



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO EM AGRONOMIA**

GIOVANA FERRARESI GUIMARÃES

**EFEITOS DA DEFICIÊNCIA HÍDRICA SOBRE AS TROCAS GASOSAS,
TUBERIZAÇÃO DA RAIZ E TEOR FOLIAR DE POLIFENÓIS EM CULTIVARES DE
BATATA-DOCE**

Presidente Prudente - SP
2019



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO EM AGRONOMIA**

GIOVANA FERRARESI GUIMARÃES

**EFEITOS DA DEFICIÊNCIA HÍDRICA SOBRE AS TROCAS GASOSAS,
TUBERIZAÇÃO DA RAIZ E TEOR FOLIAR DE POLIFENÓIS EM CULTIVARES DE
BATATA-DOCE**

Dissertação apresentada a Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de Concentração: Fisiologia e Tecnologia da Produção Vegetal.

Orientador: Prof^a Dr^a Ana Cláudia Pacheco Santos

Presidente Prudente - SP
2019

6335.221
F374e

Ferraresi Guimarães, Giovana.

Efeitos da deficiência hídrica sobre as trocas gasosas, tuberização de raiz e teor foliar de polifenóis em cultivares de batata-doce / Giovana Ferraresi Guimarães – Presidente Prudente, 2019.

75 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade do Oeste Paulista – Unoeste, Presidente Prudente, SP, 2019.

Bibliografia.

Orientador: Dr^a Ana Cláudia Pacheco Santos

1. Antocianinas. 2. Estresse abiótico. 3. *Ipomoea batatas* L. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "EFEITOS DA DEFICIÊNCIA HÍDRICA SOBRE AS TROCAS GASOSAS, TUBERIZAÇÃO DA RAIZ E TEOR FOLIAR DE POLIFENÓIS EM CULTIVARES DE BATATA-DOCE"

AUTOR(A): GIOVANA FERRARES GUIMARÃES

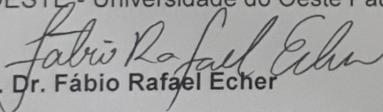
ORIENTADOR(A): ANA CLAUDIA PACHECO SANTOS

Aprovado(a) como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE em AGRONOMIA

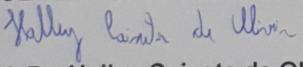
Área de Concentração PRODUÇÃO VEGETAL, pela Comissão Examinadora:


Profa. Dra. Ana Cláudia Pacheco Santos

UNOESTE - Universidade do Oeste Paulista / Presidente Prudente (SP)


Prof. Dr. Fábio Rafael Echer

UNOESTE - Universidade do Oeste Paulista / Presidente Prudente (SP)


Prof. Dr. Halley Caixeta de Oliveira

UEL - Universidade Estadual de Londrina / Londrina (PR)

Data da realização: Presidente Prudente, 05 de setembro de 2019.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, que sempre foi o autor da minha vida e do meu destino. O meio de maior apoio nos momentos difíceis.

E aos meus pais e meu irmão, por todo amor e carinho que recebi durante a elaboração desse trabalho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por me guiar, iluminar e me dar discernimento e sabedoria para seguir em frente com os meus objetivos e não desanimar com as dificuldades encontradas. Agradeço a minha mãe Sr^a. Maria Conceição por sempre estar ao meu lado, ao meu pai Sr. Jerniel Guimarães, que mesmo em meio a períodos de dificuldade, sempre me incentivou a crescer cada vez mais. Obrigada pai e mãe, por sempre me motivarem, entenderem as minhas faltas e os momentos do qual precisei me afastar e me mostraram o quanto era importante estudar. Agradeço ao meu irmão Gustavo pelas palavras nos momentos em que mais precisei, pelo apoio sempre.

Agradeço também ao meu namorado, Rafael, com quem eu sei que passarei por muitos momentos de felicidade como este e que é a pessoa que Deus escolheu para ser meu companheiro nas horas boas e ruins, que sempre me tranquilizava dizendo: “calma, vai dar tudo certo!”. Te amo amor!

Agradeço muito a minha orientadora Prof^a. Dr^a. Ana Cláudia Pacheco Santos. Resumi-la como minha orientadora é muito pouco, pois a importância que teve e tem para mim não foi somente na condução do trabalho, mas também como exemplo de pessoa, fazendo com que eu aprendesse e crescesse muito durante este período. Obrigada pela disponibilidade, aprendizado, críticas e sugestões ao longo da orientação.

Aos meus co-orientadores Prof^o. Mestre Hilton Fabricio Vitolo e Prof^a. Dr^a. Suzana Chiari Bertoli por todos os ensinamentos, pelo auxílio nas análises realizadas durante o experimento e pelas incansáveis discussões de resultados.

Aos professores Dr. Fabio Echer, Prof^a Dr^a Alessandra Ribas, Prof^a Dr^a Adriana Lima Moro, por me ensinarem como melhorar cada dia mais, com dicas, sugestões e ensinamentos que foram cruciais para minha melhoria científica.

Às minhas queridas amigas Bruna Coelho, Dilliane Harumi, Caroline Honorato e meu amigo Pedro H. Gorni pela parceria. Obrigada por terem me escutado tantas vezes, por sempre poder contar com vocês, principalmente nos momentos mais críticos. Vocês foram essenciais. Obrigada por fazerem parte dessa etapa de minha vida.

À Viviane Cacefo, uma amiga que foi incrivelmente especial, meu muito obrigada por todas as vezes em que me ouviu desabafar, pelos momentos de muitas risadas, por ter sido minha companhia nas missas no campus as quartas-feiras. Te adoro!

Ao laboratório CEVOP, pela possibilidade de utilização de equipamentos e por todo conhecimento que pude adquirir durante esses 2 anos junto à equipe. Obrigada a todos pelo convívio, pelos momentos de descontração, pelos cafés, risadas e claro, por todos os bolos.

Aos colegas de laboratório, professores e alunos da graduação que me ajudaram durante o experimento, especialmente o Giovani R. de Miranda e Ítalo R. Freitas.

A UNOESTE, instituição que concedeu subsídios à minha formação de Mestre e a CAPES que me ajudou disponibilizando a bolsa de estudo.

Enfim, obrigada a todos que de alguma forma cruzaram meu caminho durante esta etapa, com certeza me lembrarei com muito carinho de cada um.

*"Tenha coragem em todas as circunstâncias da vida.
Por piores que lhe pareçam as dificuldades, tenha a certeza de que pode superá-
las com a persistência e a força que provêm de seu íntimo.
Deus está dentro de cada um de nós, pronto a dar-nos energia e vigor, ânimo e
incentivo. Confie na bondade do Pai, que jamais desampara nenhum de seus
filhos." (Carlos Torres Pastorino)*

RESUMO

Efeitos da deficiência hídrica sobre as trocas gasosas, tuberização da raiz e teor foliar de polifenóis em cultivares de batata-doce

As folhas, raízes e caules da batata-doce (*Ipomoea batatas*) são excelentes fontes de polifenóis antioxidantes, entre eles, os flavonóides, antocianinas e ácidos fenólicos. Tais compostos atuam como importantes antioxidantes celulares e são fundamentais na resposta de tolerância das plantas aos estresses ambientais. Sendo assim, este estudo avaliou o efeito do déficit hídrico na fase inicial de tuberização de cultivares de batata-doce sobre aspectos fisiológicos, bioquímicos e sobre o metabolismo de fenóis nas folhas. O experimento foi conduzido em condições de casa de vegetação, utilizando-se as cultivares Canadense e Uruguaiana. Após o período inicial de plantio e estabelecimento das ramas (5 semanas), as plantas do tratamento de estresse foram irrigadas com 20% da capacidade de campo e as do tratamento controle com 100% da capacidade de campo durante 21 dias, visando coincidir o período de imposição do estresse com o início da formação de raízes tuberosas. O déficit hídrico resultou na diminuição de biomassa em ambas as cultivares, com uma queda de 20% no número de folhas na cultivar Canadense e de 40% na cultivar Uruguaiana e reduções no número de raízes tuberosas de 37,5% na cultivar Canadense e 33% na cultivar Uruguaiana. Nas análises fisiológicas, verificou-se que o estresse diminuiu o potencial hídrico das plantas, chegando a -0,96 MPa na cultivar Uruguaiana e -1,12 MPa na cultivar Canadense aos 11 dias de imposição de estresse. Houve reduções também na taxa fotossintética, na transpiração, na condutância estomática e na concentração de dióxido de carbono intercelular nas duas cultivares estudadas. Nas plantas estressadas houve diminuição no conteúdo relativo de água e no teor de clorofila total e um aumento no teor de malondialdeído (22% na cultivar Canadense e 58% na cultivar Uruguaiana). Os carotenóides aumentaram somente na cultivar Canadense. O teor de açúcares solúveis totais nas raízes e folhas diminuíram na cultivar Canadense e na cultivar Uruguaiana houve aumento somente nas raízes. Por fim, verificou-se que o estresse aumentou os teores foliares de fenóis totais, flavonóides e antocianinas, em ambas as cultivares. Concluiu-se que o estresse hídrico afetou negativamente ambas as cultivares de batata-doce. Entretanto, as reduções observadas nos parâmetros biométricos e fisiológicos foram menos acentuadas na cultivar Canadense, sendo que esta resposta de maior tolerância pode estar vinculada ao maior teor foliar de polifenóis antioxidantes.

Palavras-chave: antocianinas, carboidratos, estresse abiótico, flavonóides, *Ipomoea batatas*, tolerância.

ABSTRACT

Effects of water deficiency on gas exchange, root tuberization and polyphenol leaf content in sweet potato cultivars

Sweet potato (*Ipomoea batatas*) leaves, roots and stems are excellent sources of antioxidant polyphenols, including flavonoids, anthocyanins and phenolic acids. Such compounds act as important cellular antioxidants and are fundamental in the tolerance response of plants to environmental stresses. Thus, this study evaluated the effect of water deficit on the initial tuberization phase of sweetpotato cultivars on physiological, biochemical and leaf phenol metabolism. The experiment was conducted under greenhouse conditions, using the cultivars Canadense and Uruguaiana. After the initial planting and branching period (5 weeks), the stress treatment plants were irrigated with 20% field capacity and the control treatment plants with 100% field capacity for 21 days to coincide with the period of stress imposition with the onset of tuberous root formation. Water deficit resulted in a decrease in biomass in both cultivars, with a 20% decrease in leaf number in Canadense cultivar and 40% in Uruguaiana cultivar and a reduction in tuberous root number of 37.5% in Canadense cultivar and 33% in the cultivar Uruguaiana. In the physiological analyzes, it was found that the stress decreased the water potential of the plants, reaching -0.96 MPa in the Uruguaiana cultivar and -1.12 MPa in the Canadense cultivar at 11 days of stress. There were also reductions in photosynthetic rate, transpiration, stomatal conductance and intercellular carbon dioxide concentration in the two cultivars studied. In stressed plants there was a decrease in relative water content and total chlorophyll content and an increase in malondialdehyde content (22% in Canadense cultivar and 58% in Uruguaiana cultivar). Carotenoids increased only in the Canadense cultivar. The total soluble sugar content in roots and leaves decreased in Canadense cultivar and Uruguaiana cultivar increased only in roots. Finally, it was verified that the stress increased the leaf contents of total phenols, flavonoids and anthocyanins in both cultivars. It was concluded that water stress negatively affected both sweet potato cultivars. However, the reductions observed in biometric and physiological parameters were less pronounced in the Canadense cultivar, and this higher tolerance response may be linked to the higher leaf content of antioxidant polyphenols.

Keywords: Anthocyanins, carbohydrates, abiotic stress, flavonoids, *Ipomoea batatas*, tolerance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Resultado de análise química de solo.....	30
Figura 2 –	Temperatura mínima e máxima na cidade de Presidente Prudente – SP durante os dias em que as plantas de batata-doce foram submetidas ao tratamento de déficit hídrico.....	31
Figura 3 –	Umidade relativa do ar mínima e máxima na cidade de Presidente Prudente – SP durante os dias em que as plantas de batata-doce foram submetidas ao tratamento de déficit hídrico...	31
Figura 4 –	Medida pontual de trocas gasosas em folhas de batata-doce realizada através de um analisador de gases por infra-vermelho (IRGA, Li-6400XTR, LiCor, EUA).....	33
Figura 5 –	Avaliação da atividade fotoquímica por meio da análise de fluorescência da clorofila a, utilizando um medidor ótico de fluorescência (FluorPen, FP100, Photo System Instruments).....	33
Figura 6 –	Potencial hídrico (ψ_a) em folhas de cultivares de batata-doce aos 8 e 11 dias de imposição de deficiência hídrica. Onde Canad C = Canadense no tratamento controle, Canad HD = Canadense no tratamento de déficit hídrico. Urug C = Uruguaiana no tratamento controle, Urug DH = Uruguaiana no tratamento de déficit hídrico.....	48
Figura 7 –	Plantas de batata-doce no dia da colheita, realizada aos 60 dias após o plantio das ramas (A: cultivar Canadense no tratamento controle. B: cultivar Canadense tratamento de estresse. C: cultivar Uruguaiana no tratamento controle. D: cultivar Uruguaiana no tratamento de estresse).....	52
Figura 8 –	Raízes de batata-doce no dia da colheita, realizada aos 60 dias após o plantio das ramas (A: cultivar Canadense no tratamento controle. B: cultivar Canadense tratamento de estresse. C: cultivar Uruguaiana no tratamento controle. D: cultivar Uruguaiana no tratamento de estresse).....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Resumo da análise de variância com valores de P e coeficiente de variação para os parâmetros de trocas gasosas (A - Assimilação líquida de CO ₂ , E - transpiração, gs - condutância estomática e Ci - concentração interna de CO ₂).....	40
Tabela 2 –	Trocas gasosas em cultivares de batata-doce aos 8, 11, 15 e 18 dias após o início da imposição de deficiência hídrica. (Urug – Cultivar Uruguaiana; Canad – Cultivar Canadense; D. H. – déficit hídrico; A – Assimilação líquida de CO ₂ (μmol.CO ₂ .m ^{-2.s-1}); E – Transpiração (mmol H ₂ O. m ^{-2.s-1}); gs – Condutância estomática (mol H ₂ O.m ^{-2.s-1}); Ci - concentração interna de CO ₂ (mmol m ^{-2 s-1})).....	42
Tabela 3 –	Eficiência no uso da água (EUA) (mmol CO ₂ mol ⁻¹ H ₂ O) e eficiência instantânea de carboxilação (EIC) [(μmol m ^{-2 s-1}) (μmol mol ⁻¹) ⁻¹] em cultivares de batata-doce mantidas sob condições de deficiência hídrica do solo.....	44
Tabela 4 –	Valores de temperatura foliar (T- °C) em cultivares de batata-doce determinados aos 8, 11, 15 e 18 dias após o início do estresse hídrico.....	45
Tabela 5 –	Resumo da análise de variância com valores de F e coeficiente de variação para o parâmetro de fluorescência da clorofila a (Fv/Fm, ΔF/Fm' e ETR).....	46
Tabela 6 –	Valores de fluorescência das clorofilas em cultivares de batata-doce determinados aos 8, 11, 15 e 18 dias após o início do estresse hídrico. (Fv/Fm – Eficiência quântica potencial; ΔF/Fm' – Eficiência quântica efetiva; ETR – Taxa de transporte de elétrons).....	47
Tabela 7 –	Massa fresca de parte área (MFPA), massa fresca de raízes (MFR) e área foliar (AF) em cultivares de batata-doce submetidas à deficiência hídrica.....	50
Tabela 8 –	Massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca de raízes (MSR) em cultivares de batata-doce submetidas à deficiência	

	hídrica.....	50
Tabela 9 –	Resumo da análise de variância com valores de P e coeficiente de variação para o número de folhas e número de raízes tuberosas.....	51
Tabela 10 –	Número de folhas e número de raízes tuberosas em plantas de batata-doce nos regimes de 100 e 20% de capacidade de campo.....	51
Tabela 11 –	Teor de Malondialdeído (MDA) em folhas de cultivares de batata-doce submetidos à deficiência hídrica.....	53
Tabela 12 –	Resumo da análise de variância com valores de P e coeficiente de variação para o conteúdo relativo de água (CRA).....	54
Tabela 13 –	Conteúdo relativo de água (CRA) em folhas de cultivares de batata-doce aos 8, 15 e 21 dias após o início da imposição de deficiência hídrica.....	55
Tabela 14 –	Resumo da análise de variância com valores de P e coeficiente de variação para os parâmetros de pigmentos foliares (clorofila total, carotenóides e antocianinas).....	56
Tabela 15 –	Teores de pigmentos (clorofila total, carotenóides e antocianinas) em folhas de cultivares de batata-doce submetidas à deficiência hídrica.....	57
Tabela 16 –	Teor de carboidratos (açúcares solúveis) (mg g^{-1} de MS) em folhas e raízes de cultivares de batata-doce submetidas à deficiência hídrica.....	58
Tabela 17 –	Atividade da enzima Fenilalanina amônia-liase (PAL), teor de fenóis totais e teor de flavonóides totais em folhas de cultivares de batata-doce submetidas à deficiência hídrica.....	59
Tabela 18 –	Coeficiente de correlação (r) entre os, parâmetros de trocas gasosas, parâmetros bioquímicos e teor de metabólitos secundários em plantas de batata-doce.....	64

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	18
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	19
2.1	A espécie <i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.....	19
2.2	Batata-doce como alimento funcional.....	21
2.3	Compostos fenólicos na Batata-doce.....	22
2.4	Efeitos do déficit hídrico na Batata-doce.....	24
2.5	Estresse hídrico e compostos fenólicos.....	26
3	OBJETIVO.....	28
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	29
4.1	Análises fisiológicas e de crescimento.....	30
4.2	Análises bioquímicas indicadoras de estresse.....	33
4.3	Análises de metabólitos secundários e atividade enzimática.....	35
4.3.1	Atividade da enzima Fenilalanina amônia-liase (PAL).....	35
4.3.2	Teor de compostos fenólicos totais.....	35
4.3.3	Teor de flavonóides totais.....	35
4.3.4	Teor de antocianinas nas folhas.....	36
4.4	Análise estatística.....	36
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
5.1	Análises fisiológicas e de crescimento.....	38
5.1.1	Trocas gasosas.....	38
5.1.2	Fluorescência da clorofila <i>a</i>	43
5.1.3	Potencial hídrico foliar (ψ_a).....	45
5.1.4	Biomassa de parte aérea e raiz e área foliar.....	47
5.1.5	Número de folhas e raízes tuberosas.....	49
5.2	Parâmetros bioquímicos.....	51
5.2.1	Teor de Malondialdeído (MDA).....	51
5.2.2	Conteúdo relativo de água (CRA).....	52
5.2.3	Teor de pigmentos foliares (clorofila total, carotenóides e antocianinas).....	53
5.2.4	Teor de carboidratos (açúcares solúveis) nas folhas e raízes.....	55
5.3	Análises de metabólitos secundários e atividade enzimática.....	56

5.3.1	Atividade da enzima Fenilalanina amônia-liase (PAL) e teor de fenóis e flavonóides totais.....	56
5.4	Correlação de Pearson.....	59
6	CONCLUSÃO.....	63
	REFERÊNCIAS.....	64

1 INTRODUÇÃO

A batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) é a sexta cultura com maior importância mundial, a seguir ao arroz, trigo, batatas, milho e mandioca. É especialmente importante em países em desenvolvimento e o principal meio de subsistência de populações desfavorecidas da África subsariana, partes da Ásia e ilhas do Pacífico.

A produção mundial em 2016 rondou 105 milhões de toneladas, ainda que aquém do máximo de 147 milhões de toneladas produzidas mundialmente em 1999. A China é o maior produtor mundial com 70,5 milhões de toneladas. A batata doce é uma cultura subtropical originária da América Latina, que se encontra atualmente disseminada por 111 países (FERRAND, 2018).

Segundo o Instituto de Economia Agrícola (IEA) (2018), dentre as regiões brasileiras produtoras de batata-doce, o Estado de São Paulo produziu 9.876,62 ha, sendo que a região da Alta Sorocabana produziu 36,5% do total do estado, o que resultou numa produção de 61.427,34 t.ha⁻¹. A região de Presidente Prudente - SP destaca-se como sendo a maior região produtora de batata-doce do Estado de São Paulo. De acordo com o IEA (2018), a área plantada de batata-doce na região de Presidente Prudente – SP foi de 3,6 mil hectares no ano de 2018.

Várias cultivares de batata-doce apresentam grande adaptabilidade às diferentes condições ambientais, entretanto a seca e o calor, isoladamente ou em combinação, afetam tanto a quantidade como a qualidade das raízes (LEBOT, 2010). A falta de umidade no solo é um dos estresses mais cruciais para a cultura da batata-doce, limitando seu crescimento e desenvolvimento e afetando a produção de raízes tuberosas (VAN HEERDEN; LAURIE, 2008). A ocorrência de deficiência hídrica do solo por um período prolongado durante o início e o final do ciclo de desenvolvimento da cultura limita a atividade fotossintética, o que por sua vez afeta o desenvolvimento de raízes tuberosas, a produção e a qualidade das mesmas (LEWTHWAITE; TRIGGS, 2012).

O plantio da batata-doce na região de Presidente Prudente é realizado durante o ano inteiro, sendo que a maioria dos produtores não possuem irrigação. No caso dos plantios realizados durante o verão, a ocorrência de veranicos (normalmente registrados entre os meses de dezembro a janeiro) somada à condição de solos arenosos com baixa capacidade de armazenamento de água e

nutrientes, podem se tornar fatores limitantes ao desenvolvimento da cultura. Ainda, a ausência de precipitação durante os períodos de veranico geralmente se associa às altas temperaturas do ar e do solo. Tais fatores limitantes coincidem com a fase de início de tuberização das raízes.

As raízes e as folhas de batata-doce são ricas em compostos fenólicos (WU *et al.*, 2004). Vários fatores externos, principalmente aqueles envolvidos com as condições ambientais, podem influenciar na síntese e no acúmulo destes metabólitos secundários (GOBBONETO; LOPES, 2007; LATTANZIO *et al.*, 2009). Os compostos fenólicos conferem proteção para plantas em condições de estresses abióticos, tais como excesso de radiação, temperatura e seca (AKULA; RAVISHANKAR, 2011). O acúmulo de compostos fenólicos em tecidos vegetais é uma característica distinta de plantas estressadas, ocorrendo maior concentração ou síntese *de novo* (LATTANZIO *et al.*, 2009). De acordo com Islam (2003), o conteúdo fenólico na batata-doce é aumentado quando as plantas crescem a pleno sol em temperaturas altas (ISLAM *et al.*, 2003).

Sugere-se que a rusticidade da batata-doce frente aos fatores ambientais adversos, poderia ser creditada em parte, à presença dos compostos fenólicos na planta como um todo, mas principalmente nas folhas. Neste sentido, estudos que se proponham a avaliar as respostas fisiológicas e bioquímicas da batata-doce relacionadas com uma maior tolerância ao estresse hídrico tornam-se necessários para nortear a seleção dos cultivares mais indicados para a região do Oeste Paulista.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A espécie *Ipomoea batatas* (L.) Lam

A *Ipomoea batatas*, que pertence à família Convolvulaceae. Trata-se de uma planta de caule herbáceo, ramificado, com crescimento indeterminado. Possui flores hermafroditas, com polinização cruzada e os frutos são do tipo cápsula que variam de uma a quatro sementes, mas estas somente têm interesse para melhoramento genético e para produção de novos cultivares. As folhas são grandes, geralmente recortadas e possuem pecíolo. Nas suas axilas existem gemas que podem dar origem a raízes adventícias e tuberosas. Os caules, com 6 a 10 gemas axilares, são utilizados para a reprodução da planta em cultivos comerciais (RAMOS, 2004).

O sistema radicular é formado por raízes adventícias fibrosas, com função de fixação da planta no solo e absorção de água e nutrientes, e também raízes tuberosas laterais que armazenam produtos da fotossíntese e constituem a parte de interesse comercial. As raízes tuberosas variam em forma e tamanho, de acordo com o cultivar e tipo de solo, entre outros fatores (ECHER, 2015).

Mesmo tratando-se de uma espécie perene, a batata-doce é cultivada como cultura anual que é adaptada a diversas condições edafoclimáticas, sendo cultivada em regiões temperadas e também nos trópicos (CONCEIÇÃO *et al.*, 2005). Por suportar estresses abióticos e não necessitar de cuidados mais intensos, se constitui uma cultura de baixo custo de produção com destaque na agricultura mundial (WOOLFE, 1992; LOU *et al.*, 2006; EDISON *et al.*, 2009).

A cultura da batata-doce é disseminada principalmente por pequenos produtores, em sistemas agrícolas com reduzido uso de insumos (ECHER, 2015). Por ser uma cultura rústica, de fácil cultivo e de ampla abrangência climática, são poucos os investimentos realizados em pesquisas e também pelos produtores, que não investem em seus cultivos (EMBRAPA, 2015). Como já apresentado, Presidente Prudente - SP é uma das regiões com maior produção de batata-doce do país (IEA, 2016), e o município de Presidente Prudente é o principal produtor, prevalecendo o cultivo das cultivares “Canadense” e “Uruguaiana”. Estima-se que na região Oeste Paulista sejam cultivados em torno de 2 mil hectares de batata-doce, destacando-se os distritos de Montalvão, Eneida e Floresta do Sul.

Segundo Queiroga *et al.* (2007) são três fases que dividem o ciclo de desenvolvimento da batata-doce. A fase inicial é determinada pelo crescimento das raízes denominadas adventícias, a fase intermediária é aquela em que ocorre o início da tuberização das raízes e a fase final é definida pelo acúmulo de produtos da fotossíntese nas raízes de armazenamento, denominadas tuberosas.

A formação das raízes tuberosas na batata-doce pode começar em quatro semanas após o plantio da rama, dependendo da variedade e das condições ambientais. O início da tuberização (IT) é caracterizado pelo aumento do diâmetro das raízes tuberosas laterais (MEDEIROS *et al.*, 1990). Esse período de crescimento é considerado o mais crítico para a cultura, pois determina o crescimento posterior e a produtividade final. Nessa fase é ideal que se tenha condições favoráveis de umidade do solo e temperatura (ECHER, 2015). Assim, a época de plantio tem um papel importante na produtividade de batata-doce (ERPEN *et al.*, 2013).

Em sete semanas após o plantio, 80% das raízes tuberosas já estão formadas e entre 8-12 semanas após o plantio a planta cessa a produção de novas raízes tuberosas, sendo toda a energia direcionada para o engrossamento das raízes tuberosas existentes (ECHER, 2015).

O crescimento da planta normalmente apresenta seu máximo na metade para a fase final do ciclo. Nesta fase a parte aérea é bastante desenvolvida, ocorrendo posteriormente diminuição da densidade foliar à medida que a planta prioriza o transporte de fotoassimilados para as raízes tuberosas em detrimento da formação e manutenção de novas folhas. As folhas já existentes vão entrando em processo de senescência no estágio final do ciclo, sendo que as raízes apresentam rápido aumento de tamanho (semanas 9 -17) (ECHER, 2015).

O momento da colheita é definido pelo tamanho ou peso das raízes, que devem ter aproximadamente 300 gramas e também pela oportunidade de comercialização. Em condições ideais de cultivo a colheita pode ser iniciada aos 120 dias, mas em geral, ocorre entre 150 e 180 dias. A prorrogação do ciclo implica na formação de raízes grandes sem padrão para mercado *in natura*, cujo destino seriam as agroindústrias (ECHER, 2015).

2.2 Batata-doce como alimento funcional

A batata-doce é dotada de valores consideráveis de carboidratos, proteínas, vitaminas A e C, cálcio e ferro, com grande relevância para a segurança alimentar de populações de baixa renda de países da Ásia, África e Américas. As cultivares de polpa alaranjada são fontes excelentes de carotenoides e minerais como Fe, Ca e K (MONTES, 2013). A batata-doce contém β -caroteno, um precursor da vitamina A que ajuda a prevenir a cegueira noturna e outros sintomas de deficiência de vitamina A (VAN DEN BERG *et al.*, 2000).

A cultura contém uma quantidade significativa de carboidratos quando comparada a outras culturas amiláceas, como milho e arroz, embora o teor de proteína seja ligeiramente inferior ao das batatas e outras culturas de grãos (WOOLFE, 1992).

Além disso, as raízes de batata-doce também contêm compostos bioativos, incluindo carotenóides, antocianinas, ácidos fenólicos, flavonóides e vitamina C (TRUONG *et al.*, 2007). Devido à presença destes compostos, a batata-doce também é classificada como planta medicinal (LORENZI; MATOS, 2010), apresentando atividade antioxidante (TEOW *et al.*, 2007), anticancerígena (KARNA *et al.*, 2011), antidiabética e anti-inflamatória (ZHANG *et al.*, 2009).

Não só as raízes tuberosas, mas também as folhas e outras partes da planta de batata-doce possuem componentes nutritivos e funcionalmente valiosos. Sugere-se que partes inteiras da planta sejam utilizadas como fonte importante de alimento, particularmente nos países em desenvolvimento (ISHIDA *et al.*, 2000). Dentre a diversidade de substâncias presentes nas folhas de *I. batatas*, as que possuem um maior número de atividades biológicas reconhecidas são os compostos fenólicos (ISLAM *et al.*, 2002; ISLAM, 2006).

2.3 Compostos Fenólicos na Batata-doce

Os compostos fenólicos presentes em plantas enquadram-se em várias categorias, como fenóis simples, ácidos fenólicos (derivados de ácidos benzóico e cinâmico), cumarinas, flavonóides, taninos condensados e hidrolisáveis e ligninas (NACZK; SHAHIDI, 2004).

Os polifenóis são metabólitos secundários capazes de desempenhar diferentes papéis nas plantas (ZUANAZZI *et al.*, 2003; HUBER; RODRIGUES-AMAYA, 2008) e possuem potenciais benefícios para a saúde humana. Eles se configuram como bons antioxidantes, com capacidade de sequestrar radicais livres e quelar metais de transição, evitando danos às moléculas biológicas (HASLAN, 1996; ATOUI *et al.*, 2005; SOUSA *et al.*, 2007). Portanto, os compostos fenólicos podem atuar como antioxidantes protegendo o corpo humano de doenças crônicas como doenças cardiovasculares, alguns tipos de câncer, enfermidades neurodegenerativas e também diabetes (GAN *et al.*, 2010; APOSTOLIDIS *et al.*, 2011; HUANG; CAI; ZHANG, 2010). Nesse contexto, nos últimos anos diversos estudos têm buscado avaliar a composição e a atividade antioxidante de fenólicos em diferentes alimentos vegetais, incluindo a batata-doce.

As folhas de batata-doce contêm um teor muito maior de polifenóis totais que outros vegetais comerciais (ISLAM, 2003; YOSHIMOTO *et al.* 2002). Em uma análise com 1389 genótipos coletados no mundo inteiro, verificou-se que a maioria (75%) continha mais do que 6 gramas de polifenóis totais por 100 g de folha seca em pó. A maior concentração de polifenóis ocorre nas folhas, seguida dos pecíolos, hastes e finalmente raízes (<1,0 g/100 g de peso seco), indicando que as concentrações polifenólicas são variáveis entre os órgãos da planta (ISLAM *et al.*, 2002b; YOSHIMOTO, 2006).

Os compostos fenólicos presentes em batata-doce têm sido avaliados em diversos estudos, principalmente no Japão, China e Malásia (GHASEMZADEH *et al.* 2012; ISLAM *et al.*, 2002). Extratos polifenólicos de folhas e raízes de batata-doce apresentam potente atividade antioxidante e antimutagênica, propriedades quimiopreventivas, efeitos antidiabéticos e ação em reduzir os efeitos do Alzheimer através da limitação do estresse oxidativo no cérebro (TRUONG *et al.*, 2007; NAGAI *et al.*, 2011). As propriedades antioxidantes de raízes tuberosas de batata-doce estão muito relacionadas com o genótipo, a cultivar, época de colheita, os tratos culturais, e as condições ambientais (TEOW *et al.*, 2007).

Dentre os compostos fenólicos presentes nas folhas da batata-doce, são citados as antocianinas e os fenóis ácidos (ácido cafeico e ácidos clorogênicos como o dicafeoilquínico e tricafeoilquínico) (ISLAM *et al.* 2002 e 2003; RUMBAOA *et al.*, 2009). No caso das antocianinas, foram identificados 15 tipos presentes nas folhas,

com predominância de cianidinas, as quais possuem atividade antioxidante e antimutagênica superior às do tipo peonidina (RICE-EVANS *et al.*, 1995).

Soares *et al.* (2014) determinaram a concentração e atividade antioxidante de compostos fenólicos nas folhas de 10 cultivares de batata-doce produzidas no Brasil com a finalidade de produção industrial de etanol. Constatou-se um elevado potencial antioxidante correlacionado satisfatoriamente com teor de fenóis e flavonoides totais. Detectou-se a presença majoritária do ácido elágico e dos flavonóides rutina, miricetina, morina, quercetina, naringenina e luteolina. Portanto, segundo os autores, torna-se claro o potencial de aproveitamento destas partes da planta para a transformação numa gama de produtos de interesse humano, o que pode originar novas cadeias de valores às práticas agroenergéticas, já que estas partes da planta são simplesmente descartadas ou servidas como ração para animais.

2.4 Efeitos do déficit hídrico em batata-doce

Os estresses abióticos são os principais responsáveis por perda de produtividade agrícola (JASPERS; KANGASJARVI, 2010). Entre eles, destacam-se o estresse térmico, o estresse salino e o déficit hídrico, que são desafios a serem compreendidos para garantir a produtividade das culturas agrícolas e produção sustentável de alimentos (JALEEL *et al.*, 2009), especialmente em um cenário global de mudanças climáticas.

A água é essencial para as atividades fisiológicas e para os processos de transporte de membranas, sendo, portanto, vital para o crescimento e desenvolvimento das plantas (REDDY *et al.*, 2008; SASEENDRAN *et al.*, 2008). A boa umidade do solo, garantida pela precipitação ou pelo suprimento adequado de água de irrigação, é crucial para a boa performance das culturas. As plantas experimentam o estresse hídrico tanto quando o suprimento de água para o sistema radicular se torna restrito como quando a demanda transpiratória é maior do que a absorção de água (SASEENDRAN *et al.*, 2008).

Os requerimentos hídricos adequados para a cultura da batata-doce durante as fases de início de tuberização e posteriormente de enchimento das raízes tuberosas têm sido objeto de estudos recentes (GAJANAYAKE; REDDY, 2016).

Segundo estes autores, a umidade ideal do solo para a produção de biomassa seca de parte aérea e de raízes tuberosas foi obtida com os tratamentos com 100 e 72% de reposição da evapotranspiração, respectivamente.

Torna-se necessário compreender como os processos de crescimento da parte aérea fotossintetizante, parcelamento de biomassa entre os diferentes órgãos da planta e a síntese e armazenamento de amido nas raízes tuberosas são afetados em função de diferentes níveis de umidade do solo.

As várias modificações fisiológicas das plantas em resposta ao déficit hídrico variam de acordo com a severidade e duração da condição limitante (AGUERA *et al.*, 1997; REDDY *et al.*, 1997). A deficiência hídrica do solo exerce influência substancial sobre os processos de trocas gasosas (OHASHI *et al.*, 2006). A fotossíntese é um processo excepcionalmente sensível ao status hídrico da planta, sendo reduzida tanto por limitações estomáticas como não estomáticas (TAIZ; ZEIGER, 2017).

Segundo Brito *et al.* (2003), o declínio no teor de clorofila com o déficit de umidade do solo pode ser atribuído à degradação da clorofila ou à diminuição da síntese de clorofila, juntamente com mudanças na estrutura da membrana do tilacóide.

Estudos com outras culturas, como a berinjela (*Solanum melongena* L.), kiwi (*Actinidia deliciosa* CF Liang e AR Ferguson) e o algodão (*Gossypium* L.) apresentaram que o teor de clorofila foliar foi maior com a umidade total do solo, em comparação com os baixos tratamentos de umidade do solo (GAJANAYAKE; REDDY, 2016).

O vazamento eletrolítico dos tecidos foliares é outra abordagem importante para avaliar a estabilidade das membranas das plantas às condições de déficit hídrico. Este parâmetro permite avaliar a estabilidade das membranas celulares para manter sua integridade em baixos níveis de água (GAJANAYAKE; REDDY, 2016). O estresse hídrico severo afeta a integridade da membrana celular, que resulta em uma perda de solução aquosa e afeta vários processos fisiológicos, incluindo a fotossíntese.

No início do estresse hídrico ocorre a perda de turgor celular (SAURE, 2001), o que por sua vez ocasiona reduções tanto nas taxas de expansão foliar como na fotossíntese (via fechamento estomático), visto que ambos os processos são dependentes de turgor. À medida que a umidade do solo declina, as plantas

mantém seu status hídrico pela redução na transpiração, o que restringe também a expansão da área foliar e eventualmente pode ocorrer até diminuição da mesma.

A inibição da assimilação de CO₂ pelo estresse hídrico é um fenômeno muito conhecido que tem sido relatado em numerosas espécies de plantas. No entanto, ainda há um debate em andamento sobre se a seca limita principalmente a fotossíntese por meio de condutâncias difusivas (condutância estomática e mesofílica) ou por limitações metabólicas (FLEXAS *et al.*, 2006a).

A redução da difusão de CO₂ da atmosfera para o local de carboxilação no cloroplasto é uma das principais causas da diminuição da capacidade de assimilação de CO₂ na maioria das situações de estresse hídrico (VAN HEERDEN; LAURIE, 2008).

Ainda segundo Van Heerden e Laurie (2008) essa reduzida capacidade difusiva envolve dois componentes importantes, o fechamento estomático, que restringe a captação de CO₂ da atmosfera para a folha, e diminui a condutância do mesofilo, que restringe a difusão de CO₂ dos espaços aéreos intercelulares dentro da folha para o local real da carboxilação no cloroplasto.

O potencial hídrico foliar ao meio dia se constitui em um dado estimativo confiável para informar o status hídrico da planta, já que o mesmo apresenta correlação com as trocas gasosas foliares e também com outros parâmetros fisiológicos (WILLIAMS; ARAUJO, 2002). Quando a batata-doce é cultivada em condições limitantes de água no solo ocorre um rápido declínio no potencial hídrico foliar (BHATTACHARYA *et al.*, 1990).

Ao comparar diferentes cultivares de batata-doce sob várias condições ambientais, Haimeirong e Kubota (2003) observaram que a fotossíntese líquida varia tanto em função da idade da folha como também de acordo com o cultivar. O efeito da senescência foliar sobre a fotossíntese é um importante critério de avaliação de produção entre os cultivares. Outras causas de grande variação na atividade fotossintética são a condição hídrica do solo e da planta, por afetarem a condutância estomática. Segundo os autores, a ação combinada do envelhecimento foliar e do status hídrico da folha sobre a fotossíntese também varia entre os cultivares.

De maneira geral, os cultivares que sofrem menor influência destes fatores são aqueles que apresentam maior condutância estomática (*g_s*), sendo que nestas plantas o “quenching” não fotoquímico é menor e a eficiência quântica do fotossistema II é maior. Isso ajuda a evitar o acúmulo excessivo de energia química

nas folhas, diminuindo danos por fotoinibição; o que em última análise permite às plantas maior atividade fotossintética sob seca e atenua o efeito da senescência foliar.

Gajanayake e Reddy (2016) avaliaram o crescimento, formação de raízes tuberosas e parâmetros fisiológicos da batata-doce 'Beauregard' em função de tratamentos com lâminas de irrigação baseadas em reposição da evapotranspiração (100, 60, 40 e 20%). O potencial hídrico foliar ao meio-dia mostrou-se fortemente correlacionado com o teor de umidade do solo, evidenciando a interdependência entre estes dois parâmetros. A fotossíntese líquida, condutância estomática e transpiração das plantas foram diminuídas, enquanto que a eficiência de uso da água aumentou à medida que houve diminuição do potencial hídrico foliar. Tanto o conteúdo de clorofila total como o índice de estabilidade de membrana diminuíram linearmente em função do decréscimo do potencial hídrico foliar.

2.5 Estresse hídrico e compostos fenólicos

Investigações sobre a síntese de compostos fenólicos em plantas têm aumentado consideravelmente, uma vez que estas substâncias atuam em diferentes processos fisiológicos relacionados ao crescimento e desenvolvimento, tais como germinação de sementes, divisão celular, síntese de pigmentos fotossintéticos e regulação hormonal (TANASE; BUJOR; POPA, 2019). Estas substâncias também exercem importantes efeitos na resposta das plantas aos estresses abióticos (RIVERO *et al.*, 2001; HURA *et al.* 2008, AKULA, 2011), aumentando a tolerância e adaptabilidade das mesmas (ANDERSEN, 2003; DIXON; PAIVA, 1995).

A enzima fenilalanina amônia-liase (PAL) é considerada a principal enzima da via biossintética de compostos fenólicos, catalisando a transformação, por desaminação, de L-fenilalanina no ácido trans-cinâmico, que é o principal intermediário na biossíntese de fenóis (DIXON *et al.*, 1993; LEVINE *et al.*, 1994). Esta enzima aumenta sua atividade em resposta aos estresses abióticos, sendo considerada como uma das principais linhas de aclimação celular contra o estresse hídrico em plantas (KELES; ONCEL, 2002; BOUDET, 2007). A maior síntese de compostos fenólicos em resposta ao estresse hídrico confere resistência às plantas (HURA *et al.*, 2008; AKULA; RAVISHANKAR, 2011).

De acordo com Lin *et al.* (2006), o aumento da capacidade antioxidante tanto pelo aumento do conteúdo como pela qualidade dos compostos fenólicos, pode desempenhar um papel importante na tolerância das plantas aos estresses abióticos. Isto sugere que as plantas respondem à perturbação ambiental através de um mecanismo adaptativo via ativação de genes envolvidos na biossíntese de compostos antioxidantes (OH *et al.*, 2009).

Rivero *et al.* (2001), em um trabalho realizado com plantas de tomate e melancia, sugeriu que um acúmulo de compostos fenólicos em resposta ao estresse pelo calor e pelo frio seria atribuído à ativação da enzima Fenilalanina amônia-liase (PAL). Isso seria benéfico para alcançar a aclimatação e tolerância ao estresse hídrico, já que muitos tipos de fenólicos de plantas têm sido considerados as principais linhas de aclimatação celular contra o estresse nas plantas (DIXON *et al.*, 1992; RIVERO *et al.*, 2001).

Além disso, estudos mostrando que mutantes deficientes em metabólitos secundários (como plantas com atividade bloqueada de PAL) são sensíveis a estresses ambientais demonstram claramente o papel desses antioxidantes na adaptação da planta (LI *et al.*, 1993; GITZ *et al.*, 2004).

No caso da batata-doce, por ser esta uma espécie que acumula grandes quantidades de compostos fenólicos em suas folhas e raízes, sugere-se que uma maior produção de compostos fenólicos em resposta ao estresse hídrico possa se constituir em um mecanismo de proteção das plantas, atenuando os efeitos prejudiciais da deficiência hídrica sobre seus processos fisiológicos e bioquímicos. Supõe-se que uma maior produção de compostos fenólicos possa estar relacionada com reduções menos drásticas na tuberização das raízes. Porém, não há estudos na literatura que comprovem essa correlação em plantas de batata-doce.

3 OBJETIVO

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do estresse hídrico na fase inicial de tuberização de cultivares de batata-doce sobre aspectos biométricos, fisiológicos e bioquímicos e também sobre o teor de compostos fenólicos nas folhas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de casa de vegetação. As mudas foram obtidas a partir de plantas matrizes de batata-doce das cultivares Canadense e Uruguaiana, provenientes do banco de germoplasma da UNOESTE.

A cultivar Canadense apresenta película externa roxa e polpa branca. Possui um formato alongado e boa aceitação comercial, tanto industrial como para a mesa. O ciclo desta cultivar é considerado médio (150 a 180 dias) quando o plantio ocorre de setembro a fevereiro e longo (180 a 220 dias) nas outras épocas do ano. A cultivar Uruguaiana possui película externa roxa com polpa de cor amarela. O formato da raiz é ovóide, apresentando boa uniformidade e comercialização no âmbito industrial. O ciclo é médio de 150 a 180 dias (ZERO; LIMA, 2005).

As ramas foram coletadas medindo-se 20 cm a partir da região apical e plantadas em vasos com capacidade para 8 litros (uma rama por vaso). Os vasos foram preenchidos com solo corrigido com 6g de calcário e 3g de NPK (4-30-10) por vaso conforme a análise de solo (Figura 1) e mantidos por um período de 5 semanas em casa de vegetação para a aclimação e o pegamento das mudas (formação de raízes adventícias).

Amostra	pH (CaCl ₂)	M.O. ----(g dm ⁻²)----	C total --(mg dm ⁻³)--	P	BÁSICA								m	V
					S-So ²⁻⁴	Al ³⁺	H + Al	K	Ca	Mg	SB	CTC		
	4,2	4,1	***	3,0	10,7	7,9	21,8	1,3	4,5	3,2	9,1	30,9	46,5	29,5

Figura 1: Resultado de análise química de solo.

Após o período inicial de aclimação, as plantas foram padronizadas quanto ao comprimento da rama (aproximadamente 30 cm) e número de folhas (aproximadamente 8 folhas). Foi determinada a capacidade de campo do solo (vaso com solo + planta) através do método gravimétrico. A reposição da água perdida por evapotranspiração foi de 100% da capacidade de campo para as plantas do tratamento controle. As plantas do tratamento de estresse foram irrigadas somente com 20% de reposição da evapotranspiração, durante um período de 3 semanas, visando coincidir o período de imposição do estresse hídrico com o início da formação de raízes tuberosas e uma alta atividade fotossintética das plantas.

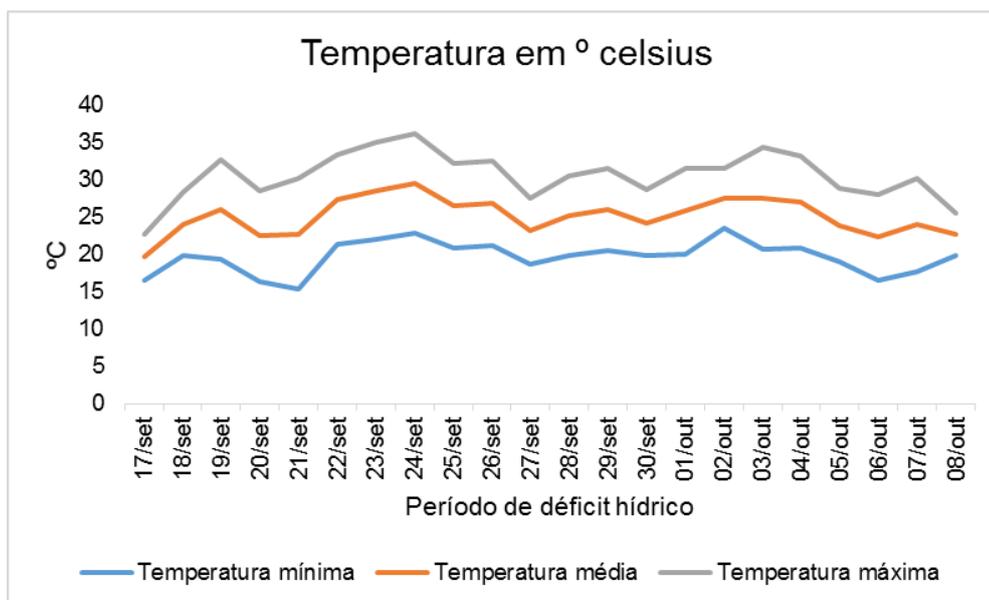


Figura 2: Temperatura mínima e máxima na cidade de Presidente Prudente – SP durante os dias em que as plantas de batata-doce foram submetidas ao tratamento de déficit hídrico.

De acordo com Sistema de Monitoramento Agrometeorológico – Agritempo (2019) a temperatura média de todo o período onde as plantas de batata-doce foram submetidas ao déficit hídrico foi de 25,1°C, com mínima de 15,3°C e máxima de 34,4°C (Figura 2).

A média da umidade relativa mínima do ar durante o período foi de 37% e a média da umidade relativa máxima chegou à 81% (Figura 3).

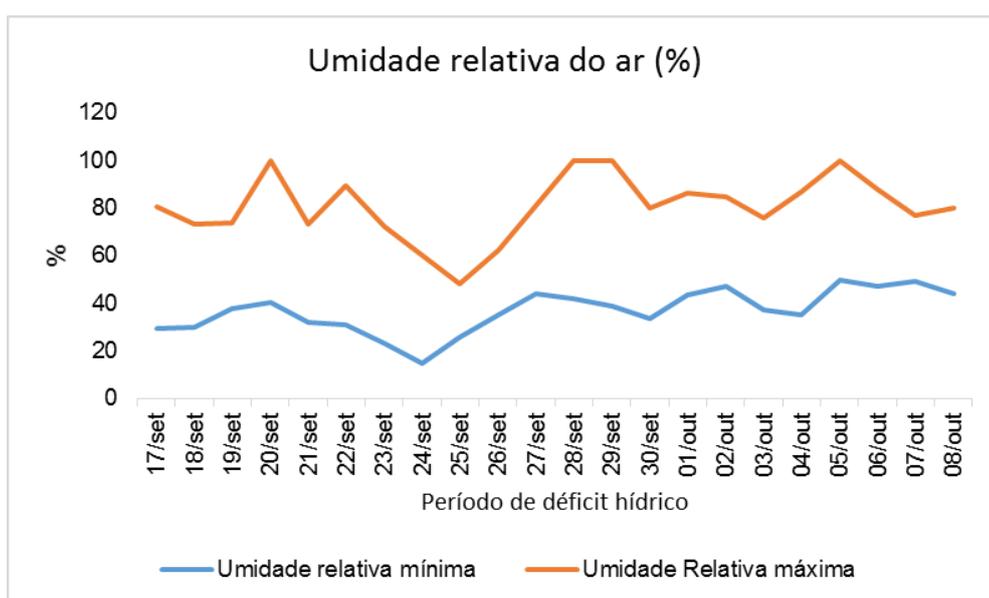


Figura 3: Umidade relativa do ar mínima e máxima na cidade de Presidente Prudente – SP durante os dias em que as plantas de batata-doce foram submetidas ao tratamento de déficit hídrico.

No final do período experimental (8 semanas após o transplântio das ramas para os vasos) as plantas foram colhidas separando-se a parte aérea e as raízes.

Foram coletadas 2 folhas frescas por planta com imediato congelamento das mesmas em ultrafreezer (-80° C) para posterior execução das análises bioquímicas.

O efeito do estresse hídrico sobre as plantas de batata-doce foi avaliado através de análises de crescimento, fisiológicas, bioquímicas, de metabólitos secundários e atividade enzimática, a saber:

4.1 Análises fisiológicas e de crescimento

a) Trocas gasosas:

As medidas pontuais de trocas gasosas foram realizadas entre 10:00 horas e 11:00 horas da manhã com auxílio de um analisador de gases por infra-vermelho (IRGA, Li-6400XTR, LiCor, EUA – Figura 4), utilizando-se a quinta folha jovem e totalmente expandida de cada planta amostrada (8 plantas por tratamento). Foram determinados os seguintes parâmetros: fotossíntese (A), transpiração (E), condutância estomática (*gs*), concentração de dióxido de carbono (CO₂) intercelular (C_i) e temperatura foliar (°C). Através das medidas, foram realizados os cálculos de eficiência do uso da água (EUA = A/E) e eficiência instantânea de carboxilação (EIC = A/C_i). As medições foram efetuadas semanalmente aos 8, 11, 15 e 18 dias após o início do estresse hídrico, utilizando-se as mesmas repetições/plantas. Para a câmara de amostragem do IRGA, foi estabelecido 380±10 μmol mol⁻¹ de CO₂ e irradiância saturante de 1200 μmol de fótons m⁻² s⁻¹.



Figura 4: Medida pontual de trocas gasosas em folhas de batata-doce realizada através de um analisador de gases por infra-vermelho (IRGA, Li-6400XTR, LiCor, EUA).

b) Fluorescência da clorofila a:

A avaliação da atividade fotoquímica foi realizada por meio da análise de fluorescência da clorofila *a*, utilizando um medidor ótico de fluorescência (FluorPen, FP100, Photo System Instruments – Figura 5). Os parâmetros determinados foram: a eficiência quântica efetiva ($\Delta F/F_m'$) do fotossistema II, e a eficiência quântica potencial (F_v/F_0) do fotossistema II e a taxa de transporte de elétrons (ETR) ($ETR = DFFF * \Delta F/F_m' * 0,5 * 0,84$) (BILGUER; SCHREIBER; BOCK, 1995). Os valores de F_m e F_v indicam, respectivamente, as fluorescências máxima e variável.



Figura 5: Avaliação da atividade fotoquímica por meio da análise de fluorescência da clorofila *a*, utilizando um medidor ótico de fluorescência (FluorPen, FP100, Photo System Instruments).

As avaliações ocorreram às 12h da manhã (com radiação fotossinteticamente ativa – PAR - em torno de $1.000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). A eficiência

quântica potencial (F_v/F_0) do fotossistema II foi obtida após adaptação das folhas ao escuro (≈ 20 min) com auxílio de pinças plásticas, emitindo-se logo após um feixe de luz saturante durante 0,5 s.

c) Potencial hídrico foliar (ψ_a):

O potencial da água na folha foi medido em câmara de pressão do tipo Scholander (modelo 1000, PMS Instruments, USA). As medidas foram realizadas ao meio dia, a fim de verificar os estados hídricos dos cultivares sob restrição hídrica e sob boa hidratação. Para observar o efeito dos tratamentos sobre o potencial hídrico foliar, foram realizadas nos mesmos dias de realização de análise de trocas gasosas (aos 8, 11, 15 e 18 dias após o início do estresse hídrico, utilizando-se as mesmas repetições/plantas).

d) Conteúdo relativo de água (CRA)

O conteúdo relativo de água (CRA) foi utilizado para avaliar o estado hídrico das plantas. Para determinar o teor relativo de água, 5 discos foliares (5mm) de cada planta foram retirados sempre no início da manhã (7 horas) e pesados imediatamente (PMF). Os discos foram então colocadas em água destilada por 24 horas e, em seguida, o peso saturado (PSat) foi medido. Em seguida, os discos foliares foram secos em estufa a 60°C por 24 horas para obtenção do peso seco (PMS). O CRA é uma estimativa direta da porcentagem de água na folha e é calculado como (TURNER, 1981):

$$\text{CRA} = \frac{\text{PMF} - \text{PMS}}{\text{PSat} - \text{PMS}} \times 100$$

Esse procedimento foi realizado em três repetições (plantas) para cada tratamento. O conteúdo relativo de água nas folhas foi determinado três vezes após o início do déficit hídrico, em intervalos semanais.

e) Biomassa:

O número de raízes tuberosas formadas por cada planta foi determinado por contagem no dia da colheita (60 dias após o plantio). O diâmetro das raízes

tuberosas foi determinado com paquímetro, sendo consideradas as raízes que apresentarem diâmetro igual ou superior a 5 mm, segundo Villordon *et al.* (2009). As massas (g planta⁻¹) frescas e secas de parte aérea (folhas, ramos e total) e raízes (adventícias, tuberosas e total) foram determinadas após a secagem das mesmas separadamente, em estufa com circulação de ar à temperatura de 60° C até a obtenção de peso constante. A área foliar (cm²) foi avaliada por método destrutivo, utilizando medidor portátil de área (modelo LI - 3000A, LI-COR, USA).

4.2 Análises bioquímicas indicadoras de estresse

a) Determinação do teor de malondialdeído (MDA):

O nível de peroxidação de lipídios foi medido em termos de conteúdo de malondialdeído, usando a reação do ácido tiobarbitúrico (TBA), segundo metodologia de Heath & Packer (1968). Cem miligramas de tecidos foliares (sem a nervura central) foram pulverizados em almofariz e homogeneizados em solução 80:20 (v/v) etanol:água com 3 mL de volume final, seguido de centrifugação a 3000 g por 10 minutos. Um mL do extrato foi colocado em um tubo de microcentrífuga de 15 mL e misturado a mais um mL de solução de TCA 20% (p/v) (ácido tricloroacético) e 0,65% (p/v) de TBA. As amostras foram então misturadas vigorosamente e incubadas a 100° C por 25 minutos, e em seguida transferidas para gelo e centrifugadas a 3000 rpm por 10 minutos. As absorvâncias foram lidas nos comprimentos de onda 532nm e 600nm. Equivalentes de malondialdeído foram calculados pela seguinte fórmula:

$$\text{Equivalentes de MDA (nmol ml}^{-1}\text{)} = [(A_{532}-A_{600}) / 155000] \times 10^6$$

Onde A_{532} indica a absorvância máxima do complexo MDA-TBA a 532 nm, e A_{600} é a absorvância a 600 nm, que corrige interferentes não-específicos e 155000 é o coeficiente de extinção molar para o MDA.

O ensaio foi realizado em triplicata e os valores foram expressos em nanomol de MDA por grama de massa fresca (nmol.g MF^{-1}).

b) Teor de pigmentos foliares (clorofila a, clorofila b e carotenóides):

A extração foi realizada de acordo com o método de Wellburn (1994) acrescentando-se dimetilsulfóxido (DMSO) neutralizado com carbonato de cálcio às amostras de tecido foliar. As leituras foram efetuadas em espectrofotômetro (665, 649 e 480 nm), em triplicata, usando o DMSO como branco.

Os valores de absorvância foram submetidos aos cálculos abaixo e expressos em $\mu\text{g L}^{-1}$:

$$\text{Clorofila } a = 12,47 \times (A_{665}) - 3,62 \times (A_{649})$$

$$\text{Clorofila } b = 25,06 \times (A_{649}) - 6,54 \times (A_{665})$$

$$\text{Clorofila } t = \text{Clorofila } a + \text{Clorofila } b$$

$$\text{Carotenoides} = \frac{(1000 \times (A_{480}) - 1,29 \times (Cl\ a) - 53,78 \times (Cl\ b))}{220}$$

c) Teor de carboidratos nas folhas e raízes:

c.1) Açúcares solúveis:

Foram pesados 100 mg de tecido vegetal seco e adicionados 4 mL de etanol 80%, durante 15 min, seguindo-se centrifugação a 5000 rpm, pelo tempo de 10 min. O sobrenadante foi coletado e o precipitado ressuspendido em 3 mL de etanol 80%, por duas vezes. Após a junção dos sobrenadantes, o volume foi aferido com água destilada para 10 mL e a dosagem foi realizada por espectrofotometria (490nm), pelo método fenol-sulfúrico, descrito por Dubois *et al.* (1956). Foi utilizada glicose para construção da curva padrão.

$$\text{Açúcares solúveis (mg.g)} = \left(\frac{K \times \text{Fator de diluição}}{\text{Peso seco}} \right)$$

Onde, K = concentração de glicose na amostra baseada na equação da reta da curva padrão, Fator de diluição = volume aferido (10 mL) e Peso seco = massa da amostra (g).

4.3 Análises de metabólitos secundários e atividade enzimática

4.3.1 Atividade da enzima fenilalanina amônia-liase (PAL)

As amostras de tecido foliar foram preparadas de acordo com Bezerra Neto e Barreto (2006), em solução tampão TRIS-EDTA. As leituras espectrofotométricas foram realizadas a 290 nm e atividade da enzima foi calculada conforme fórmula de Zucker (1965).

As determinações dos teores de fenóis e flavonóides totais presentes nas folhas e raízes foram realizadas no extrato etanólico seco. Uma massa de 50g de folhas secas e trituradas foi submetida à extração com 1,5 L de solvente extrator etanol 70 °GL durante um período de 48 horas, sob temperatura ambiente e abrigo da luz. O processo de maceração e filtração do sobrenadante foi realizado em três etapas, retirando-se apenas o solvente e mantendo-se a mesma massa de folhas, com posterior reposição do solvente após completa filtração. Os extratos brutos obtidos foram reunidos e concentrados por evaporação à vácuo, sendo em seguida secos em estufa de circulação de ar à 30 °C para a obtenção do extrato etanólico seco (SIMÕES *et al.*, 2007).

4.3.2 Teor de compostos fenólicos totais ($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)

A determinação foi realizada de acordo com o método Folin-Ciocalteu e solução de carbonato de sódio 25% (STAGOS *et al.*, 2012), usando ácido gálico como padrão. As análises foram realizadas em triplicata.

4.3.3 Teor de flavonóides totais ($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)

O doseamento foi de acordo com Yao *et al.* (2013) modificado, utilizando NaNO_2 5%, AlCl_3 10%, e NaOH (1 M), utilizando-se rutina como padrão. As análises foram realizadas em triplicata.

4.3.4 Teor de antocianinas nas folhas

As antocianinas foram determinadas de acordo com o método de Francis (1982), onde um g de massa fresca foliar foi adicionado à solução extratora etanol 95% acidificada com HCl (1,5N) na proporção de 85:15. O conteúdo foi homogeneizado por 2 minutos e transferido para balão volumétrico de 50 mL, aferindo com a solução extratora. O balão volumétrico foi envolvido por papel alumínio e ficou em repouso na geladeira por 24h. Após as 24h o extrato foi filtrado para Becker de 50 mL envolvido com papel alumínio e a leitura realizada em espectrofotômetro em 535nm. As análises foram realizadas em triplicata.

As antocianinas foram quantificadas com base nas equações abaixo e o resultado expresso em ($\mu\text{g}/100\text{g}$):

$$\text{Antocianinas} = \left(\frac{\text{Abs} \times V \times 10^3}{982 \times L \times m} \right) \times 1000$$

Onde, Abs = absorvância (535nm), V = volume de extração (L), L = caminho óptico da cubeta (cm), m = massa da amostra (g).

4.4 Análise estatística

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado. Cada tratamento foi composto por 8 repetições, totalizando 32 plantas. Os tratamentos foram conduzidos em esquema fatorial 2 x 2 (duas cultivares e duas condições de irrigação). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância ($p \leq 0,05$), e, posteriormente as medidas foram comparadas pelo teste Tukey. Foi realizada também a análise de coeficiente de correlação de Pearson (r) entre os seguintes

parâmetros: temperatura foliar, trocas gasosas, biomassa, área foliar, conteúdo relativo de água (CRA), teor de malondialdeído (MDA), pigmentos foliares, carboidratos, atividade da fenilalanina amônia-liase (PAL), fenóis totais e flavonóides.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análises Fisiológicas e de Crescimento

5.1.1 Trocas gasosas

Ambas as cultivares de batata-doce expostas ao déficit hídrico apresentaram reduções significativas nos parâmetros de trocas gasosas quando comparadas às plantas irrigadas (Tabela 1).

Tabela 1: Resumo da análise de variância com valores de P e coeficiente de variação para os parâmetros de trocas gasosas (A - Assimilação Líquida de CO₂, E - transpiração, gs - condutância estomática e Ci - concentração interna de CO₂).

	A	E	gs	Ci
8 dias				
Irrigação (I)	0,91 ns	0,00 **	0,00 **	0,02 *
Cultivar (C)	0,13 ns	0,14 ns	0,11 ns	0,74 ns
I x C	0,06 ns	0,23 ns	0,19 ns	0,48 ns
CV (%)	49,1	29,7	23,6	28,4
11 dias				
Irrigação (I)	0,00 **	0,00 **	0,02 *	0,00 **
Cultivar (C)	0,41 ns	0,95 ns	0,57 ns	0,55 ns
I x C	0,41 ns	0,29 ns	0,54 ns	0,52 ns
CV (%)	23,3	30,0	17,4	20,4
15 dias				
Irrigação (I)	0,00 **	0,00 **	0,00 **	0,00 **
Cultivar (C)	0,12 ns	0,74 ns	0,71 ns	0,45 ns
I x C	0,41 ns	0,38 ns	0,64 ns	0,80 ns
CV (%)	26,57	28,4	23,8	18,9
18 dias				
Irrigação (I)	0,00 **	0,00 **	0,00 **	0,02 *
Cultivar (C)	0,07 ns	0,00 **	0,27 ns	0,73 ns
I x C	0,98 ns	0,55 ns	0,30 ns	0,55 ns
CV (%)	29,3	16,8	34,0	19,2

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ns não significativo ($p \geq 0,05$)

Ao se analisar as diferenças nas trocas gasosas ao longo do período de imposição de deficiência hídrica, pode-se verificar que aos 8 dias após o início do estresse não ocorreram diferenças nas taxas fotossintéticas das plantas controle e estressadas, para ambas as variedades. Entretanto, aos 11 dias de imposição de

déficit hídrico ao solo, nas plantas das cultivares Canadense e Uruguaiana observou-se reduções de 28% e 40% na taxa de fotossíntese, respectivamente. Ao final do período de imposição de deficiência hídrica (18 dias), as reduções na taxa fotossintética das plantas chegaram a 59 e 68% para as cultivares Canadense e Uruguaiana, respectivamente. Com relação aos parâmetros de transpiração (E), condutância estomática (g_s) e concentração interna de CO_2 na folha (C_i) também foram observadas reduções progressivas com o aumento do tempo de imposição de deficiência hídrica.

Tais resultados de diminuição dos valores de trocas gasosas nas plantas de batata-doce submetidas à deficiência hídrica podem ser creditados principalmente ao fechamento estomático, o qual impôs limitações à fotossíntese e à transpiração (Tabela 2).

O fechamento estomático é uma resposta precoce ao estresse hídrico do solo que permite economizar água através da transpiração. O declínio na condutância estomática faz com que a concentração interna de CO_2 diminua devido à via de difusão comum de CO_2 e H_2O , afetando negativamente a taxa de fotossíntese (SHARKEY; SCHRANDER, 2006). Resultados semelhantes foram encontrados por Haimeirong e Kubota (2003), os quais observaram grandes reduções na condutância estomática em quatro cultivares de batata-doce submetidas à deficiência hídrica.

Tabela 2: Trocas gasosas em cultivares de batata-doce aos 8, 11, 15 e 18 dias após o início da imposição de deficiência hídrica. (Urug – Cultivar Uruguaiana; Canad – Cultivar Canadense; D. H. – déficit hídrico; A – Assimilação líquida de CO₂ ($\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$); E – Transpiração ($\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$); *gs* – Condutância estomática ($\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$); Ci - concentração interna de CO₂ ($\text{mmol m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)).

A									
		8 dias		11 dias		15 dias		18 dias	
		Urug	Canad	Urug	Canad	Urug	Canad	Urug	Canad
Controle		15,51 Aa	12,50 Aa	17,61 Aa	17,61 Aa	16,90 Aa	17,82 Aa	15,40 Aa	17,57 Aa
D. H.		11,71 Aa	8,25 Aa	10,55 Ab	12,56 Ab	6,18 Ab	9,04 Ab	4,92 Ab	7,15 Ab
E									
		8 dias		11 dias		15 dias		18 dias	
		Urug	Canad	Urug	Canad	Urug	Canad	Urug	Canad
Controle		6,51 Aa	7,98 Aa	7,51 Aa	6,91 Aa	6,60 Aa	6,89 Aa	10,29 Ba	12,07 Aa
D. H.		2,95 Ab	3,11 Ab	3,51 Ab	4,17 Ab	3,70 Ab	3,07 Ab	2,65 Ab	3,92 Ab
<i>gs</i>									
		8 dias		11 dias		15 dias		18 dias	
		Urug	Canad	Urug	Canad	Urug	Canad	Urug	Canad
Controle		0,64 Ba	1,17 Aa	0,76 Aa	0,75 Aa	0,50 Aa	0,50 Aa	1,99 Aa	3,46 Aa
D. H.		0,13 Aa	0,19 Ab	0,16 Ab	0,40 Aa	0,13 Ab	0,09 Ab	0,07 Aa	0,12 Ab
Ci									
		8 dias		11 dias		15 dias		18 dias	
		Urug	Canad	Urug	Canad	Urug	Canad	Urug	Canad
Controle		303,37 Aa	326,12 Aa	308,25 Aa	307,50 Aa	305,25 Aa	296,75 Aa	311,37 Aa	330,50 Aa
D. H.		206,28 Aa	145,15 Ab	200,37 Ab	223,87 Ab	211,00 Ab	193,90 Ab	274,87 Aa	269,62 Ab

Letras maiúsculas comparam as cultivares e letras minúsculas comparam os regimes de irrigação dentro de cada cultivar. Letras iguais não apresentam diferença pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Analisando os resultados, é possível observar que mesmo com a diminuição dos valores de transpiração, quando comparados os valores apresentados pelas plantas irrigadas e sob o regime de déficit hídrico, verifica-se que não há uma grande diferença numérica entre os valores obtidos no primeiro e no último dia de determinação, para ambas as cultivares. Isso pode indicar que, mesmo que as plantas tenham sentido os efeitos da falta de água, elas economizaram água para que fosse possível a manutenção do seu metabolismo. Além disso, mesmo com a progressiva diminuição na taxa de fotossíntese ao longo do período de imposição da deficiência hídrica, as plantas não chegaram a zerar seus valores. Segundo Yooyongwech *et al.* (2013), sob condições de deficiência hídrica, as plantas apresentam uma redução na taxa de fotossíntese e ajustam-se para utilizar de forma mais eficiente esta disponibilidade reduzida de água para o seu benefício máximo.

Entretanto, além da escassez geral de informações detalhadas sobre os efeitos do estresse hídrico na fotossíntese em batata-doce, os poucos relatos publicados na literatura também são contraditórios. Isto se deve muito provavelmente às diferenças nas condições de crescimento (por exemplo,

experimentos de campo versus experimentos em casa de vegetação) e a severidade da seca.

Em experimento com plantas de batata-doce envasadas, Haimeirong e Kubota (2003) descobriram que a resposta da g_s durante o estresse hídrico foi muito importante e que o grau de fechamento estomático exerceu um papel fundamental na determinação do nível de inibição não fotoquímica e na redução do rendimento quântico do fotossistema II (PSII). Em um relatório muito mais antigo, no entanto, Sung (1981) relata que os estômatos de plantas de batata-doce cultivadas em campo eram relativamente insensíveis ao estresse hídrico, apesar da atividade da redutase do nitrato ter sido afetada negativamente pelo baixo potencial hídrico das mesmas plantas.

De forma semelhante, Van Heerden e Laurie (2008) também relataram uma queda de 20 e 47% na taxa fotossintética de plantas de batata-doce mantidas por um período prolongado de restrição hídrica, em medições realizadas com 9 e 13 semanas após o transplante das ramas. As medidas de trocas gasosas revelaram uma grande diferença de resposta entre as duas variedades de batata-doce estudadas (“Resisto” e “A15”) em relação à capacidade de assimilação de CO_2 , g_s e C_i . Em plantas Resisto, houve 30% de inibição de assimilação de CO_2 , a qual foi intimamente associada com as diminuições na g_s e C_i , após 9 semanas.

A eficiência no uso da água (EUA) pode ser definida como a razão entre a fotossíntese e a transpiração, bem como a razão simultânea de assimilação líquida de carbono pela transpiração da água através estômatos da folha (XU; HSIAO, 2004). Neste estudo, avaliou-se a eficiência do uso da água (EUA) das plantas de batata-doce pela razão entre taxa fotossintética e transpiração, sendo que a eficiência instantânea de carboxilação (EIC) foi avaliada pela relação entre a taxa fotossintética e a concentração interna de CO_2 (MACHADO *et al.*, 2005; SANTOS *et al.*, 2009).

Em relação à eficiência no uso da água (EUA), houve apenas efeito isolado do regime hídrico. A cultivar Uruguaiana apresentou aumentos de 84% e 49% na EUA após 8 e 11 dias de imposição de deficiência hídrica, respectivamente (Tabela 3). Para os outros dias avaliados, não houve diferença significativa entre as plantas irrigadas e sob déficit hídrico. Com relação à EIC, verifica-se um aumento no 8º dia na cultivar Uruguaiana, porém aos 11 e 15 dias de imposição de deficiência hídrica não houve diferença entre as plantas irrigadas e plantas sob déficit hídrico. Por fim,

aos 18 dias verifica-se uma diminuição de 60% da EIC nas plantas mantidas em regime de déficit hídrico.

Já na cultivar Canadense, verifica-se que para todas as épocas de avaliação as plantas conduzidas sob deficiência hídrica apresentaram aumentos significativos da EUA. Tais resultados de aumento da EUA nas plantas de batata-doce podem ser explicados pelo comportamento estomático. Em trabalhos realizados com outras culturas, pesquisadores também encontraram maiores valores de EUA a partir de menores lâminas de irrigação (AZEVEDO *et al.*, 2007; FARIAS *et al.*, 2007). Em concordância, Coelho *et al.* (2005) afirmam que a eficiência do uso da água pode ser aumentada reduzindo-se a lâmina aplicável (evapotranspiração) de forma a não diminuir drasticamente a produtividade.

Com relação à EIC, as plantas da cultivar Canadense apresentaram um declínio de 40% apenas aos 18 dias de imposição de deficiência hídrica (Tabela 3). Portanto, esta diminuição da EIC ao final do período de déficit hídrico caracteriza uma limitação não estomática da fotossíntese.

Tabela 3: Eficiência no uso da água (EUA) ($\text{mmol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$) e eficiência instantânea de carboxilação (EIC) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$] em cultivares de batata-doce mantidas sob condições de deficiência hídrica do solo.

<i>Uruguiana</i>									
		8 dias		11 dias		15 dias		18 dias	
		Irrigado	Estresse	Irrigado	Estresse	Irrigado	Estresse	Irrigado	Estresse
EUA		2,53 Ab	4,66 Aa	2,41 Ab	3,60 Aa	2,29 Aa	2,09 Ba	1,76 Aa	2,16 Aa
EIC		0,05 Ab	0,10 Aa	0,05 Aa	0,05 Aa	0,05 Aa	0,03 Aa	0,05 Aa	0,02 Ab
<i>Canadense</i>									
		8 dias		11 dias		15 dias		18 dias	
		Irrigado	Estresse	Irrigado	Estresse	Irrigado	Estresse	Irrigado	Estresse
EUA		2,53 Ab	4,16 Aa	2,54 Ab	3,64 Aa	2,71 Ab	3,93 Aa	1,49 Ab	2,30 Aa
EIC		0,08 Aa	0,10 Aa	0,05 Aa	0,06 Aa	0,06 Aa	0,05 Aa	0,05 Aa	0,03 Ab
CV (%)		35,9		13,6		33,8		25,8	
CV (%)		37,9		17,5		39,9		31,9	

Letras maiúsculas comparam as cultivares e letras minúsculas comparam os regimes de irrigação dentro de cada cultivar. Letras iguais não apresentam diferença pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 4: Valores de temperatura foliar (T- °C) em cultivares de batata-doce determinados aos 8, 11, 15 e 18 dias após o início do estresse hídrico.

<i>Uruguiana</i>									
		8 dias		11 dias		15 dias		18 dias	
T	<u>Irrigado</u>	<u>Estresse</u>	<u>Irrigado</u>	<u>Estresse</u>	<u>Irrigado</u>	<u>Estresse</u>	<u>Irrigado</u>	<u>Estresse</u>	
		29,3 Ab	32,9 Aa	30,5 Ab	31,3 Aa	31,8 Ab	32,6 Aa	33,4 Aa	33,5 Aa
<i>Canadense</i>									
		8 dias		11 dias		15 dias		18 dias	
T	<u>Irrigado</u>	<u>Estresse</u>	<u>Irrigado</u>	<u>Estresse</u>	<u>Irrigado</u>	<u>Estresse</u>	<u>Irrigado</u>	<u>Estresse</u>	
		28,4 Bb	32,4 Ba	29,6 Ba	30,0 Ba	30,6 Aa	31,3 Ba	31,6 Bb	33,8 Aa
CV (%)	1,24		1,16		1,79		4,40		

Letras maiúsculas comparam as cultivares e letras minúsculas comparam os regimes de irrigação dentro de cada cultivar. Letras iguais não apresentam diferença pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a temperatura foliar houve interação dos fatores cultivar e regime hídrico em todos os dias de avaliação (Tabela 4). Observa-se um aumento da temperatura logo no início da imposição de estresse hídrico (8 dias), como consequência da redução da transpiração.

5.1.2 Fluorescência da clorofila a

Na análise de fluorescência da clorofila, os resultados apresentaram interação entre os fatores (Tabela 5).

Tabela 5: Resumo da análise de variância com valores de P e coeficiente de variação para o parâmetro de fluorescência da clorofila a (F_v/F_0 , $\Delta F/F_m'$ e ETR).

	F_v/F_0	$\Delta F/F_m'$	ETR
8 dias			
Irrigação (I)	0,79 ns	0,42 ns	0,36 ns
Cultivar (C)	0,00 **	0,07 ns	0,00 **
I x C	0,04 *	0,62 ns	0,01 *
CV (%)	5,2	22,5	6,0
11 dias			
Irrigação (I)	0,00 **	0,08 ns	0,00 **
Cultivar (C)	0,12 ns	0,64 ns	0,13 ns
I x C	0,09 ns	0,87 ns	0,09 ns
CV (%)	9,6	19,9	9,7
15 dias			
Irrigação (I)	0,34 ns	0,00 **	0,32 ns
Cultivar (C)	0,84 ns	0,64 ns	0,84 ns
I x C	0,64 ns	0,31 ns	0,63 ns
CV (%)	18,4	17,1	18,2
18 dias			
Irrigação (I)	0,79 ns	0,25 ns	0,78 ns
Cultivar (C)	0,95 ns	0,87 ns	0,99 ns
I x C	0,98 ns	0,03 *	0,99 ns
CV (%)	16,4	18,5	16,5

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ns não significativo ($p \geq 0,05$)

A razão F_v/F_0 não apresentou diferença significativa entre as plantas irrigadas e sob deficiência hídrica para ambas as cultivares utilizadas (Tabela 5). Isso pode significar que o dano funcional no fotossistema não ocorreu. Porém é possível observar uma queda progressiva dos valores quando comparados os dias de avaliação. Quando as plantas são submetidas à ambientes estressantes, ocorre o declínio na eficiência quântica potencial do fotossistema II, indicada pela queda na relação F_v/F_m (BJÖRKAMN; POWLES, 1984; KRAUSE; WEIS, 1991).

Em relação à eficiência quântica efetiva do fotossistema II, foram verificados aumentos significativos de 23 e 32% para as cultivares Uruguaiana e Canadense, respectivamente, nas avaliações realizadas aos 18 e 15 dias de imposição de deficiência hídrica. A eficiência quântica efetiva, descrita pela razão $\Delta F/F_m'$, indica qual a proporção de luz que foi absorvida pela clorofila associada ao FSII utilizada em atividade fotoquímica, e como tal, informa a quantidade de elétrons transportados, sendo um indicativo da fotossíntese (BAKER; ROSENQVST, 2004). O principal fator determinante desta eficiência é a habilidade com que os elétrons são removidos da quinona receptora do FSII, que é diretamente relacionado com a

taxa de consumo dos produtos do transporte fotossintético de elétrons (ATP e NADPH).

Já a taxa de transporte de elétrons (ETR) apresentou um aumento de 9% somente aos 8 dias de avaliação na cultivar Uruguaiana. Na cultivar Canadense houve um declínio de 19% aos 11 dias de imposição de deficiência hídrica. Para os outros dias de avaliação, não houve diferença estatística (Tabela 6). Tais resultados indicam que a deficiência hídrica, neste caso, não ocasionou danos ao aparato fotoquímico das plantas de batata-doce.

Tabela 6: Valores de fluorescência das clorofilas em cultivares de batata-doce determinados aos 8, 11, 15 e 18 dias após o início do estresse hídrico. (F_v/F_0 – Eficiência quântica potencial; $\Delta F/F_m'$ – Eficiência quântica efetiva; ETR – Taxa de transporte de elétrons).

Uruguaiana								
	8 dias		11 dias		15 dias		18 dias	
	Irrigado	Estresse	Irrigado	Estresse	Irrigado	Estresse	Irrigado	Estresse
F_v/F_0	0,65 Ba	0,69 Ba	0,69 Ba	0,64 Aa	0,69 Aa	0,62 Aa	0,61 Aa	0,60 Aa
$\Delta F/F_m'$	0,52 Aa	0,50 Aa	0,55 Aa	0,65 Aa	0,54 Aa	0,63 Aa	0,48 Ab	0,62 Aa
ETR	242,6 Bb	266,5 Aa	264,1 Ba	244,0 Aa	263,0 Aa	235,2 Aa	231,8 Aa	227,4 Aa

Canadense								
	8 dias		11 dias		15 dias		18 dias	
	Irrigado	Estresse	Irrigado	Estresse	Irrigado	Estresse	Irrigado	Estresse
F_v/F_0	0,78 Aa	0,75 Aa	0,79 Aa	0,64 Ab	0,66 Aa	0,63 Aa	0,61 Aa	0,60 Aa
$\Delta F/F_m'$	0,65 Aa	0,58 Aa	0,58 Aa	0,67 Aa	0,52 Ab	0,69 Aa	0,58 Aa	0,53 Aa
ETR	297,3 Aa	285,9 Aa	299,3 Aa	241,7 Ab	250,3 Aa	240,5 Aa	231,7 Aa	227,6 Aa

Letras maiúsculas comparam as cultivares e letras minúsculas comparam os regimes de irrigação dentro de cada cultivar. Letras iguais não apresentam diferença pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

5.1.3 Potencial hídrico foliar (Ψ_a)

Na análise de potencial hídrico foliar efetuada aos 8 dias de estresse não houve efeito dos fatores cultivar e regime hídrico. Verifica-se que tanto as plantas da cultivar Uruguaiana como da cultivar Canadense apresentaram reduções significativas do potencial hídrico aos 11 dias de imposição de deficiência hídrica. Os valores de potencial hídrico (-0,96 na Uruguaiana e -1,12 MPa na Canadense) (Figura 6) são próximos àqueles encontrados por Bhattacharya *et al.* (1990) em plantas de batata-doce sob condições de boa hidratação e estresse hídrico por 14 dias (-0,75 e -1,5 MPa, respectivamente).

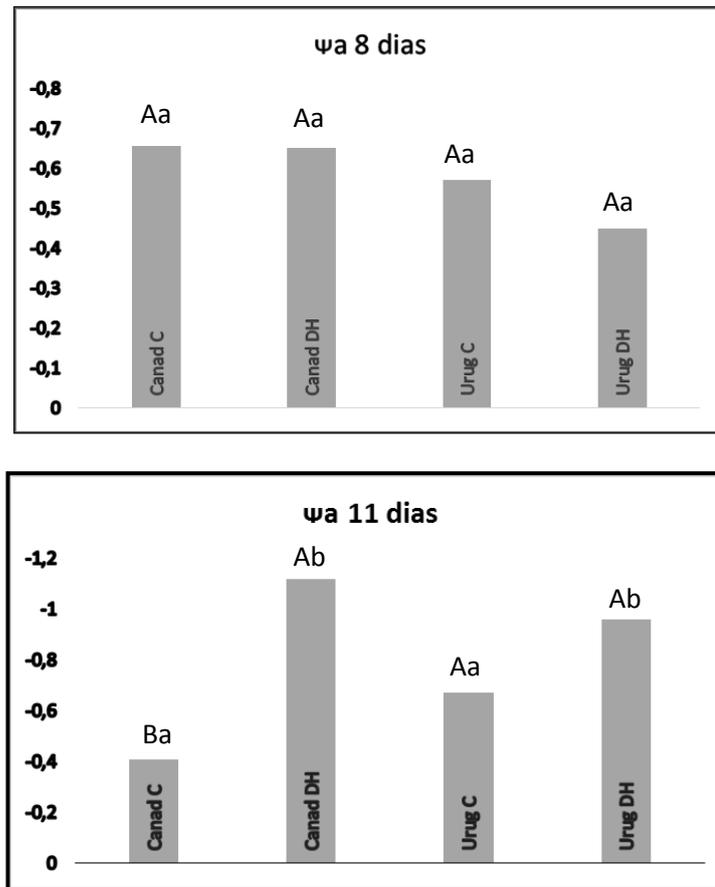


Figura 6: Potencial hídrico (ψ_a) em folhas de cultivares de batata-doce aos 8 e 11 dias de imposição de deficiência hídrica. Onde Canad C = Canadense no tratamento controle, Canad HD = Canadense no tratamento de déficit hídrico. Urug C = Uruguaiana no tratamento controle, Urug DH = Uruguaiana no tratamento de déficit hídrico. Letras maiúsculas comparam as cultivares e letras minúsculas comparam os regimes de irrigação dentro de cada cultivar. Letras iguais não apresentam diferença pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Haimeirong e Kubota (2003), mostraram em um estudo realizado com quatro cultivares de batata-doce, que o valor médio do potencial hídrico foliar de todas as cultivares sob estresse hídrico foi de -1,32 MPa e o controle foi de -0,51 MPa. Um potencial de água na folha de -1,32 MPa alcança provavelmente o nível no qual as plantas de batata-doce sofrem um estresse hídrico relativamente forte (KUBOTA *et al.*, 1993).

Em muitas plantas, a redução do potencial hídrico foliar induzida pelo declínio do potencial hídrico do solo afeta o movimento dos estômatos e as trocas gasosas. Além disso, o declínio na taxa fotossintética é rápido e substancial, mesmo em potenciais de água relativamente altos como de -0,3 a -0,5 MPa (BASU; SHARMA; SUKUMARAN, 1998).

5.1.5 Biomassa de parte aérea e raiz e área foliar

Para as determinações de biomassa fresca e seca de parte aérea, raiz e área foliar (AF) houve interação dos fatores cultivar e regime hídrico (Tabelas 7 e 8). As plantas de batata-doce da cultivar Uruguaiana submetidas à deficiência hídrica apresentaram reduções de 43 e 44% na massa fresca de parte aérea (MFPA) e massa fresca de raiz (MFR), respectivamente, quando comparadas as plantas irrigadas. Em relação as massa seca de parte aérea (MSPA) e massa seca radicular (MSR) também houve interação dos fatores cultivar e regime hídrico. Já para a cultivar Canadense, também houve decréscimo nas MFPA e MFR (38% para MFPA, 25% para MFR, 41% para MSPA e 25% para MSR, respectivamente) em resposta à deficiência hídrica. Liu e Stützel (2004) relatam que o estresse por déficit de umidade do solo reduz o crescimento tanto da raiz quanto da parte aérea das plantas; porém a redução no crescimento da raiz geralmente é menor em comparação com o crescimento da parte aérea.

Segundo Silva *et al.* (2010), a raiz da batata-doce apresenta cerca de 30% de massa seca, que contém em média 85% de carboidratos, do qual, o principal componente é o amido. Do ponto de vista industrial há maior interesse em cultivares que apresentem elevado teor de matéria seca, já que resulta em maior rendimento no processo. Nos resultados obtidos, pode observar que houve redução da massa fresca de raízes em ambas as cultivares, sendo essa redução mais drástica na cultivar Uruguaiana, com 44% a menos quando comparada a cultivar Canadense.

Ambas as cultivares apresentaram reduções significativas na área foliar em resposta à deficiência hídrica (40% na cultivar Canadense e 47% na cultivar Uruguaiana) (Tabela 7).

A área foliar é um importante fator da produção e determina o uso da água pelas plantas e seu potencial de produtividade é severamente inibido quando as mesmas são expostas ao déficit hídrico (FERNANDES *et al.*, 1996). Os resultados de Gajanayake e Reddy (2016) mostraram que a área foliar de plantas de batata-doce diminuiu com o aumento do grau de deficiência hídrica do solo. Tal resultado é explicado pela redução da transpiração das plantas em resposta ao menor teor de umidade do solo, o que restringiu a expansão das folhas; diminuindo a área foliar.

Tabela 7: Massa fresca de parte área (MFPA), massa fresca de raízes (MFR) e área foliar (AF) em cultivares de batata-doce submetidas à deficiência hídrica.

MFPA (g planta⁻¹)			
Uruguaiiana		Canadense	
Irrigado	Estresse	Irrigado	Estresse
107,0 Aa	60,5 Ab	65,2 Ba	40,0 Bb
MFR (g planta⁻¹)			
Uruguaiiana		Canadense	
Irrigado	Estresse	Irrigado	Estresse
45,0 Ba	25,0 Bb	130,0 Aa	97,5 Ab
AF (cm²)			
Uruguaiiana		Canadense	
Irrigado	Estresse	Irrigado	Estresse
1689,33 Aa	895,18 Ab	1082,73 Ba	645,66 Ab
CV (%)	26,6		
CV (%)	11,4		
CV (%)	24,0		

Letras maiúsculas comparam as cultivares e letras minúsculas comparam os regimes de irrigação dentro de cada cultivar. Letras iguais não apresentam diferença pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 8: Massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca de raízes (MSR) em cultivares de batata-doce submetidas à deficiência hídrica.

MSPA (g planta⁻¹)			
Uruguaiiana		Canadense	
Irrigado	Estresse	Irrigado	Estresse
24,2 Aa	13,8 Ab	12,7 Ba	7,2 Bb
MSR (g planta⁻¹)			
Uruguaiiana		Canadense	
Irrigado	Estresse	Irrigado	Estresse
10,0 Ba	2,0 Bb	27,5 Aa	20,0 Ab
CV (%)	31,9		
CV (%)	22,2		

Letras maiúsculas comparam as cultivares e letras minúsculas comparam os regimes de irrigação dentro de cada cultivar. Letras iguais não apresentam diferença pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

5.1.6 Número de folhas e raízes tuberosas

Houve interação entre os fatores estudados somente em relação ao número de folhas. No número de raízes não foi significativo (Tabela 9).

A diminuição do número de folhas na cultivar Canadense foi de 20%, metade do decréscimo observado para a cultivar Uruguaiiana, que foi de 40%.

Tabela 9: Resumo da análise de variância com valores de P e coeficiente de variação para o número de folhas e número de raízes tuberosas.

	Nº de Folhas	Nº de Raízes
Irrigação (I)	0,00 **	0,00 **
Cultivar (C)	0,60 ns	0,00 **
I x C	0,01 *	0,27 ns
CV (%)	14,5	19,9

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 < p < 0,05$); ns não significativo ($p \geq 0,05$)

A produção de raízes tuberosas foi maior na cultivar Canadense (Figura 8A), em comparação à cultivar Uruguaiana em condições normais de irrigação. Na presença de déficit hídrico, ambas as cultivares apresentaram reduções significativas no número de raízes tuberosas produzidas por planta (37,5% para a cultivar Canadense (Figura 8B) e 33% para a cultivar Uruguaiana (Figura 8D)). Tais resultados estão relacionados diretamente com os dados de trocas gasosas, onde a menor taxa fotossintética das plantas sob deficiência hídrica influenciou de forma negativa a produção e o tamanho das folhas e diminuiu a produção de raízes tuberosas.

Tabela 10: Número de folhas e número de raízes tuberosas em plantas de batata-doce nos regimes de 100 e 20% de capacidade de campo.

Número de folhas (planta ⁻¹)			
<i>Uruguaiana</i>		<i>Canadense</i>	
Irrigado	Estresse	Irrigado	Estresse
74,0 Aa	44,2 Ab	64,1 Ba	51,0 Ab
Número de raízes tuberosas (planta ⁻¹)			
<i>Uruguaiana</i>		<i>Canadense</i>	
Irrigado	Estresse	Irrigado	Estresse
5,2 Ba	3,5 Ab	8,0 Aa	5,0 Ab

Letras maiúsculas comparam as cultivares e letras minúsculas comparam os regimes de irrigação dentro de cada cultivar. Letras iguais não apresentam diferença pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observou-se que a cultivar Uruguaiana apresentou uma maior área fotossintetizante em relação à cultivar Canadense (Figura 7), porém produziu menor número de raízes tuberosas, estando relacionado com valores maiores de área foliar e morfologia de cada cultivar.

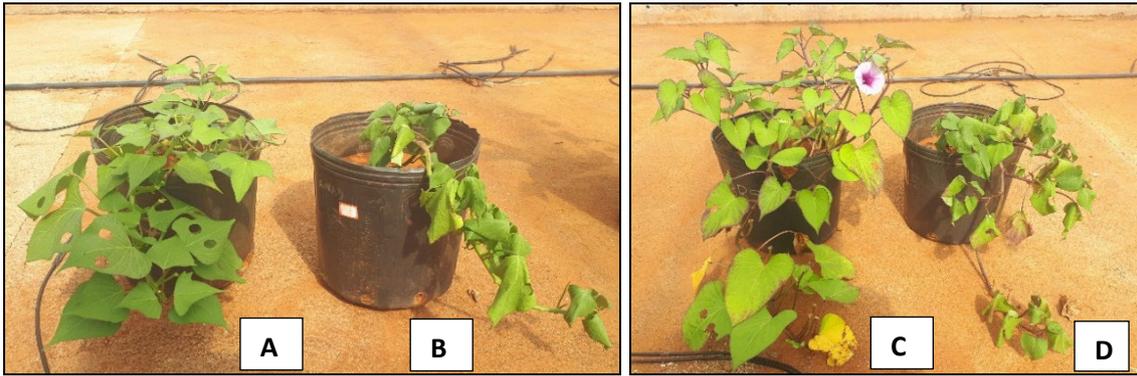


Figura 7: Plantas de batata-doce no dia da colheita, realizada aos 60 dias após o plantio das ramas (A: cultivar Canadense no tratamento controle. B: cultivar Canadense tratamento de estresse. C: cultivar Uruguaiana no tratamento controle. D: cultivar Uruguaiana no tratamento de estresse).



Figura 8: Raízes de batata-doce no dia da colheita, realizada aos 60 dias após o plantio das ramas (A: cultivar Canadense no tratamento controle. B: cultivar Canadense tratamento de estresse. C: cultivar Uruguaiana no tratamento controle. D: cultivar Uruguaiana no tratamento de estresse).

Estudos de Jaleel *et al.* (2008), indicaram que o estresse hídrico pode reduzir o rendimento em muitas plantas e que culturas diferentes respondem de maneira diferente ao estresse hídrico. No caso da batata-doce, se a biomassa for limitada, conseqüentemente, haverá uma limitação da fonte de assimilação ao crescimento das raízes tuberosas, reduzindo assim o rendimento final. São poucas as informações disponíveis na com informações detalhadas sobre a extensão em que o rendimento da batata-doce é afetado quando o crescimento vegetativo é inibido pelo estresse hídrico.

5.2 Parâmetros Bioquímicos

5.2.1 Teor de Malondialdeído (MDA)

No teor de Malondialdeído ocorreu interação entre os fatores cultivar e regime hídrico (Tabela 11). Ambas as cultivares de batata-doce mantidas no regime de deficiência hídrica apresentaram maior teor foliar de malondialdeído (MDA) em relação às plantas irrigadas. O aumento de MDA no tratamento de déficit hídrico na cultivar Canadense foi de 22% e na cultivar Uruguaiana de 58%. O MDA é um subproduto da peroxidação lipídica e é utilizado para se determinar a intensidade dos danos nos lipídios de membranas celulares de plantas. Assim, um aumento dessa substância está diretamente associado a indicações de estresse oxidativo (HENDGES *et al.*, 2015).

O vazamento eletrolítico dos tecidos foliares é uma abordagem importante para avaliar a estabilidade das membranas das plantas às condições de déficit hídrico. Este parâmetro permite avaliar a integridade das membranas celulares em baixos níveis de água (BAJJI *et al.*, 2002). O estresse hídrico severo afeta a integridade da membrana celular, o que resulta em uma perda de solução aquosa e afeta vários processos fisiológicos, incluindo a fotossíntese e a respiração.

Tabela 11: Teor de Malondialdeído (MDA) em folhas de cultivares de batata-doce submetidos à deficiência hídrica.

MDA (nmol.g MF ⁻¹)	Uruguaiana		Canadense	
	Irrigado	Estresse	Irrigado	Estresse
	1,932 Ab	3,058 Aa	2,098 Ab	2,562 Ba
CV (%)	11,0			

Letras maiúsculas comparam as cultivares e letras minúsculas comparam os regimes de irrigação dentro de cada cultivar. Letras iguais não apresentam diferença pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Resultados semelhantes foram encontrados em outras culturas, como os relatados por Silva (2010) que, trabalhando com cana-de-açúcar, encontrou um aumento médio de quase 39% nas concentrações de MDA nas plantas submetidas à seca. Sairam *et al.* (2002) relataram que o aumento na concentração de MDA em plantas estressadas pela deficiência hídrica pode indicar extensa peroxidação

lipídica dos componentes da membrana celular causada por espécies ativas de oxigênio produzidas pelo estresse oxidativo.

5.2.2 Conteúdo relativo de água (CRA)

Houve interação entre os fatores somente no último dia de análise (Tabela 12).

A cultivar Uruguaiana não apresentou alteração no controle relativo de água CRA na primeira semana de avaliação, aos 8 dias após o início da deficiência hídrica (Tabela 13). Já aos 15 dias e 21 dias de imposição do déficit hídrico, o CRA diminuiu em relação às plantas do tratamento controle.

Diferentemente, para a cultivar Canadense, as reduções no CRA das plantas submetidas à deficiência hídrica foram observadas em todas as épocas de avaliação (aos 8, 15 e 21 dias). Porém, ao final do período de estresse, o CRA das plantas da cultivar Canadense chegou ao valor crítico de 56%.

Tabela 12: Resumo da análise de variância com valores de P e coeficiente de variação para o conteúdo relativo de água (CRA).

CRA	
8 dias	
Irrigação (I)	0,15 ns
Cultivar (C)	0,00 **
I x C	0,36 ns
CV (%)	3,5
15 dias	
Irrigação (I)	0,00 **
Cultivar (C)	0,01 *
I x C	0,22 ns
CV (%)	2,3
21 dias	
Irrigação (I)	0,00 **
Cultivar (C)	0,00 **
I x C	0,00 **
CV (%)	3,2

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 < p < 0,05$); ns não significativo ($p \geq 0,05$)

O conteúdo relativo de água (CRA) pode ser estimado com precisão usando a relação entre a diferença de peso fresco e seco com a diferença de peso túrgido e seco, também conhecido como peso relativo dos tecidos (SMART; BINGHAM, 1974). A utilização de metodologia com hidratação rápida de tecido foliar têm

eliminado a fonte de erro de suas determinações, e sua alta correlação com o potencial de água da folha possibilita indiretamente a sua estimativa (CALBO et. al 2010).

Algumas plantas podem manter um conteúdo relativo de água adequado por um longo período de tempo sob exposição à seca, tendo uma maior probabilidade de sobrevivência e funcionamento metabólico contínuo e estudos tem demonstrado que cultivares com maior resistência à seca são capazes de manter suas células hidratadas sob condições de seca (HUANG, 2008).

Tabela 13: Conteúdo relativo de água (CRA) em folhas de cultivares de batata-doce aos 8, 15 e 21 dias após o início da imposição de deficiência hídrica.

<i>Uruguiana</i>						
	8 dias		15 dias		21 dias	
CRA	Irrigado	Estresse	Irrigado	Estresse	Irrigado	Estresse
	79,12 Aa	76,46 Aa	77,34 Aa	71,74 Ab	76,45 Aa	72,19 Ab
<i>Canadense</i>						
	8 dias		15 dias		21 dias	
CRA	Irrigado	Estresse	Irrigado	Estresse	Irrigado	Estresse
	74,24 Ba	69,06 Bb	73,56 Aa	70,16 Ab	71,54 Ba	56,12 Bb

Letras maiúsculas comparam as cultivares e letras minúsculas comparam os regimes de irrigação dentro de cada cultivar. Letras iguais não apresentam diferença pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

5.2.3 Teor de pigmentos foliares (clorofila total, carotenóides e antocianinas)

Ocorreu interação entre os fatores cultivar e regime hídrico nas análises de clorofila total, carotenóides e antocianinas (Tabela 14). O conteúdo total de clorofila reduziu significativamente em ambas as cultivares de batata-doce em resposta à deficiência hídrica. Os decréscimos foram de 17% para a cultivar Uruguiana e 43% para a cultivar Canadense (Tabela 16).

Tabela 14: Resumo da análise de variância com valores de P e coeficiente de variação para os parâmetros de pigmentos foliares (clorofila total, carotenóides e antocianinas).

	Clorofila Total	Carotenóides	Antocianinas
Irrigação (I)	0,00 **	0,00 **	0,00 **
Cultivar (C)	0,00 **	0,00 **	0,00 **
I x C	0,00 **	0,00 **	0,00 **
CV (%)	1,4	0,7	2,9

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 < p < 0,05$); ns não significativo ($p \geq 0,05$)

As plantas desenvolveram uma variedade de mecanismos para resistir ao déficit hídrico (DIAZ-ESPEJO *et al.*, 2007) e algumas plantas modificam a síntese de pigmentos fotossintéticos como mecanismos flexíveis de defesa (DOUPIS *et al.*, 2013).

A cultivar Canadense apresentou um aumento de 25% no teor de carotenóides nas plantas sob deficiência hídrica quando comparadas às plantas do tratamento controle. Os carotenóides são pigmentos vegetais que podem ajudar parcialmente as plantas a suportar as adversidades da seca (JALEEL *et al.*, 2009). Eles formam uma parte fundamental do sistema de defesa antioxidante da planta (JALEEL *et al.*, 2008). Estes resultados estão em acordo com os de Gajanayake e Reddy (2016), os quais também relataram em seus estudos com plantas de batata-doce sob estresse hídrico uma diminuição acentuada do conteúdo de clorofila e um aumento na síntese de carotenóides, considerando que essas respostas poderiam ser um mecanismo de defesa da planta sob condições limitadas de água para evitar danos ao fotossistema II. Os carotenóides são pigmentos lipossolúveis de cor vermelha, laranja e amarela, localizados em organelas subcelulares (cloroplastos e cromoplastos). Nos cloroplastos, se encontram associados principalmente à proteínas e são comumente mascarados pela presença de outros pigmentos clorofílicos dominantes. Eles atuam como pigmentos fotoprotetores na fotossíntese e como estabilizadores de membranas via eliminação de espécies reativas de oxigênio – EROS (KURZ; CARLE; SCHIEBER, 2008; GILL; TUTEJA, 2010).

Gajanayake e Reddy (2016) relataram em um estudo que o aumento na síntese de carotenoides nas folhas é um mecanismo de defesa da planta sob estresse hídrico, prevendo danos ao fotossistema II.

Quanto aos teores foliares de antocianinas, verifica-se que para ambas as cultivares houve aumento significativo de 48% na cultivar Uruguaiana e 51% na cultivar Canadense nas plantas submetidas à deficiência hídrica. As antocianinas, pigmentos mais abundantes da classe de flavonóides, são um subgrupo dos compostos fenólicos encontrados na natureza. Diferem dos demais flavonóides por possuírem uma carga positiva no anel (REVILLA *et al.* 1998; BARNES *et al.* 2009). O teor de antocianinas é aumentado nos tecidos vegetais em resposta aos estresses hídrico, salino e por frio (PARIDA; DAS, 2005). Um maior conteúdo de antocianinas geralmente é correlacionado com uma maior resistência da planta à seca, desde que tais compostos fenólicos atuam como substâncias antioxidantes (HERNANDEZ *et al.*, 2006; RODZIEWICZ *et al.*, 2014).

Tabela 15: Teores de pigmentos (clorofila total, carotenóides e antocianinas) em folhas de cultivares de batata-doce submetidas à deficiência hídrica.

	<i>Uruguaiana</i>		<i>Canadense</i>	
	Irrigado	Estresse	Irrigado	Estresse
Clorofila total ($\mu\text{g L}^{-1}$)	17,52 Aa	14,43 Ab	12,30 Ba	6,98 Bb
Carotenóides ($\mu\text{g L}^{-1}$)	3,08 Ba	3,08 Ba	3,55 Ab	4,44 Aa
Antocianinas ($\mu\text{g}/100\text{g}$)	1,96 Ab	2,92 Aa	1,32 Bb	2,00 Ba

Letras maiúsculas comparam as cultivares e letras minúsculas comparam os regimes de irrigação dentro de cada cultivar. Letras iguais não apresentam diferença pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

5.2.4 Teor de carboidratos (açúcares solúveis totais) nas folhas e raízes

Houve interação entre os fatores cultivar e regime hídrico no teor de carboidratos tanto em folha como em raízes (Tabela 16). Observando-se os resultados de teores de açúcares solúveis totais nas folhas da batata-doce, observa-se que, em resposta ao déficit hídrico, houve uma diminuição de 19% na cultivar Canadense, porém na cultivar Uruguaiana não houve diferença estatística entre os tratamentos. Essa diminuição no teor de carboidratos pode estar relacionada à diminuição da clorofila e da atividade fotossintética.

Comparando-se as duas cultivares, verifica-se que o teor foliar de carboidratos é maior na cultivar Uruguaiana, em ambos os regimes de irrigação. Nos valores de carboidratos presentes nas raízes, verifica-se que as plantas da cultivar Uruguaiana apresentaram um aumento significativo de 34% em resposta ao déficit

hídrico. Portanto, é possível inferir que a manutenção do teor de carboidratos nas folhas se traduziu em maior disponibilidade de carboidratos para serem translocados às raízes. Ao contrário, na cultivar Canadense houve um declínio de 23% no teor de carboidratos da raiz das plantas submetidas à seca, como reflexo do menor teor de carboidratos nas folhas.

Porém, na comparação entre cultivares, é interessante citar que para a cultivar Canadense, mesmo com a redução de carboidratos nas raízes em decorrência do estresse, o valor encontrado foi quase 1/3 maior do que aquele observado na cultivar Uruguaiana sob estresse. Um estudo de Levitt (1980) demonstrou que, durante um déficit hídrico, os diversos ajustamentos fisiológicos da planta determinam as respostas adaptativas de ordem anatômica e morfológica, porém essas respostas sofrem variações de acordo com a espécie, a cultivar, o estado de desenvolvimento das plantas e duração com a intensidade do déficit hídrico.

Tabela 16: Teor de açúcares solúveis totais (AST) (mg g^{-1} de MS) em folhas e raízes de cultivares de batata-doce submetidas à deficiência hídrica.

	<i>Uruguaiana</i>		<i>Canadense</i>	
	Irrigado	Estresse	Irrigado	Estresse
AST na folha	65,43 Aa	64,24 Aa	61,07 Ba	49,34 Bb
AST na raiz	13,47 Bb	20,45 Ba	71,59 Aa	55,59 Ab
CV (%)				5,0
CV (%)				3,9

Letras maiúsculas comparam as cultivares e letras minúsculas comparam os regimes de irrigação dentro de cada cultivar. Letras iguais não apresentam diferença pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

5.3 Análises de Metabólitos Secundários e Atividade Enzimática

5.3.1 Atividade da enzima fenilalanina amônia-liase (PAL) e teor foliar de fenóis e flavonóides totais

Houve interação entre os fatores cultivar e regime hídrico para a atividade da enzima PAL, teor de fenóis e flavonóides (Tabela 17). Em ambas as cultivares de batata-doce houve redução significativa na atividade da enzima PAL em resposta à deficiência hídrica. Jeyaramraja *et al.* (2003), relataram em um estudo com chá preto que a atividade da fenilalanina amônia-liase diminuiu rapidamente quando o

estresse de seca continuou por 5 dias. No entanto, durante períodos prolongados de seca de até 10 dias, embora tenha sido observado um declínio na atividade da PAL, não houve variação significativa. A redução na atividade da PAL durante o estresse hídrico implica que ela é sensível ao teor de umidade do solo. Estes autores relataram uma forte correlação positiva entre o aumento do déficit de umidade do solo e a diminuição na atividade da PAL.

Tabela 17: Atividade da enzima Fenilalanina amônia-liase (PAL), teor de fenóis totais e teor de flavonóides totais em folhas de cultivares de batata-doce submetidas à deficiência hídrica.

	<i>Uruguaiana</i>		<i>Canadense</i>	
	Irrigado	Estresse	Irrigado	Estresse
PAL (kat s⁻¹ mg⁻¹ prot)	58,83 Ba	38,70 Ab	77,86 Aa	24,21Bb
Fenóis (µg.mL⁻¹)	322,20 Ab	353,35 Ba	325,46 Ab	468,10 Aa
Flavonóides (µg.mL⁻¹)	451,29 Bb	494,85 Ba	524,16 Ab	740,70 Aa
CV (%)	10,9			
CV (%)	3,0			
CV (%)	4,4			

Letras maiúsculas comparam as cultivares e letras minúsculas comparam os regimes de irrigação dentro de cada cultivar. Letras iguais não apresentam diferença pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Com relação aos teores foliares de compostos fenólicos totais, observa-se que para ambas as cultivares de batata-doce houve aumento significativo nas plantas quando submetidas à deficiência hídrica, porém o aumento foi consideravelmente mais expressivo na cultivar Canadense (44% de aumento, contra apenas 9,6% para a cultivar Uruguaiana). O mesmo tipo de resposta ocorreu em relação aos flavonóides, com aumento de 9,5% para a cultivar Uruguaiana e 41,2% na cultivar Canadense.

A biossíntese de compostos fenólicos sob condições estressantes é regulada pela alteração da atividade de enzimas chave da via metabólica de produção destes compostos, tais como a PAL e a CHS (chalcona sintase). A maior performance destas enzimas é também acompanhada pela regulação dos níveis de transcrição dos genes codificadores das principais enzimas participantes da via biossintética dos compostos fenólicos (SHARMA *et al.*, 2019; ZHOU *et al.*, 2019).

Os compostos fenólicos possuem em sua estrutura vários grupos benzênicos característicos, possuindo como substituintes grupamentos hidroxilas

(HERNÁNDEZ; PRIETO GONZÁLES, 1999). Esta classe de compostos apresenta uma grande diversidade e divide-se em flavonóides (polifenóis) e não-flavonóides (fenóis simples ou ácidos). Os átomos de hidrogênio dos grupos hidroxila adjacentes (orto-difenóis), as duplas ligações dos anéis benzênicos e a dupla ligação da função oxo (-C=O) de algumas moléculas de flavonóides garantem a esses compostos sua alta atividade antioxidante (RICE-EVANS; MILLER; PAGANGA, 1996). Por esta razão, um aumento na biossíntese e no acúmulo de compostos fenólicos frequentemente ocorre nos tecidos vegetais como uma reação ao estresse oxidativo celular gerado por fatores bióticos e abióticos (HERNANDEZ *et al.*, 2006; BETTAIEB *et al.*, 2011; RODZIEWICZ *et al.*, 2014). Sugere-se ainda que os compostos fenólicos do tipo flavonoides e não-flavonóides estejam envolvidos na manutenção do potencial osmótico em células vegetais sob condições de estresse hídrico (PARIDA *et al.*, 2007).

É possível inferir que a maior sensibilidade da cultivar Uruguaiana ao estresse hídrico pode estar relacionada à menor quantidade de fenóis e flavonoides presentes nas folhas, em comparação à cultivar Canadense.

A concentração fenólica nos tecidos da planta é um bom indicador para se avaliar o grau de tolerância ao estresse abiótico, variando consideravelmente entre as espécies e entre os tipos de fatores externos (SHARMA *et al.*, 2019). O conteúdo dos flavonóides do tipo kaempferol e quercetina foi aumentado em plantas de tomate sob estresse hídrico e esteve relacionado ao aumento da tolerância (SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ *et al.*, 2011).

Geralmente, existe forte correlação positiva entre a atividade da enzima PAL e o teor de compostos fenólicos em plantas (BETTAIEB *et al.*, 2011; ASKARI *et al.*, 2015). Neste estudo, o maior acúmulo de compostos fenólicos (fenóis totais, flavonoides totais e antocianinas) nas folhas de ambas as cultivares de batata-doce em resposta à deficiência hídrica, mesmo com a redução significativa da atividade da PAL, pode ser explicada pelas diferentes épocas de coleta de folhas para a realização das análises. Para as análises de compostos fenólicos, as folhas foram coletadas no final do experimento, não coincidindo portanto, com o pico de atividade da PAL, que ocorreu muito provavelmente durante o início do período de imposição do estresse hídrico.

5.4 Correlação de Pearson

Na Tabela 19 são apresentadas as análises de correlação, onde foram estabelecidas as correlações entre os parâmetros de temperatura foliar, análises fisiológicas (trocas gasosas, CRA, EUA, biomassa e área foliar), análises bioquímicas (MDA, pigmentos foliares e carboidrato) e análises de metabólitos secundários (atividade da PAL, fenóis totais e flavonóides) em plantas de batata-doce das cultivares Canadense e Uruguaiana em dois regimes de irrigação. No caso das medidas de trocas gasosas, potencial hídrico e conteúdo relativo de água (CRA), foram utilizados os valores das determinações realizadas na última avaliação (18º dia de imposição de deficiência hídrica). Para os demais parâmetros, não houve correlação significativa, e por esta razão os mesmos não são apresentados.

Os resultados demonstram que houve correlação negativa fraca entre a temperatura foliar com a fotossíntese ($r=-0,40$), transpiração ($r=-0,41$), condutância estomática ($r=-0,41$), massa seca de parte aérea ($r=-0,16$), área foliar ($r=-0,16$) e carboidratos da raiz ($r=-0,43$).

A atividade da enzima Fenilalanina amônia-liase (PAL) teve uma correlação negativa moderada com o conteúdo relativo de água ($r=-0,68$), teor de malondialdeído - MDA ($r=-0,68$), flavonóides ($r=-0,62$), antocianinas ($r=-0,62$) e clorofila total ($r=-0,60$), correlação fraca com carotenóides ($r=-0,47$) e forte com fenóis ($r=-0,82$).

O teor de carboidratos na folha da batata-doce apresentou uma correlação negativa moderada com a fotossíntese ($r=-0,61$), transpiração ($r=-0,60$), eficiência do uso da água - EUA ($r=-0,53$), massa seca de parte aérea ($r=-0,78$) e uma correlação negativa forte com teor de carotenóides ($r=-0,90$). Além disso, o carboidrato da folha mostrou correlação positiva moderada com concentração de dióxido de carbono (CO_2) intercelular - Ci ($r=0,61$), área foliar ($r=0,61$), uma correlação fraca com massa seca de raiz ($r=0,34$) e forte com a clorofila total ($r=0,81$).

Já em relação ao carboidrato na raiz, houve correlação positiva de moderada a forte com massa seca de parte aérea ($r=0,53$), carotenóides ($r=0,66$), concentração de dióxido de carbono (CO_2) intercelular - Ci ($r=0,74$), condutância estomática ($r=0,80$), transpiração ($r=0,87$) e eficiência do uso da água ($r=0,90$). Apresentou também correlação negativa fraca com fotossíntese ($r=-0,43$) e

moderada com área foliar ($r=-0,52$), antocianinas ($r=-0,69$), clorofila total ($r=-0,59$) e carboidrato da folha ($r=-0,52$).

A massa seca de parte aérea mostrou correlação positiva muito forte com fotossíntese ($r=0,95$), forte com carotenóides ($r=0,83$), moderada com transpiração ($r=0,51$), concentração de dióxido de carbono (CO_2) intercelular – Ci ($r=0,53$), e eficiência do uso da água - EUA ($r=0,48$); sendo fraca com condutância estomática ($r=0,22$) e teor de malondialdeído ($r=0,23$). Apresentou também uma correlação negativa de moderada a forte com massa seca de raiz ($r=-0,64$), área foliar ($r=-0,71$) e conteúdo relativo de água – CRA ($r=-0,86$).

A massa seca de raiz revelou correlação positiva moderada com área foliar ($r=0,58$), clorofila total ($r=0,60$), conteúdo relativo de água – CRA ($r=0,49$) e uma fraca com carboidrato de folha ($r=0,34$). Apresentou também correlação negativa moderada com antocianinas ($r=-0,50$), fenóis ($r=-0,48$), flavonóides ($r=-0,43$) e teor de malondialdeído –MDA ($r=-0,46$).

Analisando o conteúdo relativo de água - CRA observa-se correlação negativa fraca com fotossíntese ($r=-0,47$), transpiração ($r=-0,46$), carboidrato de raiz ($r=-0,47$), uma moderada com eficiência do uso da água – EUA ($r=-0,61$) e uma muito forte com teor de carotenóides ($r=-0,93$) e fenóis ($r=-0,94$). Houve também correlação positiva forte com clorofila total ($r=0,88$) e carboidrato da folha ($r=0,86$) e uma moderada com a enzima fenilalanina amônia-liase – PAL ($r=0,68$).

Em linhas gerais, os resultados de coeficiente de correlação indicam que o estresse por deficiência hídrica resultou em um maior acúmulo de compostos do metabolismo secundário nas folhas e diminuição nas variáveis de biomassa da planta (parte aérea e raiz). Com base nos resultados, é possível inferir que a tolerância da batata-doce à seca é provavelmente associada ao alto conteúdo de polifenóis nas folhas, havendo forte correlação negativa entre estes compostos antioxidantes e o teor de carboidratos nas folhas. Além disso, houve forte correlação positiva entre os teores de fenóis e flavonóides totais e a massa seca de parte aérea. Isto significa que, na fase fisiológica de tuberização das raízes de batata-doce, onde o crescimento vegetativo ocorre concomitantemente com a formação das raízes tuberosas, uma maior superfície fotossintetizante garante a produção de fotoassimilados para sustentar todos os drenos da planta.

Na comparação entre as duas cultivares estudadas, verifica-se que na Canadense as reduções observadas nos parâmetros de trocas gasosa, área foliar e

biomassa de parte aérea e raiz em resposta ao estresse hídrico foram menos acentuadas do que na cultivar Uruguaiana. Tal resposta esteve vinculada ao maior incremento da síntese de compostos fenólicos na folhas.

Tabela 18: Coeficiente de correlação (r) entre os, parâmetros de trocas gasosas, parâmetros bioquímicos e teor de metabólitos secundários em plantas de batata-doce.

	A	E	gs	Ci	EUA	MSPA	MSR	AF	CAR	ANT	CLO	CARB .F	CARB .R	FEN.	FLAV	PAL	CRA	MDA
A	-																	
E	0,95 **	-																
gs	0,74 **	0,81 **	-															
Ci	0,78 **	0,89 **	0,69 **	-														
EUA	0,14 ns	-0,05 ns	-0,10 ns	-0,10 ns	-													
MSPA	0,95 *	0,51 *	0,22 ns	0,53 *	0,48 *	-												
MSR	0,01 ns	0,02 ns	0,17 ns	0,06 ns	-0,31 ns	-0,64 **	-											
AF	-0,36 ns	-0,56 *	-0,19 ns	-0,42 *	-0,27 ns	-0,71 **	0,58 **	-										
CAR	0,68 **	0,60 *	0,26 ns	0,66 **	0,58 *	0,83 **	-0,32 ns	-0,63 **	-									
ANT	-0,75 **	-0,49 *	-0,66 *	-0,72**	0,03 ns	-0,04 ns	-0,50 *	-0,17 ns	-0,32 ns	-								
CLO	-0,48 *	-0,57 *	-0,18 ns	-0,51 *	-0,42 *	-0,86 ns	0,60 **	0,88 **	-0,85 **	-0,04 ns	-							
CARB .F	-0,61 *	-0,60 *	-0,26 ns	-0,61 *	-0,53 *	-0,78 **	0,34 *	0,61 *	-0,90 **	0,16 ns	0,81 **	-						
CARB .R	0,87 **	0,80 **	0,74 **	0,90 **	0,06 ns	0,53 *	-0,03 ns	-0,52 *	0,66 **	-0,69 **	-0,59 **	-0,52 *	-					
FEN.	0,31 ns	0,36 ns	-0,08 ns	0,32ns	0,65 **	0,78 **	-0,48 *	-0,66 **	0,86 **	0,12 ns	-0,83 **	-0,83 **	0,27 *	-				
FLAV	0,50 *	0,47*	0,09 ns	0,49 *	0,58 *	0,80 **	-0,43 *	-0,68 **	-0,47 *	-0,12 ns	-0,89 **	-0,86 **	0,53 *	0,91 **	-			
PAL	0,24 ns	0,06 ns	0,50 *	0,21 ns	-0,53 *	-0,49 *	0,56 **	0,51 **	-0,47 *	-0,62 **	0,60 *	0,53 **	0,22 ns	-0,82 **	-0,62 **	-		
CRA	-0,47 *	-0,46 *	-0,02 ns	-0,46 *	-0,61 *	-0,86 **	0,49 *	0,70 **	-0,93 **	0,04 ns	0,88 **	0,86 **	-0,47 *	-0,94 **	-0,94 **	0,68 **	-	
MDA	-0,27 ns	0,08 ns	-0,22 ns	-0,19 ns	-0,03 ns	0,23 **	-0,46 *	-0,57 *	0,04 ns	0,72 **	-0,45 *	-0,20 ns	-0,15 ns	0,34 ns	0,20 ns	-0,60 *	-0,23 ns	-

ns, * e ** - Coeficiente de correlação não significativo, e significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade. A – fotossíntese; E – transpiração; gs – condutância estomática; Ci - concentração de dióxido de carbono (CO₂) intercelular; EUA – eficiência do uso da água; MSPA – massa seca da parte aérea; MSR – massa seca de raiz; AF - área foliar; CAR – carotenóides; ANT – antocianinas; CLO – clorofila total; CARB. F – carboidrato em folhas; CARB. R – carboidrato em raiz; FEN – fenóis; FLAV – flavonóides; PAL – fenilalanina amônia-liase; CRA – conteúdo relativo de água; MDA – teor de malondialdeído.

6 CONCLUSÃO

Concluiu-se que a ocorrência de estresse hídrico durante a fase de tuberização das raízes em batata-doce resulta em reduções nas trocas gasosas e em menor número e massa seca de raízes tuberosas. A cultivar 'Canadense' apresenta maior tolerância ao estresse hídrico em comparação a cultivar 'Uruguaiana', apresentando menores porcentagens de redução nas trocas gasosas e nas massas secas de parte aérea e raiz. Tais respostas foram correlacionadas com o maior acúmulo foliar de carotenóides e de compostos fenólicos.

REFERÊNCIAS

- AGÜERA, F.; VILLALOBOS, F.J.; ORGAZ, F. Evaluation of sunflower (*Helianthus annuus*, L.) genotypes differing in early vigour using a simulation model. **European Journal of Agronomy**, v. 7, n. 1-3, p. 109-118, 1997.
- AKULA, R.; RAVISHANKAR, G. A. Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. **Plant signaling & Behavior**, v. 6, n. 11, p. 1720-1731, 2011.
- ANDERSEN, C.P. Source–sink balance and carbon allocation below ground in plants exposed to ozone. **New Phytologist**, v. 157, n. 2, p. 213-228, 2003.
- APOSTOLIDIS, E. *et al.* In vitro evaluation of phenolic-enriched maple syrup extracts for inhibition of carbohydrate hydrolyzing enzymes relevant to type 2 diabetes management. **Journal of Functional Foods**, v. 3, n. 2, p. 100-106, 2011.
- ASSIS, J.S. *et al.* Efeito da alta concentração de dióxido de carbono na atividade da PAL e no conteúdo fenólico no amadurecimento da fruta de cherimoya. **Biologia e Tecnologia Pós-Colheita**, v. 23, n. 1, p. 33-39, 2001.
- AZEVEDO, J. H. O. *et al.* Influência de lâminas de irrigação nos componentes de produção da bananeira. In: **CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM**. 2007.
- ATOUI, A. K. *et al.* Tea and herbal infusions: their antioxidant activity and phenolic profile. **Food Chemistry**, v. 89, n. 1, p. 27-36, 2005.
- BAJJI, M.; KINET, J-M.; LUTTS, S. The use of the electrolyte leakage method for assessing cell membrane stability as a water stress tolerance test in durum wheat. **Plant growth regulation**, v. 36, n. 1, p. 61-70, 2002.
- BAKER, N.R.; ROSENQVIST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of experimental botany**, v. 55, n. 403, p. 1607-1621, 2004.
- BASU, P. S.; SHARMA, A.; SUKUMARAN, N. P. Changes in net photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence in potato leaves induced by water stress. **Photosynthetica**, v. 35, n. 1, p. 13-19, 1998.
- BETTAIEB, I. *et al.* Drought effects on polyphenol composition and antioxidant activities in aerial parts of *Salvia officinalis* L. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 33, n. 4, p. 1103-1111, 2011.
- BHATTACHARYA, N.C. *et al.* Interação de CO₂ enriquecido e estresse hídrico na fisiologia e produção de biomassa em batata-doce cultivada em câmaras de topo aberto. **Plant, Cell & Environment**, v. 13, n. 9, p. 933-940, 1990.

- BILGER, W.; SCHREIBER, U.; BOCK, M. Determination of the quantum efficiency of photosystem II and of non-photochemical quenching of chlorophyll fluorescence in the field. **Oecologia**, p. 102- 425, 1995.
- BJÖRKMAN, O.; POWLES, S.B., Inhibition of photosynthetic reactions under water stress: interaction with light level. **Plant**. 161, 490–504, 1984.
- BOUDET, A.M. Evolution and current status of research in phenolic compounds. **Phytochemistry**, v. 68, p.2722–2735, 2007.
- BRITO, G. *et al.* Response of *Olea europaea* ssp. *maderensis* in vitro shoots exposed to osmotic stress. **Scientia Horticulturae**, v. 97, n. 3-4, p. 411-417, 2003.
- CALBO, A.G.; FERREIRA, M.D.; PESSOA, J.D.C. A leaf lamina compression method for estimating turgor pressure. **HortScience**, v. 45, n. 3, p. 418-423, 2010.
- COELHO, E.F.; COELHO FILHO, M.A.; OLIVEIRA, S.L. Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso de água. **Bahia Agrícola**, v. 7, n. 1, p. 57-60, 2005.
- CONCEIÇÃO, M. K.; LOPES, N. F.; FORTES, G. R. L. Análise de crescimento de plantas de batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam): cultivares abóbora e da costa. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 11, n. 3, p.273-278, 2005.
- DIAZ-ESPEJO, A.; NICOLAS, E.; FERNANDEZ, J.E. Evolução sazonal das limitações difusionais e capacidade fotossintética em azeitona seca. **Plant, Cell & Environment**, v. 30, n. 8, p. 922-933, 2007.
- DIXON, R. A. *et al.* Phytoalexin induction in French bean: intercellular transmission of elicitation in cell suspension cultures and hypocotyl sections of *Phaseolus vulgaris*. **Plant Physiology**, v. 71, n. 2, p. 251-256, 1983.
- DIXON, R. A.; PAIVA, N. L. Stress-induced phenylpropanoid metabolism. **The plant cell**, v. 7, n. 7, p. 1085, 1995.
- DOUPIS, G. *et al.* Water relations, physiological behavior and antioxidant defence mechanism of olive plants subjected to different irrigation regimes. **Scientia Horticulturae**, v. 153, p. 150-156, 2013.
- DUBOIS, M. *et al.* Determinação colorimétrica formulário Método de Açúcares e Substâncias relacionadas. **Nature**, v. 28, n. 3, p. 350-356, 1956.
- ECHER, F. R. **Nutrição e adubação de batata doce**. Presidente Prudente: Ed. Do Autor, p. 94, 2015.
- EDISON, S. *et al.* Sweetpotato in the Indian sub-continent. In: **The sweetpotato**. Springer, Dordrecht, 2009. p. 391-414.
- EMBRAPA. **A batata-doce ganha espaço à mesa no inverno, mas é preciso atenção ao sistema de produção da cultura**. 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/web/mobile/noticias>. Acesso em: 20 fev. 2018.

ERPEN, L. *et al.* Tuberização e produtividade de batata-doce em função de datas de plantio em clima subtropical. **Bragantia**, v. 72, n. 4, 2013.

FARIAS, C. H. A. *et al.* Eficiência no uso da água pela cana-de-açúcar no litoral paraibano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. **Anais [...]**. 2007.

FERNÁNDEZ, C. J.; MCINNES, K. J.; COTHREN, J. T. Water status and leaf area production in water-and nitrogen-stressed cotton. **Crop science**, v. 36, n. 5, p. 1224-1233, 1996.

FERRAND, E. S. S. **Certificações como uma estratégia para o desenvolvimento local: o caso da batata doce de Aljezur, IGP| Algarve–Portugal**. 2018. Tese (Doutorado). 2018.

FLEXAS, J. *et al.* Keeping a positive carbon balance under adverse conditions: responses of photosynthesis and respiration to water stress. **Physiologia Plantarum**, v. 127, n. 3, p. 343-352, 2006.

FRANCIS, F. J. Analysis of anthocyanins. **Anthocyanins as food colors**, Nova Iorque: Academic Press, 1982. v. 1, p. 182-205.

GAJANAYAKE, B.; REDDY, K. R. Sweetpotato responses to mid- and late-season soil moisture deficits. **Crop Science**, v.56, p.1865-1877, 2016.

GAJANAYAKE, B.; REDDY, K. R.; SHANKLE, M. W. Quantifying growth and developmental responses of sweetpotato to mid-and late-season temperature. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 5, p. 1854-1862, 2015.

GAN, R.Y. *et al.* Antioxidant activity and total phenolic content of medicinal plants associated with prevention and treatment of cardiovascular and cerebrovascular diseases. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 4, n. 22, p. 2438-2444, 2010.

GHASEMZADEH, A.; OMIDVAR, V.; JAAFAR, H.Z.E. Teor polifenólico e sua atividade antioxidante no extrato de folhas de batata-doce (*Ipomoea batatas*). **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 6, n.15, p. 2971-2976, 2012.

GILL, S. S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidan machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 48, n. 12, p. 909–930, dez. 2010.

GITZ III, D. C. *et al.* Effects of a PAL inhibitor on phenolic accumulation and UV-B tolerance in *Spirodela intermedia* (Koch.). **Journal of experimental botany**, v. 55, n. 398, p. 919-927, 2004.

GOBBO-NETO, L.; LOPES, N. P. Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. **Química Nova**, v. 30, n. 2, p. 374, 2007.

HAIMEIRONG; KUBOTA, F. The effects of drought stress and leaf ageing on leaf photosynthesis and electron transport in photosystem 2 in sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam.) cultivars. **Photosynthetica**, v.41, n.2, p.253-258, 2003.

HASLAM, E. Natural polyphenols (vegetable tannins) as drugs: possible modes of action. **Journal of Natural Products**, v. 59, n. 2, p. 205-215, 1996.

HEATH, R.L.; PACKER, L. Photoperoxidation in isolated chloro-plasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v.125, n.2, p.180-198, 1968.

HENDGES, F. B. *et al.* Avaliação enzimática e fisiológica de plântulas de milho submetidas à seca. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 4, n. 2, p. 52-63, 2015.

HERNÁNDEZ ÁNGEL, M.; PRIETO GONZÁLEZ, E. A. Plantas que contienen polifenoles: antioxidantes dentro del estilo de vida. **Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas**, v. 18, n. 1, p. 12-12, 1999.

HUANG, W.Y.; CAI, Y.Z.; ZHANG, Y. Natural phenolic compounds from medicinal herbs and dietary plants: potential use for cancer prevention. **Nutrition and Cancer**, v. 62, n. 1, p. 1-20, 2009.

HUBER, L. S.; RODRIGUES-AMAYA, D.B. Flavonois e flavonas: fontes brasileiras e fatores que influenciam a composição em alimentos. **Alimentação e Nutrição**, v.19, n.1, p.97-108. 2008.

HURA, T.; HURA, K.; GRZESIAK, S. Contents of total phenolics and ferulic acid, and PAL activity during water potential changes in leaves of maize single-cross hybrids of different drought tolerance. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v.194, p.104-112, 2008.

IEA. **Banco de dados Agregados**. 2016. Disponível em: <http://www.ciagri.iea.sp.gov.br/>. Acesso em: 05 jul. 2019.

IEA . **Banco de dados Agregados**. 2018. Disponível em: <http://www.ciagri.iea.sp.gov.br/>. Acesso em: 05 jul. 2019.

ISHIDA, H. *et al.* Nutritive evaluation on chemical components of leaves, stalks and stems of sweet potatoes (*Ipomoea batatas* poir). **Food Chemistry**, v. 68, n. 3, p. 359-367, 2000.

ISLAM, S. J. Sweetpotato (*Ipomoea batatas* L.) leaf: its potential effect on human health and nutrition. **Journal of Food Science**, v.71, n.2, p.13-21. 2006.

ISLAM, S. *et al.* Identification and characterization of foliar polyphenolic composition in sweetpotato (*Ipomoea batatas* L.) genotypes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.50, n.13, p.3718-22. 2002.

- ISLAM, M. S. *et al.* Effect of artificial shading and temperature on radical scavenging activity and polyphenolic composition in sweetpotato (*Ipomoea batatas* L.) leaves. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 128, n. 2, p. 182-187, 2003.
- JALEEL, C. A. *et al.* Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 11, n. 1, p. 100-105, 2009.
- JALEEL, C. A. I. *et al.* Alterations in morphological parameters and photosynthetic pigment responses of *Catharanthus roseus* under soil water deficits. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, v. 61, n. 2, p. 298-303, 2008.
- JASPERS, P.; KANGASJÄRVI, J. Reactive oxygen species in abiotic stress signaling. **Physiologia Plantarum**, v. 138, n. 4, p. 405-413, 2010.
- JEYARAMRAJA, P.R. *et al.* Alterações induzidas pelo estresse hídrico no solo em bioconstituintes determinando a qualidade do chá. **Jornal da Ciência da Alimentação e Agricultura**, v. 83, n. 12, p. 1187-1191, 2003.
- KARNA, P. *et al.* Polyphenol-rich sweet potato greens extract inhibits proliferation and induces apoptosis in prostate cancer cells in vitro and in vivo. **Carcinogenesis**, v. 32, n. 12, p. 1872-1880, 2011.
- KELEŞ, Y.; ÖNCEL, I. Response of antioxidative defence system to temperature and water stress combinations in wheat seedlings. **Plant Science**, v. 163, n. 4, p. 783-790, 2002.
- KUBOTA, F. *et al.* Efeitos do estresse hídrico e do envelhecimento foliar na fotossíntese foliar e no transporte de elétrons no fotossistema 2 em cultivares de batata doce (*Ipomoea batatas* Lam.). **Photosynthetica**, v. 41, n. 2, p. 253-258, 2003.
- KRAUSE, G. H.; WEIS, E1. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. **Annual review of plant biology**, v. 42, n. 1, p. 313-349, 1991.
- KURZ, C.; CARLE, R.; SCHIEBER, A. HPLC-DAD-MSn characterisation of carotenoids from apricots and pumpkins for the evaluation of fruit product authenticity. **Food Chemistry**, v. 110, n. 2, p. 522-530, 2008.
- LATTANZIO, V. *et al.* Relationship of secondary metabolism to growth in oregano (*Origanum vulgare* L.) shoot cultures under nutritional stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 65, n. 1, p. 54-62, 2009.
- LEBOT, V. Sweet potato. *In*: J.E. BRADSHAW (Ed.). **Root and tuber crops: handbook of plant breeding**. New York: Springer, 2010. p. 97–125.
- LEVINE, A. *et al.* H₂O₂ from the oxidative burst orchestrates the plant hypersensitive disease resistance response. **Cell**, v. 79, n. 4, p. 583-593, 1994.

LEVITT, J. Response of plants to environmental stress. In: **Water radiation, salt and other stress**. New York: Academic Press, 1980. 606 p.

LEWTHWAITE, S. L. *et al.* Sweet potato cultivar response to prolonged drought. **Agronomy New Zealand**, v. 42, p. 1-10, 2012.

LI, J. *et al.* Arabidopsis flavonoid mutants are hypersensitive to UV-B irradiation. **The Plant Cell**, v. 5, n. 2, p. 171-179, 1993.

LIU, F.; STÜTZEL, H. Biomass partitioning, specific leaf area, and water use efficiency of vegetable amaranth (*Amaranthus* spp.) in response to drought stress. **Scientia horticultrae**, v. 102, n. 1, p. 15-27, 2004.

LORENZI, H.; MATOS, F.A. **Plantas Medicinais no Brasil: nativas e exóticas cultivadas**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002.

LOU, H. R. *et al.* Rapid genetic transformation of sweetpotato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) via organogenesis. **African Journal of Biotechnology**, v. 5, n. 20, 2006.

MACHADO, E. C. *et al.* Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n.12, p. 1161-1170, 2005.

MEDEIROS, J. G.; PEREIRA, W.; MIRANDA, J. E. C. Análise de crescimento em duas cultivares de batata doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam). **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 2, n. 2, 1990.

MONTES, S.M.N.M. **Cultura da batata-doce: do plantio à comercialização**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2013. 80 p.

NACZK, M.; SHAHIDI, F. Extraction and analysis of phenolics in food. **Journal of Chromatography**, v. 1054, n. 1-2, p. 95-111, 2004.

NAGAI, M. *et al.* Sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) leaves suppressed oxidation of low density lipoprotein (LDL) in vitro and in human subjects. **Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition**, v. 48, n. 3, p. 203-208, 2011.

OH, M-M.; TRICK, HAROLD, N.; RAJASHEKAR, C.B. Metabolismo e antioxidantes secundários estão envolvidos na adaptação ambiental e tolerância ao estresse em alface. **Jornal de Fisiologia Vegetal**, v. 166, n. 2, p. 180-191, 2009.

OHASHI, Y. *et al.* Effects of drought stress on photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and stem diameter of soybean plants. **Biologia Plantarum**, v. 50, n. 1, p. 138-141, 2006.

PARIDA, A.K.; DAS, A.B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. **Ecotoxicological and Environmental Safety**, v.60, p.324–349, 2005.

PARIDA, A.K. *et al.* Alterations in photosynthetic pigments, protein and osmotic components in cotton genotypes subjected to short-term drought stress followed by recovery. **Plant Biotechnology Reports**, v.1, p. 37–48, 2007.

QUEIROGA, R. C. F. *et al.* Fisiologia e produção de cultivares de batata-doce em função da época de colheita. **Horticultura Brasileira**, v. 25, n. 3, 2007.

RAMOS, R. F. **Comparações produtiva, econômica e energética de sistemas convencional, orgânico e biodinâmico de cultivo de batata-doce (*Ipomoea batatas*)**. 84f. Dissertação (Mestre em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP, Botucatu, 2004.

RAVI, V. *et al.* Molecular physiology of storage root formation and development in sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.). *Journal of Root Crops*, v.35, p.1-27, 2009.
REDDY, K. Raja; HODGES, Harry F.; MCKINION, James M. Modeling temperature effects on cotton internode and leaf growth. **Crop Science**, v. 37, n. 2, p. 503-509, 1997.

REDDY, K.R.; KAKANI, V.G; HODGES, H.F. Exploring the use of environmental productivity index concept for crop production and modeling. *In*: L.R. Ahuja, *et al.*, (Eds.) **Response of crops to limited water: Understanding and modeling of water stress effects on plant growth processes**. Madison: ASA, CSSA, and SSSA, 2008. p. 387–410.

REVILLA, E.; RYAN, J-M.; MARTÍN-ORTEGA, G. Comparison of several procedures used for the extraction of anthocyanins from red grapes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 46, n. 11, p. 4592-4597, 1998.

RICE-EVANS, C. A.; MILLER, N. J.; PAGANGA, G. Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 20, n.7, p. 933-956, 1996.

RIVERO, R. M. *et al.* Resistance to cold and heat stress: accumulation of phenolic compounds in tomato and watermelon plants. **Plant Science**, v. 160, n. 2, p. 315-321, 2001.

RODZIEWICZ, P. *et al.* Influence of abiotic stresses on plant proteome and metabolome changes. **Acta Physiologiae Plantarum**, v.36, n.1, p. 1-19, 2014.

RUMBAOA, R. G. O.; CORNAGO, D. F.; GERONIMO, I. M. Phenolic content and antioxidant capacity of Philippine sweet potato (*Ipomoea batatas*) varieties. **Food Chemistry**, v. 113, n. 4, p. 1133-1138, 2009.

SAIRAM, R. K.; RAO, K. V.; SRIVASTAVA, G. C. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. **Plant Science**, v. 163, n. 5, p. 1037-1046, 2002.

SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, E. *et al.* Differential responses of five cherry tomato varieties to water stress: changes on phenolic metabolites and related enzymes. **Phytochemistry**, v. 72, n. 8, p. 723-729, 2011.

SANTOS, M. G. *et al.* Photosynthetic parameter and leaf water potential of five common bean genotypes under mild water deficit. **Biologia Plantarum**, Prague, v. 53, n. 2, p. 229-236, 2009.

SASEENDRAN, S.A. *et al.* **Simulações atuais de estresse por déficit hídrico em modelos de sistemas agrícolas selecionados**. Resposta das culturas à água limitada: Compreensão e modelagem dos efeitos do estresse hídrico nos processos de crescimento das plantas. 2008. p.1-38.

SAURE, M. C. Blossom-end rot of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.)-a calcium- or a stress-related disorder? **Scientia Horticulturae**, v. 90, n. 3-4, p. 193-208, 2001.

SHARKEY, T.D.; SCHRADER, S.M. High temperature stress. In: RAO, K.V.M.; RAGHAVENDRA, A.S.; Reddy, K.J. (Eds.). **Physiology and molecular biology of stress tolerance in plants**. Dordrecht: Springer, 2006. p.101-130.

SHARMA, A. *et al.* Castasterone attenuates insecticide induced phytotoxicity in mustard. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 179, p. 50-61, 2019.

SILVA, P. B. **Aspectos fisiológicos de seis genótipos de cana-de-açúcar submetidos a estresse hídrico**. 2010. 89 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2010.

SIMÕES, C. M. O. *et al.* **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. 6. ed. Porto Alegre: UFRGS; Florianópolis: UFSC, 2007.

AGRITEMPO. **Sistema de Monitoramento Agrometeorológico**. 2019. Disponível em: <https://www.agritempo.gov.br>. Acesso em: 25 set. 2019.

SMART, R. E.; BINGHAM, G. E.; Rapid Estimates of Relative Water Content. **Plant Physiology**, v. 53, p.258-260, 1974.

SOARES, I. M. *et al.* Conteúdo fenólico e atividade antioxidante de diferentes cultivares de *Ipomoea batatas* (L.) obtidas por melhoramento genético para produção industrial de etanol. **Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada**, v.35, n.3, p.479-488, 2014.

SOLECKA, D.; KACPERSKA, A. Phenylalanine ammonia-lyase activity in leaves of winter oilseed rape plants as affected by acclimation of plants to low temperature. **Plant Physiology and Biochemistry**, 1995.

SOUSA, C.M.M. *et al.* Fenóis totais e atividade antioxidante de cinco plantas medicinais. **Química nova**, v. 30, n. 2, p. 351-355, 2007.

SPENCE, J.A.; HUMPHRIES, E.C. Effects of moisture supply, temperature and growth regulators on photosynthesis of isolated root leaves of sweet potato *Ipomoea batatas*. **Annals of Botany**, v.36, p.115-121, 1972.

SUNG, F. J. M. The effect of leaf water status on stomatal activity, transpiration and nitrate reductase of sweet potato. **Agricultural Water Management**, v. 4, n. 4, p. 465-470, 1981.

STAGOS, D. *et al.* Correlation of total polyphenolic content with antioxidant and antibacterial activity of 24 extracts from Greek domestic Lamiaceae species. **Food and Chemical Toxicology**, v. 50, n. 11, p. 4115-4124, 2012.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TANASE, C.; BUJOR, O-C.; POPA, V.I. Phenolic Natural Compounds and Their Influence on Physiological Processes in Plants. *In: Polyphenols in plants*. 2019. p. 45-58.

TEOW, C. C. *et al.* Antioxidant activities, phenolic and β -carotene contents of sweet potato genotypes with varying flesh colours. **Food chemistry**, v. 103, n. 3, p. 829-838, 2007.

TRUONG, V-D. *et al.* Phenolic acid content and composition in leaves and roots of common commercial sweetpotato (*Ipomea batatas* L.) cultivars in the United States. **Journal of Food Science**, v. 72, n. 6, 2007.

TURNER, N. C. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. **Plant and Soil**, v. 58, n.1-3, p. 339-366, 1981.

VAN DEN BERG, H. *et al.* The potential for the improvement of carotenoid levels in foods and the likely systemic effects. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 80, n. 7, p. 880-912, 2000.

VAN HEERDEN, P. D. R.; LAURIE, R. Effects of prolonged restriction in water supply on photosynthesis, shoot development and storage root yield in sweet potato. **Physiologia Plantarum**, v. 134, n. 1, p. 99-109, 2008.

VILLAVICENCIO, L.E. *et al.* Temperature effect on skin adhesion, cell wall enzyme activity, lignin content, anthocyanins, growth parameters, and periderm histochemistry of sweet potato. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v.132, p.729-738, 2007.

VILLORDON, A.; LABONTE, D.R.; FIRON, N. Development of a simple thermal time method for describing the onset of morphoanatomical features related to sweet potato storage root formation. **Scientia Horticulturae**, v.121, p.374-377, 2009.

VILLORDON, A. *et al.* Development of a prototype Bayesian network model representing the relationship between fresh market yield and some agroclimatic variables known to influence storage root initiation in sweetpotato. **HortScience**, v. 45, n. 8, p. 1167-1177, 2010.

XU, L-K.; HSIAO, T.C. Eficiência de uso da água fotossintética prevista versus medida de plantios em ambientes de campo dinamicamente variáveis. **Jornal de Botânica Experimental**, v. 55, n. 407, p. 2395-2411, 2004.

WELLBURN, A. R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **Journal of Plant Physiology**, v. 144, n. 3, p. 307-313, 1994.

WILLIAMS, L. E.; ARAUJO, F. J. Correlations among predawn leaf, midday leaf, and midday stem water potential and their correlations with other measures of soil and plant water status in *Vitis vinifera*. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 127, n. 3, p. 448-454, 2002.

WOOLFE J. A. **Sweet potato: an untapped food resource**. Cambridge: Cambridge University Press, 1992. 643p.

WU, X. *et al.* Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacities of common foods in the United States. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, n. 12, p. 4026-4037, 2004.

YAO, X. *et al.* In vivo and in vitro antioxidant activity and α -glucosidase, α -amylase inhibitory effects of flavonoids from *Cichorium glandulosum* seeds. **Food Chemistry**, v. 139, n. 1, p. 59-66, 2013.

YOOYONGWECH, S. *et al.* Water-deficit tolerant identification in sweet potato genotypes (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) in vegetative developmental stage using multivariate physiological indices. **Scientia horticultrae**, v. 162, p. 242-251, 2013.

ZERO, V.M.; LIMA, S.L. Manejo e produtividade da cultura da Batata - doce (*Ipomoea batatas*) no município de Presidente Prudente - SP. **Energia na Agricultura**, v.20, p.94-117, 2005.

ZHANG, Z-F. *et al.* Purple sweet potato color attenuates oxidative stress and inflammatory response induced by d-galactose in mouse liver. **Food and Chemical Toxicology**, v. 47, n. 2, p. 496-501, 2009.

ZHOU, P. *et al.* Análise integrada de dados transcriptômicos e metabolômicos revela as vias metabólicas críticas envolvidas na biossíntese de polifenóis em *Nicotiana tabacum* sob estresse de refrigeração. **Biologia vegetal funcional**, v. 46, n. 1, p. 30-43, 2019.

ZUANAZZI, J.A.S., MONTANHA, J. A. Flavonoides. In: SIMÕES, C.M.O. *et al.* **Farmacognosia: da Planta ao Medicamento**. Porto Alegre: UFRGS . Florianópolis: UFSC, 2003. p.557-614.

ZUCKER, M. Induction of phenylalanine deaminase by light and its relation to chlorogenic acid synthesis in potato tuber tissue. **Plant Physiology**, v.40, n. 5, p.779,1965.