

EFEITO DO SISTEMA DE MOBILIZAÇÃO E DA QUALIDADE DA ÁGUA DE REGA NA SALINIZAÇÃO DO SOLO

Mendes, J.P.¹; Carvalho M.C.²; Basch, G.², Rasquilho, M.¹; Barreto, C.¹; Brito, A.¹; Brandão, M.²; Santos, F.²; Riscado, N.³, Antunes, P.¹

¹ Escola Superior Agrária de Elvas. Apartado 254 7350-903 Elvas; jpm@esaelvas.pt; mrasquilha@esaelvas.pt; carlabarreto@esaelvas.pt; abrito@esaelvas.pt; pedroseiro@portugalmail.com

² Departamento de Fitotecnia, Universidade de Évora. Largo dos Colegiais 2-7000 Évora; mjc@uevora.pt; gb@uevora.pt; mb@uevora.pt; fs@uevora.pt

³ Direcção Regional de Agricultura do Alentejo, 7002-553 Évora; nunoriscado@sapo.pt

Resumo

A prática continuada do regadio em clima semi-árido, com elevadas taxas de evaporação e em solos com má drenagem interna conduz, a prazo, à acumulação de sais no solo, mesmo utilizando água de rega com teores moderados de sais. A maior parte das áreas de regadio, a beneficiar com as águas provenientes do Alqueva enquadram-se neste âmbito. Solos bem drenados permitem uma maior lixiviação dos sais, retardando o efeito nefasto da sua acumulação pelo que, a drenagem do solo deve ser promovida, quer recorrendo a técnicas tais como a instalação de drenos quer a outras boas práticas agrícolas.

No presente estudo, pretende-se averiguar se, o aumento da infiltrabilidade do solo e a redução da evaporação directa, conseguida através de uma elevada quantidade de resíduos à superfície provenientes de uma cultura de cobertura seguida de sementeira directa, possibilitando uma menor acumulação dos sais durante o Verão e uma maior lavagem, dos mesmos, durante o Inverno.

Para testar a sementeira directa com cultura de cobertura, como tecnologia para o controlo da salinidade, a longo prazo, em clima semi-árido e solos mal drenados, instalou-se um ensaio no Alto Alentejo no perímetro de rega do Caia, em Luvissoles. O ensaio decorreu debaixo de uma rampa rotativa e tem como tratamentos principais dois sistemas de preparação do solo: sementeira directa sobre cultura de cobertura (SD); sistema tradicional (Trad), subdivididos em dois níveis de salinidade da água (0,7 dSm⁻¹ e 2 dSm⁻¹) e a dois regimes hídricos (100% e 70% da ETc do sistema Trad). O regime hídrico mais baixo foi obtido por redução do diâmetro dos bicos dos aspersores numa coroa circular da rampa pivotante e as diferentes qualidades da água foram simuladas por aplicação de sais à superfície do solo como se se tratasse de um fertilizante de cobertura, sólido.

Para a avaliação da evolução da salinidade do solo e de outros parâmetros, foram retiradas amostras de solo, a quatro profundidades, duas vezes por ano, antes da instalação da cultura na primavera e após a colheita.

Ao fim do terceiro ano de ensaio, os valores de salinidade da solução do solo são significativamente mais elevados nos tratamentos com maior salinidade da água, em

todas as profundidades. Na camada dos 20 cm superficiais do solo verificou-se uma menor acumulação de sais no solo na SD o que é indicativo de uma maior lavagem de sais nesta modalidade.

Os valores mais baixos de condutividade eléctrica da solução do solo, ao fim de três anos são indicadores, de que, a sementeira directa, em conjunto com uma cultura de cobertura, poderá ser uma tecnologia útil na prática de uma agricultura de regadio sustentável, em clima semi-árido e em solos de baixa condutividade hidráulica, mesmo utilizando águas de rega com teores moderados de sais.

Palavras chave: Mobilização do solo, sementeira directa, cultura de cobertura, salinização do solo, qualidade da água

Abstract

The use of water with moderated salt content for irrigation under semi-arid conditions, especially on soils with low saturated hydraulic conductivity, can lead to an increase of the salt content of the soil and even to an increase of exchangeable Na. This is a possible scenario in the Alqueva irrigation program in the South of Portugal.

The present study aims to evaluate the potential of direct drilling and soil mulching as a way to improve infiltration and reduce evaporation, in order to reduce salt accumulation during the summer and to improve leaching during the winter.

The trial has been carried out on a Luvisol under centre pivot irrigation. There were used two soil tillage treatments (direct drilling and traditional – chisel plow plus two disc arrows), two levels of water salinity (0.7 dS m^{-1} and 2 dS m^{-1}) and two water regimes (100% and 70% of Etc). The experimental design is a split plot, with tillage as the reference treatment.

After the second year the salinity in the top 20 cm of the soil is lower under direct drilling than under traditional tillage system. The differences between tillage treatments are more evident for the higher water regime.

The lowest values of electric conductivity in soil solution at the end of three years, indicate that direct drilling together with cover crop, can be a useful tool in irrigation under semi-arid conditions, in soils with low values of hydraulic conductivity, even went using water with moderated salt content.

Keyword: Soil tillage, direct drilling, cover crops, soil salinization, water quality

Introdução

A introdução do regadio utilizando água com teores moderados de sais, em zonas de clima semi-árido e em solos com má drenagem interna, conduz, a prazo, ao inevitável aumento da salinidade do solo e, provavelmente ao risco de sodicização do mesmo. A área de regadio a beneficiar com água proveniente de Alqueva (110 000 ha, enquadra-se numa zona semi-árida e em que, segundo SEQUEIRA *et. al.*, (1995) mais de 60% dos solos apresentam um risco médio a elevado de salinização e alcalinização, devido à baixa condutividade hidráulica e à previsível baixa qualidade da água. Um estudo realizado no Perímetro de rega do Caia por NUNES *et. al.* (2005) mostra que 40,3% dos solos deste Perímetro apresentam elevados riscos de desertificação devido aos reduzidos teores de matéria orgânica e ao incremento da salinidade com a introdução do regadio.

Com o presente estudo pretende-se avaliar o contributo da sementeira directa (SD) e de culturas de cobertura (CC) durante o Inverno na atenuação do referido problema. O aumento da estabilidade estrutural do solo e a redução da evaporação directa que ambos permitem, poderão possibilitar uma menor acumulação de sais no solo durante o Verão e a sua maior lavagem durante o Inverno.

Material e métodos

O campo experimental que suportou o ensaio foi instalado no Alto Alentejo, no perímetro de rega do Caia (Herdade da Comenda), em Luvissoles. Os dados físicos do solo estão apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Dados físicos iniciais do solo

Horizontes	Profundidade (cm)	Dap	Elem. Grosseiros (w/w) (%)						
			Areia	Limo	Argila	pF 2,0 (v/v)	pF4,2 (v/v)	CU (v/v) pF(2,0-4,2)	
A	0 - 30	1.83	8.4	68.4	13.6	18.0	35.1	14.9	20.2
B1	30 - 55	1.60	5.6	49.8	14.1	36.1	47.6	24.4	23.3
B2	55 - 65	1.40	19.4	35.6	14.4	50.0	53.4	29.3	24.1
BC	65- +120	1.51	9.1	41.5	33.0	25.5	45.9	23.7	22.1

O ensaio decorreu durante três anos (2004 a 2006) com a instalação de uma cultura de milho na Primavera e foi instalado debaixo de uma rampa rotativa (o esquema geral do ensaio está apresentado na Figura 1). Cada um dos 24 talhões tem 3 m de largura por 11 m de comprimento.

Os tratamentos principais são dois sistemas de preparação do solo: sementeira directa sobre cultura de cobertura (SD) e o sistema tradicional (Trad). Os sistemas de preparação do solo foram subdivididos em dois níveis de salinidade da água ($0,7 \text{ dS m}^{-1}$ e $2,0 \text{ dS m}^{-1}$), ambos com uma razão de adsorção de sódio (SAR) de 3 e em dois regimes hídricos (100% e 70% da ETc recomendada para o sistema TRAD).

No sistema tradicional (TRAD) o solo foi preparado com uma passagem de chisel, a aproximadamente 25 cm de profundidade, e duas passagens de grade a que se seguiu a sementeira. Neste sistema, quando o milho se encontrava pelas 6 - 7 folhas foi efectuada

uma sacha mecânica acompanhada da abertura de covachos com o objectivo de reduzir o escoamento superficial.

Na modalidade de sementeira directa sobre cultura de cobertura (SD), antes de se efectuar a sementeira aplicou-se um herbicida total para eliminar a cultura de cobertura (*Avena sativa* L.). No primeiro ano, antes da sementeira da cultura do milho aplicou-se 0,5 kg/m² de palha de cereal, em cada talhão de SD, de forma a simular aproximadamente a produção de uma cultura de cobertura.

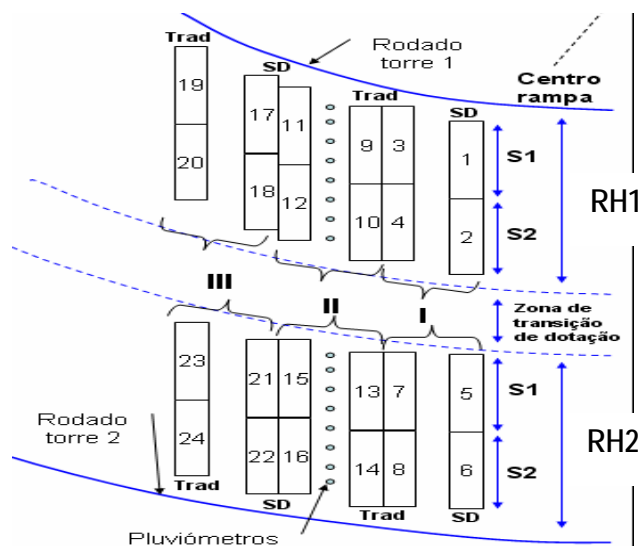


Figura 1 – Esquema geral do ensaio. RH1 e RH2 correspondem respectivamente às faixas com o nível de dotação 1 e 2. S1 e S2 correspondem respectivamente os níveis de salinidade 1 e 2. Também está representada a localização dos oito pluviómetros de monitorização de cada nível de dotação.

O regime hídrico mais baixo foi obtido por redução do diâmetro dos bicos dos aspersores numa coroa circular da rampa rotativa. As diferentes qualidades de água foram simuladas por aplicação de sais directamente à superfície do solo como se se tratasse de um fertilizante de cobertura, sólido. Os sais adicionados foram compostos por uma mistura de cloreto de sódio e de sulfato de magnésio combinados de forma a completar a salinidade da água para atingir os valores de condutividade e de SAR acima referidos. A distribuição dos sais foi feita semanalmente e as quantidades foram sendo ajustadas às dotações recolhidas nos pluviómetros.

As amostras de solo foram recolhidas duas vezes por ano, antes da preparação do solo para a sementeira e após a colheita do milho. As amostras, foram obtidas a quatro profundidades distintas: 0 a 10 cm; 10 a 20 cm e 20 a 30 cm (horizonte A) e de 30 a 50 cm (horizonte B1); doravante as profundidades serão designadas respectivamente por (P1 a P4). Como a área dos talhões é reduzida as amostras compósitas foram obtidas por cinco subamostras e foram extraídas com sondas de meia cana de forma a causar uma reduzida perturbação no solo. A quantidade de amostra retirada por talhão foi assim relativamente restrita pelo que se optou por medir a condutividade eléctrica no extracto do solo em água na proporção 1:2 (dobro da massa de água) na medida em que esta determinação exige menor quantidade de solo do que o extracto de saturação.

A medição das dotações diferenciadas (RH1 e RH2), foram efectuadas em oito pluviómetros (adaptados com um sistemas anti evaporação), por regime hídrico (ver localização na Figura 1).

A monitorização da água no solo foi efectuada, numa repetição do ensaio, com oito sondas capacitivas da marca enviroscan (uma por talhão) tendo as leituras sido efectuadas de 30 em 30 min. Os diferentes sensores foram normalizados (com leitura no ar e na água) mas não foram especificamente calibrados para o solo tendo-se optado por usar a equação genérica fornecida pelo fabricante. Os sensores foram colocados a 5, 25, 45 e 75 cm de profundidade.

Para facilitar a observação da evolução dos teores de humidade no solo, no ano de 2006, os valores medidos com a sonda capacitiva, foram comparados com os valores resultante do balanço hídrico do solo (Figura 2 e Figura 3) e optou-se por apresentar ambos os resultados, como valores relativos tendo como máximo o valor 1 e como mínimo o valor zero.

O balanço hídrico foi baseado no modelo da FAO em que o coeficiente cultura inicial (K_c inicial) depende essencialmente da frequência de rega da fase inicial e, também, da cobertura do solo por resíduos, em que segundo ALLEN et. al. (1996) a uma cobertura de 90% do solo por resíduos corresponde uma redução da evaporação directa do solo de 45%.

O modelo de cálculo utilizado para a elaboração do balanço hídrico foi o ConduzRega criado por MENDES (2007) e baseado nos mesmos princípios de cálculo do CROPWAT apresentados por CLARKE et. al. (1998) mas com a possibilidade de introduzir valores diários de E_{To} . Os valores diários de E_{To} utilizados resultaram de uma média entre os valores da estação meteorológica do Caia e os da estação de Sagrajas na Estremadura.

A análise de variância foi efectuada com o programa MSTATC de acordo com o delineamento apresentado.

Resultados e discussão

Neste trabalho aborda-se, essencialmente, os efeitos dos factores: mobilização do solo, regime hídrico e salinidade da água de rega na salinidade do solo, ao fim do segundo e terceiro ano de ensaio, momento a partir do qual já se começaram a revelar os efeitos cumulativos dos respectivos tratamentos.

No Quadro 2 verifica-se que na modalidade de cultura de cobertura com SD ocorreu, comparativamente ao sistema TRAD, uma redução significativa dos teores de humidade do solo, no final da cultura de cobertura, devido à maior extracção de água pela aveia, comparativamente com a extracção efectuada por infestantes dispersas no TRAD. Em ambas as Primaveras, que antecederam o segundo e o terceiro ano de ensaio, verificou-se uma baixa precipitação fazendo com que nos talhões com cultura de cobertura se tenha verificado uma menor quantidade de água disponível para arrastar os sais para fora do perfil durante o Inverno.

Quadro 2 – Teores volumétricos de água no solo obtidos a partir das amostras de solo tiradas antes da sementeira do milho em Abril 2005 e em Maio de 2006, respectivamente no início do segundo e do terceiro ano de ensaio.

	20/04/2005	09/05/2006
	Profundidade (0 - 50 cm)	Profundidade (0 - 50 cm)
Mobilização	(p<0,05)	(p<0,05)
SD	17.2	15.3%
TRAD	21.6	17.6%

Pelo que se pode observar no Quadro 3, referente ao ano de 2005, a SD apresenta um valor de Kc inicial mais baixo, devido à maior cobertura do solo com resíduos. Estes valores mais baixos de Kc contribuíram para um maior superavit hídrico na SD, apesar de nesta modalidade se ter partido de teores de água no solo mais baixos (Quadro 2) e traduzidos no Quadro 3 com um maior défice inicial de água no solo. Assim na SD o RH1 apresentou um superavit similar ao do TRAD no RH2 com a vantagem acrescida de se ter aplicado menos água no RH1 e portanto menor quantidade de saís.

Quadro 3 – Balanço hídrico das diferentes modalidades de mobilização do solo e do regime hídrico na segunda campanha de rega, no ano de 2005.

Valores acumulados	SD RH1	Trad RH1	SD RH2	Trad RH2
Kc inicial	0.40	0.70	0.40	0.70
Défice inicial de água no solo (% da capacidade utilizável)	29%	10%	29%	10%
Dotação aplicada (mm)	446	446	596	596
ETo (mm)	634	624	645	624
Precipitação total (mm)	26	26	26	26
Precipitação efectiva (mm)	14	9	10	7
ETCr (mm) (ET real)	500	547	566	615
ETCm (mm)	560	615	566	615
ETCr/ETCm (%) (ET relativa)	89%	89%	100%	100%
Superavit hídrico (mm)	27	0	57	26

Como se pode observar no Quadro 4, na terceira campanha de rega (ano de 2006) a SD apresentou um menor défice hídrico no início em relação ao TRAD porque a sementeira só se efectuou mais tarde (em Junho) e no entretanto ocorreram precipitações significativas entre a colheita das amostras de solo (apresentadas no Quadro 2) e a sementeira do milho. Nesta fase a SD conservou mais água devido a dispor de grande quantidade de resíduos à superfície e também por se terem evitado perdas de água associadas às mobilizações inerentes ao sistema TRAD. Assim, a SD iniciou o ciclo com valores mais elevados da água no solo e com um valor de Kc inicial significativamente mais baixo, devido à elevada cobertura do solo com resíduos, que conduziu a valores mais elevados de superavit hídrico em ambos os regimes hídricos.

Quadro 4 – Balanço hídrico das diferentes modalidades de mobilização do solo e do regime hídrico no ano de 2006.

Valores acumulados	SD RH1	Trad RH1	SD RH2	Trad RH2
Kc inicial	0.45	0.82	0.45	0.82
Défice inicial de água no solo (% CU)	15	25	15	25
Dotação aplicada (mm)	546	546	712	712
ETo (mm)	634	624	645	624
Precipitação total (mm)	86	86	86	86
Precipitação efectiva (mm)	80	46	71	40
ETCr (mm) (ET real)	539	594	548	590
ETCm (mm)	539	594	548	590
ETCr/ETCm (%) (ET relativa)	100%	100%	100%	100%
Superavit hídrico (mm)	107	0	228	142

O efeito do menor consumo de água devido à cobertura do solo na modalidade com cultura de cobertura é evidenciado na Figura 2 (RH1) e na Figura 3 (RH2) em que se verificam elevados valores de água no solo na modalidade com sementeira directa (confirmados pela sonda capacitiva) tanto sob o RH1 como sob o RH2. Este facto mostra que se poderia ter aplicado uma quantidade significativamente menor de água de rega nesta modalidade e consequentemente uma menor aplicação de saís.

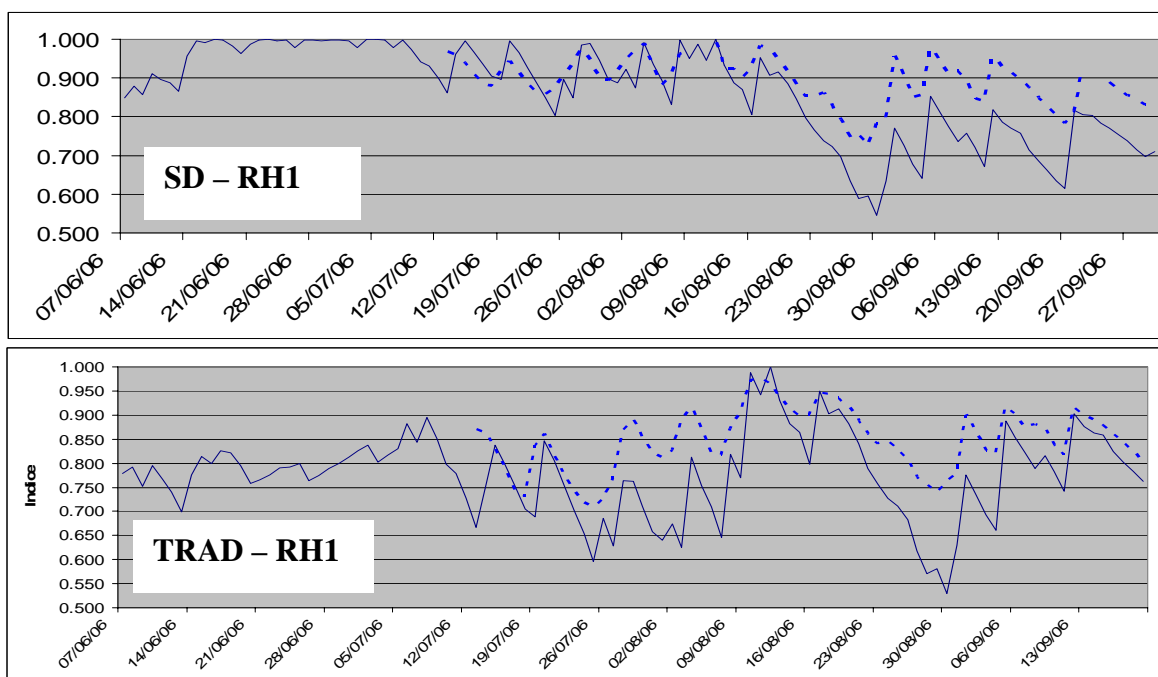


Figura 2 – Regime hídrico 1 (RH1) - valores diários relativos do balanço hídrico do solo (traço contínuo) e de valores relativos médios diários de água no solo registados com sondas capacitivas (traço descontinuo).

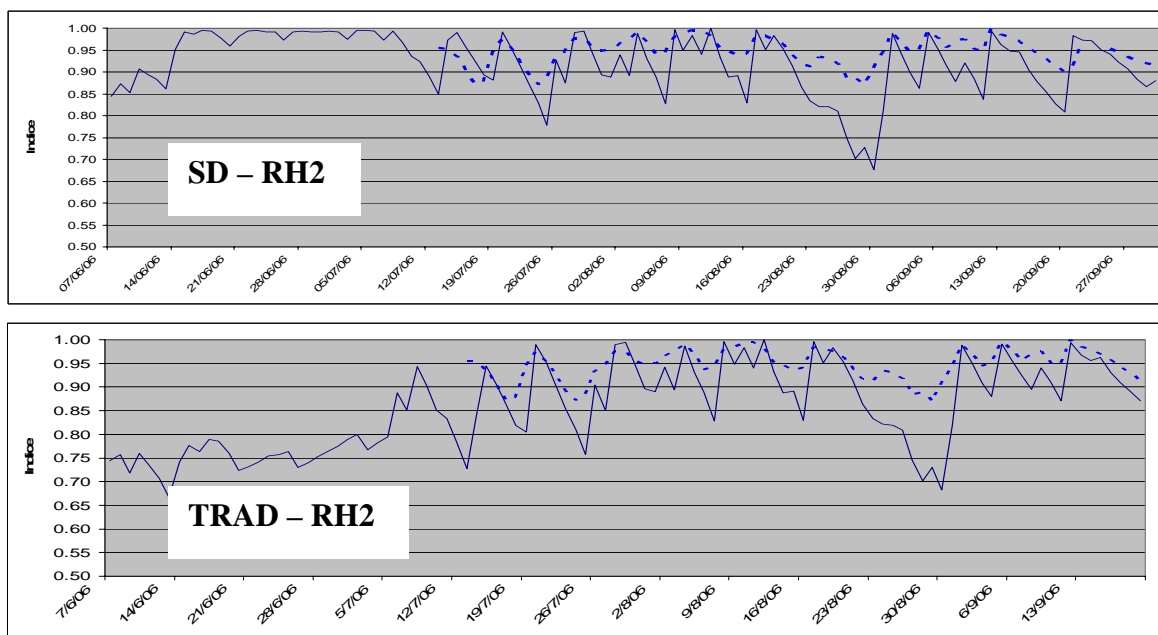


Figura 3 – Regime hídrico 2 (RH2) - Valores diários relativos de balanço hídrico do solo (traço contínuo) e de valores relativos médios diários de água no solo registados com sondas capacitivas (traço descontinuo).

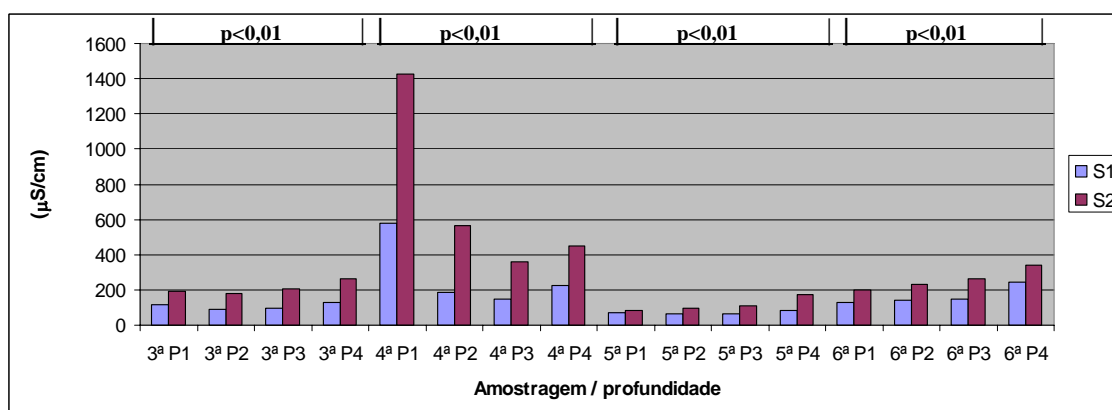


Figura 4 - Influência da salinidade da água na condutividade eléctrica do solo, a diferentes profundidades (P1 a P4), antes da segunda campanha de rega (3ª amostragem), após a segunda campanha (4ª), antes da terceira campanha (5ª) e após a quarta campanha (6ª).

Na Figura 4, tal como esperado, em todas as profundidades, a modalidade com a água de rega mais salina (S2) conduziu a valores de salinidade do solo significativamente mais elevados, em todas as amostragens e em todas as profundidades. Após a terceira campanha de rega (6ª amostragem) não se verificou um acréscimo de salinidade tão acentuado, como na campanha de rega anterior, devido ao facto da cultura ter terminado o ciclo muito tarde, a que se seguiram alguns dias com precipitação elevada (165 mm) até à colheita da cultura e das amostras de solo que foram efectuadas em 30 de Outubro de 2006.

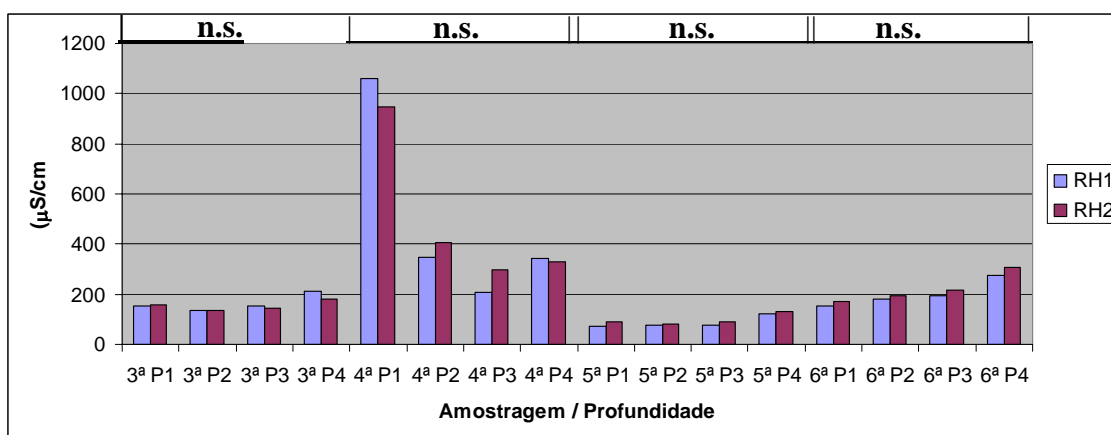


Figura 5 – Influência do regime hídrico na condutividade eléctrica do solo, a diferentes profundidades (P1 a P4), antes da segunda campanha de rega (3ª amostragem), após a segunda campanha (4ª), antes da terceira campanha (5ª) e após a quarta campanha (6ª).

Como se pode observar na Figura 5, não se evidenciam diferenças relevantes entre os diferentes regimes hídricos apesar da maior quantidade de sais (em absoluto) aplicados, no regime hídrico 2, o que deverá ser compensado por uma maior lixiviação dos sais durante a própria campanha de rega.

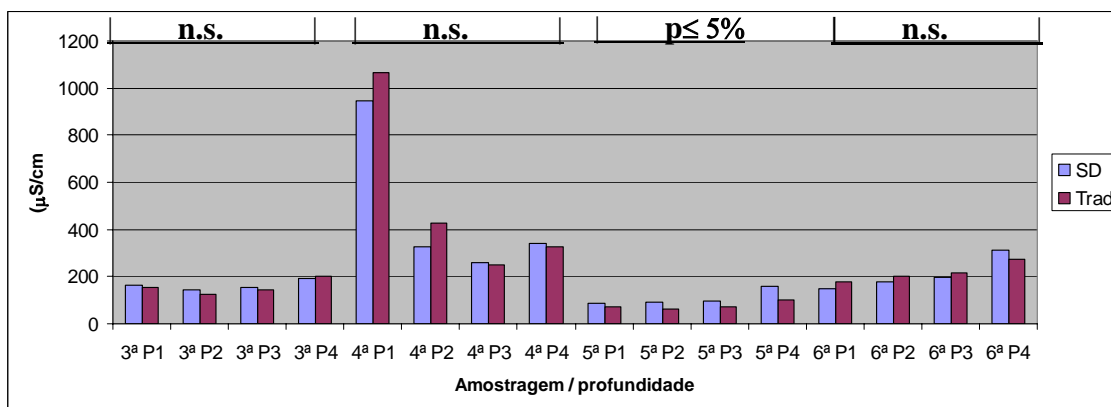


Figura 6 - Influência da mobilização do solo na condutividade eléctrica deste, a diferentes profundidades (P1 a P4), antes da segunda campanha de rega (3ª amostragem), após a segunda campanha (4ª), antes da terceira campanha (5ª) e após a quarta campanha (6ª).

Na Figura 6, após a segunda campanha de rega (amostragem 4) registou-se uma menor salinidade do solo na SD, em P1 e em P2 (0 a 20 cm) mas esta diferença não foi confirmada estatisticamente. Antes da terceira campanha de rega (5ª amostragem) verificaram-se valores de salinidade significativamente mais elevados em todas as profundidades na modalidade SD. Este facto mostra que o pressuposto inicial de que ocorreria uma maior lavagem de sais durante o Inverno não se verificou devido provavelmente ao maior consumo de água pela cultura de cobertura num Inverno particularmente seco.

Durante a campanha de rega seguinte (ultima campanha) a modalidade de SD voltou a apresentar valores mais baixos de salinidade na P1 e na P2. As diferenças não foram significativas muito provavelmente por a modalidade SD ter partido de valores de salinidade mais elevados (já confirmados na 5ª amostragem). Para esclarecer este facto calculou-se a diferença entre os valores de salinidade entre a 6ª amostragem e a 5ª amostragem e neste caso confirmou-se uma acumulação de sais significativamente mais baixa ($p \leq 5\%$) na SD. Este facto está de acordo com os pressupostos iniciais de que na SD ocorreria uma menor acumulação de sais devido à menor evaporação directa à superfície do solo e à conseqüente maior quantidade de água disponível para lixiviação (maior superavit hídrico apresentado no **Quadro 4**) associada a uma provável maior condutividade hidráulica saturada o que levou a uma menor acumulação de sais nas camadas mais superficiais na modalidade de sementeira directa com cultura de cobertura.

Conclusões

A cultura de cobertura utilizada (*Avena sativa L.*) que antecedeu a cultura do milho no segundo ano e no terceiro ano de ensaio produziu grande quantidade de resíduos que ficaram à superfície do solo e que contribuíram, deste modo, para uma maior infiltração da água no solo e, em simultâneo, para uma efectiva redução das perdas de água por evaporação directa do solo, o que conduziu no final da terceira época de rega a uma menor acumulação de sais nos 20 cm superficiais do solo na modalidade sementeira directa, de acordo com os pressupostos iniciais.

A cultura de cobertura (aveia) que se seguiu (Inverno de 2005-2006) contribuiu no entanto para aumentar a salinidade do solo, na modalidade com sementeira directa, nas quatro profundidades estudadas, o que está em desacordo com os pressupostos iniciais de que no Inverno ocorreria maior lavagem de sais na SD. Este facto está certamente relacionado com capacidade da aveia em extrair água em profundidade, num Inverno em que ocorreu uma pluviosidade bem distribuída mas inferior à média, tendo assim deixado menor quantidade de água disponível para a lixiviação de sais. Estes resultados revelam que, nos anos de menor precipitação, poderá ser recomendado eliminar a cultura de cobertura mais precocemente.

O evidente menor consumo da água de rega na modalidade SD sobre a cultura de cobertura permitirá a prática de menores dotações e deste modo uma menor aplicação de sais durante a campanha de rega o que reduzirá deste modo a quantidade de sais a eliminar em Invernos de precipitação média ou acima da média. Este facto pode contribuir para que com a SD ao adicionar-se menor quantidade de sais também se contribuirá por esta via para uma menor salinização do solo a longo prazo.

Os valores mais baixos de condutividade eléctrica da solução do solo ao fim de três anos são indicadores, de que, a sementeira directa, em conjunto com uma cultura de cobertura, poderá dar um contributo útil para a prática de uma agricultura de regadio sustentável, em clima semi-árido e em solos de baixa condutividade hidráulica, mesmo utilizando águas de rega com teores moderados de sais.

Agradecimentos

Este estudo foi efectuado no âmbito do Projecto POCTI 40761 financiado pela FCT. Agradece-se ao COTR a disponibilidade dos dados meteorológicos.

Bibliografia

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. & Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56.

Basch, G., Carvalho, M.J. & Marques F. 1996. No-tillage - Its Potential and Adoption in the Alentejo. Proceedings do Congresso Nacional sobre Agricultura de Conservacion. Rentabilidad y Medio Ambiente, Córdoba.

Mendes, J. P. 2007. Utilização de um modelo expedito no apoio à condução da rega - ConduzRega). Aceite para apresentação no II Congresso Nacional de Rega e Drenagem. Fundão.

Clarke, D., Martin S., El-Askari, K. 1998. CropWat for Windows : User Guide. University of Southampton

Nunes, J.M., Muñoz. A., Coelho, J. P., Dias, S., Garcia, A. & López-Piñeiro, A. 2005 Using a GIS for use and management of an irrigation area in the Spanish-Portuguese border threatened by Desertification. In: Desertification in the Mediterranean Region. A Security Issue. W.G. Kepner, J.L. Rubio, D.A. Mouat, and F. Pedrazzini (Eds.). NATO Security through Science Series, **3**, 605p., Springer Publishers, Germany.

Sequeira, E.M. 1995. Estudo Integrado de Impacte Ambiental do Empreendimento do Alqueva. VII - Solos 137 p. Seia-Sociedade de Engenharia e Inovação Ambiental.