O AUMENTO DA RENTABILIDADE DO MILHO NO MINHO: EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA E REDUÇÃO DOS CUSTOS ASSOCIADOS À REGA E À FERTILIZAÇÃO

YIELD INCREASE IN MAIZE PRODUCTION IN THE MINHO REGION: WATER USE EFFICIENCY AND COST REDUCTION RELATED TO IRRIGATION AND FERTILIZATION

Jorge Manuel Ferreira da Silva Agostinho¹

RESUMO

No Minho, a rega e a fertilização têm um peso importante (44 a 57%) nos custos da actividade milho. A simulação do balanço hídrico do solo e da equação simplificada do balanco de N aumentaram a rentabilidade do milho (menos 36% de N de fertilização) e minimizaram os fluxos de lixiviação. A rega gota-a-gota aumentou a eficiência média do uso da água (66% para a rega tradicional e 43% para a aspersão). A fita gotejadora sem bombagem obteve uma uniformidade de rega de 87% e 45% de área molhada. Até 0,75 hectares, o sistema de rega mais rentável é a fita gotejadora sem bombagem (por gravidade). A partir de 0,75 hectares é mais rentável a aspersão com "canhão" amovível. A máquina-enroladora só é mais rentável que a fita gotejadora sem bombagem a partir de 1,8 hectares. A partir de 3,5 hectares é indiferente a adopção da máquina-enroladora e do "canhão" amovível.

Palavras-chave: Eficiência, fertilização, milho, rega, rentabilidade.

Recepção/Reception: 2009.08.12 Aceitação/Acception: 2010.10.20

ABSTRACT

In the Minho region, the irrigation and the fertilization are the most important production factors (44 to 57% of the total cost) in the maize. Soil water balance simulation and the simplified equation of the N balance have increased maize profitability (less 36% of N fertilization) and minimized the leaching flows. The use of drip irrigation increased the average efficiency of water use (66% for traditional irrigation and 43% for the aspersion methods). The drip tape without pumping led to a uniformity of irrigation of 87% and 45% of wet area. Up to 0,75 hectares, the most cost efficient irrigation system is the drip tape without pumping (by gravity). From 0,75 hectares, the aspersion with portable rain-gun is more cost efficient. From 1.8 hectares, the hose-reel machine alone is more cost efficient than the drip tape without pumping. From 3,5 hectares, the adoption of the hose-reel machine and the portable rain--gun is indifferent.

Keywords: Efficiency, fertilization, irrigation, maize, profitability.

INTRODUÇÃO

O milho é a cultura regada mais importante na região do Entre Douro e Minho. A Superfície Agrícola Útil (SAU) média por exploração era, em 1989, de 2,6 hectares e, em 1999, de 3,2 hectares (Instituto Nacional

¹ Instituto Politécnico de Viana do Castelo Escola Superior Agrária de Ponte de Lima Refóios do Lima 4990-706 Ponte de Lima, Portugal. E-mail: jorgeagostinho@esa.ipvc.pt

de Estatística, 1989, 2000), sendo cerca de metade ocupada com culturas arvenses.

Num contexto de economia global, o aumento da rentabilidade do milho é importante para a agricultura da região. O aumento de rentabilidade é possível com a redução dos custos da fertilização (Direcção Regional de Agricultura e Pescas do Centro, 2009; Instituto Nacional de Investigação Agrária, 2005a,b) e da rega, os quais correspondem a mais de metade dos custos totais de operação.

A associação de métodos de fertilização racional e de programação da rega conduzem à minimização dos impactos ambientais decorrentes da actividade agrícola (Instituto Nacional de Investigação Agrária, 2005a,b). O planeamento da fertilização deve induzir o aumento da eficiência de extracção de N reduzindo a probabilidade de contaminação das águas subterrâneas e superficiais através da lixiviação e do escoamento superficial (Agostinho, 2006). O planeamento da rega deve induzir o aumento da eficiência do uso da água dada a relevância dos consumos na agricultura (60 a 70% dos usos consumptivos). O aumento da eficiência da evapotranspiração da cultura conduz a maior produtividade e à redução da lixiviação e dos custos de energia na bombagem.

No Minho, em zonas de montanha, o milho é regado à *leira* (pequena faixa regada por escoamento superficial), a partir dos *regadios tradicionais*. Nas zonas mais planas do litoral, onde as produtividades são mais elevadas, o milho é regado, normalmente, por aspersão: aspersor de alta pressão (*canhão*) amovível e ramais móveis em aço ou PVC ou máquina-enroladora com *canhão* de rega instalado em *charriot* de pneumáticos ou enrolamento por cabo (Agostinho e Rodrigues, 2008).

Em Abril de 2005, devido à seca, iniciouse um fórum de discussão sobre eficiência do uso da água na agricultura num Seminário sobre rega do milho, promovido pela Associação de Jovens Agricultores de Portugal (AJAP), em Vila do Conde. O Autor ponderou a possibilidade do uso da rega gota-a-gota na rega do milho e referiu a necessidade de

estudos comparativos sobre a rentabilidade dos sistemas de rega na região.

Os objectivos deste trabalho foram os seguintes: i) implementar métodos práticos de planeamento da rega e de fertilização azotada em milho regado por aspersão e por gota-a-gota; ii) obter maior eficiência do uso da água e de extracção de N e, consequentemente, optimizar a produção e reduzir a contaminação das águas subterrâneas; iii) avaliar e comparar os custos associados à rega e à fertilização azotada do milho, no Minho; iv) determinar os "limiares de rentabilidade" do milho com base nos sistemas de rega da região; v) avaliar o desempenho da rega gota-a-gota no milho.

MATERIAL E MÉTODOS

Unidades Experimentais

Em 2007, a experimentação decorreu na Escola Superior Agrária de Ponte de Lima (ESAPL), em duas parcelas contíguas: parcela A (1,8 hectares e declive de 1 %) e parcela B (1,5 hectares e declive de 1,2%). Os solos, do tipo *Cambissolos dísticos pardacentos*, apresentam uma textura franco-arenosa e as seguintes características físicas na camada de 0,0 a 0,60 m: densidade aparente de 1,37 e valores de humidade de 0,326 m³ m⁻³ (0,010 MPa), 0,246 m³ m⁻³ (0,033MPa) e 0,107 m³ m⁻³ (1,5 MPa).

A parcela A foi regada por aspersão com máquina-enroladora e um grupo electrobomba de 13 kW.

A parcela B foi regada com fita gotejadora de 8 micrómetros de espessura, com gotejadores integrados à distância de 0,30 m e caudal nominal de 2,6 L h⁻¹. A partir de um tanque a oito metros de desnível, a rega fez-se por gravidade, sem recurso a bombagem. Na filtragem da água utilizou-se um filtro rudimentar de areia, junto à descarga de fundo do tanque, e um filtro de placas de 2", junto da parcela de rega. Com três sectores, a rega efectuou-se através da abertura e fecho manual de válvulas de esfera.

Em 2008, mantiveram-se as unidades experimentais na ESAPL e introduziu-se a parcela de um agricultor (parcela C), situada a cerca de um quilómetro, na margem direita do rio Lima. A rega fez-se de modo tradicional por *leiras*.

Utilizaram-se sementes de milho híbridas da DEKALB-MONSANTO. Em 2007, utilizaram-se variedades de milho-silagem (FAO 500 e FAO 600) e em 2008, variedades de milho-grão (FAO 400) e milho-silagem (FAO 500 e 600).

Planeamento da fertilização

As necessidades de fertilização azotada basearam-se na equação do balanço de azoto do solo simplificada atendendo às características de cada rotação cultural e modificada com a introdução do conceito de margem de segurança, que atende à eficiência de utilização do azoto, e que inclui a lixiviação, a volatilização e o N residual.

A equação de fertilização azotada (EFA) (Agostinho e Fernando, 2005a; Agostinho, 2006) tem a forma

$$F = N + MS - (S_1 + S_2 + A_1 + A_2 + R)$$
[1]

onde F representa o azoto a fornecer através da fertilização, N são as necessidades da cultura em azoto para um determinado nível de produção, S1 é o azoto resultante da mineralização da matéria orgânica (húmus) do solo, S, é o azoto disponível no solo (azoto mineral) à data da instalação da cultura, A, é o azoto fornecido através da água da chuva, A, é o azoto fornecido através da água de rega e R é o azoto proveniente dos resíduos das culturas precedentes. O termo MS representa uma margem de segurança para a produção, que considera a eficiência de extracção de azoto pela cultura, devido nomeadamente à lixiviação do azoto das camadas de solo com raízes, à volatilização do azoto e ao azoto do solo que, não estando junto às raízes, não é extraído pela cultura. Para garantir um determinado nível de extracção é necessário que exista no solo um nível mínimo de N, superior ao potencialmente extraído pela cultura.

Com base na EFA foram desenvolvidas equações para diversos sistemas culturais (Agostinho e Fernando, 2005a; Agostinho, 2006). Para o milho, a equação de fertilização azotada tem a forma

$$F = N/0.95 - [(0.082 \text{ x } \%\text{MO x D}) + (8.22 \text{ x N}_{\text{disp}} \text{ x D/C}) + (0.0219 \text{ x D}) + (0.00226 \text{ x T x V})]$$

[2]

A aplicação da EFA implica a medição obrigatória do azoto mineral na zona radicular ($N_{\rm disp}$) e do nitrato da água de rega (T), antes da instalação da cultura. Outros parâmetros necessários são o teor de matéria orgânica do solo (MO), o número de dias entre adubações consecutivas (D), o número de dias médio do ciclo cultural (C) e o volume de água de rega (V) no período D.

Para o caso do fósforo, potássio e magnésio, adoptou-se a metodologia do Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva (2000): eleição de "índices de fertilidade" com base nos resultados analíticos do solo, antes da instalação da cultura.

Planeamento da rega

A metodologia baseou-se na aplicação do *balanço hídrico do solo* (BHS), simulado pelo modelo ISAREG (Teixeira, 1991), em condições meteorológicas de ano-médio.

A evapotranspiração da cultura (ETc) foi calculada pela metodologia da FAO (Allen et al., 1998). A evapotranspiração de referência (ETo), para a região, foi obtida com o modelo EVAPOT (Teixeira, 1994) que utiliza a fórmula de Penman-Montheith (Allen et al., 1994). Utilizou-se uma série de dados meteorológicos de 30 anos (1952-1982) de Viana do Castelo. Os parâmetros da cultura, a duração média das fases fenológicas e os coeficientes culturais (Kc) (Doorenbos e Pruitt, 1977) do milho forragem, aferidos à

região, foram obtidos de Agostinho *et al.*, (2004).

Atendendo a preocupações de ordem prática, de modo a viabilizar o método pelos agricultores e técnicos, a simulação do BHS (Figura 1) (Agostinho e Fernando, 2005b; Agostinho, 2006), pelo modelo ISAREG, foi desenvolvida com as seguintes condições prévias: i) adoptar uma dotação de rega constante para manter, no tempo, as mesmas condições de funcionamento do equipamento (diâmetro do "bico" do aspersor, tempo de rega e velocidade de enrolamento constantes); ii) adoptar o mesmo intervalo de tempo entre regas para o plano ser fácil de implementar; iii) manter a humidade do solo dentro da reserva de água facilmente utilizável (RFU) e abaixo da capacidade de campo, para garantir o armazenamento, no solo, de chuvadas ocasionais e minimizar fluxos de lixiviação.

No Alto Minho, em ano-médio, as necessidades úteis de rega do milho são de 208 mm (8 regas de 26 mm cada), com a primeira rega a ocorrer próximo de 10 de Julho. O intervalo entre regas é de uma semana. O controlo da precipitação é feito através de um udómetro colocado na parcela: sempre que o volume acumulado de precipitação semanal se aproxime ou ultrapasse o valor da dotação (26 mm) não se realiza a rega prevista.

Análise económica

Sistemas de rega

Considerando uma "parcela de referência" de milho com um hectare (100 m x 100 m) pretendeu-se saber: i) quais as modalidades de aspersão mais adaptáveis à parcela ii) qual o desenho hidráulico mais apropriado, em termos de custos de investimento, para a rega gota-a-gota.

Na rega por aspersão considerou-se as modalidades mais utilizadas na região: "canhão" de rega amovível e a máquina-enroladora.

Para o "canhão" amovível, o modelo a seleccionar tinha que cumprir duas condições: i) originar o menor número de posições de rega (menos custos de mão-de-obra); ii) garantir uma boa uniformidade de rega. Para uma pressão de 196 kPa, estudaram-se dois modelos de alcance (raio molhado) variável (adaptado de Nova Rocha, Sistemas de Rega, Lda.): aspersor Ranger, diâmetro do bico de 24 mm e alcance de 33 m; aspersor Synkro, diâmetro do bico de 16 mm e alcance de 27 m. Com uma sobreposição do jacto de 20%, o modelo Ranger, de maior alcance, não se adaptou à "parcela de referência": os desenhos hidráulicos (esquemas das posições rega), com as sobreposições dos círculos molhados, evidenciaram falta de uniformidade

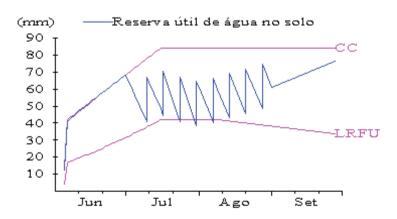
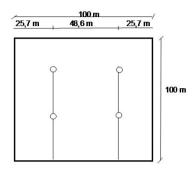


Figura 1 - Balanço hídrico do solo do milho forragem, no Alto Minho, em ano-médio. (CC – capacidade de campo; LRFU – limite da reserva facilmente utilizável do solo).



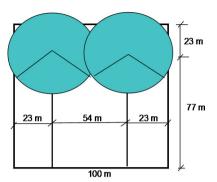


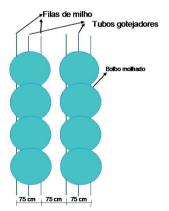
Figura 2 - Esquemas de rega com o modelo B (aspersor Synkro) e máquina-enroladora (modelo CONFORT) na "parcela de referência".

de rega nas zonas periféricas da parcela. O aspersor Synkro adaptou-se à "parcela de referência" com quatro posições de rega e boa uniformidade (Figura 2).

Para a máquina-enroladora seleccionou-se um modelo adaptável à dimensão média das explorações agrícolas da região: modelo CONFORT, equipado com tubagem em polietileno de alta densidade (diâmetro de 50 mm e comprimento de 160 m), enrolamento por turbina hidráulica e aspersor de alta pressão HIDRA (16,5 mm de diâmetro do "bico", pressão de 392 kPa e alcance de 30 m), montado sobre um *charriot* de pneumáticos. O esquema de rega (Figura 2) admite duas posições e uma sobreposição do raio molhado de 20%.

Para a rega gota-a-gota estudaram-se duas alternativas em função da durabilidade do material: i) tubo gotejador em polietileno (10 anos de vida útil); ii) fita gotejadora (4 anos de vida útil). Para garantir uma uniformidade de rega aceitável e uma densidade de gotejadores economicamente viável, o desenho hidráulico considerou a solução de um ramal por cada duas filas de milho, resultando em 67 ramais de rega por hectare. Após a sua implementação no terreno, procedeu-se à avaliação de desempenho do sistema de rega.

Sendo os solos dominantes, na região, de textura média (*Cambissolos* e *Regossolos*), gotejadores de 4 L h⁻¹, integrados *in-line* à distância de 0,75 m, permitem um diâmetro



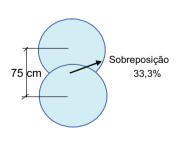


Figura 3 - Desenho hidráulico no milho com tubo gotejador.

húmido teórico de 1 metro (Keller e Karmeli, 1974; Keller e Bliesner, 1990), à profundidade de 0,60 m (camada de solo com 85% da densidade radical do milho). O desenho hidráulico proposto (Figura 3) permite obter uma sobreposição dos bolbos húmidos de cerca de 33%, 1,125 m² gotejador ¹¹ e uma densidade de 8890 gotejadores ha⁻¹.

A fita gotejadora de 8 micrómetros de espessura, caudal nominal de 2,6 L h⁻¹ e uma distância de gotejamento de 0,30 metros, na linha, permite uma maior sobreposição dos bolbos. A densidade é de 22200 gotejadores ha⁻¹.

O desenho hidráulico, na "parcela de referência", considerou cinco sectores de rega para reduzir a potência do grupo de bombagem.

Análise de custos

A análise de custos considerou os seguintes sistemas de rega: i) *canhão* amovível (sistema A); ii) máquina-enroladora (sistema B); iii) tubo gotejador em PEBD (sistema C); iv) fita gotejadora (8 micrómetros) sem bombagem (por gravidade) (sistema D); v) fita gotejadora (8 micrómetros) com bombagem (sistema E); vi) rega tradicional por escoamento superficial ("leira") (sistema F).

Os Custos Variáveis (CV) foram subdivididos em Custos Energéticos (CEner), Custos com Operações Mecanizadas (COpMec) e Custos com Operações Manuais (COpMan). Os Custos Fixos (CF) foram calculados como Custos de Amortização do Sistema de Rega (AmortSR). Com estes valores obtiveram-se os Custos Totais (CT), por hectare, para cada sistema de rega.

Contas de cultura

Com base nas Unidades Experimentais, foram analisadas as "contas de cultura" referentes aos seguintes sistemas agrícolas: i) milho-grão regado com máquina-enroladora; ii) milho-grão regado com fita gotejadora e sem bombagem; iii) milho-grão com rega tradicional por "leira"; iv) milho-silagem

regado com máquina enroladora; v) milho-silagem regado com fita gotejadora e sem bombagem.

Para cada sistema cultural avaliaram-se os CF (amortização) e os CV anuais de todas as operações culturais. Não se consideraram quaisquer subsídios ou rendas.

Os valores das produções foram obtidos com base nas produtividades médias de cada sistema cultural e nos preços médios do ano. Avaliou-se os "resultados da actividade" através do balanço das produções obtidas e dos custos totais.

Limiares de rentabilidade

No caso concreto, o objectivo foi avaliar os "limiares de rentabilidade" (Avilez, 1987), para os diferentes sistemas de rega na região, nomeadamente a introdução da rega gota-a-gota.

As "curvas de rentabilidade", para cada sistema de produção, foram definidas com base no valor dos custos totais unitários por área com a operação "rega". A evolução diferencial dos custos fixos e dos custos variáveis de cada sistema de rega faz com que a solução mais vantajosa seja distinta em função da área cultivada

Desempenho do sistema de rega gota-a-gota

O desempenho do sistema de rega foi avaliado através dos seguintes parâmetros: i) Coeficiente de Uniformidade (CUV) (Merriam e Keller, 1978); ii) sobreposição dos bolbos húmidos; iii) percentagem de área molhada.

Em 2007, foram seleccionados quatro ramais de rega: o primeiro ramal posicionado logo ao início do porta-ramais, o segundo ramal a 1/3 de distância, o terceiro ramal a 2/3 de distância e o quarto ramal no final do porta-ramais. Em cada ramal foram seleccionados quatro gotejadores para medição de caudais: o primeiro gotejador estava posicionado logo ao início, o segundo, a 1/3 de distância, o terceiro, a 2/3 de distância e

o quarto, no final do ramal de rega. Ao todo foram seleccionados dezasseis gotejadores. Calculou-se o CUV através da expressão [3], onde \mathbf{q}_{min} representa o caudal mínimo e \mathbf{q}_{med} , o caudal médio.

CUV (%) =
$$(q_{min}/q_{med}) \times 100$$
 [3]

Em 2008, no sector 3, houve que substituir a fita gotejadora (P1 8 mil/ 0,30 m/ 2,6 L h⁻¹) devido a danos provocados por ratos. A substituição fez-se com fita perfurada. A avaliação de desempenho do sistema de rega foi efectuada nos sectores 1 e 3.

A expansão do bolbo húmido está dependente da textura do solo, do caudal dos gotejadores e do tempo de rega. A sua avaliação, em 2007, fez-se com medições do teor de humidade do solo, antes e depois da rega, pelo método gravimétrico: junto ao ramal de rega, entre gotejadores (local A); na entrelinha, às seguintes distâncias do gotejador: 0,15 m - local B; 0,30 m - local C; 0,45 m - local D; 0,60 m - local E; 0,75 m - local F. Em cada local mediu-se o teor de humidade nas camadas de solo: 0-0,15 m; 0,15-0,30 m; 0,30-0,45 m; 0,45-0,60 m.

Em 2008, a análise do bolbo húmido fez-se com tensiómetros (Tens) mecânicos: junto ao ramal de rega, entre gotejadores, e à profundidade de 0,20 m (Tens A); na entrelinha, às seguintes distâncias do gotejador: 0,15 m e profundidade de 0,20 m - Tens B; 0,30 m e à profundidade de 0,30 m - Tens C; 0,40 m e profundidade de 0,40 m - Tens D; 0,60 m e à profundidade de 0,50 m - Tens E; 0,75 m e à profundidade de 0,60 m - Tens F.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fertilização da cultura

Em 2007, a aplicação da EFA [2] considerou 328 kg N ha-1 como necessidades de azoto da cultura (N) (Agostinho e Fernando, 2005a; Agostinho, 2006), 20 mg kg-1 de N mineral na camada radical (N_{disp}) antes da sementeira, 3,3 % de matéria orgânica do solo, 5 mg L⁻¹ de nitrato na água de rega (T) e 208 mm de volume de rega (V) resultante do balanço hídrico do solo. Como se fez uma única adubação à cultura (adubação de fundo), o parâmetro D (número de dias entre adubações consecutivas) foi de 119 dias correspondentes à duração média do ciclo cultural (C). Em 2008, os parâmetros foram idênticos com excepção da matéria orgânica (2,35%) e do nitrato na água de rega (2 mg L-1).

Nos dois anos de experimentação aplicou-se o N em adubação de fundo, utilizando o adubo ENTEC com *inibidores da nitrifica-ção*. Os Quadros 1 e 2 mostram as necessidades de fertilização.

Para a área de 3,3 hectares aplicaram-se 2567 kg de ENTEC (18:8:13) correspondendo a 140 kg N ha⁻¹, 62 kg de P_2O_5 ha⁻¹ e 101 kg K₂O ha⁻¹.

Em 2008, as quantidades de nutrientes e de adubos aplicados, por parcela, mostram-se nos Quadros 2 e 3.

Em 2007, a sementeira fez-se a 13 de Maio e, em 2008, a 16 de Maio.

A fertilização aplicada pelo agricultor (parcela C) mostra-se no Quadro 4.

Em 2007, a metodologia EFA permitiu reduzir 150 kg N ha⁻¹ (-51,7%) em relação

Quadro 1 - Parâmetros analíticos do solo e necessidades de fertilização em 2007.

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Parâmetros analíticos do solo	20 mg kg ⁻¹ (Nmin)	136 mg kg ⁻¹	172 mg kg ⁻¹
LQARS (2000) (recomendação)	290 kg ha ⁻¹ (70 t/ha MF)	Índice 5 (90 kg ha ⁻¹)	Índice 6 (0 kg ha ⁻¹)
EFA	140 kg ha ⁻¹		

ΜσΩ

Parcela		N	P_2O_5	K ₂ O	
Parcela A	Parâmetros analíticos do solo	20 mg kg ⁻¹ (Nmin)	36,5 mg kg ⁻¹	345 mg kg ⁻¹	
Campo do Limoeiro (0,9 ha)	LQARS (recomendação)	250 kg ha ⁻¹ (60 t/ha MF)	Índice 2 (160 kg ha ⁻¹)	Índice 7 (0 kg ha ⁻¹)	4
	EEΔ	154 (160) kg ha ⁻¹			

Quadro 2 - Necessidades de fertilização e quantidades aplicadas em 2008.

1 111 1111			- 2 - 3	1120	
Parcela A	Parâmetros analíticos do solo	20 mg kg ⁻¹ (Nmin)	36,5 mg kg ⁻¹	345 mg kg ⁻¹	19 mg kg ⁻¹
Campo do Limoeiro (0,9 ha)	LQARS (recomendação)	250 kg ha ⁻¹ (60 t/ha MF)	Índice 2 (160 kg ha ⁻¹)	Índice 7 (0 kg ha ⁻¹)	$40-60 \text{ kg ha}^{-1}$
	EFA	154 (160) kg ha ⁻¹			
Parcela A	Parâmetros analíticos do solo	20 mg kg ⁻¹ (Nmin)	36 mg kg ⁻¹	162 mg kg ⁻¹	17 mg kg ⁻¹
Campo da Cerdeira (0,9 ha)	LQARS (recomendação)	250 kg ha ⁻¹ (60 t/ha MF)	Índice 2 (160 kg ha ⁻¹)	Índice 6 (80 kg ha ⁻¹)	40 - 60 kg ha^{-1}
	EFA	154 (160) kg ha ⁻¹			
Parcela B (1,5 ha)	Parâmetros analíticos do solo	20 mg kg ⁻¹ (Nmin)	54 mg kg ⁻¹	161 mg kg ⁻¹	82 mg kg ⁻¹
	LQARS (recomendação)	250 kg ha ⁻¹ (60 t/ha MF)	Índice 3 (140 kg ha ⁻¹)	Índice 6 (80 kg ha ⁻¹)	$20-30 \text{ kg ha}^{-1)}$
	EFA	154 (160) kg ha ⁻¹			

Os valores a negrito correspondem à quantidade efectivamente aplicada; EFA - Equação de Fertilização Azotada; Nmin - N mineral

Quadro 3 - Quantidades e tipos de adubos aplicados em 2008.

Parcela	Adubo	Quantidade (kg)	N (kg)	P_2O_5 (kg)	K ₂ O (kg)
Parcela A	ENTEC (25:15:0)	576	144	86,4	0
Campo do Limoeiro (0,9 ha)	26,5 P	218	0	57,6	0
Parcela A	ENTEC (20:10:10)	720	144	144	72
Campo da Cerdeira (0,9 ha)	26,5 P	272	0	72	0
Parcela B (1,5 ha)	ENTEC (20:10:10)	1200	240	120	120
	26,5 P	340	0	90	0

Quadro 4 - Plano de fertilização do agricultor (parcela C) em 2008.

Fertilizante	$N (kg ha^{-1})$	$P_2O_5(\text{kg ha}^{-1})$	$\mathbf{K_2O}$ (kg ha ⁻¹)
Adubo	163,6	54,5	109
Estrume (20 t ha ⁻¹)	73,6 (N Kjeldhal)		
Tota	1 237,2	54,5	109

ao recomendado pelo Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva (2000). Em 2008, a redução foi de 130 kg N ha⁻¹ (- 44,8%).

A quantidade de N aplicada pelo agricultor resultou superior em 48,3% ao aplicado nas parcelas da ESAPL e aproximou-se do valor recomendado pelo Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva (2000).

Condução e programação da rega

A velocidade de enrolamento, para uma dotação útil de 26 mm (Figura 1), foi determinada, previamente, em ensaios de campo: testaram-se várias velocidades e medidos os volumes de rega com dois udómetros colocados, um de cada lado, na faixa molhada e a meio do alcance do aspersor.

O esquema de rega da parcela correspondeu a duas posições: a primeira, com 135 m de comprimento e uma duração de 7,5 horas e, a segunda, com um comprimento de 150 m e uma duração de 8,3 horas.

Utilizou-se um udómetro para controlo da precipitação. Nos anos de experimentação realizaram-se as oito regas previstas (Figura 1). Aplicou-se, em cada ano, um volume útil de 208 mm, com a primeira rega a ocorrer no primeiro decêndio de Julho.

O cálculo da dotação total de rega (ht) [4], para a rega gota-a-gota, considerou um coeficiente de localização (Keller e Karmelli, 1974) de 0,575, resultando numa dotação útil corrigida (huc) de 14,95 mm, uma eficiência de rega (Keller e Karmelli, 1974; Keller e Bliesner, 1990) de 95%, a necessidade de lavagem de sais (LR) (Ayers e Westcot, 1985) e um coeficiente de uniformidade de rega (CUV) de 90%. Considerando um valor de K (necessidade de lavagem de sais e eficiência de rega) de 0,05 a dotação total de rega calculada resultou em 17,5 mm.

$$ht = huc/[(1-K) CUV]$$

[4]

O tempo de rega foi determinado com base na "taxa média horária de aplicação de água" do sistema de rega (Im) [5]. O caudal médio de gotejamento (qn) de 1,17 L h⁻¹ foi medido, de forma expedita, antes da avaliação do sistema de rega.

Com 1,5 m entre ramais de rega e 0,30 m entre gotejadores, na linha, resultaram 2,22 gotejadores m⁻². O valor calculado de Im [5] do sistema de rega foi de 2,6 mm h⁻¹.

$$Im = N^{\circ}$$
 gotejadores $m^{-2} \times qn$

[5]

Para uma dotação de rega de 17,5 mm, o tempo de rega (t) necessário foi de 6 horas e 45 minutos.

O sector A foi regado à 2^a e 3^a feira, o sector B, à 4^a e 5^a feira e sector C, à 6^a feira e Sábado. O tempo de rega diário foi de 3,5 horas (9h30 às 13h00).

Na parcela do agricultor, a rega de superfície foi realizada de acordo com o sistema de turnos (rol) em relação aos restantes consortes (utilizadores) (Agostinho e Rodrigues, 2008). A água foi transportada pelo agricultor até à parcela, através da regadeira de

alimentação. De seguida, fez uma abertura (*pigeiro*) com uma enxada para a água escorrer superficialmente e infiltrar-se numa faixa de milho ("leira"). Após a rega da primeira "leira", a água era desviada para a "leira" seguinte, e assim sucessivamente, até cobrir a parcela inteira.

O agricultor realizou duas regas durante o ciclo cultural do milho: em 16 de Julho, aplicando 26,4 mm, e em 24 de Julho, aplicando 18 mm.

Avaliação de desempenho do sistema de rega gota-a-gota

O caudal médio do sistema de rega, em 2007, foi de 4,42 L h⁻¹ m⁻¹. Por gotejador, o caudal médio (q_m) foi de 1,33 L h⁻¹ e o caudal mínimo (q_{min}) de 1,19 L h⁻¹. O Coeficiente de Uniformidade de rega (CUV) foi de 89,7%.

Em 2008, a avaliação de desempenho do sistema de rega foi efectuada nos sectores 1 e 3. Os resultados mostram-se no Quadro 5.

Os valores de CUV de 90%, em 2007, e de 87%, em 2008, foram considerados aceitáveis (Merriam e Keller, 1978).

O Quadro 6 mostra a humidade do solo, antes e depois da rega.

A Figura 4 mostra a humidade do solo, medida a diferentes profundidades, a meia distância entre gotejadores, antes e depois da rega. A dotação de rega semanal (Figura 1) mostrou-se adequada, ficando armazenada na camada radical (0 a 0,60 m) e sem ocasionar percolação profunda e lixiviação de azoto.

A Figura 5 mostra a humidade do solo medida ao longo da entrelinha e a diferentes profundidades. A dotação de rega aumentou a humidade até 0,30 m do gotejador (Quadro 6). Para além dos 0,30 m, os teores de hu-

Quadro 5 - Caudais (L h^{-1}) médios (q_m) , caudais mínimos (q_{min}) e Coeficientes de Uniformidade de rega (CUV), em 2008.

qm1	qm3	q _{médio}	qmin1	qmin3	Qmin _{médio}	CUV1	CUV2	$CUV_{m\'edio}$
1,16	1,27	1,21	0,87	1,26	1,06	74,94	99,29	87,11

Quadro 6	_	Humidade	do	solo	antes e	e de	nois	da rega	em 2007

Local	Camada	4-Set	6-Set	Local	Camada	4-Set	6-Set
		$(m^3 m^{-3})$	$(m^3 m^{-3})$			$(m^3 m^{-3})$	$(m^3 m^{-3})$
A	0-0,15 m	0,225	0,378	D	0-0,15 m	0,219	0,190
	0,15-0,30 m	0,259	0,354		0,15-0,30 m	0,230	0,210
	0,30-0,45 m	0,224	0,294		0,30-0,45 m	0,197	0,190
	0,45-0,60 m	0,179	0,208		0,45-0,60 m	0,163	0,168
В	0-0,15 m	0,238	0,349	E	0-0,15 m	0,204	0,199
	0,15-0,30 m	0,252	0,314		0,15-0,30 m	0,216	0,209
	0,30-0,45 m	0,194	0,249		0,30-0,45 m	0,194	0,213
	0,45-0,60 m	0,177	0,175		0,45-0,60 m	0,163	0,168
C	0-0,15 m	0,201	0,200	F	0-0,15 m	0,224	0,204
	0,15-0,30 m	0,233	0,220		0,15-0,30 m	0,212	0,221
	0,30-0,45 m	0,187	0,194		0,30-0,45 m	0,200	0,193
	0,45-0,60 m	0,174	0,162		0,45-0,60 m	0,166	0,172

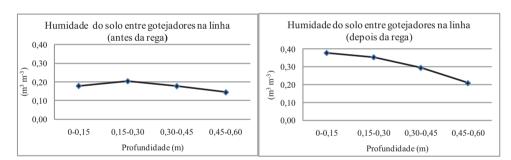


Figura 4 - Evolução da humidade do solo (antes e depois da rega), entre gotejadores, em 2007.

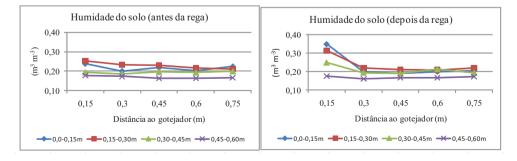


Figura 5 - Evolução da humidade do solo, antes e depois da rega, a várias distâncias e profundidades do gotejador, em 2007.

midade mantiveram-se, praticamente, inalterados.

A Figura 6 mostra a evolução da tensão de humidade do solo, em 2008. As linhas de tendência mostram que a tensão de humidade a 0,15 m de distância do gotejador e a 0,20 m de profundidade permaneceu, praticamente, estável ao redor dos 50 kPa, evidenciando uma zona de forte extracção radicular. Nas camadas de solo abaixo dos 0,20 m e até 0,45 m do gotejador, o teor de humidade aumentou. Para além de 0,45 m do gotejador e profundidades abaixo dos 0,50 m, a tensão de humidade manifestou tendência estável no

intervalo dos 50 a 70 kPa, revelando menor humidade que nas camadas sobrejacentes.

As dotações de rega e a precipitação ocorrida não originaram fluxos de lixiviação para camadas abaixo da zona radical (0,60 m).

Considerando uma área de 0,45 m² gotejador¹ (0,30 m x 1,50m) e uma área molhada 0,20 m² gotejador¹ (0,45m x 0,45m), a percentagem de área molhada foi de 45%. O valor revelou-se inferior ao de projecto (57,5%), fazendo com que as filas de milho situadas a meio dos ramais de rega beneficiassem de menor humidade. A não expansão do bolbo húmido para além dos 0,45 m deve-

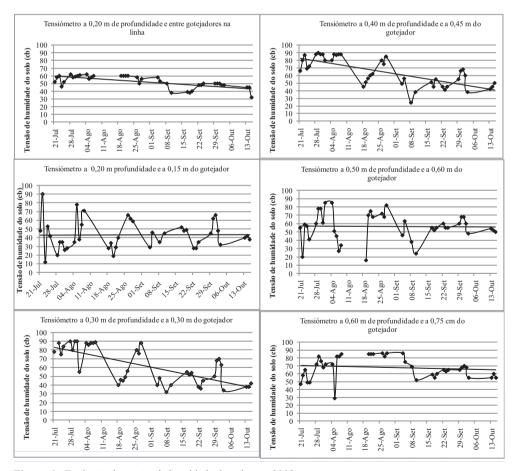


Figura 6 - Evolução da tensão de humidade do solo, em 2008.

-se, fundamentalmente, ao baixo caudal de gotejamento (1,33 L h⁻¹), resultante da baixa carga piezométrica (68 a 78 kPa).

Avaliação da Condução e Programação da rega

Segundo Reichardt (1987), a capacidade de campo na maioria dos solos encontra-se entre os potenciais matriciais de – 0,01 MPa e – 0,033 MPa. Esta faixa é variável com a textura e estrutura do solo. No caso dos *Cambissolos dísticos pardacentos*, com uma textura franco-arenosa, considerou-se o valor de 0,326 m³ m³ (- 0,01 MPa).

O Limite da Reserva Facilmente Utilizável do solo (LRFU) (Teixeira, 1991) do milho, na sua fase mais sensível (floração - início da maturação), é cerca de 50% da reserva útil de água (Agostinho *et al.*, 2004). Atendendo às características do solo, corresponde a cerca de 0.11 m³ m-³.

Considerando os valores da humidade do solo medidos, pelo método gravimétrico (Quadro 7), ao longo do ciclo cultural do milho, em 2008, o plano de rega implementado (Figura 1) manteve a humidade do solo dentro da Reserva de Água Facilmente Utilizável (RFU) e a cultura não teve défice hídrico.

Na parcela do agricultor, regada de modo tradicional por "leira", a humidade do solo variou entre 0,292 m³ m⁻³ (24 de Julho) e

0,647 m³ m³ (28 de Agosto). Estes valores elevados da humidade do solo devem-se à proximidade do nível freático da zona radical, uma vez que a parcela localiza-se na margem direita do rio Lima.

Análise económica

Os custos de aquisição (ou de investimento), a vida útil do equipamento e material e os custos de amortização, para cada sistema de rega, mostram-se no Quadro 8. As amortizações foram calculadas pelo método das quotas anuais constantes. Na rega gota-a-gota, os custos de amortização estão reportados ao hectare

As condições de funcionamento, a energia dispendida e respectivos custos mostram-se no Quadro 9, considerando 0,12 € por kW h⁻¹.

Os Quadros 10 e 11 mostram os COpMec nos sistemas de rega por aspersão e os COpMan, (mão-de-obra) nos sistemas de rega por gota-a-gota e tradicional ("leira").

Para cada sistema (Quadro 8) foi definido o Custo Total por hectare (CT) (Quadro 12), através da soma dos Custos Variáveis (CV) e fixos (CF).

No sistema A e nos sistemas de rega gotaa-gota (C, D e E), os custos de amortização aumentam em função da área: maior área implica maior quantidade de tubagem ou fita gotejadora.

Camada	29-Mai	12-Jun	26-Jun	10-Jul	17-Jul	24-Jul	7-Ago	21-Ago	28-Ago	10-Set	17-Set	24-Set	14-Out	Média
	Rega por aspersão (máquina-enroladora)													
0-30 cm	0,358	0,311	0,339	0,318	0,260	0,242	0,312	0,331	0,285	0,308	0,367	0,308	0,315	
30-60 cm	0,328	0,295	0,276	0,229	0,248	0,199	0,270	0,272	0,256	0,304	0,379	0,285	0,305	
Média	0,343	0,303	0,308	0,274	0,254	0,220	0,291	0,301	0,270	0,306	0,373	0,297	0,310	0,296
						Rega go	ota-a-go	ta						
0-30 cm	0,380	0,340	0,430	0,286	0,258	0,264	0,246	0,253	0,245	0,351	0,352	0,359	0,352	
30-60 cm	0,243	0,289	0,525	0,287	0,282	0,282	0,215	0,227	0,216	0,385	0,359	0,276	0,302	
Média	0,311	0,315	0,477	0,286	0,270	0,273	0,230	0,240	0,230	0,368	0,356	0,318	0,327	0,308
						Rega tr	adiciona	al ("leira	")					
0-30 cm	0,445	0,587	0,566	0,326	0,398	0,290	0,575	0,584	0,688	0,650	0,354	0,822		
30-60 cm	0,481	0,534	0,497	0,343	0,402	0,294	0,544	0,567	0,606	0,490	0,362	0,371		
Média	0,463	0,560	0,531	0,335	0,400	0,292	0,559	0,576	0,647	0,570	0,358	0,597		0,491

Quadro 8 - Custos de aquisição (VA), vida útil do equipamento e material (VU) e custos de amortização (CAmort) dos sistemas de rega.

Equipamento e material	VA (€)	VU (anos)	CAmort (€
Sistema A - Aspersor de alta pressão ("canhão") amovível			
Aspersor SYNKRO (p: 1,5 Atm; r _m : 23 m; Q: 9 m ³ /h)	595	10	59,5
Tubagem PVC alta densidade [D: 63 mm; L: 150 m]	360	30	12,0
Suporte do aspersor 2"	150	20	7,5
Electrobomba P 4023 (H: 27 m; Q: 13,5 m ³ /h; P: 1,1 kW)	355	20	17,8
Total			96,8
Sistema B - Aspersão com máquina-enroladora			
Máquina-enroladora (modelo CONFORT; L: 150 m; d: 50 mm) e aspersor HIDRA	3900	20	195,0
Electrobomba MM 5064 (H: 65 m; Q: 21 m ³ /h; P: 5,5 kW)	1650	20	82,5
Total			277,5
Sistema C - Gota-a-gota com tubo de polietileno e bombagem			
Tubo gotejador (q: 41/h; d: 0,75 m) (67 ramais de 100 m/ha)	2345	10	234,5
Electrobomba (H: 15 m; Q: 7-8 m ³ /h; 0,5 kW)	418	20	20,9
Restante equipamento (válvulas, tubagens e junções)	816	30	27,2
Filtro ARKAL 1204-0 2" Dual	155	15	10,3
Total			292,9
Sistema D - Gota-a-gota com fita e rega por gravidade			
Fita P1 8 micron; 0,30 m; 2,6 l/h) (67 ramais de 100 m/ha)	268	4	67,0
Restante equipamento (válvulas, tubagens e junções)	816	30	27,2
Filtro ARKAL 1204-0 2" Dual	155	15	10,3
Total			104,5
Sistema E - Gota-a-gota com fita de rega e com bombagem			
Fita P1 8 micron; 0,30 m; 2,6 l/h) (67 ramais de 100 m/ha)	268	4	67,0
Restante equipamento (válvulas, tubagens e junções)	816	30	27,2
Filtro ARKAL 1204-0 2" Dual	155	15	10,3
Electrobomba (H: 15 m; Q: 12 m ³ /h; 0,75 kW)	542	20	27,1
Total			131,6

Quadro 9: Custos energéticos (CEner), por hectare, nos sistemas de rega por aspersão por canhão amovível (A), máquina-enroladora (B), na rega gota-a-gota com tubo gotejador (C) e fita gotejadora (E).

Sistema	N°	N°	N°	р	r _m	Q	L	Am	ht	Im	t (h)	t/sector	(t/ha)	V	(np/ha)	t	P	Nº	Custo
	(gotej/ha)	(ramais/ha)	sectores	(kPa)	(m)	(m^3/h)	(m)	(m^2)	(mm)	(mm/h)	Posição	(h)	(h)	(m/h)		(h)	(kW)	regas	(€)
A				196	27	13,5	49	2362	30,5	5,7	5,34				4	21	1,1	8	22,60
В				392	30	21			30,5					12,8	2	12	5,5	8	63,89
С	8890	67	5						17,5	3,56		4,92	24,60				0,50	8	11,81
E	22200	67	5						17,5	5,78		3,03	15,15				0,75	8	10,91

p - pressão de funcionamento do aspersor; r_m - raio molhado; Q - caudal; L - dist* entre posições de rega; Am - área molhada; Im - taxa horária de aplicação de água; ht - dotação total de rega; V - velocidade de enrolamento; np/ha - número de posições/ hectare; t - tempo de rega/ha; P - potência do grupo de bombagem.

Quadro 10 - Custos de Operações Mecanizadas (COpMec) nos sistemas de rega por aspersão, por hectare.

Sistem	a Equipamento	Tarefas	(horas/rega)	(horas/ha)	(€/h)	Custo total (€)
A	Tractor 60 CV, aspersor SYNKRO,	$[TET] + [I(A+T) - 1^{a} PR] + [M (A+T) - 3 PR]$	1,33 a)	10,64 b)	12,23	130,13
	tripé 2" e tubagens PVC engate rápido					
В	Tractor 60 CV, máquina-enroladora	$[TET] + [O 1^a PR] + [O 2^a PR]$	0,5 c)	4	12,23	48,92
	CONFORT e aspersor HYDRA					

[[]TET] - Transporte do equipamento para o terreno; [I(A+T) - 1ª PR] - Instalação do aspersor e tubagens na 1ª posição de rega; [M (A+T) - 3 PR] - Mudanças do equipamento para as outras 3 posições; [O 1ª PR] - Operacionalização para a rega na 1ª posição; [O 2ª PR] - Operacionalização para a rega na 2ª posição; a) horas dispendidas nas 4 posições de rega (1 ha); b) horas dispendidas nas 8 regas do ciclo cultural; c) horas dispendidas nas 2 posições de rega (1 ha)

Sistema Operação N° trabalhadores h/ trabalhador (h/ha) Custo/h (€) Custos/ha (€) C. D e E Instalação do sistema de rega a) 5.5 22 3.75 82,50 4 22 3.75 Desinstalação do sistema de rega 5.5 82,50 44 165,00 Abertura dos regos de rega 27.3 3.75 102,38 Controlo e direccionamento da 45.5 3.75 170,63 água durante a rega 27,3 102,38 Fecho dos sulcos 3.75 Total 100.1 375,38

Quadro 11 - Custos de Operações Manuais (COpMan), nos diferentes sistemas de rega, por hectare.

Quadro 12 - Custos totais (€) dos diferentes sistemas de rega.

Sistema	ema Área (ha)									
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
A	169,2	249,5	329,9	410,3	490,6	571,0	651,4	731,7	812,1	892,5
В	336,4	395,2	454,0	512,9	571,8	630,6	689,5	748,3	807,1	866,0
C	250,5	469,7	689,0	908,2	1127,5	1346,7	1565,9	1785,2	2004,4	2223,8
D	139,9	269,5	399,1	528,7	658,3	787,9	917,5	1047,1	1176,7	1306,3
E	172,5	307,5	442,6	577,6	712,7	847,7	982,8	1117,8	1252,9	1388,0
F	187,9	375,8	563,7	751,6	939,5	1127,4	1315,3	1503,2	1691,1	1879,0

Contas de cultura

O Quadro 13 mostra os proveitos, custos e resultados da actividade para os diferentes sistemas de produção, referidos a um hectare. É importante salientar que se deu especial destaque aos custos relativos à operação «rega», incluindo a componente de amortização dos investimentos com o equipamento de rega e os custos de exploração anuais variáveis associados à sua utilização. Os demais custos (operações culturais e factores de produção) consideraram-se variáveis, admitindo-se o recurso ao aluguer de máquinas.

No milho-grão, os resultados foram melhores com a rega gota-a-gota sem bombagem (rega por gravidade). O fraco resultado da rega tradicional por "leira" reflecte o peso dos CV anuais, nomeadamente os custos de mão-de-obra.

No caso da venda directa da silagem na parcela, com o preço médio a rondar os 0,03

€ kg¹, os resultados foram muito inferiores ao milho-grão. Constatou-se que a produção de milho-silagem só é vantajosa quando utilizada directamente na alimentação dos animais da própria exploração o que, normalmente, se passa na região.

No milho-silagem, os resultados foram ligeiramente melhores na rega por aspersão: a produção efectiva unitária resultou inferior na rega gota-a-gota, devido à menor densidade de sementeira (- 7,9%). Em caso de igualdade de densidade de sementeira os resultados seriam diferentes (Quadro 14).

Os custos de amortização do sistema de rega por aspersão foram 62% superiores aos da fita-gotejadora sem bombagem.

Os pesos-médios da adubação e da rega corresponderam a cerca de 44%, no milho-grão, e 57%, no milho-silagem. Os pesos-médios da sementeira, da adubação e da rega corresponderam a 62%, no milho-grão, e 82%, no milho-silagem.

a) Tubagens de abastecimento e fitas gotejadoras

Sistema de produção	Produção a)	Preço b)	$VP (c = a \times b)$	C _{amort} (d)	CV _{anuais} (e)	Resultado (€)
	(kg/ha)	(€/ kg)	(€)	(€)	(€)	[f = c - (d + e)]
Milho-grão/aspersão	12580,3	0,30	3774,1	277,5	1379,7	2116,9
Milho-grão/gota-a-gota	12610,2	0,30	3783,1	104,5	1346,8	2331,8
Milho-grão/"leira"	14172,4	0,30	4251,7	0,0	2689,5	1562,2
Milho-silagem/aspersão	60382,0	0,03	1811,5	277,5	1164,9	369,1
Milho-silagem/gota-a-gota	52398,4	0,03	1572,0	104,5	1132,0	335,4

Quadro 13 - Resultados da actividade efectivos nos diferentes sistemas de produção.

VP - valor da produção; C_{amort} - custos de amortização do sistema de rega; CV_{anuais} - custos variáveis anuais

Quadro 14 - Resultados da actividade em igualdade de densidade de sementeira.

Sistema de produção	Produção a)	Preço b)	$\mathbf{VP} (\mathbf{c} = \mathbf{a} \times \mathbf{b})$	C _{amort} (d)	CV _{anuais} (e)	Resultado (€)
	(kg/ha)	(€/ kg)	(€)	(€)	(€)	[f = c - (d + e)]
Milho-grão/aspersão	12580,3	0,30	3774,1	277,5	1379,7	2116,9
Milho-grão/gota-a-gota	12610,2	0,30	3783,1	104,5	1346,8	2331,8
Milho-grão/"leira"	14172,4	0,30	4251,7	0,0	2689,5	1562,2
Milho-silagem/aspersão	60382,0	0,03	1811,5	277,5	1164,9	369,1
Milho-silagem/gota-a-gota	56509,5	0,03	1695,3	104,5	1132,0	458,8

VP - valor da produção; C_{amort} - custos de amortização do sistema de rega; CV_{anuais} - custos variáveis anuais

Limiares de rentabilidade dos sistemas de rega

As áreas em estudo variaram entre 0,5 e 5 hectares. A área de 5 hectares resultou do seguinte: sendo a velocidade de enrolamento da máquina enroladora de 12,8 m h⁻¹ (modelo CONFORT), o tempo de rega por hectare é de 12 horas (Quadro 9). Considerando um horário laboral das 8 às 18 horas, o número de horas úteis de trabalho semanal é de 60 horas. Como o plano de regas preconiza 1 rega por semana, a área máxima regada por aspersão é de 5 hectares semana⁻¹.

O Quadro 15 mostra os Custos Totais Unitários e a Figura 7 os Limiares de Rentabilidade para os diferentes sistemas de rega analisados. Os CV e CF unitários mostram-se no Ouadro 12.

A análise das "curvas de rentabilidade" permitiu as seguintes conclusões: i) o sistema de rega mais rentável, até 0,75 hectares, é a fita gotejadora sem bombagem (sistema D); ii) a partir dos 0,75 hectares, o sistema de rega mais rentável é a aspersão com "ca-

nhão" amovível (sistema A); iii) com excepção do "canhão" amovível, o sistema de rega mais rentável até aos 1,75 hectares é a fita gotejadora sem bombagem (sistema D); iv) até 1,5 hectares, é mais rentável substituir a rega tradicional (sistema F), a máquina-enroladora (sistema B) e o tubo gotejador (sistema C) por fita gotejadora com bombagem (sistema E); v) até 1,2 hectares, é mais rentável a rega tradicional por "leira" (sistema F) em relação à máquina-enroladora (sistema B); vi) até 0,8 hectares, é mais rentável a rega com tubo gotejador (sistema C) em relação à máquina-enroladora (sistema B).

CONCLUSÕES

O planeamento da rega do milho, baseado na simulação do balanço hídrico do solo pelo modelo ISAREG (Teixeira, 1991), em condições meteorológicas de ano-médio, e com dotações e intervalos entre regas constantes, permitiu uma maior eficiência do uso da água, um maior controlo dos fluxos de li-

	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
Sistema A	338,4	249,5	219,9	205,2	196,2	190,3	186,1	182,9	180,5	178,5
Sistema B	672,8	395,2	302,7	256,5	228,7	210,2	197,0	187,1	179,4	173,2
Sistema C	501,0	469,7	459,3	454,1	451,0	448,9	447,4	446,3	445,4	444,8
Sistema D	279,8	269,5	266,1	264,4	263,3	262,6	262,1	261,8	261,5	261,3
Sistema E	345,0	307,5	295,1	288,8	285,1	282,6	280,8	279,5	278,4	277,6
Sistema F	375,8	375,8	375,8	375,8	375,8	375,8	375,8	375,8	375,8	375,8

Quadro 15 - Custos Totais Unitários em função da área (hectares).

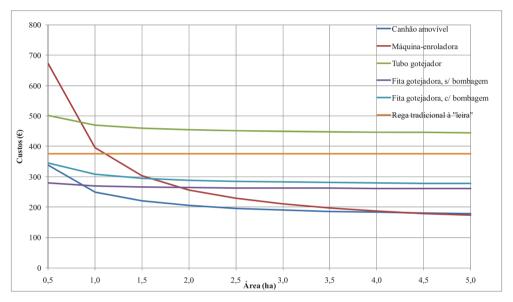


Figura 7 - Limiares de Rentabilidade para os diferentes sistemas de rega.

xiviação e uma fácil implementação por parte dos agricultores. A humidade do solo, ao longo do ciclo da cultura, manteve-se dentro da Reserva de Água Facilmente Utilizável (RFU), garantindo as necessidades hídricas e sem ocasionar défices hídricos.

Considerando os valores médios de eficiência dos diferentes sistemas de rega estudados, as poupanças de água são cerca de 41% na substituição da rega tradicional (leira) pela aspersão, de 66 % na substituição da rega tradicional pela gota-a-gota, e de 42,6% na substituição da aspersão pela gota-a-gota.

O planeamento da fertilização, baseado na Equação de Fertilização Azotada (EFA) do milho (Agostinho; Fernando, 2005a; Agostinho, 2006), permitiu um aumento da eficiên-

cia de extracção de azoto mantendo o nível de produção. A poupança de adubos foi de 36% em relação à metodologia preconizada pelo Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva (2000). Verificou-se uma redução de 33,3% de N aplicado relativamente ao valor máximo admissível para a Zona Vulnerável nº 1, minorando a probabilidade de ocorrência de fluxos de lixiviação para as águas subterrâneas.

O coeficiente de uniformidade de rega médio da fita gotejadora, sem bombagem (por gravidade), foi de 87%. O valor é considerado aceitável segundo Merriam; Keller, (1978).

O raio molhado do "bolbo húmido" dos gotejadores atinge cerca de 0,45 m permitindo uma percentagem de área molhada próxima dos 45%, à profundidade de 0,50 a 0,60m.

Em condições de igualdade de densidade de sementeira, o aumento de produção foi ligeiramente superior na parcela regada por aspersão: 6,5% para a matéria verde e 7% para a matéria seca.

Os pesos-médios da adubação e da rega, relativamente aos Custos Totais de operação (CT), correspondem a cerca de 44%, no milho-grão e 57%, no milho-silagem. Os pesos-médios da sementeira, da adubação e da rega, correspondem a 62%, no milho-grão e 82%, no milho-silagem. Estes números evidenciam a importância da experimentação e investigação de forma a baixar os custos associados à sementeira, adubação e rega.

A análise das "curvas de rentabilidade" das culturas permitem tirar as seguintes conclusões: i) o sistema de rega mais rentável, até 0,75 hectares, é a fita gotejadora sem bombagem; ii) a partir dos 0,75 hectares, o sistema de rega mais rentável é a aspersão com "canhão" amovível; iii) com excepção do "canhão" amovível, o sistema de rega mais rentável até aos 1,75 hectares é a fita gotejadora, sem bombagem; iv) até 1,5 hectares, é mais rentável substituir a rega tradicional pela aspersão com máquina-enroladora e o tubo gotejador pela fita gotejadora com bombagem; v) até 1,2 hectares, é mais rentável a rega tradicional por "leira" em relação à máquina-enroladora; vi) até 0,8 hectares, é mais rentável a rega com tubo gotejador em relação à máquina-enroladora.

AGRADECIMENTOS

O Autor agradece o apoio das Colegas Joana Nogueira e Isabel Valin, na sistematização e análise de dados, e ao estagiário Nuno Henrique Silva, da Faculdade de Ciências do Porto, pela prossecução de trabalhos de campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agostinho, J.M.F.S. (2006) Avaliação de Técnicas para Redução das Perdas de Azoto nos Sistemas Agrícolas da Zona Vulnerável do Aquífero Livre de Esposende e Vila do Conde. Tese de Doutoramento, Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, 293 p.
- Agostinho, J.M. e Fernando, R.M. (2005a) Manual Técnico A Fertilização Azotada na Zona Vulnerável nº 1. Projecto AGRO 35. Lisboa, Instituto Nacional de Investigação Agrária e Pescas.
- Agostinho, J.M. e Fernando, R.M. (2005b) Manual Técnico - A Condução da Rega na Zona Vulnerável nº 1. Projecto AGRO 35. Lisboa, Instituto Nacional de Investigação Agrária e Pescas.
- Agostinho, J.; Fernando R.M. e Brás, A. (2004) Parametrização de modelos de gestão da rega para a cultura do milho na região do Entre-Douro e Minho. *Revista de Ciências Agrárias*, XXVII, 1: 376-388.
- Agostinho, J.M.F.S. e Rodrigues, A.C. (2008) Recursos Hídricos. *In As Condições Naturais e o Território de Ponte de Lima*. Ponte de Lima, Município de Ponte de Lima, p. 57-79.
- Allen, R.G.; Smith, M.; Pereira, L.S. e Perrier, A. (1994) An update for calculation of Reference Evapotranspiration. *ICID Bolletin*, vol. 43, no 2.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. e Smith, M. (1998) Crop Evapotranspiration Guidelines for Computing Crop Water Requirements. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations. (FAO Irrigation and Drainage, Paper 56), 300 p.
- Avillez, F.; Estácio, F. e Neves, M.C. (1987) Análise de projectos agrícolas no contexto da política agrícola comum. Lisboa, Banco Pinto e Sotto Mayor.
- Ayers, R.S. e D.W. Westcot (1985) Water Quality for Agriculture. Rome, Food and

- Agriculture Organization of the United Nations. (FAO Irrigation and Drainage, Paper No. 29, Rev. 1).
- Direcção Regional de Agricultura e Pescas do Centro (2009) Sensibilização dos agentes rurais para a importância da utilização racional de pesticidas e fertilizantes na preservação do meio ambiente (em linha). Disponível em: http://www.drapc.min-agricultura.pt/.../agricultura_nature-za.htm (acedido em Fevereiro de 2010).
- Doorenbos J. e Pruit W.O. (1977) Guidelines for predicting crop water requirements. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations. (FAO, Irrigation and Drainage, Paper n° 24).
- Instituto Nacional de Estatística (1989) Recenseamento Geral Agrícola. Portugal. Lisboa
- Instituto Nacional de Estatística (2000) Recenseamento Geral da Agricultura 1999 Região Norte. Portugal. Lisboa.
- Instituto Nacional de Investigação Agrária e Pescas (2005a) Aplicação de Práticas Agrícolas para Redução da Lixiviação de Nitratos na Zona Vulnerável do Aquífero Livre de Esposende e Vila do Conde. Relatório Final do Projecto AGRO 35. Lisboa, MAPF.
- Instituto Nacional de Investigação Agrária e Pescas (2005b) Estudo dos Principais

- Sistemas Culturais do Baixo Mondego: Desenvolvimento, Experimentação e Demonstração (DE&D) de Alternativas Tecnológicas. Relatório Final do Projecto AGRO 40. Lisboa, MAPF.
- Keller, J. e Bliesner, R.D. (1990) *Sprinkle and trickle irrigation*. New York, Van Nostrad Reinhold, 652 p.
- Keller, J. e Karmeli, D. (1974) *Trickle Irrigation Design*. Glendora, Rainbird Sprinckler Manufaturing Corporation, 182 p.
- Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva (2000) - *Manual de Fertilização das Culturas*. Lisboa, Instituto Nacional de Investigação Agrária.
- Merriam, J.L. e Keller, J. (1978) Farm Irrigation system evaluation: guide for management. 3a Ed. Logan, Utah State University.
- Reichardt, K. (1987) A Água em Sistemas Agrícolas. S. Paulo, Editora Manole Lda.
- Teixeira, J.L.M. (1991) Guia do utilizador do Modelo Isareg Programa para simular a rega. Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa
- Teixeira, J.L. (1994) Cálculo da Evapotranspiração de Referência. Programa EVAPOT. Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa.