

ÁCIDO ASCÓRBICO, UMA ALTERNATIVA PARA MINIMIZAR OS EFEITOS DA DEFICIÊNCIA HÍDRICA EM RABANETE

OSVALDIR FELICIANO DOS SANTOS¹; FERNANDO BROETTO²; DARIANE PRISCILA FRANCO DE OLIVEIRA³; ÍCARO MONTEIRO GALVÃO⁴; MARA LÚCIA CRUZ DE SOUZA⁵ E JOSIANA JUSSARA NAZARÉ BASÍLIO⁶

¹Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agronômicas FCA/UNESP, Botucatu / SP – Brasil. CEP: 18610-034, osvaldir.feliciano@gmail.com

²Departamento de Química e Bioquímica, Instituto de Biociências, IB/UNESP, Botucatu / SP – Brasil. CEP: 18618-000, broetto@ibb.unesp.br.

³Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agronômicas FCA/UNESP, Botucatu / SP – Brasil. CEP: 18610-034, dariane_franco@hotmail.com.

⁴Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agronômicas FCA/UNESP, Botucatu / SP – Brasil. CEP: 18610-034, icaro.monteiro@hotmail.com.

⁵Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agronômicas FCA/UNESP, Botucatu / SP – Brasil. CEP: 18610-034, mara_cruzsouza1@hotmail.com.

⁶Instituto de Ciências Agrárias ICA/UFMG, Montes Claros / MG – Brasil. CEP: 39404-547, josianajussara@gmail.com

1 RESUMO

Neste ensaio objetivou-se avaliar os efeitos fisiológicos do cultivo de rabanete sob diferentes lâminas de água, simulando a deficiência hídrica (DH). A hipótese central do ensaio seria identificar se a aplicação foliar exógena de ácido ascórbico atenuaria os efeitos fisiológicos dessa deficiência. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso em esquema de parcelas subdivididas. Aplicou-se duas tensões de água no solo (10 e 30 kPa) e nas subparcelas, cinco concentrações de ácido ascórbico em solução aquosa (0, 250, 500, 750 e 1000 ppm) com quatro repetições. Verificou-se que a DH alterou os padrões de parâmetros fotossintéticos sendo que, a aplicação foliar de ácido ascórbico promoveu incremento significativo destas variáveis principalmente quando as plantas estavam submetidas ao estresse. Em relação aos tratamentos com a vitamina, maiores valores de taxa fotossintética foram obtidos com a aplicação de 675,8 e 837,3 ppm, nas tensões de 10 e 30 kPa respectivamente aos 30 dias após a emergência (DAE). Com base nos resultados, conclui-se que a aplicação de ácido ascórbico apresenta potencial para atenuar os efeitos da DH em plantas de rabanete.

Palavras-chave: *Raphanus sativus*, vitaminas, estresse hídrico, fotossíntese.

SANTOS, O. F.; BROETTO, F.; OLIVEIRA, D. P. F.; GALVÃO, I. M.; SOUZA, M. L. C.; BASÍLIO, J. J. N.

ASCORBIC ACID, AN ALTERNATIVE TO MINIMIZE THE EFFECTS OF WATER DEFICIENCY IN RADISH

2 ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the physiological effects of radish cultivation under different water depths, simulating water deficiency (WD). The central hypothesis of the assay was to assess whether the exogenous foliar application of ascorbic acid could attenuate the physiological effects of this deficiency. The experimental design was a randomized complete block in subdivided plots. Two soil water potentials (10 and 30 kPa) were applied on plots, and the different concentrations of ascorbic acid (0, 250, 500, 750 and 1000 ppm) on the subplots, with four replications. It was verified that WD changes the patterns of photosynthetic parameters, and that the foliar application of ascorbic acid promoted a significant increase of these variables, especially when plants were submitted to stress. With regard to treatments with the vitamin, higher values of photosynthetic rate were obtained with the application of 675.8 and 837.3 ppm, in the tensions of 10 and 30 kPa respectively 30 days after emergency (DAE). Based on the results, it was concluded that the application of ascorbic acid has potential to mitigate the physiological effects of WD on radish plants.

Keywords: *Raphanus sativus*, vitamins, water stress, photosynthesis.

3 INTRODUÇÃO

Tem-se notado uma crescente demanda no mercado mundial por hortaliças, devido aos seus elevados teores de nutrientes e minerais (SHAHBAZ et al., 2012). Neste cenário o rabanete (*Raphanus sativus*) é um dos mais importantes vegetais fibrosos da família Brassicaceae apresentando um rendimento produtivo, razoavelmente alto (RAEISI et al., 2014). A hortaliça apresenta bons teores de vitaminas A, C e do complexo B para alimentação humana, além dos nutrientes cálcio, ferro, fósforo, magnésio, potássio e sódio (VIDIGAL e PEDROSA, 2007). Entretanto a deficiência hídrica afeta negativamente seu crescimento e rendimento produtivo, apresentando baixa resistência quando submetido a estas condições (WAN et al., 2013).

O estresse hídrico é um dos principais precursores da redução na produtividade agrícola mundial, afetando diretamente importantes culturas (ZADRAŽNIK et al., 2013). Neste sentido torna-se de extrema importância melhorar sua tolerância à seca, no intuito de ampliar seu rendimento econômico em função da

variação das condições ambientais (ASHRAF et al., 2011). As plantas podem apresentar diferentes capacidades de resposta, como alterações morfológicas, bioquímicas, fisiológicas e moleculares quando submetidas a estes tipos de estresses (CLAVEL et al., 2005). Conforme argumento de Ramalho et al., (2014), estas alterações permitem que as plantas possam tolerar, adiar ou evitar os efeitos do estresse, embora muitas vezes não sejam suficientes para minimizar os efeitos da redução da disponibilidade de água.

Tornando a aplicação de eliciadores endógenos ou exógenos uma possível alternativa para atenuar este tipo de estresse, as quais medeiam reações de defesa quando a planta se encontra submetida a este tipo de ambiente (MCCUE et al., 2000). Fato este, que já pode ser constatado com o emprego de determinados nutrientes essenciais, osmoprotetores, antioxidantes, reguladores de crescimento e aminoácidos (ASHRAF et al., 2011; SHAFIQ et al., 2014).

Recentemente, tem sido constatado uma participação de forma indireta das vitaminas sobre o desenvolvimento da planta, aumentando os níveis endógenos de

vários fatores de crescimento, como citocininas e giberelinas (EL-BAZ et al., 2016). Sendo que, a variação de sua disponibilidade afeta a biossíntese de hormônios, absorção de nutrientes, água, bem como a síntese de clorofila e proteínas (SAMIULLAH; ANSARI e AFRIDI, 1988). Estas vitaminas com suas características antioxidantes podem apresentar grande importância na defesa da planta contra o estresse oxidativo induzido por diversos elementos químicos (AL-WASFY, 2013).

Com base nos fatores apresentados, notamos que são escassas as informações na literatura sobre os mecanismos fisiológicos de resposta da planta quando submetida à aplicação de vitaminas, em específico o ácido ascórbico em decorrência da disponibilidade hídrica. Levando em consideração que, os aspectos fisiológicos e morfológicos apresentam influência direta sobre o rendimento da cultura, surge a necessidade de se compreender este conjunto de fatores no cultivo do rabanete.

O presente ensaio foi conduzido com o objetivo de avaliar o efeito da deficiência hídrica em plantas de rabanete, em ambiente protegido. A hipótese do experimento foi determinar o papel do ácido ascórbico, aplicado via foliar, sobre a atividade fotossintética das plantas, durante a aplicação dos tratamentos hídricos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na área experimental do departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônomicas FCA/UNESP no município de Botucatu – SP, com latitude de 22° 51' 06" S, longitude 48° 25' 44" W e altitude de 920 m. O clima da região segundo o método de Köppen é classificado como temperado quente e úmido, com verão chuvoso, inverno seco e com precipitação média anual de 1.428 mm.

Sendo constatadas temperatura máxima e mínima de 39,8 e 5,0 °C, respectivamente; umidades relativas máxima e mínima de 95,2 e 26,0 % durante o período experimental.

Foi adotado o esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas duas tensões de água no solo (10 e 30 kPa) e nas subparcelas cinco concentrações de ácido ascórbico (0, 250, 500, 750 e 1000 ppm), sob o delineamento experimental de blocos casualizados com quatro repetições.

As unidades experimentais foram constituídas de vasos de polietileno contendo 3,9 L preenchidos com 50% de solo do tipo Latossolo Vermelho distrófico de textura arenosa (EMBRAPA, 2013) e 50% de substrato comercial, com as seguintes características químicas: 405 mg dm⁻³ de P (resina.); 34 g dm⁻³ de M.O.; 5,6 de pH (CaCl₂); K⁺, Ca²⁺, Mg⁺² e H + Al = 3,06; 64; 32 e 21 cmol_c dm⁻³, respectivamente, e 99% de saturação por bases.

As sementes de rabanete cv. Apolo foram adquiridas da Empresa Isla Sementes e foram tratadas com fungicida e inseticida na origem. A semeadura foi realizada em 21 de abril de 2018 com dez sementes por vaso, sendo que o desbaste foi efetuado cinco dias após a emergência (DAE), mantendo-se uma plântula por vaso. Durante a condução do experimento não foi necessário a aplicação de produtos fitossanitários. Igualmente, a cultura não recebeu adubação de plantio considerando-se que a análise do substrato de plantio já contemplava as recomendações propostas pelo boletim 100 do IAC (RAIJ et al., 1996) para a cultura do rabanete.

A aplicação do ácido ascórbico foi realizada com o auxílio de um pulverizador foliar, onde a vitamina foi diluída em solução contendo água destilada, sendo que a concentração do produto foi efetuada conforme a atribuição dos tratamentos (0, 250, 500, 750 e 1000 ppm) aplicando aproximadamente 10 ml planta⁻¹ da solução

resultante. O início das aplicações ocorreu aos 10 DAE, momento este, que se iniciou a diferenciação das tensões de água no solo (10 e 30 kPa), a partir deste período foi efetuado uma aplicação foliar da solução contendo as concentrações de ácido ascórbico a cada cinco dias, totalizando quatro aplicações durante o ciclo da cultura.

O sistema de irrigação adotado foi por meio de gotejamento, constituído por gotejadores de botão autocompensado, conectado a distribuidores com 2 saídas

para um gotejador tipo flecha a qual foi empregado em cada vaso. Os emissores operaram com pressão de serviço de 10 mca aplicando uma vazão aproximada de 1,2 L h⁻¹, com Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) de 98%.

A determinação da lâmina de irrigação foi efetuada com base no conceito de capacidade de água disponível (CAD) (Equação 1), onde a necessidade hídrica da cultura foi determinada com base na tensão de água do solo.

$$CAD = (CC - PMP) \times Z \quad (1)$$

Onde:

CAD - capacidade de água disponível (mm); CC - teor de água volumétrico na capacidade de campo (cm³ cm⁻³); PMP - teor de água volumétrico no ponto de murcha permanente (cm³ cm⁻³); Z - profundidade efetiva do sistema radicular (mm).

Sendo que, a determinação da lâmina de irrigação (mm) foi baseada na Equação 2 a qual posteriormente foi utilizada para

determinar o tempo (em minutos) de irrigação para cada tratamento (Equação 4).

$$L_a = \frac{CAD}{E_f} \quad (2)$$

Onde:

La - lâmina aplicada (mm); CAD - capacidade de água disponível (mm); Ef - eficiência de irrigação (0,98).

$$Ti = \left[\frac{L_a \times A}{n \times q} \right] \times 60 \quad (3)$$

Onde:

Ti - tempo de irrigação (minuto); La - lâmina aplicada (mm); A - área ocupada por planta (0,09 m²); n - número de emissores por planta (1); q - vazão do gotejador (1,2 L h⁻¹).

O monitoramento da disponibilidade hídrica no solo foi efetuado diariamente no período matutino através da aferição de 2 tensiômetros instalados em cada tratamento situados em uma profundidade de 0,15 m e a uma distância de 0,05 m da planta. Em posse dos dados os mesmos foram transformados em potencial matricial de

água no solo (- Ψ m) em kPa. E posteriormente utilizados na equação 4 juntamente com o software SWRC versão 3.0 (*Soil Water Retention Curve*) e em seguida foi empregada na equação descrita por Van Genuchten (1980) para a determinação dos teores de água na camada de 0,0 – 0,20 m.

$$\psi_m = \left[\frac{Lt}{10} \right] - (h \times 0,09807) \quad (4)$$

Onde:

ψ_m - potencial de água no solo (kPa); Lt - leitura no vacuômetro (kPa); h- altura da coluna de água no tensiômetro (cm).

O início dos tratamentos contendo as tensões de água no solo 10 e 30 kPa foram iniciados aos 10 DAE quando foi constatado o estabelecimento das plântulas no vaso, até este período todas as plantas foram irrigadas de forma a atingir a capacidade de campo (10 kPa).

A avaliação das trocas gasosas foi realizada aos 20 e 30 DAE no período de 9 às 11 h da manhã, sendo mensurado o terço médio das folhas completamente expandidas. Para tanto, utilizou-se um analisador de gás infravermelho IRGA com fluxo de ar de 350 $\mu\text{mol s}^{-1}$ e fonte de luz acoplada de 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Na ocasião foram mensuradas a taxa de fotossíntese líquida (A; $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E; $\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (gs; $\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e a concentração interna de carbono (Ci; $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

Para a realização da análise estatística, os dados foram submetidos às análises de variância e de regressão. A comparação de médias (tensões de água no solo) foi realizada utilizando-se o teste Tukey a 5% de probabilidade. Para o fator quantitativo (concentrações de ácido ascórbico), as escolhas dos modelos foram

realizadas com base na significância dos coeficientes de regressão.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De todos os parâmetros fotossintéticos (MM) avaliados apenas a transpiração do rabanete não apresentou interação significativa entre as tensões empregadas e a aplicação de ácido ascórbico, demonstrando influência dos mesmos de forma isolada. Podemos notar que a planta quando submetida a uma tensão de água recomendada (10 kPA) apresentou maiores valores de condutância estomática, independentemente da concentração de ácido ascórbico empregada ou do período avaliado (Tabela 1). Isto ocorre porque, o fechamento estomático é uma das respostas primárias da planta quando a mesma é submetida a qualquer tipo de estresse (BRANDÃO et al., 2017), segundo Nahar et al. (2016) com a redução da disponibilidade hídrica a planta reduz sua atividade estomática, no intuito de minimizar as perdas de água para a atmosfera através da transpiração, o que conseqüentemente induz seu fechamento estomático.

Tabela 1. Valores médios de condutância estomática (gs; mol de H₂O m⁻² s⁻¹), concentração interna de carbono (Ci; μmol m⁻² s⁻¹), fotossíntese líquida (A; μmol de CO₂ m⁻² s⁻¹) e transpiração (E; mmol de H₂O m⁻² s⁻¹) do rabanete aos 20 e 30 DAE em função de tensões de água no solo.

Variável	Tensão de água no solo (kPa)	Concentração de Ácido ascórbico (ppm)				
		0	250	500	750	1000
Avaliação aos 20 DAE						
gs	10	0,75 a	0,83 a	0,84 a	0,98 a	0,98 a
	30	0,43 b	0,53 b	0,55 b	0,51 b	0,50 b
CV (%) Parcela					15,70	
CV (%) Subparcela					11,35	
Ci	10	336,12 a	336,21 a	34,35 a	345,79 a	341,60 a
	30	311,48 b	312,26 b	318,26 b	320,93 b	325,64 b
CV (%) Parcela					0,34	
CV (%) Subparcela					0,45	
A	10	19,13 a	20,78 a	20,87 a	21,15 a	20,04 a
	30	15,52 b	17,79 b	18,77 b	20,12 b	19,75 a
CV (%) Parcela					2,43	
CV (%) Subparcela					3,02	
E	10				8,53 a	
	30				6,39 b	
CV (%) Parcela					11,45	
CV (%) Subparcela					7,21	
Avaliação aos 30 DAE						
gs	10	0,81 a	0,93 a	0,95 a	1,02 a	0,97 a
	30	0,45 b	0,52 b	0,54 b	0,49 b	0,46 b
CV (%) Parcela					5,70	
CV (%) Subparcela					6,42	
Ci	10	335,73 a	337,32 a	337,71 a	340,91 a	337,85 a
	30	312,72 b	313,75 b	316,86 b	319,96 b	319,79 b
CV (%) Parcela					0,35	
CV (%) Subparcela					0,41	
A	10	23,37 a	24,27 a	27,58 a	27,91 a	25,91 a
	30	20,36 b	22,33 b	25,56 b	26,64 b	25,73 a
CV (%) Parcela					1,12	
CV (%) Subparcela					2,08	
E	10				7,79 a	
	30				5,87 b	
CV (%) Parcela					0,90	
CV (%) Subparcela					3,69	

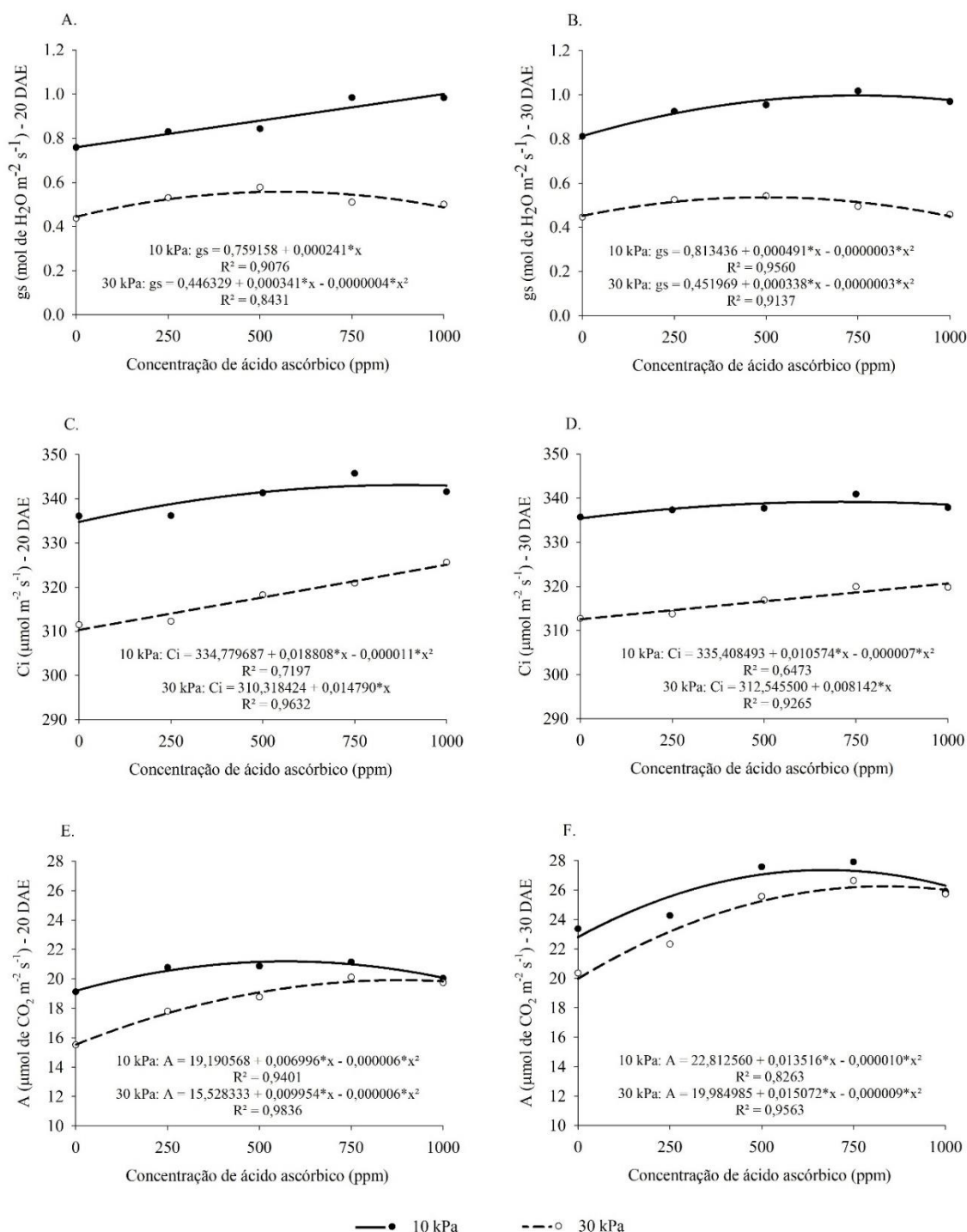
Médias seguidas de letras minúsculas distintas entre si, na coluna diferem as tensões de água no solo, de acordo com o teste Tukey ($P < 0,05$). DAE, Dias após a emergência. **Fonte:** Santos et al. (2018).

Entretanto, com o emprego de 426,25 ppm de ácido ascórbico (gs de 0,52 mol de H₂O m⁻² s⁻¹) resultou em um aumento de 14% na condutância estomática

em comparação ao tratamento sem sua aplicação, quando submetida ao estresse hídrico (30 kPa). Em condições hídricas ideais (10 kPa) este aumento foi superior, cerca de 24,1%, alcançando uma condutância de $1,00 \text{ mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ com o emprego de 1000 ppm de ácido ascórbico aos 20 DAE (Figura 1A), já nos 30 DAE a

concentração de 818 ppm foi suficiente para atingir os mesmos valores de condutância (Figura 1B). Notamos um pequeno aumento da condutância estomática em plantas sob condições de estresse (30 kPa), utilizando 563 ppm de ácido ascórbico ($0,55 \text{ mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) aos 30 DAE (Figura 1B).

Figura 1. Estimativa da condutância estomática (gs) (A e B), concentração interna de carbono (Ci) (C e D) e fotossíntese líquida (A) (E e F) do rabanete submetido a diferentes concentrações de ácido ascórbico em função de duas tensões de água no solo aos 20 e 30 DAE.



Fonte: Santos et al. (2018).

Estes resultados podem estar associados ao fato do ácido ascórbico atuar como antioxidante nas plantas, participando

de sistemas enzimáticos como fator de oxido-redução, auxiliando na dismutação de espécies reativas de oxigênio (ROS) em

condições de estresse (SHAFIQ et al., 2014). Além disso, segundo Thomson et al. (2017), a ação do ácido ascórbico pode afetar diretamente a biossíntese do etileno e o movimento estomático além de reverter os efeitos do ácido abscísico.

Resultado semelhante aos encontrados no presente ensaio foram observados por Aliniaefard et al. (2008). Os autores reportaram que, quando plantas de oliveira sob estresse salino receberam a aplicação de ácido ascórbico, houve aumento da condutância estomática. Entretanto, conforme observado no presente ensaio, em condições hídricas ideais notou-se maior eficácia desta vitamina (Figura 1 A e B). Segundo Barth et al. (2004) ao modificar a expressão gênica das plantas, a vitamina C age não apenas para regular a defesa, mas também atua via nível hormonal modulando o crescimento das plantas sob condições ótimas.

Com relação a concentração interna de carbono, nota-se, na tabela 1 que esta variável apresentou comportamento semelhante a condutância estomática independente do período avaliado. O mesmo pode ser observado com o emprego do ácido ascórbico (Figura 1C e D) em relação a condutância (Figura 1A e B) em condições hídricas favoráveis para a cultura (10 kPa) onde os maiores valores foram obtidos com concentrações de 854,9 e 755,3 ppm resultando em 342,82 e 339,40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ aos 20 e 30 DAE respectivamente. Entretanto em estresse hídrico (30 kPa) notamos um aumento crescente desta variável até a concentração de 1000 ppm atingindo valores de 325,10 e 320,68 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ aos 20 e 30 DAE respectivamente (Figura 1C e D).

A regulação da concentração subestomática de CO_2 (C_i) durante as trocas gasosas ocorre através dos estômatos, que mantem os valores de C_i relativamente constantes (FARQUHAR e SHARKEY, 1982). Fato este, que pode ser observado no

presente estudo, segundo Gupta e Thind (2015) isto ocorre porque, quanto maior a abertura estomática, maior a difusão de CO_2 para a câmara subestomática. Todavia, este resultado não foi observado quando a planta se encontrava sob estresse hídrico (30 kPa) (Figura 1 C e D), fato este que segundo Smirnoff e Wheeler (2000), pode estar associado a uma série de funções que esta vitamina desempenha na planta, incluindo a fotoproteção, crescimento e expansão celular, ampliando a resistência a estresses ambientais.

Ou seja, o C_i apresenta relação direta com a quantidade de substrato disponível para a fotossíntese, ou seja, reduções significativas do mesmo poderiam restringir diretamente a atividade fotossintética em função do fechamento estomático (MELO et al., 2009), o que pode ser observado nas figuras 1E e F. Independente do período de avaliação a disponibilidade hídrica afetou as taxas fotossintéticas exceto na aplicação de 1000 ppm de ácido ascórbico (Tabela 1) onde maiores valores foram obtidos quando a planta estava submetido a uma tensão de 10 kPa. Tal fato ocorre porque, o comportamento da taxa fotossintética está relacionado à condutância estomática, ou seja, em condições hídricas favoráveis, nota-se um aumento desta variável (Tabela 1) com conseqüentemente acúmulo interno de CO_2 influenciando a fotossíntese, resultados semelhantes foram obtidos por Silva et al. (2015).

Todavia podemos notar que, com o emprego de ácido ascórbico houve incremento na fotossíntese independente do período de avaliação (Figura 1 E e F). Entretanto estes valores foram superiores aos 30 DAE, alcançando taxa fotossintética de 27,37 e 26,29 $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ com o emprego de 675,8 e 837,3 ppm de ácido ascórbico nas tensões de 10 e 30 kPa, respectivamente. Argumenta-se que este efeito está associado ao papel do ascorbato

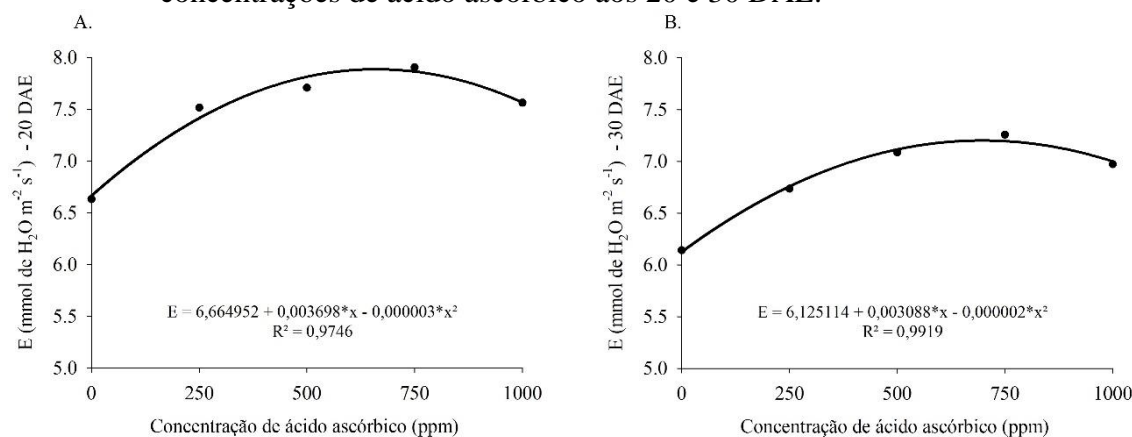
como agente antioxidante dos vegetais (NICHOLAS, 1996).

O ascorbato atua principalmente nos fotossistemas I e II, onde o H_2O_2 que é produzido em resposta à deficiência hídrica, principalmente quando os estômatos estão fechados, é dismutado à água, por intermédio do ascorbato catalisado (ASADA, 1999). Este sistema conhecido como ciclo água-água, conforme deduzido por Asada (1999), pode explicar em parte observados no presente ensaio. Constatou-se que houve incremento de 24% na atividade fotossintética para a lâmina de 30 kPa (DH severa), quando as plantas foram tratadas com ascorbato (837 ppm), comparado às plantas do controle (sem vitamina C). Para as plantas cultivadas em capacidade de campo, o incremento devido a aplicação de ascorbato foi menor, na faixa de 16,7 %. Além destes fatores, Khan et al. (2011) ainda menciona que a aplicação

foliar de ácido ascórbico tende a estimular a síntese de clorofila que consequentemente envolve o aumento dos metabólitos fotossintéticos.

A transpiração sofreu grande influência em função da tensão de água no solo, sendo encontrado maiores valores com o emprego de 10 kPa independente do período avaliado (Tabela 1), o que é justificado, pois segundo Silva et al. (2015), as taxas transpiratórias são reguladas principalmente pela disponibilidade hídrica, onde à medida que a água do solo se torna escassa, a planta tende a reduzir a transpiração no intuito de reduzir as perdas de água para a atmosfera. Como a estimativa de transpiração do rabanete é um parâmetro associado diretamente à fotossíntese refletindo a perda de água através dos estômatos, notamos comportamento bastante semelhante entre estas variáveis (Figura 2 A e B).

Figura 2. Estimativa da transpiração (E) (A e B) do rabanete submetido a diferentes concentrações de ácido ascórbico aos 20 e 30 DAE.



Fonte: Santos et al. (2018).

A aplicação de ácido ascórbico promoveu aumento nas taxas transpirativas onde as concentrações que maximizaram esta variável aos 20 e 30 DAE foram 616 e 772 ppm resultando em 7,8 e 7,3 mmol de $H_2O m^{-2} s^{-1}$ respectivamente (Figura 2A e B). Este comportamento quadrático se assemelha aos observados na fotossíntese (Figura 1 E e F), apesar da ligeira redução

da transpiração aos 30 DAE. Isto está associado ao fato de que, em momentos favoráveis à realização da fotossíntese, a demanda de CO_2 no interior da folha é muito alta; portanto, as fendas estomáticas se abrem amplamente, diminuindo a resistência dos estômatos à difusão de CO_2 , levando a perda substancial de água sob estas condições (TAIZ e ZEIGER, 2013).

6 CONCLUSÕES

O estresse hídrico reduz significativamente todos os componentes das trocas gasosas, demonstrando grande sensibilidade do rabanete a disponibilidade hídrica, onde, maiores valores destes componentes foram obtidos com o emprego de uma tensão de água no solo de 10 kPa.

A aplicação foliar de ácido ascórbico demonstrou apresentar grande influência sobre todas as características

fotossintéticas da planta, sendo que, em condições de estresse hídrico ocorreu um maior acréscimo destes caracteres.

Maiores valores de taxa fotossintética foram obtidos com a aplicação de 675,8 e 837,3 ppm de ácido ascórbico nas tensões de 10 e 30 kPa respectivamente aos 30 DAE.

7 AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudo.

8 REFERÊNCIAS

- AL-WASFY, M. M. Response of Sakkoti Date Palms to Foliar Application of Royal Jelly, Silicon and Vitamins B. **Journal of American Science**, Flushing, v. 9, n. 5, p. 315-319, 2013.
- ALINIAEIFARD, S.; TABATABAEI, S.J.; HAJILOU, J.; CHAPARZADEH, N.; SEIFI-KALHOR, M. Effect of antioxidants of photosynthetic characteristics and vegetative growth in Olive (*Olea europaea* L. cv. Zard) under salinity stress. **Acta Horticulturae**, Bélgica, v. 39, n. 1, p. 67-76, 2008.
- ASADA, K. The water-water cycle in chloroplasts: scavenging of active oxygen and dissipation of excess photons. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 50, n. 1, p. 601-639, 1999.
- ASHRAF, M.; AKRAM, N.A.; AL-QURAINY, F.; FOOLAD, M.R. Drought tolerance: roles of organic osmolytes, growth regulators, and mineral nutrients. **Advances in agronomy**, Newark, v. 111, n. 1, p. 249-296, 2011.
- BARTH, C.; MOEDER, W.; KLESSIG, D.E.; CONKLIN, P.L. The timing of senescence and response to pathogens is altered in the ascorbate-deficient Arabidopsis mutant vitamin c-1. **Plant Physiology**, Califórnia, v. 134, n. 4, p. 1784-1792, 2004.
- BRANDÃO, D.; DUARTE, S. N.; JOSÉ, J. V.; SANTOS, H. T.; SAMPAIO, E. R. F. Produção e trocas gasosas do capim-mombaça (*Panicum maximum* Jacq. cv. Mombaça) em função de níveis de depleção de água no solo. **Irriga**, Botucatu, v. 22, n. 4, p. 641-658, 2017.
- CLAVEL, D.; DRAME, N.; ROYMACAULEY, H.; BRACONNIER, S.; LAFFRAY, D. Analysis of Early Responses to Drought Associated with Field Drought Adaptation in Four Sahelian Groundnut (*Arachis Hypogaea* L.) Cultivars. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 54, n. 3, p. 219-230, 2005.

EL-BAZ, E.; LO'AY, A. A.; IBRAHIUM, E. G.; EL-DEEB, M. R. I. Effect of Cobalt and some Vitamins as Foliar Application Treatments on Productivity and Quality of Williams Banana Cultivar. **Journal of Plant Production**, Gorgan, v. 7, n. 7, p. 777–786, 2016.

EMBRAPA- Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**, 3ª ed., Rio de Janeiro, 2013, 353 p.

FARQUHAR, G. D.; SHARKEY, T.D. Stomatal conductance and photosynthesis. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 33, n. 1, p. 317-345, 1982.

GUPTA, N.; THIND, S. K. Improving photosynthetic performance of bread wheat under field drought stress by foliar applied glycine betaine. **Journal of Agricultural Science and Technology**, Nairobi Kenya, v.17, n. 1, p.75-86, 2015.

KHAN, T. A.; MAZID, M.; MOHAMMAD, F. A review of ascorbic acid potentialities against oxidative stress induced in plants. **Journal of Agrobiology**, České Budejovice, v. 28, n. 2, p. 97-111, 2011.

MCCUE, P.; ZHENG, Z.; PINKHAM, J. L.; SHETTY, K. A Model for Enhanced Pea Seedling Vigour Following Low PH and Salicylic Acid Treatments. **Process Biochemistry**, Amsterdam, v. 35, n. 6, p. 603–613, 2000.

MELO, A.S.; SILVA JÚNIOR, C.D.; FERNANDES, P.D.; SOBRAL, L.F.; BRITO, M.E.B.; DANTAS, J.D.M. Alterações das características fisiológicas da bananeira sob condições de Fertilização. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 3, p. 733-741, 2009.

NAHAR, S.; KALITA, J.; SAHOO, L.; TANTI, B. Morphophysiological and molecular effects of drought stress in rice. **Annals of Plant Sciences**, Maharanipecta, v. 5, n. 9, p.1409-1416, 2016.

NICHOLAS, S. The function and metabolism of ascorbic acid in plants. **Annals of Botany**, Oxford, v. 78, n. 6, p. 661-669, 1996.

RAEISI, M.; FARAHANI, L.; PALASHI, M. Changes of qualitative and quantitative properties of radish (*Raphanus sativus* L.) under foliar spraying through aminoacid. **International Journal of Biosciences**, Bangladesh, v. 4, n. 1, p. 463–468, 2014.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1996. 285p. (IAC. Boletim técnico, 100).

RAMALHO, J. C.; ZLATEV, Z. S.; LEITÃO, A. E.; PAIS, I. P.; FORTUNATO, A. S.; LIDON, F. C. Moderate Water Stress Causes Different Stomatal and Non-Stomatal Changes in the Photosynthetic Functioning of *Phaseolus vulgaris* L. Genotypes. **Plant Biology**, Netherlands, v. 16, n. 1, p. 133-146, 2014.

SAMIULLAH, S. A.; ANSARI, M. M.; AFRIDI, R. K. B- vitamins in relation to crop productivity. **Indian Review Life Sciences**, Jodhpur, v. 8, n. 1, p. 51–74, 1988.

SHAFIQ, S.; AKRAM, N.A.; ASHRAF, M.; ARSHAD, A. Synergistic effects of drought and ascorbic acid on growth, mineral nutrients and oxidative defense system in canola (*Brassica napus* L.) plants. **Acta Physiologiae Plantarum**, Cracóvia, v. 36, n. 6, p. 1539-1553, 2014.

SHAHBAZ, M.; ASHRAF, M.; AL-QURAINY, F.; HARRIS, P. J. C. Salt tolerance in selected vegetable crops. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Filadélfia, v. 31, n. 4, p. 303–320, 2012.

SILVA, F. G.; DUTRA, W. F.; DUTRA, A. F.; OLIVEIRA, I. M.; FILGUEIRAS, L. M. B.; MELO, A. S. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.19, n. 10, p.946-952, 2015.

SMIRNOFF N.; WHEELER G. L. Ascorbic acid in plants: biosynthesis and function. **Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology**, Milton, v. 35, n. 4, p. 291-314, 2000.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p.

THOMSON, T.; PATEL, G. S.; THAKAR, J. B.; PANDYA, K. S. Effect of Foliar Application of Acetyl Salicylic Acid and Ascorbic Acid on Protein Content, Yield and Economics of Garden Pea (*Pisum sativum* L.) cv. Bonneville. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, Bonneville, v. 6, n. 6, p. 1987-1990, 2017.

VAN GENUTCHEN, M. T. H. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of insaturated. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 44, n. 5, p. 892-898, 1980.

VIDIGAL, S. M.; PEDROSA, M. W. Rabanete. In: PAULA Jr., T. J.; VENZON, M. (Ed.). **101 Culturas: manual de tecnologias agrícolas**. Belo Horizonte: EPAMIG, p. 661-664, 2007.

WAN, S.; JIAO, Y.; KANG, Y.; JIANG, S.; TAN, J.; LIU, W.; MENG, J. Growth and yield of oleic sunflower (*Helianthus annuus* L.) under drip irrigation in very strongly saline soils. **Irrigation Science**, Fort Collins, v. 31, n. 5, p. 943-957, 2013.

ZADRAŽNIK, T.; HOLLUNG, K.; EGGE-JACOBSEN, W.; MEGLIČ, V.; ŠUŠTAR-VOZLIČ, J. Differential Proteomic Analysis of Drought Stress Response in Leaves of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Proteomics**, Valência, v. 78, n. 1, p. 254-272, 2013.