

INFLUÊNCIA DA QUALIDADE DE ÁGUA DE REGA E DA ADUBAÇÃO AZOTADA NO SOLO E NA PRODUÇÃO DE MILHO-GRÃO

Castanheira, N.L.¹; Prazeres, A.O.²; Neves, M.J.²; Fonte, S.C.²; Gonçalves, M.C.²; Santos, F.L.¹; Martins, J.C.²; Ramos, T.B.²; Pires, F.P.²; Reis, J.L.¹; Bica, J.² & Bica, M.²

¹ Dep. Eng. Rural, Universidade de Évora, Pólo da Mitra, Apartado 94, 7000-554 Évora.
E-mail: nlsc@uevora.pt, fls@uevora.pt.

² Dep. Ciência do Solo, Estação Agronómica Nacional, 2784-505 Oeiras.

Resumo

Apresentam-se relativamente a 3 anos de ensaio regados com águas de diferentes qualidades e conduzidos em dois tipos de solo, os resultados da produção de milho-grão, da monitorização da solução do solo e da salinidade do solo (apenas em 2004 e 2005). Os locais de estudo situaram-se em Alvalade do Sado (Fluvissole de textura mediana) e na Herdade da Mitra (Antrossole de textura ligeira). Foi utilizado um sistema gota-a-gota em fonte tripla linear com 3 tipos de água de rega: *não salina*, *salina* e *com adição de fertilizante azotado*, de forma a obter dois gradientes, um de salinidade e outro de fertilizante.

Monitorizou-se a solução do solo (condutividade eléctrica (*CE*), teores em catiões solúveis e nitratos) às profundidades de 20, 40 e 60 cm. Recolheram-se amostras de solo antes e no final do 1º e 2º ciclos de rega, nos 4 Grupos, em todas as modalidades e a 3 profundidades (0-20, 20-40 e 40-60cm), para determinação da *CE* do extracto de saturação do solo e da percentagem de sódio de troca (*ESP*).

Os resultados obtidos mostram as tendências da evolução da salinidade do solo e da solução do solo e da produtividade do milho em função dos tratamentos aplicados. No Fluvissole, o efeito cumulativo dos sais nos dois anos de ensaio é mais evidente que no Antrossole. A salinidade elevou-se no final dos ciclos de rega, com particular evidência nas duas modalidades com maior aplicação de sal. Registaram-se valores máximos da ordem dos 10 dS m⁻¹ no fim do 2º ciclo de rega no Fluvissole, enquanto que no Antrossole, não ultrapassou os 6 dS m⁻¹. As características texturais e hidráulicas dos solos estiveram na base das diferenças de *CE* observadas, proporcionando uma lavagem mais eficiente de sais no Antrossole que no Fluvissole.

As produções em folhas e colmos (matéria vegetal) obtidas em ambos os locais, nos 3 anos mostraram pequenas variações em cada tratamento, apresentando os valores mais baixos no Grupo IV, como seria espectável devido à não aplicação de azoto. Quanto à produção de grão verificou-se, em todos os grupos na modalidade A (aplicação do máximo de sal) um decréscimo ao longo dos 3 anos, devido à acumulação dos sais no solo. Os máximos de produção de grão foram obtidos no 1º ano (2004), nos Grupos II e III e na modalidade A. Em 2005 e 2006, as produções mais elevadas registaram-se nos mesmos Grupos mas nas modalidades B e C.

Palavras-chave: milho-grão, salinidade, produtividade, azoto.

Abstract

In this paper are shown three years results of *Zea Mays* production, soil solution and soil salinity monitorization, in two soil types irrigated with different water qualities. The experimental plots were installed in Alvalade do Sado (Fluvisol with medium texture) and Herdade da Mitra (Antrosol with coarse texture). Irrigation was achieved with a triple emitter source system with three sources of water: *irrigation water*, *salty water* and *irrigation water+fertilizer*. With the layout it is intended to obtain two gradients: different levels of salinity and nitrogen fertilizer.

Soil solution was monitored (electrical conductivity (*EC*), soluble cations and nitrates), in 4 groups of the layout system at 20, 40 and 60 cm depths. Soil samples were collected at the beginning and end of each irrigation cycle, at the 4 groups and all treatments in 3 depths (0-20, 20-40 and 40-60cm), to determine *EC* and exchange sodium percentage (*ESP*).

The results show tendencies of salinity progression in soil and soil solution and the impact of the different treatments on crop production. In the Flusivol, the cumulative salts effects in the two years data is more visible than in Antrossol. Salinity was enhanced at the end of the irrigation cycles, particularly in the two treatments submitted to higher soil application. The higher registered values were 10 dS m^{-1} in the Fluvisol, at the end of 2nd irrigation cycle, while in the Antrosol *EC* didn't exceed 6 dS m^{-1} . Soil texture and hydraulics characteristics were responsible, for the observed *EC* differences, since the Antrossol showed more efficient salt lixiviation than Fluvisol.

Maize stems production in three years showed diminutive variations in different treatments, with the lowest values registered in group IV due to lack of nitrogen fertilizer application. Referring to grain yield the maximum was obtain in treatment A (application of maximum amount of salt), but these yields decreased during the experiment probably due to salt accumulation in soil. The highest values were registered in 2004 in groups II and III in treatment A. In 2005 and 2006, the higher yields were observed in the same groups but in treatments B and C.

Keywords: *Zea Mays*, salinity, production, nitrogen fertilizer

1. Introdução

A progressiva escassez de água tem como consequência o inevitável uso de águas salinas no regadio. Esta situação acarreta riscos acrescidos de acumulação de sais na zona das raízes e consequentes decréscimos de produção das culturas e da fertilidade do solo (Maas, 1986; Läuchli and Epstein, 1990).

No Alentejo, em que a precipitação é baixa e variável, a rega é necessária para a obtenção de níveis de produção sustentáveis. A drenagem eficiente é também uma condição prioritária para evitar a acumulação de sais no solo.

Os efeitos dos sais nas culturas influenciam o seu desenvolvimento e produção. Os sais afectam também algumas propriedades físico-químicas do solo, condicionando a utilização do solo como meio para o cultivo. O excesso de sódio (Na) e o pH muito elevado, presentes em águas de rega salinas, promovem a expansão e/ou a dispersão da argila alterando a geometria dos poros do solo, a permeabilidade intrínseca do solo, a retenção de água e a produtividade da cultura (Keren, 2000).

De acordo com a FAO, as plantas variam a sua tolerância aos sais e muitas são suficientemente tolerantes, após a germinação, conseguindo-se níveis de produção aceitáveis quando regadas com águas salinas. A cultura de milho mantém estes níveis, até a um limiar em que a condutividade eléctrica do extracto de saturação do solo na zona das raízes atinge $1,7 \text{ dS m}^{-1}$. Acima deste valor limite, os decréscimos nas produções ocorrem de modo directamente proporcional aos acréscimos de salinidade (relação linear), a uma taxa expressa pelo declive da recta, em que por cada dS m^{-1} de aumento da condutividade eléctrica do extracto de saturação poderá ocorrer um decréscimo de 12 % na produção (FAO, 1998).

O objectivo deste trabalho é avaliar a resposta do solo e da produtividade de milho-grão à influência simultânea da salinidade e da adubação azotada. Para tal, procedeu-se à instalação de duas áreas experimentais (Herdade da Mitra e Alvalade do Sado), com mobilização convencional e sistema de rega gota-a-gota em fonte tripla linear. O esquema em Fonte Tripla Linear é uma adaptação, com três fontes de alimentação, do esquema Fonte Dupla Linear de Malach *et al.* (1995, 1996), que simplifica o processo de aplicação de diferentes níveis de salinidade e de adubação azotada numa pequena área.

2. Material e métodos

Os ensaios experimentais decorreram desde 2004 em Alvalade-Sado (Fluvissole de textura mediana) e na Herdade da Mitra (Antrossole de textura ligeira). Usaram-se sistemas de mobilização convencional em parcelas com cerca de 200 m^2 cada, a cultura de milho-grão e rega com sistema gota a gota em Fonte Tripla Linear. Este sistema é alimentado por **3 fontes de água**: *água salina* (com NaCl dissolvido), *água de rega* (água da região) e *água+fertilizante* (com adição de NH_4NO_3). Assim, obtêm-se **2 gradientes**: um de *salinidade* (com adição de sal) e outro de *fertilizante* (com adição de solução azotada). Cada área experimental é composta por 4 Grupos (I a IV), com três repetições cada (que correspondem a 3 linhas de milho regadas). O gradiente de salinidade é estabelecido ao longo das linhas de cultura por aplicação de 4 quantidades diferentes de sal (Modalidades A a D) em 2004 (Quadro 1) e de 3 em 2005 (Modalidades A a C=D) (Quadro 2). O gradiente de fertilizante foi estabelecido ao longo dos 4 Grupos, isto é, decrescente do Grupo I para o IV. Cada linha de cultura é regada por 3 tubagens com 3 conjuntos de gotejadores, cuja dotação aplicada é sempre constante em cada modalidade, debitando 18 L h^{-1} por metro linear de cultura.

Quadro 1. Esquema dos campos experimentais em 2004 podendo observar-se os diferentes grupos e modalidades e respectivos débitos dos gotejadores nas linhas

	Grupo I			Grupo II			Grupo III			Grupo IV		
	Sal	N	Água	Sal	N	Água	Sal	N	Água	Sal	N	Água
A	*12	6	0	12	4	2	12	2	4	12	0	6
B	6	6	6	6	4	8	6	2	10	6	0	12
C	4	6	8	4	4	10	4	2	12	4	0	14
D	0	6	12	0	4	14	0	2	16	*0	0	18
	18 L/h			18 L/h			18 L/h			18 L/h		

* - Estações com Cápsulas Porosas (20, 40 e 60 cm de profundidade)

Quadro 2. Esquema dos campos experimentais em 2005 e 2006 com apenas 3 modalidades por grupo

	Grupo I			Grupo II			Grupo III			Grupo IV		
	Sal	N	Água	Sal	N	Água	Sal	N	Água	Sal	N	Água
A	*12	6	0	†12	4	2	*12	2	4	*12	0	6
B	6	6	6	†6	4	8	6	2	10	6	0	12
C	*0	6	12	†0	4	14	*0	2	16	*0	0	18
	18 L/h			18 L/h			18 L/h			18 L/h		

* - Estações com Cápsulas Porosas (20, 40 e 60 cm de profundidade)
† - Estações com Tensiómetros e Sensores Watermark® (30, 50 e 70 cm de profundidade)

As metodologias de aplicação de sal e fertilizante e a monitorização dos vários parâmetros foram iguais para os dois campos de ensaios encontrando-se descritas em Gonçalves *et al.* (2005). As quantidades totais de sais aplicadas nos 3 anos dos ensaios são apresentadas no Quadro 3. Durante os 3 ciclos de rega, a água salina aplicada apresentou uma *CE* média à saída dos gotejadores de 7.5 dS m⁻¹ em Alvalade e 6,2 dS m⁻¹ na Mitra. A dotação média total aplicada neste período foi 1000 mm para Alvalade e 790 mm na Herdade da Mitra.

Quadro 3. Quantidade total de sais na água de rega salina e de fertilizante azotado (N) aplicados por modalidade, nos 3 anos de ensaio

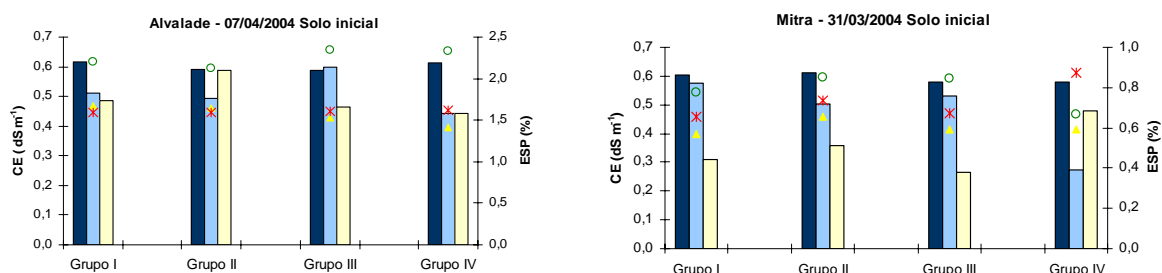
Grupos	Mod.	Sal (g/m ²)						Fertilizante (g/m ²)					
		2004		2005		2006		2004		2005		2006	
		Alv.	Mitra	Alv.	Mitra	Alv.	Mitra	Alv.	Mitra	Alv.	Mitra	Alv.	Mitra
I	A	1365	1352	2055	962	2539	1229	12	6	13	10	14	13
	B	910	901	1027	481	1269	614	12	6	13	10	14	13
	C	455	451	0	0	0	0	12	6	13	10	14	13
	D	0	0	-	-	-	-	12	6	-	-	-	-
II	A	1365	1352	2055	962	2539	1229	8	4	9	7	9.5	9
	B	910	901	1027	481	1269	614	8	4	9	7	9.5	9
	C	455	451	0	0	0	0	8	4	9	7	9.5	9
	D	0	0	-	-	-	-	8	4	-	-	-	-
III	A	1365	1352	2055	962	2539	1229	4	2	4	3	5	4
	B	910	901	1027	481	1269	614	4	2	4	3	5	4
	C	455	451	0	0	0	0	4	2	4	3	5	4
	D	0	0	-	-	-	-	4	2	-	-	-	-
IV	A	1365	1352	2055	962	2539	1229	0	0	0	0	0	0
	B	910	901	1027	481	1269	614	0	0	0	0	0	0
	C	455	451	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	D	0	0	-	-	-	-	0	0	-	-	-	-

Recolheram-se amostras de solo (num total de 48 amostras em 2004 e 36 em 2005 e 2006) no início e final de cada ciclo de rega e no fim do período chuvoso, nos 4 grupos e em todas as modalidades, a 3 profundidades (0-20, 20-40, 40-60 cm), para determinação de vários parâmetros do solo, entre os quais a *CE* do extracto de saturação do solo e *ESP*. Para a monitorização da solução do solo, no período de 2004/05, instalaram-se 2 cápsulas porosas por profundidade (20, 40 e 60 cm) nos Grupos I e IV, nas modalidades A e D, e em 2005/06 em todos os grupos nas modalidades A e C (Quadros 1 e 2). Foi realizada periodicamente a amostragem de solução do solo para avaliação da *CE*, teores em catiões solúveis (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+) e azoto nítrico (N-NO_3^-). No final de cada ciclo da cultura de milho-grão foram avaliadas separadamente as produções de grão e da matéria vegetal (folhas e colmos) nos vários tratamentos.

3. Resultados e discussão

3.1. Salinidade do solo

A Figura 1 apresenta a evolução da salinidade do solo, em 2004 e 2005, avaliada pela *CE* do extracto de saturação do solo e pelo *ESP* nas 4 amostragens. Nos dois locais, a salinidade inicial do solo não ultrapassava $0,6 \text{ dS m}^{-1}$ e o *ESP* era inferior a 2,5 %, sendo os valores mais baixos correspondentes à Mitra. Após o 1º ciclo de rega (2004), a *CE* aumentou na camada superficial, para valores compreendidos em regra entre $2-4 \text{ dS m}^{-1}$ em Alvalade e entre $2-6 \text{ dS m}^{-1}$ na Mitra. Após o período Outono-Inverno de 2004/2005 em que a ocorrência de precipitação foi escassa (200 mm), observou-se a diminuição da salinidade do solo da Mitra, provavelmente devido à sua textura ligeira e permeabilidade favorável que permite uma lavagem dos sais, enquanto que em Alvalade, e relativamente ao mesmo período, não é notória a diminuição da salinidade do solo. No final do 2º ciclo de rega, observou-se, em Alvalade um acréscimo da *CE*, resultante da acumulação de sais da rega anterior, mas na Mitra este aumento não é tão acentuado, o que seria expectável face aos resultados obtidos no primeiro ciclo de rega.



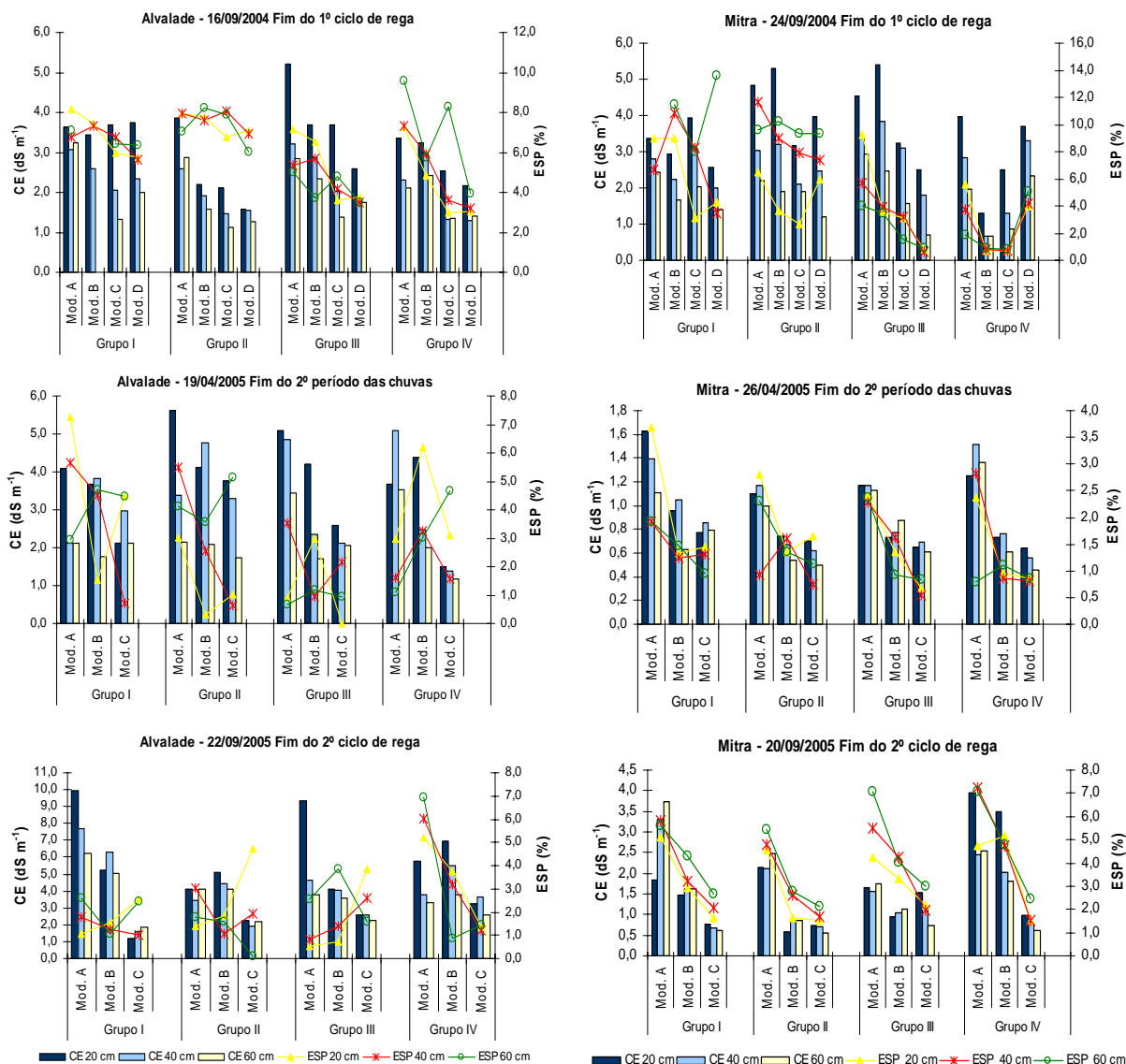


Figura 1. Monitorização da *CE* e *ESP* do extracto de saturação do solo a 3 profundidades (0-20, 20-40 e 40-60 cm) em todos os grupos e modalidades dos 2 campos de ensaio

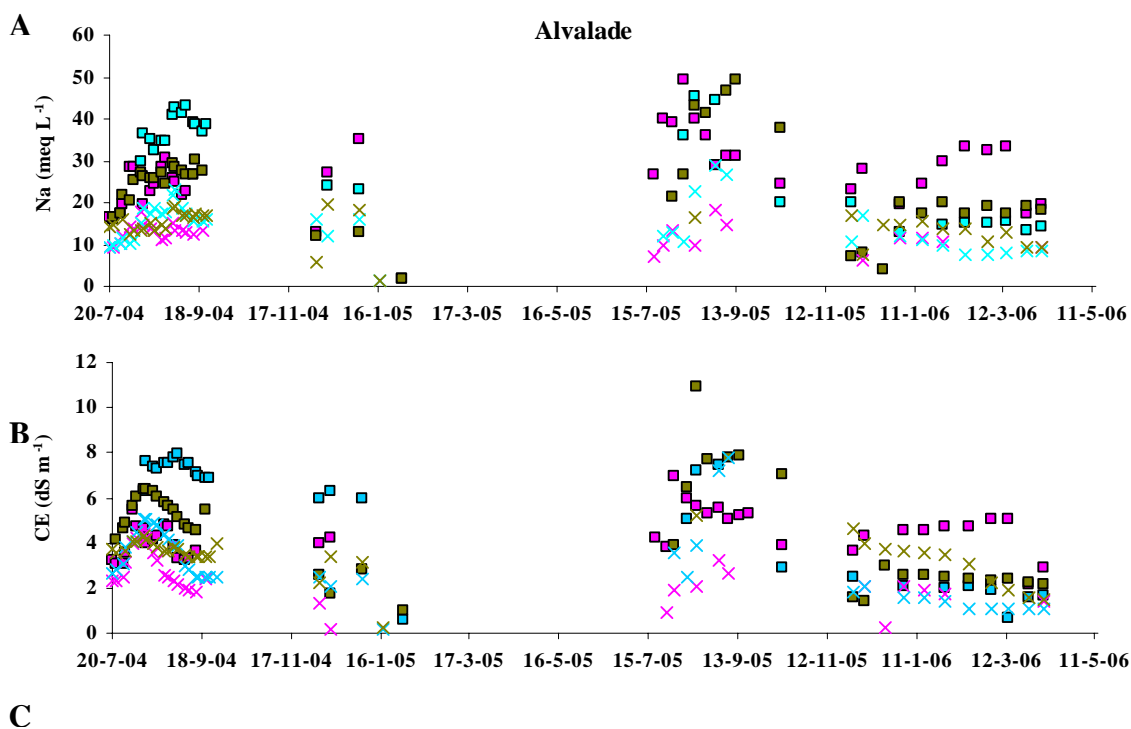
No início do ensaio, os valores mais elevados de *ESP* observaram-se em Alvalade na sua maioria à profundidade de 60 cm. No final do 1º ciclo de rega esta tendência inverte-se, observando-se à profundidade de 20 cm valores superiores de *ESP*.

Após o final do 1º período de chuvas verificam-se valores de *ESP* superiores à profundidade de 60 cm, mas globalmente superiores aos observados no início do ensaio. Relativamente à Mitra, no início do ensaio o *ESP* não ultrapassou 1 %, em todas as profundidades. No final dos dois ciclos de rega, o *ESP* foi superior à profundidade de 20 cm, tendo-se observado em geral, valores superiores no final do 1º ciclo de rega, provavelmente devido à menor lavagem ocorrida no Outono/ Inverno 2004-2005.

3.2. Solução do solo

Nas Figuras 2 e 3, encontram-se alguns resultados da monitorização da solução do solo nos 2 ensaios.

Em Alvalade e para o Grupo I (modalidade A), os valores mais elevados de *CE* (entre 3 e 8 dS m⁻¹) e de Na solúvel, ocorrem à profundidade de 40 cm, e os mais baixos a 20 cm (Figuras 2A e 2B) nos 2 ciclos de rega, apesar desta tendência ser mais evidente no 1º ciclo. O Grupo IV (modalidade C) apresenta valores em geral inferiores aos do Grupo I, facto espectacular pela não aplicação de fertilizante azotado nem de sal. A existência de valores elevados de *CE* e de Na neste último grupo poderá ser justificada pela ocorrência de escorrimentos superficiais entre modalidades, atribuídos à existência de microdeclive e da menor impermeabilidade deste solo. Em geral, após os ciclos de rega há aumento progressivo da *CE* na solução do solo e no final dos períodos chuvosos existem ligeiros decréscimos que indiciam uma fraca lavagem no perfil do Fluvisolo. Relativamente ao azoto nítrico (Figura 2C) e no 1º ciclo de rega, a solução do solo apresentou valores bastante elevados, entre 25 e 150 mg L⁻¹ em todas as profundidades, ainda que se tenham observado valores entre 150 e 350 mg L⁻¹ à profundidade de 20 cm, decorrentes da aplicação do fertilizante azotado (finais de Julho). No 2º ciclo de rega, o comportamento do azoto nítrico na solução do solo manteve o padrão do ano anterior.



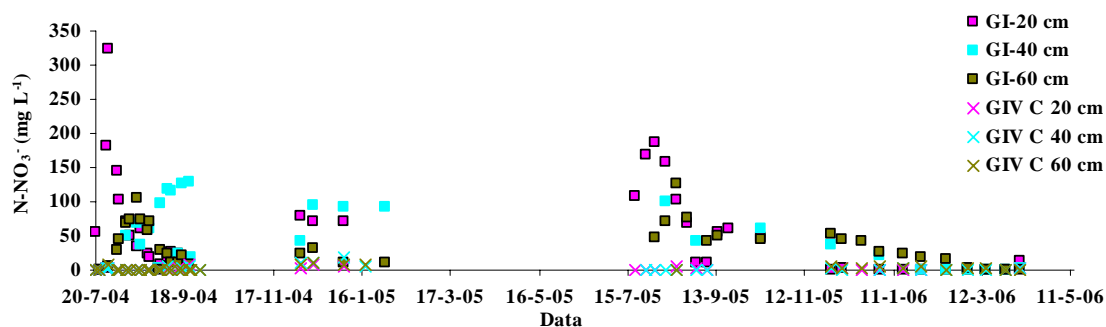
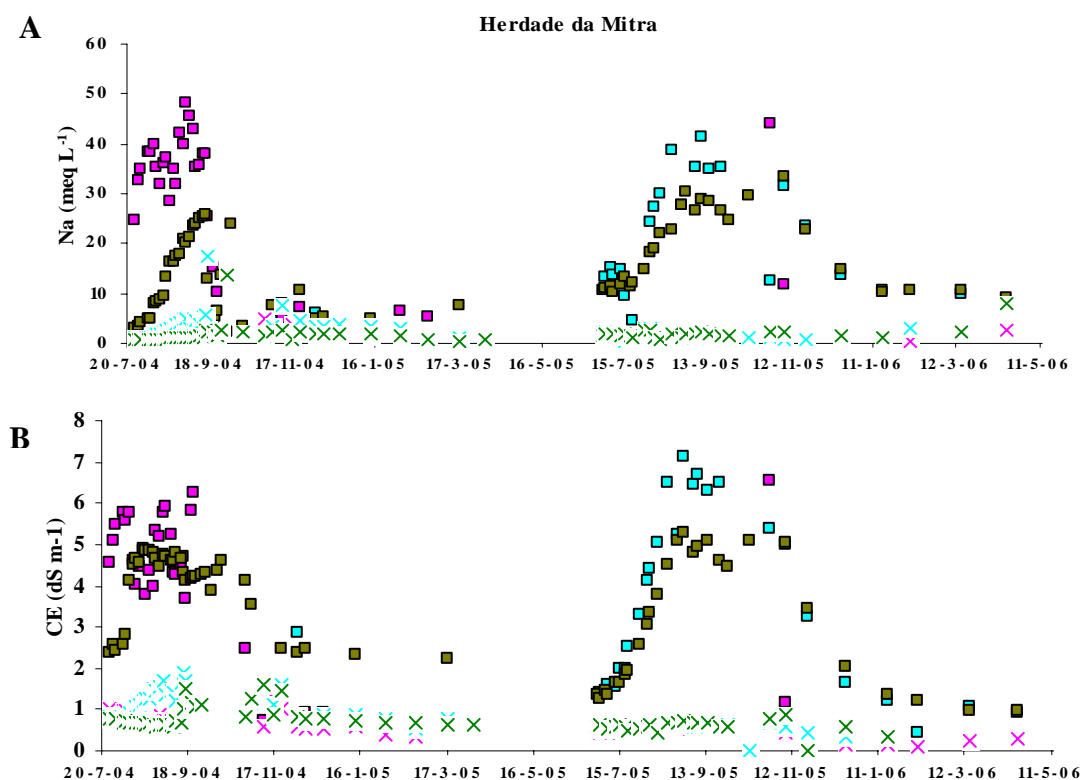


Figura 2. Monitorização da solução do solo em Alvalade a 3 profundidades (20, 40 e 60 cm) nos Grupos I e IV e modalidades A e C, respectivamente. **A** - Sódio solúvel ($meq\ L^{-1}$); **B** - Condutividade eléctrica (dSm^{-1}) e **C** - Azoto nítrico ($mg\ L^{-1}$)

No Antrossolo da Mitra (Figura 3), os valores mais elevados de CE durante os períodos da rega verificaram-se a 20 cm de profundidade e situaram-se entre 4 e 6 $dS\ m^{-1}$. O Grupo IV, em ambos os ciclos de rega, apresenta valores de CE e Na mais reduzidos que os do Grupo I. Após os ciclos de rega, verificou-se a lixiviação dos sais no Grupo I modalidade A, tendo a CE da solução do solo diminuído para valores inferiores a 1 $dS\ m^{-1}$ à profundidade de 20 cm, e para valores entre 2 e 3 $dS\ m^{-1}$ nas restantes profundidades, facto atribuído à boa permeabilidade do solo o que permitiu uma lavagem eficiente no período chuvoso. Quanto ao azoto nítrico da solução do solo, só se encontraram valores bastante elevados (entre 25 e 350 $mg\ L^{-1}$) no período correspondente à adubação azotada (final de Julho) do ciclo de 2004. No 2º ciclo de rega os valores de azoto nítrico são inferiores aos do 1º ciclo, não ultrapassando os 40 $mg\ L^{-1}$.



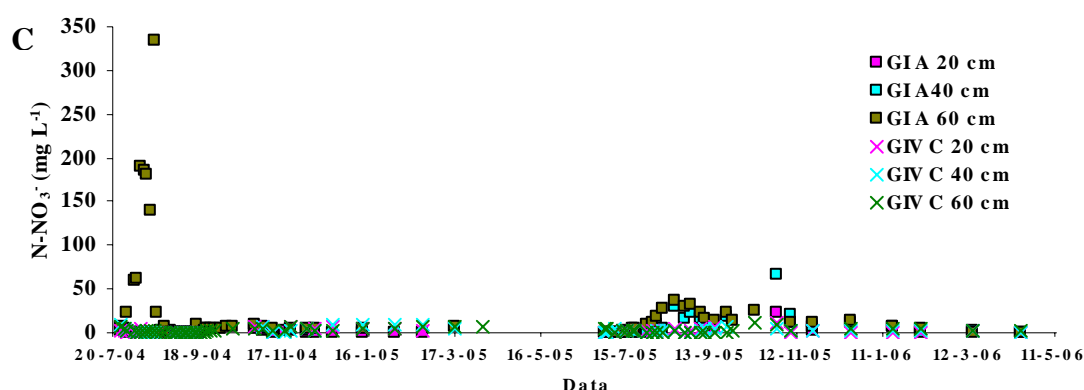
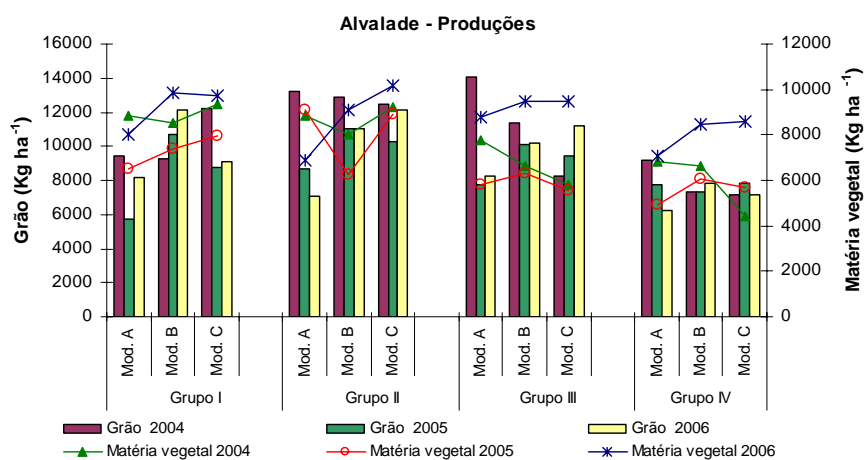


Figura 3. Monitorização da solução do solo na Herdade da Mitra a 3 profundidades (20, 40 e 60 cm) nos Grupos I e IV e modalidades A e C, respectivamente. **A** - Sódio solúvel (meq L^{-1}); **B** - Condutividade eléctrica (dSm $^{-1}$) e **C** - Azoto nítrico (mg L^{-1})

3.3. Produções

Verificou-se, como esperado, variações nas produções de acordo com os gradientes impostos de salinidade e fertilizante (Figura 4). Assim, em ambos os campos experimentais e nos 3 anos de ensaios, os valores mais baixos de produção correspondem ao grupo sem aplicação de fertilizante (Grupo IV).

No 1º ano de ensaio (2004), os valores máximos de produção de milho-grão, foram obtidos nas modalidades A nos Grupos II (aplicação de 8 g N m^{-2} em Alvalade e 4 g N m^{-2} na Mitra) e Grupo III (4 g N m^{-2} em Alvalade e 2 g N m^{-2} na Mitra). Nos anos seguintes, verificaram-se decréscimos da produção de milho-grão em todos os grupos, com maior incidência na Mitra, muito provavelmente devido ao Inverno e Primavera terem sido secos, o que condicionou o estado do solo à sementeira, a emergência das plantas e o seu desenvolvimento posterior. Em 2005 e 2006, as melhores produções de milho-grão foram obtidas nos Grupos II (aplicação de 9/9,5 g N m^{-2} em Alvalade e 7/9 g N m^{-2} na Mitra) e III (aplicação de 4/5 g N m^{-2} em Alvalade e 3/4 g N m^{-2} na Mitra) mas nas modalidades B e C.



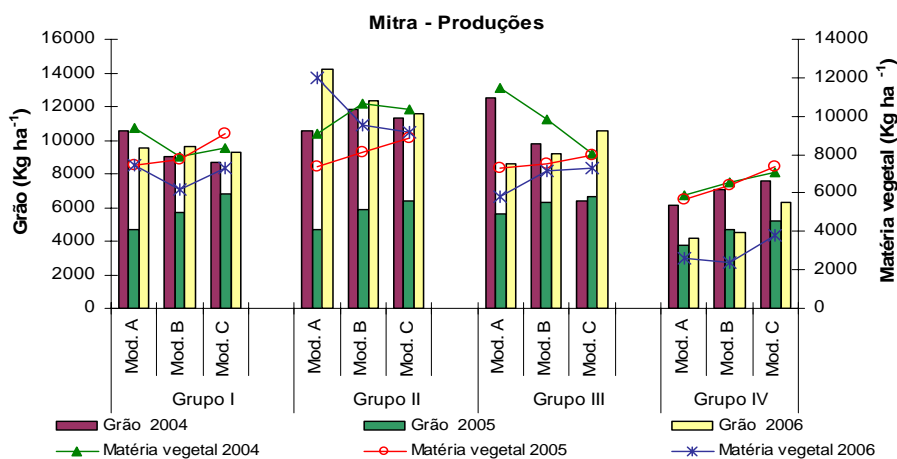


Figura 4. Produções médias de milho-grão e matéria vegetal (folhas e colmo) em cada modalidade nos 3 anos e nos 2 campos de ensaio

4. Conclusões

Os resultados apresentados neste trabalho indicam uma tendência para a acumulação de sais ao longo de três ciclos de rega no Fluvissole. Também a existência de um período chuvoso com apenas 200 mm de precipitação (Outono-Inverno 2004/2005), impediu uma lavagem de sais eficiente, como verificado através dos valores de *CE* e *ESP* do solo e também pelos *CE* e *Na* solúvel da solução do solo no final dos dois ciclos de rega. O Antrossolo da Mitra revelou, por outro lado, capacidade de recuperação após os dois ciclos de rega. Neste campo, foram observados valores máximos de salinidade do solo de 6 dS m⁻¹, enquanto que em Alvalade existiram máximos de 10 dS m⁻¹, ambos na modalidade A dos Grupos I e III. De forma global, podemos afirmar que os valores de *ESP* são decrescentes em profundidade antes do início das regas, mas no final destes ciclos a tendência inverte-se. Relativamente aos valores de *ESP* do solo, embora em ambos os locais não tenham excedido o valor de 15% (Alvim, 1975), limite a partir do qual o solo se designa como sódico, há que referir que foram detectados valores entre 8-12% em Alvalade e na Mitra, que se podem considerar preocupantes.

Relativamente ao azoto nítrico, em Alvalade, a solução do solo apresenta valores bastante elevados, entre 25 e 150 mg L⁻¹ em todas as profundidades, ainda que se tenham observado valores entre 150 e 350 mg L⁻¹ à profundidade de 20 cm, reflexo da aplicação do fertilizante azotado em finais de Julho nos dois ciclos de rega. Na Mitra só se encontraram valores bastante elevados (entre 25 e 350 mg L⁻¹) no mesmo período correspondente à adubação azotada. No 2º ciclo de rega os valores de azoto nítrico são inferiores aos do 1º, não ultrapassando os 40 mg L⁻¹.

As produções de matéria vegetal (folhas e colmos) obtidas em cada um dos 3 anos, mostraram pequenas variações em cada tratamento, apresentando os valores mais baixos no Grupo IV, como seria de esperar devido à não aplicação de azoto. Quanto à produção de grão verificou-se na modalidade A (aplicação de um máximo de sal) um decréscimo ao longo do tempo, provavelmente devido à acumulação dos sais no solo. Os máximos de produção foram obtidos no 1º ano (2004), nos Grupos II e III e na modalidade A. No

2º e 3º ano dos ensaios as produções mais elevadas registaram-se nos mesmos grupos mas nas modalidades B e C.

5. Agradecimentos

Este trabalho foi efectuado no âmbito do projecto AGRO 727 financiado no quadro do Programa AGRO, medida 8.1. e pela F.C.T. através do financiamento da bolsa BPD/SFRH/16421.

5. Referências bibliográficas

Alvim, A. J. 1975. Factores elementares dos regadios alentejanos. A água. Curso de reciclagem de regadio. INIA – Oeiras, 5: 5-18.

FAO. 1998. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements, Irrigation and Drainage, paper 56, Rome.

Gonçalves, M.C., Martins, J.C., Castanheira, N.L., Santos, F.L., Neves, M.J., Reis, J., Prazeres, A., Ramos, T., Fonte, S., Pires, F., Bica, M. & Bica, J. 2005. Interacção da salinidade e da fertilização azotada na produtividade do milho-grão. Revista das Ciências Agrárias (em publicação).

Keren, R. 2000. Salinity. In M. E. Sumner (ed) Handbook of Soil Science, pp. G3-G25. CRC Press, Boca Raton, USA.

Läuchli, A., Epstein, E., 1990. Plant response to saline and sodic conditions. In: Tanij, K. K. (Ed.), Agricultural Salinity Assessment and Management. ASCE, New York, Manuals and Reports on Engineering Practice, pp. 113-137.

Maas, E. V., 1986. Salt tolerance of plants. Appl. Agric. Res. 1, 12-26.

Malach, Y., Ben-Asher, J., Sagi, M. & Alert, A. 1995. Double Emitter Source (DES): An adaptation of trickle irrigation to the double line source method. International Water & Irrigation Review, 15 (2): 34-39.

Malach, Y., Ben-Asher, J., Sagih, M. and Alert, A.. 1996. Double-Emitter Source (DES) for irrigation experiments in salinity and fertilization. Agronomy Journal. 88: 987-990.