

VI CONGRESSO IBÉRICO de Agro-Engenharia

5 a 7 de Setembro | 2011
Universidade de Évora | Portugal



Interacção entre salinidade e fertilização azotada em sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* L. Moench)

Jordana C. Branco¹, Renato Coelho², Francisco L. Santos³,
Dulce O. Gomes⁴, Maria C. Gonçalves⁵

¹ Mestrado em Engenharia Agronómica, Universidade de Évora, Portugal, email: jordana.branco@gmail.com

² ICAAM, Departamento de Biologia, Universidade de Évora, Portugal, email: rcoelho@uevora.pt

³ ICAAM, Departamento de Engenharia Rural, Universidade de Évora, Portugal, email: fls@uevora.pt

⁴ Professor Auxiliar da Universidade de Évora, Portugal, email: dmog@uevora.pt

⁵ Investigadora, Instituto Nacional de Recursos Biológicos, INIA, Portugal, email: mc.goncalves@netc.pt

Resumo

Plantas de sorgo sacarino foram expostas a quatro níveis de condutividade eléctrica (0, 2, 4, 6 dS m⁻¹) e três níveis de fertilização azotada (20%, 60% e 100%) na água de rega, num desenho experimental 4 × 3, com 6 repetições, num total de 78 vasos. Pretendeu-se, assim, avaliar o efeito da interacção entre os vários níveis de salinidade e de fertilização azotada na tolerância das plantas de sorgo à salinidade, pela avaliação de parâmetros fisiológicos e do crescimento das plantas.

As plantas sujeitas a altas concentrações de sal (acima de 4 dS m⁻¹) apresentaram decréscimos muito pronunciados nos parâmetros evapotranspiração (ET), condutância estomática (g_s), teor relativo em clorofilas e taxa de fotossíntese líquida (A), o que se reflectiu numa redução da sua biomassa final.

Para níveis de salinidade na água de rega baixos (da ordem de 2 dS m⁻¹), os compostos azotados parecem beneficiar a tolerância ao sal. No entanto, nas plantas expostas a elevadas concentrações de sal (maior que 4 dS m⁻¹), o aumento da fertilização azotada levou a decréscimos no crescimento, possivelmente porque o azoto se passou a comportar como um sal, potenciando o efeito salino.

Palavras-chave: sorgo sacarino, salinidade, fertilização azotada, interacção sal-azoto

Abstract

Sorghum bicolor plants were exposed to four levels of electric conductivity (0, 2, 4, 6 dS m⁻¹) and three levels of nitrogen fertilization (20%, 60% e 100%) in the irrigation water, on a 4 × 3 layout, with a total of 78 pots. The aim of this work was to access the effect of the interactions between the different salinity and nitrogen levels onto the salt tolerance of the plants, by the evaluation of several physiological and growth parameters.

Plants exposed to high salt levels (above 4 dS m⁻¹) showed decreased values of evapotranspiration (ET), stomatal conductance (g_s), chlorophyll content and photosynthetic rate (A), which resulted in lower plant dry weights.

At low salinity levels (around 2 dS m⁻¹), nitrogen seems to have a beneficial effect on the salt tolerance. In contrast, plants exposed to high salt levels (above 4 dS m⁻¹) decreased their growth with increasing N-fertilization, possibly because nitrogen behave as a salt itself, enhancing the salinity effect and further inhibiting plant growth.

Key-words: *Sorghum bicolor* L. Moench, salinity, nitrogen fertilization, salt-nitrogen interaction

1. INTRODUÇÃO

A salinidade nos solos é um problema grave em várias regiões do mundo, limitando muito a produtividade agrícola (Shannon, 1998). Pode ter origem em processos naturais (*e.g.* origem geológica dos solos) ou resultar da actividade humana (*e.g.* rega com águas salinas).

O stress provocado por uma elevada salinidade pode afectar as plantas a curto-prazo ou a longo-prazo, em qualquer dos casos iniciando-se por reduções significativas dos potenciais osmótico e hídrico das plantas (Hernandez *et al.*, 1999). Os efeitos a curto-prazo podem ocorrer ao fim de algumas horas de exposição continuada ao sal, podendo levar ao cessar da assimilação do carbono pelo fecho dos estomas. A longo-prazo, após vários dias de exposição, pode observar-se um efeito semelhante causado pela acumulação de sal nas folhas (Munns e Termatt, 1986) e por um decréscimo do teor em clorofilas e carotenóides nas folhas (Hernandez *et al.*, 1999).

A redução da área foliar é outro dos sintomas observados quando há salinidade (Wang e Nil, 2000), reflectindo-se mais tarde num decréscimo na produtividade.

Como resultado destes sintomas, o stress salino provoca uma redução significativa da biomassa nas folhas, caules e raízes (Hernandez *et al.*, 1995).

As plantas podem ser classificadas quanto à sua sensibilidade ou tolerância ao sal como glicófitas ou halófitas, respectivamente (Yokoi *et al.*, 2002). As halófitas desenvolveram estratégias de combate à salinidade que envolvem acumulação selectiva ou exclusão de iões, controlo na absorção radicular de iões, alterações na estrutura da membrana, alterações no mecanismo fotossintético, entre outras (Parida e Das, 2005).

Nos últimos anos, os investigadores têm-se debruçado sobre os mecanismos fisiológicos das plantas de resposta ou resistência à salinidade. Contudo, esta não tem sido uma tarefa fácil uma vez que as respostas adoptadas pelas plantas são diversas, podendo variar desde o grau de stress em que se encontram, o órgão da planta, a espécie, a variedade, o estado de desenvolvimento, o tempo de exposição à salinidade (Neumann, 1997), as condições edafoclimáticas, a gestão da rega e as condições agronómicas (Rhoades *et al.*, 1992).

Amzallag *et al.* (1993) referem, concretamente, que o sorgo adoptou duas formas de resposta ao stress salino, a adaptação e a resistência. A adaptação caracteriza-se pela assimilação de toda uma nova informação adaptativa (Seligmann e Amzallag, 1995) que se traduz num ajuste da fisiologia de toda a planta às perturbações externas, enquanto a resistência induz mecanismos pré-existentes de defesa contra a salinidade (Amzallag e Lerner, 1994).

O objectivo do presente estudo é avaliar o efeito da interacção entre vários níveis de salinidade e de fertilização azotado na tolerância das plantas de sorgo à salinidade, pela avaliação de parâmetros fisiológicos e do crescimento.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Esquema experimental do ensaio

O ensaio experimental decorreu na Herdade da Mitra da Universidade de Évora, de 21 de Junho a 25 de Agosto de 2010.

Foi executado em vasos com três plantas de sorgo, previamente germinadas em perlite, expostas a regas com 4 níveis (concentrações) de solução salina (0, 2, 4, 6 dS m⁻¹) e 3 níveis (concentrações) de solução azotada (20%, 60%, 100%), num desenho experimental 4 × 3,

com 6 repetições, num total de 78 vasos de 38,5 cm de diâmetro e 21,5 cm de altura média, com um volume de solo de 0,025 m³. Em tempo, as três plantas inicialmente transplantadas para cada vaso foram reduzidas a apenas uma, tendo-se escolhido reter a mais robusta. Para além dos 72 vasos com plantas, foram estabelecidos 6 vasos sem plantas tidos como controlo, dispostos aleatoriamente entre os vasos dos diferentes tratamentos. Os vasos foram colocados dentro de sacos de plástico branco, para aumentar a reflexão da radiação solar incidente e minimizar o seu aquecimento.

Na preparação dos vasos foi colocada no fundo uma camada de argila expandida e, por cima, aproximadamente 21 kg de terra seca originária de Alvalade do Sado, com textura franca a franca-limosa, de acordo com a análise granulométrica efectuada com um sedimentógrafo de Raio X Micromeritics, modelo Sedigraph 5100.

Os tratamentos consistiram na combinação de cada nível de sal com todos os níveis de azoto, perfazendo um total de 12 tratamentos (CE_w0/N20, CE_w0/N60, CE_w0/N100, CE_w2/N20, CE_w2/N60, CE_w2/N100, CE_w4/N20, CE_w4/N60, CE_w4/N100, CE_w6/N20, CE_w6/N60 e CE_w6/N100), com 6 repetições.

Para a rega, foram preparadas quatro soluções com diferentes condutividades eléctricas (CE_w), 0 dS m⁻¹, 2 dS m⁻¹, 4 dS m⁻¹ e 6 dS m⁻¹, correspondentes a 0 g, 45 g, 100 g e 151 g de NaCl respectivamente, em 60 L (3 L de água × 18 vasos/grupo) de água corrente de baixa salinidade (0,4 dS m⁻¹), e três níveis de fertilização azotada, tidos como 20%, 60% e 100%, correspondentes a 40 kg ha⁻¹, 120 kg ha⁻¹ e 200 kg ha⁻¹ de adubação azotada, respectivamente, sendo este último o teor de azoto correntemente aplicado na prática agrícola. Estas soluções azotadas foram preparadas diluindo-se 52 mL (20%), 155 mL (60%) ou 260 mL (100%) de nitrato de amónia (NH₄NO₃, 20% p/p) em 75 L de água (3 L de água × 24 vasos/grupo). As soluções salinas foram preparadas diluindo 45 g (CE_w 2), 100 g (CE_w 4) e 151 g (CE_w 6) de sal marinho.

A quantidade de sal (NaCl) necessária para a preparação de cada solução de rega foi calculada pela equação 1 (Richards, 1954) e posteriormente ajustada com base nos valores medidos com um condutivímetro portátil (Hanna HI9835, Romania).

$$TDS (g L^{-1}) \approx 0,64 \times CE (dSm^{-1}) \quad (1)$$

Aplicação dos tratamentos

As regas com solução salina ou azotada não foram feitas simultaneamente. As salinas foram num total de treze, nos dias do ano 175, 182, 189, 197, 202, 204, 207, 209, 211, 214, 216, 218 e 221 (ou seja, entre 24 de Junho e 8 de Agosto). A partir do dia 10 de Agosto suspenderam-se as regas com solução salina pois as plantas encontravam-se muito debilitadas. As regas azotadas foram apenas cinco, no início do ensaio, nos dias do ano 172, 179, 186, 193 e 200 (ou seja, entre 21 de Junho e 19 de Julho), intercaladas com as regas salinas.

Para além das regas com solução salina ou azotada, efectuaram-se 21 regas simples (apenas água corrente) ao longo de todo o ensaio.

Avaliação de parâmetros fisiológicos das plantas

A evolução do comportamento das plantas foi avaliada pela medição da evapotranspiração média diária (ET_d), tendo sido também medidos os mais importantes parâmetros fisiológicos, a taxa de fotossíntese líquida (A), a condutância estomática (g_s), o teor relativo em clorofilas nas folhas, e avaliados parâmetros biofísicos, o peso fresco e o peso seco final.

Todos estes parâmetros foram medidos entre os dias 21 de Junho e 25 de Agosto de 2010.

Evapotranspiração (ET)

As pesagens para a medição da evapotranspiração foram efectuadas numa balança de precisão Kern DS65 K1, imediatamente após a rega. A evapotranspiração (ET, mm) foi medida pontualmente, nalguns dias (dias do ano 202, 222 e 235) pela diferença de peso do conjunto vaso e planta pelas 7 horas e ao fim da tarde, pelas 19 horas, a dividir pela área do vaso.

Condutância estomática (g_s)

Para quantificar a resposta dos estomas das folhas à salinidade a que as plantas foram sujeitas, mediu-se a condutância estomática (g_s , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) com um porómetro de difusão AP4 (Delta T), U.K.. A medição foi feita na zona mediana das 4ª e 6ª folhas (contadas a partir do ápice caulinar) de todas as plantas, estando assim representadas folhas mais jovens e mais velhas, respectivamente.

Todas as medições foram efectuadas às 9 horas, às 12 horas e às 15 horas solares, coincidindo com as 10:30 h, 13:30 h e 16:30 horas legais, respectivamente. As medições foram efectuadas em 15 datas diferentes entre 8 de Julho e 23 de Agosto de 2010.

Teor relativo em clorofilas

A medição do teor relativo em clorofilas, parâmetro adimensional, foi efectuada na zona mediana das 4ª e 6ª folhas de cada planta (contadas a partir do ápice caulinar) em seis datas diferentes entre 1 de Julho e 25 de Agosto de 2010, com um medidor de clorofila CL-01 Hansatech Instruments, U.K..

Taxa de fotossíntese líquida (A)

As medições da fotossíntese líquida (A, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foram efectuadas nos dias do ano 189, 222 e 235 (8 de Julho, 10 e 23 de Agosto, respectivamente), por volta das 11 horas. A leitura deste parâmetro foi efectuada na zona mediana da 4ª folha (contada a partir do ápice caulinar), em três plantas por cada tratamento, com um IRGA (Infra-red Gas Analyzer) ADCpro+, U.K., ajustado para uma radiação (Q) de $1300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e uma temperatura de 30°C.

Massa Verde (MV) e Massa Seca (MS)

Para verificar o impacto que da salinidade sobre a biomassa e a percentagem de água nas plantas de sorgo, foram calculadas as massas verde e seca das folhas e caules, após colheita das plantas. Os valores de massa verde foram obtidos pesando as folhas e os caules do sorgo imediatamente após a colheita, no dia 24 de Agosto.

A massa seca foi determinada após a secagem das folhas e caules em estufa a 105° C, durante 48 horas. Todas as pesagens foram efectuadas numa balança de precisão Kern DS65 K1, Germany (Balingen).

Análise estatística dos dados

A análise estatística dos dados foi feita no programa SPSS v. 18, para um nível de significância de $p \leq 0,05$.

Os parâmetros de biomassa e percentagem de água foram analisados por ANOVA e por um teste de comparação de médias (Waller-Duncan). A evapotranspiração, a condutância

estomática, o teor relativo em clorofilas e a taxa de fotossíntese líquida foram analisados através de um modelo de regressão linear pelo método sequencial (“Stepwise regression”).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Evapotranspiração

Regra geral, a evapotranspiração (Fig. 1) diminuiu proporcionalmente ao período de exposição à salinidade, principalmente nos vasos em que também foram aplicadas altas concentrações de azoto. Verificou-se que, no último dia em que foi determinada (dia do ano 235), a evapotranspiração média nos vasos em que se aplicou 6 dS m⁻¹ de sal e 100% de azoto, foi apenas cerca de 35% da ET nos vasos com o mesmo teor de azoto mas em que não se aplicou sal. A equação 2, obtida por regressão sequencial, mostra os efeitos da salinidade (S) com o passar dos dias (D), contados a partir do dia do ano 189, e do azoto (N) aplicado.

$$ET \text{ (mm)} = 13,21 - (0,017 \text{ SD}) - (0,007 \text{ SN}) \quad (2)$$

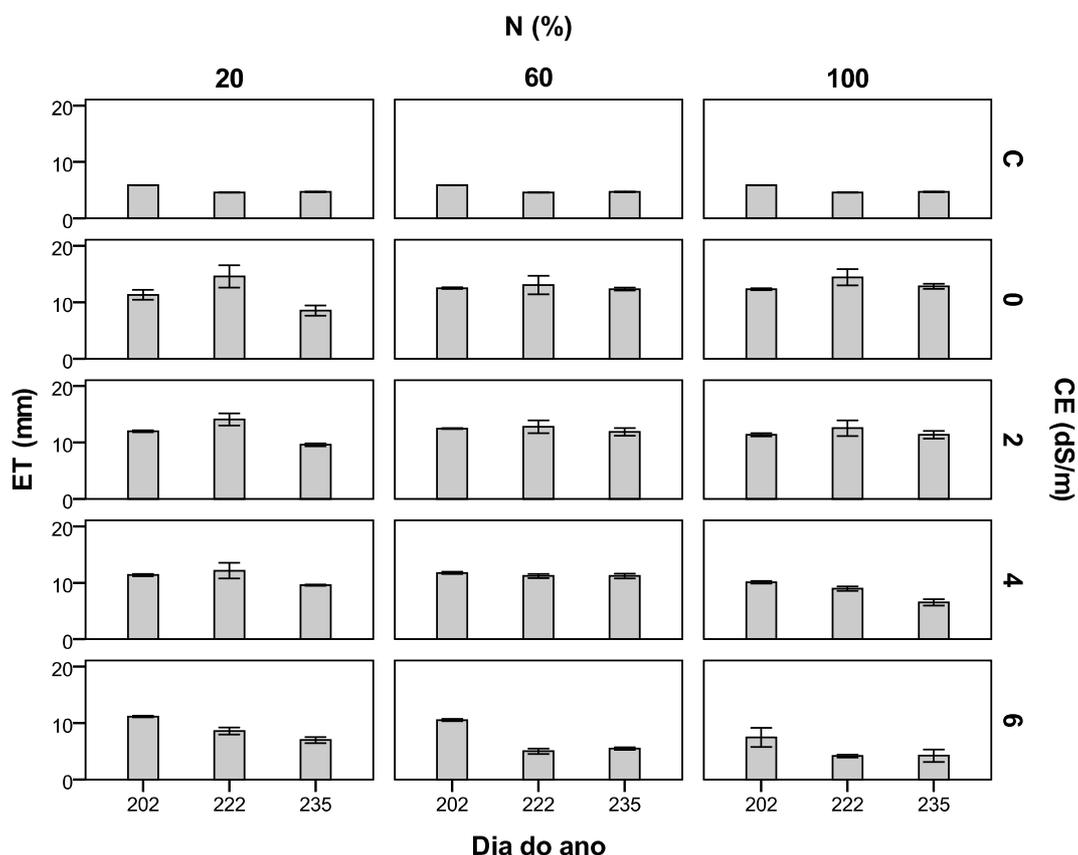


Figura 1 - Evapotranspiração (ET, mm) das plantas de sorgo sacarino regadas com quatro níveis de condutividade eléctrica (0, 2, 4 e 6 dS m⁻¹) e três níveis de fertilização azotada (20%, 60% e 100%) durante um período de 63 dias. A ET foi calculada com base na diferença de peso do conjunto vaso e planta entre as 7 e as 19 horas de cada dia a dividir pela área do vaso. As barras representam média ± erro padrão (n=6).

Água aplicada

Durante o ensaio, as plantas receberam em média cerca de 210 mm de água (3,4 mm dia⁻¹), observando-se um decréscimo da água que foi necessário fornecer com o aumento da

salinidade (Fig. 2). No caso mais extremo, as plantas regadas com a solução salina mais elevada (6 dS m^{-1}) consumiram menos 10% de água ($3,0 \text{ mm dia}^{-1}$), como resultado de uma menor evapotranspiração causada por um também menor desenvolvimento vegetativo das plantas expostas a essa concentração salina.

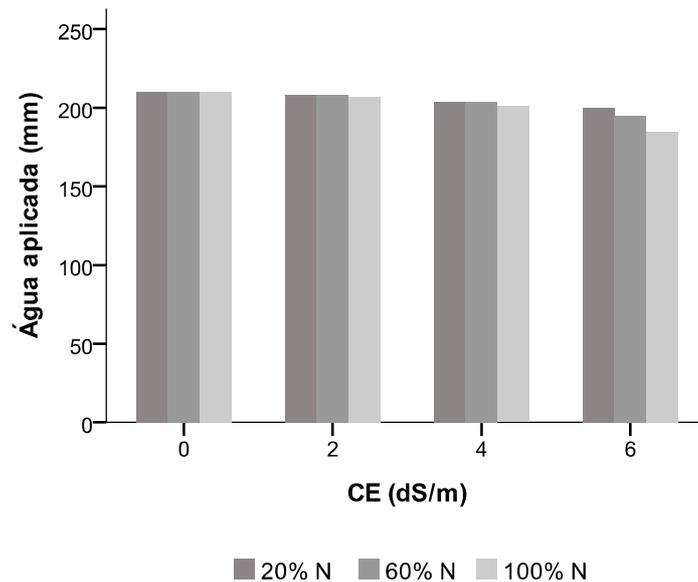


Figura 2 - Total de água aplicada (mm) às 72 plantas de sorgo sacarino regadas com os quatro níveis de condutividade eléctrica (0, 2, 4 e 6 dS m^{-1}) e os três níveis de fertilização azotada (20%, 60% e 100%) durante um período de 63 dias, incluindo regas salinas, azotadas e com água corrente.

Percentagem de água

A percentagem de água na parte aérea das plantas (Fig. 3) foi relativamente semelhante em todos os tratamentos.

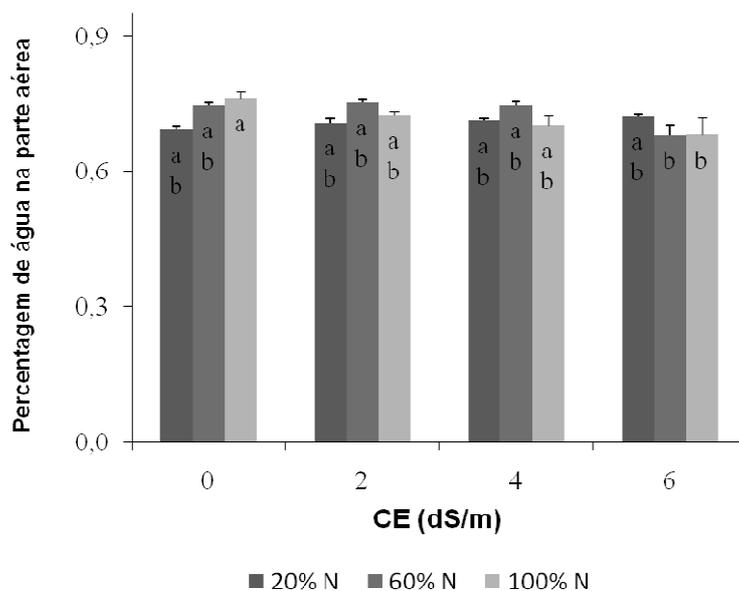


Figura 3 - Percentagem de água na parte aérea das plantas de sorgo sacarino regadas com os quatro níveis de condutividade eléctrica (0, 2, 4 e 6 dS m^{-1}) e três níveis de fertilização azotada (20%, 60% e 100%) durante um período de 63 dias. As barras representam média \pm erro padrão ($n=6$).

Condutância estomática (g_s)

A condutância estomática foi medida em alguns dias às 9 h, 12 h e 15 horas solares. O padrão de evolução diário de g_s (Fig. 4) foi o esperado, ou seja, aumentou das 9 h para as 12 horas e baixou às 15 horas. No entanto, a partir do dia 218 (6 de Agosto) os valores de g_s ao meio-dia solar (13:30 h legais) mantiveram-se quase ao mesmo nível dos valores das restantes horas, possivelmente reflectindo as elevadas temperaturas que ocorreram ao meio-dia solar limitando de algum modo a abertura dos estomas.

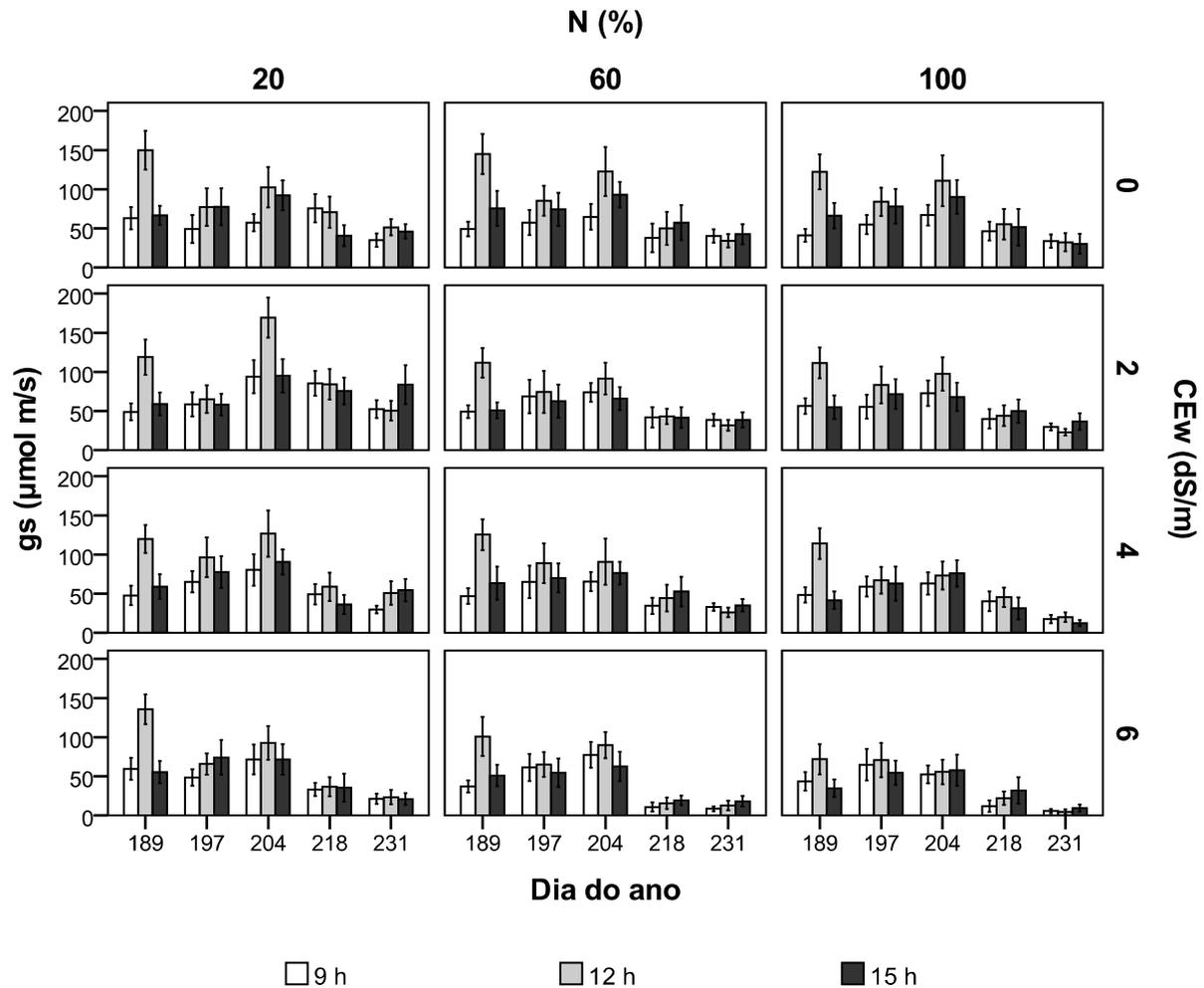


Figura 4 - Condutância Estomática (g_s , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) das plantas de sorgo sacarino com quatro níveis de condutividade eléctrica (0, 2, 4 e 6 dS m^{-1}) e três níveis de fertilização azotada (20%, 60% e 100%) durante um período de 63 dias. As medições foram feitas nas 4ª e 6ª folhas, pelas 9 h, 12 h e 15 horas solares (10:30 h, 13:30 h e 16:30 horas legais). Cada barra representa a média \pm erro padrão ($n=36$) das medições no dia indicado, dois dias antes e dois dias depois.

No que diz respeito à salinidade (S), esta decresceu significativamente g_s sendo este efeito mais pronunciado com o passar dos dias (D). A fertilização azotada (N) teve um efeito semelhante mas em menor grau como é mostrado pela equação 3.

$$g_s = 11,8 - (0,38 H^2) - (0,22 SD) - (0,01 ND) + (0,003 SND) - (2,59 \times 10^{-4} S^2ND) \quad (3)$$

Observa-se uma redução da condutância estomática proporcional ao quadrado da hora do dia (H^2), proporcional ao tempo de exposição ao sal (SD) e mais ligeiramente ao tempo de

exposição ao azoto (ND). Os dois últimos membros da equação mostram que o efeito negativo da salinidade é mais acentuado para altas concentrações de sal (S^2).

O declínio dos valores de condutância estomática com os elevados teores de sal pode estar relacionado com a incapacidade das plantas para efectuarem um ajuste osmótico a concentrações muito elevadas de sal.

Teor relativo em clorofilas

Regra geral, o teor relativo em clorofilas (Fig. 5) aumentou sucessivamente até atingir um máximo no dia 195 (14 de Julho), exceptuando o tratamento com um nível de salinidade baixa (2 dS m^{-1}) em que, para a maior concentração de azoto (100%), o valor máximo se observou no dia 217 (5 de Agosto) ao invés do dia 195. Apesar de se verificar um padrão semelhante em todos os tratamentos, nos tratamentos com maiores concentrações de sal e azoto verificou-se que a diminuição dos teores em clorofila foi mais acentuada como é mostrado pela equação de regressão 3.

$$\text{Teor relativo em clorofilas} = 17,0 - (1,05 \times 10^{-4} S^2 ND) + (3,41 \times 10^{-6} SN^2 D) - (0,01 SD) \quad (3)$$

Para níveis de salinidade elevados (S) ou muito elevados (S^2), e depois de alguns dias (D) de exposição ao sal, ocorreu um decréscimo substancial do teor em clorofilas, apenas ligeiramente atenuado por elevados teores de azoto (N^2) na presença de baixas concentrações de sal.

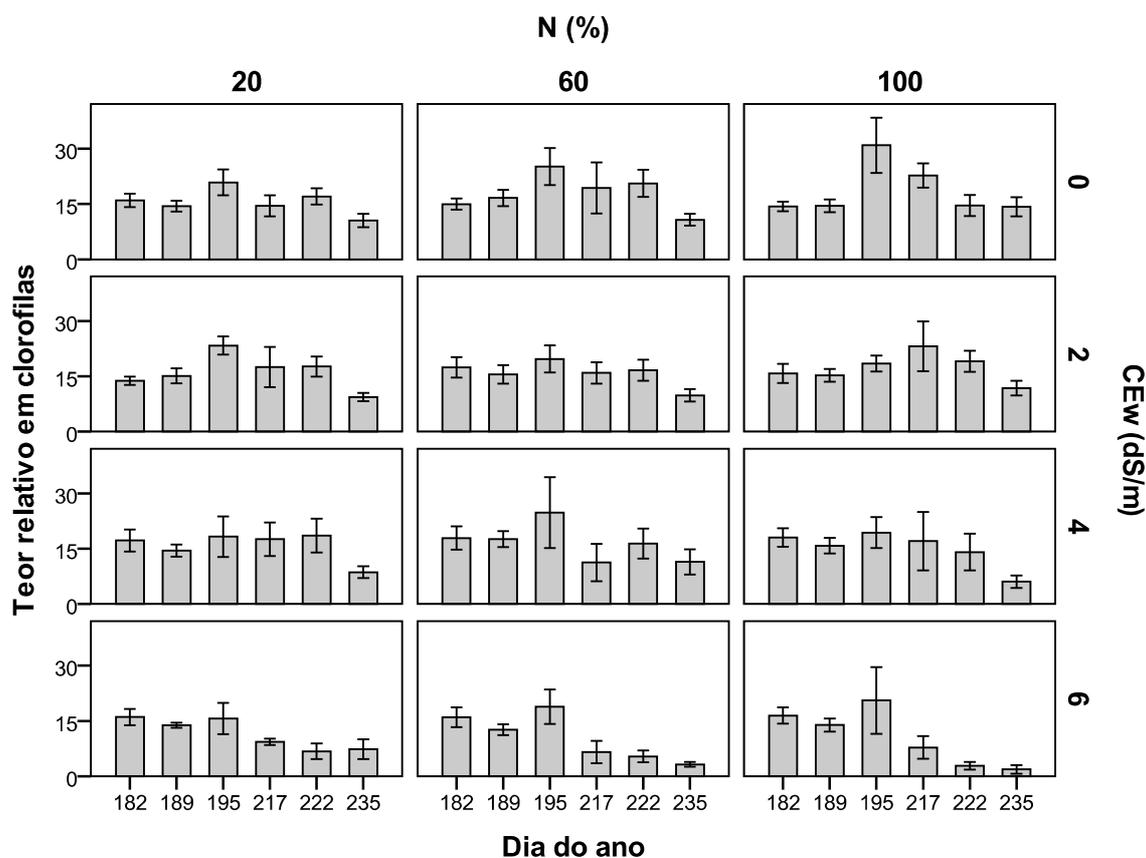


Figura 5 - Teor relativo em clorofilas das plantas de sorgo sacarino expostas a quatro níveis de condutividade eléctrica (0, 2, 4 e 6 dS m^{-1}) e três níveis de fertilização azotada (20%, 60% e 100%) durante um período de 63 dias, medido nas 4ª e 6ª folhas de cada planta. As barras representam média \pm erro padrão ($n=12$).

Taxa de fotossíntese líquida (A)

A taxa de fotossíntese líquida (Fig. 6) apresentou, no primeiro dia de medições (dia 189, ou seja, 8 de Julho) valores da ordem dos $30 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, aos quais se seguiu um decréscimo no dia do ano 222 (10 de Agosto) e um novo aumento, ainda que muito ligeiro em alguns casos, no dia 235. Este decréscimo generalizado de A observado no dia 222 ficou-se a dever principalmente a um decréscimo acentuada da condutância estomática. Na realidade, na primeira data (dia 189) a condutância estomática média indicada pelo IRGA foi de $180 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, enquanto que na segunda data (dia 222) foi três vezes menor ($60 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Esta redução de g_s foi possivelmente causada pelas elevadas temperaturas que ocorreram neste dia (máxima de 40° C) comparativamente aos dias do ano 189 e 235 (máximas de 34° C e 30° C , respectivamente). Estes resultados evidenciam a existência de uma correlação linear entre a abertura dos estomas e a fixação do dióxido de carbono (CO_2).

A análise estatística, por regressão sequencial, é mostrada na equação 4.

$$\text{Taxa de fotossíntese (A)} = 30,1 - (0,06 \text{ SD}) - (0,002 \text{ ND}) \quad (4)$$

Verifica-se que a salinidade (S) decresceu fortemente a taxa de fotossíntese sendo o efeito proporcional ao tempo (D) de exposição. A fertilização azotada (N) também decresceu ligeira mas significativamente A, não sendo observada, no entanto, nenhuma interacção entre o azoto e o sal. Claramente, esta redução de A foi causada pela redução quer da condutância estomática (Fig. 4) quer do teor em pigmentos (Fig. 5).

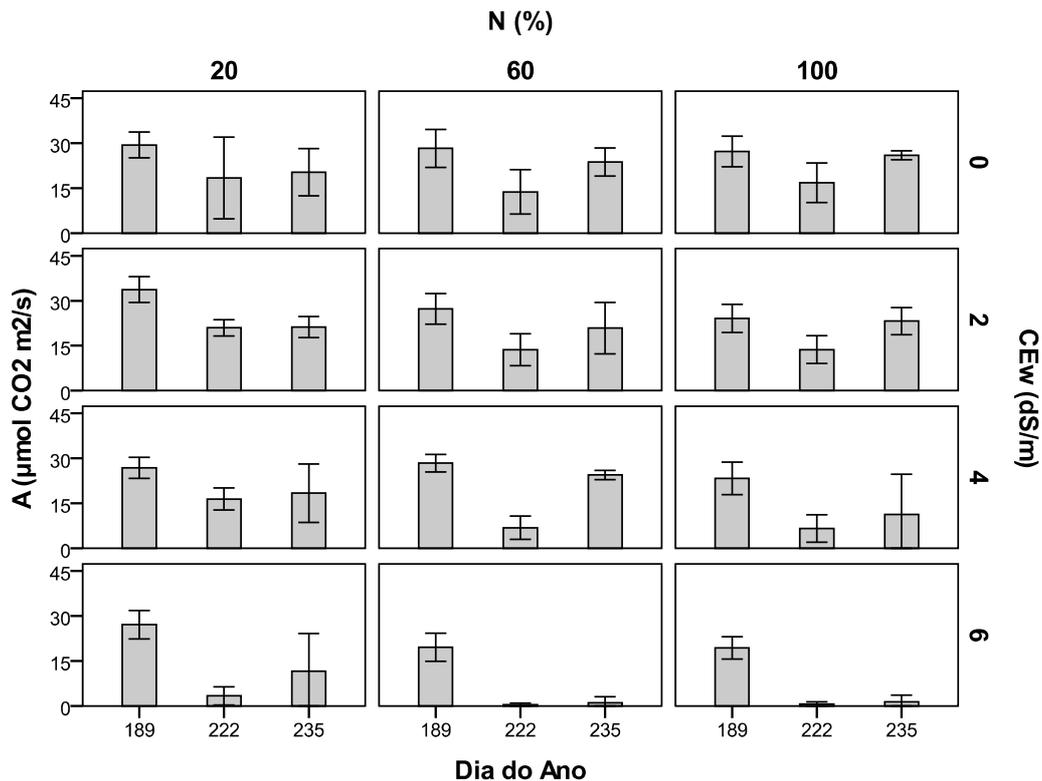


Figura 6 - Taxa de fotossíntese líquida (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) das plantas de sorgo sacarino regadas com quatro níveis de condutividade eléctrica (0, 2, 4 e 6 dS m^{-1}) e três níveis de fertilização azotada (20%, 60% e 100%) durante um período de 63 dias. As medições foram feitas na 4ª folha de três plantas de cada tratamento. As barras representam média \pm erro padrão ($n=6$).

Biomassa

Os resultados da biomassa das plantas (Fig. 7) no final do ensaio reflectem os valores dos processos fisiológicos apresentados anteriormente. Observou-se que, nas plantas regadas com a mais alta concentração de azoto (100%), a salinidade mais elevada (6 dS m⁻¹) reduziu o seu crescimento (massa seca) em cerca de 75%. No entanto, nos tratamentos com 20% ou 60% de fertilização azotada, a salinidade de 6 dS m⁻¹ reduziu o crescimento das plantas em apenas cerca de 30%.

Os valores obtidos no presente trabalho apontam para uma maior toxicidade do sal relativamente à referenciada por outros autores (Ayers e Westcot, 1994), segundo os quais a cultura de sorgo em presença de sais mantém cerca de 50% da sua produtividade com 6 dS m⁻¹ de condutividade eléctrica na água de rega (CE_w).

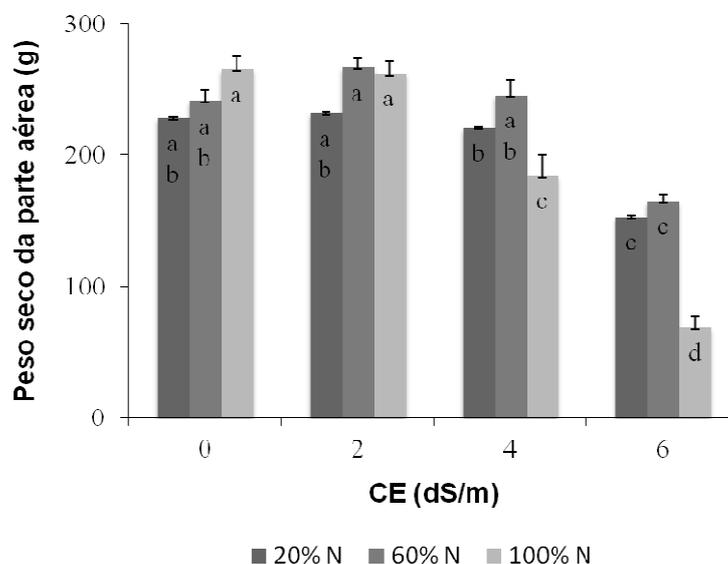


Figura 7 - Peso seco da parte aérea (g) das plantas de sorgo sacarino regadas com quatro níveis de condutividade eléctrica (0, 2, 4 e 6 dS m⁻¹) e três níveis de fertilização azotada (20%, 60% e 100%) durante um período de 63 dias. Os valores de massa verde (MV) foram obtidos após colheita das plantas e os valores de massa seca (MS) após secagem dos caules e folhas em estufa (105°C), durante 48 horas. As barras representam média ± erro padrão (n=6).

4. CONCLUSÕES

Observou-se uma redução do crescimento das plantas expostas a altas concentrações de sal na água de rega. Constatou-se também que elevadas concentrações de azoto agravaram ainda mais o efeito da alta salinidade. É possível que o azoto actue como um sal potenciando o efeito salino e inibindo o crescimento das plantas.

O menor crescimento das plantas expostas ao sal foi causada por uma redução da assimilação de dióxido de carbono que, por sua vez, terá sido devido a uma redução quer da abertura estomática quer do teor em clorofilas.

Face aos resultados, pode-se concluir que, se os níveis de salinidade na água de rega forem baixos (da ordem de 2 dS m⁻¹), os compostos azotados parecem ter alguma expressão na tolerância ao sal, observando-se o efeito contrário para elevados níveis de salinidade (maior que 4 dS m⁻¹)

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Maria Gertrudes Batista, José Lobato Condeças e Custódio José Alves o generoso apoio prestado à realização deste trabalho de investigação.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amzallag, G. N., & Lerner, H. R. (1994). Physiological adaptation of plants to environmental stresses. In M. Pessarakli, *Handbook for Crop Physiology.*, pp. 557-576, New York: M Deckker Inc.
- Amzallag, G. N., Seligmann, H., & Lerner, H. R. (1993). A developmental window for salt-adaptation in *Sorghum bicolor*. *J. Exp. Bot.* Vol. 44, 645-652.
- Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1994). Water quality for agriculture. *FAO Irrigation and Drainage Paper*, Vol. 29, Rev. 1, Rome, Italy, 176 pp.
- Hernandez, J. A., Olmos, E., Corpas, F. J., Sevilla, F., & del Rio, L. A. (1995). Salt-induced oxidative stress in chloroplast of pea plants. *Plant Sci.* Vol. 105 , 151-167.
- Hernandez, J., Campillo, A., Jimenez, A., Alacon, J. J., & Sevilla, F. (1999). Response of antioxidant systems and leaf water relations to NaCl stress in pea plants. *New Phytol.* Vol. 141 , 241-251.
- Munns, R., & Termatt, A. (1986). Whole plant response to salinity. *Aust. J. Plant Physiol.* Vol. 13, 143-160.
- Neumann, P. (1997). Salinity resistance and plant growth revisited. *Plant, Cell and Environment*, Vol. 20, 1193-1198.
- Parida, A. K., & Das, A. B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Vol. 60, 324-349.
- Rhoades, J. D., Kandiah, A., & Mashali, A. M. (1992). The use of saline waters for crop production. *FAO irrigation and drainage*, Vol. 48. FAO, Rome, 133pp.
- Richards, L. A. (1954). *Diagnosis and Improvement of Saline an Alcaly Soils.* USSSL - United States Salinity Laboratory. Washington, USA.
- Seligmann, H., & Amzallag, G. N. (1995). Adaptative determinism during salt-adaptation in *Sorghum bicolor* exposed to salinity. *BioSystem* Vol. 36, 71-77.
- Shannon, M. C. (1998). Adaptation of plants to salinity. *Adv. Agron.* Vol. 60, 75-119.
- Wang, Y., & Nil, N. (2000). Changes in chlorophyll, ribulose biphosphate carboxylase–oxygenase, glycine betaine content, photosynthesis and transpiration in *Amaranthus tricolor* leaves during salt stress. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* Vol. 75, 623-627.
- Yokoi, S., Bressan, R. A., & Hasegawa, P. M. (2002). Salt Stress Tolerance of Plants. *JIRCAS Working Report*, 25-33.