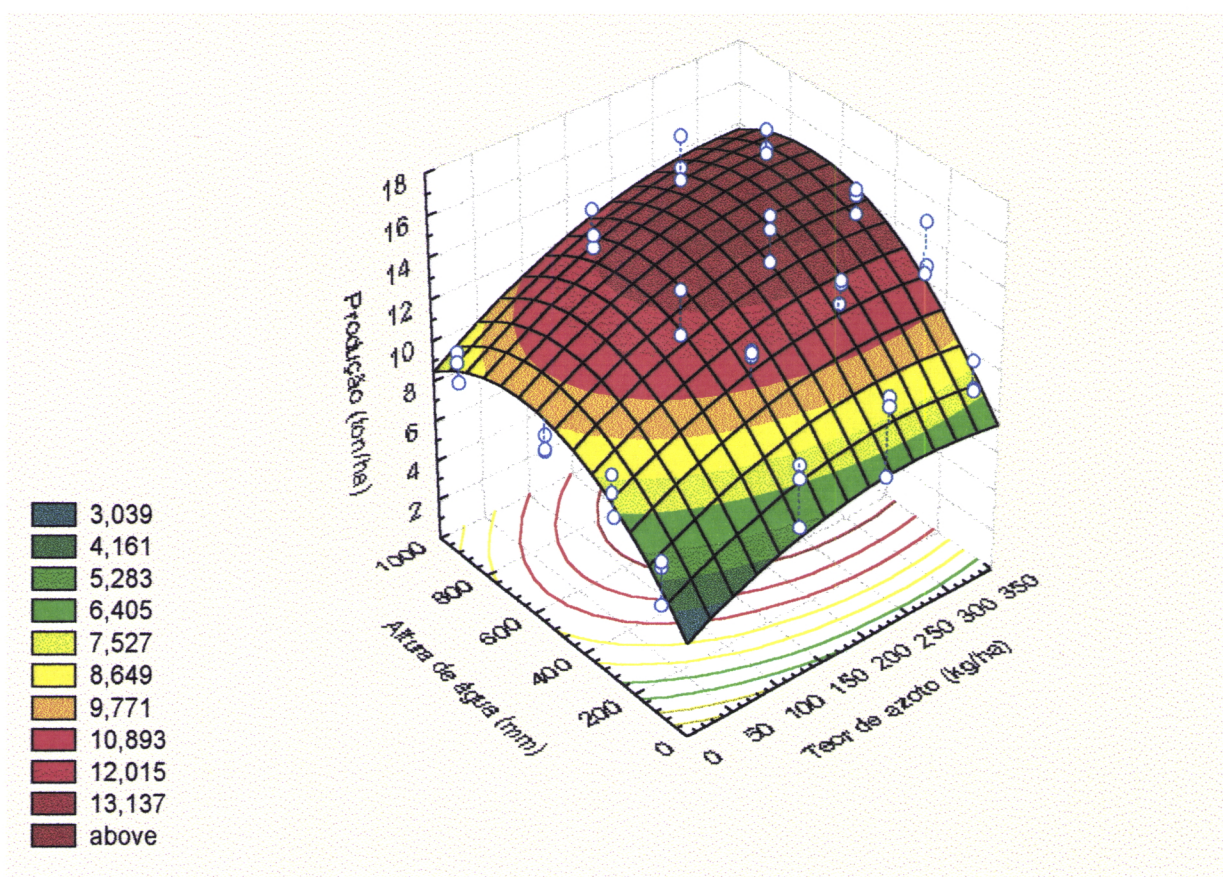
em que: Z - Produção de grão (tonha^{-1});

N - Quantidade de azoto aplicada à cultura, na adubação de cobertura (kgha^{-1});

W - Quantidade de água aplicada à cultura (mm).

Os valores de R^2 e R^2_a obtidos foram, respectivamente, 0,796 e 0,772. O que significa um bom ajustamento da equação polinomial aos dados obtidos no campo, não só porque o valor de R^2 é relativamente elevado como também o R^2_a apresenta um valor que não difere muito do de R^2 . Atendendo ao valor do coeficiente de determinação, pode-se concluir que cerca de 80 % da variação observada pode ser explicada pela equação 4.1.

Importa ainda referir que os coeficientes da equação polinomial, à excepção de A_{12} , são significativos, como se pode observar no Quadro 4.27.



Produção (ton/ha)

Figura 4.11 Superfície de produção.

Quadro 4.27 Coeficientes da equação polinomial e respectivos t (t-Student) e p (valor de probabilidade).

Coeficientes da regressão	$t(42)$	p
A_0	2,58632 **	0,013258 **
A_1	4,12076 ***	0,000174 ***
A_{11}	-3,07923 ***	0,003651 ***
A_2	5,51465 ***	0,000002 ***
A_{22}	-4,73232 ***	0,000025 ***
A_{12}	1,20205	0,236077

*** Significativo a 1 %.

** Significativo a 5 %.

A omissão do termo relativo à interação $N \times W$, não representa, contudo, uma melhoria do ajustamento da equação polinomial aos dados, uma vez que ocorre uma ligeira diminuição tanto do R^2 como do R^2_a ($R^2 = 0,786$ e $R^2_a = 0,766$). A equação polinomial obtida foi a seguinte:

$$Z = 1,188 + 3,293 \times 10^{-2} N - 5,645 \times 10^{-5} N^2 + 2,371 \times 10^{-2} W - 1,747 \times 10^{-5} W^2 \quad (4.2)$$

O coeficiente A_0 da equação 4.2 não é significativo sendo os restantes (A_1 , A_{11} , A_2 e A_{22}) altamente significativos ($\alpha=0,01$).

Fapohunda e Hossain (1990), para superfícies de produção que relacionam a produção relativa de grão com a dotação relativa de água e a quantidade relativa de fertilizante aplicado, obtiveram $R^2=0,950$ no ajustamento de uma equação com termos lineares e sua interacção. A inclusão de termos quadráticos juntamente com todas as interacções de termos lineares e quadráticos, teve apenas um efeito reduzido na qualidade das previsões ($R^2=0,963$), pelo que estes termos foram considerados pelos autores do artigo como desprezíveis.

Se considerarmos como variável independente, não a altura de água aplicada mas, a evapotranspiração calculada pelo método do balanço hídrico, verifica-se que R^2 e R^2_a são menores que os anteriormente referidos ($R^2 = 0,799$ e $R^2_a = 0,775$). A equação polinomial obtida foi a seguinte:

$$Z = -4,102 + 2,707 \times 10^{-2} N - 5,645 \times 10^{-5} N^2 + 3,135 \times 10^{-2} ET - 1,889 \times 10^{-5} ET^2 + 8,934 \times 10^{-6} N.ET \quad (4.3)$$

em que: Z - Produção de grão (tonha^{-1});

N - Quantidade de azoto aplicada à cultura na adubação de cobertura ($\text{kg} \text{ha}^{-1}$);

ET - Evapotranspiração (mm).

Stutler *et al.* (1981) ajustaram uma equação que relacionava a produção de milho com a quantidade de azoto aplicada à cultura e a evapotranspiração, essa equação incluía termos lineares, quadráticos e todas as suas combinações. O coeficiente de determinação foi 0,710, o que correspondia ao melhor ajustamento que os autores obtiveram.

Tal como em relação à equação 4.1, os coeficientes da equação 4.3, à excepção de A_{12} , são altamente significativos ($\alpha=0,01$). Não se obtém um melhor ajustamento com a omissão do coeficiente A_{12} , dado que R^2 e R^2_a diminuiram ($R^2 = 0,789$ e $R^2_a = 0,769$).

Hanks *et al.* (1976) concluíram que era linear a relação entre a produção de grão e a evapotranspiração estimada e que a variação dos dados relativos à produção de grão era maior que a variação dos dados relativos à produção de matéria seca, o que, segundo Hanks *et al.* (1976), era esperado uma vez que, como Hanks verificou em 1974, a produção de grão é mais sensível à influência do meio que a produção de matéria seca. Resultados similares foram obtidos por Hillel e Guron (1973) com delineamentos tradicionais.

Neste ensaio, a relação entre a produção de grão e as quantidades de factores aplicadas é mais notória que entre a produção de matéria seca aérea e as quantidades de azoto e de água aplicadas, o que, de certo modo, reflecte a sensibilidade da produção de grão à influência do meio. Os valores de F observados, relativos à influência do azoto, são disso exemplo (Quadros 4.21 e 4.25).

A equação 4.1 admite um extremo em $N = 311,19\text{kg}\text{ha}^{-1}$ e $W = 708,76\text{mm}$ (Teorema 1 referido em 3.6), o qual corresponde ao máximo da função (Teorema 2 referido em 3.6). Assim, com estes níveis de aplicação de água e de azoto, a produção máxima é, em condições semelhantes às do ensaio, de $14,27\text{tonha}^{-1}$.

Stutler *et al.* (1981) constataram, por observação da superfície de produção, que a quantidade óptima de azoto aplicada à cultura era de $200\text{kg}\text{ha}^{-1}$, mas não lhes foi possível determinar a evapotranspiração que permitia obter a máxima produção, dado que, apesar das tentativas efectuadas, não obtiveram decréscimos de produção devidos ao excesso de água aplicada à cultura.

A produção máxima foi, portanto, atingida para um nível de aplicação de azoto que se situa entre os níveis N2 e N3 e para um nível de aplicação de água que se situa entre W3 e W4. Assim, em N3 e/ou W4, foram aplicadas quantidades de factores de produção superiores às necessárias para a obtenção da máxima produção. Nos níveis de aplicação de azoto N0, N1 e N2 e de água W1, W2 e W3, as quantidades de factores de produção aplicadas ficaram aquém das necessárias para a obtenção da máxima produção.

Como se pode observar na Figura 4.12, para a obtenção de produções de grão da ordem das $12,996\text{tonha}^{-1}$ são amplos os intervalos referentes às quantidades de azoto e de água a aplicar para atingir essas produções.

Em trabalhos, cujo objectivo seja a maximização da produção de grão de milho, poderá ser interessante limitar o estudo a uma gama de quantidades de factores de produção que, à partida se sabe, conduz a produções de grão elevadas.

Na Figura 4.12 encontra-se o mapa de isoquantas que nos dá as possíveis combinações de factores de produção que permitem a obtenção de um determinado nível de produção. Segundo Heady e Hexem (1978), apenas é economicamente relevante combinar factores, como a água e os fertilizantes, no intervalo com declive negativo.

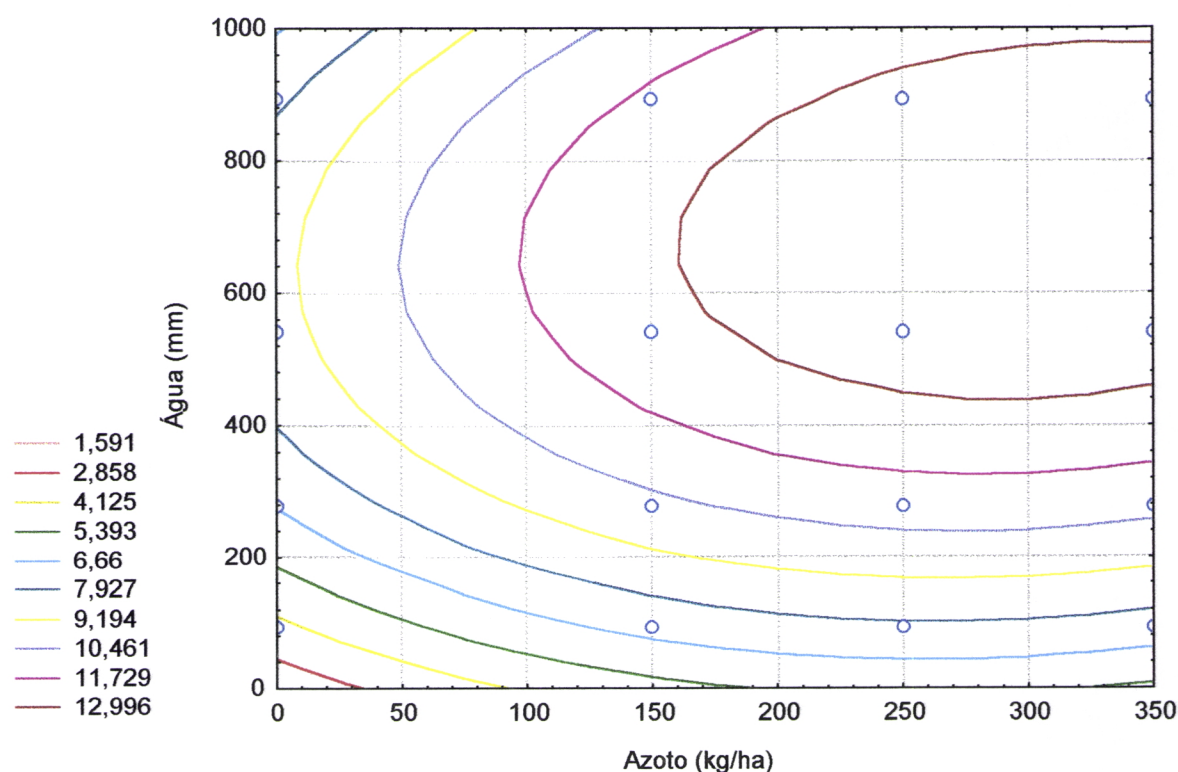


Figura 4.12 Mapa de isoquantas.

Atendendo a que a equação de uma isoquanta é dada por: $Z=f(N,W)=constante$, a equação da isoquanta relativa, por exemplo, à produção de $12,996 \text{ tonha}^{-1}$ (Figura 4.12) é dada por:

$$12,996 = 1,917 + 2,904 \times 10^{-2} N - 5,645 \times 10^{-5} N^2 + 2,210 \times 10^{-2} W - 1,747 \times 10^{-5} W^2 + 8,587 \times 10^{-6} NW \quad (4.4)$$

Relativamente à produtividade média dos factores N e W verifica-se que estes diminuem quando aumenta a quantidade do respectivo factor aplicado. Os valores médios encontrados para a produtividade média do factor N foram os seguintes: 0,070 para $N1$, 0,046 para $N2$ e 0,032 para $N3$. Relativamente ao factor W os valores médios obtidos foram: 0,069 para $W1$, 0,035 para $W2$, 0,022 para $W3$ e 0,013 para $W4$.

A produtividade marginal do factor de produção N é dada por:

$$Pm_N = 2,904 \times 10^{-2} - 1,129 \times 10^{-4} N + 8,587 \times 10^{-6} W \quad (4.5)$$

e a do factor W é dada por:

$$Pm_w = 2,210 \times 10^{-2} - 3,494 \times 10^{-5} W + 8,587 \times 10^{-6} N \quad (4.6).$$

A razão marginal de substituição do factor W pelo N num ponto de uma isoquanta é dada pela quociente entre as produtividades dos factores N e W nesse ponto, ou seja, por:

$$RmS_{W,N} = \frac{2,904 \times 10^{-2} - 1,129 \times 10^{-4} N + 8,587 \times 10^{-6} W}{2,210 \times 10^{-2} - 3,494 \times 10^{-5} W + 8,587 \times 10^{-6} N} \quad (4.7).$$

Por exemplo, nos pontos (169;600) e (200;518) da isoquanta cuja produção é de 12,996 tonha⁻¹, a razão marginal de substituição de W por N é, respectivamente, 5,84 e 1,9. Assim, no primeiro ponto por uma unidade de aumento da quantidade de N , a redução na quantidade aplicada de W , de modo a manter-se constante a produção, é de 5,84; no segundo ponto, a redução de W é de 1,9. Nesta porção da isoquanta, em que o declive é negativo, a aumentos iguais da quantidade de N correspondem menores reduções na quantidade de W , do ponto (169;600) para o ponto (200;518). Se considerarmos, por exemplo, os pontos (177;800) e (250;976), obtemos, respectivamente, as seguintes razões marginais de substituição: -3,68 e -0,93. Assim, onde a inclinação da isoquanta é positiva, a aumentos iguais na quantidade de N correspondem menores aumentos na quantidade de W , do ponto (177;800) para o ponto (250;976).

4.6.3 Índice de colheita

Os resultados da análise de variância relativa ao índice de colheita encontram-se no Quadro 4.28.

A influência do nível de aplicação de azoto no índice de colheita foi significativa. O menor valor do índice de colheita diz respeito ao tratamento N0, sendo significativas as diferenças entre a média deste tratamento e as dos restantes tratamentos, para um nível de significância de 1 %. Verifica-se ainda que o índice de colheita aumenta com o nível de aplicação de azoto, ou seja, à medida que aumenta a quantidade de azoto aplicada à cultura em adubação de cobertura, aumenta a produção de grão por cada tonelada de matéria seca aérea produzida (Figura 4.13).

Relativamente à influência da água no índice de colheita verifica-se que este é claramente menor em W1 (Figura 4.13).

Quadro 4.28 Análise de variância relativa ao índice de colheita de milho sujeito a dois tratamentos (azoto e água) com quatro níveis de aplicação cada.

Origem de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Observado	F Tabelado		
				10 %	5 %	1 %
Repetições(R)	2	0,0207				
Azoto (N)	3	0,2562	16,95 ***	3,29	4,76	9,78
Erro a (N x R)	6	0,0151				
Água (W)	3	0,2796	12,57 †	3,29	4,76	9,78
Erro b (W x R)	6	0,0222				
N x W	9	0,0179	0,47	2	2,46	3,6
Erro c (NxWxR)	18	0,0383				
Total	47	0,0579				

† Não pode ser atribuído um nível de probabilidade à influência da água porque os tratamentos não foram casualizados.

*** Significativo a 1 %.

4.6.4 Eficiência de uso de água

Os resultados das análises de variância referentes à eficiência de uso de água relativa ao grão e relativa à produção de matéria seca aérea, encontram-se, respectivamente nos Quadros 4.29 e 4.30.

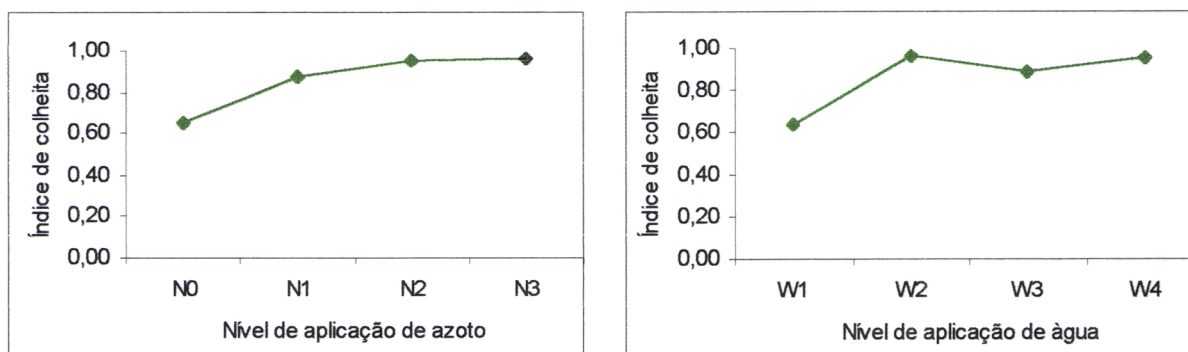


Figura 4.13 Índice de colheita em função do nível de aplicação de azoto e do nível de aplicação de água.

Relativamente à influência do azoto na eficiência de uso de água, constata-se que esta não foi significativa. Observando os Quadros 4.31 e 4.32, verifica-se que os índices, nomeadamente o relativo ao grão, aumentam com a quantidade de azoto aplicada à cultura, ou seja, quando a planta tem à sua disposição quantidades mais elevadas de azoto, apresenta maiores produções por cada unidade de água aplicada.

Quadro 4.29 Análise de variância referente à eficiência de uso de água relativa à produção de grão de milho sujeito a dois tratamentos (azoto e água) com quatro níveis de aplicação cada.

Origem de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Observado	F Tabelado		
				10 %	5 %	1 %
Repetições(R)	2	0,0030				
Azoto (N)	3	0,0014	1,36	3,29	4,76	9,78
Erro a (N x R)	6	0,0010				
Água (W)	3	0,0035	3,34 †	3,29	4,76	9,78
Erro b (W x R)	6	0,0011				
N x W	9	0,0007	0,92	2	2,46	3,6
Erro c (NxWxR)	18	0,0008				
Total	47	0,0011				

† Não pode ser atribuído um nível de probabilidade à influência da água porque os tratamentos não foram casualizados.

Verifica-se ainda que estes índices diminuem quando aumenta a quantidade de água fornecida à cultura, ou seja, a produção de matéria seca aérea e de grão, por cada unidade de água aplicada, é menor nos níveis de aplicação de água mais

elevados. O que significa que à medida que aumenta a quantidade de água aplicada a cultura tira menor benefício de cada unidade de água.

Quadro 4.30 Análise de variância referente à eficiência de uso de água relativa à produção de matéria seca aérea de milho sujeito a dois tratamentos (azoto e água) com quatro níveis de aplicação cada.

Origem de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Observado	F Tabelado		
				10 %	5 %	1 %
Repetições(R)	2	0,0000148				
Azoto (N)	3	0,0000010	2,24	3,29	4,76	9,78
Erro a (N x R)	6	0,0000005				
Água (W)	3	0,0001973	30,19 †	3,29	4,76	9,78
Erro b (W x R)	6	0,0000065				
N x W	9	0,0000013	1,46	2	2,46	3,6
Erro c (NxWxR)	18	0,0000009				
Total	47	0,0000148				

† Não pode ser atribuído um nível de probabilidade à influência da água porque os tratamentos não foram casualizados.

Quadro 4.31 Eficiência de uso de água relativa à produção de grão para as modalidades consideradas no ensaio (valores médios de três repetições), e em cada nível de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3) e de água (W1, W2, W3 e W4). Entre parêntesis o desvio padrão.

	Eficiência de uso de água relativa à produção de grão, tonha ⁻¹ mm ⁻¹							
	W1	W2	W3	W4	Média (N)			
N0	0,051 (0,022)	0,027 (0,008)	0,014 (0,002)	0,010 (0,003)	0,025 (0,020)			
N1	0,058 (0,011)	0,042 (0,006)	0,022 (0,007)	0,014 (0,003)	0,034 (0,019)			
N2	0,076 (0,040)	0,046 (0,007)	0,025 (0,005)	0,016 (0,003)	0,041 (0,030)			
N3	0,058 (0,045)	0,045 (0,012)	0,025 (0,006)	0,074 (0,106)	0,051 (0,053)			
Média (W)	0,061 (0,029)	0,040 (0,011)	0,021 (0,007)	0,029 (0,053)				

Quadro 4.32 Eficiência de uso de água relativa à produção de matéria seca aérea para as modalidades consideradas no ensaio (valores médios de três repetições), e em cada nível de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3) e de água (W1, W2, W3 e W4). Entre parêntesis o desvio padrão.

Eficiência de uso de água relativa à produção de matéria seca, tonha ⁻¹ mm ⁻¹					
	W1	W2	W3	W4	Média (N)
N0	0,0104 (0,0039)	0,0034 (0,0004)	0,0022 (0,0006)	0,0014 (0,0003)	0,0044 (0,0041)
N1	0,0090 (0,0038)	0,0045 (0,0002)	0,0025 (0,0005)	0,0014 (0,0002)	0,0044 (0,0034)
N2	0,0107 (0,0026)	0,0043 (0,0004)	0,0026 (0,0005)	0,0015 (0,0004)	0,0048 (0,0039)
N3	0,0118 (0,0022)	0,0043 (0,0009)	0,0023 (0,0007)	0,0014 (0,0003)	0,0049 (0,0044)
Média (W)	0,0105 (0,0029)	0,0041 (0,0006)	0,0024 (0,0005)	0,0014 (0,0003)	

4.7 Teor de macronutrientes principais na planta.

4.7.1 Azoto

Os resultados das análises de variância relativas ao teor de azoto foliar, nas duas amostragens de plantas posteriores à aplicação dos tratamentos, encontram-se no Quadro 4.33.

Quadro 4.33 Análises de variância relativas ao teor de azoto foliar do milho sujeito a dois tratamentos (azoto e água) com quatro níveis de aplicação cada, nas duas amostragens posteriores à aplicação dos tratamentos (Aaf2 e Aaf3).

Origem de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Observado	F Tabelado		
				10 %	5 %	1 %
Repetições(R)	2	2,58				
Azoto (N)	3	0,49	20,27 ***	3,29	4,76	9,78
Erro a (N x R)	6	0,42				
Água (W)	3	0,21	8,08 †	3,29	4,76	9,78
Erro b (W x R)	6	0,11				
N x W	9	0,15	2,63 **	2	2,46	3,6
Erro c (NxWxR)	18	0,05				
Total	47	0,27				

Aaf2

Origem de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Observado	F Tabelado		
				10 %	5 %	1 %
Repetições(R)	2	0,09				
Azoto (N)	3	2,42	27,21 ***	3,29	4,76	9,78
Erro a (N x R)	6	0,12				
Água (W)	3	0,78	1,30 †	3,29	4,76	9,78
Erro b (W x R)	6	0,10				
N x W	9	0,20	0,84	2	2,46	3,6
Erro c (NxWxR)	18	0,08				
Total	47	0,30				

Aaf3

† Não pode ser atribuído um nível de probabilidade à influência da água porque os tratamentos não foram casualizados.

*** Significativo a 1 %.

** Significativo a 5 %.

Como se pode verificar, foi significativa a influência do nível de aplicação de azoto no teor de azoto foliar, em ambas as amostragens. Por comparação múltipla das médias (Anexo 3), verifica-se que o teor de azoto foliar em N0 é inferior ao encontrado nos restantes tratamentos, para um nível de significância de 1 %, tanto em Aaf2 como em Aaf3. Não sendo significativas as diferenças de médias obtidas nas restantes comparações. Ou seja, em termos de teor de azoto foliar, foi indiferente a aplicação de 150 kgN/ha⁻¹, 250 kgN/ha⁻¹ ou 350 kgN/ha⁻¹ na adubação de cobertura.

A deficiência de azoto em N0 era visível no campo de ensaio, as folhas das plantas apresentavam um evidente amarelecimento.

A interacção NxW é significativa em Aaf2, pelo que foi possível testar, nesta amostragem, a influência da água no teor de azoto foliar. Por comparação múltipla das médias (Quadro 4.34), constata-se que em N0 e em W1 não são significativas as diferenças existentes entre as médias dos tratamentos relativos à aplicação de água e de azoto, à excepção da diferença entre N0 e N3, em W1, que é significativa a 5 %.

As restantes comparações de médias apontam igualmente no sentido de que, independentemente dos níveis de aplicação de azoto ou de água considerados, as modalidades com, respectivamente, W1 ou N0, apresentam sempre menores teores de azoto foliar. Assim, se o solo apresentar teores de humidade e/ou de azoto muito

baixos, como em W1 e em N0, não é possível aumentar o teor de azoto foliar apenas por aumento da quantidade de azoto aplicada ou da quantidade de água aplicada.

Quadro 4.34 Teor médio de azoto foliar do milho na segunda amostragem de plantas para análise foliar (Aaf2), para quatro níveis de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3) e quatro níveis de aplicação de água (W1, W2, W3 e W4).

	Teor médio de azoto foliar em Aaf2, % ^a			
	W1	W2	W3	W4
N0	2,54	2,49	2,33	2,67
N1	2,69	3,62	3,61	3,21
N2	2,86	3,62	3,04	3,59
N3	3,08	3,74	3,71	3,68

^a Média de três repetições. m.d.s. para comparações entre níveis de aplicação de azoto com igual nível de aplicação de água: 0,44 % ($\alpha = 0,10$); 0,54 % ($\alpha = 0,05$); 0,76 % ($\alpha = 0,01$). m.d.s. para comparações entre níveis de aplicação de água com igual nível de aplicação de azoto: 0,42 % ($\alpha = 0,10$); 0,51 % ($\alpha = 0,05$); 0,73 % ($\alpha = 0,01$).

Relativamente à evolução do teor de azoto nas folhas (Figura 4.14), o decréscimo que se verifica entre a primeira e a última amostragem está relacionado com a translocação do nutriente.

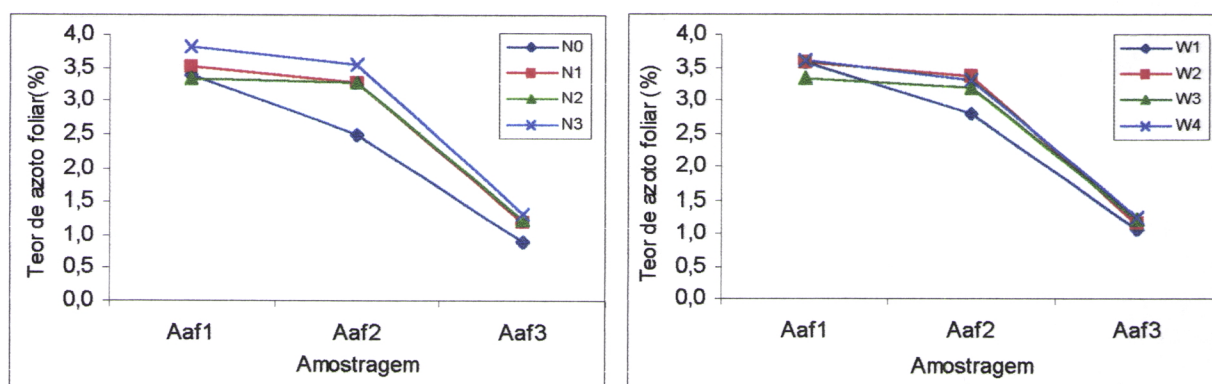


Figura 4.14 Evolução do teor de azoto foliar para as amostragens Aaf1 a Aaf3, em função do nível de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3) e do nível de aplicação de água (W1, W2, W3 e W4).

4.7.2 Fósforo

As análises de variância relativas ao teor de fósforo foliar em Aaf2 e Aaf3 encontram-se no Quadro 4.35.

A influência do nível de aplicação de azoto no teor de fósforo foliar é significativa em Aaf2 e em Aaf3. Assim, comparando as médias dos tratamentos (Anexo 3), verifica-se que, em Aaf2, o teor de fósforo foliar em N0 é significativamente menor que o encontrado nas plantas de N1 e N2, para $\alpha = 0,01$, e o de N3, para $\alpha = 0,05$. Em Aaf3, obtém-se diferenças significativas entre a média de N0 e as dos tratamentos N1, N2 e N3 ($\alpha = 0,05$), mas, nesta amostragem, os teores de fósforo mais elevados encontram-se nas folhas das plantas de N0. Estes resultados poderão estar apenas relacionados com a translocação do nutriente na planta.

Na última amostragem é também significativa a interação NxW. Por comparação múltipla das médias (Quadro 4.36), constata-se que nos níveis de aplicação de água W2, W3 e W4, encontra-se sempre maior teor de fósforo foliar em N0 que nos outros tratamentos com aplicação de azoto. Mas, entre as plantas de N0, as que recebem menor quantidade de água (W1) apresentam menor teor de fósforo foliar.

Na Figura 4.15 pode-se observar a diminuição do teor de fósforo foliar entre a primeira e a última amostragem, a qual está relacionada com a translocação do nutriente.

Quadro 4.35 Análises de variância relativas ao teor de fósforo foliar do milho sujeito a dois tratamentos (azoto e água) com quatro níveis de aplicação cada, nas duas amostragens de plantas para análise foliar posteriores à primeira rega e à adubação de cobertura (Aaf2 e Aaf3).

Origem de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Observado	F Tabelado		
				10 %	5 %	1 %
Repetições(R)	2	0,0073				
Azoto (N)	3	0,0042	6,81 **	3,29	4,76	9,78
Erro a (N x R)	6	0,0006				
Água (W)	3	0,0101	19,99 †	3,29	4,76	9,78
Erro b (W x R)	6	0,0005				
N x W	9	0,0007	0,59	2	2,46	3,6
Erro c (NxWxR)	18	0,0012				
Total	47	0,0019				

Aaf2

Origem de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Observado	F Tabelado		
				10 %	5 %	1 %
Repetições(R)	2	0,0138				
Azoto (N)	3	0,0347	4,58 *	3,29	4,76	9,78
Erro a (N x R)	6	0,0076				
Água (W)	3	0,0337	13,05 †	3,29	4,76	9,78
Erro b (W x R)	6	0,0026				
N x W	9	0,0048	2,99 **	2	2,46	3,6
Erro c (NxWxR)	18	0,0016				
Total	47	0,0078				

Aaf3

† Não pode ser atribuído um nível de probabilidade à influência da água porque os tratamentos não foram casualizados.

** Significativo a 5 %.

* Significativo a 10 %.

Quadro 4.36 Teor médio de fósforo foliar na terceira amostragem de plantas para análise foliar (Aaf3), em função dos níveis de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3) e de água (W1, W2, W3 e W4).

	Teor médio de fósforo foliar em Aaf3, % ^a			
	W1	W2	W3	W4
N0	0,1067	0,2833	0,2800	0,3633
N1	0,1133	0,1633	0,1800	0,2267
N2	0,0967	0,1800	0,1700	0,1767
N3	0,1067	0,1300	0,1533	0,1567

^a Média de três repetições. m.d.s. para comparações entre níveis de aplicação de azoto com igual nível de aplicação de água: 0,0847 % ($\alpha = 0,10$); 0,1052 % ($\alpha = 0,05$); 0,1539 % ($\alpha = 0,01$). m.d.s. para comparações entre níveis de aplicação de água com igual nível de aplicação de azoto: 0,0635 % ($\alpha = 0,10$); 0,0781 % ($\alpha = 0,05$); 0,1113 % ($\alpha = 0,01$).

4.7.3 Potássio

Os resultados das análises de variância relativas ao teor de potássio foliar encontram-se no Quadro 4.37.

A influência do azoto no teor de potássio foi significativa apenas na segunda amostragem como nos indicam os valores de F das análises de variância. As plantas de N0 apresentavam, em Aaf2, um teor de potássio foliar significativamente

superior ao das plantas de N1 ($\alpha = 0,10$), de N2 ($\alpha = 0,05$) e de N3 ($\alpha = 0,01$) (Anexo 3).

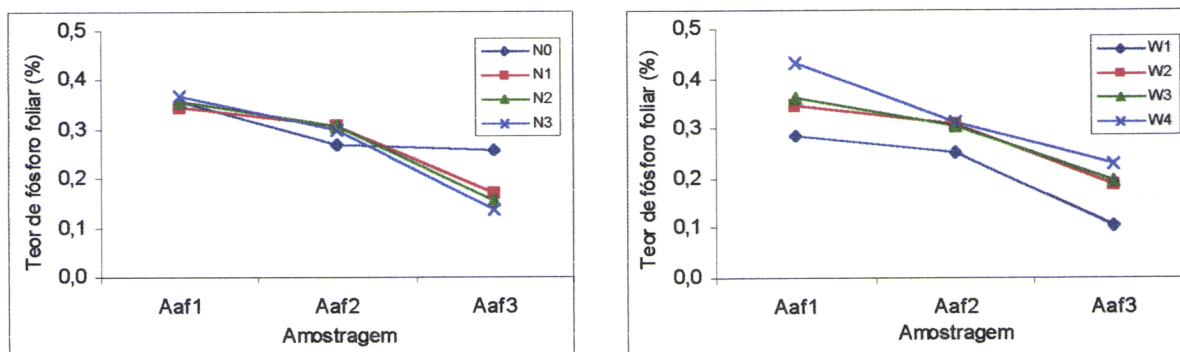


Figura 4.15 Evolução do teor de fósforo foliar para as amostragens de Aaf1 a Aaf3, em função do nível de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3) e do nível de aplicação de água (W1, W2, W3 e W4).

À influência da água no teor de K foliar não se pode atribuir um nível de significância, mas, como se verifica no Quadro 4.38, as plantas de W1 apresentavam na segunda amostragem maior teor de potássio foliar que nos restantes tratamentos. Enquanto que, em Aaf3 as folhas das plantas de W1 e W2 apresentavam os menores teores de K.

Na Figura 4.16 pode-se observar a diminuição do teor de potássio foliar entre a primeira e a última amostragem, a qual está relacionada com a translocação do nutriente.

Quadro 4.37 Análises de variância relativas ao teor de potássio foliar do milho sujeito a dois tratamentos (azoto e água) com quatro níveis de aplicação cada, nas duas amostragens de plantas para análise foliar posteriores à primeira rega e à adubação de cobertura (Aaf2 e Aaf3).

Origem de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Observado	F Tabelado		
				10 %	5 %	1 %
Repetições(R)	2	0,1549				
Azoto (N)	3	0,1820	5,34 **	3,29	4,76	9,78
Erro a (N x R)	6	0,0341				
Água (W)	3	0,3726	16,10 †	3,29	4,76	9,78
Erro b (W x R)	6	0,0231				
N x W	9	0,0481	1,00	2	2,46	3,6
Erro c (NxWxR)	18	0,0479				
Total	47	0,0769				

Aaf2

Origem de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Observado	F Tabelado		
				10 %	5 %	1 %
Repetições(R)	2	0,0166				
Azoto (N)	3	0,1023	3,02	3,29	4,76	9,78
Erro a (N x R)	6	0,0339				
Água (W)	3	0,0474	1,80 †	3,29	4,76	9,78
Erro b (W x R)	6	0,0263				
N x W	9	0,0216	0,53	2	2,46	3,6
Erro c (NxWxR)	18	0,0407				
Total	47	0,0377				

Aaf3

† Não pode ser atribuído um nível de probabilidade à influência da água porque os tratamentos não foram casualizados.

** Significativo a 5 %.

Quadro 4.38 Teor médio de potássio foliar na segunda e na terceira amostragem de plantas para análise foliar (Aaf2 e Aaf3), para os quatro níveis de aplicação de água (W1, W2, W3 e W4). Entre parêntesis desvio padrão.

	Teor médio de potássio foliar, % ^a	
	Aaf2	Aaf3
W1	2,04 (0,33)	0,77 (0,22)
W2	1,64 (0,16)	0,77 (0,17)
W3	1,73 (0,17)	0,89 (0,20)
W4	1,73 (0,25)	0,87 (0,18)

^a Média de 4 níveis de aplicação de azoto x 3 repetições.

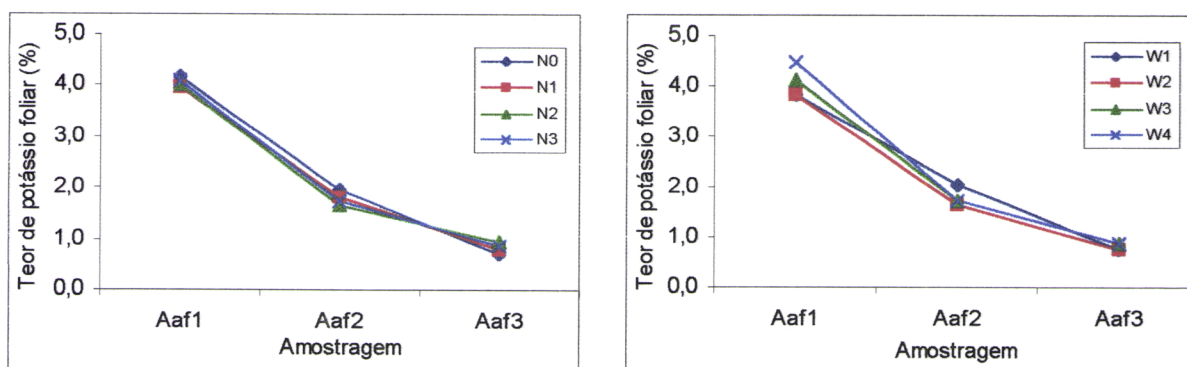


Figura 4.16 Evolução do teor de potássio foliar para as amostragens de Aaf1 a Aaf3, em função do nível de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3) e do nível de aplicação de água (W1, W2, W3 e W4).

4.8 Teor de proteína do grão

A análise de variância relativa ao teor de proteína presente no grão encontra-se no Quadro 4.39.

Com base nos resultados obtidos na análise de variância e por comparação múltipla de médias (Anexo 3), pode-se concluir que o grão de N0 apresenta um teor de proteína significativamente menor que o dos tratamentos N1, N2 e N3 ($\alpha = 0,05$). A aplicação de 150 kg/ha, 250 kg/ha ou 350 kg/ha de azoto na adubação de cobertura não conduziu a diferenças significativas entre os respectivos teores de proteína do grão.

Quadro 4.39 Análise de variância relativa ao teor de proteína do grão de milho sujeito a dois tratamentos (azoto e água) com quatro níveis de aplicação cada.

Origem de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Observado	F Tabelado		
				10 %	5 %	1 %
Repetições(R)	2	0,0001				
Azoto (N)	3	0,0018	4,89 **	3,29	4,76	9,78
Erro a (N x R)	6	0,0004				
Água (W)	3	0,0040	10,31 †	3,29	4,76	9,78
Erro b (W x R)	6	0,0004				
N x W	9	0,0003	1,00	2	2,46	3,6
Erro c (NxWxR)	18	0,0002				
Total	47	0,0006				

† Não pode ser atribuído um nível de probabilidade à influência da água porque os tratamentos não foram casualizados.

** Significativo a 5 %.

Observando o Quadro 4.40, verifica-se que o grão das plantas de W1 apresenta maior teor de proteína que o dos restantes tratamentos, o que pode ser explicado por um efeito de concentração, devido à menor produção de grão em W1.

4.9 Análises de terra

Os resultados relativos às análises de terra permitem concluir que, independentemente dos níveis de aplicação de água e de azoto, o teor de azoto

diminui, de uma maneira geral, com a profundidade (Figura 4.17). Apenas em W4, se mantém aproximadamente constante. O teor de azoto no solo diminui com os níveis de aplicação de água, W1 apresenta os maiores teores diminuindo estes até W4, que apresenta os menores teores a todas as profundidades. O que se poderá explicar por eventuais perdas de nitratos devidos ao excesso de água.

Quadro 4.40 Teor médio de proteína no grão, para quatro níveis de aplicação de água (W1, W2, W3 e W4). Entre parêntesis o desvio padrão.

	Teor médio de proteína, % ^a
W1	15,51 (2,54)
W2	12,30 (1,15)
W3	11,64 (1,95)
W4	11,88 (1,92)

^a Média de 4 níveis de aplicação de azoto x 3 repetições

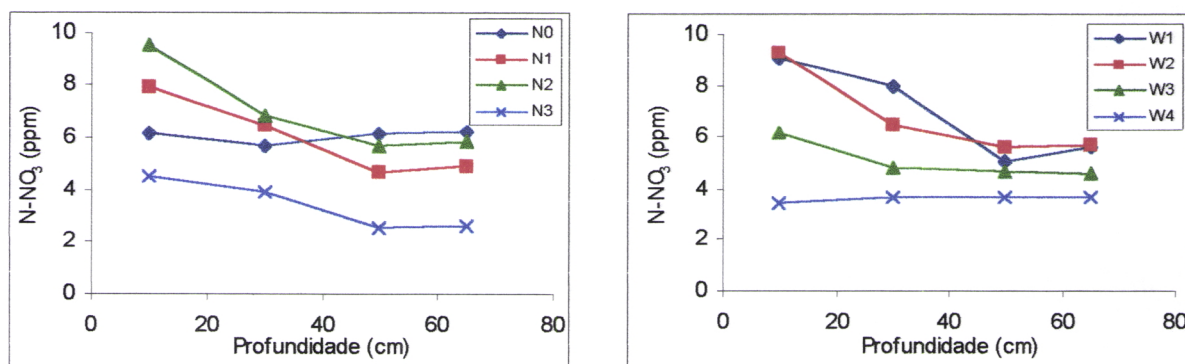


Figura 4.17 Teor de azoto (N-NO₃) por camadas de solo, em função dos níveis de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3) e de água (W1, W2, W3 e W4).

O teor de fósforo no solo diminui consideravelmente com a profundidade (Figura 4.18), havendo uma relação de aproximadamente 1/5 entre os teores a 20 cm e a 70 cm de profundidade. Não são evidentes diferenças entre os níveis de aplicação de azoto, pelo que a quantidade de azoto aplicado na adubação de cobertura não teve influencia nos teores deste elemento no solo. Relativamente à influência do nível de aplicação de água no teor de fósforo no solo, verifica-se que apenas W1 apresenta teores inferiores aos dos restantes tratamentos.

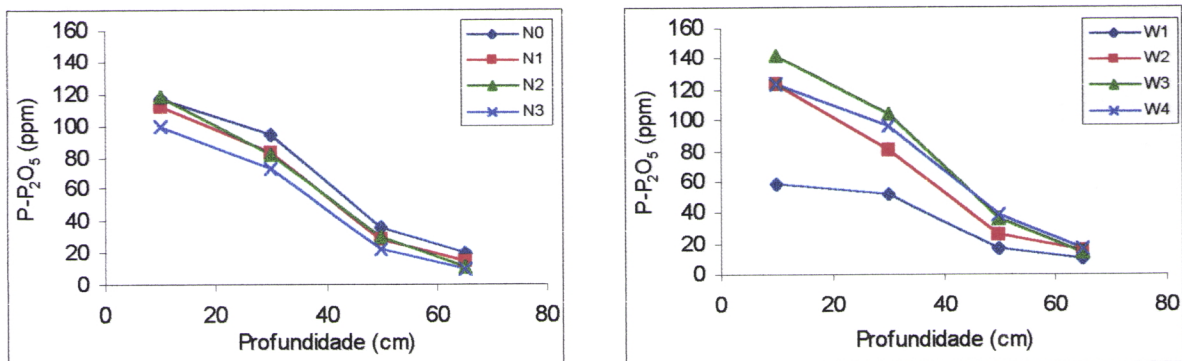


Figura 4.18 Teor de fósforo ($P-P_2O_5$) por camadas de solo, em função dos níveis de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3) e de água (W1, W2, W3 e W4).

Em termos de potássio verifica-se que o teor deste elemento decresce com a profundidade em todos os níveis de aplicação de água e azoto (Figura 4.19). Não se observam diferenças consideráveis, no teor de potássio, entre os diferentes níveis de aplicação de azoto. Em termos de influência da quantidade de água aplicada, ao acréscimo desta corresponde um acréscimo dos teores de potássio no solo, sendo que os níveis W3 e W4, apresentam teores de potássio semelhantes para todas as profundidades.

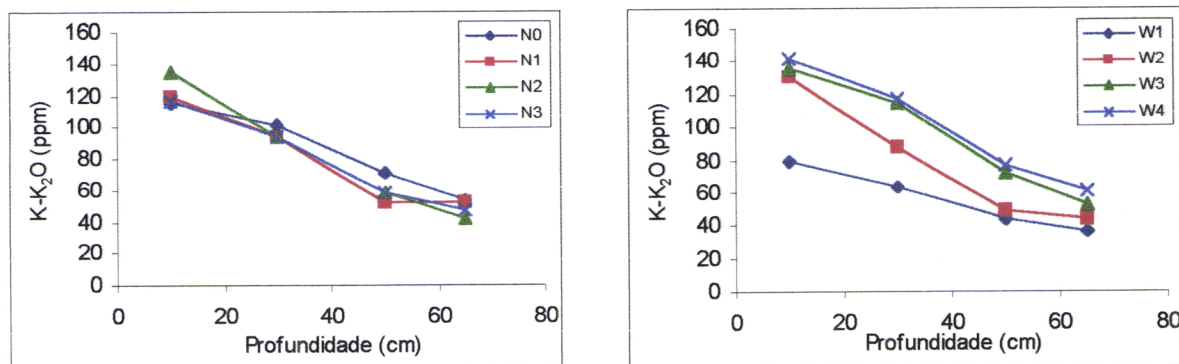


Figura 4.19 Teor de potássio ($K-K_2O$) por camadas de solo, em função dos níveis de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3) e de água (W1, W2, W3 e W4).

5 Conclusões

Tal como seria de esperar utilizando uma linha de aspersores, do tratamento W1 para W4, ou seja, com a diminuição da distância à linha de aspersores, aumenta a quantidade de água aplicada, tanto em M1 como em M2. Após onze regas do milho foram aplicadas, em média, as seguintes alturas de água em M1: 41,32 mm em W1, 215,99 em W2, 408,98 em W3 e 707,37 mm em W4; em M2 foram aplicados: 94,78 mm em W1, 278,94 mm em W2, 543,27 mm em W3 e 894,20 mm em W4. Foi aplicada maior quantidade de água em M2 do que em M1.

Foram obtidos bons ajustamentos de equações de regressão de segundo grau que relacionam as alturas de água aplicadas com a distância à Bordadura 4, sendo os coeficientes de determinação de 0,787, em REP1, 0,835 em REP2 e 0,941 em REP3. Os máximos das equações de regressão e as respectivas distâncias à Bordadura 4 em que eram atingidos, foram: 804,1 mm e 14,3 m em REP1; 681,6 mm e 14,6 m em REP2; 595,0 mm e 14,7 m em REP3. A partir das equações obtidas é possível determinar a quantidade de água aplicada num dado local do campo de ensaio por substituição da distância à Bordadura 4 na respectiva equação.

Neste ensaio, foram determinantes na aplicação de água, o vento (normalmente com rumo N ou NO durante as regas) e a sebe, dado que na proximidade da sebe era menor a influência do vento na forma de humedecimento dos aspersores.

Relativamente à determinação da evapotranspiração cultural pelo método da tina evaporimétrica verificou-se que, em termos de valores ET_c calculados, é indiferente considerar o coeficiente de tina constante ou variável. A utilização do primeiro torna o método mais simples e de fácil utilização pelos agricultores na programação da rega. Importa, no entanto, referir que os valores de ET_c determinados pelo método da tina evaporimétrica corresponderam a cerca de 73 % do determinado a partir da fórmula de Penman-Monteith.

A evapotranspiração determinada pelo método do balanço hídrico foi a seguinte: 125,33 mm em W1, 252,41 mm em W2, 554,50 mm em W3 e 895,35 mm em W4, ou seja, aumenta com o nível de aplicação de água. Em W3 a evapotranspiração calculada pelo método do balanço hídrico foi da mesma ordem de grandeza da calculada a partir da fórmula de Penman-Monteith (534,00 mm), ou seja, a quantidade de água aplicada foi adequada às necessidades das plantas. Em W1 e W2 a quantidade de água aplicada foi insuficiente para responder às necessidades da cultura enquanto que em W4 foi excessiva.

Foram infrutíferas as tentativas de recolha de amostras de solução do solo utilizando as cápsulas cerâmicas porosas, pelo que não foi possível estudar os aspectos relativos à perda de nitratos por lexiviação.

Em termos de altura das plantas, verificou-se que o azoto não teve influência significativa neste parâmetro. À influência da água na altura das plantas, ou em qualquer outro parâmetro, não se pode atribuir um nível de probabilidade, porque os tratamentos relativos à aplicação de água não foram casualizados. Constatou-se, no entanto, que as plantas mais altas encontravam-se em W3 e W4 e as mais baixas em W1 apresentando uma altura intermédia as plantas de W2. A altura máxima foi atingida em A4. Foram obtidos, por amostragem e por nível de aplicação de azoto, bons ajustamentos das equações de regressão de segundo grau que relacionam a altura das plantas com a altura de água aplicada. Apesar de não ter influência na interpretação dos resultados por amostragem, verificou-se que o local de amostragem das plantas condicionou os resultados obtidos, uma vez que em A5 e A6 a altura das plantas diminuiu. Será, assim, interessante repensar a forma como são seleccionados os locais de amostragem de plantas.

A influência do azoto nos parâmetros relativos a produção de matéria seca aérea total e ao índice de área foliar foi significativa apenas em duas amostragens de plantas. Registaram-se aumentos de ambos os parâmetros com a quantidade de água aplicada, embora em alguns casos os acréscimos sejam reduzidos. Foram ajustadas equações de regressão de segundo grau que relacionam, por amostragem e nível de aplicação de azoto, os resultados obtidos para cada parâmetro com as alturas de água aplicadas. De um modo geral, foram obtidos coeficientes de determinação mais elevados nos ajustamentos relativos à produção de matéria seca aérea.

Em termos de parâmetros relativos à produção, verificou-se que a influência do azoto na produção de matéria seca aérea foi significativa. A maior produção de matéria seca foi obtida em N2 e em W3. Assim, aos níveis de aplicação de factores mais elevados (N3 e W4) não correspondeu a maior produção de matéria seca. Foram obtidos bons ajustamentos das equações de regressão de segundo grau que relacionam a produção de matéria seca com a altura de água aplicada e das que relacionam a produção de matéria seca com a evapotranspiração.

Relativamente à influência do azoto na produção de grão, constatou-se que em N0 a produção de grão foi significativamente menor que a obtida em N1, N2 e N3 e que em N1 foi significativamente menor que a obtida em N2 e N3. Não foram significativas as diferenças entre N2 e N3. Ou seja, em termos de quantidade de grão produzido, foi indiferente aplicar 250 kg ha^{-1} ou 350 kg ha^{-1} de azoto na adubação de cobertura. Foi considerável o aumento de produção de grão entre os níveis de aplicação de água W1 e W2, sendo menores os acréscimos de produção devidos ao aumento da água aplicada entre W2 e W3 e entre W3 e W4.

Foi ajustada uma equação polinomial de segundo grau que relaciona a produção de grão com os níveis de aplicação de azoto e de água, tendo sido obtido um bom ajustamento ($R^2=0,796$ e $R^2_a=0,772$). Todos os coeficientes da função de produção, à excepção de A_{12} , eram significativos. Não se obteve uma melhoria no ajustamento quando se considerou, em vez da altura de água aplicada, a evapotranspiração determinada pelo método do balanço hídrico. De acordo com o extremo determinado para a função de produção, a máxima produção de grão ($14,27 \text{ tonha}^{-1}$) seria obtida aplicando $311,19 \text{ kg}$ de azoto por hectare e $708,76 \text{ mm}$ de água. A partir da função de produção, foi determinado o mapa de isoquantas. Cada isoquanta dá-nos as possíveis combinações de factores que permitem a obtenção de um determinado nível de produção de grão. A razão marginal de substituição de y (água) por x (azoto) dá-nos a redução na quantidade aplicada do factor y por unidade de aumento da quantidade de x .

Todos estes aspectos relacionados com a função de produção são de grande importância quando se pretendem tomar decisões relativas às quantidades a aplicar dos factores de produção, nomeadamente da água, um recurso cada vez mais escasso e vulnerável face à crescente pressão dos vários e numerosos utilizadores, e do azoto, que está frequentemente associado a problemas de natureza ambiental devido à sua aplicação em quantidades excessivas.

Relativamente ao índice de colheita, verificou-se que à medida que aumenta a quantidade de azoto aplicado à cultura aumenta a produção de grão por unidade de matéria seca aérea produzida.

Por seu lado nos parâmetros referentes à eficiência de uso de água, constatou-se que, com o aumento da quantidade de azoto aplicada, aumentaram as produções de matéria seca e de grão por cada unidade de água aplicada. Verificou-se ainda que, o benefício que a cultura tira de cada unidade de água diminui à medida que aumenta a quantidade de água aplicada.

Em relação aos resultados das análises foliares é de referir que, independentemente do nível de azoto e de água considerados, as plantas de W1 e de N0 apresentam menores teores de azoto foliar.

O teor de proteína do grão é maior em W1 que nos restantes tratamentos, o que pode ser explicado por um efeito de concentração, devido à menor produção de grão em W1. Em N0, o teor de proteína do grão é significativamente menor que o de N1, N2 e N3. Não foram significativas as diferenças entre estes tratamentos, pelo que foi indiferente, em termos de teor de proteína do grão, a quantidade de azoto aplicada em adubação de cobertura.

6 Bibliografia

Addiscott, T. M. e R. J. Wagenet. 1985. Concepts of solute leaching in soils. A review of modelling approaches. *J. Soil Sci.*, 36: 411-424.

Albuquerque, J. P. M. 1954. *Carta ecológica de Portugal*. Ministério da Economia, Direcção Geral dos Serviços Agrícolas, Lisboa.

Allen, R., M. Smith, L. S. Pereira e A. Perrier. 1994. An update for the calculation of reference evapotranspiration. *ICID Bulletin*, 43 (2): 35-89.

Alves, I. 1991. Modelos água/produção visando a condução da rega. *Actas do Seminário "Desenvolvimento de Tecnologias de Rega"*. ISA-DER, Lisboa, pp. 17-28.

Alves, I. e L. S. Pereira. 1998. Relações água/produção. Caso da rega em condições de carência hídrica. *Comunicações do IICT, Série de Ciências Agrárias*, 20: 37-41.

Avillez, F. e M. Nina Jorge. 1996. Viabilidade futura das explorações agrícolas do continente português. *Comunicações do 2º Congresso Nacional de Economistas Agrícolas – Agricultura, Ambiente e Desenvolvimento Rural*. Associação Portuguesa de Economia Agrária, Évora, pp.1-17.

Bauder, J., R. Hanks e D. James. 1975. Crop production function determinations as influenced by irrigation and nitrogen fertilization using a continuous variable design. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 39: 1187-1192.

Donn, W. L. 1978. *Metereologia*. Editorial Reverté, Barcelona.

Doorenbos, J. e A. Kassam. 1979. *Yield response to water*. Irrigation and Drainage Paper nº 33. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

FAO. 1990. *An international action programme on water and sustainable agricultural development*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. Citado em Pereira (1996).

FAO. 1998. *Faostat – Statistics Database*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. Internet: <http://apps.fao.org>.

Fapohunda, H. e M. Hossain. 1990. Water and fertilizer interrelations with irrigated maize. *Agricultural water management*, 18: 49-61.

Ferguson, C. E. 1978. *Microeconomia*. Forense Universitária, Rio de Janeiro.

Fox, R. 1973. Agronomic investigations using continuous function experimental designs - nitrogen fertilization of sweet corn. *Agron. J.*, 65: 454-456.

Gomez, K. e A. Gomez. 1984. *Statistical procedures for agricultural research*. John Wiley & Sons, New York.

Hanks, R. 1974. Model for predicting plant yield as influenced by water use. *Agron. J.*, 65: 660-665.

Hanks, R., J. Keller, V. Rasmussen e G. Wilson. 1976. Line source sprinkler for continuous variable irrigation-crop production studies. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 40: 426-429.

Hanks, R., D. Sisson, R. Hurst e K. Hubbard. 1980. Statistical analysis of results from irrigation experiments using the line-source sprinkler system. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44: 886-888.

Heady, E. e R. Hexem. 1978. *Water production functions for irrigated agriculture*. The Iowa State University Press, Ames.

Helweg, O. 1988. Using center pivots for research. *Journal of Irrigation and Drainage engineering*, 114 (2): 358-363.

Hillel, D. e V. Guron. 1973. Relation between evapotranspiration rate and maize yield. *Water Resour. Res.*, 9: 743-749.

Howell, T. A., R. H. Cuenca e K. H. Solomon. 1992. Crop yield response. Em: *Management of farm irrigation systems*. Eds. G. J. Hoffman, T. A. Howell e K. H. Solomon. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, pp. 93-122.

IM. 1998a. *Normais climatológicas da estação de Alvalade do Sado para o período 1961-1990*. Instituto de Meteorologia, Lisboa.

IM. 1998b. *Dados climáticos da estação de Alvalade do Sado para o ano de 1997*. Instituto de Meteorologia, Lisboa.

INE. 1995. *Estatísticas regionais da produção vegetal 1986-1995*. Instituto Nacional de Estatística, Lisboa.

Jensen, M. E. 1968. Water consumption by agricultural plants. Em: *Water deficits and plant growth*, Vol. II. Ed. T. T. Kozlowsky. Academic Press, New York, pp. 1-22.

Jensen, M. E. 1993. The impacts of irrigation and drainage on the environment. *5th Gulhati Memorial Lecture*, ICID, The Hague. Citado em Pereira (1996).

Johnson, D., U. Chaudhuri e E. Kanemasu. 1983. Statistical analysis of line-source sprinkler experiments and other nonrandomized experiments using multivariate methods. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47: 309-312.

- Kengni, L., G. Vachaud, J. L. Thony, R. Laty, B. Garino, H. Casabianca, P. Jame e R. Viscogliosi. 1994. Field measurements of water and nitrogen losses under irrigated maize. *Journal of Hydrology*, 162: 23-46.
- Lencastre, A. e F. Franco. 1992. *Lições de hidrologia*. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- MADRP. 1997. *Código de boas práticas agrícolas para a protecção da água contra a poluição com nitratos de origem agrícola*. Auditor de Ambiente do Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas, Lisboa.
- Pereira, L. S. 1984. Rega e produção. As tecnologias de regadio como determinantes da transformação da agricultura portuguesa. *Seminário "A Agricultura Portuguesa"*. Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.
- Pereira, L. S. e V. Paulo. 1987. Agricultura e gestão da água. I - Avaliação e previsão de necessidades de água para a rega em Portugal Continental. *Anais do Instituto Superior de Agronomia* Vol. XLII, pp. 133-165.
- Pereira, L. S. e A. Henriques. 1987. Agricultura e gestão da água. II – Importância relativa da rega no balanço necessidades/disponibilidades da água em Portugal Continental. *Anais do Instituto Superior de Agronomia* Vol. XLII, pp. 167-188.
- Pereira, L. S. 1991. Qualidade da água em regadio. *Actas do Seminário "Desenvolvimento de Tecnologias de Rega"*. ISA-DER, Lisboa, pp.147-155.
- Pereira, L.S. 1996. Técnicas de engenharia para o uso sustentável da água em regadio. *3º Congresso da Água - VII SILUBESA*. pp. 179-190.
- Piskounov, N. 1988. *Cálculo diferencial e integral*, Vol. I. Edições Lopes da Silva, Porto.
- Pungor, E., G. Nagy e K. Toth. 1979. Analytical methods involving ion-selective electrodes (including flow methods). Em: *Ion-selective electrode methodology*, Vol. II. Ed. A. Covington. CRC Press, Boca Raton, pp. 65-122.
- Rangeley, W. R. 1990. Irrigation at a crossroads. *4th Gulhati Memorial Lecture*, ICID, Rio de Janeiro. Citado em Pereira (1996).
- Santos, J. Q. 1991. *Fertilização. Fundamentos da utilização dos adubos e correctivos*. Publicações Europa-América, Mem Martins.
- Santos, J. Q. 1995. *Fertilização e poluição. Reciclagem agro-florestal de resíduos orgânicos*. Publicações Europa-América, Mem Martins.
- Santos, F. L., R. D. Serralheiro, A. M. Santos e M. A. Bica. 1995. Maize tactical irrigation management in the Southwest of Portugal using real time EPIC Model. *Workshop on irrigation scheduling from theory to practice*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

SAS Institute Inc. 1990. *SAS Reference manager, Version 6*. SAS Institute Inc., Cary.

StatSoft Inc. 1997. *STATISTICA for Windows. Computer program manual*. StatSoft Inc., Tulsa.

Steel, R. e J. Torrie. 1960. *Principles and procedures of statistics*. Mc Graw-Hill, New York.

Stewart, J., R. Hanks, R. Danielson, E. Jackson, R. Hagan, J. Riley, W. Franklin e W. Pruitt. 1977. *Optimizing crop production through control of water and salinity levels in the soil*. Utah Water Research Laboratory, Logan.

Stutler, R., D. James, T. Fullerton, R. Wells e E. Shipe. 1981. Corn yield functions of irrigation and nitrogen in Central America. *Irrigation Science*, 2: 79-88.

The World Bank. 1992. *World development report 1992. Development and the environment*. Oxford University Press, New York. Citado em Pereira (1996).

Vachaud, G., L. Kengni, B. Normand e J. Thony. 1996. Water and nitrate balance in irrigated soils. Em: *Sustainability of irrigated agriculture*. Eds. L. S. Pereira, R. A. Feddes, J. R. Gilley e B. Lesoffre. NATO ASI Series, Serie E: Applied sciences Vol. 312. Kluwer, Netherlands, pp. 395-406.

Waggoner, P. E. 1994. *How much land can ten billion people spare for nature?* Council for Agricultural Science and Technology, The Rockefeller University, New York. Citado em Pereira (1996).

WCED. 1987. *Our common future*. Oxford University Press, New York. Citado em Pereira (1996).

Zar, J. 1996. *Biostatistical analysis*. Prentice Hall, New Jersey.

Anexos

Anexo 1 Dados meteorológicos recolhidos na Estação Meteorológica de Alvalade do Sado entre Maio e Setembro de 1997.

Maio

Dia	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Humidade relativa (%)	Rumo do vento		Velocidade média do vento (kmh ⁻¹)	Evaporação na tina evaporimétrica (mm)	Número de horas de sol
				10 horas	16 horas			
1	33,8	14	61,5	E	S	19	6,4	10,6
2	30,4	15,7	60	S	O	8,5	9,5	6,7
3	24,8	12,3	61	N	N	7	4	7,3
4	25,2	11,9	78	S	O	10	4	9,7
5	25	13,6	62	O	O	18,5	3,7	7,7
6	21,9	9,9	51	NO	N	11	0,8	10,5
7	20,4	9,8	52,5	NO	O	20,5	5,8	11
8	20,4	5,5	45	N	N	9,5	4,8	11,1
9	20,8	5,5	54,5	E	NO	12	6	8,30
10	21,5	8,6	68	N	N	13	4,4	7,50
11	21,6	9,3	64,5	O	N	13,5	4,5	6,8
12	22,5	9	38	N	N	15	4,6	9,9
13	24,3	12,2	43,5	N	N	21	4,2	12,1
14	23,7	8,3	49	N	O	12,5	8,6	8,9
15	24,7	9,3	58	N	O	11	6,1	7,2
16	21,3	13,8	73	O	O	9	4,2	9,1
17	20,6	8,7	54	NO	O	13	4,6	9,6
18	22,4	13,1	88	S	O	18	3,3	2,1
19	20,6	13,4	61	SO	N	20	0,4	7,1
20	21,1	13,7	61,5	O	NO	27,5	6,1	9,2
21	24,4	10,8	66	C	NO	6	6,1	11,7
22	24,1	9,3	55	N	NO	9	5,3	11,6
23	27,2	12,1	81	S	S	14	6,3	4
24	21,7	12,6	76	S	S	16	13,2	3,4
25	21,4	14,2	65	SE	S	8	6,9	6,8
26	23,9	14,4	76,5	N	S	15,5	1,4	5,7
27	23,3	13,3	76,5	S	SO	15,5	1,6	2
28	21,1	20	62,5	S	SO	4,5	17,1	10,6
29	24,8	14,4	82,5	N	NO	14	5,3	5,4
30	25,7	14,7	87,5	O	S	6	4,2	7,9
31	25,1	14,8	82,5	N	O	9,5	4,99	9,6

Junho

Dia	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Humidade relativa (%)	Rumo do vento		Velocidade média do vento (kmh ⁻¹)	Evaporação na tina evaporimétrica (mm)	Número de horas de sol
				10 horas	16 horas			
1	22,7	13,8	70,5	NO	NO	3	1	3,5
2	22,2	15	69,5	O	O	16	1,8	9,3
3	23,2	12,4	69,5	NO	NO	4,5	4,3	4,2
4	25,3	14,3	53	N	O	20	3,8	9,4
5	22	15,8	62,5	SO	O	19,5	4,6	9,6
6	22,7	18,5	66,5	S	SO	19,5	5,6	2,9
7	23,8	14,8	68,5	O	O	17	3,7	12,1
8	23,6	11,7	63	N	N	9	5,2	11
9	25,3	13,7	56	N	O	10	5,5	8,8
10	25,7	17	68,5	S	SO	18	6	6,9
11	24,3	15,8	62	NO	O	9	3,3	7,1
12	24,7	12,5	63	N	NO	11	4,1	9,7
13	27,4	14,5	67,5	NO	O	7,5	5,3	13,3
14	-	-	-	-	E	-	-	-
15	27,8	15,3	42,5	NE	NE	3	2,1	12
16	28	13	48,5	N	N	6,5	1,4	13,6
17	26	11,3	53,5	N	NO	7	7,92	11,4
18	24	12,8	48	N	NO	13	5,27	12,5
19	28,5	12	48	NO	NO	11	8,03	12,7
20	26	11,5	44,5	N	N	17,5	6,5	10,1
21	26	12	-	N	-	-	-	6,2
22	23,5	11,5	-	N	-	-	-	10,3
23	23,5	11,5	49,5	N	N	9,5	5,1	12,9
24	28	11	56	N	NO	12,5	6,4	12,5
25	29,5	12,5	54	N	NO	12	8	10,9
26	29	15,8	68	NO	NO	10,5	6,62	6,7
27	24	13,5	44	NO	NO	15	5,8	12,6
28	23	10	50,5	NO	NO	13,5	6,2	12,7
29	21,5	10	51,5	SO	NO	8	5,6	12,8
30	22,5	9	52,5	N	O	9,5	8	9,4

Julho

Dia	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Humidade relativa (%)	Rumo do vento		Velocidade média do vento (kmh ⁻¹)	Evaporação na tina evaporimétrica (mm)	Número de horas de sol
				10 horas	16 horas			
1	24	9,5	85,5	SO	SO	7,5	0,1	0,5
2	21	12	61	N	NO	12,5	0,4	10
3	23	10	52,5	NO	NO	11,5	5,8	12,1
4	23	11	54,5	N	N	19	3	12,8
5	26	11	42,5	NE	NE	6,5	4,1	12,9
6	32	13	34	SE	E	5,5	12,3	12,3
7	34	14	44,5	S	NO	8,5	6,7	11,4
8	30,5	17,5	61,5	NO	NO	10,5	8,5	10,2
9	28	15,8	50,5	N	NO	12	9,34	9,4
10	25,4	13,5	66,5	N	NO	10,5	4,2	12,6
11	28	13,5	46,5	N	NE	9	6	12,7
12	30,5	12,5	54	N	NO	7,5	6,5	12,5
13	32,5	14	49,5	N	N	7,5	7,3	9,9
14	32,4	16,5	61,5	E	SO	8	6,1	7
15	28,5	18,5	73	SE	SO	13	5,1	3,9
16	25	16,5	73,5	S	NO	7,5	1,6	2,2
17	25	15	65,5	N	NO	7	2,82	9,6
18	30,4	11,5	48,5	N	N	4,5	4,32	12
19	35	17	41	N	NO	10	7,8	11,7
20	35,5	17	58	NE	NO	6,5	8,8	11,9
21	33	15	54,5	NO	NO	10	7,18	10,6
22	31,5	14,6	61	NO	NO	11,5	6,92	9,6
23	26,5	18,5	64,5	O	NO	9,5	5,3	0,5
24	26	16	64,5	E	NO	9	3	11,4
25	31	15	40,5	N	E	4	4,9	10,6
26	36,5	17	46	NE	SE	6	6,9	11,6
27	36,5	15,5	50,5	O	SO	9	8,3	9,8
28	34	16	67,5	N	NO	6,5	5,7	9,9
29	33,5	18	62	NO	NO	8	6,2	9,8
30	34	17	50	N	NO	7	6,2	11,3
31	35,8	17,5	49	N	NO	10,5	6	11,2

Agosto

Dia	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Humidade relativa (%)	Rumo do vento		Velocidade média do vento (kmh ⁻¹)	Evaporação na tina evaporimétrica (mm)	Número de horas de sol
				10 horas	16 horas			
1	34	17,5	49,5	N	NE	6	7,98	11,2
2	37	18	60	SE	SO	9	6,92	10,2
3	33,5	11,5	64	NE	NO	6,5	6,1	8,1
4	30,5	18,5	70,5	NO	NO	11	5,1	9,1
5	28	14,5	52,5	NE	NO	11	5,7	11,8
6	28	14	62	NE	NO	12	5,9	11,1
7	26	13,5	65	N	NO	8	5,2	10,3
8	26	12	53	N	NO	9,5	5,9	11,6
9	29,5	12	71,5	SO	NO	7	9	8,4
10	28	14	60	N	NO	8,5	3,1	8,4
11	27	14	68,5	N	NO	6,5	7,1	11,6
12	29,5	13	60	N	NO	8,5	3,8	11,8
13	32,5	15	40,5	N	N	6	5,5	11,6
14	34,5	15	46,5	N	NE	5	7,4	10,5
15	35	16	55	N	NO	9,5	6,1	10,9
16	33	14	51,5	N	NO	7	6,4	9,5
17	32	13,5	61,5	NE	NO	6,5	6,5	11,2
18	31,5	13	53,5	N	SE	5,5	3,8	11,4
19	34	15	50,5	N	NO	9	6,3	11,4
20	35	14	53,5	N	NO	8	8	9
21	34	15	59,5	N	N	6	3,5	10,9
22	33,5	11,5	56,5	N	SO	9	6,3	7,7
23	35	17,5	54	N	E	5	4,7	9,7
24	34,5	17	70,5	O	SO	5,5	5,1	3,7
25	32	18,5	71,5	N	NO	4	2,7	7,6
26	29	13,5	59	NO	NO	9,5	4,9	11,5
27	27	13	70	SO	SO	15,5	5	3,6
28	25,5	12,5	50	N	NO	7,5	0,5	11
29	27	10,5	44,5	NE	NE	3,5	5	11,4
30	30	10,5	42,5	N	SO	2,5	6,9	11
31	32,5	11,5	63	N	NO	6,5	4,8	10,2

Setembro

Dia	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Humidade relativa (%)	Rumo do vento		Velocidade média do vento (kmh ⁻¹)	Evaporação na tina evaporimétrica (mm)	Número de horas de sol
				10 horas	16 horas			
1	30	14	47,5	NE	NO	12,5	5,4	7,2
2	27	10,5	46,5	N	NE	7,5	7,7	10,7
3	32,5	11,5	43	N	NO	10,5	5,8	11
4	34,5	12	41,5	N	NO	5,5	5,5	10,7
5	36,5	13,5	49	N	NO	7,5	5,8	9
6	34	14	64	N	NO	7,5	5,7	10,6
7	32	13	47,5	N	SE	7	5,9	10,5
8	36	14,5	42	NE	SE	6,5	4,1	9,9
9	35,5	17,5	51,5	NO	NE	9	5,4	9
10	34,5	16	62,5	N	NO	6,5	6,1	10,1
11	34	13	50	N	NO	9	5	10,4
12	32,5	11,5	59,5	NO	SO	8,5	5,9	9
13	26,5	15	84,5	NE	N	5	4	6,1
14	27	17,5	65,5	SE	SE	10	0,8	6
15	29,5	14	55	NO	NE	5,5	3,2	10,4
16	31	15	59,5	E	NO	6	5,9	9,4
17	32,5	15	-	E	-	-	-	9
18	32,8	11	54,5	E	NE	4,5	4,9	9,4
19	32,5	15,5	53	N	NO	10,5	4,8	9,9
20	32,5	15	51	N	NO	8	5,9	10,4
21	30	12	52	N	NO	10,5	5,1	10,6
22	28,5	10,5	57	N	N	4	3,9	10,4
23	32	12,5	56,5	N	NE	2,5	2,3	7,4
24	32	13,5	55	N	S	4,5	5	7
25	31	13,5	66	N	N	5	4,2	2
26	28	15	57	NO	NO	8	1,2	5,3
27	38	14,5	76,5	N	N	3,5	3,9	1,5
28	25,5	13	70,5	NE	NE	5,5	8,6	8,1
29	27,5	14	57	N	SE	7	2,6	8,1
30	28,5	13,5	74	N	SE	5,5	2,8	2,4

Anexo 2 Alturas de água aplicadas nas regas R1, R2, ... e R11, em função dos níveis de aplicação de água W1, W2, W3 e W4.

		Altura de água aplicada (mm)											
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	
REP1	M2	W1	14,01	0,00	11,59	0,00	15,68	12,61	20,45	19,09	1,02	7,84	11,93
		W2	32,37	6,14	42,95	11,93	35,79	42,95	42,61	40,22	2,73	18,75	28,97
		W3	61,00	45,33	54,88	77,72	73,29	123,05	67,49	66,13	33,75	35,45	47,38
		W4	72,52	93,40	118,28	223,61	95,44	116,57	86,58	94,76	89,99	42,27	55,56
	M1	W4	52,91	113,51	83,17	98,17	112,83	84,19	63,06	77,03	58,29	33,75	47,04
		W3	32,99	42,95	35,45	32,72	43,97	27,95	30,34	38,52	33,75	20,45	28,63
		W2	9,34	24,20	34,09	11,93	27,61	2,73	16,02	20,11	35,79	12,95	15,34
		W1	0,47	6,25	8,64	0,30	5,36	0,00	8,94	1,49	14,59	0,00	1,49
REP2	M2	W1	7,63	0,00	9,88	0,00	9,88	6,14	15,68	13,63	1,02	6,48	6,48
		W2	22,41	8,27	18,12	18,51	37,03	20,48	43,33	36,24	2,76	17,33	18,51
		W3	69,72	48,45	33,88	51,21	53,18	63,03	45,69	53,18	27,97	20,48	28,36
		W4	86,83	90,60	86,66	90,99	103,99	105,57	91,39	83,90	59,87	36,63	57,12
	M1	W4	94,93	83,36	5,83	43,47	56,92	51,54	51,54	58,71	216,92	22,41	34,06
		W3	19,61	56,81	38,59	34,30	62,17	31,44	35,73	43,95	38,59	21,79	22,87
		W2	4,20	28,97	27,27	15,00	27,27	1,02	11,93	14,32	29,65	11,59	11,25
		W1	0,31	5,18	3,65	1,83	3,04	0,00	0,00	0,61	13,09	0,00	0,00
REP3	M2	W1	10,58	0,00	11,03	1,18	12,21	9,06	16,54	14,97	1,18	7,48	9,06
		W2	24,59	5,45	42,61	17,72	39,54	37,84	38,86	37,84	2,39	18,75	22,84
		W3	63,18	28,36	33,48	44,12	61,06	59,48	26,79	29,94	33,88	30,72	38,21
		W4	78,74	75,03	58,60	51,81	68,24	82,89	63,60	72,53	63,60	37,52	47,52
	M1	W4	89,01	67,83	27,95	29,65	59,99	58,97	59,31	57,61	48,06	36,13	43,97
		W3	17,12	48,88	49,69	33,12	53,72	40,39	44,43	54,13	51,30	26,66	33,93
		W2	9,96	20,79	33,75	29,65	34,43	10,23	20,45	26,25	34,43	15,68	19,77
		W1	0,31	9,13	9,44	5,48	5,48	0,00	1,52	3,35	11,26	1,52	1,22

Anexo 3 Valores médios dos parâmetros de crescimento, dos teores de azoto, fósforo e potássio foliares, do teor de proteína do grão, do índice de colheita e da eficiência de uso de água, para as modalidades consideradas no ensaio e em cada nível de aplicação de azoto (N0, N1, N2 e N3) e de água (W1, W2, W3 e W4). Entre parêntesis o desvio padrão.

Parâmetros relativos ao crescimento do milho:

Altura (cm)

A1

	W1	W2	W3	W4	N - Média
N0	65,3 (5,9)	66,7 (4,5)	66,7 (4,0)	68,0 (4,6)	66,7 (4,2)
N1	69,0 (7,0)	66,0 (7,2)	68,0 (3,5)	71,7 (6,4)	68,7 (5,7)
N2	70,7 (11,6)	70,0 (11,8)	71,7 (11,7)	72,7 (8,1)	71,3 (9,4)
N3	68,0 (11,5)	67,0 (4,4)	62,0 (6,6)	73,7 (2,5)	67,7 (7,4)
W - Média	68,3 (8,2)	67,4 (6,7)	67,1 (7,1)	71,5 (5,4)	

A2

	W1	W2	W3	W4	N - Média
N0	120,0 (10,4)	130,3 (6,1)	141,7 (2,1)	137,0 (2,6)	132,3 (10,0)
N1	129,3 (12,7)	130,0 (8,9)	142,0 (4,6)	139,0 (7,2)	135,1 (9,5)
N2	140,3 (21,0)	131,3 (12,3)	149,0 (18,4)	141,3 (7,8)	140,5 (14,9)
N3	132,0 (16,6)	127,7 (16,8)	147,7 (13,3)	145,3 (14,5)	138,2 (15,8)
W - Média	130,4 (15,4)	129,8 (10,1)	145,1 (10,5)	140,7 (8,4)	

A3

	W1	W2	W3	W4	N - Média
N0	200,7 (11,5)	221,7 (5,5)	242,3 (5,8)	243,3 (9,5)	227,0 (19,6)
N1	214,7 (14,0)	249,3 (15,5)	251,7 (15,1)	261,0 (28,5)	244,2 (24,6)
N2	192,3 (16,0)	252,7 (40,6)	259,3 (29,4)	260,3 (26,6)	241,2 (38,8)
N3	199,3 (14,4)	242,0 (29,1)	266,0 (27,0)	267,0 (30,5)	243,6 (36,2)
W - Média	201,8 (14,7)	241,4 (25,7)	254,8 (20,5)	257,9 (23,4)	

A4

	W1	W2	W3	W4	N - Média
N0	195,0 (1,7)	255,7 (1,5)	259,3 (3,2)	257,0 (1,0)	241,8 (28,3)
N1	225,3 (37,0)	264,0 (3,0)	273,0 (5,6)	275,7 (15,0)	259,5 (27,2)
N2	206,3 (21,1)	274,0 (15,7)	270,0 (20,5)	268,0 (16,1)	254,6 (33,2)
N3	201,7 (15,5)	265,0 (14,0)	278,0 (15,7)	272,7 (16,8)	254,3 (34,7)
W - Média	207,1 (22,6)	264,7 (11,3)	270,1 (13,4)	268,3 (13,9)	

A5

	W1	W2	W3	W4	N - Média
N0	140,3 (7,0)	223,0 (5,6)	249,7 (4,9)	257,7 (7,0)	217,7 (48,8)
N1	154,3 (11,0)	218,3 (7,8)	266,3 (6,1)	268,0 (5,6)	226,8 (48,9)
N2	159,7 (28,7)	233,0 (27,2)	275,0 (17,1)	271,0 (9,8)	234,7 (51,9)
N3	146,3 (28,2)	213,7 (15,7)	271,3 (11,2)	272,3 (15,7)	225,9 (56,4)
W - Média	150,2 (19,6)	222,0 (15,9)	265,6 (13,8)	267,3 (10,6)	

A6

	W1	W2	W3	W4	N - Média
N0	153,0 (5,3)	219,0 (17,3)	259,3 (2,1)	259,3 (2,1)	222,7 (46,1)
N1	152,0 (21,0)	213,7 (3,1)	265,3 (9,3)	265,0 (18,0)	224,0 (50,2)
N2	155,0 (32,5)	229,3 (24,5)	274,0 (19,3)	270,3 (14,6)	232,2 (53,9)
N3	158,7 (26,3)	230,0 (8,9)	269,3 (12,7)	273,0 (13,1)	232,8 (50,1)
W - Média	154,7 (20,3)	223,0 (15,3)	267,0 (12,1)	266,9 (12,6)	

A7

	W1	W2	W3	W4	N - Média
N0	169,3 (9,7)	239,0 (10,4)	252,0 (5,6)	251,0 (4,4)	227,8 (36,3)
N1	188,3 (4,2)	241,7 (14,5)	264,0 (6,0)	265,0 (7,5)	239,8 (33,4)
N2	184,7 (12,7)	255,3 (9,7)	275,0 (15,4)	270,0 (18,3)	246,3 (39,8)
N3	176,0 (17,3)	238,0 (4,4)	271,0 (9,8)	264,3 (10,7)	237,3 (40,4)
W - Média	179,6 (12,8)	243,5 (11,5)	265,5 (12,5)	262,6 (12,2)	

m.d.s. para comparações entre níveis de aplicação de azoto: 9,5 cm ($\alpha = 0,10$); 12,0 cm ($\alpha = 0,05$); 18,2 cm ($\alpha = 0,01$).

Matéria seca aérea total (tonha⁻¹)

A1

	W1	W2	W3	W4	N - Média
N0	0,30 (0,04)	0,30 (0,06)	0,29 (0,05)	0,34 (0,07)	0,31 (0,05)
N1	0,35 (0,08)	0,31 (0,13)	0,34 (0,01)	0,39 (0,08)	0,35 (0,08)
N2	0,40 (0,18)	0,38 (0,20)	0,46 (0,28)	0,32 (0,04)	0,39 (0,17)
N3	0,34 (0,14)	0,34 (0,08)	0,28 (0,06)	0,41 (0,04)	0,35 (0,10)
W - Média	0,35 (0,11)	0,33 (0,11)	0,34 (0,14)	0,37 (0,06)	

A2

	W1	W2	W3	W4	N - Média
N0	1,53 (0,23)	1,91 (0,40)	2,19 (0,30)	2,31 (0,24)	1,98 (0,40)
N1	2,01 (0,52)	1,81 (0,18)	2,45 (0,29)	2,32 (0,23)	2,15 (0,39)
N2	2,24 (0,78)	1,75 (0,40)	2,61 (0,74)	2,34 (0,20)	2,23 (0,59)
N3	2,06 (0,85)	1,89 (0,65)	2,51 (0,52)	2,48 (0,70)	2,24 (0,65)
W - Média	1,96 (0,61)	1,84 (0,38)	2,44 (0,46)	2,36 (0,35)	

A3

	W1	W2	W3	W4	N - Média
N0	7,06 (0,36)	6,61 (1,00)	7,08 (0,66)	8,08 (0,96)	7,19 (0,86)
N1	7,24 (1,32)	8,76 (1,51)	8,38 (1,14)	9,38 (2,00)	8,44 (1,53)
N2	7,52 (1,71)	7,35 (1,31)	7,85 (0,67)	8,23 (0,78)	7,74 (1,08)
N3	7,19 (1,54)	7,33 (1,28)	8,04 (1,15)	9,18 (1,28)	7,94 (1,40)
W - Média	7,25 (1,15)	7,51 (1,36)	7,83 (0,94)	8,71 (1,29)	

A4

	W1	W2	W3	W4	N - Média
N0	10,25 (1,23)	11,07 (1,11)	12,48 (2,41)	12,46 (0,79)	11,56 (1,63)
N1	9,24 (2,18)	13,99 (1,40)	14,19 (1,36)	14,24 (1,73)	12,91 (2,65)
N2	12,76 (1,93)	14,05 (0,43)	17,32 (2,22)	15,90 (3,45)	15,01 (2,66)
N3	11,60 (2,55)	15,27 (4,23)	16,75 (1,14)	15,31 (1,53)	14,73 (3,01)
W - Média	10,96 (2,22)	13,60 (2,54)	15,18 (2,60)	14,48 (2,26)	

m.d.s. para comparações entre níveis de aplicação de azoto: 1,75 tonha⁻¹ ($\alpha = 0,10$); 2,20 tonha⁻¹ ($\alpha = 0,05$); 3,33 tonha⁻¹ ($\alpha = 0,01$).

A5

	W1	W2	W3	W4	N - Média
N0	8,86 (0,69)	20,69 (2,44)	19,52 (2,14)	18,62 (4,13)	16,92 (5,42)
N1	11,45 (1,02)	23,77 (2,54)	22,28 (2,97)	25,02 (2,15)	20,63 (5,96)
N2	12,38 (3,64)	20,48 (3,91)	22,17 (2,48)	23,80 (1,47)	19,71 (5,26)
N3	11,80 (4,32)	20,11 (2,87)	23,40 (4,75)	23,72 (2,91)	19,76 (5,98)
W - Média	11,12 (2,84)	21,26 (2,98)	21,84 (3,14)	22,78 (3,53)	

A6

	W1	W2	W3	W4	N - Média
N0	12,02 (1,06)	18,74 (3,01)	25,13 (2,11)	23,50 (3,49)	19,84 (5,76)
N1	10,61 (1,22)	19,07 (3,72)	26,29 (2,46)	27,11 (1,67)	20,77 (7,26)
N2	11,81 (1,47)	14,40 (11,1)	26,06 (2,11)	29,07 (4,34)	20,34 (9,28)
N3	12,06 (2,56)	25,15 (1,18)	27,99 (2,91)	29,35 (1,26)	23,64 (7,38)
W - Média	11,63 (1,56)	19,34 (6,53)	26,37 (2,33)	27,26 (3,52)	

A7

	W1	W2	W3	W4	N - Média
N0	16,3 (2,2)	21,6 (6,4)	22,2 (7,8)	26,8 (1,1)	21,73 (5,86)
N1	18,7 (2,9)	30,3 (5,3)	29,0 (6,0)	29,5 (4,5)	26,86 (6,52)
N2	22,1 (8,3)	30,8 (5,0)	32,2 (8,3)	31,9 (2,5)	29,24 (7,04)
N3	20,7 (3,2)	25,5 (2,8)	28,8 (6,0)	28,7 (1,9)	25,90 (4,72)
W - Média	19,45 (4,69)	27,04 (5,93)	28,04 (7,12)	29,21 (3,06)	

m.d.s. para comparações entre níveis de aplicação de azoto: 2,36 tonha⁻¹ ($\alpha = 0,10$); 2,98 tonha⁻¹ ($\alpha = 0,05$); 4,51 tonha⁻¹ ($\alpha = 0,01$).

Índice de área foliar

A1

	W1	W2	W3	W4	N - Média
N0	0,82 (0,20)	0,67 (0,15)	0,67 (0,09)	0,82 (0,07)	0,75 (0,14)
N1	0,99 (0,46)	0,70 (0,23)	0,69 (0,10)	0,81 (0,25)	0,80 (0,28)
N2	0,85 (0,34)	0,78 (0,30)	0,95 (0,55)	0,71 (0,05)	0,82 (0,32)
N3	0,77 (0,24)	0,78 (0,15)	0,62 (0,09)	0,92 (0,09)	0,77 (0,17)
W - Média	0,86 (0,29)	0,73 (0,19)	0,73 (0,28)	0,82 (0,14)	

A2

	W1	W2	W3	W4	N - Média
N0	1,86 (0,32)	2,22 (0,17)	2,65 (0,14)	2,65 (0,03)	2,35 (0,38)
N1	2,25 (0,36)	2,20 (0,09)	2,79 (0,07)	2,63 (0,12)	2,47 (0,31)
N2	2,52 (0,49)	2,05 (0,12)	2,94 (0,60)	2,58 (0,26)	2,52 (0,48)
N3	2,44 (0,68)	2,24 (0,71)	2,83 (0,41)	2,75 (0,55)	2,56 (0,57)
W - Média	2,27 (0,49)	2,18 (0,33)	2,80 (0,33)	2,65 (0,27)	

A3

	W1	W2	W3	W4	N - Média
N0	4,83 (0,21)	4,64 (0,53)	4,89 (0,18)	5,21 (0,37)	4,89 (0,37)
N1	4,96 (0,59)	5,20 (0,23)	5,25 (0,13)	5,66 (0,67)	5,26 (0,48)
N2	5,03 (0,79)	4,79 (0,55)	5,23 (0,48)	5,32 (0,38)	5,09 (0,53)
N3	4,78 (0,61)	5,06 (0,55)	5,57 (0,57)	5,74 (0,52)	5,29 (0,63)
W - Média	4,90 (0,51)	4,92 (0,47)	5,24 (0,41)	5,48 (0,48)	

A4

	W1	W2	W3	W4	N - Média
N0	3,47 (0,39)	3,90 (0,09)	3,58 (0,54)	4,04 (0,07)	3,74 (0,37)
N1	4,06 (0,65)	4,73 (0,44)	4,75 (0,61)	4,67 (0,24)	4,55 (0,53)
N2	4,52 (0,41)	4,47 (0,29)	4,98 (0,77)	4,63 (0,98)	4,65 (0,61)
N3	4,23 (0,61)	4,78 (0,88)	4,94 (0,42)	4,74 (0,41)	4,67 (0,59)
W - Média	4,07 (0,60)	4,47 (0,57)	4,56 (0,79)	4,52 (0,55)	

m.d.s. para comparações entre níveis de aplicação de azoto: 0,46 ($\alpha = 0,10$); 0,58 ($\alpha = 0,05$); 0,87 ($\alpha = 0,01$).

A5

	W1	W2	W3	W4	N - Média
N0	3,14 (0,19)	3,89 (0,64)	4,03 (0,38)	3,67 (0,62)	3,68 (0,55)
N1	2,69 (0,74)	4,46 (0,16)	4,24 (0,29)	4,39 (0,19)	3,95 (0,84)
N2	2,73 (0,34)	4,25 (0,67)	4,40 (0,70)	4,78 (0,30)	4,04 (0,93)
N3	3,34 (0,36)	4,16 (0,96)	4,32 (0,57)	4,66 (0,60)	4,12 (0,75)
W - Média	2,98 (0,48)	4,19 (0,61)	4,25 (0,46)	4,38 (0,60)	

A6

	W1	W2	W3	W4	N - Média
N0	1,64 (1,09)	2,86 (0,16)	3,00 (0,63)	3,23 (0,64)	2,68 (0,88)
N1	0,96 (1,40)	3,35 (0,17)	3,51 (0,67)	3,80 (0,57)	2,90 (1,38)
N2	2,15 (1,88)	3,92 (0,46)	4,20 (0,18)	4,07 (0,44)	3,59 (1,22)
N3	2,08 (1,28)	4,12 (0,16)	3,56 (1,10)	4,12 (0,43)	3,47 (1,15)
W - Média	1,71 (1,33)	3,56 (0,56)	3,57 (0,76)	3,80 (0,58)	

m.d.s. para comparações entre níveis de aplicação de azoto: 0,53 ($\alpha = 0,10$); 0,67 ($\alpha = 0,05$); 1,02 ($\alpha = 0,01$).

A7

	W1	W2	W3	W4	N - Média
N0	0,26 (0,27)	1,24 (0,22)	1,87 (0,35)	2,18 (0,35)	1,38 (0,81)
N1	0,29 (0,27)	1,28 (0,37)	1,32 (0,19)	2,10 (0,22)	1,25 (0,71)
N2	0,78 (0,70)	1,40 (0,47)	1,69 (0,47)	1,65 (0,79)	1,38 (0,65)
N3	1,08 (0,80)	1,62 (0,33)	1,14 (0,63)	1,77 (0,86)	1,40 (0,66)
W - Média	0,60 (0,60)	1,38 (0,34)	1,51 (0,48)	1,92 (0,57)	

Análises foliares:**Teor de azoto (%)****Aaf1**

	W1	W2	W3	W4	N - Média
N0	3,51 (0,31)	3,73 (0,65)	3,20 (0,58)	3,18 (0,57)	3,40 (0,52)
N1	3,67 (0,29)	3,40 (0,46)	3,44 (0,37)	3,61 (0,60)	3,53 (0,39)
N2	3,46 (0,61)	3,47 (0,67)	2,84 (0,77)	3,64 (0,40)	3,35 (0,60)
N3	3,70 (0,27)	3,73 (0,54)	3,83 (0,70)	3,97 (0,60)	3,81 (0,48)
W - Média	3,59 (0,35)	3,58 (0,52)	3,33 (0,63)	3,60 (0,55)	

Aaf2

	W1	W2	W3	W4	N - Média
N0	2,54 (0,22)	2,49 (0,28)	2,33 (0,17)	2,67 (0,49)	2,51 (0,29)
N1	2,69 (0,15)	3,62 (0,13)	3,61 (0,10)	3,21 (0,42)	3,28 (0,45)
N2	2,86 (0,04)	3,62 (0,15)	3,04 (0,74)	3,59 (0,06)	3,27 (0,47)
N3	3,08 (0,42)	3,74 (0,21)	3,71 (0,06)	3,68 (0,10)	3,55 (0,35)
W - Média	2,79 (0,30)	3,37 (0,56)	3,17 (0,66)	3,29 (0,50)	

m.d.s. para comparações entre níveis de aplicação de azoto: 0,27 % ($\alpha = 0,10$); 0,35 % ($\alpha = 0,05$); 0,52 % ($\alpha = 0,01$).

Aaf3

	W1	W2	W3	W4	N - Média
N0	0,96 (0,31)	0,74 (0,18)	0,94 (0,25)	0,96 (0,21)	0,90 (0,23)
N1	1,12 (0,34)	1,23 (0,10)	1,18 (0,04)	1,34 (0,05)	1,22 (0,17)
N2	1,01 (0,28)	1,37 (0,14)	1,30 (0,13)	1,30 (0,05)	1,25 (0,21)
N3	1,19 (0,42)	1,29 (0,06)	1,42 (0,19)	1,34 (0,11)	1,31 (0,22)
W - Média	1,07 (0,31)	1,16 (0,28)	1,21 (0,24)	1,24 (0,20)	

m.d.s. para comparações entre níveis de aplicação de azoto: 0,10 % ($\alpha = 0,10$); 0,12 % ($\alpha = 0,05$); 0,18 % ($\alpha = 0,01$).

Teor de fósforo (%)**Aaf1**

	W1	W2	W3	W4	N - Média
N0	0,28 (0,03)	0,37 (0,05)	0,37 (0,02)	0,41 (0,04)	0,36 (0,06)
N1	0,28 (0,03)	0,34 (0,04)	0,34 (0,03)	0,42 (0,00)	0,35 (0,06)
N2	0,28 (0,06)	0,33 (0,02)	0,36 (0,08)	0,45 (0,03)	0,36 (0,08)
N3	0,30 (0,04)	0,34 (0,02)	0,38 (0,04)	0,45 (0,05)	0,37 (0,06)
W - Média	0,29 (0,04)	0,35 (0,03)	0,36 (0,04)	0,43 (0,03)	

Aaf2

	W1	W2	W3	W4	N - Média
N0	0,23 (0,03)	0,27 (0,05)	0,27 (0,03)	0,30 (0,06)	0,268 (0,04)
N1	0,27 (0,03)	0,33 (0,04)	0,32 (0,02)	0,30 (0,05)	0,307 (0,04)
N2	0,25 (0,06)	0,34 (0,06)	0,31 (0,01)	0,33 (0,03)	0,308 (0,05)
N3	0,25 (0,02)	0,30 (0,02)	0,32 (0,02)	0,32 (0,03)	0,298 (0,04)
W - Média	0,25 (0,03)	0,31 (0,05)	0,31 (0,03)	0,31 (0,04)	

m.d.s. para comparações entre níveis de aplicação de azoto: 0,019 % ($\alpha = 0,10$); 0,024 % ($\alpha = 0,05$); 0,037 % ($\alpha = 0,01$).

Aaf3

	W1	W2	W3	W4	N - Média
N0	0,11 (0,04)	0,28 (0,01)	0,28 (0,02)	0,36 (0,08)	0,26 (0,10)
N1	0,11 (0,08)	0,16 (0,10)	0,18 (0,12)	0,23 (0,11)	0,17 (0,10)
N2	0,10 (0,06)	0,18 (0,02)	0,17 (0,07)	0,18 (0,02)	0,16 (0,05)
N3	0,11 (0,06)	0,13 (0,03)	0,15 (0,04)	0,16 (0,03)	0,14 (0,04)
W - Média	0,11 (0,05)	0,19 (0,07)	0,20 (0,08)	0,23 (0,10)	

m.d.s. para comparações entre níveis de aplicação de azoto: 0,07 % ($\alpha = 0,10$); 0,09 % ($\alpha = 0,05$); 0,13 % ($\alpha = 0,01$).

Teor de potássio (%)**Aaf1**

	W1	W2	W3	W4	N - Média
N0	3,80 (0,35)	4,03 (0,27)	4,25 (0,21)	4,56 (0,24)	4,16 (0,37)
N1	3,83 (0,08)	3,78 (0,16)	4,05 (0,14)	4,27 (0,14)	3,98 (0,23)
N2	3,78 (0,13)	3,79 (0,01)	3,91 (0,36)	4,63 (0,16)	4,03 (0,41)
N3	3,95 (0,37)	3,79 (0,24)	4,23 (0,13)	4,43 (0,43)	4,10 (0,37)
W - Média	3,84 (0,24)	3,85 (0,20)	4,11 (0,24)	4,47 (0,27)	

Aaf2

	W1	W2	W3	W4	N - Média
N0	2,35 (0,12)	1,63 (0,24)	1,92 (0,20)	1,91 (0,24)	1,95 (0,32)
N1	2,15 (0,39)	1,63 (0,24)	1,68 (0,08)	1,71 (0,15)	1,79 (0,30)
N2	1,71 (0,08)	1,69 (0,06)	1,65 (0,10)	1,59 (0,14)	1,66 (0,10)
N3	1,94 (0,32)	1,61 (0,12)	1,66 (0,16)	1,70 (0,42)	1,73 (0,27)
W - Média	2,04 (0,33)	1,64 (0,16)	1,73 (0,17)	1,73 (0,25)	

m.d.s. para comparações entre níveis de aplicação de azoto: 0,15 % ($\alpha = 0,10$); 0,18 % ($\alpha = 0,05$); 0,28 % ($\alpha = 0,01$).

Aaf3

	W1	W2	W3	W4	N - Média
N0	0,68 (0,03)	0,61 (0,14)	0,74 (0,10)	0,80 (0,18)	0,71 (0,13)
N1	0,59 (0,16)	0,76 (0,07)	0,88 (0,21)	0,96 (0,22)	0,80 (0,21)
N2	0,92 (0,32)	0,87 (0,13)	1,00 (0,28)	0,91 (0,23)	0,93 (0,22)
N3	0,88 (0,16)	0,83 (0,23)	0,91 (0,18)	0,79 (0,13)	0,85 (0,16)
W - Média	0,77 (0,22)	0,77 (0,17)	0,89 (0,20)	0,87 (0,18)	

Proteína (%)

	W1	W2	W3	W4	N - Média
N0	14,1 (3,2)	10,5 (0,8)	9,1 (0,4)	10,2 (1,3)	11,0 (2,5)
N1	16,5 (2,8)	12,7 (1,2)	12,2 (0,5)	11,0 (1,6)	13,1 (2,6)
N2	16,4 (1,9)	12,6 (0,5)	11,6 (1,9)	12,4 (1,8)	13,2 (2,4)
N3	15,0 (2,8)	12,4 (0,5)	13,6 (0,7)	13,9 (1,1)	13,7 (1,7)
W - Média	15,5 (2,6)	12,0 (1,2)	11,6 (2,0)	11,9 (1,9)	

m.d.s. para comparações entre níveis de aplicação de azoto: 1,6 % ($\alpha = 0,10$); 2,0 % ($\alpha = 0,05$); 3,0 % ($\alpha = 0,01$).

Índice de colheita

	W1	W2	W3	W4	N - Média
N0	0,48 (0,05)	0,78 (0,19)	0,63 (0,08)	0,70 (0,14)	0,65 (0,15)
N1	0,76 (0,43)	0,92 (0,11)	0,85 (0,13)	0,97 (0,04)	0,88 (0,22)
N2	0,67 (0,25)	1,08 (0,09)	0,95 (0,01)	1,09 (0,10)	0,95 (0,21)
N3	0,63 (0,10)	1,06 (0,21)	1,09 (0,20)	1,07 (0,15)	0,96 (0,25)
W - Média	0,64 (0,24)	0,96 (0,19)	0,88 (0,20)	0,96 (0,19)	

m.d.s. para comparações entre níveis de aplicação de azoto: 0,10 ($\alpha = 0,10$); 0,12 ($\alpha = 0,05$); 0,19 ($\alpha = 0,01$).

Eficiência de uso de água relativa ao grão (tonha⁻¹mm⁻¹)

	W1	W2	W3	W4	N - Média
N0	0,051 (0,022)	0,027 (0,008)	0,014 (0,002)	0,009 (0,003)	0,025 (0,020)
N1	0,058 (0,011)	0,042 (0,006)	0,022 (0,007)	0,014 (0,003)	0,034 (0,020)
N2	0,076 (0,040)	0,046 (0,007)	0,025 (0,005)	0,016 (0,003)	0,041 (0,030)
N3	0,058 (0,045)	0,045 (0,012)	0,025 (0,006)	0,074 (0,106)	0,051 (0,053)
W - Média	0,061 (0,029)	0,040 (0,011)	0,021 (0,001)	0,030 (0,053)	

Eficiência de uso de água relativa à matéria seca aérea (tonha⁻¹mm⁻¹)

	W1	W2	W3	W4	N - Média
N0	0,0104 (0,0039)	0,0034 (0,0004)	0,0022 (0,0006)	0,0014 (0,0003)	0,0044 (0,0041)
N1	0,0090 (0,0038)	0,0045 (0,0002)	0,0025 (0,0005)	0,0014 (0,0002)	0,0044 (0,0034)
N2	0,0107 (0,0026)	0,0043 (0,0004)	0,0026 (0,0005)	0,0015 (0,0004)	0,0048 (0,0039)
N3	0,0118 (0,0022)	0,0043 (0,0009)	0,0023 (0,0007)	0,0014 (0,0003)	0,0049 (0,0044)
W - Média	0,0105 (0,0029)	0,0041 (0,0006)	0,0024 (0,0005)	0,0014 (0,0003)	