

Interacção da salinidade e da fertilização azotada na produtividade do milho-grão

Relationship between different levels of salinity and nitrogen and maize production

M.C. Gonçalves¹, J.C. Martins¹, N. Castanheira²; F.L. Santos², M.J. Neves¹, J. Reis², A. Prazeres¹, T. Ramos¹, S. Fonte¹, F. Pires¹, M. Bica¹ & J. Bica¹

RESUMO

Instalaram-se, em 2004 e 2005, dois ensaios de campo (Évora e Alvalade), em solos diferentes, com mobilização convencional e a cultura de milho-grão regada com sistema gota-a-gota, em fonte tripla linear. Neste sistema existem 3 fontes: *água salina, água de rega e solução fertilizante*, de modo a obter dois gradientes, um de salinidade (adição de NaCl), e outro de fertilizante (adição de solução azotada). Pretende-se avaliar o efeito da interacção da aplicação da água da rega salina e da fertilização azotada, sem deixar de se conseguir níveis de produção aceitáveis. Cada área experimental integrava 4 grupos (I a IV), com três repetições, tendo-se utilizado um gradiente decrescente de fertilizante do Grupo I para o IV, sem solução azotada neste último grupo. Dentro de cada grupo estabeleceram-se 4 modalidades de salinidade em 2004 e apenas 3 em 2005, através da distribuição de diferentes quantidades de água salina ao longo das linhas da cultura. O conjunto de gotejadores debitava 18 L/h em cada ponto de rega e cada metro linear de cultura de milho. Nos dois anos em

estudo, as regas com as soluções salina e azotada decorreram de Junho a Setembro, com frequência trissemanal no início, passando a diária.

Nos dois anos monitorizou-se a solução do solo (condutividade eléctrica, teores em cationes solúveis e nitratos) às profundidades de 20, 40 e 60 cm. Recolheram-se amostras de solo antes, durante e no fim dos ciclos de rega, nos 4 Grupos a 3 profundidades (0-20 cm; 20-40 cm; 40-60 cm), para determinação de vários parâmetros do solo, entre os quais a condutividade eléctrica do extracto de saturação do solo. Avaliou-se a produtividade do milho-grão nas diferentes modalidades e determinaram-se funções de produção e as curvas de resposta em função das quantidades totais de sais e de fertilizante azotado aplicados nos dois anos do ensaio ($R^2=0.62$ $n=55$). Os resultados apontam para um efeito positivo da salinidade da água de rega, para aplicações de N inferiores a 4.83 g m^{-2} . Este efeito benéfico da salinidade da água de rega, quando ocorre carência de fertilização azotada, pode ser explicado pela substituição, ou troca, no complexo coloidal do solo do ião NH_4^+ , lá existente, pelo ião Na^+ , da

¹Dep. Ciência do Solo, EAN, Av. República, Quinta do Marquês, 2784-505 Oeiras mc.goncalves@netc.pt;

²Dep. Eng. Rural, Universidade de Évora, Pólo da Mitra, Apartado 94, 7000-554 Évora

água de rega, ficando o primeiro disponível para a planta. Apresentam-se ainda resultados que mostram as tendências da evolução da salinidade do solo e da produtividade do milho em função dos tratamentos aplicados.

ABSTRACT

Two experimental fields in Herdade da Mitra and Alvalade do Sado, were installed in different soils, using conventional field operations. The crop was *Zea Mays* irrigated with a triple emitter source irrigation system. In this layout scheme there are 3 sources of water with different water quality: *salty water* (water source with NaCl dissolved), *irrigation water+fertilizer* (water source with NH_4NO_3 added) and *irrigation water only* (fresh water). With the layout it is intended to obtain two gradients: one with different levels of salinity and another with different levels of nitrogen fertilizer, in order to be able to observe the responses of soil and culture to different levels of salinity and fertilizer.

The objective of this work is to evaluate if different irrigation water salinity levels can be compensated by nitrogen, and still be able to achieve acceptable crop production levels even with low quality irrigation water. In the process soil solution (EC, soluble cations and nitrates) was monitored in the groups, at 20, 40 and 60 cm depth. At the beginning, at the middle and at the end of the irrigation periods, soil samples were also collected at the four Groups and 3 depths (0-20cm; 20-40cm; 40-60cm) to measure soil parameters like the electrical conductivity of the soil saturation extract.

Maize harvest was done in a way to evaluate the different production in the various treatments and the paper shows results related with the impact of treatments on the

soil solution and crop production, and reveals tendencies of the soil salinity progression in time and the productivity of maize. Multiple regression analysis was done relating yields with the total amount of salts and nitrogen applied in the two years of the experiments ($R^2=0.62$, $n=55$). The production functions obtained point to a positive effect of salinity up to nitrogen content less than 4.83 g m^{-2} . This useful effect of irrigation water salinity during nitrogen scarceness could be due to the replacement, and consequent availability for the crop, of the ion NH_4^+ , adsorbed in the soil exchange complex, by the ion Na^+ .

INTRODUÇÃO

O aumento da concentração de sais na solução do solo faz aumentar a energia dispendida pela planta para extrair do solo a água que necessita, reduzindo em simultâneo a transpiração (Alvim, 1975). A partir de certo limite de concentração atinge-se a fase em que a planta morre por não poder vencer, por extracção radical, a pressão negativa total com que a água é retida pelo solo. Contudo, Heimann (1966) refere que, dentro de limites bastante largos de concentração e pressão osmótica, os efeitos prejudiciais da salinidade são causados por razões iónicas desequilibradas e não propriamente pela pressão osmótica. Ainda refere que equilibrando convenientemente essas razões iónicas, muitas plantas podem ser produzidas economicamente com níveis de salinidade elevados no solo. Segundo a FAO (1998), em presença de sais a cultura de milho mantém níveis de produção aceitáveis até 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 pro-

porcional aos acréscimos de salinidade, a uma taxa expressa pelo declive da recta, em que por cada dS m^{-1} de aumento da condutividade eléctrica do extracto de saturação há um decréscimo na produção de 12%.

Os estudos clássicos da aplicação de diferentes níveis de salinidade e de fertilizante às culturas, envolviam geralmente o uso de esquemas de rega por sectores, com bombas de injeção de soluções com diferentes concentrações. O esquema de Fonte Tripla Linear permite simplificar esse processo muito laborioso e observar a resposta do solo e da cultura a diferentes níveis de salinidade e de adubação azotada. O esquema de Fonte Tripla Linear é uma adaptação, com três fontes de alimentação, do esquema Fonte Dupla Linear de Malach *et al.* (1995, 1996). Beltrão (1998) refere, que a introdução de esquemas experimentais de gradientes de rega gota a gota oferece uma ferramenta muito vantajosa na obtenção de dados para a definição das funções de produção e de contaminação ambiental.

O objectivo deste estudo é avaliar se a variação da salinidade da água da rega pode ser compensada com a variação de nutrientes azotados, conseguindo-se obter bons níveis de produção mesmo regando com águas de rega de qualidade inferior (salinas), sem, por outro lado, provocar a salinização e/ou sodicização do solo. Pretende-se obter e divulgar a combinação adequada do binómio sais-fertilizante azotado que melhor responda às necessidades do milho-grão, maximizando a sua produtividade e minimizando os impactes ambientais da rega e do uso de azoto no solo e nas águas subterrâneas e superficiais.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios experimentais e de demonstração foram realizados na Herdade da Mitra e

no Posto de Culturas Regadas de Alvalade do Sado, em 2004 e 2005, prevendo-se prosseguir em 2006. Instalaram-se dois campos experimentais, com cerca de 200 m^2 cada, em solos diferentes, usando sistemas de mobilização convencional e tendo como cultura o milho-grão, regado com o sistema de rega gota a gota em fonte tripla linear. Este sistema de rega é alimentado por **3 fontes de água**: *água salina* (água de rega com NaCl dissolvido), *água de rega* (não salina) e *água+fertilizante* (água de rega com adição de NH_4NO_3), o que permite obter **dois gradientes**, um de *salinidade* (com adição de NaCl), e outro de *fertilizante* (com adição de solução azotada – NH_4NO_3).

Cada área experimental é composta por 4 grupos (I a IV), com três repetições em cada um deles (que correspondem a 3 linhas de milho regadas). A injeção de água salina permite estabelecer um gradiente de salinidade ao longo da linha da cultura obtendo-se, em função do caudal dos gotejadores 4 níveis de concentração de sal (Quadro 1), correspondentes às 4 modalidades estudadas no 1º ano dos ensaios. No 2º ano (2005), fizeram-se algumas alterações ao esquema experimental (Quadro 2), nomeadamente ao nível do número de modalidades por linha de cultura, tendo-se passado de 4 (A, B, C e D) para 3 (A, B e C), aumentado os locais de monitorização, para uma melhor interpretação dos resultados. Os débitos nas modalidades extremas (A e C) mantiveram-se em 12 L/h e 0 L/h, tendo sido alterado o débito da modalidade B para 6 L/h (Quadro 2). O gradiente de fertilizante foi estabelecido ao longo dos 4 grupos, isto é, do Grupo I para o IV, com a aplicação da maior dotação de fertilizante no Grupo I e nenhuma solução azotada no Grupo IV. Assim, cada linha de cultura é regada por três tubagens com três conjuntos de gotejadores, cuja dotação aplicada é sempre constante em cada ponto

de rega debitando 18 L/h por metro linear de cultura de milho.

Na Figura 1 encontra-se representado o esquema da rede total de rega instalada nos dois ensaios, tendo cada linha 8 pontos de rega (modalidades A a D no 1º ano e modalidades de A a C no 2º ano), distanciados entre si de 1 m na linha.

A *água salina* e a *água+fertilizante*, existentes em soluções concentradas preparadas previamente foram injectadas na tubagem através de uma bomba doseadora. A solução salina foi obtida por dissolução de 10 kg de sal em 70 L de água, tendo-se atingido uma condutividade eléctrica de cerca de 150 dS m⁻¹. A solução com fertilizante foi conseguida pela diluição de 8,3 L de nitrato de

amónio em 50 L de água atingindo-se 90 dS m⁻¹. As quantidades totais de sais aplicadas nos dois anos de ensaios são apresentadas no Quadro 3, tendo sido calculadas com base na concentração em sais e fertilizante da água aplicada em cada modalidade durante o ciclo de rega.

Nas campanhas de rega de 2004 e de 2005, iniciadas em Julho, a água aplicada à saída dos gotejadores de sal apresentavam, em média, uma condutividade eléctrica entre 7 e 8 dS m⁻¹ em Alvalade e entre 5.5 e 7 dS m⁻¹ na Mitra. A qualidade das duas origens da água de rega é apresentada no Quadro 4. As dotações totais de rega aplicadas em 2004 e 2005 foram 1066.5 e 725.1 L/m² na Mitra, e 997.3 e 1012.0 L/m² em Alvalade.

QUADRO 1 - Esquema dos campos experimentais no primeiro ano (2004). Podem observar-se os 4 grupos e os débitos dos gotejadores nas linhas e diferentes modalidades

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

* - Localização das cápsulas porosas e tensiómetros (20, 40 e 60 cm de profundidade)

QUADRO 2 - Esquema dos campos experimentais no segundo ano

		Grupo I			Grupo II			Grupo III			Grupo IV			
		Sal	N	Água	Sal	N	Água	Sal	N	Água	Sal	N	Água	
Modalidades	A	12	6	0	12	4	2	12	2	4	12	0	6	
		*12	6	0	†12	4	2	*12	2	4	*12	0	6	
		12	6	0	12	4	2	12	2	4	12	0	6	
		6	6	6	6	4	8	6	2	10	6	0	12	
	B	6	6	6	†6	4	8	6	2	10	6	0	12	
		6	6	6	6	4	8	6	2	10	6	0	12	
		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	
		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 ou Sensores Watermark® (30, 50 e 70 cm de profundidade)

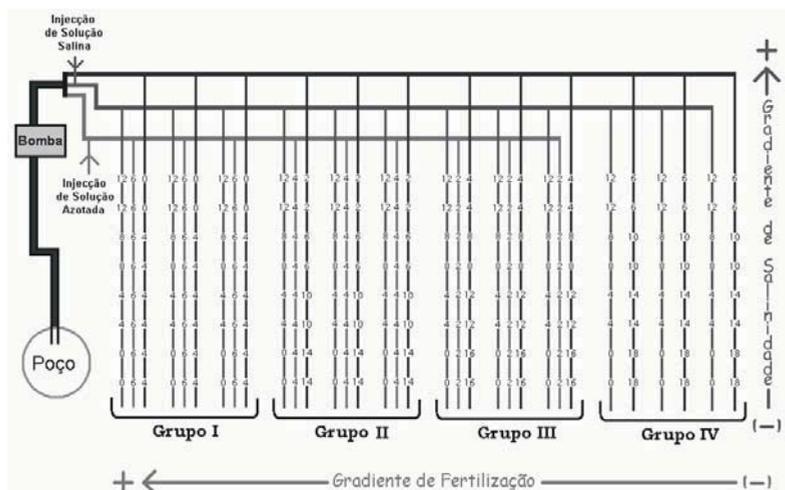


Figura 1 - Esquema experimental fonte tripla linear gota a gota podendo observar-se os quatro grupos, os débitos dos gotejadores nas linhas e os gradientes de salinidade e fertilizante (primeiro ano dos ensaios)

QUADRO 3 - Quantidade total de sais na água de rega salina e de fertilizante azotado (N), aplicados em cada Grupo e modalidade, nos dois anos de ensaio

Grupos	Mod.	Sal (g m^{-2})				Fertilizante (g m^{-2})			
		2004		2005		2004		2005	
		Alvalade	Mitra	Alvalade	Mitra	Alvalade	Mitra	Alvalade	Mitra
I	A	1365	1352	2055	962	12	6	13	10
	B	910	901	1027	481	12	6	13	10
	C	455	451	0	0	12	6	13	10
	D	0	0	-	-	12	6	-	-
II	A	1365	1352	2055	962	8	4	9	7
	B	910	901	1027	481	8	4	9	7
	C	455	451	0	0	8	4	9	7
	D	0	0	-	-	8	4	-	-
III	A	1365	1352	2055	962	4	2	4	3
	B	910	901	1027	481	4	2	4	3
	C	455	451	0	0	4	2	4	3
	D	0	0	-	-	4	2	-	-
IV	A	1365	1352	2055	962	0	0	0	0
	B	910	901	1027	481	0	0	0	0
	C	455	451	0	0	0	0	0	0
	D	0	0	-	-	0	0	-	-

Usaram-se cápsulas porosas, instaladas às profundidades de 20, 40 e 60 cm nos grupos e modalidades indicadas nos Quadros 1 e 2 para o 1º e 2º ano, respectivamente, para a monitorização da solução do

solo. As recolhas de amostras de solução do solo foram realizadas 2 vezes por semana, durante os ciclos de rega, e mais esporadicamente durante o resto do ano, para avaliação da condutividade eléctrica, teores

em catiões solúveis (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+), azoto nítrico e amoniacal (N-NO_3^- , N-NH_4^+).

Recolheram-se ainda amostras de solo no início do ensaio, durante e no fim dos ciclos de rega nos 4 Grupos, a 3 profundidades (0-20cm; 20-40cm; 40-60cm), para determinação de vários parâmetros do solo, entre os quais a condutividade eléctrica do extracto de saturação do solo que é um indicador da salinidade do solo.

No final de cada ciclo da cultura de milho-grão foram avaliadas as produções nas várias modalidades e grupos, separadamente, de forma a poder analisar-se,

QUADRO 4 - Caracterização química da água de rega de Alvalade do Sado e da Herdade da Mitra

Parâmetros	Alvalade do Sado	Herdade da Mitra
pH	8,12	7,58
CE (dS m^{-1})	0,843	0,50
N-NO_3^- (mg/L)	0,51	2,830
N-NH_4^+ (mg/L)	0,21	2,030
Cl ($\text{mmol}_{(c)}/\text{L}$)	2,83	0,64
Na	2,9	1,040
Catiões Ca	1,61	2,54
(meq/L) Mg	2,29	1,38
K	0,07	0,03
Σ Catiões (meq/L)	0,687	0,50
SAR	2,077	0,74

QUADRO 5 - Características físicas e químicas médias das amostras dos perfis 82 (Herdade da Mitra) e 83 (Alvalade-Sado)

Prof. (cm)		Perfil 82 - Mitra				Perfil 83 - Alvalade		
		0-30	30-50	50-90	90-110	0-30	30-75	75-160
Textura		Fr. Aren.	Fr. Aren.	Fr. Aren.	Fr. Aren.	Franca	Fr. Lim.	Franca
Areia Grossa (%)		46,1	43,1	42,3	45,5	8,3	6,5	5,8
Areia Fina (%)		35,9	38,2	39,1	35,0	52,4	46,2	42,0
Limo (%)		10,1	10,2	9,2	9,3	26,3	29,3	27,6
Argila (%)		7,9	8,5	9,4	10,2	13,0	18,0	24,6
pH (H_2O)		6,63	6,59	7,11	7,41	7,00	7,13	7,33
CE (dS m^{-1})		0,483	0,632	0,248	0,260	0,423	1,224	0,959
SAR ($\text{mmol}_{(c)} \text{L}^{-1}$) ^{0,5}		0,25	0,22	0,46	0,57	3,25	3,87	2,96
M. O. (g kg^{-1})		33,26	38,06	8,25	2,41	26,46	17,30	11,69
	Ca	0,066	0,096	0,018	0,020	0,023	0,094	0,083
Cs	Mg	0,030	0,038	0,008	0,008	0,016	0,070	0,071
($\text{cmol}_{(c)} \text{kg}^{-1}$)	Na	0,009	0,009	0,007	0,100	0,083	0,204	0,163
	K	0,020	0,024	0,009	0,006	0,008	0,003	0,002
	Ca	7,600	7,900	5,150	5,200	6,000	6,950	6,700
Ce	Mg	1,400	1,300	1,250	1,100	1,850	2,350	3,250
($\text{cmol}_{(c)} \text{kg}^{-1}$)	Na	0,095	0,090	0,078	0,115	0,363	0,533	0,508
	K	0,650	0,600	0,535	0,390	0,450	0,240	0,160
	Ca	7,534	7,804	5,132	5,180	5,977	6,856	6,617
Ct	Mg	1,370	1,262	1,242	1,092	1,834	2,280	3,179
($\text{cmol}_{(c)} \text{kg}^{-1}$)	Na	0,086	0,081	0,070	0,105	0,280	0,329	0,345
	K	0,630	0,576	0,526	0,384	0,442	0,237	0,158
CTC ($\text{cmol}_{(c)} \text{kg}^{-1}$)		13,72	13,74	10,59	11,91	13,59	15,64	16,01
ESP (%)		0,629	0,587	0,664	0,884	2,059	2,103	2,152
N inorgânico	N-NO_3^-	4,87	10,67	0,88	0,64	3,87	4,02	4,30
(mg kg^{-1})	N-NH_4^+	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N total (g kg^{-1})		1,28	1,39	0,45	0,23	1,15	0,92	0,26

com maior detalhe, os resultados das produções em função dos vários tratamentos aplicados. As plantas foram separadas em folhas, colmos, carolo e grão os quais foram secos na estufa a 65°C., para avaliação da respectiva matéria seca.

Efectuou-se uma análise de regressão múltipla relacionando as produções obtidas nos dois locais, com as quantidades totais de sal (NaCl) e de fertilizante azotado (N) aplicados em cada grupo e modalidade nos dois anos do ensaio. A função de produção obtida foi analisada, os seus máximos calculados e determinadas as curvas de resposta.

Características dos solos

Os solos apresentavam uma textura franco-arenosa na Herdade da Mitra e franca a franco-limosa em Alvalade do Sado, tendo sido classificados como mistura de terras ou Antrossolo de origem granítica (Antrossolo, FAO 2001) e Aluviosolo moderno não calcário de textura mediana (Fluvissole éutrico, FAO 2001), respectivamente. No Quadro 5 apresentam-se as propriedades do solo consideradas relevantes para este estudo, que foram determinadas pelos métodos utilizados no DCS da EAN.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Parâmetros químicos da solução do solo

Nas Figuras 2 e 3 apresentam-se os resultados, relativos ao 1º ciclo de rega - 2004, considerados mais representativos da monitorização da solução do solo nos Grupos I e para a modalidade A (máximos de salinidade e de fertilizante na água de rega) e IV, modalidade D (sem salinidade e sem fertilizante na água de rega),

obtidos através das cápsulas porosas colocadas às profundidades de 20, 40 e 60 cm, nos ensaios em Alvalade do Sado e na Herdade da Mitra.

Relativamente a Alvalade, e para o Grupo I, o solo apresenta os valores mais elevados de CE (entre 3 e 8 dS m⁻¹) e de sódio solúvel à profundidade de 40 cm, e os valores mais baixos à profundidade de 20 cm (Figuras 2A e B). No Grupo IV, em que não se aplicou água salina e fertilizante azotado, os correspondentes valores aí encontrados são inferiores, embora com alguns mais elevados devido à ocorrência de escorrimentos superficiais das modalidades adjacentes. Observa-se que a CE e o Na tiveram um comportamento semelhante, como era esperado, visto que a CE é um indicador da salinidade do solo que integra a totalidade dos catiões solúveis, dos quais o Na é, neste caso, o mais relevante. Até Janeiro de 2005 não foi evidente a lavagem do solo pela água da chuva, certamente pela fraca pluviosidade ocorrida em fins de 2004 e pelas características do solo (Quadro 5). Relativamente ao azoto nítrico (Figura 2C), a solução do solo apresenta valores bastante elevados, entre 25 e 150 mg/L em todas as profundidades, ainda que se tenham observado valores entre 150 e 350 mg/L à profundidade de 20 cm, reflexo da aplicação do fertilizante azotado efectuado em finais de Julho.

Na Herdade da Mitra não foi possível recolher a solução do solo a 40 cm de profundidade. Os valores mais elevados de CE durante o período da rega verificaram-se a 20 cm de profundidade e situam-se entre 4 e 6 dS m⁻¹. Após este período, e devido à pluviosidade ocorrida em Outubro e à textura franco-arenosa do solo, verificou-se lavagem dos sais, tendo a salinidade da solução do solo a 20 cm baixado para valores inferiores a 1 dS m⁻¹ e a

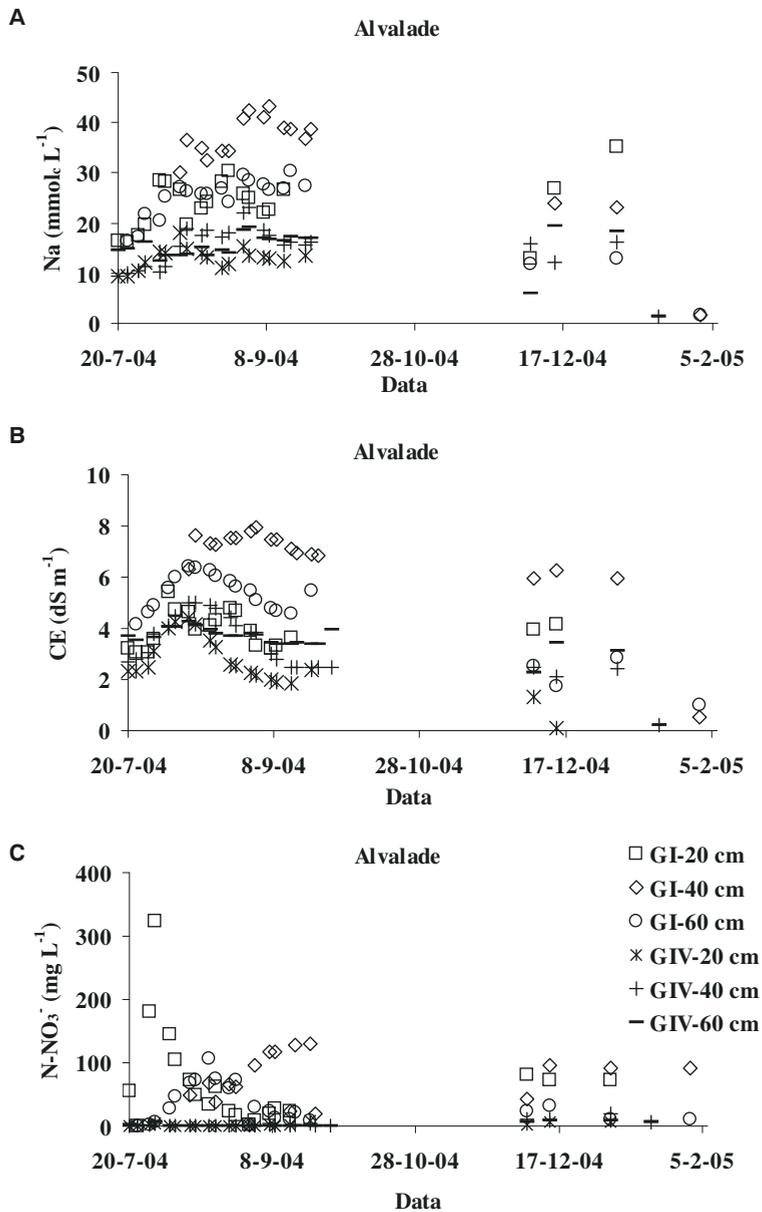


Figura 2 - Monitorização da solução do solo a 3 profundidades (20, 40 e 60 cm) nos Grupos I e IV em Alvalade. **A**- Sódio solúvel (meq/L); **B**- Condutividade eléctrica (dS m^{-1}) e **C**- Azoto nítrico (mg/L)

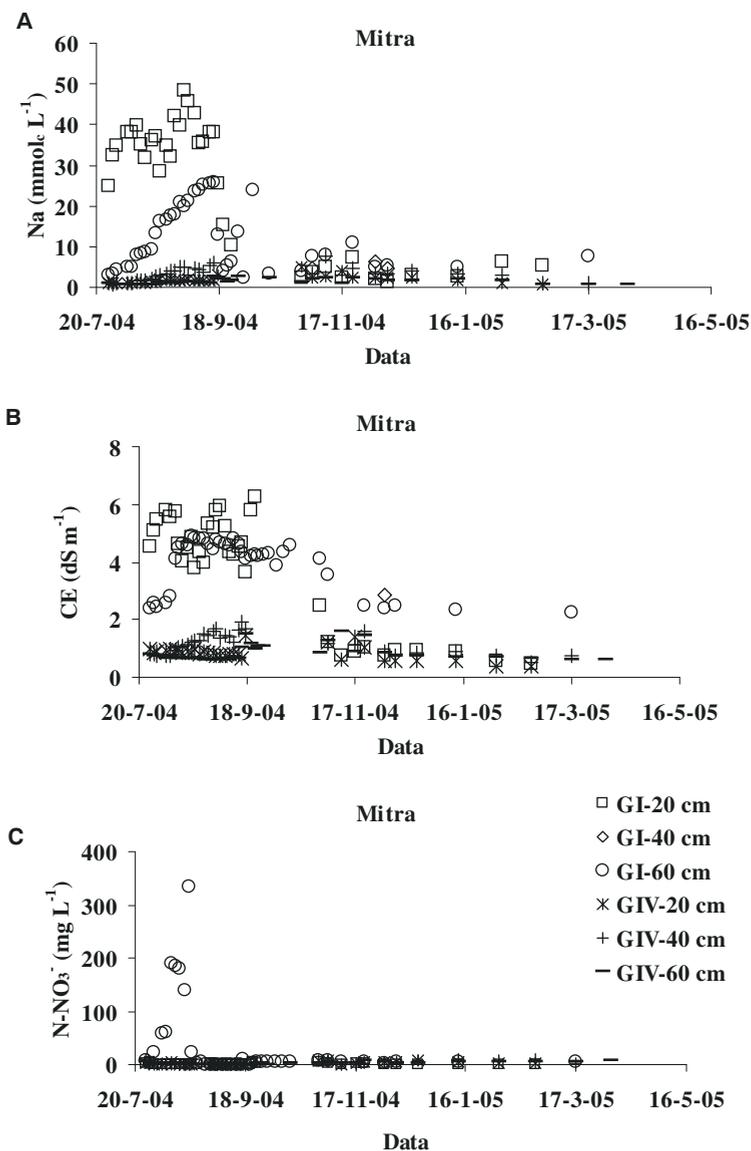


Figura 3 - Monitorização da solução do solo a 3 profundidades (20, 40 e 60 cm) nos Grupos I e IV na Mitra. **A**- Sódio solúvel (meq/L); **B**- Condutividade eléctrica (dS m⁻¹) e **C**- Azoto na forma nítrica (mg/L)

60 cm descido para valores entre 2 e 3 dS m⁻¹. O Grupo IV onde o solo também

apresentava boa infiltrabilidade e sem escorrimientos superficiais, a salinidade da solu-

ção do solo (traduzida pela CE e Na solúvel) foi manifestamente mais reduzida. Quanto ao azoto nítrico só se encontraram valores na solução do solo bastante elevados (entre 25 e 350 mg/L) no período correspondente à adubação azotada (fins de Julho).

Salinidade do solo

A salinidade do solo foi avaliada pela condutividade eléctrica do extracto de saturação do solo. Na Figura 4 encontram-se

representados os resultados obtidos para aquele parâmetro nas 3 datas de amostragem do 1º ano dos ensaios.

A Figura 4 mostra que a salinidade inicial do solo não ultrapassava 0.6 dS m⁻¹, mas após a rega de 2004 aumentou, nomeadamente na camada superficial, para valores de cerca de 4 dS m⁻¹, em Alvalade e na Mitra, embora neste último local tenham sido registados alguns valores entre 4 e 5 dS m⁻¹. Os resultados obtidos em Alvalade mostram um decréscimo de salinidade

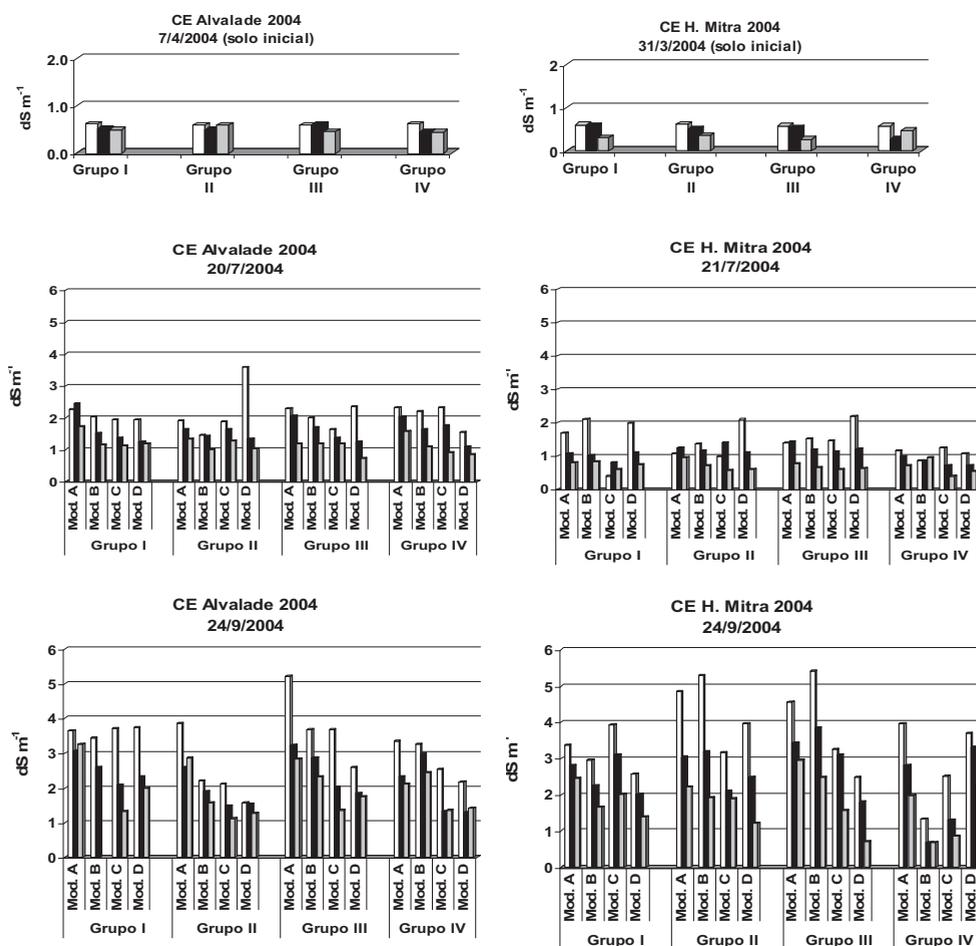


Figura 4 – Evolução da condutividade eléctrica do solo em Alvalade e Herdade da Mitra, em 2004

nas várias modalidades de cada Grupo e com a profundidade. Este comportamento não é tão evidente na Mitra, talvez pela natureza dos solos que apresentam uma menor capacidade de retenção e de troca catiónica. Verificou-se ainda que, por vezes, a modalidade D (sem água salina) mostra valores de salinidade elevada, especialmente na Herdade da Mitra. Estes valores são explicáveis pela ocorrência de escoamentos superficiais entre modalidades adjacentes devido à existência de um micro relevo no solo. Esta situação foi ultrapassada no 2º ano dos ensaios reduzindo as modalidades em cada campo para 3, com aumento das respectivas áreas, e ainda com a construção de camalhões separadores das modalidades.

Produções

Verificou-se, como esperado, variações nas produções (Figuras 5 e 6), grão e palha, conforme as diferentes modalidades estudadas, de acordo com os gradientes de salinidade e fertilizante estabelecidos, tendo-se observado no Grupo IV os valores mais baixos de produção em ambos os campos experimentais e nos dois anos, assim como altura média das plantas, o que era espectável por este grupo não ter tido adubação azotada.

As produções foram, de um modo geral, mais baixas em 2005 do que no ano anterior, nomeadamente na Mitra, devido provavelmente ao facto do Inverno e da Primavera terem sido extremamente secos, o que condicionou o estado de humidade do solo à sementeira, a emergência das plantas e o seu desenvolvimento posterior, e por o solo apresentar salinidade acumulada proveniente do 1º ciclo de rega. De facto, em Setembro de 2004 (fim do 1º ciclo de rega), o solo apresentava uma salinidade entre 2 e 4 dS m⁻¹, em Alvalade, e entre 3 a 5 dS m⁻¹ na Mitra. Ora, como ocorreu uma precipita-

ção escassa, de cerca de 200 mm, no período Setembro de 2004 a Maio de 2005, a lavagem dos sais retidos no solo não foi efectuada, embora na Mitra se tenha verificado um decréscimo de sais na solução do solo. Esta situação só poderá ser esclarecida após a determinação laboratorial, ainda não concluída, da salinidade e da solução do solo no início do 2º ciclo de rega.

Comparando as produções de milho-grão obtidas em 2004 (Figuras 5 e 6), em Alvalade, observa-se que para o Grupo I se registou um decréscimo, de 2004 para 2005, de cerca de 4000 kg/ha na modalidade A e de cerca de 3000 kg/ha na modalidade D (em 2004), a qual equivale à C em 2005. Para as modalidades B e C (2004) as produções foram semelhantes às registadas na modalidade B em 2005. No Grupo II, as produções em 2004 foram equilibradas em todas as modalidades (entre 12500 e 13800 kg/ha), e em 2005 oscilaram entre 8600 e 11000 kg/ha. No Grupo III, para 2004, notou-se um rendimento máximo de 15500 kg/ha na modalidade A, mas um decréscimo para cerca de metade, em 2005. Esta redução drástica de rendimento deve ser consequência da salinidade do solo, pois em Setembro de 2004, a CE ultrapassava os 5 dS m⁻¹ (Figura 4) naquela modalidade. Finalmente no Grupo IV, verificou-se também um decréscimo de 2004 para 2005, mas essencialmente na modalidade A. A produção de palha foi, quase sempre, inferior à produção de milho-grão nos dois anos estudados.

Na Herdade da Mitra, os rendimentos em milho-grão em 2004 (Figura 5) atingiram os maiores valores na modalidade A do Grupo I e na modalidade C do Grupo II, com cerca de 12000 kg/ha, e ainda na modalidade A do Grupo III (13100 kg/ha). A produção de palha foi em regra ligeiramente inferior à produção de milho-grão. Porém, em 2005, verificou-se uma inversão da produção de milho-grão em relação à produção de palha,

em todos os Grupos. As produções de milho-grão, em 2005, foram bastante mais baixas que em 2004, com valores entre 3700 e 6800 kg/ha mas crescentes da modalidade A para a C, ou seja, com o decréscimo da salinidade da água de rega, em todos os Grupos. Esta situação também ocorreu para a produção de palha. Parece, assim, ter havido uma interacção positiva da aplicação da água salina com os teores mais baixos de solução azotada (grupos II e III), dado que em todas as modalidades em que foi aplicada água salina conjuntamente com as menores doses de fertilizante azotado (4 e

8/9 g m⁻² em Alvalade e 2/3 e 4/7 g m⁻² na Mitra), as produções revelaram-se superiores.

Funções de produção

Obteve-se a seguinte função de produção:
 $Y=611.2+102.1N-6.7N^2+0.07NaCl-0.0145N \times NaCl$ ($R^2=0.62^{***}$, $n=55$),

em que Y é a produção de grão no conjunto dos locais (g m⁻²), N e NaCl são os teores aplicados de azoto e de cloreto de sódio (g m⁻²). A equação justifica 62% da variação total da produção observada.

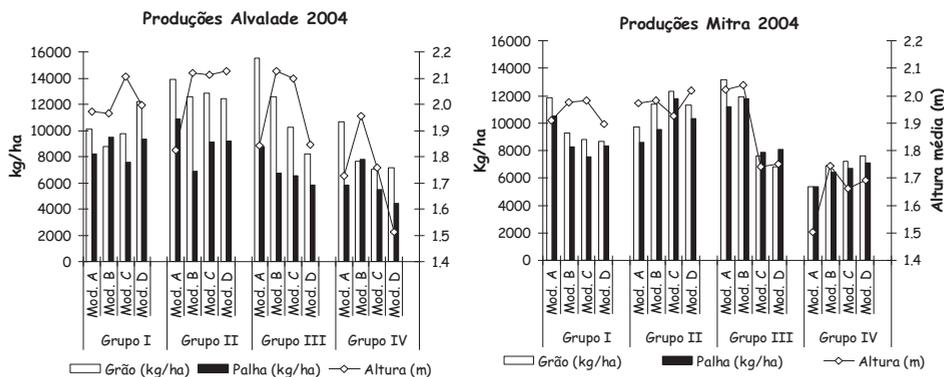


Figura 5 - Produções da cultura de milho, grão e palha (folhas, colmo e carolo) e altura média dos pés de milho por modalidade, em 2004, para Alvalade e Mitra

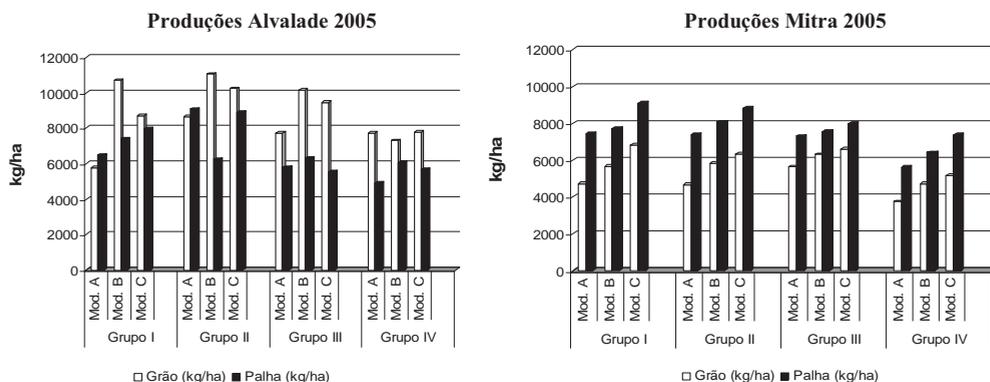


Figura 6 - Produções da cultura de milho, grão e palha (folhas, colmo e carolo) por modalidade, em 2005, para Alvalade e Mitra

QUADRO 6 - Máximos das curvas de resposta da produção em função dos teores de azoto e de sal (todos os valores em g m^{-2})
($\partial Y/\partial N = 0$ e $\partial Y/\partial \text{NaCl} = 0$)

NaCl	N	Y	N	Y
0	7.62	1000.2	4.83	947.9
500	7.08	981.9	4.83	947.9
1000	6.54	967.6	4.83	947.9
1500	6.00	957.1	4.83	947.9
2000	5.46	950.6	4.83	947.9

As curvas de resposta da produção de milho-grão em função dos teores de fertilizante azotado e de sal aplicados encontram-se na Figura 7. Os máximos das curvas da produção do milho-grão, obtidos a partir das derivadas das funções de produção, encontram-se no Quadro 6. Relativamente à produção de grão, a resposta do azoto seguiu a lei dos acréscimos decrescentes de produção e uma vez atingido o máximo, a lei de acréscimos negativos crescentes de produção (Figura 7A). A resposta à concentração salina foi sempre linear (Figura 7B). Devido ao facto da interacção $\text{N} \times \text{NaCl}$ ter sido negativa, o aumento da concentração salina antecipou de forma muito evidente o nível de N a que corresponde o máximo de produção e

de forma menos evidente o respectivo nível de produção (Figura 7A, Quadro 6). Pela mesma razão, a resposta à concentração salina começa por ser positiva para baixos níveis de azoto e torna-se negativa a partir de 4.83 g m^{-2} de N (Figura 7B, Quadro 6). O efeito benéfico da salinidade da água de rega, quando ocorre carência de fertilização azotada, já verificado no ponto anterior quando se analisaram as produções reais, poderá ser explicado pela substituição, ou troca, no complexo coloidal do solo do ião NH_4^+ , lá existente, pelo ião Na^+ , da água de rega, ficando o primeiro disponível para a planta. Segundo Nommik e Vahtras (1982), a fixação do N-NH_4^+ nos minerais de argila confere-lhe protecção contra a lixiviação e permite que, de forma gradual, vá sendo fornecido às plantas ao longo do ciclo vegetativo, à medida que for sendo substituído pelos catiões que expandem a malha, nomeadamente pelo Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ e H_3O^+ . De acordo com Stevenson (1986), o ião sódio expande o espaçamento dos minerais silicatos, permitindo a libertação dos iões NH_4^+ retidos.

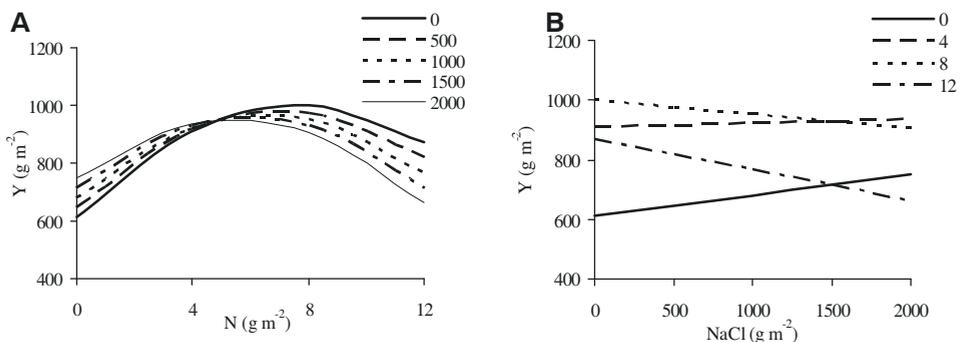


Figura 7 - Curvas de resposta da produção em função dos teores de fertilizante e de sal aplicados

CONCLUSÕES

Os valores mais elevados de salinidade da solução do solo, da ordem dos 8 dS m^{-1} , foram obtidos à profundidade de 40 cm no Grupo I dos ensaios realizados em Alvalade. Quanto à Herdade da Mitra, a salinidade foi ligeiramente inferior. De Setembro de 2004 (fim das regas) a Janeiro de 2005, a monitorização da água do solo mostra que, em Alvalade, o solo não sofreu lixiviação, facto que deverá estar relacionado com a reduzida precipitação ocorrida naquele período, bem como à relativamente baixa infiltrabilidade do solo. Pelo contrário, na Mitra houve uma lavagem de sais, com decréscimo da salinidade da solução do solo para valores de 1 dS m^{-1} .

Quanto à salinidade do solo, houve, com a rega de 2004, um acréscimo para valores máximos de 4 dS m^{-1} , em Alvalade, e de 5 dS m^{-1} , na Mitra. Observou-se ainda uma tendência para o decréscimo da salinidade das modalidades A para D, de cada Grupo, e com a profundidade, o que está de acordo com o decréscimo da salinidade da água de rega aplicada naquelas modalidades.

Os teores de azoto nítrico encontrados na solução do solo, no ciclo de rega de 2004, variaram, entre 25 e 150 mg/L, em Alvalade e entre 25 e 350 mg/L na Mitra, correspondendo os valores mais altos ao período da adubação azotada. A precipitação escassa ocorrida no período Outono/Invernal só promoveu a lavagem de nitratos do solo no caso da Mitra, devido às condições favoráveis de drenagem interna do solo.

Relativamente às produções obtidas neste dois anos de ensaios, infere-se que o efeito conjunto da água de rega mais salina ou de salinidade intermédia, e de adubação azotada (4 e $8/9 \text{ g m}^{-2}$ em Alvalade e $2/3$ e $4/7 \text{ g m}^{-2}$ na Mitra), deram origem aos valores de rendimento em milho-grão mais elevados. Pelo contrário, e como seria de

esperar, os valores mais baixos de produção, em ambos os ensaios, corresponderam ao grupo sem aplicação de fertilizante (Grupo IV). As produções de milho-grão, em 2005, foram, nos 2 campos experimentais, inferiores às de 2004, especialmente na Mitra. Presume-se que este decréscimo generalizado da produção de milho-grão tenha sido causado, por o solo, nos 2 campos experimentais, se apresentar salinizado, dado não se ter verificado a lavagem dos sais pela chuva, devido à escassez da precipitação ocorrida de Setembro de 2004 a Maio de 2005. Esta situação carece de confirmação, logo que estejam disponíveis os dados analíticos referentes à salinidade do solo em 2005 e os resultados a obter nos ensaios de 2006.

As funções de produção obtidas confirmam o efeito positivo que a salinidade da água de rega teve nas produções de milho-grão até uma aplicação de 4.83 g m^{-2} de N. A partir de teores de azoto mais elevado verifica-se um efeito oposto. Pensa-se que o efeito positivo do NaCl da água de rega será devido a fenómenos de troca catiónica entre o ião NH_4^+ retido no complexo coloidal do solo e o catião Na^+ da água de rega.

AGRADECIMENTOS

Este estudo foi realizado no âmbito do projecto AGRO 727.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvim, A.J. 1975. Factores elementares dos regadios alentejanos. A água. Curso de reciclagem de regadio. *INIA – Oeiras*, **5**: 5-18.
- Beltrão, J.G.T. 1998. *A Experimentação em Regadio*. Lição teórica incluída no pro-

- grama disciplinar de hidráulica agrícola. Universidade de Faro. Faro.
- FAO. 1998. Crop Evapotranspiration – Guidelines for Computing Crop Water Requirements, Irrigation and Drainage paper, 56, Rome.
- Heimann, H. 1966. Plant growth under saline conditions and the balance of the ionic environment. In Bokyo, K. *Salinity and Aridity*. Dr W. Junk Publishers.
- Levy, Y., Columbus, D., Sadan, D. & Lifshitz, J. 1999. Trickle linear gradient for assessment of the salt tolerance of citrus rootstocks in the orchard. *Irrigation Science*, **18**: 181-184.
- 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*, vol. 15, No 2, April, p. 34 a 39.
- Malach, Y., Ben-Asher, J., Sagih, M. & Alert, A. 1996. Double-Emitter Source (DES) for irrigation experiments in salinity and fertilization. *Agronomy Journal.*, **88**: 987-990.
- Nommik, H. & Vahtras, K. 1982. Retention and fixation of ammonium and ammonia in soils. In Stevenson, F.J. (ed.) Nitrogen in Agricultural Soils. *Agronomy*, **22**: 123-171.
- Stevenson, F.J. 1986. Cycles of Soil. Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients. John Wiley & Sons, New York, 380 p.