

# ANÁLISE DE CRESCIMENTO DE PLANTAS DE *Hordeum vulgare* L. SUBMETIDAS A ESTRESSE SALINO <sup>1</sup>

## GROWTH ANALYSIS OF *Hordeum vulgare* L. PLANTS SUBJECTED TO SALINE STRESS <sup>1</sup>

Rodrigo Nascimento da Silva<sup>2</sup>; Nei Fernandes Lopes<sup>3</sup> Gisela Loureiro Duarte<sup>4</sup>; Dario Munt de Moraes<sup>5</sup>; Ana Lúcia de Almeida Pereira<sup>6</sup>

### RESUMO

A cultura de cevada apresenta influência no crescimento quando cultivada em condições de salinidade. O experimento foi conduzido em condições de casa-de-vegetação no Departamento de Biologia da Universidade Federal de Pelotas, utilizando como substrato, um solo de classificação internacional Albaqualf, corrigido e fertilizado, após análise química. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, num esquema fatorial constituído de duas cultivares (BRS 195 e AF 98067), cinco concentrações salinas (0, 15, 30, 45 e 60 mol.m<sup>-3</sup> NaCl) e sete coletas com intervalo de 14 dias, após a emergência, com três repetições. Os dados de matéria seca total acumulada e os de área foliar foram ajustados, respectivamente, pela equação logística simples e por polinômios ortogonais, sendo os valores instantâneos da taxa de produção de matéria seca e taxa de crescimento de área foliar obtidos por derivadas das equações ajustadas da matéria seca total e de área foliar versus tempo. A matéria seca e área foliar de ambas cultivares de cevada foram reduzidas pela salinidade, sendo esta diminuição intensificada pelo incremento na concentração salina, reduzindo em menor proporção o acúmulo de matéria seca do que a área foliar nas duas cultivares de cevada. Todas as características de crescimento foram influenciadas pelo aumento na concentração de NaCl no substrato solo, em ambas cultivares. A cv. BRS 195 apresentou crescimento superior quando comparada a cv. AF 98067.

Palavras-chave: cevada, cultivares, área foliar, matéria seca total, salinidade

### ABSTRACT

The culture of barley presents influence on growth when grown under salinity conditions. The experiment was conducted in greenhouse conditions of the Biology Department, Federal University of Pelotas, using a Albaqualf soil as substrate, which after chemical analysis was corrected and fertilized. The experimental design was randomized blocks in a factorial scheme consisting of two cultivars (BRS 195 and AF 98067), five saline concentrations (0, 15, 30, 45 and 60 mol m<sup>-3</sup> NaCl) and seven harvesting times with regular intervals of 14 days after the emergency, with three repetitions. The data of total dry tissue and leaf area were adjusted for the simple logistic and orthogonal polynomial equations, respectively, being the crop growth rate and leaf area index obtained by derivation of the equations of total dry tissue and leaf area, as function of the time. In both cultivars of barley, total dry tissue and leaf area were reduced by the salinity, as a function of its concentration, causing a smaller reduction in the accumulation of total dry tissue than in the leaf area in the two cultivars. All the growth variables were influenced by increasing NaCl concentration in the substrate for both cultivars. The BRS 195 showed higher growth compared to cv. AF 98067.

Key words: barley, cultivars, leaf area, total dry matter, salinity.

<sup>1</sup>Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor.

<sup>2</sup>Químico, M.e, Prof. efetivo da Escola Agrotécnica Federal de Colorado do Oeste/RO. Doutorando em Ciências do Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, Departamento de Botânica, Instituto de Biologia/Universidade Federal de Pelotas, Caixa Postal 354, 96010-900, Pelotas/RS, e-mail: [digohn@ig.com.br](mailto:digohn@ig.com.br) (autor correspondente)

<sup>3</sup>Eng<sup>o</sup>.Agr<sup>o</sup>, Ph.D., Prof. Titular. Chefe do Departamento de Botânica, Instituto de Biologia/Universidade Federal de Pelotas, Caixa Postal 354, 96010-900, Pelotas/RS, e-mail: [neilopes@ufpel.edu.br](mailto:neilopes@ufpel.edu.br)

<sup>4</sup>Eng<sup>o</sup>.Agr<sup>o</sup>, Dr., Prof. Adjunto. Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal do Departamento de Botânica, Instituto de Biologia/Universidade Federal de Pelotas, Caixa Postal 354, 96010-900, Pelotas/RS, e-mail: [moraesdm@ufpel.edu.br](mailto:moraesdm@ufpel.edu.br)

<sup>5</sup>Bióloga, M.e, Prof<sup>a</sup>. Titular do Centro Federal de Educação Tecnológica de Pelotas/RS, Caixa Postal 354, Pça. 20 de setembro 455, 96000-000, Pelotas/RS, e-mail: [giseladuarte@zipmail.com.br](mailto:giseladuarte@zipmail.com.br)

<sup>6</sup>Bióloga, M.e, Prof<sup>a</sup>. Titular da Secretaria Municipal de Educação. Doutoranda em Ciências do Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, Departamento de Botânica, Instituto de Biologia/Universidade Federal de Pelotas, Caixa Postal 354, 96010-900, Pelotas/RS, e-mail: [biol.analucia@hotmail.com](mailto:biol.analucia@hotmail.com).

(Recebido para Publicação em 20/02/2006, Aprovado em 25/03/2007)

## INTRODUÇÃO

As condições de meio ambiente em que as plantas são submetidas podem influenciar os principais processos fisiológicos das plantas, a fotossíntese e a respiração, determinantes da produtividade das plantas. A planta acumula biomassa durante o crescimento seguindo uma tendência logística simples, na qual inicialmente ocorre um crescimento exponencial, seguido por uma fase de ganhos lineares e finalmente a fase de incrementos decrescentes. Este padrão da curva decorre do balanço entre disponibilidade e demanda de carbono experimentado pela planta.

A salinidade pode afetar esta tendência, pois é um problema que atinge cerca de 45 dos 230 milhões de hectares da área irrigada do globo terrestre, trazendo sérios prejuízos para a produção agrícola, principalmente nas regiões áridas e semi-áridas, onde cerca de 25% da área irrigada já se encontra salinizada (FAO, 2000).

O estudo dos efeitos da salinidade na fisiologia dos vegetais fornece informações necessárias a seleção de plantas resistentes e o entendimento básico dos efeitos desse estresse no crescimento e desenvolvimento das plantas (LIMA et al., 2004).

A cevada por ser considerada tolerante à salinidade (LOOMIS & CONNOR, 1992) sofre, como tal, redução progressiva do crescimento, com o aumento da concentração de sais no meio. A inibição do crescimento pelo sal pode ser explicada pelo desvio de energia para a manutenção funcional dos tecidos, sendo que a diminuição na massa seca pode refletir o custo metabólico de energia, associado à adaptação a salinidade e redução no ganho de carbono (RICHARDSON & MCCREE, 1985).

A provável ação fitotóxica do NaCl é, em parte, causada por desequilíbrio de aquisição de nutrientes pelas raízes. Embora as respostas fisiológicas das plantas ao estresse

salino tenham sido exaustivamente estudadas, o estresse salino sobre raízes é pouco conhecido (HALPERIN & LYNCH, 2003).

Cultivares apresentam tolerância variável à salinidade, isto faz, com que a necessidade e o manejo da lixiviação de sais no solo sejam específicos para cada cultura, neste caso, a utilização de águas salinas fica condicionada à tolerância das culturas à salinidade e ao manejo de práticas culturais, como irrigação e adubação, com vistas a se diminuir os impactos ambientais, com conseqüentes prejuízos às culturas e à sociedade (GURGEL et al., 2003).

Podendo ser incluída a regulação do transporte e distribuição iônica em vários órgãos e dentro das células, a síntese de solutos orgânicos para a osmorregulação e/ou proteção de macromoléculas, e a manutenção da integridade das membranas. Assim a menor redução no crescimento do genótipo tolerante pode estar associada a menor custo energético para osmorregulação, conseguido por meio do acúmulo e da compartimentação de solutos inorgânicos no vacúolo e solutos orgânicos no citoplasma (NOBLE & ROGERS, 1992; SERRANO & GAXIOLA, 1994).

Os mecanismos de tolerância à salinidade ainda não estão bem elucidados, pelo fato deste fenômeno ser extremamente complexo, podendo envolver alterações morfológicas e de desenvolvimento, bem como processos fisiológicos e bioquímicos (NETO, 2005)

A análise de crescimento é um método que descreve as condições morfofisiológicas da planta em diferentes intervalos de tempo entre duas amostras sucessivas (SILVA, 2000), sendo empregada no estudo dos efeitos ambientais sobre o crescimento dos vegetais. Portanto, a interferência do ambiente sobre a produção das culturas pode ser evidenciada pelas alterações no crescimento dos vegetais (NILWIK, 1981).

Para identificar tais alterações, o acúmulo de matéria seca é, talvez, o parâmetro mais significativo, sendo resultante da associação de vários outros componentes (AZEVEDO NETO & TABOSA, 2000). Possibilita a estimativa de taxas de crescimento que quantificam este balanço em determinado momento ou intervalo de tempo de interesse (SILVA, 2000).

O objetivo deste trabalho foi comparar o crescimento de duas cultivares de cevada (BRS 195 e AF 98067), crescidas em casa de vegetação submetidas a diversas concentrações de cloreto de sódio, no intuito de avaliar a performance desses cultivares de cevada em solos salinos.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de casa de vegetação do Departamento de Botânica, da Universidade Federal de Pelotas. Foi utilizado como substrato um solo do tipo Planossolo Háptico Eutrófico Solódico (EMBRAPA, 2006) com classificação americana de Albaqualf (ESTADOS UNIDOS, 2006), que após análise química básica e auxiliar (Tabela 1) foi corrigido e fertilizado conforme recomendações

da Comissão de Fertilidade do Solo RS/SC (1995) para a cultura de cevada. A cevada foi semeada em vasos plásticos não perfurados, com capacidade de 8 L, contendo 7,5 kg de solo como substrato. Antes da semeadura, o substrato seco ao ar foi irrigado com soluções salinas na quantidade de 2,5 L vaso<sup>-1</sup> e irrigados sempre que necessário até atingir a capacidade de campo (Figura 1). Em cada vaso foram semeadas dez sementes e posteriormente desbastadas para seis plantas por vaso. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, em um esquema fatorial (2 x 5 x 7), constituído por duas cultivares (BRS 195 e AF 98067), cinco concentrações de sal (0, 15, 30, 45 e 60 mol.m<sup>-3</sup> NaCl) e sete épocas de colheita (14, 28, 42, 56, 70, 84 e 98 dias após emergência), com três repetições.

Em cada coleta, as plantas foram cortadas rente ao solo e separadas em partes (folhas, caules, raiz, espigas e sementes). Imediatamente, a área foliar ( $A_f$ ) foi determinada em medidor de área (Licor, modelo LI-3000) e o índice de área foliar (L) calculado pela fórmula  $L = A_f / S_t$ , sendo  $S_t$  a superfície do vaso.

Tabela 1 - Análise química de um substrato de solo do tipo Planossolo Háptico Eutrófico Solódico (Albaqualf), em Pelotas, RS.

Arg <sup>1</sup>	ANÁLISE BÁSICA				ANÁLISE AUXILIAR				
	pH <sup>2</sup>	IND SMP <sup>3</sup>	M.O. <sup>4</sup>	P	K	Na	Al	Ca	Mg
	(%)				.....mg L <sup>-1</sup> .....			..... mmolc dm <sup>-3</sup> .....	
20	4,9	6,2	1,4	1,3	68	4	12	6	5

<sup>1</sup>argila; <sup>2</sup>potencial hidrogeniônico em água; <sup>3</sup>índice SMP (Shoemaker, Mac lean e Pratt,1962) <sup>4</sup>matéria orgânica

As raízes foram retiradas em blocos de terra, e depois lavadas sobre peneira para eliminação do substrato aderente. Posteriormente, o material vegetal foi seco em

estufa a 70 ± 2° C, até atingir massa constante, determinando-se a matéria seca total (W<sub>t</sub>).

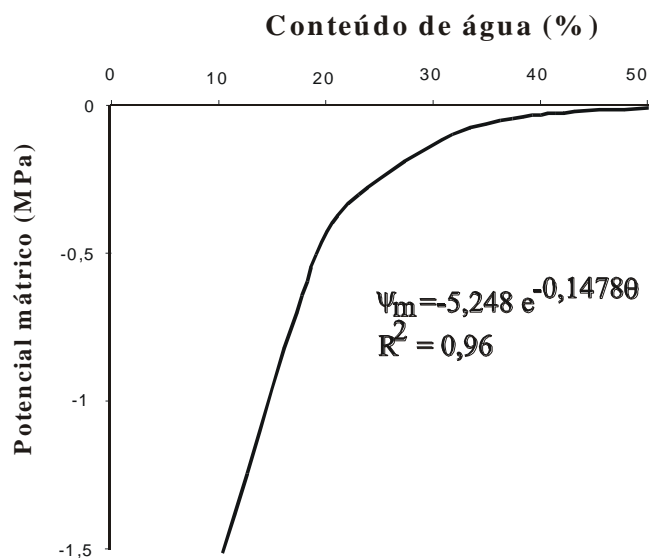


Figura 1 - Curva de retenção de água de um substrato de solo do tipo Planossolo Háplico Eutrófico Solódico (Albaqualf), em Pelotas, RS.

Os dados primários de  $W_t$  acumulada foram ajustados pela equação logística simples:  $W_t = W_m / (1 + A e^{-Bt})$ , sendo  $W_m$  a estimativa assintótica do crescimento máximo,  $A$  e  $B$  constantes de ajustamento,  $e$  a base natural de logaritmo neperiano e  $t$  o tempo em dias após emergência (RICHARDS, 1969). Os dados primários de área foliar ( $A_t$ ) foram ajustados com o emprego de polinômios ortogonais (RICHARDS, 1969). As taxas de produção de matéria seca ( $C_t$ ) e de crescimento de área foliar ( $C_a$ ) foram obtidas por meio de derivadas das equações ajustadas da matéria seca total ( $W_t$ ) e de área foliar ( $A_t$ ) em relação ao tempo (RADFORD, 1967).

Para determinação dos valores instantâneos da taxa de crescimento relativo ( $R_w$ ) e taxa de crescimento relativo de área foliar ( $R_a$ ) foram empregados as fórmulas  $R_w = C_t / W_t$  e  $R_a = C_a / A_t$ . Os valores instantâneos da taxa assimilatória líquida ( $E_a$ ), razão de área foliar ( $F_a$ ), razão de massa foliar ( $F_w$ ) e área foliar específica ( $S_a$ ) foram estimados pelas equações:  $E_a = C_t / A_t$ ;  $F_a = A_t / W_t$ , conforme RADFORD (1967).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Mantendo a tendência logística ao longo do ciclo de desenvolvimento da cevada, a matéria seca ( $W_t$ ) foi sempre crescente para ambas as cultivares (Figura 2), com altos coeficientes de determinações ( $R^2 \geq 0,9$ ). Porém, durante todo o ciclo, em todos os tratamentos, a cultivar BRS 195 acumulou maior quantidade de biomassa do que a AF 98067. O efeito do sal no acúmulo de matéria seca somente foi detectado a partir dos 42 dias após a emergência (DAE) em ambos os genótipos (Figura 2). Posteriormente, aos 42 DAE, o crescimento da cevada decresceu significativamente com incremento da salinidade, sendo mais drástica essa redução para a cv. AF 98067 em comparação a BRS 195.

O  $W_t$  máximo da cv. BRS 195 foram de 1232,6; 978,4; 950,7; 827,8 e 659,3 g m<sup>-2</sup>, revelando uma queda de 20,6; 22,8; 32,8 e 46,5% conforme o respectivo incremento da concentração salina (Figura 2A). Enquanto, a cultivar AF 98067 (Figura 2B) apresentou resultados inferiores sendo que o maior valor de  $W_t$  foi de 1181,9; 1029,3; 858,1; 682,6 e 558,4 g m<sup>-2</sup>, demonstrando uma respectiva redução de 12,9; 27,4; 42,2 e 52,7 %, respectivamente, em ordem crescente de salinidade. A acumulação e da compartimentação de solutos

inorgânicos no vacúolo e solutos orgânicos no citoplasma, ocasiona, um menor custo energético para osmorregulação,

que pode ser um dos fatores da menor redução no crescimento do genótipo (MUNNS, 2002).

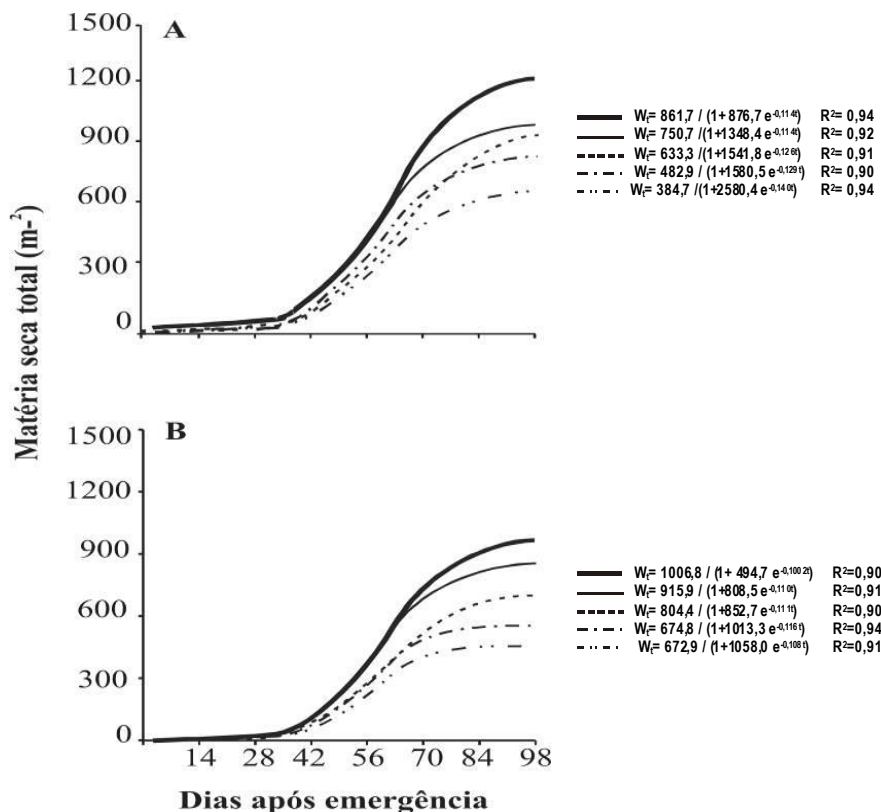


Figura 2 - Acúmulo de matéria seca ( $W_t$ ) nas cultivares BRS 195 (A) e AF 98067 (B), em função da ontogenia das plantas, crescidas a diferentes concentrações salinas, sendo zero (—), 15 (—), 30 (-----), 45 (-.-.-) e 60 (-.-.-) mol.m<sup>-3</sup> de NaCl.

A taxa de produção de matéria seca ( $C_t$ ) é uma característica amplamente usada para expressar a eficiência da produção de "stand" de plantas e revela o incremento de matéria seca por unidade de área e de tempo. Alta taxa de crescimento de cultura foi verificado para a cultivar BRS 195 (Figura 3A) diminuindo consideravelmente, com o aumento da salinidade. Os  $C_t$  máximos foram de 33,2; 28,6; 23,2; 24,3 e 19,1 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>, atingidos aos 61, 58, 65, 60 e 60 DAE, com

redução de 13,9; 30,2; 26,9 e 42,4 % conforme, o aumento no teor de NaCl no substrato, respectivamente. Enquanto,  $C_t$  máximos registrados para a cv. AF 98067 (Figura 3B), foram de 33,8; 31,3; 23,0; 22,0 e 19,2 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>, reduzindo 7,3; 31,8; 34,8 e 43,1 % aos 61, 61, 63, 58 e 58 DAE, conforme o aumento na concentração salina, respectivamente.

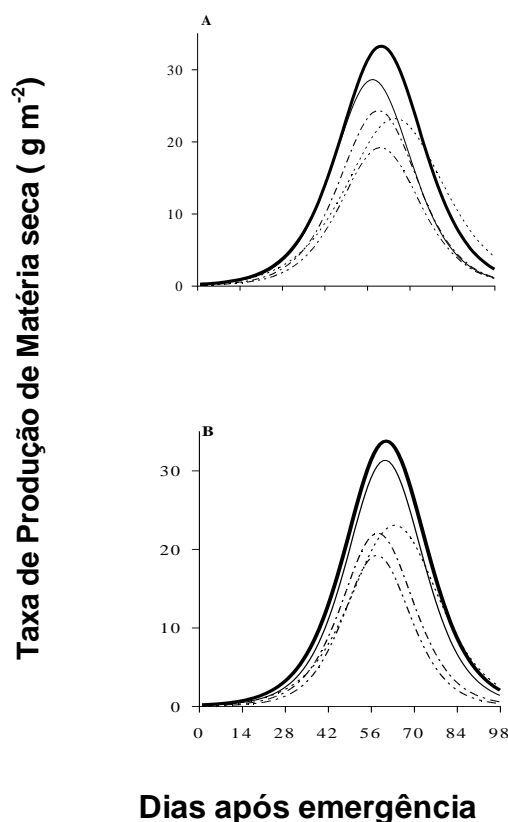


Figura 3 – Taxa de produção de matéria seca ( $C_t$ ) nas cultivares BRS 195 (A) e AF 98067 (B), em função da ontogenia das plantas, crescidas a diferentes concentrações salinas, sendo zero (—), 15 (— — —), 30 (— · — ·), 45 (— · · ·) e 60 (· · · ·)  $\text{mol.m}^{-3}$  de NaCl.

A taxa de produção de matéria seca ( $C_t$ ) foi crescente para ambas cultivares, até a etapa 8 (aparecimento da última folha) da fase de alongamento do colmo, independente de salinidade, segundo a escala diferencial de crescimento (LARGE, 1954) posteriormente dedinando até o final do ciclo de desenvolvimento, sempre com valores positivos para todos os tratamentos (Figura 3). As taxas máximas de  $C_t$  dependem do genótipo, do meio e do ciclo de desenvolvimento da planta. A salinidade ocasionou diminuição nos valores de  $C_t$  em ambas as cultivares. No entanto, o sal provocou proporcionalmente menor redução na taxa de crescimento da cultivar BRS 195 (Figura 3A) em comparação com a queda do  $C_t$  da cv. AF 98067 (Figura 3B). A produção de matéria seca em plantas de cevada sofreu

efeito da salinidade, também o excesso de NaCl aplicado aos substratos, reduziu o desenvolvimento em cajueiro (BEZERRA, 2005).

A taxa de crescimento relativo ( $R_w$ ) expressa o incremento de massa seca em relação à biomassa pré-existente, sendo matematicamente obtido pela razão entre a taxa de produção de matéria seca e a matéria seca total acumulada. Houve diminuição nos valores de  $R_w$  para a cultivar BRS 195 (Figura 4A) com a ontogenia das plantas e com aumento da salinidade, pois a matéria seca total é baixa e a taxa de produção de matéria seca também, obter-se-á um valor elevado para o  $R_w$ . Provavelmente, no início do crescimento, como o sal afeta negativamente a produção de matéria seca em função da adaptabilidade ao sal,  $R_w$  pode

ser maior nas plantas estressadas, pois  $R_w$  expressa uma taxa de juros ( $C_t$ ) sobre o capital ( $W_t$ ). As taxas máximas obtidas foram de 0,108; 0,116; 0,093; 0,116 e 0,114  $g\ g^{-1}\ d^{-1}$ , em ordem crescente de salinidade, obtidos aos primeiro DAE. Na cultivar AF 98067 (Figura 4B), as características se mantiveram, ou seja, o  $R_w$  diminuiu ao longo do desenvolvimento, porém foi maior com aumento na concentração salina. O  $R_w$  máximo foi de 0,112; 0,120; 0,104; 0,129 e 0,137  $g\ g^{-1}\ d^{-1}$  em relação ao incremento de sal. A cultivar AF 98067 (Figura 4B) apresentou  $R_w$  maior do que os da cv. BRS 195 (Figura 4A) da emergência até os 42

DAE, incrementando maior quantidade de massa seca por unidade de biomassa. Houve um declínio em  $R_w$  em função do tempo em ambas cultivares (Figura 4).

A diminuição do  $R_w$  com a idade da planta, normalmente, é resultado em parte, do aumento gradativo de tecidos não fotossintetizantes com a ontogenia da planta, além disso apresenta efeito adicional de incremento de mais massa seca, em função da biomassa com crescimento quando as plantas tiveram que se adaptar às condições salinas (AZEVEDO NETO & TABOSA, 2000).

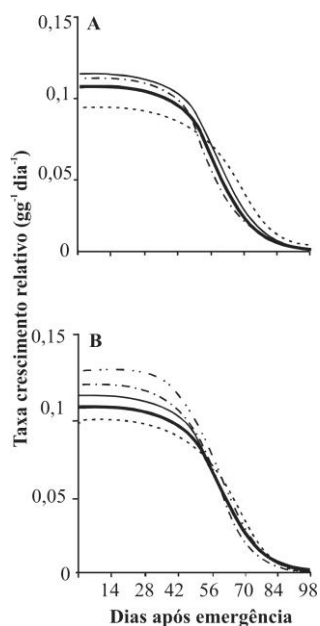


Figura 4 – Taxa de crescimento relativo ( $R_w$ ) nas cultivares BRS 195 (A) e AF 98067 (B), em função da ontogenia das plantas, crescidas a diferentes concentrações salinas, sendo zero (—), 15 (— — —), 30 (— · — · —), 45 (— · · — ·) e 60 (· · · · ·)  $mol.m^{-3}$  de NaCl.

Conceitualmente, embora bastante difícil na prática, o índice de área foliar é a relação entre a área foliar total e área de solo sombreado pelas folhas e portanto, um índice adimensional (FAGUNDES et al., 1999). Na verdade, usou-se a área do vaso disponível para a planta. Os dados do índice de área foliar (L) foram ajustados com o emprego de polinômios ortogonais (RADFORD, 1967), em condições de casa-de-vegetação (GALBIATTI et al., 2007). Em todos os

tratamentos de ambas as cultivares foram mantidas a tendência cúbica com altos coeficientes de determinação ( $R^2 \geq 0,9$ ).

Os L máximos da cultivar BRS 195 foram de 9,5; 5,1; 4,1; 4,0 e 3,3 alcançados aos 72, 62, 61, 57 e 55 DAE com reduções de 46,3; 56,8; 57,8 e 65,3 %, respectivamente, em ordem crescente da concentração salina (Figura 5A). Ao passo que a cultivar AF 98067 (Figura 5B) apresentou

resultados inferiores, os maiores valores de L foram de 6,9; 5,3; 4,5; 3,8 e 3,4 atingidos aos 66, 63, 61, 57 e 56 DAE demonstrando reduções de 23,6; 34,8; 45,7 e 51,5 %, com incremento da salinidade, respectivamente. O índice de área foliar diminuiu com aumento da concentração salina, em

ambas as cultivares, sendo que a cv. AF 98067 (Figura 5B), sofreu maior efeito à salinidade, do que a cv. BRS 195 (Figura 5A). Também pode ser observado que o sal induz uma antecipação entre 7 a 10 dias em atingir o L máximo.

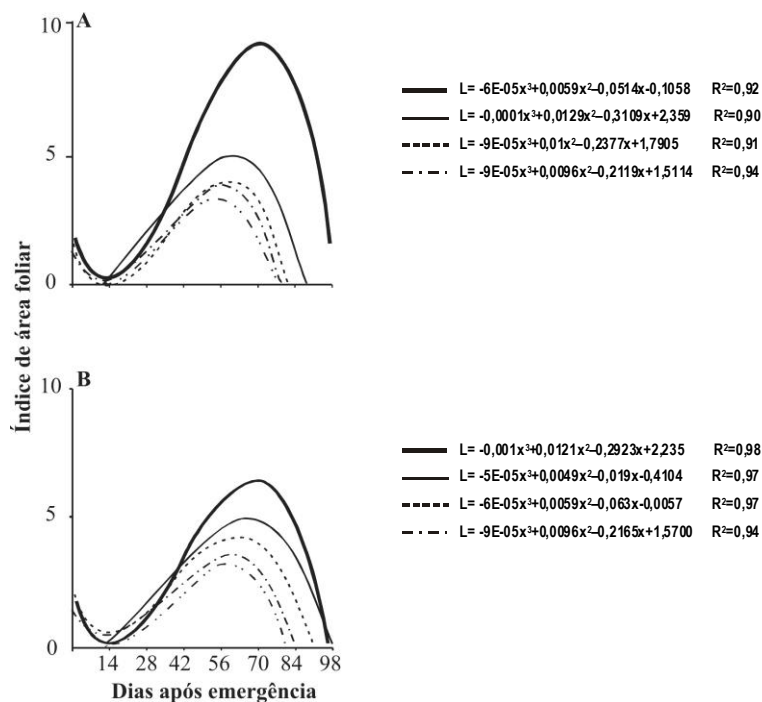


Figura 5 – Índice de área foliar (L) nas cultivares BRS 195 (A) e AF 98067 (B), em função da ontogenia das plantas, crescidas a diferentes concentrações salinas, sendo zero (—), 15 (— — —), 30 (— · — · —), 45 (— · — · —) e 60 (— · — · —) mol.m<sup>-3</sup> de NaCl.

Os aumentos nos níveis de salinidade apresentam relações inversas com a área foliar. Dessa maneira, ocorrem reduções na área de captação de energia luminosa, bem como na fixação da CO<sub>2</sub>, por unidade de área, acompanhadas pelo aumento da taxa transpiratória. As baixas taxas de assimilação de CO<sub>2</sub>, no período luminoso, são também acarretadas por déficit hídrico e fechamento parcial dos estômatos, o que diminui o turgor das células mesofílicas (SULTANA et al., 1999). Existe uma relação entre as relações de água e o crescimento das plantas, visto que a condutância estomática é diretamente afetada pela menor disponibilidade de água no meio, o que altera o fluxo transpiratório responsável pela ascensão de água no xilema

e pelo fomecimento para os tecidos meristemáticos, assim como folhas e caules (VIANA et al., 2001). A área foliar por planta foi a característica de crescimento mais afetada, em goiabeira, com uma redução de 92% quando submetida ao nível mais elevado de salinidade de 150 mol.m<sup>-3</sup> (TÁVORA et al., 2001). A redução da expansão foliar sob estresse hídrico pode ser um mecanismo de sobrevivência que permite a conservação de água. Portanto, necessariamente não é o caso do estresse salino, onde a disponibilidade de água para o crescimento em geral não é limitante, na medida em que o gradiente de potencial hídrico favorece a absorção, em virtude da osmorregulação.



A taxa de crescimento de área foliar ( $C_a$ ) foi crescente para ambas as cultivares até o ponto de máximo e depois decresceram com a ontogenia das plantas (Figura 6), apresentando valores menores com a intensificação da senescência. Os  $C_a$  máximos da cv. BRS 195 (Figura 6A) foram de 0,24; 0,14; 0,13; 0,12 e 0,11  $m^2 m^{-2} d^{-1}$  com o incremento da salinidade, atingidos aos 43, 33, 38, 36 e 31 DAE, com respectivas reduções de 41,6; 45,8; 50 e 54,2 % nas plantas, conforme respectivo incremento de salinidade. Enquanto, os máximos  $C_a$  obtidos para cv. AF 98067 foram de 0,19; 0,14; 0,13; 0,12 e 0,12  $m^2 m^{-2} d^{-1}$  aos 40, 33, 33, 36 e 36 DAE, em ordem crescente da concentração salina,

revelando reduções de 26,3; 31,6; 36,8 e 36,8%. (Figura 6B). A taxa de crescimento de área foliar foi reduzida pela salinidade nas duas cultivares (Figura 6), declinando após atingir os L máximos até o final do ciclo de desenvolvimento, sendo essa queda mais acentuada com o incremento na concentração de NaCl. Podemos observar em relação ao tratamento controle, que com a aplicação dos diferentes níveis salinos nas plantas de cevada, houve uma antecipação na produção de tecidos senescentes bem como nas respectivas taxas de crescimento de área foliar, o que colabora para justificar a ação prejudicial do sal no metabolismo vegetal.

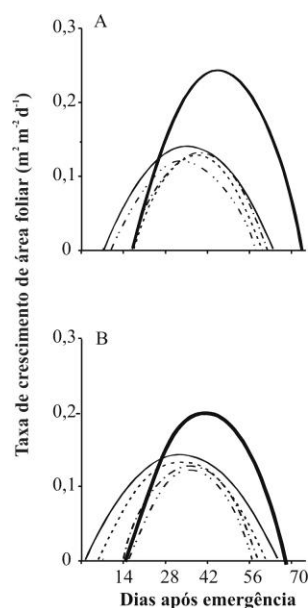


Figura 6 – Taxa de crescimento de área foliar ( $C_a$ ) nas cultivares BRS 195 (A) e AF 98067 (B), em função da ontogenia das plantas crescidas a diferentes concentrações salinas, sendo zero (—), 15 (— — —), 30 (— · — · —), 45 (— · — · —) e 60 (· · · · ·)  $mol.m^{-3}$  de NaCl.

A área foliar é uma característica que, normalmente, é influenciada negativamente pela salinidade. A menor área foliar faz com que ocorra redução na área de captação de energia luminosa, bem como na fixação de  $CO_2$  por unidade de área, e talvez seja causada pela redução do volume celular, provocada pelo menor tamanho dos vacúolos, devido

a menor quantidade de água nos tecidos. (FIGUEIREDO et al., 2006).

A taxa de crescimento relativo de área foliar ( $R_a$ ) é obtida pela razão entre a taxa de crescimento de área foliar ( $C_a$ ) e a área foliar ( $A_f$ ), sendo considerada como a taxa de incremento de  $A_f$  sobre  $A_f$  pré-existente. Nos estádios iniciais do crescimento das plantas de cevada a salinidade do solo

incrementou  $R_a$  (Figura 7), indicando que ocorreu uma tentativa de adaptação ao sal, alocando mais fotoassimilados nas folhas com estresse salino para compensar os danos do NaCl no crescimento de  $A_f$ , como menor expansão foliar e senescência precoce de folhas. Os  $R_a$  máximos apresentados pela cv. BRS 195 (Figura 7A) foram de 0,14; 0,34; 0,17; 0,16 e 0,76  $m^2 m^{-2} d^{-1}$ , atingidos aos 20, 15, 20, 19 e 20, em ordem crescente da concentração de NaCl, revelando incrementos de 142,9; 21,4; 14,3 e de 442,9 %. Ao passo que os  $R_a$  máximos da cv. AF 98067 (Figura 7B) foram de 0,17; 0,40; 0,42; 0,17 e 0,17  $m^2 m^{-2} d^{-1}$ , alcançados aos 20, 15, 15, 19 e 19 DAE, conforme o aumento da concentração de NaCl, respectivamente também

aumentando em 129,4; 147,0; 0,0 e 0,0 %. Comparando as duas cultivares, podemos inferir que os valores de  $R_a$  foram semelhantes, mas a cv. AF 98067 (Figura 7B) apresentou, taxas de crescimento relativo altas quando comparadas com a cultivar BRS 195 (Figura 7A). Os valores altos demonstram que ambas as cultivares tiveram de produzir mais material que fosse suficiente para atender às necessidades metabólicas do material já existente, ou para armazenar e/ou construir novo material estrutural, o que era de se esperar visto que houve redução muito grande na área foliar das plantas sob estresse salino, fazendo com que a relação  $C_a/A_f$  fosse maior sob estresse salino.

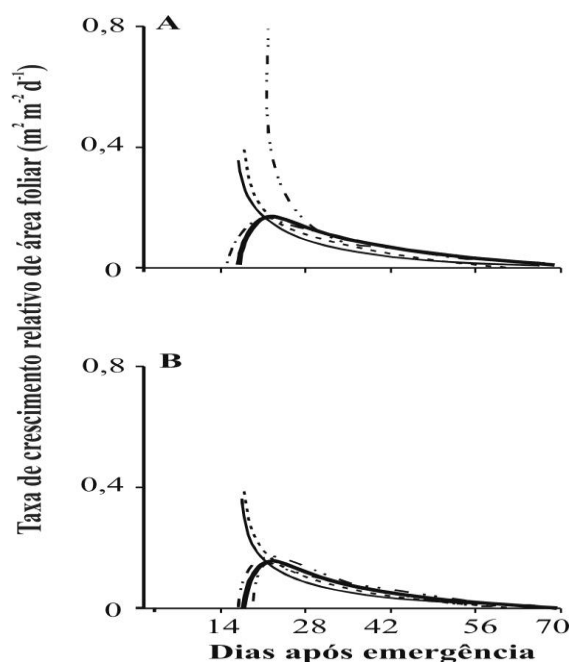


Figura 7 – Taxa de crescimento relativo ( $R_a$ ) de área foliar nas cultivares BRS 195 (A) e AF 98067 (B), em função da ontogenia das plantas crescidas a diferentes concentrações salinas, sendo zero (—), 15(— — —), 30(-----), 45(-.-.-) e 60 (-...-)  $mol.m^{-3}$  de NaCl.

A taxa assimilatória líquida ( $E_a$ ) de uma planta é o incremento da biomassa por unidade de área foliar e de tempo, ou seja, expressa à taxa de fotossíntese líquida, excluindo da fotossíntese bruta a respiração e a fotorrespiração, em termos de matéria seca produzida. Matematicamente, é obtida pela razão entre a taxa de

produção de matéria seca e a área foliar. Na cultivar cv. BRS 195 (Figura 8A) os  $E_a$  máximos foram de 3,9; 3,7; 15,0; 13,7 e 12,0  $g m^{-2} d^{-1}$  obtidos aos 57, 57, 79, 78 e 75 DAE, conforme o aumento da concentração de NaCl, respectivamente. Ao passo que na cv. AF 98067 (Figura 8B) foram de 5,1; 5,9; 19,0; 15,7 e 15,5  $g m^{-2} d^{-1}$ , atingidos aos

59, 60, 85, 78 e 75 DAE, conforme o aumento da concentração salina. Esta característica de crescimento ( $E_a$ ) sofre menor influência da ontogenia da planta do que  $R_w$ .

Também,  $E_a$  é dependente da radiação solar, das condições internas da planta, do próprio índice de área foliar e do balanço.

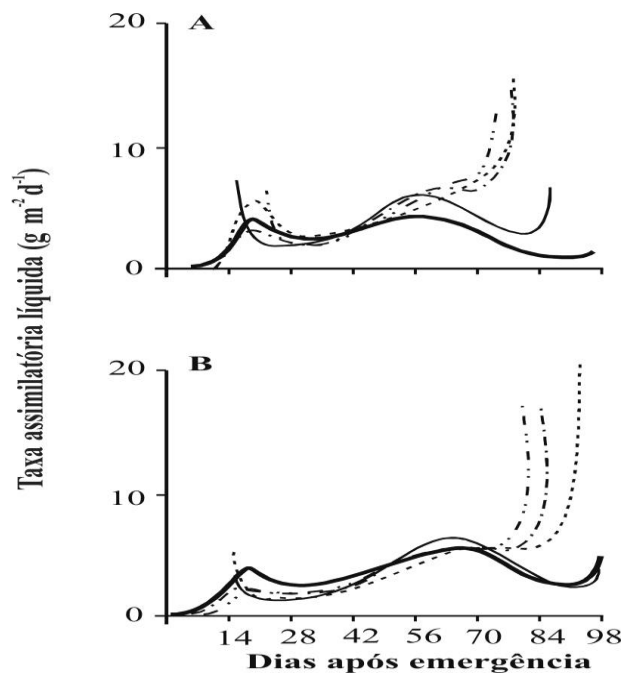


Figura 8 – Taxa assimilatória líquida ( $E_a$ ) nas cultivares BRS 195 (A) e AF 98067 (B), em função da ontogenia das plantas, crescidas a diferentes concentrações salinas, sendo zero (—), 15 (—), 30 (-----), 45 (-.-.-) e 60 (-.-.-)  $\text{mol.m}^{-3}$  de NaCl.

Em ambas as cultivares, a taxa assimilatória líquida aumentou com incremento da salinidade, visto que ao longo da ontogenia da planta, a área foliar diminuiu em função da salinidade. Do mesmo modo, as taxas de expansão foliar de plantas de trevo branco, expostas a  $40 \text{ mol.m}^{-3}$  de NaCl, são sensíveis à salinidade; enquanto, as taxas de fotossíntese líquida permanecem inalteradas, indicando que o estresse salino não foi suficientemente alto para afetar a fotossíntese ou a atividade da clorofila (AZEVEDO NETO & TABOSA, 2000). Em contraste as plantas de tomate sob estresse salino não mostraram alterações significativas na taxa assimilatória líquida (ALARCON et al., 1994). Estes autores ponderam que a taxa de expansão celular parece ser afetada mais rapidamente que a taxa fotossintética, em condições de salinidade. Igualmente, verificou-se, neste trabalho, que a  $A_f$  e  $C_a$  de ambas as cultivares foram mais

afetadas pelo estresse salino que a fotossíntese líquida, expressa em termos de  $W_t$ . Ao final do ciclo, com a antecipação na senescência foliar que foi mais acelerada nos tratamentos salinos, principalmente, nas concentrações de 30, 45 e  $60 \text{ mol.m}^{-3}$  de NaCl incrementaram os valores de  $E_a$  por reduzir acentuadamente a área foliar, durante as fases de enchimento de grãos e maturação, em virtude da aceleração na taxa de senescência foliar.

A razão de área foliar ( $F_a$ ) é um componente morfofisiológico do crescimento que expressa a razão entre a área foliar e a massa seca total e representa a superfície assimilatória por unidade de matéria seca total, os valores de  $F_a$  normalmente decrescem com a ontogenia das plantas. As plantas de cevada aumentaram  $F_a$  com o incremento da salinidade (Figura 9), no entanto pode ser observado que os

incrementos de  $F_a$  foram maiores na cv. AF 98067 (Figura 9B) do que aos da cv. BRS 195 (Figura 9A).

$F_a$  aumentou, acentuadamente, no início do ciclo de desenvolvimento, mostrando a alocação de assimilados para as folhas, sendo na ocasião o dreno metabólico preferencial. Na cultivar BRS 195, os  $F_a$  máximos foram de 0,044; 0,065;

0,034; 0,055 e 0,061  $m^2 g^{-1}$ , atingidos aos 29, 23, 31, 26 e 29 DAE, em ordem crescente da concentração salina, respectivamente (Figura 9A). Enquanto para cv. AF 98067 (Figura 9 B) os  $F_a$  máximos foram de 0,046; 0,1; 0,077; 0,078 e 0,096  $m^2 g^{-1}$  alcançados aos 28, 22, 24, 25 e 26 DAE, conforme incremento na salinidade, respectivamente.

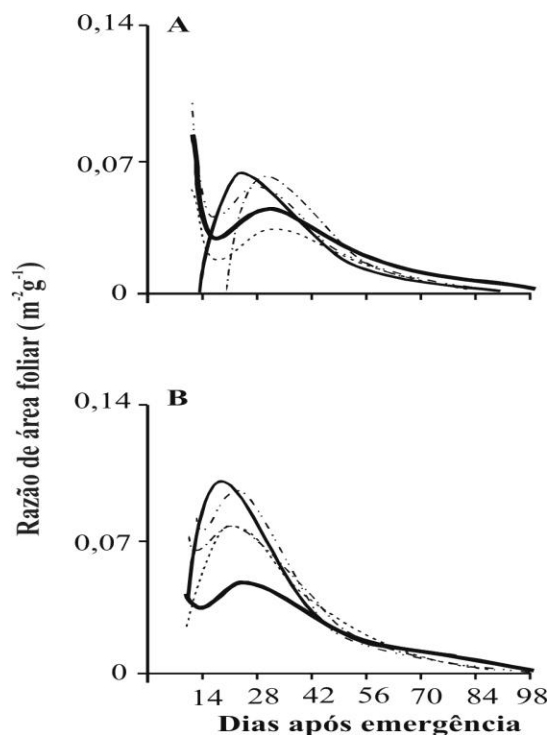


Figura 9 – Razão de área foliar ( $F_a$ ) nas cultivares BRS 195 (A) e BRS AF 98067 (B), em função da ontogenia das plantas, crescidas a diferentes concentrações salinas, zero (—), 15 (— — —), 30 (— · — · —), 45 (— · · — ·) e 60 (· · · · ·)  $mol.m^{-3}$  de NaCl.

A participação da  $F_a$  na tolerância ao estresse salino pode ser explicada pela superfície transpirativa da planta, em relação à massa de tecido estar diretamente relacionada à demanda de água e ao transporte de íons  $Na^+$  e/ou  $Cl^-$  para a parte aérea (AZEVEDO NETO & TABOSA, 2000). É saliente que a cv. AF 98067 é menos tolerante ao sal do que a cv. BRS 195, porque  $A_f$  (Figura 5), altura das plantas e  $W_f$  (Figura 1) foram menores na cv. AF 98067 que teve ainda, maiores  $F_a$  do que a cv. BRS 195. Cultivares com  $F_a$  maior apresentam elevada transpiração aumentando, concomitantemente, a demanda de água e a concentração de íons  $Na^+$  e/ou  $Cl^-$  na parte aérea (FILHO et al., 2004).

## CONCLUSÃO

Em todas as características de crescimento avaliadas a cv. BRS 195 é superior à cv. AF 98067.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos a CAPES pela bolsa concedida para o trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALARCON, J.J.; SANCHEZ-BLANCO, M.J.; BOLARIN, M.C. et al. Growth and osmotic adjustment of two tomato cultivars

- during and after saline stress. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.166, n.1, p.75-82, 1994.
- AZEVEDO NETO, A.D.; TABOSA, J.N. Estresse salino em plântulas de milho: Parte II Análise do crescimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.4, n.2, p.159-164, 2000.
- BEZERRA, I. L.; LACERDA, C.L.; PRISCO, J.T. et al. **Produção de mudas enxertadas de cajueiro anão precoce, usando águas de diferentes salinidades**. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.2, p.90-94, 2005
- COLL, J.B.; RODRIGO, G.N.; GARCIA, B.S. **Fisiologia vegetal**. Madrid: Ediciones Pirâmide, 1988. 819p.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO (CFS RS/SC) **Recomendações de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 3ª ed. Passo Fundo, SBCS-EMBRAPA-CMPT, 1995. 224 p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2ed. Rio de Janeiro. Embrapa solos, 2006. 306p.
- ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service Soil Survey Staff. **Soil Taxonomy: a basic of soil classification for making and interpreting soil surveys**. Washington, 2006. 169p. (USDA. Agricultural Handbook, 436).
- FAGUNDES, J.L.; SILVA, S.C.; PEDREIRA, C.G.S. et al. Índice de área foliar, interceptação luminosa e acúmulo de forragem em pastagens de *cynodon* spp. sob diferentes intensidades de pastejo, **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.56, n.4, p.1141-1150, 1999.
- FAO. 2000. Global network on integrated soil management for sustainable use of salt-affected soils., Roma . *Annals electronics*...Disponível em <http://www.fao.org/ag/AGL/agll/spush/intro.htm>. Acesso em: 10 de maio de 2002.
- FILHO, M.A.C; ANGELOCCI, L.R.; ROJAS, J.S.D. et al. Relações entre transpiração máxima, área foliar e evapotranspiração de referência em pomar jovem de lima ácida Tahiti. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 265-274, 2004.
- FIGUEIREDO, V.B.; FARIA, M.A; SILVA, E.L; Crescimento inicial do cafeeiro irrigado com água salina e salinização do solo. **Revista brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.1, p.105-109, 2006.
- GALBIATTI, J.A; CAVALCANTE, I.H.L; RIBEIRO, A.G; BECKMANN-CAVALCANTE, M.Z. fertilização e qualidade da água de irrigação no crescimento e desenvolvimento da alfaca. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.8, n.2, p.185-192, 2007
- GURGEL, M. T.; MEDEIROS, J. F. de; NOBRE, R. G.; CARDOSO NETO, F.; SILVA, F. V. da. Evolução da salinidade no solo sob cultivo de melão irrigado com águas de diferentes salinidades. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Belo Horizonte, v. 3, n.º. 3, 2º semestre, p.104-109 2003.
- HALPERIN, S. J.; LYNCH, J. P. Effects of salinity on cytosolic Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> in root hairs of *Arabidopsis thaliana*: *in vivo* measurements using the fluorescent dyes SBFI and PBFI. **Journal of Experimental Botany**, London, v.54, p.2035-2043, 2003.
- HARPER, J.L. **Population biology of plants**. San Diego: Academic Press, 1977. 892p.
- LARGE, E. C. Growth stages in cereals. Illustration of the Feekes scale. **Plant Pathology**, London, v.3., n.4, p.128-129, 1954.
- LIMA, M.G.S; LOPES, N;F; BACARIN, M.A. et al. **Efeito do estresse salino sobre a concentração de pigmentos e prolina em folhas de arroz**, **Revista Bragantia**, v. 63, n.3, p. 84-87, 2004.
- LOOMIS, R.S.; COONOR, D.J. **Crop Ecology: productivity and management in agricultural systems**. Cambridge University Press, Cambridge. 1992. 538 p.
- MUNNS, R.. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, V. 25, n..2, p. 239-250, 2002.
- NILWIK, H.J.M. Growth analysis of sweet pepper (*Capsicum annum* L.): 2. Interacting effects of irradiance, temperature and plant age in controlled conditions. **Annals of Botany**, London, v.49, n.1, p.137-145, 1981.
- NETTO, A.T.; CAMPOSTRINI, E.; OLIVEIRA, G.J. et al. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.104, p.199-209, 2005.
- NOBLE, C. L., ROGERS, M. E. Arguments for the use of physiological criteria for improving the salt tolerance in crops. **Plant Soil**, v. 146, p. 99-107, 1992.
- RADFORD, P. J. Growth analysis formula their use and abuse. **Crop Science**, Madison, v.7, n.42, p.171-175, 1967.
- RICHARDS, F. J. The quantitative analysis of growth. In: STEWARD, F. C. (ed.) **Plant Physiology. A treatise**. New York: Academic press, p. 3-76, 1969.
- RICHARDSON, S.G.; MCCREE, K.J. Carbon balance and water relations of sorghum exposed to salt and water stress. **Plant Physiology**, Rockville, v.79, n.11, p.1015-1020, 1985.
- SERRANO, R., GAXIOLA, R. Microbial models and salt stress tolerance in plants. **Critical Review in Plant Science**, v. 13, p.121-138, 1994.
- SILVA, L.C.; BELTRÃO, E. de M.; AMORIM NETO, M. S. **Análise de crescimento de comunidades vegetais**. Campina Grande:: EMBRAPA-CNPA, 2000. 47p. (Boletim Técnico, 34).
- SHOEMAKER, H. E.; McLEAN, E. O.; PRATT, P. F. Buffer methods for determining lime requirement of soils with appreciable amounts of extractable aluminum. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.25, n.1, p.274-277, 1961.
- SULTANA, N.; IKEDA, T.; ITOH, R. Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains. **Environmental and Experimental Botany**, Kidlington, v. 42, p.211-220, 1999.
- TÁVORA, F.J.A.F.; FERREIRA, R.G.; HERNANDEZ, F.F.F., Crescimento e relações hídricas em plantas de goiabeira submetidas a estresse salino com NaCl. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.23, n.2, p.125-129, 2001.
- VIANA, A.P; BRUCKNER, C.H.; MARTINEZ, H.E.P; MOSQUIM, P.R. et al. Características fisiológicas de porta-enxertos de videira em solução salina. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.58, n.1, p.158-165, 2001.