



Trocas gasosas, eficiência fotoquímica e potencial osmótico de plantas de tomate submetidas a condições salinas

Gas exchanges, photochemical efficiency and osmotic potential of tomato plants submitted to salt conditions

Francisco Hevilasio Freire Pereira¹

*Doutor em Fitotecnia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV).
Professor na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).
E-mail: fhfpeireira@hotmail.com*

Luandson José da Silva e Silva²

*Mestre em Horticultura Tropical pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).
Doutorando em Engenharia Agrícola na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).
E-mail: silvasluan20@gmail.com*

Francisco de Assis da Silva³

*Mestre em Horticultura pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).
Doutorando em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).
E-mail: afrofdsilva@gmail.com*

Mirandy dos Santos Dias⁴

*Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).
Doutorando em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande (SIGLA).
E-mail: mirandydias@gmail.com*

Resumo: A concentração excessiva de sais no solo ou na água de irrigação pode causar problemas fisiológicos, como a redução no crescimento e desenvolvimento que, conseqüentemente, a planta responderá com baixa produtividade. Diante disto, objetivou-se avaliar o comportamento das trocas gasosas, a eficiência fotoquímica do fotossistema II e a capacidade de adaptação de plantas de tomateiro cv. Santa Clara submetidas a concentrações crescentes de NaCl, cultivados em solução nutritiva. O experimento foi realizado em casa de vegetação do Departamento de Biologia Vegetal da Universidade Federal de Viçosa. As mudas foram produzidas em bandejas plásticas tendo como substrato areia. O transplante foi realizado quando as plantas apresentavam de 1 a 2 folhas definitivas para vasos contendo 5 L de solução nutritiva de Hoagland (força total). O delineamento experimental adotado foi de blocos inteiramente casualizado, com quatro níveis de salinidade (0, 50, 100 e 150 mM de NaCl) e três repetições. A fotossíntese, o número de folhas por planta, a massa seca da parte aérea, radicular e total reduziram com o aumento na concentração de NaCl. O potencial osmótico, tanto na parte aérea quanto no sistema radicular, diminuíram com o aumento na concentração salina da solução nutritiva, evidenciando claro ajuste osmótico do tomateiro como forma de aumentar a absorção de água da solução nutritiva.

Palavras-chave: *Lycopersicon esculentum*; salinidade; fotossíntese; ajuste osmótico.

Abstract: Excessive concentration of salts in soil or irrigation water can cause physiological problems, such as reduced growth and development, which consequently the plant will respond with low productivity. The objective of this study was to evaluate the behavior of the gas exchange, the photochemical efficiency of photosystem II and the adaptation capacity of tomato



plants cv. Santa Clara submitted to increasing concentrations of NaCl, grown in nutrient solution. The experiment was carried out in a greenhouse of the Department of Plant Biology of the Federal University of Viçosa. The seedlings were produced in plastic trays having as substrate sand. The transplant was performed when the plants had 1 to 2 final leaves for pots containing 5 L of Hoagland nutrient solution (total strength). The experimental design was completely randomized blocks with four levels of salinity (0, 50, 100 and 150 mM NaCl) and three replicates. Photosynthesis, number of leaves per plant, shoot dry matter, root and total mass decreased with increasing NaCl concentration. The osmotic potential, both in the aerial part and in the root system, decreased with the increase in the saline concentration of the nutrient solution, evidencing a clear osmotic adjustment of the tomato as a way to increase the water absorption of the nutrient solution.

Keywords: *Lycopersicon esculentum*; salinity; photosynthesis; osmotic adjustment.

1 Introdução

O tomateiro (*Lycopersicon esculentum*), das espécies hortícolas, é uma das mais consumidas no mundo (FAO, 2019), por apresentar o antioxidante licopeno e ser fonte de vitaminas e sais minerais (GONDIM, 2016). A produção mundial de tomates no ano de 2017 foi de aproximadamente 130 milhões de toneladas (FAO, 2019). O Brasil é responsável por 2,5% da produção mundial, onde são plantados anualmente aproximadamente 64,4 mil hectares de tomateiros (IBGE, 2019).

Os fatores que contribuem para o baixo rendimento, seria o plantio em épocas desfavoráveis, sementes de baixa qualidade, uso inadequado da irrigação e adubação, injúrias diretas e indiretas causadas por pragas e doenças, água de má qualidade e áreas incompatíveis para produção como excesso de sais dissolvidos na solução do solo. De acordo com Wargent et al. (2013), as perdas por baixo rendimento são provocadas pelos fatores de estresse abiótico, sendo um desafio da globalização na produção de alimentos.

O semiárido brasileiro é uma das regiões no mundo que sofre com a escassez da água, onde em período de secas, as chuvas são irregulares, no tempo e no espaço, além da alta taxa de evapotranspiração e estruturas rochosas impermeáveis, contribuem na escassez da água na superfície (SANTOS et al., 2016).

De acordo com Patel et al. (2010), a salinidade do solo, é um fator limitante na produção em muitas culturas no mundo. O manejo incorreto de fertilizantes altamente solúveis e fáceis de serem transportados pela água, causam danos severos no solo e nas plantas (MEDEIROS et al., 2012). A salinidade de água e solos, tem sido relacionado a condutividade elétrica, por ser uma metodologia rápida e prática, sua apresentação e a interpretação de respostas da planta a respeito da salinidade, com relação ao potencial osmótico, é mais adequada, possibilitando



diferenciar o efeito tóxico e osmótico da salinidade (BEN-GAL et al., 2009; SOUZA et al., 2012).

Oliveira et al. (2007) observou que os níveis de sais presentes na água de irrigação, provocaram na redução fisiológica da planta, na produção de frutos e na evapotranspiração do cultivar Santa Rosa. A alta salinidade no solo, influencia a penetração no solo, diminuindo o potencial da água do solo, levando a morte fisiológica da planta nessas condições atípicas (YUSUF et al., 2008).

Alta salinidade, influencia na penetração do solo, diminuindo o potencial da água do solo, levando à seca fisiológica e morte da planta nestas condições. As plantas que estão expostas ao estresse salino, por vezes toleram mudanças nas condições do seu ambiente, pois a capacidade de tolerâncias dos sais está situada pelas vias bioquímicas que promovem a retenção ou aquisição de água, resguardando as funções fotossintéticas e conservando a homeostase iônica (ESTEVES; SUZUKI, 2008).

O efeito do estresse salino sobre a eficiência fotoquímica do fotossistema II (FS II) tem sido extensivamente investigado, no entanto, os dados sobre os efeitos desse estresse sobre a fotossíntese são bastante conflitantes (Lu et al., 2002). Alguns estudos têm demonstrado que o estresse salino inibe a atividade do FS II, onde outros têm indicado o contrário, ou seja, que o estresse salino não afeta o FS II.

Frente a relatos controversos e a falta de resultados efetivos na busca de interligar eventos fisiológicos como declínio da fotossíntese, distúrbios na alocação de carbono, eficiência no transporte de elétrons na etapa fotoquímica e sensibilidade ou tolerância a sais, objetivou-se avaliar o comportamento das trocas gasosas, eficiência fotoquímica do fotossistema II e a capacidade de adaptação de plantas de tomateiro cv. Santa Clara submetidas a concentrações crescentes de NaCl cultivados em solução nutritiva.

2 Metodologia

O experimento foi conduzido em solução nutritiva, em casa de vegetação da Unidade de Crescimento de Plantas (UCP) do Departamento de Biologia Vegetal da Universidade Federal de viçosa (DBV/UFV), com o tomateiro cv. Santa Clara. As mudas utilizadas foram produzidas em bandejas de isopor, tendo como substrato areia. O transplântio foi realizado quando as plantas apresentavam de 1 a 2 folhas definitivas. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com quatro níveis de salinidade (0, 50, 100 e 150 mM de NaCl) e três repetições. As plantas foram submetidas a salinidade acrescentando-se a cada dois dias 50 mM na concentração da solução até atingir a concentração final de 50, 100 e 150



mM. Os sais p.a. e as quantidades de solução estoque (1 M) utilizadas no preparo da solução nutritiva estão presentes na Tabela 1.

Tabela 1. Composição e preparo da solução nutritiva de Hoagland (força total).

Substância	Solução estoque (1 M)	Quantidade de solução estoque 1 M utilizadas no preparo da solução nutritiva
NH ₄ H ₂ PO ₄	115,08 g L ⁻¹	1 ml L ⁻¹
KNO ₃	101,10 g L ⁻¹	6 ml L ⁻¹
Ca(NO ₃)	236,16 g L ⁻¹	4 ml L ⁻¹
MgSO ₄	246,49 g L ⁻¹	2 ml L ⁻¹
Fe-EDTA	A ^{1/}	1 ml L ⁻¹
Micronutrientes	B ^{2/}	1 ml L ⁻¹

Fonte: Hoagland & Arnon (1950).

^{1/}FeSO₄ (5 g) + EDTA Na (5 g): reunir os dois componentes e completar para 1 L. ^{2/}H₃BO₃ (2,85 g) + MnCl₂ (1,81 g) + ZnSO₄ (0,22 g) + CuSO₄ (0,08 g) + MoO₃ (0,02 g): reunir os cinco elementos e completar para 1 L.

A solução nutritiva foi acondicionada em vasos plásticos com capacidade para 5 L, sendo o nível da solução completado diariamente, com água deionizada e o pH ajustado para 6,5, no intervalo entre as trocas da solução, realizadas duas vezes durante a semana. O arejamento da solução nutritiva foi efetuado por compressor automático mediante tubos plásticos e para fragmentação do ar foi utilizada uma pedra porosa em cada vaso.

As avaliações foram realizadas 26 dias após o transplante (DAT). Nesta ocasião, foram determinadas a taxa fotossintética, a condutância estomática, a transpiração e a concentração intercelular (Ci) e externa (Ca) de CO₂, usando um analisador de gás infravermelho (IRGA) LCA-4 (Analytical Development, Kings Lynn, UK), com fonte de luz constante de 900 μmol de fótons m⁻² s⁻¹; parâmetros da fluorescência da clorofila: Fo (fluorescência inicial), Fm (fluorescência máxima), Fv (fluorescência variável) e a relação Fv/Fm (fluorescência variável/fluorescência máxima), após meia hora de adaptação das folhas ao escuro, usando fluorômetro portátil (Hansatech Instruments, Kings Lynn, UK) e o teor de clorofila (índice SPAD) com o medidor portátil SPAD-502 da Minolta. Em seguida, três plantas foram coletas, separadas em parte aérea e raiz, acondicionada em sacos plásticos e armazenadas em freezer. Após o congelamento, visando a perda da integridade das estruturas celulares e extravasamento dos solutos, o potencial osmótico das partes aérea e radicular foi determinado.

Na determinação do potencial osmótico a seiva foi coletada por esmagamento das folhas ou raízes, em três plantas por tratamento, com auxílio de uma prensa, centrifugada e a leitura procedida em osmômetro Osmette, modelo 2007 (Precision Systems Ltda).

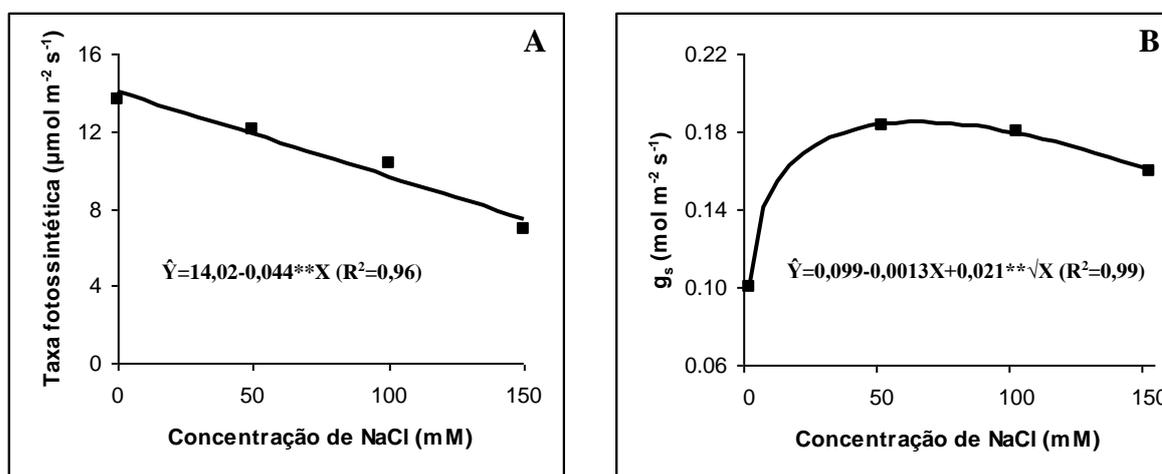
A massa seca da parte aérea e raiz também foi determinada em três plantas por tratamento, sendo o material vegetal acondicionado em saco de papel e colocado em estufa de circulação de ar forçada, a temperatura de 65 °C, até massa constante.

Os dados foram submetidos à análise de variância e regressão, sendo ajustadas equações (linear, raiz quadrada e quadrática), sendo escolhida aquela com maior valor do R^2 e possível explicação biológica.

3 Resultados e Discussão

Efeito da salinidade sobre as trocas gasosas

A fotossíntese foi inibida em plantas de tomateiro com o aumento da concentração de NaCl (Figura 1A), sendo essa redução de 11,8, 24,1 e 49,4% quando as plantas foram submetidas a 50, 100 e 150 mM de NaCl, respectivamente. Nesse trabalho, a redução na taxa fotossintética não se deveu somente a diminuição na aquisição de CO_2 devido ao fechamento estomático, pois a condutância estomática e a transpiração foram menores no controle em comparação com os tratamentos com NaCl (Figura 1B e 1C).



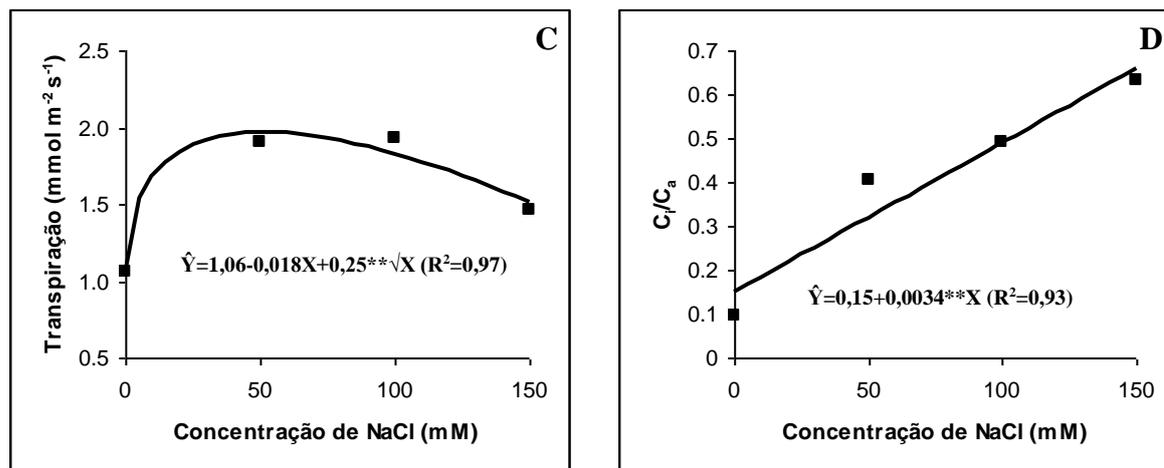


Figura 1. Fotossíntese líquida (A), condutância estomática (g_s), transpiração (E) e relação entre a concentração interna e externa de CO₂ (C_i/C_a) em folhas de tomateiro cultivado em solução nutritiva sob diferentes níveis de salinidade.

Bosco et al. (2009) observou a redução na transpiração, na taxa de assimilação líquida de CO₂, condutância estomática e concentração interna CO₂, quando as plantas de berinjelas foram submetidas a diferentes concentrações de NaCl na água de irrigação. Em outros trabalhos, foram observadas reduções na taxa fotossintética em diversas espécies de plantas submetidas a condições de estresse salino (REDA et al., 2011; TATAGIBA et al., 2014). No entanto, em sua maioria essa diminuição é atribuída a redução na aquisição CO₂ pelo fechamento estomático. Já Nebauer et al. (2013) trabalhando com diferentes fontes de sais (NaCl, Na₂SO₄, MgCl₂ e MgSO₄) em 3 cultivares de tomate (Marmande RAF, Leader e Daniela), observou que a concentração de NaCl é menos tóxico e o MgCl₂ em alta concentração, prejudica no processo fotossintético e a sobrevivência da cultura do tomate. Silva et al. (2017), observou que os íons Na⁺ e Cl⁻, podem causar efeitos tóxicos quando as plantas são irrigadas com esses elementos. A condutância estomática (g_s) seguiu a mesma tendência de redução em ambas as cultivares com o aumento da concentração salina (TATAGIBA et al., 2014).

Apesar de não termos encontrado resposta para redução na fotossíntese relacionadas a diminuição na aquisição de CO₂ pelo fechamento estomático, limitações outras, não estomáticas, podem estar ocorrendo como indicado pelo aumento na relação C_i/C_a (Figura 1D). Considerando-se que a concentração externa de CO₂ (C_a) mantém-se constante, o aumento na relação C_i/C_a deve-se apenas a variações na concentração interna de CO₂ (C_i). Se C_i está aumentando significa que o CO₂ que está chegando às células do mesofilo não está sendo fixado na fase carboxilativa da fotossíntese, possivelmente por danos em sua estrutura, reduzindo então a taxa fotossintética. Aumento na relação C_i/C_a em plantas de aipo submetidas a concentração



salina de 300 mM, também evidencia o acúmulo do CO₂ interno à folha sem, no entanto, ser fixado na fase carboxilativa (EVERARD et al., 1994). Em *Argyranthemum coronopifolium*, também sob condições de estresse salino, a condutância estomática e a taxa fotossintética diminuíram, no entanto, quando restabelecida as condições normais após 17 dias de estresse a condutância estomática voltou ao normal, enquanto que a fotossíntese continuou inalterada o que evidencia dano ao aparato fotossintético na fase carboxilativa da fotossíntese (HERRALDE et al., 1998).

Dano ao aparato fotossintético foi observado em plantas de espinafre submetidas a condições salinas como verificado pela diminuição no ponto de saturação de CO₂, entre 100 e 200 $\mu\text{mol mol}^{-1}$, enquanto que no controle o ponto de saturação de CO₂ não foi verificado nem na concentração ambiente de 350 $\mu\text{mol mol}^{-1}$. Este tipo de resposta demonstra que sob condições salina outros efeitos como a inibição de enzimas que atuam na fase carboxilativa da fotossíntese (ciclo de Calvin) são afetadas (LORETO et al., 1997). Confirmando o exposto anteriormente, em *Sesbania sesban* observou-se diminuição na atividade da rubisco como carboxilase em todas as concentrações salinas testadas entre 0 e 400 mM de NaCl (SIVAKUMAR et al., 2000). Em *Populus euphatica* a diminuição da taxa fotossintética também foi acompanhada por diminuição na atividade da rubisco sob condições salinas, sendo que a intensidade dessa diminuição foi acentuada com o aumento na concentração e o tempo de exposição a salinidade (MA et al., 1997).

Efeito da salinidade sobre o crescimento e acúmulo de biomassa

O número de folhas/planta (NFP) e a massa seca da parte aérea (MSPA), radicular (MSR) e total (MST) foi significativamente reduzida em plantas de tomateiro com o aumento na concentração de NaCl (Figura 2A, 2B, 2C e 2D), sendo essa redução de 7,7, 23,1 e 35,9% no NFP, 9,7, 63,9 e 74,2% na MSPA, de 2,9, 37,6 e 63,2% na MSR e de 8,8, 60,7 e 72,8% na MST, quando as plantas foram submetidas a 50, 100 e 150 mM de NaCl, respectivamente.

Quando submetidas a altas concentrações de NaCl na cultura da berinjela, Bosco et al. (2009), foram obtidas reduções na matéria seca (raízes e na parte aérea). Quando a planta é submetida a estresse salino, ocorre a inibição do seu crescimento, pois reduz o potencial osmótico da solução nutritiva do cultivo, ocasionando toxicidade iônica, desequilíbrio nutricional, devido ao excesso de sais nos tecidos vegetais. Para não reduzir a água por transpiração, a planta fecha os estômatos, resultando menor taxa fotossintética e provocando redução no desenvolvimento e crescimento das plantas (FLOWERS, 2004).

Redução geral no crescimento da planta, tanto da parte aérea quanto das raízes, tem sido um comportamento clássico verificado por diversos autores quando as plantas são submetidas ao estresse salino. Este comportamento é atribuído possivelmente a redução no potencial hídrico da solução externa gerado pelo efeito osmótico dos sais Na^+ e Cl^- adicionados, dificultando a absorção de água pelas raízes das plantas e, conseqüentemente, reduzindo a turgescência foliar.

Como a água é um dos fatores essenciais para a expansão celular, a sua limitação implica em menor crescimento de células e tecidos. Outro fator que devemos considerar está relacionado a diminuição nas taxas fotossintéticas possivelmente devido ao comprometimento do complexo enzimático que compõem a fase carboxilativa causado pelo efeito tóxico das altas concentrações de sais, diminuindo assim a fixação do CO_2 (Figuras 1D e 1E) e formação de esqueletos carbônicos importantes no incremento da biomassa.

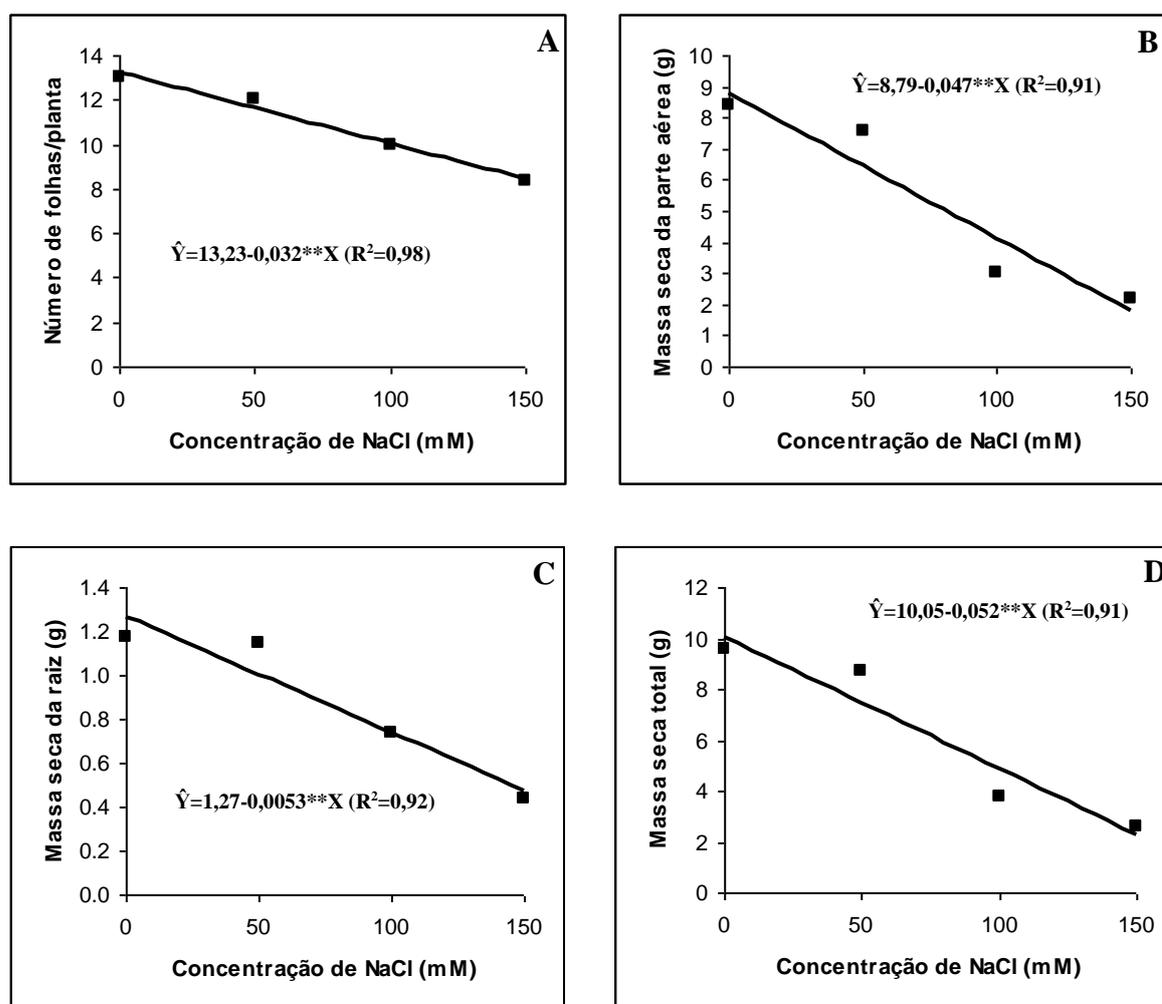


Figura 2. Número de folhas planta⁻¹, massa seca de parte aérea, radicular e total em tomateiro cultivado em solução nutritiva sob diferentes níveis de salinidade.

Efeito da salinidade sobre o teor de clorofila (índice SPAD) e fluorescência da clorofila

O teor de clorofila aumentou com o incremento da concentração salina na solução nutritiva (Figura 3A), sendo esse aumento de 2,7, 16,6 e 20,4%, quando as plantas foram submetidas a 50, 100 e 150 mM de NaCl, respectivamente. O incremento no teor de clorofila pode estar relacionado apenas a efeito de concentração devido ao menor crescimento da planta e turgescência foliar por dificuldade na absorção de água pelas plantas sob menor potencial hídrico na solução nutritiva nos tratamentos com NaCl. Diferentemente, alguns trabalhos têm verificado manutenção ou até diminuição no conteúdo de clorofila. A salinidade pode aumentar os radicais livres no cloroplasto, causando a destruição de moléculas de clorofila, afetando na diminuição da fotossíntese e no crescimento (LICHTENTHLALER et al., 2005). Tabagiba et al. (2014), avaliando investigando as limitações fotossintéticas em folhas de tomate submetidos a crescentes concentrações salinas, observaram que reduções significativas de clorofila *a* em 34%, de clorofila *b* em 56%, de clorofila total em 40% quando as folhas das plantas foram submetidas na concentração de 150 mmol L⁻¹ de NaCl. Em mudas de pepino, Sivasankaramoorthy (2014), observou que salinidade reduziu o teor de clorofila em 50% com a concentração de NaCl, inibindo o crescimento das plântulas. Uma das razões da clorofila e a fluorescência serem estudadas, é pela importância de fornecer informações sobre a capacidade de uma planta tolerar o estresse ambiental (ZRIBI et al., 2009). Deste ponto de vista, a flúor de clorofila também tem um papel útil na tolerância à salinidade, pois detecta sinais visíveis como a deterioração na planta quando submetida a condições desfavoráveis (KAOUTHER et al., 2012). Há estudos que relatam a detecção da planta tolerar o estresse salino devido aos parâmetros de fluorescência de clorofila (BACARIN et al., 2011; MITTAL et al., 2012).

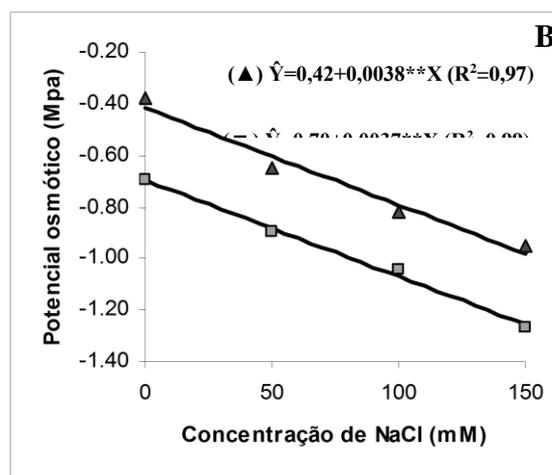
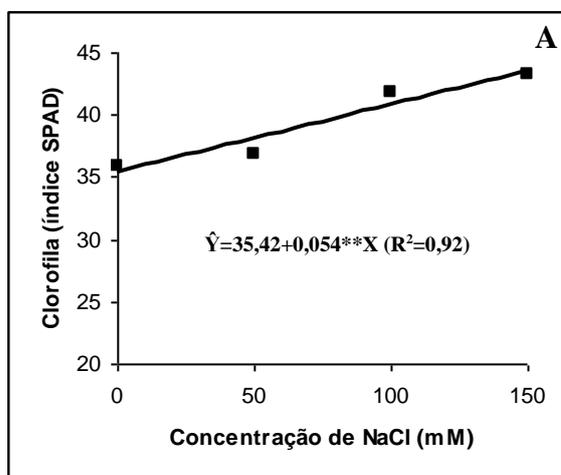




Figura 3. Teor de clorofila (índice SPAD) e potencial osmótico na parte aérea e radicular em plantas de tomateiro cultivadas em solução nutritiva sob diferentes níveis de salinidade.

A fluorescência inicial (F_o) e a eficiência fotoquímica do FS II (F_v/F_m) em folhas de tomateiro adaptadas ao escuro, não foram afetadas pelos tratamentos com NaCl. Alvarenga et al. (2019), avaliando o efeito de diferentes doses de N e K sobre o crescimento e a fisiologia da cultura da acerola com concentrações de água salina, observaram que não houve interação significativa entre os tratamentos na eficiência fotoquímica nas plantas. O efeito do estresse salino sobre a eficiência fotoquímica do FS II tem sido extensivamente investigado, no entanto, os dados sobre os efeitos desse estresse sobre a fase fotoquímica ainda são bastante conflitantes (LU et al., 2002). Alguns estudos têm demonstrado que o estresse salino inibe a atividade do FS II, onde outros têm indicado o contrário, ou seja, que o estresse salino não afeta o FS II. Em cultivares de algodão sensível e tolerante a fluorescência inicial (F_o) e a eficiência fotoquímica (F_v/F_m), não foram afetadas pelas condições salinas em ambas as cultivares (MELONI et al., 2003). Em sorgo o estresse salino também não afetou a eficiência fotoquímica do FS II, como evidenciada pela não alteração na relação F_v/F_m , coeficiente fotoquímico e não fotoquímico de dissipação de energia excitada (fluorescência lenta). Verificou-se efeito sinérgico quando o estresse salino em sorgo foi combinado com temperaturas superiores a 45°C, promovendo termo-estabilidade ao FS II e não perda de eficiência, como indicado pela maior relação F_v/F_m (LU e ZHANG, 1998). Resultados evidenciando a não alteração na fase fotoquímica também foram obtidos em *Suaeda salsa* (halófito), crescendo apenas que a concentração de violaxantina, anteraxantina e zeaxantina e outros pigmentos carotenóides também permaneceram inalteradas, afastando qualquer hipótese de fotoinibição ou dano a proteínas que compõem o FS II (LU et al. 2002).

Baker (2008), afirmam que a fluorescência da clorofila *a* usada para medir a eficiência de reações fotoquímicas da fotossíntese, com a recepção primária de elétrons do FS II, logo após a oxidação da água fornecida pela luz; em relação ao fluxo dos elétrons do FS I e II na membrana do tilacoide; sobre a FII, a uma dissipação térmica, onde a eficiência quântica da transferência de elétrons para formar a redução de NADPH, ATP e Fdr, são utilizados para assimilar o CO₂ na fase de bioquímica da fotossíntese.

Outros estudos com plantas de cevada, feijão e trigo sob condições de estresse salino também não verificaram mudanças na eficiência do FS II (LARCHER et al., 1990; MISHRA et al., 1991; MORALES et al., 1992). No entanto, alguns autores argumentam que geralmente os estudos onde não verificaram mudanças na atividade do FS II são conduzidos sob condições de baixa irradiância, sugerindo que a salinidade per se não tem efeito sobre a eficiência



fotoquímica do FS II e que é a interação entre alta irradiância e estresse salino que resulta em dano ao FS II (MISHRA et al., 1991; MASOJIDEK et al., 1991; MORALES et al., 1992).

Em cultivares de pimenta, o estresse salino afetou significativamente a relação Fv/Fm, onde estavam na faixa de 0,80 a 0,82 em todas as cultivares. No nível 100mM de NaCl, os declínios foram de 6,65% para 19,96% (BAVANI et al., 2015). Além de causar a redução nos valores de Fv/Fm, a salinidade pode induzir perturbações no elétron de transporte de PII (MEGDICHE et al., 2008). Em concentrações excessivas de sais, ocorre o impedimento de transferência de elétrons do aceitador primário para o secundário, resultando na diminuição de Fv/Fm (SHU et al., 2012). Em condições ambientais normais, a eficiência fotoquímica máxima (Fv/Fm) em uma folha, varia de 0,75 e 0,85, uma redução desse parâmetro, ocorre danos foto-inibitórios (KAOUTHER et al., 2012).

Efeito da salinidade sobre o potencial osmótico na parte aérea e radicular

O potencial osmótico diminuiu significativamente com o aumento nas concentrações salinas na solução nutritiva, tanto na parte aérea quanto nas raízes. A parte aérea manteve a mesma proporcionalidade de redução no potencial osmótico comparado às raízes, no entanto, com valores de potenciais osmóticos menores (Figura 3B e 3C). Esse tipo de comportamento pode ser considerado uma estratégia adaptativa da espécie em relação ao aumento da concentração salina na solução nutritiva, possibilitando melhor hidratação dos tecidos vegetais, retardando assim processos deletérios a planta.

Decréscimo no potencial osmótico também foi verificado em algodoeiro com o aumento da concentração salina na solução nutritiva (MELONI et al., 2001). Os autores observaram que o abaixamento do potencial osmótico na planta, com a intensificação do estresse, certamente possibilitou a continuidade do processo de absorção de água pelas raízes, ajudando a manter o turgor da planta inalterado conforme foi observado pela diferença não significativa no comportamento do potencial de pressão. Isto é uma evidência clara que a planta de alguma forma se ajusta osmoticamente para conseguir obter água de uma solução com maior concentração de sais. Orsini et al. (2010) estudando o efeito da salinidade na produção de tomate transgênico BB e BBS, verificou um comportamento negativo no potencial osmótico na área foliar com o aumento da salinidade (20 e 40 mM de NaCl), respectivas concentrações.



4 Considerações Finais

Fazendo uma síntese, procurando interligar o comportamento dos processos bioquímicos e fotoquímicos da fotossíntese sob condições de estresse salino em tomateiro, verifica-se que não tanto a aquisição, mas a fixação do CO₂ foi comprometida, possivelmente por dano ao aparato fotossintético na fase carboxilativa, como indicado pelo aumento em Ci e na relação Ci/Ca. Como consequência do comprometimento da fase carboxilativa e diminuição na fixação do CO₂, a fotossíntese foi significativamente inibida com o aumento da concentração de NaCl. A inibição da fotossíntese provoca acúmulo de poder redutor na forma de NADPH gerado pela etapa fotoquímica, já que o mesmo não é utilizado ou é utilizado de maneira reduzida na fase carboxilativa. Se há acúmulo de NADPH o comum seria que houvesse uma retroinibição de todo o processo, ou seja, comprometimento também da fase fotoquímica por acúmulo do produto. Como abordado anteriormente, os resultados evidenciando o comprometimento da fase fotoquímica, mais especificamente a nível de FS II, não foram significativos, evidenciando que nenhum dano foi observado na etapa fotoquímica da fotossíntese.

O potencial osmótico diminuiu significativamente com o aumento nas concentrações salinas na solução nutritiva, tanto na parte aérea quanto nas raízes. Esse tipo de comportamento pode ser considerado uma estratégia adaptativa da espécie em relação ao aumento da concentração salina na solução nutritiva, como forma de retardar os processos deletérios a planta.

Referências

ALVARENGA, C.F.S.; SILVA, E.M.; NOBRE, R.G.; GREYI, H.R.; LIMA, G.S.; SILVA, L.A. Morfofisiologia de aceroleira irrigada com águas salinas sob combinações de doses de nitrogênio e potássio. **Revista de Ciências Agrárias**, 42(1): 194-205. 2019.

BACARIN, M. A.; DEUNER, S.; SILVA, F. S. P.; CASSOL, D.; SILVA, D. M.. Chlorophyll a fluorescence as indicative of the salt stress on *Brassica napus* L. **Brazilian Journal of Plant Physiology**. v.23, n.4, p.245-253. 2011.

Baker, N.R. Chlorophyll fluorescence: A probe of photosynthesis in vivo. *Annual Review of Plant Biology*, vol. 59, p. 89-113. 2008.
<https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092759>

BAVANI, M.R.Z.; PEYVAST, G.; GHASEMNEZHAD, M.; FORGHANI, A. Assessment of Salt Tolerance in Pepper Using Chlorophyll Fluorescence and Mineral Compositions. **Agriculturae Conspectus Scientificus**. v.80, n.3, p.153-158. 2015.



BEN-GAL, A.; H, YERMIYAHU, U.; SHANI, U. Is osmotic potential a more appropriate property than electrical conductivity for evaluating whole-plant response to salinity. **Environmental and Experimental Botany**, v.65, p.232-237, 2009.

BOSCO, M.R.O.; OLIVEIRA, A.B.; HERNANDEZ, F.F.F.; LACERDA, C.F. Efeito do NaCl sobre o crescimento, fotossíntese e relações hídricas de plantas de berinjela. **Revista CERES, Viçosa**, v.53, p.296-302. 2009.

ESTEVES, B.S.; SUZUKI, M.S. Efeito da salinidade sobre as plantas. **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, n. 4, p. 662-679, 2008.

EVERARD, J. D.; GUCCI, R.; KANN, S. C.; FLORE, J. A.; LOESCHER, W. H. Gas exchange and carbon partitioning in the leaves of celery (*Apium graveolens* L.) at various levels of root zone salinity. **Plant Physiology**, v. 106, p. 281-292, 1994.

Flowers T.J. Improving crop salt tolerance. **Journal of Experimental Botany**, 55:307-319. 2004.

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION - FAO. FAO Statistical Yearbook. New York, 2019. Disponível em: www.fao.com. Acesso em: 25 jun. 2019.

GONDIM, A. Catálogo brasileiro de hortaliças. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. 2016. Disponível em: <http://www.embrapa.gov.br/dados/publicacao/Catalogo%20hortalicas.pdf>. Acesso em: 08 set. 2018.

HERRALDE, F. D.; BIEL, C.; SAVÉ, R.; MORALES, M. A.; TORRECILLAS, A.; ALARCÓN, J. J.; SÁNCHEZ-BLANCO, M. J. Effect of water and salt stresses on the growth, gas exchange and water relations in *Argyranthemum coronopifolium* plants. **Plant Science**, v. 139, p. 9-17, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Estatística da produção pecuária. Brasília, DF, 2018. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em: 02 abr. 2019.

KAOUTHER Z.; MARIEM B. F.; FARDAOUS M.; CHERIF H. Impact of salt stress (NaCl) on growth, chlorophyll content and flowering of Tunisian cultivars of chili pepper (*Capsicum frutescens* L.). **Journal of Stress Physiology and Biochemistry**. v.8, n.4, p.236-252. 2012.

LARCHER, W.; WAGNER, J; THAMMATHAWORN, A. Effects of superimposed temperature stress on *in vivo* chlorophyll fluorescence of *Vigna unguiculata* under saline stress. **Journal of Plant Physiology**, v. 136, p.92-102, 1990.

LICHTENTHALER, H.K.; LANGSDORF, G.; LENK S.; BUSHMAN, C. Chlorophyll fluorescence imaging of photosynthetic activity with the lamp fluorescence imaging system. **Photosynthetica**, v.43, p.355-369. 2005.



LORETO, F.; DELFINE, S.; ALVINO, A. On the contribution of mesophyll resistance to CO₂ diffusion to photosynthesis limitation during water and salt stress. **Acta Horticulturae**, v. 449, n. 2, 1997.

LU, C.; QIU, N.; LU, Q.; WANG, B.; KUANG, T. Does salt stress lead to increased susceptibility of photosystem II to photoinhibition and changes in photosynthetic pigment composition in halophyte *Suaeda salsa* grown outdoor. **Plant Science**, v. 163, p. 1063-1068, 2002.

LU, C.; ZHANG, J. Thermostability of photosystem II is increased in salt-stressed sorghum. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 25, p. 317-324, 1998.

MA, H. C.; FUNG, L.; WANG, S. S.; ALTMAN, A.; HÜTTERMANN, A. Photosynthetic response of *Populus euphratica* to salt stress. **Florest Ecology and Management**, v. 93, p. 55-61, 1997.

MASOJIDEK, J.; TRIVEDI, S.; HALSHAW, L.; HALL, D. O. The synergistic effect of drought and light stress in sorghum and pearl millet. **Plant Physiology**, v. 96, p. 198-207, 1991.

MEDEIROS, P.R.F.; DUARTE, S.N.; UYEDA, C.A.; SILVA, E.F.F.; MEDEIROS, J.F. Tolerância da Cultura do Tomate à Salinidade do Solo em Ambiente Protegido. **Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.1, p.51-55. 2012.

MEGDICHE W.; HESSINI K.; GHARBI F.; JALEEL C. A.; KSOURI R.; ABDELLY C. Photosynthesis and photosystem-2 efficiency of two salt-adapted halophytic seashore *Cakile maritima* ecotypes. **Photosynthetica**. v.46, p.410–419. 2008.

MELONI, D. A.; OLIVA, M. A.; MARTINEZ, C. A.; CAMBRAIA, J. Photosynthesis and activity of superoxide dismutase, peroxidase and glutathione reductase in cotton under salt stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 49, p. 69-76, 2003.

MELONI, D. A., OLIVA, M. A., RUIZ, H. A., MARTINEZ, C. A. Contribution of proline and inorganic solutes to osmotic adjustment in cotton under salt stress. **Journal of Plant Nutrition**, v. 24, n. 3, p. 599-612, 2001.

MISHRA, S. K.; SUBRAHMANYAM, D.; SINGHAL, G. S. Interaction between salt and light stress on the primary process of photosynthesis. **Journal of Plant Physiology**. v. 138, p. 92-96, 1991.

MITTAL, S.; KUMARI, N.; SHARMA, V. Differential response of salt stress on *Brassica juncea*: Photosynthetic performance, pigment, proline, D1 and antioxidant enzymes. **Plant Physiology and Biochemistry**. v.54, p.17-26. 2012.

MORALES, F.; ABADÍA, A.; GOMES-APARES, J.; ABADÍA, J. Effects of combined NaCl and CaCl₂ salinity on photosynthetic parameters of barley grown in nutrient solution. **Physiologia Plantarum**, v. 86, p. 419-426, 1992.

NEBAUER, S.G.; SÁNCHEZ, M.; MARTÍNEZ, L.; LLUCH, Y.; RENAU-MORATA, B.; ROSA VICTORIA MOLINA, R.V. Differences in photosynthetic performance and its



correlation with growth among tomato cultivars in response to different salts. **Plant Physiology and Biochemistry**. v.63, p.61-69. 2013.

OLIVEIRA, B.C.; CARDOSO, M.A.A; OLIVEIRA, J.C.; OLIVEIRA, F.A.; CAVALCANTE, L.F. Características Produtivas do Tomateiro Submetido a Diferentes Níveis de Sais, na Água de Irrigação. **Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.1, p.11-16. 2007.

ORSINIA, F.; CASCONEB, P.; PASCALEA, S.; BARBIERIA, G.; CORRADOB, G.; RAOB, R.; MAGGIOA, A. Systemin-dependent salinity tolerance in tomato: evidence of specific convergence of abiotic and biotic stress responses. **Physiologia Plantarum**. v.138, p.10–21. 2010.

PATEL, P. R.; KAJAL, S. S.; PATEL, V. R.; PATEL, V. J.; KHRISTI, S. M. Impact of saline water stress on nutrient uptake and growth of cowpea. **Brazilian Journal Plant Physiology**.v.22, p.43-48, 2010.

REDA E.A. M.; AKIKO N.; HIROFUMI S.; KOUNOSUKE F. Evaluation of salt tolerance in ectoine-transgenic tomato plants (*Lycopersicon esculentum*) in terms of photosynthesis, osmotic adjustment, and carbon partitioning , **GM Crops**, v.2:1, p.58-65. 2011.

SANTOS, C.A.G.; SILVA, R.M.; SILVA, A.M.; NETO, R.M.B. Estimation of evapotranspiration for different land covers in a Brazilian semi-arid region: a case study of the Brígida River basin, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, p.33. 2016.

SHU S.; GUO S. R.; SUN J.; YUAN L. Y. Effects of salt stress on the structure and function of the photosynthetic apparatus in *Cucumis sativus* and its protection by exogenous putrescine. **Physiologia Plantarum**. Suécia. v.146, p.285–296. 2012.

SILVA, E.M.; LIMA, G.S.; GHEYI, H.R.; NOBRE, R.G.; SÁ, F.V.S.; SOUZA, L.P.; SOARES, L.A.A.; FERNANDES, P.D. Photosynthetic pigments and photochemical efficiency in soursop under saline water irrigation and nitrogen sources. **Journal of Agricultural Science**, vol. 9, n. 12, p. 325-334. 2017. <https://doi.org/10.5539/jas.v9n12p325>

SIVAKUMAR, P.; SHARMILA, P.; SARADHI, P. P. Proline alleviates salt-stress-induced enhancement in ribulose-1,5-bisphosphate oxygenase activity. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v. 279, p. 512-515, 2000.

SIVASANKARAMOORTHY, S. Effects of NaCl, CaCl₂ and their combination of salt on seed germination and seedling growth of *Lycopersicum esculentum* L. **International Letters of Natural Sciences**. v.17, p.1-15. 2014.

SOUZA, E. R. DE; FREIRE, M. B. G. DOS S.; CUNHA, K. P. V. DA; NASCIMENTO, C. W. A. DO; RUIZ, H. A.; LINS, C. M. T. Biomass, anatomical change and osmotic potential in *Atriplex nummularia* L. incl. cultivated in sodic saline soil under water stress. **Environmental and Experimental Botany**, v.82, p.20-27, 2012.

TATAGIBA, S.D.; MORAES, A.B.K.; NASCIMENTO, K.J.T.; PELOSO, A.F. Limitações fotossintéticas em folhas de plantas de tomateiro submetidas a crescentes concentrações salinas. **REVENG**. v.22, n.2. 2014.



WARGENT, J.J.; PICKUP, D.A.; PAUL, N.D.; ROBERTS, M.R. Reduction of photosynthetic sensitivity in response to abiotic stress in tomato is mediated by a new generation plant activator. **BMC Plant Biology**. v.13, p.1-15. 2013.

YUSUF, M.; HASAN, S. A.; ALI, B.; HAYAT, S.; FARIDUDDIN, Q.; AHMAD A. Effect of salicylic acid on salinity induced changes in Brassica juncea. **Plant Physiology Section, Department of Botany, Aligarh Muslim University**. v.50 p.1-7. 2008.

ZRIBI L.; FATMA G.; FATMA R.; SALWA R.; HASSAN N.; NEJIB R.M. Application of chlorophyll fluorescence for the diagnosis of salt stress in tomato Solanum lycopersicum(variety Rio Grande). **Scientia Horticulturae**.v.120,p.367–372.2009.