



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS GENÉTICOS
VEGETAIS**

RIVANI OLIVEIRA FERREIRA

**MECANISMOS FISIOLÓGICOS PORTA-ENXERTOS DE CITROS SOB
COPA DE LARANJA 'PÊRA' EM CONDIÇÕES DE DÉFICIT HÍDRICO**

Feira de Santana - BA
Março de 2019

RIVANI OLIVEIRA FERREIRA

**MECANISMOS FISIOLÓGICOS PORTA-ENXERTOS DE CITROS SOB
COPA DE LARANJA ‘PÊRA’ EM CONDIÇÕES DE DÉFICIT HÍDRICO**

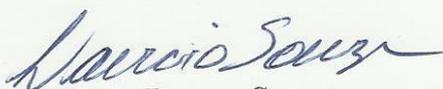
Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, da Universidade Estadual de Feira de Santana como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Recursos Genéticos Vegetais.

Orientadora: Dr.^a Marilza Neves do Nascimento - Uefs

Co-orientador: Dr.^a Luciano da Silva Souza - UFRB

Feira de Santana - BA
Março de 2019

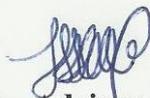
BANCA EXAMINADORA



Dr. Laércio Duarte Souza
(Embrapa Mandioca e Fruticultura)



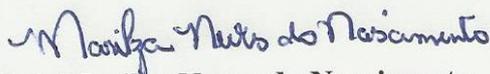
Dr. Mauricio Antonio Coelho Filho
(Embrapa Mandioca e Fruticultura)



Profa. Dra. Adriana Queiroz de Almeida
(Universidade Estadual de Feira de Santana)



Profa. Dra. Claudinéia Regina Pelacani Cruz
(Universidade Estadual de Feira de Santana)



Profª. Drª. Marilza Neves do Nascimento
(Universidade Estadual de Feira de Santana)
Orientadora e Presidente da Banca

Ficha Catalográfica – Biblioteca Central Julieta Carteado

F444m Ferreira, Rivani Oliveira
 Mecanismos fisiológicos porta-enxertos de citros sob copa de
 laranja 'Pêra' em condições de déficit hídrico./ Rivani Oliveira
 Ferreira, 2019.
 90f.: il.

 Orientadora: Marilza Neves do Nascimento
 Coorientador: Luciano da Silva Souza

 Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Feira de Santana.
 Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, 2019.

 1.Solo – Potencial mátrico. 2.Teor de clorofila. 3.Frutas cítricas.
 4.Enxertia. I.Nascimento, Marilza Neves do, orient. II.Souza, Luciano
 da Silva, coorient. III.Universidade Estadual de Feira de Santana.
 IV.Título.

CDU: 634.31

Maria de Fátima de Jesus Moreira – Bibliotecária – CRB5/1120

DEDICO

À minha filha Riley Ashiley

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a DEUS, por me guiar e proteger em todos os momentos da minha vida, mas principalmente por colocar em minha vida anjos em forma de amigos, sem os quais não poderia nem mesmo ter iniciado essa jornada no programa de Doutorado.

À Professora Dr^a. Marilza Neves do Nascimento, por ter me concedido a oportunidade de participar da sua equipe e desenvolver esse trabalho sob sua orientação, só tenho a agradecer. Muitíssimo obrigada.

Ao meu estimado mestre, amigo e um verdadeiro anjo da guarda, professor Dr. Luciano da Silva Souza. Agradeço pelos ensinamentos, pelos conselhos, pela amizade e todo apoio a mim concedido nessa jornada que foi o curso de Doutorado, desde o momento da seleção até o findar desse processo com a defesa da tese, o meu eterno e sincero agradecimento.

A Felipe Silveira, pelo apoio e colaboração que destes na realização desse trabalho. Confesso que, sem a sua ajuda, nada disso seria possível. Muitíssima obrigada meu amigo!

A Evellyn, Emanuela e David, pela colaboração nas coletas em Rio Real, sem as quais não poderia realizar esse trabalho, o meu sincero agradecimento.

A Uasley e todos os funcionários do Horto Florestal, pelo apoio na realização do meu trabalho – vocês foram essenciais –, meu muito obrigada.

A Tamara Tanan, por ser esse anjo de pessoa, sempre disposta a ensinar e contribuir no que fosse necessário, aprendi muito contigo. Muito obrigada.

Ao meu esposo Carlo Alberto, pelo apoio e cuidado com nossa filha, nos momentos em que precisei me afastar. Só tenho a agradecer eternamente.

À minha família, pelo apoio inestimado nesse trabalho.

À Professora Lia, pelo apoio na realização desse trabalho, pelas dicas e concessão de aparelhos que foram essenciais no desenvolvimento desse trabalho.

A Marília, por todo apoio e colaboração na organização dos materiais que necessitei. Não tenho palavras para expressar o meu agradecimento.

À Embrapa Mandioca e Fruticultura, nas pessoas do Pesquisador Dr. Orlando Sampaio Passos e do Auxiliar Técnico Antônio Araújo dos Santos, pela produção das mudas utilizadas no capítulo 1 deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001.

A todos o meu eterno e mais profundo agradecimento. Obrigada!

RESUMO

As áreas produtoras de citros na Bahia estão distribuídas predominantemente na zona dos Tabuleiros Costeiros, que se caracteriza por apresentar uma má distribuição de chuvas ao longo do ano. Dentre as alternativas para lidar com essa característica climática, encontra-se o uso de combinações copa porta-enxertos mais tolerantes ao déficit hídrico. Diferentes atributos podem ser usados como indicativo da maior ou menor resistência das plantas ao déficit hídrico, incluindo a determinação do ponto de Murcha fisiológico da espécie, bem como de atributos fotossintéticos. Assim, o presente trabalho buscou compreender as respostas fisiológicas de diferentes porta-enxertos de citros, enxertados sob copa de laranja ‘Pêra’ frente a variação de umidade no solo. A pesquisa constou em duas partes, uma realizada em casa de vegetação, na unidade experimental da Uefs, no Horto florestal e a outra na Fazenda Lagoa do Coco, Município de Rio Real-BA, em uma quadra experimental formada por um pomar de citros, implantado em Argissolo Amarelo Distrocoeso. Em ambos os experimentos foram avaliadas a copa de laranja ‘Pêra’, enxertada em limão ‘Cravo Santa Cruz’, limão ‘Volkameriano’, tangerina ‘Sunki Tropical’, tangerina ‘Cleópatra’ e citradarin Índio (‘TSK x TRENG 256’). Na casa de vegetação, o experimento constou da determinação do ponto de murchamento fisiológica por dois métodos, o convencional proposto por Briggs & Shantz, (1912) e outro usando o método por rega. Na Fazenda Lagoa do Coco, o experimento constou do monitoramento de água no solo, a partir da reflectometria no domínio do tempo-TDR com sondas em cinco profundidades, avaliação mensal das taxas fotossintéticas utilizando o infra-red gas analyzer (IRGA), o potencial hídrico das folhas usando a câmara de Sholander em ramos colhidos no terço médio da planta no horário de ante-manhã e o teor de clorofila determinado por dois métodos: aparelho portátil clorofilômetro, modelo da Falker e o método direto, usando Dimetilsulfóxido-DMSO como extrator e leitura pelo espectrofotômetro em dois comprimentos de onda 649 e 665 nm. Os valores mínimos de água no ponto de murchamento permanente foi observado no limão volkameriano ($0,0371 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), o qual apresentou também valores elevados nas taxas fotossintéticas sendo C_i , g_s e A ($102,11 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; $54,11 \text{ mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e $10,13 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) respectivamente, indicando se tratar de um porta-exerto apto a situações deficit hídrico. Os valores de correlação entre os teores de clorofila pelo método direto e indireto apontaram correlações superiores a 0,80 para $chl\ a$ e total e acima de 0,47 para $chl\ b$, indicando o uso do aparelho nas análises de clorofila em citros.

Palavras-Chave: potencial mátrico do solo; ponto de murchamento permanente; teor de clorofila; Tabuleiros Costeiros; fotossíntese

ABSTRACT

Citrus producing areas in Bahia are predominantly distributed in the Coastal Trails zone, which is characterized by a poor distribution of rainfall throughout the year. Among the alternatives to deal with this climatic feature is the use of tree crown combinations that are more tolerant to water deficit. Different attributes can be used as indicative of the greater or lesser resistance of the plants to the water deficit, including the determination of the physiological Murcha point of the species, as well as photosynthetic attributes. Thus, the present work sought to understand the physiological responses of different citrus rootstocks, grafted under "Pêra" orange cup in front of the soil water restriction. The research consisted of two parts, one in a greenhouse, in the experimental unit of Uefs, in the Horto Florestal and the other in the Fazenda Lagoa do Coco, in the municipality of Rio Real-BA, in an experimental block formed by a citrus orchard, deployed in Distrocoeso Yellow Argissolo. In both experiments the 'Pêra' orange cup was grafted on 'Cravo Santa Cruz' lemon, 'Volkameriano' lemon, 'Sunki Tropical' tangerine, 'Cleopatra' tangerine and Citradarin Índio ('TSK x TRENG 256'). In the greenhouse, the experiment consisted of the determination of the physiological wilting point by two methods, the conventional one proposed by Briggs & Shantz, (1912) and another using the method by watering. At the Lagoa do Coco Farm, the experiment consisted of soil water monitoring, from time-reflectometry-TDR with probes at five depths, monthly evaluation of the photosynthetic rates using the infra-red gas analyzer (IRGA), the potential and the chlorophyll content determined by two methods: a portable chlorophyllometer apparatus, a Falker model and the direct method, using Dimethylsulfoxide-DMSO as an extractor, using the Sholander chamber on branches harvested in the middle third of the plant in the early morning hours and the chlorophyll content determined by two methods: and reading by the spectrophotometer at two wavelengths 649 and 665 nm. The minimum values of water at the permanent wilting point were observed in the volcanic lemon (0.0371 m³m³), which also showed high values at the photosynthetic rates being C_i, g_s and A (102.11 μmol m⁻² s⁻¹; , 11 mmol of H₂O m⁻² s⁻¹ and 10,13 μmol of CO₂ m⁻² s⁻¹), respectively, indicating that it is suitable for water deficit situations. The correlation values between chlorophyll content by direct and indirect method showed correlations higher than 0.80 for chl a and total and above 0.47 for chl b, indicating the use of the apparatus in the analysis of chlorophyll in citrus.

Keywords: soil matric potential; permanent wilting point; chlorophyll content; Coastal Trails; photosynthesis

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	11
CAPÍTULO 1: Ponto de murchamento permanente em diferentes combinações copa/porta-enxerto de citros a partir de dois métodos.....	34
1.1 Introdução.....	34
1.2 Material e Métodos	36
1.3 Resultados e discussão	39
1.4 Conclusões	42
1.5 Referências	42
CAPÍTULO 2: Taxa fotossintética em diferentes combinações copa/porta-enxerto de citros	45
1.1 Introdução	46
1.2 Material e Métodos	48
1.3 Resultados e discussão	53
1.4 Conclusões	61
1.5 Referências	62
CAPÍTULO 3: Teor de clorofila e Índice de clorofila Falker em diferentes porta-enxerto de citros	66
1.1 Introdução	66
1.2 Material e Métodos	68
1.3 Resultados e discussão.....	70
1.4 Conclusões	75
1.5 Referências	76
CONCLUSÃO GERAL.....	79

ANEXO	81
--------------------	-----------

INTRODUÇÃO

A produção de citros tem uma grande importância na economia brasileira, com destaque para a produção de laranja in natura em que o Brasil respondeu por 34% da produção mundial (NEVES e TROMBIN, 2017). Na Bahia, quarto maior produtor de citros no território brasileiro (IBGE, 2017), esse setor agrícola apresenta questões que comprometem a produção, dentre elas prevalecem as condições climáticas, caracterizadas pela má distribuição de chuvas ao longo do ano, fator que imprime uma situação de vulnerabilidade às plantas ao estresse por déficit hídrico, em boa parte do ano.

O déficit hídrico no solo, afeta as atividades fisiológicas da planta, levando à redução da assimilação de CO₂, aumento da resistência estomática, redução da transpiração e conseqüentemente redução do crescimento da cultura (COELHO FILHO et al., 2011). De acordo com Flexas et al., (2004), o déficit hídrico é o fator que mais limita a produtividade agrícola, uma vez que reduz a fotossíntese.

Em situações de estresse hídrico, grande parte das plantas utiliza mecanismos fisiológicos de resistência e tolerância, os quais estão normalmente relacionados ao uso mais eficiente da água, redução da área foliar, controle da evapotranspiração e maior exploração do solo pelas raízes (NGUYEN et al. 1997). O mecanismo de influxo de água, a partir do acúmulo de solutos na célula, favorecendo a redução do potencial osmótico, pode ser uma alternativa adicional usada pelas plantas (ZHANG *et al.*, 1999), para a tolerância.

Outro aspecto, é que as plantas cultivadas podem evitar a desidratação mediante uma maior absorção de água do solo e também pela capacidade de reter mais água na célula (BLUM, 2005). Esses e outros mecanismos de tolerância à seca é que possibilitam a manutenção das atividades metabólicas das plantas, às vezes com reduzido conteúdo de água em seus tecidos (VERSLUES et al., 2006).

Diferentes estudos têm buscado estabelecer o melhor porta-enxerto de citros para as condições de deficiência hídrica. Pesquisando alguns porta-enxertos, Nascimento (2010) concluiu que os genótipos 4 (LVK x LCR 018), 11 (TSKFL x CTTR 017), 16 (Citrange), 017 (TSKFL x CWEB 004) e 25 (limoeiro Cravo Santa Cruz) foram os que demonstraram maior tolerância ao estresse hídrico, em função da maior relação raiz/parte aérea. Suassuna et al. (2012), avaliando a produção de fitomassa de porta-enxertos de citros submetidos ao estresse hídrico, verificaram que o

genótipo ‘TSKFL x CTTR-017’ foi o que apresentou maior capacidade de adaptação ao déficit hídrico.

Ao avaliar o comportamento fisiológico de combinações copa porta-enxerto de citros sob estresse por déficit hídrico, Brito et al. (2012) verificaram que os melhores desempenhos fotossintéticos, bem como a melhor eficiência no uso da água foram apresentados pela combinação do pomeleiro ‘Star Ruby’ com limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ sendo a combinação mais indicada para ambientes com restrição hídrica.

Considerando que o déficit hídrico tem grande influência na redução da fotossíntese e que esta é responsável pela produção primária de carboidratos, que serão utilizados no crescimento e desenvolvimento das plantas, torna-se importante compreender o comportamento de diferentes porta-enxertos de citros, enxertados sob copa de laranjeira ‘Pêra’ frente às variações de umidade no solo em área de Tabuleiros Costeiros.

Esse tipo de estudo é importante para a escolha de combinações copa porta-enxerto de citros mais adequadas às condições de déficit hídrico, verificada em boa parte do ano nas regiões produtoras de citros da Bahia. A combinação entre copa porta-enxerto resulta em plantas com características fisiológicas específicas, cada qual com uma capacidade de resistir as mudanças ambientais, especificamente relacionada ao déficit hídrico.

REFERÊNCIAS

BLUM, A. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential—are they compatible, dissonant, or mutually exclusive?. **Australian Journal of Agricultural Research**, 2005, 56, 1159–1168.

BRITO, M. E. B.; SOARES, L. A. dos A.; LE, P. D.; LIMA, G. S. de; SÁ, F. V. da S.; MELO, A. S. de. Comportamento fisiológico de combinações copa/porta-enxerto de citros sob estresse hídrico. **Rev. Bras. Ciênc. Agrár.** Recife, v.7, suppl., p.857-865, 2012.

COELHO FILHO, M. A.; BASSOI, L. H.; ANGELOCCI, L. R.; COELHO, F. E.; PEREIRA, F. A. de C. Relação solo-planta-atmosfera. In: SOUSA, V. F. de; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M. & COELHO FILHO, M. A. **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Informação

FLEXAS, J.; BOTA, J.; LORETO, F.; CORNIC, G.; SHARKEY, T.D. Diffusive and metabolic limitations on photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. **Plant Biology**, Malden, v.6, p.1-11, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618#resultado> Acesso: 05 de Fev. 2018.

NASCIMENTO, A. K. S. do. **Tolerância de genótipos de citros ao estresse hídrico na fase de porta-enxerto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola - Universidade Federal de Campina Grande). Campina Grande – PB, 2010. 56fls.

NEVES, M. F. TROMPIN, V. G. **Anuário da citricultura (2017)**. São Paulo: CITRUSB, 2017. 60p.

NGUYEN, H. T.; BABU, R. C.; BLUM, A. Breeding for drought resistance in rice: physiology and molecular genetics considerations. **Crop Science**, v. 37, p. 1426-1437, 1997.

SUASSUNA, J. F.; FERNANDES, P. D.; NASCIMENTO, R. do; OLIVEIRA, A, C. M. de; BRITO, K. S. A. de & MELO, A. S. de. Produção de fitomassa em genótipos de citros submetidos a estresse hídrico na formação do porta-enxerto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.12, p.1305–1313, 2012.

VERSLUES, P. E. AGARWAL, M. KATIYAR-AGARWAL, S.; ZHU, J. ZHU, J-K. Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. **The Plant Journal**, v. 45, p. 523-539, 2006.

ZHANG, J.; NGUYEN, H. T.; BLUM, A. Genetic analysis of osmotic adjustment in crop plants. **Journal of Experimental Botany**, n. 50, p. 291–302, 1999.

REFERENCIAL TEÓRICO

1. Planta cítrica

A cultura dos citros é produzida em todo território brasileiro, porém 91,6% da produção está concentrada em cinco estados: São Paulo (74,5%), Minas Gerais (5,8%), Paraná (5,2%), Bahia (3,7%) e Sergipe (2,2%) (IBGE, 2017). A Bahia, quarto maior produtor nacional de laranja, é o maior produtor na Região Nordeste, com destaque para o município de Rio Real enquanto maior produtor da Bahia e da região Nordeste (IBGE, 2017).

A citricultura nordestina está predominantemente estabelecida na grande unidade de paisagem dos Tabuleiros Costeiros, ambiente caracterizado pela presença de solos quimicamente pobres, com pouca capacidade de armazenamento de água e a existência de horizontes coesos, fatores esses que, associados à má distribuição das chuvas em algumas regiões, submetem as plantas ao estresse por déficit hídrico (PEIXOTO, 2006; PEREIRA, 2012), visto que seu cultivo no Brasil ocorre predominantemente em condição de sequeiro (DONATO, et al., 2007).

Em citros, a rota fotossintética é do tipo C3, em que as plantas utilizam a Rubisco para carboxilar a ribulose difosfato-RuDP em nível de mesófilo foliar, produzindo como primeiro composto o ácido fosfoglicérico de três carbonos (3-PGA), daí o nome rota C3 (TAIZ e ZEIGER, 2013; VIEIRA et al., 2010). Desta forma, acredita-se que as plantas C3 que crescem em ambiente de altas temperaturas apresentam menor eficiência fotossintética do que as que vivem em ambientes amenos com temperaturas menores que 30°C (RIBEIRO et al., 2004).

Neste sentido, a produção de citros depende da disponibilidade de água dentro dos limites requerido pela cultura, o qual varia de 900 a 1200mm por ano, a depender dentre outros fatores, da demanda evaporativa, do tipo de solo e da combinação copa porta-enxerto (DONATO et al., 2007), bem como da temperatura, a qual deve estar entre 25 e 30°C (SIQUEIRA e SALOMÃO, 2016). Assim, os fatores que mais afetam o crescimento e produtividade dos citros em ambientes tropicais, é a temperatura e a disponibilidade hídrica (COELHO et al., 2006; RIBEIRO e MACHADO, 2010).

Em pomares comerciais, a produção de mudas cítricas se dá por meio da enxertia, técnica que consiste na junção de duas partes: enxerto (copa) e porta-enxerto, combinando a gema de uma variedade de planta na base de outra; a nova planta gerada, apresenta características distintas daquelas de seus doadores (REZENDE et al., 2015)

A combinação copa porta-enxerto pode alterar diferentes características, sendo que a influência do porta-enxerto está relacionada com a absorção, síntese e utilização de nutrientes; transpiração e composição química das folhas; tolerância a pragas, doenças e estresses ambientais, como frio, salinidade e seca; dentre tantos outros aspectos (NEVES et al., 2010). Em situações de déficit hídrico, a interação entre porta-enxerto e copa pode influenciar no grau de tolerância à seca da cultivar copa (SOUZA et al., 2001).

As influências da copa sobre o porta-enxerto, embora menos visíveis, ocorrem no desenvolvimento do sistema radicular e relacionam-se com a tolerância ao frio, à seca, a pragas e a doenças (NEVES et al., 2010).

Desta forma, o conhecimento sobre o comportamento dos porta-enxerto, das copas e das combinações mais adequadas a cada situação é importante na escolha apropriada para cada ambiente, especialmente ambientes propícios ao estresse por déficit hídrico (CERQUEIRA et al., 2004). Desta forma, mais do que qualquer outra região, no Nordeste brasileiro, torna-se importante produzir novas combinações copa porta-enxerto, adaptadas às condições de déficit hídrico, bem como apresentando resistência a pragas e doenças.

2. Fisiologia das plantas

O crescimento das plantas depende da disponibilidade de diferentes recursos naturais e das características genéticas de cada espécie (ACKERLY et al., 2000). Para o seu desenvolvimento as plantas usam o sistema radicular para absorver água e nutrientes essenciais e a parte aérea para realizar a fotossíntese, produzindo açúcares importantes à custa da energia solar (REICHARDT e TIMM, 2014).

O mecanismo responsável pela síntese de compostos orgânicos nos seres fotoautotróficos é a fotossíntese (VIEIRA et al., 2013), processo em que ocorre a conversão de energia luminosa em energia química, utilizando como fonte de carbono o dióxido de carbono e a água como fonte de elétrons (MOREIRA, 2013).

O processo fotossintético pode ser dividido em duas etapas: uma dependente diretamente da luz – fase fotoquímica e outra não dependente – fase química. A primeira produz ATP e um transportador de elétrons reduzido ($\text{NADPH} + \text{H}^+$), a segunda usa o ATP, $\text{NADPH} + \text{H}^+$ e CO_2 para produzir açúcar (MOREIRA, 2013).

Diferentes fatores ambientais interferem na fotossíntese, dentre eles a temperatura, radiação, umidade e concentração de CO_2 ; sob altas temperaturas ocorre a inibição da fotossíntese e a estimulação da fotorrespiração devido a maior solubilidade do O_2 em relação ao CO_2 (MEDLYN et al., 2002). A variação de CO_2 pode ocorrer em resposta ao fechamento estomático, reduzindo assim o suprimento de CO_2 para as reações fotossintéticas (KLUGE et al., 2015).

Contudo, o déficit hídrico do solo e do ar tem grande destaque na limitação da fotossíntese (FARIA, et al., 2007) com reduções de 25% a 75% entre a estação úmida e seca em espécies semi-decíduas (EAMUS et al., 1999).

Diferentes trabalhos verificaram a relação entre a redução de água no solo e na planta e a redução das taxas fotossintéticas, Oliveira et al. (2002) em pupunheira, Costa e Marenco (2007) em pupunheira, Martinazzo et al. (2013) em ameixeira, Suassuna et al. (2014) em citros.

A condutância estomática é um parâmetro fisiológico relacionado à absorção de carbono, abertura e fechamento de estômatos, déficit de pressão de vapor, entre outros e, portanto, ligado diretamente a fotossíntese (ADDINGTON et al., 2004). A abertura estomática, responsável pela absorção de CO_2 , depende da demanda evaporativa da atmosfera e do estado hídrico da folha (NAVES-BARBIERO et al., 2000), indicando que a condutância é afetada pelo déficit de pressão de vapor e pela transpiração (YOUNG et al., 1997).

Diferentes estudos apontam relação entre a redução na condutância estomática e a indisponibilidade hídrica, Oliveira et al. (2002) em pupunheira; Oliveira et al. (2005) em feijão; Otto et al. (2013) em eucaliptos. Desta forma, a condutância estomática representa uma ferramenta importante na predição do uso da água e produção da fotossíntese líquida pela planta (MCFARLANE et al., 2004).

Em virtude da sua relação direta com a fotossíntese, a condutância estomática tem sido elemento de investigação em diferentes pesquisas. Suassuna et al. (2014), ao avaliar diferentes porta-enxertos de citros submetido ao déficit hídrico, verificaram que

os porta-enxerto LCRSTC’, ‘TSKFL x CTC25-010’, ‘TSKFL x CTTR-017’, ‘CTSW’ e ‘LVK não tiveram a condutância afetada, atribuindo tal resultado a um ajustamento fisiológico, concluído se tratar de genótipos mais eficientes. Pereira et al. (2015) ao analisar variedades de cana-de-açúcar em sequeiro, também verificaram redução estomática de até 62% e da fotossíntese de 33%.

O Déficit de Pressão de vapor – DPV, entre a folha e o ar, é controlada pela diferença de pressão de saturação de água dentro da folha e a umidade que circunda a folha (TAIZ e ZEIGER, 2013), sendo esse processo importante na condutância estomática (STRECK, 2003). Rodrigues et al. (2011) verificaram uma forte dependência da condutância estomática com o DPV em ecossistemas de manguezal, com correlação em torno de 0,99 entre esses parâmetros.

A umidade do ar é fator determinante no DPV e, portanto, no controle de abertura e fechamento estomático, resultando em alterações nos diferentes parâmetros fotossintéticos (BARNARD e RYAN, 2003). O fechamento estomático em virtude do aumento do DPV, é importante para que a planta evite uma perda excessiva de água, uma vez que nessas condições a perda de água pode ser 50 vezes maior do que a assimilação de CO₂ (TAIZ E ZEIGER, 2013). Desta forma, o conhecimento sobre o mecanismo de absorção de carbono pelas plantas em ambientes sujeitos a déficit hídrico, torna-se uma variável importante na escolha de espécies mais apropriadas às condições do ambiente (NGUGI et al., 2004).

A redução na disponibilidade hídrica também converge para decréscimos na assimilação de CO₂ e, portanto, da fotossíntese (GUARDA e CAMPOS, 2014). A taxa de assimilação líquida de carbono é resultado das características bioquímicas, fisiológicas e morfológicas da maquinaria fotossintética (LUCIA et al, 2003), as quais estão sujeitas a mudanças em função das condições ambiente, tais como irradiância, temperatura e suprimento de água (MOHOTTI e LAWLOR, 2012; GUARDA e CAMPOS, 2014).

Em geral, a irradiância afeta a fotossíntese de forma linear, em que o decréscimo da radiação resulta na redução da taxa de fotossíntese líquida das plantas, podendo chegar a valores negativos (LARCHER, 2000). Oscilações na temperatura tem grande influencia na fotorrespiração, afetando assim a taxa fotossintética; por fim, a redução na disponibilidade hídrica, leva ao fechamento estomático, reduzindo assim a assimilação líquida de CO₂ (GUARDA e CAMPOS, 2014). Essa relação entre redução da água

disponível e assimilação de carbono foi verificada por Campelo et al (2015) em espécies florestais.

A redução na taxa de assimilação líquida de CO₂, leva a diminuição na concentração interna de CO₂ (C_i) no mênófilo foliar, em resposta ao fechamento estomático (JADOSKI et al. 2005). Ferraz et al. (2012) verificaram ao longo do dia que os horários de redução da concentração interna de carbono em feijoeiro eram coincidentes aos mesmos horários de redução da assimilação líquida de CO₂, os quais ocorriam nos períodos de maior irradiação solar e maior temperatura. Silva et al. (2015) verificaram ainda a relação direta entre a disponibilidade de água e a C_i, em plantas de berinjela.

Um parâmetro fisiológico extremamente relacionado à disponibilidade de água às plantas e a fotossíntese é a transpiração, a qual consiste na perda de água em forma de vapor, governada pela diferença de pressão ou concentração de vapor de água entre a planta e o meio externo (VIEIRA et al., 2013), trata-se portanto, de um processo difusional, importante no movimento de nutrientes e água do solo para o interior da planta (KERBAUY, 2009).

Cerca de 97% da água absorvida pelas plantas são perdidos na transpiração (TAIZ e ZEIGER, 2013). Essa perda de água depende de dois fatores: 1. Gradiente de pressão ou concentração de vapor de água dos espaços aéreos da folha para o ar externo; 2. Resistência à difusão do vapor de água em direção ao ar externo (resistência dos espaços intercelulares, poro estomático e camada limite de ar) (VIEIRA et al., 2013). Em situações de déficit hídrico, ocorre a redução na transpiração como resultado do fechamento estomático (RONCHI et al., 2015; PELOSO et al., 2017). Campelo et al. (2015) verificaram a redução na transpiração em espécies florestais no período seco, indicando a influência da disponibilidade hídrica nesse parâmetro, resultante do fechamento estomático.

Além disso, a diferença entre a pressão de saturação de água dentro da folha e a umidade que circunda a folha são responsáveis pelo controle do déficit de pressão de vapor - DPV (TAIZ e ZEIGER, 2013), sendo esse processo de grande importância na condutância estomática (STRECK, 2003). Rodrigues et al. (2011) verificaram uma forte dependência da condutância estomática com o DPV em ecossistemas de manguezal, com correlação em torno de 0,99 entre esses dois parâmetros.

A umidade do ar é fator determinante no DPV e, portanto, no controle de abertura e fechamento estomático, resultando em alterações nos diferentes parâmetros fotossintéticos (BARNARD e RYAN, 2003). O fechamento estomático em virtude do aumento do DPV, é importante para que a planta evite uma perda excessiva de água, uma vez que nessas condições a perda de água pode ser 50 vezes maior do que a assimilação de CO₂ (TAIZ e ZEIGER, 2013). Desta forma, o conhecimento sobre o mecanismo de absorção de carbono pelas plantas em ambientes sujeitos a déficit hídrico, torna-se uma variável importante na escolha de espécies mais apropriadas às condições do ambiente (NGUGI et al., 2004).

2.1 Pigmentos fotossintéticos

Outro fator importante no processo fotossintético são os pigmentos clorofilados. Esses pigmentos são responsáveis pela conversão da radiação luminosa em energia química, sob a forma de adenosina trifosfato-ATP e nicotinamida adenina dinucleótido fosfato-NADPH, desta forma, são estreitamente associadas com a eficiência fotossintética das plantas e, conseqüentemente, ao seu crescimento e adaptabilidade a diferentes ambientes (GUARDA e CAMPOS, 2014).

Participam do processo fotossintético as clorofilas *a* e *b*, os carotenoides e as ficobilinas, sendo que a clorofila *b*, os carotenoides e as ficobilinas constituem os chamados pigmentos acessórios (SENIGE et al., 2006). Dentre os pigmentos, a clorofila *a* é a mais abundante, presente em todos os eucariontes fotossintetizantes e cianobactérias (MARTINS, 2011).

De acordo com Gonçalves et al. (2010) o déficit hídrico é um dos principais fatores que afeta a clorofila, podendo levar à perda do conteúdo de pigmentos presentes nas folhas e modificar o ciclo das plantas, por isso, sua quantificação em espécies submetidas ao déficit hídrica pode ser uma ótima ferramenta na seleção de genótipos ao déficit hídrico.

As clorofilas são responsáveis pela absorção da energia provenientes da luz solar e sua transferência aos centros de reações presentes nas membranas dos tilacoides (TAIZ e ZEIGER, 2013). Existe dois centros de reação: (I) absorvendo energia em 680 nm e (II) outro a 700 nm, interagindo por meio de transportadores de elétrons (STREIT et al., 2005).

A quantificação dos teores de clorofila é feita normalmente por extração, usando diferentes solventes orgânicos como a acetona, o éter, o dimetilsulfóxido ou o metanol (CRUZ et al., 2007), seguida da determinação padrão, baseada na absorbância de luz pelos pigmentos, utilizando-se o espectrofotômetro (ARNON, 1949).

Contudo, foram desenvolvidos medidores portáteis que determinam os teores de clorofila, baseando-se nas características óticas das folhas (ARGENTA, et al., 2001). Esse método indireto calcula o teor de clorofila a partir da quantidade de luz transmitida pela folha em dois ou três comprimentos de onda (a depender da marca do aparelho) em diferentes absorbâncias, gerando um índice do clorofilômetro que corresponde a quantidade de clorofila *a* e *b* presente no vegetal (ARGENTA et al., 2001).

O Soil Plant Analysis Development (SPAD) é o aparelho mais conhecido e usado na maioria das pesquisas, até por ter sido um dos primeiros a ser introduzidos nessas análises; esse aparelho foi produzido pela Minolta, empresa Japonesa, e o mesmo possui diodos que emitem luz em comprimentos de onda de 650nm (vermelho) a 940nm (infravermelho) (BARBIERI JUNIOR et al., 2012). Outro aparelho lançado mais recentemente é o ClorofiLOG, produzido pela Falker Automação Agrícola, Brasil, utiliza fotodiodos emissores em três comprimentos de onda (FALKER, 2008), sendo dois com emissão dentro da banda do vermelho próximos aos picos de cada tipo de clorofila ($\lambda = 635$ e 660 nm) e um com emissão no infravermelho próximo ($\lambda = 880$ nm) (BARBIERI JUNIOR et al., 2012).

Pesquisas apontam boa correlação entre os teores de clorofila obtido pelo método direto, por meio da extração e leitura no espectrofotômetro com o Índice SPAD, Ferreira et al. (2006) avaliação de tomate; Jesus e Marengo (2008) em espécies frutíferas; Pôrto et al. (2011) em abobrinhas; Leonardo et al. (2013) em abacaxizeiro; Para o ClorofiLOG a diversidade de trabalhos é menor, porém já é possível encontrar alguns resultados, Barbieri Junior et al., (2012) na avaliação do gênero *Cynodon* spp.; Ferreira et al. (2018) na avaliação de combinações copa porta-enxerto de citros. Tanto os resultados do índice SPAD, quanto os do ClorofiLOG demonstram a possibilidade de uso dos aparelhos na avaliação fotossintética das plantas, sem grandes prejuízos nos resultados.

2.2 Relações hídrica na planta

A água é um elemento essencial na manutenção da integridade funcional e das atividades metabólicas de células vegetais e animais, constituindo de 80 % a 95% da massa fresca em vegetais vivos não lenhosos (VIEIRA, et al. 2013). Trata-se do elemento mais abundante das células vegetais vivas, participando dentre outras funções, na manutenção da turgescência, nas atividades metabólicas e principalmente na transpiração (VIEIRA et al., 2013).

Em função da sua natureza polar, a água apresenta a capacidade de dissolver a maior quantidade de substâncias em relação a outros solventes, sendo por isso considerada um solvente universal (PIMENTA, 2004), característica essa fundamental às plantas. Outras propriedades como alto calor específico (responsável por tornar a água uma boa reguladora térmica) e capilaridade (adesão, coesão e tensão, os quais permitem o movimento de água), são algumas das características da água importantes nas relações hídricas na planta (VIEIRA et al., 2013).

A água absorvida pelas células, gera no interior destas, uma força conhecida como turgor, a qual é importante em processos fisiológicos, como o alongamento celular, trocas gasosas nas folhas e transporte no floema (KERBAUY, 2009). O conteúdo de água na planta é avaliado em termos de potencial da água na célula vegetal (PIMENTEL, 2004), resultante da ação aditiva dos potenciais: $\Psi_{\text{célula}} = (\Psi_{\text{osm}} + \Psi_{\text{mat}} + \Psi_{\text{g}} + \Psi_{\text{p}})$, sendo: Ψ_{osm} , potencial osmótico, Ψ_{mat} o potencial mátrico, Ψ_{g} o potencial gravitacional e Ψ_{p} potencial pressão (VIEIRA et al., 2013).

O potencial osmótico diz respeito ao efeito dos solutos dissolvidos, os quais em grande quantidade, reduzem o potencial osmótico e aumenta este potencial quanto menor for a presença dos solutos; o potencial mátrico está relacionado à propriedade dos sólidos ou substâncias insolúveis que em contato com água pura ou solução aquosa atraem moléculas de água e diminuem o potencial da água, tendo mais efeito em solos com baixa umidade; o potencial gravitacional está relacionado à força da gravidade, sendo no entanto, quase sempre desprezada, pois tem importância insignificante sobre as raízes ou folhas; o potencial de pressão representa o potencial hidrostático, o qual dentro da célula tem um valor positivo e é considerado como a pressão de turgor (pressão de turgor resulta da água que chega ao protoplasto, pressionando-o contra a parede celular que resiste à expansão) (KERBAUY, 2009).

Assim, normalmente o potencial de água na célula vegetal é descrito a partir da equação simplificada (2) (PIMENTEL, 2004).

$$-\Psi_a \text{ (na planta)} = -\Psi_{osm} + \Psi_p \quad (2)$$

A diferença de potencial de água ou potencial hídrico entre a célula vegetal e o meio externo é responsável pelos processos de absorção da água ao nível das raízes, transpiração e, portanto, dos movimentos da água entre as células e o meio extracelular (CORREIA, 2014).

O movimento de água na planta pode ocorrer por: difusão, osmose ou fluxo de massa. A difusão é o movimento da água de uma região mais concentrada para outra de menor concentração, tratando-se de um movimento espontâneo e efetivo em curtas distâncias; a osmose é o movimento da água através de uma barreira seletivamente permeável, responsável pelo transporte de água a longa distância. O fluxo de massa é o movimento de água predominante no xilema, rota mais longa de transporte de água na maioria das plantas. O fluxo de massa é o movimento conjunto de moléculas em massa, geralmente em resposta a um gradiente de pressão (TAIZ e ZEIGER, 2013).

A maior parte da água absorvida pelas raízes é transportada pela planta e evaporada pela superfície, através do processo denominado transpiração (TAIZ e ZEIGER, 2013). A perda de água pela transpiração é governada pela diferença de pressão ou concentração de vapor de água entre a planta e o meio externo (VIEIRA et al., 2013), trata-se portanto, de um processo difusional, importante no movimento de nutrientes e água do solo para o interior da planta (KERBAUY, 2009).

Cerca de 97% da água absorvida são perdidos na transpiração (TAIZ e ZEIGER, 2013). Essa perda de água depende de dois fatores: 1. Gradiente de pressão ou concentração de vapor de água dos espaços aéreos da folha para o ar externo; 2. Resistência à difusão do vapor de água em direção ao ar externo (resistência dos espaços intercelulares, poro estomático e camada limite de ar) (VIEIRA et al., 2013).

2.3 Disponibilidade de água para as plantas

De maneira geral, a água, enquanto constituinte principal nas plantas, é um dos fatores ambientais que mais interfere no crescimento e desenvolvimento dos vegetais, visto sua importância em diferentes processos como a turgescência das plantas, transporte de nutrientes e ação como solvente de composto orgânicos; assim a água

configura-se como um limitador na produção agrícola em sequeiro (OLIVEIRA et al., 2009).

A água utilizada pelas plantas nas diversas atividades, inclusive na transpiração é proveniente do solo; obedecendo um gradiente de potencial hídrico entre solo-planta-atmosfera; a água é absorvida pelas raízes e translocadas até as folhas, onde é perdida para a atmosfera, estabelecendo uma coluna contínua de água entre os três sistemas (KERBAUY, 2009).

A água disponível às plantas, no solo, encontra-se entre a Capacidade de campo (CC) e o ponto de murramento permanente (PMP), sendo a CC o conteúdo de água no solo após a drenagem tornar-se insignificante e o PMP o limite mínimo de água a partir do qual as plantas não mais se recuperam quando submetidas a ambiente saturado por água (REICHARDT e TIMM, 2012).

Esses limites são influenciados por atributos físicos do solo, bem como podem diferir entre as culturas, em resposta aos mecanismos de adaptação existentes em cada espécie (KLEIN e LIBARDI, 2000; ALVES, 2010; SALVESTRO et al., 2012). A partir de alguns estudos, estabeleceu-se a tensão de 1,5 MPa como limite de água disponível no PMP (BRIGGS e SHANTZ, 1912; VEIHMEYER e HENDRIKSON, 1949; COELHO et al., 2014).

Atributos do solo como estrutura, textura e porosidade importantes na avaliação da água disponível, do movimento de água no solo e, conseqüentemente do potencial de água, uma vez que interferem na percolação e retenção de água no solo (KERBAUY, 2009).

A textura compreende a distribuição quantitativa de partículas minerais menores que 2mm, sendo dividida nas frações: areia, silte e argila, enquanto a estrutura, do ponto de vista da física do solo, refere-se ao arranjo e disposição das partículas, ambos os fatores são responsáveis pela formação do sistema poroso (LIER, 2010).

Em solos com predomínio de areia há maior quantidade de macroporos, facilitando a percolação de água, enquanto nos solos com predomínio argila há maior quantidade de microporos, proporcionando maior retenção de água (LIER, 2010).

Em regiões como o Nordeste brasileiro, o déficit hídrico em boa parte do ano, é responsável pela baixa produtividade de citros (PEIXOTO et al., 2006). O déficit

hídrico é o resultado da má distribuição das chuvas ao longo do ano, ocasionando longos períodos de escassez de água no solo, fator que leva às plantas a situação de estresse e, conseqüentemente ao comprometimento da produtividade e produção agrícola (COELHO et al., 2006).

Para adaptar ou superar longos períodos de estiagem, as planta pode utilizar-se de mecanismos de resistência ou tolerância a seca (BIACHI, GERMINO e SILVA, 2016). Os mecanismos de resistência ou prevenção ao déficit hídrico estão associados à eficácia da planta em conservar sua hidratação, enquanto os mecanismos de tolerância atribuem à planta a capacidade de manter suas funções no estágio de desidratação, importante em situações de extrema escassez de água (BLUM, 2011).

Os mecanismos de prevenção ao déficit hídrico dizem respeito às mudanças na arquitetura da planta, fechamento estomático, aumento da densidade e comprimento de raiz, redução do crescimento e antecipação da abscisão de folhas, sendo esses mecanismos mais comuns no cenário agrícola (TARDIEU, 2012).

A determinação do conteúdo de água no solo pode ser realizada a partir de métodos *in situ* ou em laboratório, os quais são normalmente classificados em métodos indiretos e diretos respectivamente (ASSIS, 2008). Dos métodos diretos o mais comum é o método gravimétrico, em que uma amostra de solo de massa conhecida é seca em estufa a 105 °C sendo repesada após a secagem para a determinação da massa final, a partir do qual é possível definir a umidade em base gravimétrica pela relação entre as massas de água e sólidos (DONAGEMA, 2011).

Nos métodos indiretos, a umidade é estipulada a partir da associação com alguma variável do solo (MIRANDA et al., 2007). A Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) e a Reflectometria no Domínio da Frequência (FDR) são algumas dessas técnicas, capazes de quantificar o conteúdo de água do solo, fornecendo leituras precisas, rápidas e em diferentes profundidades (SOUZA et al., 2013).

A água no solo é avaliada em termos de potencial hídrico, sendo potencial total de água no solo não saturado, resultado dos potenciais: gravitacional (profundidade), matricial (conteúdo de água) e osmótico (teor de solutos na solução do solo), no entanto, o potencial osmótico só tem importância em solos com elevado teor de sais (LIER, 2010).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACKERLY, D. D.; DUDLEY, S. A.; SULTAN, S. E.; SCHMITT, J. COLEMAN, J. S.; LINDER, C. R.; SANDQWIST, D. R.; GEBER, M. A.; EVANS, A. S.; DAWSON, T. E.; LECHOWICH, M. J. The evolution of plant ecophysiological traits: recente advances and future directions; **BioScience**, Washington, v. 50, n 11, p. 979-995, 2000.

ADDINGTON, R. N.; MITCHELL, R. J.; OREN, R.; DONOVAN, L. A. Stomatal sensitivity to vapor pressure deficit and its relationship to hydraulic conductance in *Pinus palustris*. **Tree Physiology** Volume 24, 2004. Available from: DOI: 10.1093/treephys/24.5.561 [accessed Sep 03 2018].

ALVARENGA, I.C.A.; QUEIROZ, G.A.; HONÓRIO, I.C.G.; VALADARES, R.V.; MARTINS, E. R. Prolina livre em alecrim-pimenta sob estresse hídrico antes da colheita. **Rev. Bras. Pl. Med.**, Botucatu, v.13, especial, p.539-541, 2011.

ALVES, W. W. de A., OLIVEIRA, F. A. de; AZEVEDO, C. A. V. de; ALBUQUERQUE, J. H. de. Métodos de determinação e níveis de água disponível no solo: efeito sobre a cultura do algodoeiro herbáceo. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 4, p. 91-96, out.-dez., 2010.

ARGENTA, G.; DA SILVA, P. R. F.; BORTOLINI, C. G. et al. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.13, p.158-167, 2001.

ARNON, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, 24(1), 1-15. <https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1>

AZOOZ, M. M.; YOUSSEF, M. M. Evaluation of heat shock and salycilic acid treatments as inducers of drought stress tolerance in hassawi wheat. **American Journal of Plant Physiology**, v. 5, n. 2, p. 56-70, 2010.

BARBIERI JUNIOR, É.; ROSSIELLO, R. O. P. SILVA, R. V. M. M.; RIBEIRO, R. C. MORENZ, M. J. F. Um novo clorofilômetro para estimar os teores de clorofila em folhas do capim Tifton 85. **Ciência Rural**, Santa Maria (online), 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cr/2012nahead/a35512cr4895.pdf> acesso: em 10 de Out. 2017.

BARNARD, H.R.; RYAN, M.G. A test of the hydraulic limitation hypothesis in fast-growing *Eucalyptus saligna*. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v.26, n.8, p.1235-1245, 2003.

BEZERRA, J. F. R.; GUERRA, A. J. T.; RODRIGUES, S. C. Relações entre potencial matricial no solo e cobertura vegetal em uma estação. **Soc. & Nat.**, Uberlândia, ano 24 n. 1, 103-114, jan/abr. 2012.

BIANCHI, L.; GERMINO, G. H.; SILVA, M. de A. Adaptação das Plantas ao Déficit Hídrico (pdf). **Acta Iguazu**, Cascavel, v.5, n.4, p. 15-32, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/312119183_Adaptacao_das_Plantas_ao_Deficit_Hidrico. Acesso 15 de Jan. de 2018.

BLUM, A. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential—are they compatible, dissonant, or mutually exclusive?. **Australian Journal of Agricultural Research**, 2005, 56, 1159–1168.

BLUM, A. **Crop Plant Water Relations, Plant Stress and Plant Production** In: Plant Breeding for Water-Limited Environments. BLUM, A. (Ed.). Springer, p. 11- 45, New York, 2011.

BRIGGS, L. J.; SHANTZ, H. L. The wilting coefficient for different plants and its indirect determination. Washington, DC: **Department of Agriculture, Bureau of Plant Industries**, 1912. 83 p. (Bulletin, 30).

BRITO, M. E. B.; SOARES, L. A. dos A.; le, P. D.; LIMA, G. S. de; SÁ, F. V. da S.; MELO, A. S. de. Comportamento fisiológico de combinações copa/porta-enxerto de citros sob estresse hídrico. **Rev. Bras. Ciênc. Agrár.** Recife, v.7, suppl., p.857-865, 2012.

CAMPELO, D. de H.; LACERDA, C. F.; SOUSA, J. A.; CORREIA, D.; BEZERRA, A. M. E.; ARAÚJO, J. D. M. e NEVES, A. L. R. Trocas gasosas e eficiência do fotossistema II em plantas adultas de seis espécies florestais em função do suprimento de água no solo. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.39, n.5, p.973-983, 2015.

CERQUEIRA, E. C.; CASTRO NETO, M. T. de; PEIXOTO, C.P.; SOARES FILHO, W. dos S.; LEDO, C.A. da S.; OLIVEIRA, J.G. de. Resposta de portaenxertos de citros ao déficit hídrico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.26, p.515-519, 2004.

COELHO FILHO, M. A.; BASSOI, L. H.; ANGELOCCI, L. R.; COELHO, F. E.; PEREIRA, F. A. de C. Relação solo-planta-atmosfera. In: SOUSA, V. F. de; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M. & COELHO FILHO, M. A. **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Informação, 2011.

COELHO, E.F.; COELHO FILHO, M.A.; SIMÕES. W.L; COELHO, Y.S. Irrigação em citros nas condições do nordeste do Brasil. **Laranja**, Cordeirópolis, v.27, p. 297-320, 2006.

COELHO, J. B. M.; BARROS, M. de F. C.; BEZERRA NETO, e. SOUZA, R. Ponto de murcha permanente fisiológico e potencial osmótico de feijão caupi cultivado em solos salinizados. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.18, n.7, p.708–713, 2014.

CORREIA, S. Potencial hídrico. **Revista de Ciencia Elementar**, 2(01):0032, 2014.

COSTA, G. F. da e MARENCO R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta Amazonica**, VOL. 37(2) 2007: 229 – 234.

CRUZ, A.C.F.; SANTOS, R. P.; IAREMA, L.; FERNANDES, K. R. G.; KUKI, K. N.; ARAÚJO, R. F. e OTONI, W. C. Métodos comparativos na extração de pigmentos foliares de três híbridos de *Bixa orellana* L. **Revista Brasileira de Biociências**, v.5, Supl.2, p.777-779, 2007.

DALMAGO, G. A.; BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I. KRÜGER, C. A. M. B.; COMIRAN, F. e HECKLER, B. M. M. Retenção e disponibilidade de água às plantas, em solo sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.13, (Suplemento), p.855–864, 2009.

DONAGEMA, G.K.; CAMPOS, D.V.B. de; CALDERANO, S.B.; TEIXEIRA, W.G.; VIANA, J.H.M. (Org.). **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).

DONATO, S. L. R.; PEREIRA, C. S.; BARROS, Z. de J.; SIQUEIRA, D. L. de e SALOMÃO, L. C. C. Respostas de combinações de variedades copa e porta-enxerto de citros à deficiência hídrica (Nota). **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.42, n.10, p.1507-1510, out. 2007.

EAMUS, D., MYERS, B., DUFF, G. & WILLIAMS, D. 1999. Ecophysiological traits of deciduous and evergreen woody species in the seasonally dry tropics. **Tree Physiology** 14:11-16.

FALKER AUTOMAÇÃO AGRÍCOLA Ltda. **Manual do medidor eletrônico de teor clorofila (ClorofiLOG / CFL 1030)**. Porto Alegre: Falker Automação Agrícola. Revisão B, 2009.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. Ecofisiologia da Soja. Londrina: Embrapa CNPSO, 2007. 9p. (Circular Técnica, N. 48).

FERRAZ, R. L. de S.; MELO, A. S.; SUASSUNA, J. F.; BRITO, M. E. B. de; FERNANDES, P. D.; NUNES JÚNIOR, E. da S. Trocas gasosas e eficiência fotossintética em ecótipos de feijoeiro cultivados no semiárido. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 181-188, abr./jun. 2012.

FERREIRA, M. M. M.; FERREIRA, G. B.; FONTES, P. C. R.; DANTAS, J. P. Índice SPAD e teor de clorofila no limbo foliar do tomateiro em função de doses de nitrogênio e da adubação orgânica, em duas épocas de cultivo. **Revista Ceres**, vol. 53, núm. 305, enero-febrero, 2006, pp. 83-92 *Revista Ceres*, vol. 53, núm. 305, enero-febrero, 2006, pp. 83-92. Disponível em: Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=305226787012>. Acesso: 20 de Out. 2017.

FERREIRA, M. M. M.; FERREIRA, G. B.; FONTES, P. C. R.; DANTAS, J. P. Índice spad e teor de clorofila no limbo foliar do tomateiro em função de doses de nitrogênio e da adubação orgânica, em duas épocas de cultivo. **Revista Ceres**, vol. 53, núm. 305, enero-febrero, 2006, pp. 83-92. Disponível em: Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=305226787012>. Acesso: 20 de Out. 2017.

FERREIRA, R. O.; NASCIMENTO, M. N. do; SOUZA, L. da S.; SILVEIRA, F. G. F. da e SHIBATA, R. T. Comparison of Different Methods for Assessing Chlorophyll Content in Citrus. **Journal of Agricultural Science**; Vol. 10, No. 9; 2018.

FILIPPOU, P.; BOUCHAGIER, P.; SKOTTI, E.; FOTOPOULOS, V. Proline and reactive oxygen/nitrogen species metabolism is involved in the tolerant response of the

invasive plant species *Ailanthus altissima* to drought and salinity. **Environmental and Experimental Botany**, v.97, p.1-10, 2014. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2013.09.010.

FLEXAS, J.; BOTA, J.; LORETO, F.; CORNIC, G.; SHARKEY, T.D. Difusive and metabolic limitations on photosynthesis under dhought and salinity in C3 plants. **Plant Biology**, Malden, v.6, p.1-11, 2004.

GONÇALVES, E. R.; FERREIRA, V. M.; SILVA, J. V.; ENDRES, L.; BARBOSA, T. P. e DUARTE, W. de G. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.14, n.4, p.378–386, 2010.

GONÇALVEZ, A. D. M. de A.; LIBARDI, P. L. Análise da determinação da condutividade hidráulica do solo pelo método do perfil instantâneo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1174-1184, 2013.

GUARDA. V. D. A.; CAMPOS, L. J. M. **Bases ecofisiológicas da assimilação de carbono e suas implicações na produção de forragem** (Documentos). Tocantins: Embrapa Pesca e Aquicultura Palmas, TO, 2014. 52 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA (IBGE). **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. (2017) Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618#resultado> Acesso: 13 de Mar. 2019.

JADOSKI, S. O.; KLAR, A. E.; SALVADOR, E. D. Relações hídricas e fisiológicas em plantas de pimentão ao longo de um dia. **Ambiência**, Guarapuava, v. 1, n. 1, p. 11-19, 2005.

JESUS, S. V. de; MARENCO, R. A. O SPAD-502 como alternativa para a determinação dos teores de clorofila em espécies frutíferas. **Acta Amazonica**, vol. 38(4) 2008: 815 – 818.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 2009, 452p.

KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L. A faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal e a sua relação com a densidade do solo ao longo de um perfil de um Latossolo roxo. **Ciência Rural**, v.30, p.959-964, 2000. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0103-84782000000600006&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 05 de Jul. 2017.

KLUGE, R. A. ;* TEZOTTO-ULIANA, J. V.; SILVA, P. P. M. da. Aspectos Fisiológicos e Ambientais da Fotossíntese **Rev. Virtual Quim.**, 2015, 7 (1), 56-73. Disponível em: <http://www.uff.br/rvq> Acesso: 11 de Abr. 2018.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. Prado. São Carlos: Rima, 2000. 532 p.

LEONARDO, F. de A. P.; PEREIRA, W. E.; SILVA, S. de M.; COSTA, J. P. da. Teor de clorofila e índice SPAD no abacaxizeiro cv. vitória em função da adubação nitrogenada. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 35, n. 2, p. 377-383 Junho 2013.

LIER, J. V. Q. (Ed.). **Física do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. 298p.

LUCIA, E.H. de; WHITEHEAD, D.; CLEARWATER, M.J. The relative limitation of photosynthesis by mesophyll conductance in co-occurring species in a temperate rainforest dominated by the conifer *Dacrydium cupressinum*. **Functional Plant Biology**, 30, 2003. p. 1197-1204.

MACFARLANE, C.; WHITE, D.A.; ADAMS, M.A. The apparent feed-forward response to vapour pressure deficit of stomata in droughted, field-grown *Eucalyptus globulus* Labill. **Plant, Cell and Environment**, v.27, p.1268-1280, 2004.

MACHADO, D.F.S.P.; MACHADO, E.C.; MACHADO, R.S.; RIBEIRO, R.V. Efeito da baixa temperatura noturna e do porta-enxerto na variação diurna das trocas gasosas e na atividade fotoquímica de laranjeira 'Valencia'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.32, p. 351-359, 2010.

MARTINAZZO, E. G.; PERBONI, A. T.; OLIVEIRA, P. V. de ¹; BIANCHI, V. J.; BACARIN, M. A. Atividade fotossintética em plantas de ameixeira submetidas ao déficit hídrico e ao alagamento. **Cienc. Rural** vol.43 no.1 Santa Maria Jan. 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782012005000126>.

MARTINS, N. F. Uma síntese sobre aspectos da fotossíntese. **Revista de Biologia e Ciências da Terra** V.11 – N. 2 .2011.

MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C.; GOMES, M. M. A. Condutância estomática, transpiração e fotossíntese em laranjeira 'Valência' sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 11, p. 29-34, 1999.

MEDLYN, B. E.; LOUSTAU, D. e DELZON, S. Temperature response of parameters of a biochemically based model of photosynthesis. I. Seasonal changes in mature maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.). **Plant, Cell and Environment** (2002) 25, 1155–1165.

MOHOTTI, A.J.; LAWLOR, D.W. Diurnal variation of photosynthesis and photoinhibition in tea: effects of irradiance and nitrogen supply during growth in the field. **Journal of Experimental Botany**, 53, 2012. p. 313-322.

MOLINE, E. F. da V.; BARBOZA, E.; SIMÕES, L. P.; FERREIRA FILHO, G. S.; SOUZA, F. L. F.; SCHLINDWEIN, J. A. Ponto de murcha permanente em solos arenoso e argiloso utilizando o tomateiro como cultura indicadora. **Gl. Sci Technol**, Rio Verde, v. 06, n. 01, p.164 – 170, jan/abr. 2013.

MONTEIRO, J. G.; CRUZ, F. J. R.; NARDIN, M. B.e SANTOS, D. M. M. dos. Crescimento e conteúdo de prolina em plântulas de guandu submetidas a estresse osmótico e à putrescina exógena. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.49, n.1, p.18-25, jan. 2014 DOI: 10.1590/S0100-204X2014000100003.

MOREIRA, C. Fotossíntese. **Revista de Ciência Elementar**, 1(01):0003, 2013.

NASCIMENTO, A. K. S. do. **Tolerância de genótipos de citros ao estresse hídrico na fase de porta-enxerto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola - Universidade Federal de Campina Grande). Campina Grande – PB, 2010. 56fls.

NAVES-BARBIERO, C. C.; FRANCO, A. C.; BUCCI, S. J.; GOLDSTEIN, G. Fluxo de seiva e condutância estomática de duas espécies lenhosas sempre-verdes no campo sujo e cerrado. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, 12(2):119-134, 2000.

NEVES, M. F.; TROMBIN, V. G.. **Anuário da citricultura 2017**. SÃO PAULO: CITRUSBR 2017. 60 p.

NEVES, M. F.; TROMBIN, V. G. MILAN, P.; LOPES, F. F.; CRESSONI, F. e KALAKI, R. **O retrato da citricultura brasileira**. São Paulo: CITRUSBR, 2010.

NGUGI, M. R.; DOLEY, D.; HUNT, M. A.; RYAN, P.; DART, P. Physiological responses to water stress in *Eucalyptus cloeziana* and *E. argophloia* seedlings. **Trees**, Berlin, v. 18, p.381-389, 2004.

NGUYEN, H. T.; BABU, R. C.; BLUM, A. Breeding for drought resistance in rice: physiology and molecular genetics considerations. **Crop Science**, v. 37, p. 1426-1437, 1997.

OLIVEIRA, A. D. DE; FERNANDES E. J.; RODRIGUES, T. DE J. D. Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em feijão. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.25, n.1, p.86-95, jan./abr. 2005.

OLIVEIRA, A. S. de; COELHO FILHO, M. A.; COELHO, E. F.; PAZ, V. P. da S. Irrigação em fruticultura. In: SANTOS-SEREJO, J. A. dos; DANTAS, J. L. L.; SAMPAIO, C. V.; COELHO, Y. da S. **Fruticultura tropical: espécies regionais e exóticas**. Brasília, DF: Embrapa informação Tecnológica, 2009. P. 247-258.

OLIVEIRA, M. A. J. de; BOVI, M. L. A.; MACHADO, E. C.; GOMES, M. M. de A.; HABERMANN, G.; RODRIGUES, J. D. Fotossíntese, condutância estomática e transpiração em pupunheira sob deficiência hídrica. **Scientia Agricola**, v.59, n.1, p.59-63, jan./mar. 2002.

OTTO, M. S. G.; VERGANI, A. R.; GONÇALVES, A. N.; VRECHI, A.; SILVA, S. R. e STAPE, J. L. Fotossíntese, condutância estomática e produtividade de clones de *Eucalyptus* sob diferentes condições edafoclimáticas. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.36, v.37, n.3, p.431-439, 2013.

PACHECO, A. C.; CAMARGO, P. R. e SOUZA, C. e G. M. Deficiência hídrica e aplicação de ABA nas trocas gasosas e no acúmulo de flavonoides em calêndula (*Calendula officinalis* L.). **Maringá**, v. 33, n. 2, p. 275-281, 2011.

PAIVA, A. de Q.; SOUZA, L. da S. Armazenamento e disponibilidade de água em solos de tabuleiro do Estado da Bahia, em dois anos de avaliação. In: XII REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 12., 1998, Fortaleza. **Resumos expandidos...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; Universidade Federal do Ceará, 1998. p.5-6.

PEIXOTO, C. P.; CERQUEIRA, E. C.; SOARES FILHO, W. S.; CASTRO NETO, M. T.; LEDO, C. A. S.; MATOS, F. S.; OLIVEIRA, J. G. Análise de crescimento de diferentes genótipos de citros cultivados sob déficit hídrico. **Revista 14 Brasileira de Fruticultura**, v.28, p.439-443, 2006.

PELOSO, A. de F.; TATAGIBA, S. D.; REIS, E. F. dos; PEZZOPANE, J. E. M.; AMARAL, J. F. T. do. Limitações fotossintéticas em folhas de cafeeiro arábica promovidas pelo déficit hídrico. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 389 - 399, jul./set. 2017.

PEREIRA, R. M.; ALVES JÚNIOR, J.; CASAROLI, D.; SALES, D. L.; RODRIGUEZ, W. D. M. e SOUZA, J. M. F. Viabilidade econômica da irrigação de cana-de-açúcar no Cerrado brasileiro. Irriga, Botucatu, Edição Especial, IRRIGA & INOVAGRI, p. 149-157, 2015.

PEREIRA, V. H. C.; CESTARO, L. A. A Unidade geoambiental tabuleiro costeiro e o planejamento municipal: o caso de senador Georgino Avelino/RN. **Revista Geonorte**, Edição Especial, V.3, N.4, p. 390-401, 2012.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: Editora Universitária, 2004. 19 p.

PÔRTO, M. L.; PUIATTI, M.; FONTES, P. C. R.; CECON, P. R.; ALVES, J. do C.; ARRUDA, J. A. de. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio na cultura da abobrinha. **Hortic. bras.**, v. 29, n. 3, jul.- set. 2011.

REZENDE, J. O.; SHIBATA, R. T.; SOUZA, L. da S. **Justificativa e recomendações técnicas para o “plantio direto” dos citros nos tabuleiros e osteiros: tura dos ênfase na citricultura dos estado da Bahia e Sergipe**. Cruz das Almas, BA: UFRB, 2015.

RIBEIRO, R.V.; MACHADO, E.C. Some aspects of citrus ecophysiology in subtropical climates: re-visiting photosynthesis under natural conditions. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v.19, p. 393-411, 2007.

RODRIGUES, H. J. B.; COSTA, R. F. DA; RIBEIRO, J. B. M.; SOUZA FILHO, J. D. DA C.; RUIVO, M. DE L. P.; SILVA JÚNIOR, J. DE A. Variabilidade sazonal da condutância estomática em um ecossistema de manguezal amazônico e suas relações com variáveis meteorológicas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.2, 189 - 196, 2011.

RONCHI, C. P. et al. Respostas ecofisiológicas de cafeeiros submetidos ao déficit hídrico para concentração da florada no Cerrado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 1, p. 24-32, jan. 2015.

SALVESTRO, A. C.; FREITAS, P. S.; REZENDE, R.; DALLACORT, R.; VIEIRA, C. V. Permanent wilting point of bean cultivated in Dystric Nitosols and Rhodic Ferralsols. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, 10(1), 462-466. 2012.

SENGE, M. O.; WIEHE, A.; RYPPA, C. Synthesis, reactivity and structure of chlorophylls. In: GRUMM, B.; PORRA, R.J.; RÜDGER, W.; SCHEER, H. (Eds.) Chlorophylls and Bacteriochlorophylls: biochemistry, biophysics, functions and applications. Dordrecht: **Springer Science**, 2006. p.27-37.

SILVA, A. C. da; SUASSUNA, Janivan F. MELO, A. S. de; COSTA, R. R.; ANDRADE, W. L. de; SILVA, D. C. da. Salicylic acid as attenuator of drought stress on germination and initial development of sesame. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** vol.21 no.3 Campina Grande Mar. 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n3p156-162>.

SILVA, B. M.; SILVA, E. A. ; OLIVEIRA, G. C. ; FERREIRA, M. M. ; SERAFIM, M. E. . Plant-available soil water capacity: estimation methods and implications. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 464-475, 2014.

SILVA, F. G. da; DUTRA, W.; DUTRA, A. F.; OLIVEIRA, I. M. de; FILGUEIRAS, L. M. B. e MELO, A. S. de. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.19, n.10, p.946–952, 2015.

SIMEÃO, M.; ANDRADE JUNIOR, A. S. de; SILVA, E. M. da; RIBEIRO, A. de A. e BASTOS, E. A. Soybean development under soil water déficit. **African Journal of Agricultural Research**, Vol. 13(15), pp. 771-781, 12 April, 2018. DOI: 10.5897/AJAR2017.12815.

SIQUEIRA, D. L. de; SALOMÃO, L. C. C. **Citros: do plantio à colheita**. Viçosa (MG): Ed. UFV, 2017. 278p.

SOUZA, C. F.; PIRES, R. C. M.; MIRANDA, D. B. DE; VARALLO, A. C. T. Calibração de sondas FDR e TDR para a estimativa da umidade em dois tipos de solo. **Irriga**, Botucatu, v.18, p. 597-606, out./dez. 2013.

SOUZA, C. F.; PIRES, R. C. M.; MIRANDA, D. B. DE; VARALLO, A. C. T. SOUZA, C. F.; PIRES, R. C. M.; MIRANDA, D. B. DE; VARALLO, A. C. T. Calibração de sondas FDR e TDR para a estimativa da umidade em dois tipos de solo. **Irriga**, Botucatu, v.18, p. 597-606, out./dez. 2013.

SOUZA, J. L. M.; PIEKARSKI, K. R.; TSUKAHARA, R. Y.; GURSKI, B. C. Atributos físico-hídricos de solos no sistema de plantio direto, Região dos Campos Gerais. **Convibra Congresses Conferences**, 2017.

STRECK, N. A. Stomatal response to water vapor pressure déficit: un unsolved issue. **Revista brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 9, n. 4, p. 317-322, 2003.

STREIT, N. N.; CANTERLE, L. P.; CANTO, M. W. do; HECKTHEUER, L. H. H. As clorofilas. **Ciência Rural**, v.35, n.3, p.748-755, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782005000300043&script=sci_arttext>. Acesso em: 05 set. 2017. doi: 0.1590/S0103- 84782005000300043.

SUASSUNA, J. F.; FERNANDES, P. D.; BRITO, K. S. A. de; NASCIMENTO, R. do; MELO, A. S. de E BRITO, M. E. B. Trocas gasosas e componentes de crescimento em portaenxertos de citros submetidos à restrição hídrica. **Irriga, Botucatu**, v. 19, n. 3, p. 464-477, julho-setembro, 2014.

SUASSUNA, J. F.; FERNANDES, P. D.; NASCIMENTO, R. do; OLIVEIRA, A, C. M. de; BRITO, K. S. A. de & MELO, A. S. de. Produção de fitomassa em genótipos de citros submetidos a estresse hídrico na formação do porta-enxerto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.12, p.1305–1313, 2012.

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

TARDIEU, F. Any trait or trait-related allele can confer drought tolerance: Just design the right drought scenario. **Journal of Experimental Botany**, v. 63, n. 1, p. 25-31, 2012.

TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, J. E. M.; REIS, E. F. Fotossíntese em Eucalyptus sob diferentes condições edafoclimáticas. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 336-345, jul./ago. 2015.

VEIMEHYER, F.J.; HENDRICKSON, A.H. Methods of measuring field capacity and permanent wilting percentage of soils. **Soil Sci.**, 68:75-94, 1949.

VIEIRA, E. L.; SOUZA, G. S. de; SANTOS, A. R. DOS; SANTOS SILVA, J. dos. **Manual de Fisiologia vegetal**. São Luis: EDUFMA, 2010. 186p.

WAGNER, M. V.; JADOSKI, S. O.; MAGGI, M. F.; SAITO, L. R. e LIMA, A. dos S. Estimativa da produtividade do milho em função da disponibilidade hídrica em Guarapuava, PR, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.17, n.2, p.170–179, 2013.

YOUNG, J.W.H.; WONG, S.C.; FARQUHAR, G.D. Stomatal responses to changes in vapour pressure difference between leaf and air. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v.20, p.1213- 1216, 1997.

ZHANG, J.; NGUYEN, H. T.; BLUM, A. Genetic analysis of osmotic adjustment in crop plants. **Journal of Experimental Botany**, n. 50, p. 291–302, 1999.

CAPÍTULO 1: Ponto de murchamento permanente em diferentes combinações copa/porta-enxeto de citros a partir de dois métodos

Rivani Oliveira Ferreira¹
Marilza Neves do Nascimento²
Luciano da Silva Souza³

RESUMO

A disponibilidade de água para as plantas é um fator de extrema importância na produtividade agrícola. Entretanto, é muito comum em algumas regiões brasileiras o déficit hídrico durante parte do ano, submetendo as plantas ao estresse hídrico. Contudo, cada espécie apresenta um limite de resistência a tal situação, assim, buscou-se identificar o limite hídrico para os porta-enxertos tangerineira Cleópatra (*Citrus reshni hort. Ex Tan*), limoeiro Volkameriano (*Citrus Volkameriano Pasquale*), citrandarin 'Índio', (TSK X TRENG 256), limoeiro Cravo Santa Cruz e tangerineira Sunki Tropical, enxertadas com laranjeira 'Pêra'e (*Citrus sinensis*), obtidos por dois métodos: o método tradicional de determinação do ponto de murchamento permanente descrito por Briggs e Shantz (1912) com recuperação das plantas em ambiente saturado e o método de recuperação por rega. Verificou-se que os porta-enxertos limão Cravo Santa Cruz e o limão Volkameriano foram os mais resistentes em condições iniciais de restrição hídrica, porém somente o limão Volkameriano apresentou maior resistência em situações mais extremas daquela condição.

Palavras-chave: ponto de murchamento permanente, tangerina 'Cleópatra', limão 'Volkameriano', citrandarin 'Índio' (TSK X TRENG 256), limão 'Cravo Santa Cruz' e tangerina Sunki Tropical

INTRODUÇÃO

A água é o fator que mais limita a produtividade agrícola, uma vez que o déficit hídrico pode influenciar no metabolismo (BEGG e TURNER, 1976, CRUZ et al., 2005) e na estrutura das plantas (BIANCHI et al., 2016). Além disso, a escassez de água é um fenômeno com ocorrência registrada em grandes áreas cultivadas (NOGUEIRA et al., 2001). A água disponível às plantas é considerada em função do teor de água presente entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murchamento permanente (PMP) (REICHARDT e TIMM, 2012).

A CC representa a quantidade de água retida pelo solo após o excesso ser drenado com decréscimo acentuado do movimento (VEIHMEYER e HENDRICKSON,

1949). O PMP representa o limite mínimo de água no solo, no qual as plantas ao perderem a turgescência e murcharem não mais se recuperam ao serem transferidas para ambiente escuro e saturado por água (BRIGGS e SHANTZ, 1912).

Esses limites são influenciados por atributos físicos do solo, bem como pode diferir entre as culturas, em resposta aos mecanismos de adaptação existentes em cada espécie (KLEIN E LIBARDI, 2000, ALVES, 2010). Pela praticidade, convencionou-se utilizar a tensão de 1,5 MPa para estabelecer a água disponível no PMP (ROMANO e SANTINI, 2002; COELHO et al., 2014); De acordo com Costa et al. (1997), esse valor foi proposto por Wolf em 1975, ao comparar resultados do ponto de murchamento permanente pelo método biológico e usando a câmara de Richardt. Entretanto, o ponto de murchamento fisiológico das culturas nem sempre corresponde a esse valor, uma vez que cada espécie responde de forma diferente à tal situação (ALVES, 2010), sendo assim mais indicado Definir o ponto de murchamento fisiológico específico para cada cultura (BRIGGS e SHANTZ, 1912).

O conhecimento sobre este fator é de extrema importância no manejo de projetos de irrigação, bem como para a escolha de espécies mais eficientes no uso da água (KLEIN et al., 2010), sendo esta última a alternativa mais indicada para a atividade agrícola em ambientes áridos e semiáridos, visto que as mesmas enfrentam situações extremas de escassez de água, devido aos grandes períodos de estiagem (SILVA et al., 2009). Nessas situações, as plantas podem ser acometidas pelo que se descreve como estresse, fenômeno conceituado enquanto ocorre um desvio das condições ideais para a vida, capaz de provocar mudanças e respostas em diferentes níveis no organismo, as quais podem ser em princípio reversíveis ou se tornarem permanentes a depender da intensidade ou duração do fenômeno (LARCHER, 2010).

De acordo com Bianchi, Germino e Silva (2016) o estresse apresenta quatro fases: fase inicial do estresse, conhecida como reação de alarme; fase de restituição, também chamada de fase de resistência, em que a planta utiliza os mecanismos de adaptação para suportar a situação ao máximo; fase final ou estágio de exaustão, quando os mecanismo de resistência não mais são capazes de responder, podendo levar a planta a sucumbir; e a fase de regeneração, quando o estresse é suspenso e a planta pode ou não se recuperar de forma total ou parcial. Dessa forma, é provável que o PMP nem sempre represente a fase final de exaustão do estresse, mas sim a fase de regeneração quando reestabelecido a condição hídrica.

A citricultura é uma das atividades agrícolas com grande importância na economia brasileira, legando ao Brasil o título de maior produtor mundial dessa cultura (SOARES et al., 2015). Entretanto, uma das deficiências nessa atividade é o uso de poucas combinações entre copas e porta-enxertos, fator que a expõe ao ataque de pragas e à ocorrência de estresses abióticos, dentre esses o estresse hídrico (SCHINOR et al., 2006).

Assim, considerando que ao atingir o PMPft as plantas atingem seu limite de resistência ao déficit hídrico, a partir do qual não se recuperam em ambiente saturado, mas que podem se recuperar quando do acesso a água no solo, sendo essa a condição semelhante a vivenciada pelas plantas em campo em períodos de estiagem, quando são submetidas ao déficit hídrico prolongando é, que se buscou identificar o limite de umidade no solo no ponto de murchamento permanente fisiológico (PMPft) obtido pelo método tradicional proposto por Briggs e Shantz (1912) em ambiente saturado, bem como o limite de umidade para o PMP fisiológico por rega (PMPfr) para cinco porta-enxerto de citros enxertados sob copa de laranjeira 'Pêra'.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação em condições naturais, na unidade experimental pertencente à Universidade Estadual de Feira de Santana Bahia, latitude de 12° 16' 00" S e longitude de 38° 58' 00" W. Foram avaliados cinco porta-enxertos: tangerina Cleopatra (*Citrus reshni hort. Ex Tan*), limão Volkameriano (*Citrus volkameriano pasquale*), citrandarin Índio (TSK X TRENG 256), limão Cravo Santa Cruz (*Citrus × limonia*) e tangerina Sunki Tropical (*Citrus sunki HORT. EX TAN*), enxertadas em laranja “Pêra” (*Citrus sinensis*), em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições, totalizando 20 parcelas experimentais.

As mudas foram produzidas e enxertadas pela Embrapa Mandioca e Fruticultura em Cruz da Almas-BA. Após a enxertia as plantas foram transplantadas para vasos com 50 cm de altura e 20 cm de diâmetro e completados com 14 kg de substrato orgânico produzido na própria unidade experimental com as seguintes características químicas: pH 6,5; P 9,73 mg/dm³; K 15,64 mg/dm³; Na 23,0 mg/dm³; Ca²⁺ 7,0 cmol(c)/dm³; Mg²⁺ 1,8 cmol(c)/dm³; Al 0,0 cmol(c)/dm³; H + Al 0,7 cmol(c)/dm³ e MO 1,82%.

O experimento iniciou um mês após o transplante, em que as plantas foram regadas com 900 mL de água, os recipientes vedados com papel alumínio, revestido com papel filme. A partir desse momento as plantas não foram mais regadas até atingir o ponto de murchamento permanente.

À medida que as plantas apresentaram sinal de murcha, os vasos foram transferidos no final do dia para uma câmara escura com umidade relativa do ar próxima a 100%, durante 48 horas. Completado o período, observava-se o retorno ou não da turgidez de cada planta, adotando-se o critério de que, se pelo menos uma folha se recuperasse, o vaso então retornava à casa de vegetação, permanecendo sem adição de água. Isso ocorreu sucessivamente até o não retorno definitivo da turgidez, assumindo-se então como ponto de murchamento permanente fisiológico tradicional (PMPft). Nesse ponto foi coletada uma amostra do solo (sem raízes), pesada em balança de precisão, levada para estufa a 105 °C por 48 horas e pesada novamente para determinação da umidade da amostra em base gravimétrica. A partir dos teores de água nas amostras do solo para cada planta avaliada foi então determinada a umidade correspondente ao PMPft.

Após atingir o PMPft pelo método clássico de Briggs & Shantz (1912), as mesmas plantas foram regadas com 900 mL de água, suspendendo o acesso a água mais uma vez, e aguardando o ponto de murcha permanente fisiológico por rega. Nesse momento coletava-se uma nova amostra de solo para obtenção do teor de água no Ponto de murchamento permanente fisiológico por rega PMPfr. O critério utilizado para o retorno foi a recuperação das plantas ou mesmo a emissão de novas folhas em um prazo de três dias.

Para a determinação da capacidade de campo foi determinada a curva de retenção de água no solo, usando câmaras de Richards, em função das umidades obtidas em amostras saturadas e submetidas às pressões de -1, -33, -100, -500, -1500 kPa. Para tanto, amostras indeformadas, retiradas nos vasos após a acomodação do substrato, foram saturadas por capilaridade por um período de 24 horas e colocadas em placas porosas no aparelho extrator de Richards. Após atingir o equilíbrio, as amostras foram pesadas, secas em estufa a 105 °C e novamente pesadas, para obtenção da umidade correspondente a cada pressão. Os dados obtidos foram ajustados ao modelo matemático proposto por Van Genuchten (1980):

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha \phi_m)^n]^m} \quad (1)$$

onde θ corresponde a umidade gravimétrica; ϕ é o potencial mátrico; θ_r e θ_s , respectivamente, a umidade gravimétrica residual e na saturação e n , m e α são parâmetros de ajuste.

Com base na curva de retenção de água ajustada (Figura 1) e usando a equação 2, foi possível encontrar os potenciais mátricos para cada combinação copa porta-enxerto nos dois limites hídricos analisados:

$$\phi_m = \frac{\left[\left(\frac{\theta_s - \theta_r}{\theta - \theta_r} - 1 \right)^{\frac{1}{m}} \right]^{\frac{1}{n}}}{\alpha} \quad (2)$$

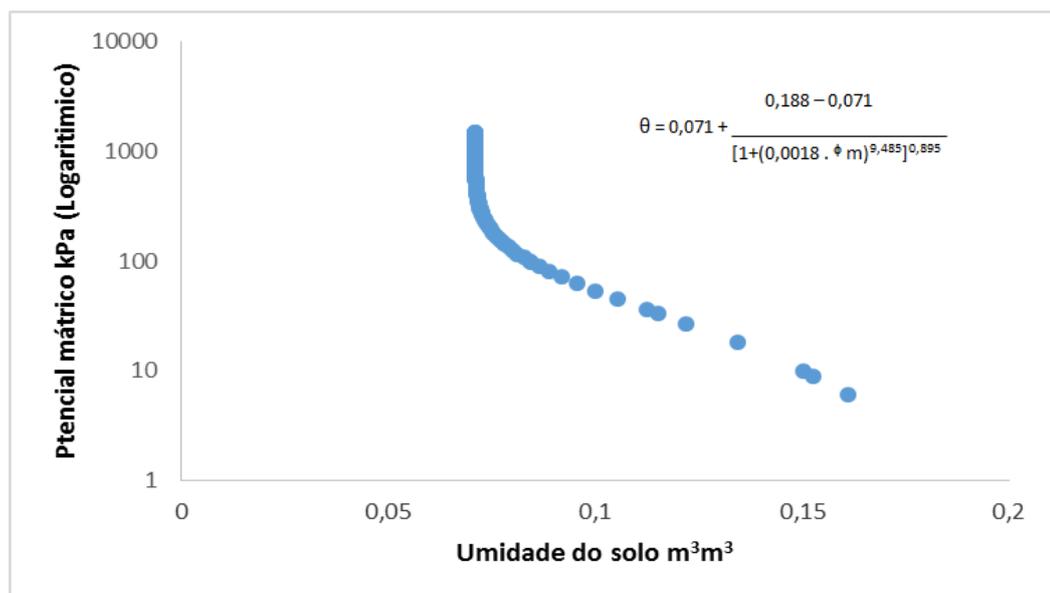


Figura 1. Curva de retenção de água do solo, usado na determinação do PMP em citros.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott (1974) a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa estatístico Sisvar.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados para o limite hídrico no ponto de murcha permanente pelo método tradicional (PMPft) (Tabela 1) demonstraram que os porta-enxertos limoeiro Volkameriano (LV) e limoeiro Cravo Santa Cruz (LCSC) não diferiram estatisticamente entre si, apresentaram os menores teores de água nessa condição, seguido pelo porta-enxerto tangerineira Cleópatra (TC) com valores intermediários e por Citrandarin Índio (TSK X TRENG 256) (CI) e tangerineira Sunki tropical (TST) com valores mais elevados. Esses resultados evidenciam maior capacidade dos porta-enxertos LV e LCSC em absorver a água mais fortemente retida no solo em relação aos demais porta-enxertos analisados

A transformação da umidade volumétrica em potencial mátrico indicou que os resultados foram menores que -1,5 MPa. Souza e Paiva (2001), ao analisarem o potencial mátrico de solos de Tabuleiro Costeiro localizados em Sapeaçu-BA, verificaram que as plantas cítricas cultivadas nesses solos conseguiram sobreviver a potenciais mátricos inferiores a -1,5 MPa, concluindo que o valor de referência de PMP não se aplica a essa cultura, sendo, na realidade, inferior (mais negativo) a esse limite.

Os resultados de PMPft, indicam que os porta-enxertos limoeiro Volkameriano (VL) e limoeiro Cravo Santa Cruz (LCSC) são mais resistentes nas condições de déficit hídrico. Resultados semelhantes foram encontrados por Figueiredo et al. (2002) ao avaliar a copa de lima ácida 'Tahiti' enxertada em diferentes porta-enxertos. Os autores verificaram que o limoeiro Cravo e a tangerineira Cleópatra estavam entre os porta-enxertos mais resistentes à seca. Cintra et al. (2000), ao realizarem o balanço hídrico no solo em uma área de citros, também observaram que o porta-enxerto limoeiro Cravo apresentou o menor valor de evapotranspiração dentre os demais presentes na área, indicando ser esse um dos mecanismos de adaptação dessa variedade para tolerar a deficiência hídrica.

Tabela 1: Média dos valores de umidade no ponto de murchamento permanente fisiológico pelo método tradicional e pelo método por rega, em diferentes porta-enxertos de citros sob copa de laranjeira 'Pêra'.

Variáveis	Valores de umidade				
	TC	LV	CI	LCSC	TST
UvPMPft (m ³ m ³)	0,0571 b	0,0489 c	0,0878 a	0,0488 c	0,0888 a
UvPMPfr (m ³ m ³)	0,0529 b	0,0371 d	0,0632 a	0,0426 c	0,0666 a

Médias com letras iguais na mesma linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Skott-Knott ($p < 0,05$). TC-tangerineira 'Cleópatra'; LV - limoeiro 'Volkameriano'; CI-citrândarin 'Índio' (TSK X TRENG 256); LCSC - limoeiro 'Cravo Santa Cruz'; TST - tangerineira 'Sunki Tropical'; UvPMPft – umidade volumétrica no ponto de murchamento permanente fisiológico tradicional; UvPMPfr – umidade volumétrica no ponto de murchamento permanente fisiológico por rega.

Os resultados para o limite de umidade no ponto de murchamento permanente fisiológico por rega (Tabela 1) indicaram que o porta enxerto limoeiro Volkameriano foi o que resistiu o menor valor de umidade no solo, sendo este o ponto em que, mesmo na presença de água no solo, a planta não mais se recuperou. O valor para o porta-enxerto limoeiro Volkameriano foi estatisticamente diferente dos demais, sugerindo tratar-se do porta-enxerto mais resistente em condições de déficit hídrico, dentre os avaliados.

Ao comparar os valores para os dois limites hídricos determinados (Figura 2), verificou-se que os porta-enxertos citrândarin 'Índio' e tangerineira Sunki Tropical foram os que apresentaram a maior diferença entre a umidade no PMPft e no PMPfr, com porcentagens em torno de 28 % e 25 %, respectivamente. Esses resultados mostraram que ao atingir o PMP tradicional, as plantas ainda são capazes de recuperar-se quando do acesso a água no solo, podendo correlacionar essas situações com as diferentes fases descritas por Bianchi, Germino e Silva (2016) para condições de estresse.

No primeiro limite de murcha permanente tradicional as plantas ainda são capazes de se regenerar, mediante a suspensão do agente estressante, enquanto no segundo limite de murcha permanente por rega, mesmo com a suspensão do estresse, as plantas não mais são capazes de se recuperar, podendo coincidir com a fase de exaustão, ou seja, no segundo limite estabelecido pelo método de rega, as plantas, possivelmente perderam a capacidade de regeneração devido ao déficit hídrico prolongado a que foram submetidas.

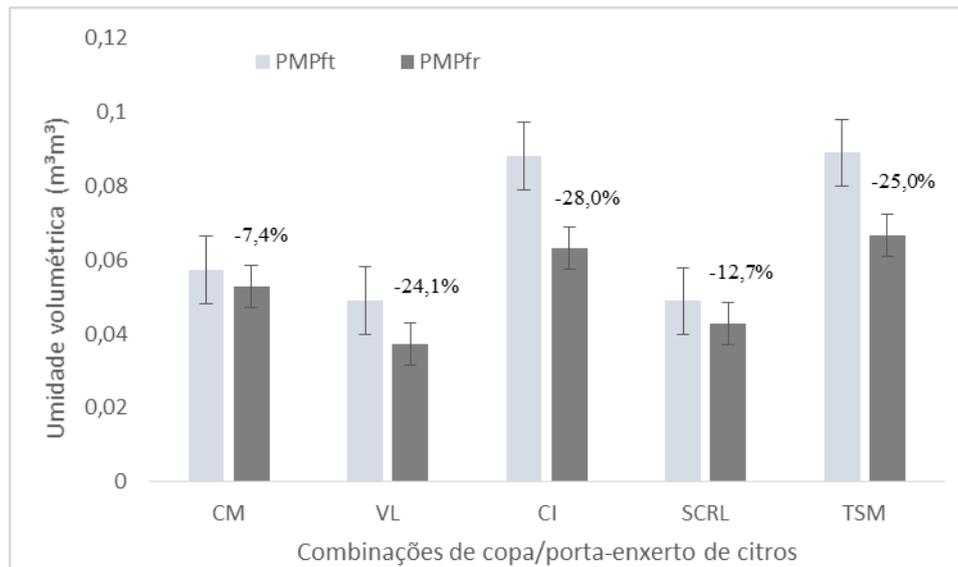


Figura 2: Diferença percentual entre a umidade no Ponto de Murchamento Permanente fisiológico tradicional (PMPft) e a umidade no Ponto de Murchamento Permanente fisiológico por rega (PMPfr) em diferentes porta-enxerto de citros. TC -tangerineira 'Cleópatra'; LV- limoeiro 'Volkameriano'; CI - citrandarin 'Índio' (TSK X TRENG 256); LCSC -limoeiro 'Cravo Santa Cruz'; TST - tangerineira 'Sunki Tropical'.

O tempo para atingir o PMPft (Tabela 2) acompanhou os resultados de umidade do solo (Tabela 1), sendo os porta-enxertos que apresentaram os menores teores de água nessa condição, foram os mesmos que levaram mais dias para atingir tal situação (Tabela 2). Para o método tradicional, os dias médios até atingir o PMPft variou de 33 a 57 dias. Contudo, para a umidade no PMPfr, o porta enxerto tangerina Cleópatra foi o primeiro a atingiu esse ponto, apesar de não apresentar a maior umidade do solo ao atingir o PMPfr. O limoeiro Volkameriano foi o que levou mais dias para atingir o PMPfr, diferindo estatisticamente dos demais porta-enxertos. O resultado indica que esse porta-enxerto, possivelmente é mais resistente às condições de déficit hídrico prolongado, fator que pode estar associado a mecanismos fisiológicos de maior eficiência no uso da água e maior capacidade e absorção de água a potenciais matricos muito baixos. Ao analisar o potencial de água em solos de Tabuleiro Costeiro cultivados com citros. Souza e Paiva (2001) observaram que as plantas de citros eram capazes de suportar mais de quatro meses em solo com potenciais mátricos inferiores a -1,5 MPa.

Tabela 2: Média do número de dias até atingir o ponto de Murchamento Permanente fisiológica pelo método tradicional (PMPft) e pelo método por rega (PMPfr) em diferentes porta-enxertos de citros sob copa de laranja 'Pêra'.

Variáveis	Porta-enxertos				
	TC	LV	CI	LCSC	TST
Dias PMPft	50 Bb	57 Ab	37 cB	56 aB	33 cB
Dias PMPfr	81 Ca	101 aA	87 bA	90 bA	86 bA

Médias com letras iguais na mesma linha e maiúscula na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Skott-Knott ($p < 0,05$). TC -tangerineira 'Cleópatra'; LV- limoeiro 'Volkameriano'; CI - citrandarin 'Índio' (TSK X TRENG 256); LCSC -limoeiro 'Cravo Santa Cruz'; TST - tangerineira 'Sunki Tropical'. Dias PMPft – dias para atingir o ponto de murcha permanente fisiológica pelo método tradicional; Dias PMPfr – dias para atingir o ponto de murcha permanente fisiológica pelo método por rega.

COELHO et al. (2014) também encontraram valores inferiores a -1,5 MPa para o PMP em feijão-caupi e concluíram que isso resultaria em maior disponibilidade de água para a cultura, e isso poderia significar maior tolerância às espécies secas. Os resultados evidenciam também que o valor de referência -1.5 MPa não se aplica a muitas culturas, sendo importante estabelecer o ponto de murcha fisiológica de cada espécie.

CONCLUSÕES

Houve diferença entre os valores de umidade no ponto de murcha permanente estabelecido pelo método tradicional e o método por rega, indicando que ao atingir o primeiro ponto de murcha, as plantas ainda são capazes de se regenerar, quando do acesso a água. Os menores valores de umidade foi observado nos porta-enxertos limão Cravo Santa Cruz e limão Volkameriano, indicando se tratar dos mais resistentes ao déficit hídrico.

REFERÊNCIAS

- ALVES, W. W. A.; OLIVEIRA, F. de A.; AZEVEDO, C. A. V. de; ALBUQUERQUE, J. H. de. Métodos de determinação e níveis de água disponível no solo: efeito sobre a cultura do algodoeiro herbáceo. **Revista Caatinga**, v.23, p.91-94, 2010.
- BEGG, S.E.; TURNER, N.C. Crop water deficits. **Advances in Agronomy**, v.28, p.161-217, 1976.
- BIANCHI, L.; GERMINO, G. H.; SILVA, M. de A. Adaptação das Plantas ao Déficit Hídrico (pdf). **Acta Iguazu**, Cascavel, v.5, n.4, p. 15-32, 2016. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/312119183_Adaptacao_das_Plantas_ao_Deficit_Hidrico. Acesso 15 de Jan. de 2018.

BRIGGS, L. J.; SHANTZ, H. L. The wilting coefficient for different plants and its indirect determination. Washington DC: **Department of Agriculture, Bureau of Plant Industries**, Bulletin nº 30, 83p, 1912.

CINTRA, F. L. D.; LIBARDI, P. L.; SAAD, A. M. Balanço hídrico no solo para porta-enxertos de citros em ecossistema de Tabuleiro Costeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.1, p.23-28, 2000.

COELHO J. B. M.; BARROS, M. de F. C.; BEZERRA NETO, E.; SOUZA, E. R. de. Ponto de murcha permanente fisiológico e potencial osmótico de feijão caupi cultivado em solos salinizados. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.18, n.7, p.708–713, 2014.

COSTA, A. C. S. da; NANNI, M. R.; JESKE, E. Determinação da umidade na capacidade de campo e ponto de murchamento permanente por diferentes metodologias. **REVISTA UNIMAR** 19(3):827-844, 1997.

CRUZ, A. C. R.; LIBARDI, P. L. ROCHA, G. C.; CARVALHO, L. A. de. Evapotranspiração real de uma cultura de laranja em produção num Latossolo Vermelho-Amarelo. **R. Bras. Ci. Solo**, 29:659-668, 2005.

FIGUEIREDO, J. O. de; STUCHI, E. S.; DONADIO, L. C.; TEÓFILO SOBRINHO J.; Laranjeira, F. F.; Pio, R. M. e Sempionato, O. R. Porta-enxertos para a lima-ácida-‘tahiti’ na região de Bebedouro-SP. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 24, n. 1, p. 155-159, abril 2002.

KLEIN, V. A.; BASEGGIO, M.; MADALOSSO, T.; MARCOLIN, C. D. Textura do solo e a estimativa do teor de água no ponto de murcha permanente com Psicrômetro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, n.7, p.1550-1556, jul, 2010.

LARCHER, W. **Ecologia vegetal**. São Carlos: RiMa Artes e Textos, 2000. 531p.

NOGUEIRA, R. J.; MANSUR, C.; MORAES, J. A. P. V. de; Burity, H. A. e Bezerra Neto, E. Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleiras submetidas a déficit de água. **Rev. Bras. Fisiol. Veg.** vol.13 no.1 Lavras 2001.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. 2.ed. Barueri, Manole, 2012. 524p.

ROMANO, I.; SANTINI, A. Water retention and storage: Field. In: DANE, J.H; TOPP, C. (Eds.) *Methods of soil analysis. Part 4. Physical methods*. Madison, **Soil Science Society of America**, 2002. p.721-38.

SCHINOR, E. H.; PAOLI, L. G. de; AZEVEDO, F. A. de; MOURÃO FILHO, F. de A. A.; MENDES, B. M. J. Organogênese in vitro a partir de diferentes regiões do epicótilo de citrus sp. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.28, p.463-466, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452006000300027>.

SILVA, E. C.; Nogueira, R. J. M. C.; VALE, F. H. A.; ARAÚJO, F. P. de; PIMENTA, M. A. et al. Stomatal changes induced by intermittent drought in four umbu tree

genotypes. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 21, n. 1, p. 33-42, Jan./Mar. 2009.

SOARES, L. A. dos A.; BRITO, M. E. B.; FERNANDES, P. D.; LIMA, G. S. de; SOARES FILHO, W. dos S.; OLIVEIRA, E. S. de. Crescimento de combinações copa - porta-enxerto de citros sob estresse hídrico em casa de vegetação. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.19, n.3, p.211–217, 2015.

SOUZA, L. da S. e PAIVA, A. de Q. Variação do potencial total da água em uma topossequência de solos de tabuleiro, durante dois anos. **Pesq. agropec. bras., Brasília**, v. 36, n. 2, p. 349-355, fev. 2001.

VAN GENUCHTEN, M.T.A. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society American Journal**, 44:892-897, 1980.

VEIHMEYER, V. J.; HENDRICKSON, A. H. Methods of measuring field capacity and wilting percentage of soils. **Soil Science**, Baltimore, v.68, p.75-94, 1949.

CAPÍTULO 2: Taxa fotossintética em diferentes combinações copa/porta-enxertos de citros

Rivani Oliveira Ferreira¹
Marilza Neves do Nascimento²
Luciano da Silva Souza³

RESUMO

A Bahia é o quinto maior produtor de citros no Brasil, porém em virtude das condições ambientais, especialmente a distribuição irregular de chuvas, a produção ainda é muito baixa. Uma das alternativas para contornar essa situação é o conhecimento sobre o desempenho de diferentes combinações copa porta-enxerto em condições desfavoráveis de solo e clima, de modo que se possa optar pela combinação mais adaptada. Assim, buscou-se avaliar parâmetros fisiológicos como: o potencial hídrico da folha, as taxas fotossintéticas e a concentração de clorofila em cinco combinações copa porta-enxerto: limão 'Volkameriano' (LV), limão 'Cravo Santa Cruz' (LCSC), citrandarin 'Índio' (TSK x TRENG 256) (CI), tangerina 'Sunki Tropical' (TST) e tangerina 'Cleópatra' (TC), sob copa de laranja 'Pêra', em condições de sequeiro no litoral norte da Bahia, estabelecendo-se três épocas: seca, intermediária e chuvosa. As épocas foram determinadas pela disponibilidade de água no solo, monitorada por sondas TDR em cinco profundidades, bem como em função da pluviosidade. Verificou-se uma correlação linear entre potencial hídrico da folha e o teor de clorofila; dos potenciais hídricos com as taxas fotossintéticas, e redução do pigmento; e das taxas fotossintéticas, com redução do potencial de água na folha. O Limão Volkameriano estar entre os porta-enxertos que apresentaram os maiores valores para condutância estomática e concentração interna de CO₂ e maior potencial hídrico da folha. Para a assimilação líquida de CO₂, os maiores valores foram verificados nos porta-enxertos Tangerina Cleopatra, limão Volkameriano e limão Cravo Santa Cruz, os quais também registraram os maiores teores de pigmentos clorofilados. De maneira geral, o porta-enxerto limão Volkameriano foi o que apresentou os menores valores de umidade do solo para o ponto de murchamento permanente fisiológico obtido pelo método tradicional e por rega, apontando a capacidade de extrair água em baixo potenciais hídricos do solo e produzir as maiores taxas fotossintéticas em condições adversas. Entre os períodos avaliados, verificou-se que mediante a redução na disponibilidade hídrica do solo e da planta,

houve concomitantemente a redução dos parâmetros fotossintéticos em todos os porta-enxertos avaliados.

Palavras-chave: parâmetros fotossintéticos, potencial hídrico da folha, teor de clorofila

INTRODUÇÃO

O Brasil é atualmente, o maior produtor de laranja do mundo, com uma produção de 17,3 milhões de toneladas, referente às safras de 2016/2017, sendo os maiores produtores os estados de São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Bahia e Sergipe, em ordem decrescente (Conab, 2017). Contudo, em função de aspectos fitossanitários e condições ambientais como a má distribuição de chuvas e presença de horizonte coeso no solo, a Bahia encontra-se muito aquém do seu potencial produtivo (REZENDE et al., 2015). Segundo Ferraz (2011), a distribuição irregular da chuva pode promover distúrbios morfofisiológicos às culturas.

O município de Rio Real, local onde se realizou a pesquisa, é o quinto maior produtor de laranja do estado da Bahia (REZENDE et al., 2015). Localizado no litoral norte da Bahia, tem como característica climática a ocorrência de chuvas concentrada entre os meses de março a agosto (SEI, 2012), o que resulta em torno de cinco a seis meses sem água disponível no solo, fator que pode comprometer o crescimento e a produtividade das plantas agrícolas, uma vez que a água é o elemento mais abundante das células vegetais vivas, participando dentre outras funções, na manutenção da turgescência, nas atividades metabólicas e principalmente na transpiração (VIEIRA et al., 2013).

A transpiração é o processo no qual mais de 97% da água que é absorvida pelas raízes é evaporado pelas estruturas foliares (TAIZ e ZEIGER, 2017). Esse processo é governado pela diferença de concentração de vapor de água entre os espaços internos da folha e o ar externo do ambiente, bem como em função da resistência à perda de vapor de água, específico a cada espécie vegetal (VIEIRA et al., 2013). Essa perda de água para atmosfera se torna uma situação inevitável no processo de realização da fotossíntese, uma vez que a absorção de CO₂ está associada a perda de água a partir de

uma rota difusional comum: difusão da água para o ambiente concomitante com a difusão do CO₂ para dentro das células (TAIZ e ZEIGER, 2017).

O déficit hídrico do solo e do ar tem grande destaque na limitação da fotossíntese (FARIA, et al., 2007) com reduções de 25% a 75% na produtividade entre a estação úmida e seca em espécies semi-decíduas (EAMUS et al., 1999).

A água disponível às plantas encontra-se entre a capacidade de campo e o ponto de murchamento permanente, sendo esses limites dependentes de propriedades do solo como granulometria, porosidade, estrutura e a presença de sais (LIER, 2010). A medida da umidade de água no solo é de extrema importância em diferentes áreas, especialmente na atividade agrícola e a mesma pode ser quantificada por diversos métodos, sendo o mais comum o método gravimétrico, considerado padrão, mas também trabalhoso. Assim outros métodos indiretos como Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) e a Reflectometria no Domínio da Frequência (FDR), ambos métodos indiretos em que as leituras são realizadas por meio de sondas que fornece leituras precisas, rápidas e em diferentes profundidades (SOUZA, 2013).

Em situações onde a disponibilidade de água é reduzido por seca, a absorção será menos intensa do que a transpiração, o que leva as plantas a se utilizarem de diferentes alternativas para assegurar a sobrevivência (VIEIRA et al., 2013). Um dos primeiros mecanismos de resistência utilizados pelas plantas é o fechamento estomático, fator que compromete diretamente a taxa de assimilação líquida de CO₂ (CHAVES e OLIVEIRA, 2004) e, portanto, reduz a fotossíntese líquida (SILVA et al., 2010).

Outro parâmetro importante na avaliação fotossintética, e também do estado fisiológico dos vegetais é a clorofila, o pigmento mais importante em plantas superiores (KLUGE et al., 2015) responsável pela absorção da luz usada no processo fotossintético e, conseqüentemente, pela produção de ATP e NADPH (DANIEL et al., 2016).

Por controlarem a quantidade de radiação solar absorvida pelas plantas, as clorofilas constituem ótimos indicadores da eficiência fotossintética e, portanto, da produtividade primária das plantas (BLACKBURN, 2007; JESUS e MARENCO, 2008), bem como do seu crescimento e adaptabilidade aos diferentes ambientes (JESUS e MARENCO, 2008), podendo ser usado como indicativo de estresse abiótico nas plantas (CODOGNOTTO et al., 2002).

A redução de outros parâmetros como condutância estomática (gs) e transpiração (E) também foram observados em diferentes culturas submetidas à deficiência hídrica, tais como: citros (SUASSUNA et al., 2014) e palmáceas (OLIVEIRA et al., 2002; SURESH et al., 2010), indicando a influência da disponibilidade hídrica nesses parâmetros fisiológicos. Tais relações se explicam, uma vez que, na fotossíntese, o influxo de CO₂ necessário ao processo ocorre concomitante ao efluxo de água por meio da transpiração (SILVA et al., 2015).

Dessa forma, em regiões onde há má distribuição de chuvas, com a ocorrência de períodos de estiagem durante o ano, as plantas enfrentam longos períodos de deficiência hídrica tanto no solo como na atmosfera, os quais afetam mecanismo fisiológicos, bioquímicos, moleculares e morfológicos, resultado em alterações nos pigmentos fotossintéticos (SILVA et al., 2016).

Diante disso, e considerando que o teor de clorofila, bem como as taxas fotossintéticas, podem variar em resposta às mudanças ambientais e em função do genótipo, buscou-se analisar os parâmetros fotossintéticos e o teor de clorofila em diferentes combinações copa/porta-enxerto de citros, em condições de variação do potencial hídrico da folha e da umidade do solo.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na Fazenda Lagoa do Coco, Rio Real, Bahia, cuja coordenadas geográficas são: 11°34'25" de latitude Sul e 37°52'58" de longitude Oeste, com altitude de 182 m, localizada no Litoral Norte da Bahia, situada nos Tabuleiros Costeiros, com topografia plana a suave ondulada e solo Argissolo Amarelo Distrocoeso. Tal solo apresenta, como principal limitação, a presença de caráter coeso de origem pedogenética, o qual restringe a dinâmica da água no perfil. Na propriedade constam algumas quadras experimentais vinculadas à Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, onde são desenvolvidas diferentes pesquisas. O pomar avaliado possui oito anos de implantação e, durante a pesquisa os tratos culturais consistiram apenas no controle de plantas invasoras de forma mecânica.

Coletou-se amostras de solo deformadas e indeformadas para as análises da granulometria do solo, densidade do solo e macro e microporosidade (Tabelas 1 e 2), seguindo métodos descritos por Teixeira et al. (2018). Para o monitoramento do potencial hídrico do solo instalou-se em cada planta analisada sondas de TDR em cinco profundidades: 0-0,7; 0,7-0,17; 0,17-0,47; 0,47-0,87; e 0,87-1,07 m, conforme os horizontes delimitados no perfil do solo.

Tabela 1. Análise granulométrica nos horizontes do perfil do Argissolo Amarelo Distrocoeso avaliado.

Horizonte	Prof. (m)	Areia	Silte %	Argila	Classe textural
A1/A2	0 - 0,7	72,10	1,61	26,29	Franco-argiloarenosa
AB	0,7 - 0,17	74,51	1,63	23,86	Franco-argiloarenosa
BA	0,17 - 0,47	71,79	0,73	27,48	Franco-argiloarenosa
Bt1	0,47 - 0,87	62,84	0,41	36,75	Argilo-arenosa
Bt2	0,87 - 1,07	59,23	2,85	37,92	Argilo-arenosa

Tabela 2. Macro e microporosidade, porosidade total determinada e calculada, densidade de partículas e densidade do solo nos horizontes do perfil de Argissolo Amarelo Distrocoeso avaliado.

Horizonte	Prof. (m)	Ma ⁽¹⁾ (%)	Mi (%)	PT		Ds kg dm ⁻³	Dp kg dm ⁻³
				Determinada (%)	Calculada (%)		
A1/A2	0 - 0,7	12,28	18,34	30,62	34,94	1,64	2,52
AB	0,7 - 0,17	9,55	22,73	32,28	33,97	1,67	2,52
BA	0,17 - 0,47	8,74	20,64	29,38	32,21	1,71	2,52
Bt1	0,47 - 0,87	7,83	24,21	32,04	34,56	1,67	2,56
Bt2	0,87 - 1,07	10,69	25,89	36,57	41,60	1,51	2,59

(1) Prof = profundidade dos horizontes do solo; Ma = macroporosidade; Mi = microporosidade; PT = porosidade total; PT calculada = porosidade total calculada; Ds = densidade do solo; Dp = densidade de partículas.

O experimento constou na avaliação de cinco combinações da copa de laranja 'Pêra com cinco porta-enxerxes: limoeiro 'Volkameriano' (LV), limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (LCSC), citrandarin 'Índio' (TSK x TRENG 256) (TSK), tangerineira 'Sunki Tropical' (TST) e tangerineira 'Cleópatra' (TC) em diferentes épocas climáticas. O experimento foi conduzido entre os meses de março a dezembro de 2017. Durante esse período foram realizadas análises mensais da umidade do solo, potencial hídrico da folha

e taxas fotossintéticas, bem como a coleta do material para determinação do teor de clorofila.

A umidade do solo foi avaliada usando sondas de TDR, com leitura em cinco profundidades cada, sendo um conjunto por planta. As leituras obtidas na TDR registraram a umidade volumétrica com base na equação de calibração proposta por Ledieu et al. (1986) (1), inserida no equipamento:

$$\theta = 0,1138\sqrt{Ka} - 0,1758 \quad (1)$$

em que: θ = umidade volumétrica do solo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$); Ka = constante dielétrica aparente do solo.

A constante dielétrica aparente do solo foi obtida para cada valor de umidade registrado na TDR, usando a equação 2:

$$Ka = \left(\frac{\theta + 0,1758}{0,1138} \right)^2 \quad (2)$$

A calibração das sondas de TDR utilizadas para registrar a umidade do solo no campo foi feita utilizando amostras de solo coletadas em cada horizonte, com estrutura indeformada, as quais foram saturadas em laboratório após inserção de sondas de TDR nas mesmas. Após isso foram feitas simultaneamente a leitura de θ com a TDR, durante cerca de 30 dias de secamento natural das amostras, possibilitando obter Ka com base nas equações 1 e 2, e respectiva θ determinada gravimetricamente ($\theta = U_g \times D_s$). Os dados de θ determinadas em cada horizonte do perfil do solo e os dados do Ka registrados (Equação 2) foram ajustados ao modelo polinomial cúbico (Equação 3), para transformação dos dados de campo em θ (Tabela 1):

$$\theta = aKa^3 - bKa^2 + cKa - d \quad (3)$$

Tabela 3: Modelo matemático gerado para cada horizonte do perfil de Argissolo Amarelo Distrocoeso

Horizonte	Profundidade (m)	Modelos gerados	R ²
A1/A2	0 - 0,07	$y = 0,0002 Ka^3 - 0,0068 Ka^2 + 0,101 Ka - 0,429$	0,9913**
AB	0,07 - 0,17	$y = 0,0001 Ka^3 - 0,005 Ka^2 + 0,0851 Ka - 0,3897$	0,9985**
BA	0,17 - 0,47	$y = 0,0001 Ka^3 - 0,005 Ka^2 + 0,087 Ka - 0,4045$	0,9984**
Bt ₁	0,47 - 0,87	$y = 0,00006 Ka^3 - 0,0034 Ka^2 + 0,0667 Ka - 0,327$	0,9980**
Bt ₂	0,87 - 1,07 ⁺	$y = 0,0001 Ka^3 - 0,0046 Ka^2 + 0,0823 Ka - 0,387$	0,9984**

A delimitação das três épocas ocorreu com base no cálculo da média ponderada de θ no perfil do solo, considerando as cinco profundidades do perfil do solo em todas as 30 sondas, conforme a equação 4, obtendo-se a umidade armazenada no perfil (0-1,07 m), em mm:

$$\theta = [(h1*\theta1)+(h2*\theta2)+(h3*\theta3)+(h4*\theta4)+(h5*\theta5)]/(h1+h2+h3+h4+h5) \quad (4)$$

em que: h = espessura do diferentes horizontes no perfil (mm); θ = umidade do solo nos diferentes horizontes (m³ m⁻³).

Optou-se por definir as épocas com base na umidade do solo e não com base na pluviosidade mensal, para que houvesse relação mais direta entre o estado da planta e a umidade do solo, visto que as duas análises foram realizadas no mesmo dia, diferentemente da pluviosidade mensal que consideram os dias não avaliados e pode explicar as variações fisiológicas da planta.

Para a época seca, considerou-se os dados de umidade do solo referentes aos meses de março, abril e novembro; para a estação intermediária, os meses de maio, junho, outubro e dezembro; e para a estação chuvosa, os meses de julho, agosto e setembro.

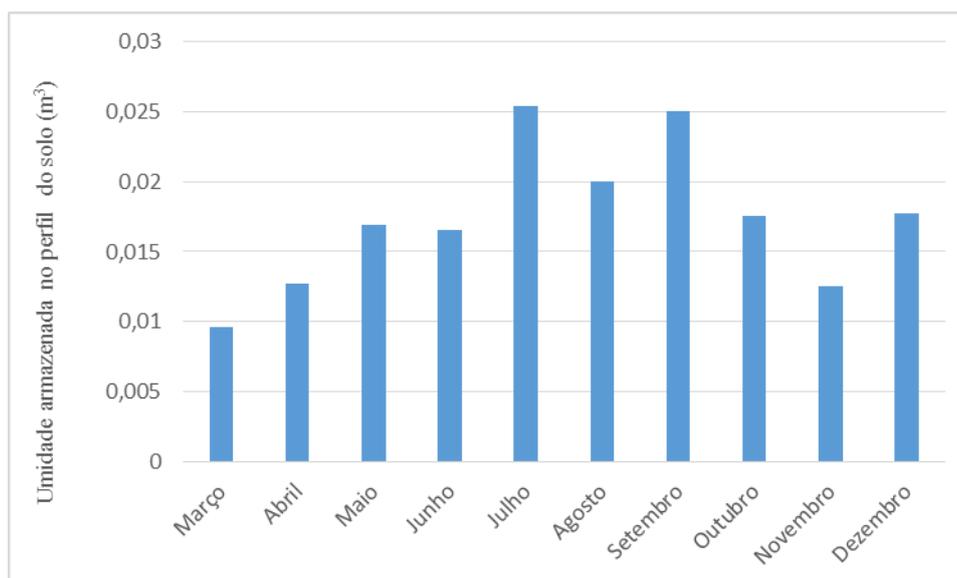


Figura 1. Umidade média do solo nos horizontes do perfil de Argissolo Amarelo Distrocoeso, no dia da análise, para cada mês analisado.

As avaliações das taxas fotossintéticas foram realizadas por meio da mensuração da taxa de assimilação de CO_2 (A) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiração (E) ($\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), déficit de pressão de vapor (DPV) (kPa), condutância estomática (gs) ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e concentração interna de CO_2 (C_i). A partir desses dados foram quantificadas a eficiência no uso de água (EUA) (A/E) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$] e a eficiência instantânea da carboxilação (EiC) (A/C_i) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$] (MELO et al., 2009; FERRAZ et al., 2012). Para a realização das análises utilizou-se o infra-redgasanalyzer (IRGA) modelo CIRAS-3 da PP Systems. As análises foram realizadas entre oito e dez horas e trinta minutos da manhã, a partir da leitura em uma folha totalmente expandida, localizada no terço médio da planta na porção leste.

O potencial hídrico foliar (Ψ_w) foi determinado, utilizando-se uma câmara de pressão tipo ‘Scholander’ modelo 3115 (Soilmoisture Equipment Corp. Santa Barbara, USA), em ramos coletados do terço médio das plantas e colhidos no período antemanhã. Os ramos foram ensacados e colocados em caixa de isopor com gelo para reduzir a transpiração até a finalização da análise.

Para a análise de clorofila utilizou-se a metodologia descrita por Barnes et al. (1992) modificado por Cruz et al. (2007). Extraiu-se discos de 5,0 mm de diâmetro, com auxílio de um furador manual, em três folhas (1 disco/folha) por planta. O material

coletado foi rapidamente transferido para tubos de vidro, previamente revestidos com papel alumínio, contendo 5 ml de dimetilsulfóxido (DMSO) e devidamente fechados com tampas.

No laboratório os tubos foram mantidos em temperatura ambiente e no escuro até completar 48 horas. Posteriormente, os extratos foram analisados em espectrofotômetro, em absorbâncias de 649 e 665 nm. A estimativa das concentrações de clorofilas *a*, *b* e total (*a+b*) foi feita a partir das seguintes equações:

$$\text{Chl } a \text{ (}\mu\text{g mL}^{-1}\text{)} = 12,7A663 - 2,69A645 \quad (5)$$

$$\text{Chl } b \text{ (}\mu\text{g mL}^{-1}\text{)} = 22,9A645 - 4,68A663 \quad (6)$$

$$\text{Chl total} = (\text{Chl } a + \text{Chl } b) \quad (7)$$

em que chl *a* é clorofila *a* ; chl *b* é clorofila *b*; chl total é clorofila total (*a + b*); A663 e A645 comprimentos de onda a que foram realizada as análises.

Foi utilizado o delineamento em parcelas subdivididas, com esquema fatorial 5x3, sendo cinco combinações copa/porta-enxertos e três épocas, seca, intermediária e chuvosa, com três repetições.

Os dados obtidos nas avaliações foram submetidos a análise de variância, pelo teste F, ($p < 0,05$) de probabilidade. Para as variáveis significativas, foram realizadas comparações de médias pelo teste Tukey, ($p < 0,05$) (SANTOS et al., 2008), utilizando-se o aplicativo Sisvar.

RESULTADO E DISCUSSÕES

Os resultados de umidade do solo (Fig. 1) indicam que os maiores valores de água armazenada no solo (0,0254, 0,021 e 0,0250 m³) foram nos meses de julho, agosto e setembro, respectivamente considerados a época úmida já os menores teores (0,0095, 0,0127 e 0,0125 m³) foram encontrados nos meses de março, abril e novembro, definida

como a época seca. Para a umidade no solo avaliada entre os porta-enxertos (Tabela 4), não houve diferença significativa em nenhuma época, indicando que havia o mesmo teor de água no solo em todos os porta-enxertos.

Tabela 4: Umidade do solo em diferentes porta-enxerto de citros sob copa de laranjeira ‘Pêra’ de acordo com a variação sazonal.

Porta enxerto	Época seca	Época intermediária	Época chuvosa
LV	0,0778 a	0,1081 a	0,1442 a
LCSC	0,0822 a	0,1163 a	0,1554 a
CI	0,0832 a	0,1169 a	0,1625 a
TST	0,0835 a	0,1206 a	0,1676 a
TC	0,0905 a	0,1248 a	0,1752 a

Médias com letras minúsculas iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entres si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). LV = limoeiro Volkameriano; LCSC = limoeiro cravo santa cruz; CI = Citrandarin Índio (TSK TRENG 256); TST = tangerineira Sunki Tropical; TC = tangerineira Cleopatra.

Os valores de umidade no solo apresentaram uma boa relação com os dados de potencial de água na folha (Tabela 5 e Fig. 2E), em que os maiores valores foram verificados na época úmida e os menores na época seca, explicados pela variação de umidade no solo entre as duas épocas.

Tabela 5: Potencial hídrico foliar (MPa) em diferentes porta-enxerto de citros sob copa laranjeira ‘Pêra’, em três épocas distintas.

Porta enxerto	Época seca	Época intermediária	Época chuvosa
LV	-1,483 a	-0,575 a	-0,501 a
LCSC	-1,616 a	-0,602 a	-0,400 a
CI	-1,588 a	-0,503 a	-0,466 a
TST	-1,900 b	-0,514 a	-0,472 a
TC	-1,883 b	-0,562 a	-0,555 b

Médias com letras minúsculas iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entres si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). LV = limoeiro volkameriano; LCSC = limoeiro cravo santa cruz; CI = Citrandarin Índio (TSK TRENG 256); TST = tangerineira Sunki Tropical; TC = tangerineira Cleopatra.

O teor de clorofila em função da variação do potencial hídrico da folha (Fig. 2 A) apontou uma relação linear crescente entre os dois parâmetros fisiológicos, com

coeficientes de determinação acima de 70%, inferindo que, à medida que ocorre redução no potencial hídrico na folha, ocorre também a redução no teor de chl *a*, *b* e total (*a+b*). Resultados semelhantes foram encontrados por Carvalho et al. (2007) em diferentes espécies do cerrado, verificando redução desses pigmentos na estação seca.

A redução do potencial hídrico da folha também apresentou uma relação linear positiva com as taxas fotossintéticas (Figura 2B e 2C), de concentração interna de CO₂ (C_i), condutância estomática (g_s), assimilação líquida de CO₂ (A) e transpiração (E), com coeficientes de determinação (0,9669), (0,9953), (0,9512) e (0,9821), respectivamente. Esses dados apontam grande influência do potencial hídrico da folha em todos os parâmetros. A redução na C_i pode estar associada ao fechamento estomático comum em condições de restrição hídrica, o que leva ao menor suprimento de dióxido de carbono no processo fotossintético (SHINOZAKI e YAMAGUCHI-SHINOZAKI, 2007).

Ao avaliar a cultura do algodão submetida a diferentes regimes hídricos Ennahli e Ear (2005) verificaram a redução de g_s mediante a redução na disponibilidade hídrica do solo, ratificando essas relações. A redução da assimilação líquida de CO₂ concomitante a redução no potencial hídrico da folha e do solo também foi observado em pesquisas com andiroba (GONÇALVES et al., 2009), citros (SUASSUNA et al., 2014).

Os maiores valores de transpiração- (E) (Tabela 3), foram observados na época chuvosa (dados não apresentados) com redução contínua entre a estação intermediária e a estação seca, indicando um fechamento parcial dos estômatos em todos os tratamentos, como consequência da redução na umidade do solo, observada entre os períodos avaliados. De acordo com Silva et al. (2015), a redução na umidade do solo leva a planta a reduzir a perda de água pela transpiração.

Para os parâmetros déficit de pressão de vapor -VPD e Eficiência instantânea no uso da água (EiUA) (Tabela 7), os valores foram decrescendo entre as épocas seca, intermediária e chuvosa, seguindo um processo inverso ao potencial hídrico da folha, ou seja, o maior DPV e a maior EiUA ocorreram quando as plantas apresentaram o menor estado hídrico da folha. Esses resultados já eram esperados, visto que na estação seca há uma maior demanda evaporativa do ar e menor potencial hídrico nas plantas.

Não houve diferença significativa entre os porta-enxertos nas épocas intermediárias e chuvosa para todas as variáveis analisadas (dados não apresentados). Na estação seca, os maiores teores de clorofila *a*, *b* e total (*a* + *b*) (Tabela 6) foram registrados nos porta-enxertos limão Volkameriano e tangerina Cleopatra, os quais diferiram estatisticamente dos demais. Os maiores teores de clorofila, especialmente a clorofila total, observados nesses porta-enxertos, podem ter contribuído para os resultados de assimilação líquida de CO₂ (Tabela 7), verificado nesses mesmos porta-enxertos, uma vez que esses pigmentos estão diretamente ligados aos processos fotossintéticos.

Para as variáveis concentração interna de CO₂-(C_i) e condutância estomática (g_s), (Tabela 7), os menores valores foram registrados para o porta-enxerto tangerineira Cleopatra, diferindo estatisticamente dos demais. Esse resultado está relacionado ao menor potencial hídrico da folha registrado nesse porta-enxerto (Tabela 6), o que pode influenciar na redução da condutância estomática, visto que alta condutância estomática está relacionada a grande consumo de água e alta demanda evaporativa do ar (SALIENDRA e MEINZER, 1991). Logo, a redução na disponibilidade de água converge para o fechamento parcial ou total dos estômatos e conseqüentemente redução de todas as taxas fotossintéticas.

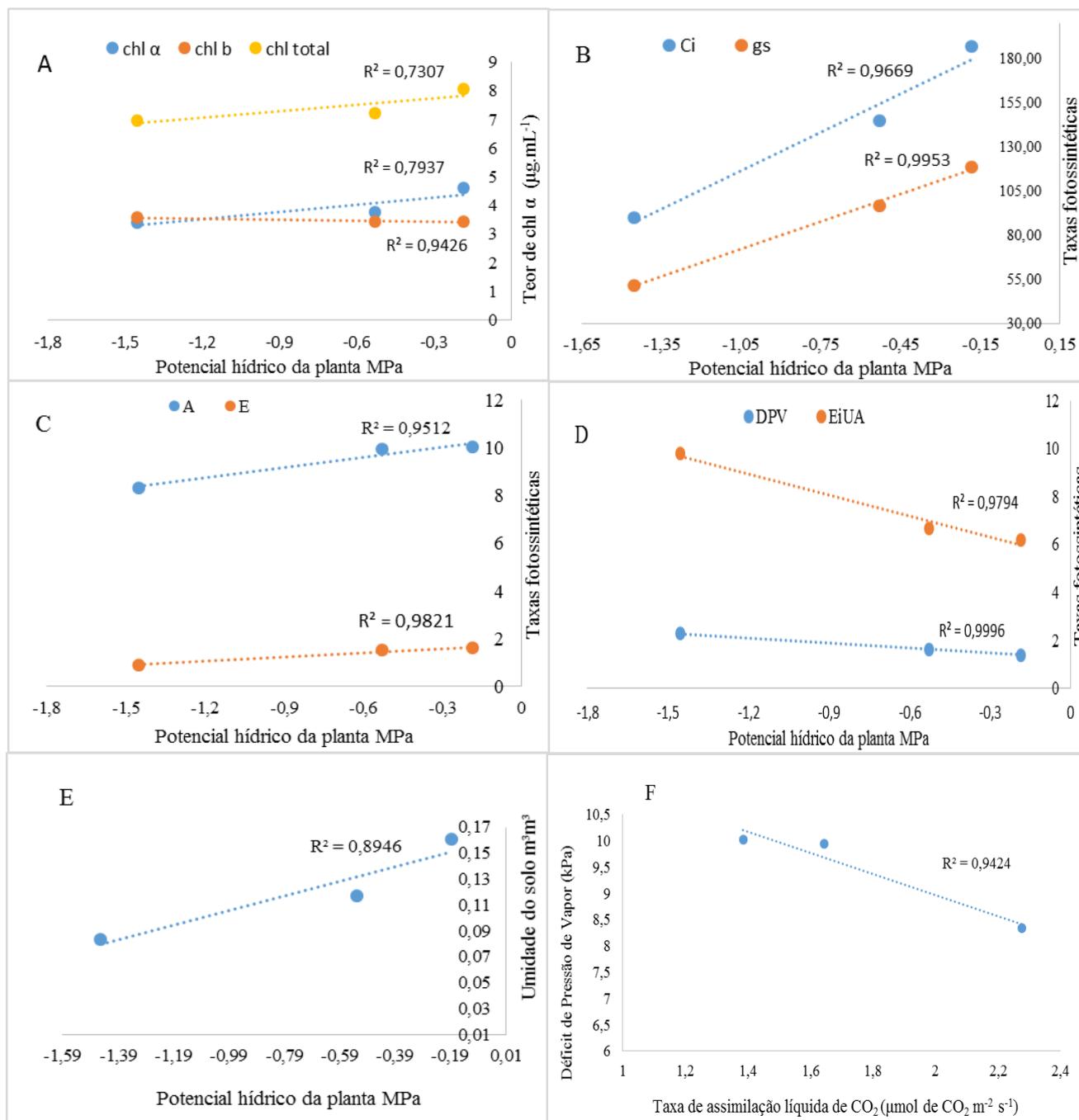


Figura 2: Relação entre o potencial hídrico da folha de plantas cítricas, o teor de clorofila (a , b e $a+b$) e as taxas fotossintética. Cada ponto das curvas representa uma época, sendo da esquerda para a direita: seco, intermediário e chuvoso. Cada ponto é a média de 135 leituras. chl a = clorofila a , chl b = clorofila b e chl total = clorofila ($a+b$); (Ci)- Concentração interna de CO_2 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); (g_s)- Condutância estomática ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); (A)-Taxa de assimilação líquida de CO_2 ($\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); (E)-transpiração ($\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); EiUA- eficiência no uso de água (EiUA) (A/E) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1}$]; Déficit de Pressão de Vapor-DPV (kPa).

Tabela 6: Teores de clorofila e potencial hídrico da folha para diferentes porta-enxerto de citros sob copa de laranja ‘Pêra’, na época seca.

Porta-enxerto	Teores de clorofila ($\mu\text{g mL}^{-1}$)			Potencial hídrico (ψ) MPa
	Chl <i>a</i>	Chl <i>b</i>	Chl total (<i>a+b</i>)	
LV	3,738 a	3,707 a	7,445 a	-1,483 a
LCSC	2,982 b	3,399 b	6,381 b	-1,616 a
CI	3,126 b	3,085 b	6,211 b	-1,588 a
TST	3,008 b	2,965 b	5,973 b	-1,700 b
TC	3,413 a	4,889 a	8,302 a	-1,883 b

Médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entres si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). Chl *a* – Clorofila *a*; Chl *b* – Clorofila *b*; Chl total – clorofila total (*a + b*). LV = limoeiro Volkameriano; LCSC = limoeiro Cravo Santa Cruz; CI = Citrandarin Índio (TSK TRENG 256); TST = tangerineira Sunki Tropical; TC = tangerineira cleopatra.

Tabela 7: Parâmetros fotossintéticos em diferentes combinações copa porta-enxerto de citros na época seca.

Porta-enxerto	Parâmetros fotossintéticos					
	(Ci)	(g _s)	(A)	DPV	(E)	(EiUA)
	($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	($\mu\text{mol de CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	(kPa)	($\mu\text{mol de CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	[($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ⁻¹]
LV	102,11 a	54,11 a	10,13 a	2,09 b	0,92 a	11,10 b
LCSC	96,55 a	58,33 a	8,68 a	2,08 b	1,13 a	7,87 d
CI	87,11 a	48,55 a	7,10 b	2,21 b	0,71 b	9,77 c
TST	113,44 a	53,33 a	7,22 b	2,51 a	1,06 a	7,00 d
TC	51,44 b	37,44 b	8,30 a	2,48 a	0,63 b	13,18 a

Médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente diferem estatisticamente entres si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). (Ci)- Concentração interna de CO_2 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); Condutância estomática (g_s) ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$); Déficit de Pressão de Vapor-DPV (kPa); Taxa de transpiração (E) ($\mu\text{mol de CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$); Eficiência fotossintética no uso da água (EiUA) [($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$)⁻¹]; Taxa de assimilação líquida de CO_2 -(A) ($\mu\text{mol de CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Nesse caso, a redução da umidade do solo e do potencial hídrico da folha, no período seco, pode ter influenciado a redução e/ou fechamento estomático das plantas, como forma de minimizar a perda de água e em contrapartida, comprometeu a

condutância estomática, ou seja, reduziu a entrada de CO₂ na câmara subestomática e, conseqüentemente reduziu a concentração interna de CO₂ em todos os porta-enxertos, mas com destaque para o tangerineira Cleopatra.

Houve correlação linear positiva entre g_s e os valores de concentração interna de CO₂ (Fig. 2), indicando a dependência entre as duas variáveis, e delas em relação a disponibilidade hídrica. A regressão linear entre a condutância estomática e a concentração interna de CO₂, evidenciou diferentes graus de dependência entre os porta-enxerto, sendo o maior valor de coeficiente de determinação R^2 (0,9599) registrado no porta-enxerto limoeiro Cravo Santa Cruz e o menor valor (0,7204) no porta enxerto Citrandarin Índio. De maneira geral, os resultados apontam uma dependência mínima de mais de 70% entre as duas variáveis analisadas.

A regressão linear entre as variáveis condutância estomática $-g_s$ e assimilação líquida de CO₂-(A) (Figura 3), indicam a dependência entre essas variáveis, com coeficientes de determinação variando entre 0,83 e 0,92 para os porta-enxertos tangerineira Cleopatra e limoeiro Volkameriano, respectivamente. Os resultados de regressão indicam uma interação linear crescente, em que o aumento da condutância estomática- g_s , resulta no aumento na taxa de assimilação líquida de CO₂-(A). Outros autores também verificaram essa relação entre g_s e A para diferentes culturas, pupunheira (OLIVEIRA et al., 2002) e citros (MACHADO et al., 2005).

A correlação linear simples (correlação de Pearson) entre as taxas fotossintéticas e o potencial hídrico foliar (Tabela 8) expressaram altos valores de coeficiente de correlação. Nas variáveis assimilação líquida de CO₂, condutância estomática, transpiração e concentração interna de CO₂, a correlação foi positiva, indicando que a medida que aumenta o potencial hídrico foliar, todas essas variáveis aumentam. Para o déficit de pressão de vapor e a eficiência no uso da água os coeficientes de determinação foram negativos, evidenciando que a medida que o potencial hídrico foliar aumenta, essas variáveis diminuem.

Houve ainda correlação positiva entre a umidade do solo e o potencial hídrico foliar (Tabela 8) ratificando a relação entre essas variáveis e a conseqüente influência nas taxas fotossintéticas.

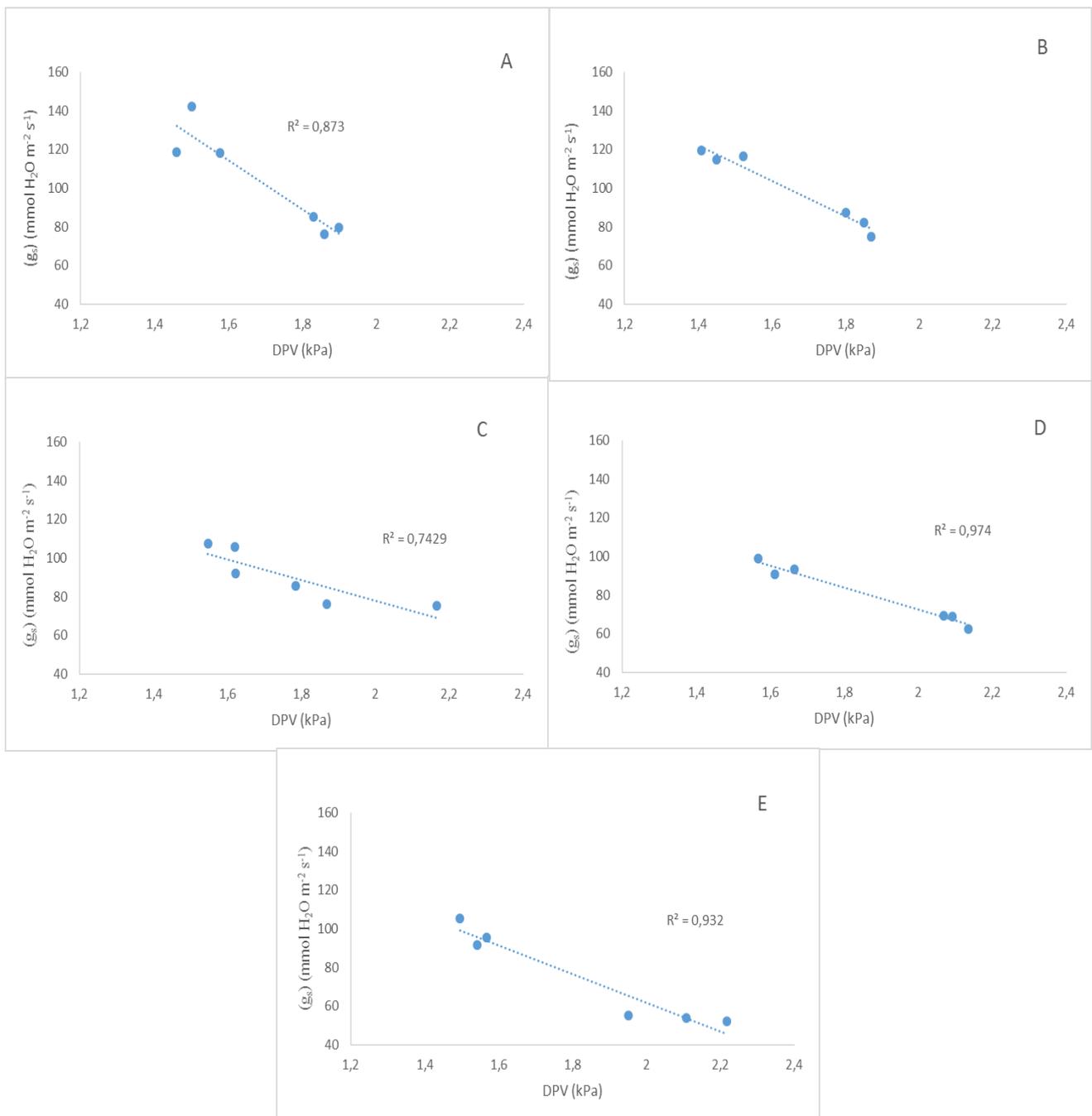


Figura 3: Regressão linear entre condutância estomática- g_s e Déficit de pressão de vapor – (VPD) para diferentes porta-enxertos de Citros. (A) – timoeiro Volkameriano; (B) - limoeiro Cravo Santa Cruz; (C) – Citrandarin Índio (TSK x TRENG 256); (D) – tangerineira Sunki Tropical; (E) – tangerineira Cleopatra.

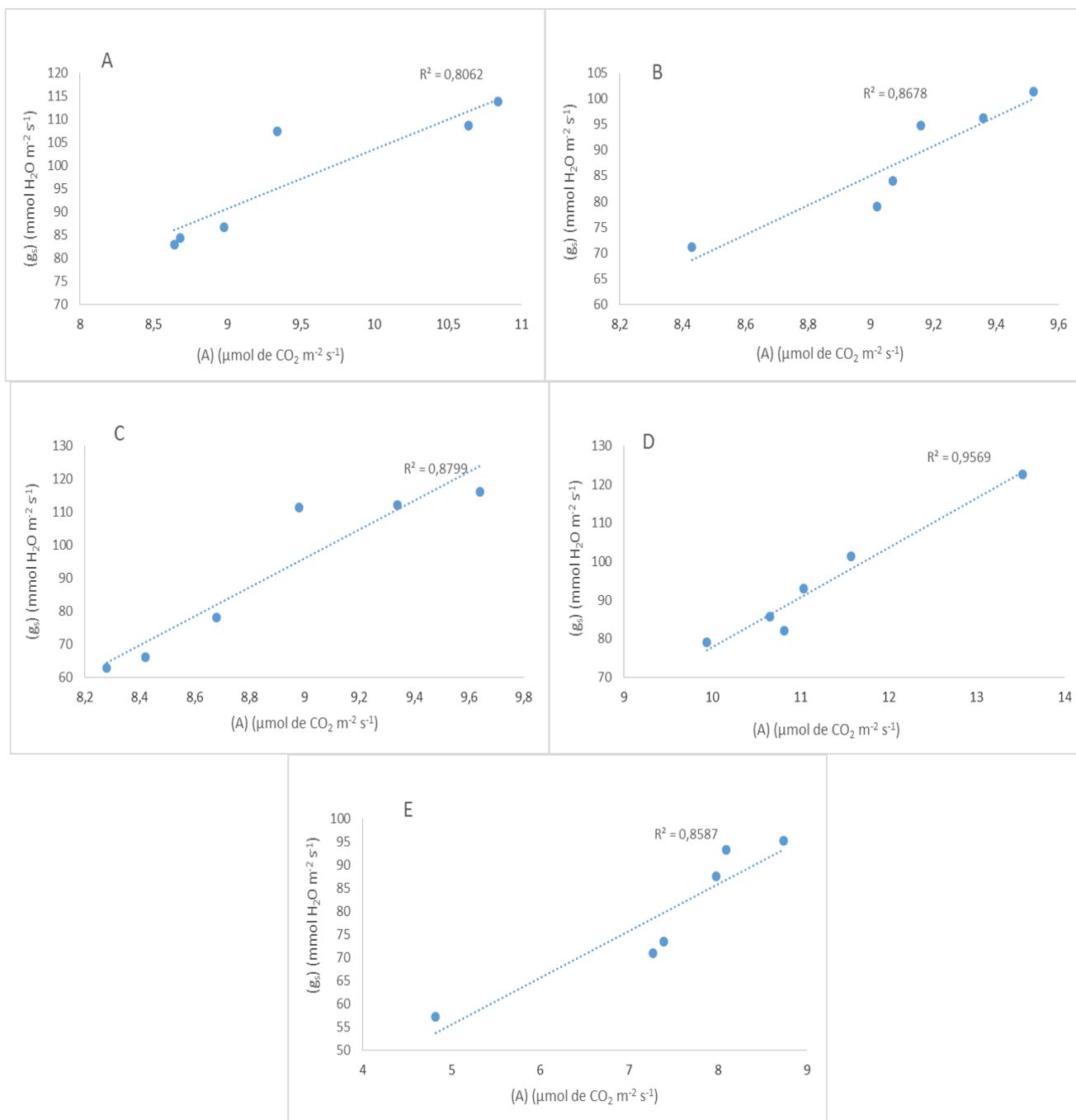


Figura 4: Regressão linear entre condutância estomática- (g_s) e taxa de assimilação líquida de CO_2 - (A) para diferentes porta-enxertos de citros sob copa de laranja “Pêra”. (A) – limoeiro Volkameriano; (B)- limoeiro Cravo Santa Cruz; (C); Citrandarin Índio (TSK x TRENG 256); (D) – tangerineira SunkiTropical; (E) – tangerineira Cleopatra.

Tabela 8: Correlação linear (Pearson) entre diferentes taxas fotossintéticas e potencial hídrico da folha (unidade)

Variáveis correlacionadas							
DPV	θ_{Solo}	Ψ_{folha}	Ψ_{folha}	Ψ_{folha}	Ψ_{folha}	Ψ_{folha}	Ψ_{folha}
x	x	x	x	x	x	x	x
A	Ψ_{folha}	DPV	EiUA	A	E	Ci	g_s
-0,970	0,945	-0,999	-0,999	0,975	0,991	0,983	0,997

(Ci)- Concentração interna de CO_2 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); Condutância estomática (g_s) ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$); Déficit de Pressão de Vapor-DPV (kPa); Taxa de transpiração (E) ($\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$); Eficiência fotossintética no uso da água (EiUA) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$]; Taxa de assimilação líquida de CO_2 -(A) ($\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Houve diferença entre os porta-enxertos para a variável DPV no período seco, sendo os maiores valores registrados nos porta-enxertos tangerineira Sunki Tropical e tangerineira Cleopatra. Esse resultado pode estar relacionado aos baixos valores de potencial hídrico verificado nesses mesmos porta-enxertos. Além disso, esses dados explicam parcialmente os valores de g_s , visto que o aumento da DPV e da temperatura estão relacionados a redução da condutância estomática e da fotossíntese, intensificados mediante a queda na disponibilidade hídrica do solo e da planta (MEDINA et al., 2005).

A influência do DPV sobre a g_s pode ser constatada na regressão linear entre as duas variáveis (Fig. 3). As maiores correlações foram observadas nos porta-enxertos limoeiro Cravo Santa Cruz tangerineira Sunki Tropical e tangerineira Cleopatra, (Fig. 3A, 3D e 3E) respectivamente, com coeficientes de determinação superiores a 90%.

Os dados de DPV são inversamente proporcionais aos valores de assimilação líquida de CO_2 , justificado pelo fato da redução na taxa de fotossíntese está, em parte, relacionada com altas temperaturas e altos déficits de pressão de vapor na atmosfera (KHAIRI e HALL, 1976; MEDINA et al., 2005).

CONCLUSÕES

1. Existe correlação positiva entre os teores de clorofila e o potencial hídrico da folha, indicando a influência da disponibilidade hídrica para a produção desse pigmento.

2. O potencial hídrico foliar teve grande influência em todos os parâmetros fotossintéticos, com coeficientes de correlação acima de 97%, indicando a grande influência deste na fotossíntese.
3. Entre os porta-enxertos, o limoeiro Volkameriano foi o que apresentou as maiores taxas fotossintéticas, associados aos maiores potenciais hídricos da folha, menores taxas de transpiração e de déficit de pressão de vapor. Trata-se, portanto de um porta-enxerto com grande potencial de uso em áreas com restrição hídrica.

REFERÊNCIAS

BARNES, J.D. et al. A reappraisal of the use of DMSO for the extraction and determination of chlorophylls *a* and *b* in lichens and higher plants. **Environmental and Experimental Botany**, v.32, n.2, p.85-100, 1992.

BLACKBURN, G.A. Hyperspectral remote sensing of plant pigments. **Journal of Experimental Botany**, v.58, n.4, p.855- 867, 2007. Disponível em: <<http://jxb.oxfordjournals.org/cgi/content/abstract/58/4/855>>. Acesso em: 16 dez. 2009. doi:10.1093/jxb/erl123.

CARVALHO, A. P. F.; BUSTAMANTE, M. M.C.; KOZOVITS, A. R. e ASNER, G. P. Variações sazonais nas concentrações de pigmentos e nutrientes em folhas de espécies de cerrado com diferentes estratégias fenológicas. **Revista Brasil. Bot.**, V.30, n.1, p.19-27, jan.-mar. 2007.

CHAVES, M. M. e OLIVEIRA, M. M. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. **Journal of Experimental Botany**, Volume 55, Issue 407, 1 November 2004.

CODOGNOTTO, L. M.; LEITE, I.C.; SANTOS, D. M. M.; MADALENO, L.L.; KOBORI, N.N.; MARIN, A.; MADALENO, L. L.; KOBORI, N. N.; BANZATTO, D. A. Efeito do alumínio nos teores de clorofilas de plântulas de feijão-mungo e labe-labe. **Revista Ecosistema**, v.27, n.12, p. 27-30, 2002.

Companhia Nacional de Abastecimento (Conab). Produção agrícola 2016/2017. Disponível em: https://www.noticiasagricolas.com.br/noticias/laranja-acitrus/194339-usda-preve-aumento-de-34-na-safra-brasileira-de-laranja.html#_WekUtlSzDe Acesso em: 15 de Outubro, 2017.

CRUZ, A.C.F.; SANTOS, R. P.; IAREMA, L.; FERNANDES, K. R. G.; KUKI, K. N.; ARAÚJO, R. F. e OTONI, W. C. et al. Métodos comparativos na extração de pigmentos foliares de três híbridos de *Bixa orellana* L. **Revista Brasileira de Biociências**, v.5, Supl.2, p.777-779, 2007.

DANIEL, E. da S.; AMARANTE, C. V. T. do; MARTIN, M. S. de; MIQUELLUTI, D. J.; CAMPOS, M. L. Relação entre o teor absoluto e relativo de clorofila em folhas de vimeiro. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 307-312, jan.-mar., 2016.

EAMUS, D., MYERS, B., DUFF, G. & WILLIAMS, D. 1999. Ecophysiological traits of deciduous and evergreen woody species in the seasonally dry tropics. **Tree Physiology** 14:11-16.

ENNAHLI S.; EARL H, J, Physiological limitations to photosynthetic carbon assimilation in cotton under water stress, **Crop Science**, v, 45, p, 2374–2382, 2005.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. Ecofisiologia da Soja. Londrina: Embrapa CNPSO, 2007. 9p. (Circular Técnica, N. 48).

FERRAZ, R, L, de S.; MELO, A, S, de, FERREIRA, R, de S.; DUTRA, A, F, e FIGUEREDO, L, F, de, Aspectos morfofisiológicos, rendimento e eficiência no uso da água do meloeiro ‘Gália’ em ambiente protegido, **Revista Ciência Agronômica, Fortaleza**, v, 42, n, 4, p, 957-964, 2011.

GONÇALVES, J. F. de C.; SILVA, C. E. M.; GUIMARÃES, D. G. Fotossíntese e potencial hídrico foliar de plantas jovens de andiroba submetidas à deficiência hídrica e à reidratação. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.44, n.1, p.8-14, jan. 2009.

JESUS, S.V.; MARENCO, R.A. O SPAD-502 como alternativa para a determinação dos teores de clorofila em espécies frutíferas. *Acta Amazonica*, Manaus, v.38, n.4, p.815-818, 2008.

KLUGE, R. A. A.;* TEZOTTO-ULIANA, J. V.; SILVA, P. P. M. da. Aspectos Fisiológicos e Ambientais da Fotossíntese **Rev. Virtual Quim.**, 2015, 7 (1), 56-73. Disponível em: <http://www.uff.br/rvq> Acesso: 11 de Abr. 2018.

KHAIRI, M.M.A.; HALL, A.E. Temperature and humidity effects on net photosynthesis and transpiration of citrus. **Physiologia Plantarum**, v.36, p.29-34, 1976.

LEDIEU, J.; DE RIDDER, P.; DE CLERCK, P. & DAUTREBANDE, S. A method for measuring soil water moisture by time-domain reflectometry. *J. Hydrol.*, 88:319-328, 1986.

LIER, J. V. Q. (Ed.). **Física do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. 298p.

MACHADO, E. C.; SCHMIDT, P. T.; MEDINA, C. L. e RIBEIRO, R. V. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.40, n.12, p.1161-1170, dez. 2005.

MEDINA, C.L.; MACHADO, E.C.; RENA, A.B.; SIQUEIRA, D.L. de. Fisiologia dos citros. In: MATTOS JÚNIOR, D.; DE NEGRI, J. D.; PIO, R. M.; POMPEU Jr, J. (Ed.). **Citros**. Campinas: IAC, 2005. p. 147-195.

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

OLIVEIRA, M. A, J, de; BOVI, M, L, A; MACHADO, E, C,; GOMES, M, M, de A,; HABERMANN, G,; RODRIGUES, J, D, Fotossíntese, condutância estomática e transpiração em pupunheira sob deficiência hídrica, **Scientia Agricola**, v,59, n,1, p,59-63, jan./mar, 2002.

REZENDE, J. O.; SHIBATA, R. T.; SOUZA, L. da S. **Justificativa e recomendações técnicas para o “plantio direto” dos citros nos tabuleiros e osteiros: tura dos ênfase na citricultura dos estado da Bahia e Sergipe**. Cruz das Almas, BA: UFRB, 2015.

SALIENDRA, N.Z.; MEINZER, F.C. Symplast volume, turgor, stomatal conductance and growth in relation to osmotic and elastic adjustment in droughted sugarcane. **J. Exp. Bot.**, 42:1251-1259, 1991.

SANTOS, M.C. A.; AROUCHA, E.M.M.; SOUZA, M.S.; SILVA, R.F.; SOUSA, P.A. Condicionamento Osmótico de Sementes. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 2, p. 1-6, 2008.

SHINOZAKI, K; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K. Gene networks involved in drought stress response and tolerance. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 58, n. 2, p. 221-227, 2007.

SILVA, C, D, S,; SANTOS, P, A, A,; LIRA, J, M, S,; SANTANA, M, C,; SILVA JUNIOR, C, D, Curso diário das trocas gasosas em plantas de feijão-caupi submetidas à deficiência hídrica, **Revista Caatinga**, v,23, p,7-13, 2010.

SILVA, F, G, da; DUTRA, W, F,; DUTRA, A, F,; OLIVEIRA, I, M, de; FILGUEIRAS, L, M, B, & MELO, A, S, de, Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação, **R, Bras, Eng, Agríc, Ambiental**, v,19, n,10, p,946-952, 2015.

SILVA, A. R. A. da; BEZERRA, F. M. L.; LACERDA, C. F. de; SOUSA, C. H. C. de; CHAGAS, K. L. Pigmentos fotossintéticos e potencial hídrico foliar em plantas jovens de coqueiro sob estresses hídrico e salino. *Revista Agro@mbiente On-line*, v. 10, n. 4, p. 317-325, outubro-dezembro, 2016.

SOUZA, C. F. Calibração de sondas FDR e TDR para a estimativa da umidade em dois tipos de solo. **Irriga**, Botucatu, v.18, p. 597-606, out./dez. 2013.

SUASSUNA, J. F.; FERNANDES, P. D.; BRITO, K. S. A. DE; NASCIMENTO, R. DO; MELO, A. S. DE; BRITO, M. E. B. Trocas gasosas e componentes de crescimento em porta-enxertos de citros submetidos à restrição hídrica. **Irriga, Botucatu**, v. 19, n. 3, p. 464-477, julho-setembro, 2014.

SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA (SEI). Estatística dos municípios baianos. v. 1 n. 2. Salvador: SEI, 2012. Disponível em:

http://www.sei.ba.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=2441&Itemid=284. Acesso: 22 de Out. 2018.

SURESH, R.; NAGAMANI, C.; RAMACHANDRUDU, K.; MATHUR, R. K. Gas-exchange characteristics, leaf water potential and chlorophyll a fluorescence in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) seedlings under stress and recovery. **Photosynthetica**, 430-436, 2010.

VIEIRA, E. L.; SOUZA, G. S. de; SANTOS, A. R. DOS; SANTOS SILVA, J. dos. **Manual de Fisiologia vegetal**. São Luis: EDUFMA, 2010. 186p.

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

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573 p.

CAPÍTULO 3: Teor de Clorofila e Índice de Clorofila Falker em diferentes porta-enxerto de citros

Rivani Oliveira Ferreira¹
Marilza Neves do Nascimento²
Luciano da Silva Souza³

RESUMO

O teor de clorofila (Chl) presente nos vegetais verdes tem grande relação com o estado momentâneo da planta em realizar fotossíntese. Convencionalmente, a determinação de clorofila é feita por extração com solventes orgânicos e determinação em espectrofotômetro, sendo este método caro, trabalhoso e além disso um método destrutivo. Assim, o uso de aparelhos portáteis tem sido utilizado em substituição, pois possibilitam estudos sem a destruição dos tecidos foliares e obtenção de medidas instantâneas. Desta forma, objetivou-se correlacionar os resultados de clorofila obtidos em laboratório com o Índice de Clorofila Falker (ICF) obtidos por meio do ClorofiLog, em diferentes porta-enxertos de citros, bem como sua relação com a variação de umidade do solo. Foram obtidas correlações simples positivas (correlação linear de Pearson), para chl *a*, *b* e total (*a* + *b*), sendo os menores valores de correlação observado para chl *b*, a qual variou de 0,470 – 788 entre os porta-enxertos analisados. Os coeficientes de determinação para as três variáveis chl *a*, *b* e total apontaram um melhor ajuste pelo modelo de regressão polinomial em todos os porta-enxertos analisados; de maneira geral os melhores resultados foram para a chl *a*, variando de 0,7093 – 0,8551. Os resultados apontam a utilidade do aparelho ClorofiLog na determinação indireta dos teores de clorofila em citros.

Palavras-chave: Determinação indireta dos teores de clorofila, Índice Clorofila Falker; Limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’, Limoeiro ‘Volkameriano’; Tangerineira ‘Sunki Tropical’; Tangerineira ‘Cleópatra’ e Citrandarin índio (‘TSK x TRENG 256’).

INTRODUÇÃO

Os Citros é uma cultura de grande importância na economia brasileira, sendo cultivado em todo território nacional, com destaque para os estados de São Paulo, Bahia e Sergipe (IBGE, 2016). A produção citrícola do Nordeste brasileiro concentra-se nos Tabuleiros Costeiros, onde a distribuição de chuva é bastante irregular, com registros de longos períodos de estiagem, fator que compromete a produtividade agrícola e gera grandes prejuízos aos produtores (COELHO et al., 2006).

Um dos principais processos relacionados a produtividade das plantas é a fotossíntese, e entre os fatores ligados à eficiência fotossintética e conseqüentemente ao

crescimento e adaptabilidade a diversos ambientes encontra-se a clorofila, pigmento presente em todos os vegetais verdes (ENGEL e POGGIANI, 1991). Esses pigmentos cloroplastídicos tornam-se importantes neste contexto, pois são responsáveis pela captura de luz usada na fotossíntese, sendo essenciais na conversão da radiação luminosa em energia química, ATP e NADPH (BATISTA et al., 2011). As clorofilas (*a* e *b*) não apenas são pigmentos responsáveis pela expressão da cor nos vegetais como também são indicativo da eficiência fotossintética das plantas e, portanto, da sua produtividade primária, uma vez que controlam a quantidade de radiação solar absorvida pelas plantas (ENGEL e POGGIANI, 1991; BLACKBURN, 2007). Os tipos e as quantidades de pigmentos fotossintéticos presentes nos vegetais variam conforme a espécie (STREIT et al., 2005; CRUZ et al., 2007), bem como em função de fatores ambientais, dentre eles a disponibilidade de água.

Nesse caso, o estresse por déficit hídrico pode levar a perda de clorofila e declínio na capacidade fotossintética (SILVA et al., 2014). Assim, a quantidade e a composição dos pigmentos presentes nas plantas podem ser usados como parâmetros para avaliar o nível de estresse nas plantas e suas respectivas tolerâncias (CODOGNOTTO et al., 2002; JABEEN, SHAHBAZ e ASHRAF, 2008).

A quantificação dos teores de clorofila é feita normalmente por extração, usando diferentes solventes orgânicos como a acetona, o éter, o dimetilsulfóxido ou o metanol (CRUZ et al., 2007), seguida da determinação padrão, baseada na absorbância de luz pelos pigmentos (ARNON, 1949). Contudo, além da variação nos resultados em função do tipo de solvente usado (RITCHIE, 2008), esse método é muito trabalhoso.

Desta forma, foram desenvolvidos medidores portáteis que determinam os teores de clorofila, baseando-se nas características óticas das folhas (ARGENTA, SILVA e BORTOLINE, 2001). Esse método indireto calcula o teor de clorofila a partir da quantidade de luz transmitida pela folha em dois ou três comprimentos de onda (a depender da marca do aparelho) em diferentes absorbâncias, gerando um índice do clorofilômetro que corresponde a quantidade de clorofila *a* e *b* (ARGENTA et al., 2001).

Um desses aparelhos é o ClorofiLog, modelo CFL 1030, produzido pela Falker Automação Agrícola. O clorofiLog mede a absorção de luz pela folha em comprimentos de onda específicos: 635, 660 e 880 nm e a partir das relações de absorção nas diferentes frequências é determinado o Índice de Clorofila Falker (ICF) (FALKER, 2009). Esse equipamento é de mais recente uso em relação ao (SPAD), clorofilômetro

de origem japonesa (BARBIERI JUNIOR et al., 2012), o qual já foi empregado em diversos trabalhos, inclusive com citros (JIFON e WHALEY, 2005;). O emprego dos aparelhos na determinação do teor de clorofila tem como principais vantagens o fato de serem mais práticos e rápidos (MIELKE, SCHAFFER e LI, 2010), sobretudo pelos produtores em campo (LEONARDO, et al., 2013).

Assim, considerando que o teor de clorofila pode variar em resposta as mudanças ambientais e que sua análise a partir do método não destrutivo pode representar uma ferramenta importante na atividade agrícola, buscou-se comparar o teor de clorofila obtido pelo método direto com dimetilsulfóxido e o índice de Clorofila Falker, em diferentes porta-enxerto de citros e sua relação com a variação de umidade no solo.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na Fazenda Lagoa do Coco, Rio Real, BA, cuja coordenadas geográficas: 11°34'25" de latitude Sul e 37°52'58" de longitude Oeste, altitude de 182 m, localizada no Litoral Norte da Bahia, situada em Tabuleiro Costeiro, com topografia plana a suave ondulada e predominância de Latossolos Amarelos e Argissolos Amarelos apresentando o caráter coeso em condições naturais. A propriedade consta de algumas quadras experimentais vinculadas à Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. O pomar analisado possui oito anos de implantação e durante a pesquisa os tratos culturais consistiram apenas no controle de plantas invasoras de forma mecânica.

O experimento constou na avaliação de cinco combinações copa porta-enxerto de citros, sendo a copa de laranja 'Pêra enxertadas em limoeiro 'Cravo Santa Cruz', limoeiro 'Volkameriano', tangerineira 'Sunki Tropical', tangerineira 'Cleópatra' e citrandarin índio ('TSK x TRENG 256). Foram realizadas análises mensais durante dez meses (Março a Dezembro de 2017).

O Índice de Clorofila Falker (ICF) foi determinado mediante leitura com clorofilômetro, ClorofiLog modelo CFL 1030, na parte mediana da folha, na face adaxial, em três folhas por planta. Em seguida procedeu-se à extração de discos de 5,0mm de diâmetro, com auxílio de um furador manual, em três folhas (1 disco/folha). O material coletado foi transferido para tubos de vidro, previamente revestidos com papel alumínio contendo 5 ml de dimetilsulfóxido (DMSO). Os tubos foram devidamente

fechados com as respectivas tampas. O protocolo utilizado para extração e quantificação foi para dimetilsulfóxido (DMSO), descrito em Barnes, et al. (1992) modificado por Cruz et al., (2007) para temperatura ambiente.

No laboratório, os tubos foram mantidos no escuro até completar 48 horas desde o momento da coleta, quando então, os extratos foram analisados em espectrofotômetro, nas absorvâncias de 649 e 665nm. A estimativa das concentrações de clorofilas *a* e *b* foi feita a partir das seguintes equações 1, 2 e 3:

$$\text{chl } a \text{ (}\mu\text{g.mL}^{-1}\text{)} = 12,7 A_{665} - 2,69 A_{649} \quad (1)$$

$$\text{chl } b \text{ (}\mu\text{g.mL}^{-1}\text{)}, \text{ chl } b \text{ (}\mu\text{g.mL}^{-1}\text{)} = 22,9 A_{649} - 4,68 A_{665} \quad (2)$$

$$\text{chl total} = (\text{chl } a + \text{chl } b) \quad (3)$$

Para o monitoramento do potencial hídrico do solo instalou-se em cada planta analisada uma sonda de TDR em cinco profundidades diferentes 0-0,7; 0,7-0,17 – 0,17 – 0,47; 0,47 – 0,87; 0,87 – 1,07 cm, seguindo as profundidades dos horizontes. As leituras obtidas na TDR registraram a umidade volumétrica com base na equação de calibração proposta por Ledieu et al. (1986) (1), inserida no equipamento:

$$\theta = 0,1138\sqrt{Ka} - 0,1758 \quad (4)$$

em que:

θ = umidade volumétrica do solo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

Ka = constante dielétrica aparente do solo.

A constante dielétrica aparente do solo foi obtida para cada valor de umidade registrado na TDR, usando a equação 5:

$$Ka = \left(\frac{\theta + 0,1758}{0,1138} \right)^2 \quad (5)$$

A calibração das sondas de TDR utilizadas para registrar a umidade do solo no campo foi feita utilizando amostras de solo coletadas em cada horizonte, com estrutura indeformada, as quais foram saturadas em laboratório após inserção de sondas de TDR nas mesmas. Após isso foram feitas simultaneamente a leitura de θ com a TDR, durante cerca de 30 dias de secamento natural das amostras, possibilitando obter Ka com base nas equações 1 e 2, e respectiva θ determinada gravimetricamente ($\theta = U_g \times D_s$). Os

dados de θ determinada em cada horizonte do perfil do solo e Ka registrados (Equação 2) foram ajustados ao modelo polinomial cúbico (Equação 3), para transformação dos dados de campo em θ (Tabela 3):

$$\theta = aKa^3 - bKa^2 + cKa - d \quad (6)$$

O delineamento utilizado foi em parcelas subdivididas, com cinco tratamentos e três repetições, sendo cada repetição constituída por uma planta. Os seguintes tratamentos foram analisados: copa de laranjeira ‘Pêra enxertada em: limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’, limoeiro ‘Volkameriano’, tangerineira ‘Sunki Tropical’, tangerineira ‘Cleópatra’ e Citrandarin Índio (‘TSK x TRENG 256). Os dados obtidos nas avaliações foram submetidos a análise de correlação simples (Correlação Linear de Pearson) entre os valores SPAD e dos teores de clorofila. Adicionalmente foi realizado teste de regressão linear e polinomial a 5% de probabilidade usando o aplicativo Sisvar (2008). Foi realizado também correlação simples (Correlação Linear de Pearson) entre a umidade do solo e os teores de clorofila determinado em laboratório, bem como em relação ao Índice de Clorofila Falker.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de correlação simples (Correlação Linear de Pearson) para os teores de clorofila determinado em laboratório e os resultados do Índice de Clorofila Falker (ICF) (tabela 1), mostra uma alta correlação entre os valores para a variável chl a , sendo que o menor valor de correlação obtido foi para o porta-enxerto Limão Volkameriano e o maior valor para híbrido Citrandarin índio (TSK TRENG 256), com valores respectivos de (0,809 e 0,897). Esses resultados indicam a possibilidade de uso do aparelho portátil em substituição as análises de laboratório, sem grandes prejuízos, especialmente para a maioria dos porta-enxertos e sobretudo, para acompanhamento dessa cultura na atividade agrícola.

Para os resultados de chl b , observa-se uma correlação menor, sendo que os porta-enxertos que apresentaram as maiores correlações foram respectivamente Tangerinera Cleopatara (0,788) e Sunki Tropical (0,699). Os valores encontrados para

clorofila total variaram entre (0,796) para o Citrandarin Índio e (0,914) para o porta-enxerto Tangerineira Cleopatara.

Tabela1: Coeficientes de correlação simples (correlação linear de Pearson) entre os valores de clorofila *a*, *b* e *total* extraídos com DMSO em relação ao Índice Falker para diferentes porta-enxerto de citros

Porta enxerto	Correlações		
	<i>Chl a</i>	<i>Chl b</i>	<i>Chl total (a + b)</i>
LV	0,809	0,543	0,806
LCSC	0,825	0,561	0,831
CI	0,897	0,470	0,796
TST	0,873	0,699	0,869
TC	0,862	0,788	0,914

Chl a – Clorofila *a*; *Chl b* – clorofila *b*; *Chl total (a + b)* – clorofila total; LV – limoeiro Volkameriano; LCSC – limoeiro Cravo Santa Cruz; CI – Citrandarin índio (TSK TRENG 256); TST – tangerineira Sunki Tropical; LC – limoeiro Cleopatra.

A partir dos coeficientes de determinação (r^2) encontrados para cada porta-enxerto, utilizando-se o modelo de regressão linear (Fig. 1) e o modelo de regressão polinomial (Fig. 2), verifica-se um relativo aumento do modelo linear para o modelo polinomial, indicando que este último apresentou um melhor ajuste de correlação para todas as variáveis analisadas, mas especialmente para o teor de chl *a* e total. Jifon e Whaley (2005) também observam reduções no coeficiente de correlação obtido por regressão linear em citros, quando comparado ao modelo de regressão polinomial, atribuindo tal resultado a baixa eficiência de absorção de luz pelas folhas com alto teor de Chl. Apesar de ligeiramente menores, os coeficientes de determinação para chl *a* pelo modelo de regressão polinomial se aproximaram mais dos valores de correlação linear de Pearson do que os valores obtidos pelo modelo de regressão linear.

Os coeficientes de determinação (r^2) pelo modelo de regressão linear para chl *a* variaram de (0,65) no porta-enxerto Limão Volkameriano a (0,80) no Limão TSK TRENG 256; o coeficiente linear de determinação para chl total variou entre (0,63) e (0,83), respectivamente para os porta-enxertos CI e TC. Jesus e Marengo (2008) encontraram coeficiente linear de determinação de 0,80, tanto para a variável chl *a* quanto para a clorofila total e o índice SPAD, ao avaliar uma variedade de limão; a

maioria dos porta-enxertos do presente trabalho apresentaram valores de determinação aproximados.

Os coeficientes de determinação linear para chl *b* encontrados neste trabalho foram muito baixos, variando de (0,22) para o Citrandarin Índior (TSK TRENG 256) a (0,62) para Tangerina Cleopatra; a maioria dos porta-enxertos diferem bastante do valor encontrado por Jesus e Marengo (2008) correspondente a (0,76) em variedade de limão. No entanto, esses valores se assemelham ao encontrado por Neves, et al. (2005) em algodoeiro, os quais encontraram uma menor correlação (0,48) para chl *b* e (0,79) para chl *a*, atribuído essa diferença ao fato do segundo pico de absorção da luz vermelha pela clorofila *a* (663nm) além de ser maior que o da clorofila *b*, está muito próximo do comprimento de onda emitido pelo SPAD-502 (650). Tal situação pode se aplicar aos resultados para o presente estudo, apesar de se tratar do índice de Clorofila Falker (ICF) e não do índice SPAD. De qualquer forma, o ClorofiLog também emite pico de absorção (660nm) mais próximos do da chl *a* do que da chl *b*.

No modelo de regressão polinomial, os valores de coeficiente de determinação (r^2) para a variável chl *a* variaram entre (0,71) e (0,85) nos porta-enxertos Limão Cravo Santa Cruz e Tangerineira Sunki Tropical, respectivamente. Esses valores se assemelham aos valores encontrados por Jifon e Whaley (2005) para algumas variedades de citros, ao correlacionar pelo modelo polinomial os teores de chl e o índice SPAD. Barbieri Junior et al. (2012) verificaram correlações do teor de chl em gramínea forrageira tifton e o ICF nos valores de (0,64 e 0,79), os quais estão dentro da faixa dos valores encontrados neste trabalho, apesar de se tratar de espécies bem diferentes. Devido à pouca publicação de trabalhos com ICF, os dados foram comparados mais ao índice SPAD, visto se tratar de princípios semelhantes.

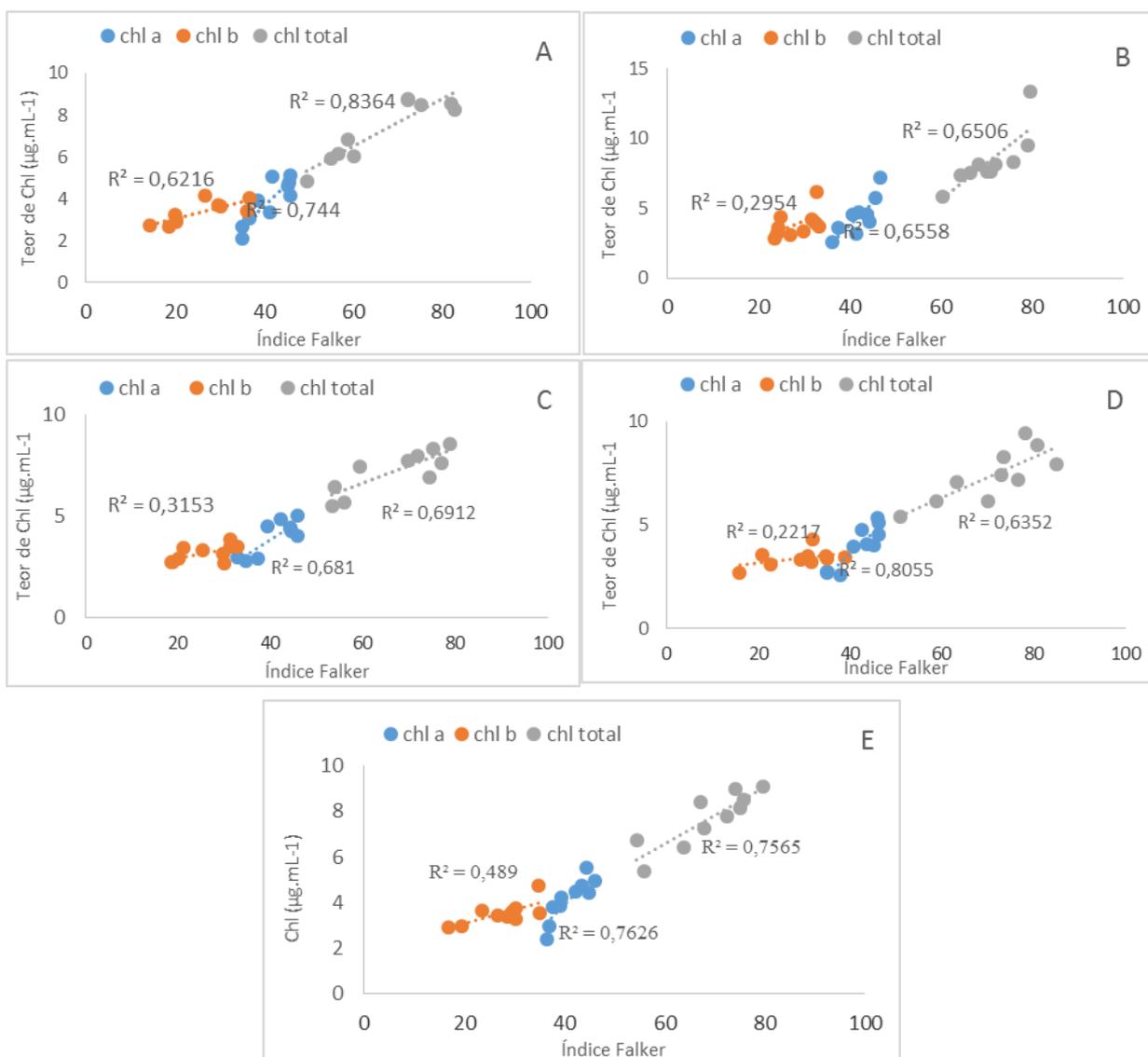


Figura 1: Relação linear entre os teores de clorofila a, b e total extraídos com DMSO e o Índice Falker para tangerineira Cleopatra (A), limoeiro Volkameriano (B), limoeiro Cravo Santa Cruz (C), Citrandarin Índio (TSK TRENG 256) (D) e tangerineira Sunki Tropical (E).

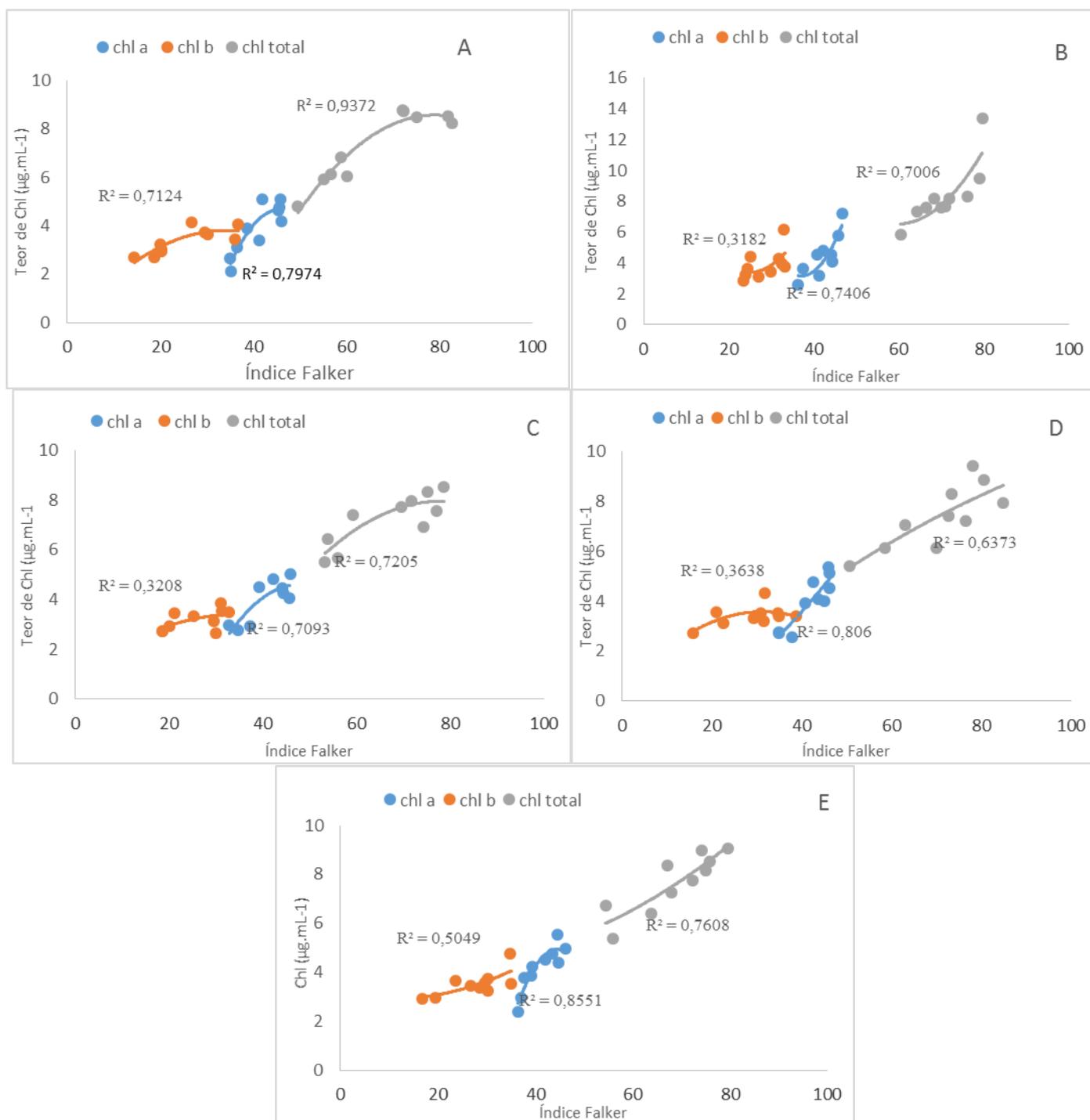


Figura 2: Resultados da regressão polinomial entre os teores de clorofila a, b e total extraídos com DMSO e o Índice Falker para tangerineira Cleopatra (A), limoeiro Volkameriano (B), Limoeiro Cravo Santa Cruz (C), Citrandarin Índio (TSK TRENG 256) (D) e tangerineira Sunki Tropical (E).

Os resultados de correlação linear simples (Pearson) (Tabela 2) entre a umidade do solo e os teores de clorofila (a, b e total), determinados em laboratório bem

como pelo ICF, apontaram uma maior correlação da umidade do solo com ICF do que com os teores de clorofila determinado em laboratório; as amplitudes de correlação oscilaram entre (0,667 e 0,783) para chl *a*, (0,540 e 0,834) chl *b* e (0,676 e 0,966) chl total nos resultados de ICF e (0,540 e 0,706) chl *a*, (0,320 e 0,670) para chl *b* e (0,585 e 0,813) para chl total determinado em laboratório. De maneira geral, as maiores correlações de umidade do solo tanto pelo método de laboratório quanto pelo ICF foram observados para chl total. Silva et al. (2014) verificaram que a variação de umidade do solo modificou os teores de chl *a*, *b* e total em cana de açúcar, ratificando a correlação existente entre essas variáveis.

Entre os porta-enxertos analisados, verifica-se que o Limão Volkameriano e a Tangerina Sunki Tropical foram os que apresentaram as maiores correlações para a maioria das variáveis, tanto pelo método de laboratório quanto para o ICF.

Tabela2: Coeficientes de correlação simples (correlação linear de Pearson) entre a umidade do solo e os valores de clorofila *a*, *b* e total (*a* + *b*) extraídos com DMSO e obtidos pelo Índice Clorofila Falker (ICF) para diferentes porta-enxerto de citros

PENX	Chl DMSO ($\mu\text{g.mL}^{-1}$)			ICF		
	Chl <i>a</i>	Chl <i>b</i>	Chl total	Chl <i>a</i>	Chl <i>b</i>	Chl total
LV	0,674	0,605	0,813	0,705	0,834	0,966
LCSC	0,540	0,410	0,585	0,668	0,540	0,755
CI	0,651	0,320	0,589	0,667	0,560	0,676
TST	0,706	0,487	0,747	0,783	0,803	0,892
TC	0,569	0,670	0,646	0,680	0,670	0,681

Chl *a* – Clorofila *a*; Chl *b* – clorofila *b*; Chl total (*a* + *b*) – clorofila total; LV – limoeiro Volkameriano; LCSC – limoeiro Cravo Santa Cruz; CI – Citrandarin índio (TSK TRENG 256); TST – tangerineira Sunki Tropical; LC – limoeiro Cleopatra.

CONCLUSÕES

1. Os resultados de correlação linear simples e regressão polinomial, indicam a possibilidade de uso do aparelho portátil em substituição as análises de laboratório, especialmente no manejo da cultura dos citros.

2. O modelo de regressão polinomial demonstrou ser o mais adequado para análise de correlação entre os teores de clorofila e o ICF em citros, quando comparado ao modelo de regressão linear.
3. As diferenças nos resultados de correlação entre os porta-enxertos, indicam a necessidade de modelos de ajuste para cada variedade de citros na determinação de chl pelo método indireto (ICF).

REFERÊNCIAS

ARGENTA, G.; DA SILVA, P. R. F.; BORTOLINI, C. G. et al. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.13, p.158-167, 2001.

ARNON, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, 24(1), 1-15. <https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1>

BARBIERI JUNIOR, É.; ROSSIELLO, R. O. P. SILVA, R. V. M. M.; RIBEIRO, R. C. MORENZ, M. J. F. Um novo clorofilômetro para estimar os teores de clorofila em folhas do capim Tifton 85. **Ciência Rural, Santa Maria (online)**. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cr/2012nahead/a35512cr4895.pdf> acesso: em 10 de Out. 2017.

BARNES, J.D.; Balaguer, L.; Manrique, E.; Elvira, S.; Davison, A.W. A reappraisal of the use of DMSO for the extraction and determination of chlorophylls *a* and *b* in lichens and higher plants. **Environmental and Experimental Botany**, v.32, n.2, p.85-100, 1992.

BATISTA, K. D.; ARAÚJO, W. L.; ANTUNES, W. C.; CAVATTE, P. C.; MORAES, G. A. B. K.; MARTINS, S. C. V.; DAMATTA, F. M. Photosynthetic limitations in coffee plants are chiefly governed by diffusive factors. **Trees**, Viçosa, v. 26, n. 2, p.459-468, 23 ago. 2011.

BLACKBURN, G.A. Hyperspectral remote sensing of plant pigments. **Journal of Experimental Botany**, v.58, n.4, p.855- 867, 2007. Disponível em: <<http://jxb.oxfordjournals.org/cgi/content/abstract/58/4/855>>. Acesso em: 16 dez. 2009. doi:10.1093/jxb/erl123.

CODOGNOTTO, L. M.; LEITE, I.C.; SANTOS, D. M. M.; MADALENO, L.L.; KOBORI, N.N.; MARIN, A.; BANZATTO, D. A. Efeito do alumínio nos teores de clorofilas de plântulas de feijão-mungo e labe-labe. **Revista Ecossistema**, v.27, n.12, p. 27-30, 2002.

COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; SIMÕES, W. L.; COELHO, Y. S. Irrigação em citros nas condições do nordeste do Brasil. **Laranja**, v.27, p.297-320, 2006.

CRUZ, A.C.F.; Santos, R. P.; Iarema, L.; Fernandes, K. R. G.; Kuki, K. N.; Araújo, R. F.; Otoni, W. C. Métodos comparativos na extração de pigmentos foliares de três

híbridos de *Bixa orellana* L. **Revista Brasileira de Biociências**, v.5, Supl.2, p.777-779, 2007.

ENGEL, V. L.; POGGIANI, F. Estudo da concentração de clorofila nas folhas e seu espectro de absorção de luz em função do sombreamento em mudas de quatro espécies florestais nativas. **Rev. Bras. Fisiol. Vegetal** v. 3, n.1, p. 39-45, 1991.

FALKER AUTOMAÇÃO AGRÍCOLA Ltda. **Manual do medidor eletrônico de teor clorofila (ClorofiLOG / CFL 1030)**. Porto Alegre: Falker Automação Agrícola. Revisão B, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618#resultado> Acesso: 05 de Fev. 2018.

JABEEN, F.; SHAHBAZ, M.; ASHRAF, M. Discriminating some prospective cultivars of maize (*Zea mays* L.) for drought tolerance using gas exchange characteristics and proline contents as physiological markers. **Pakistan Journal of Botany, Islamabad**, v. 40, n. 6, p. 2329-2343, 2008.

JESUS, S. V. de; MARENCO, R. A. O SPAD-502 como alternativa para a determinação dos teores de clorofila em espécies frutíferas. **Acta Amazonica**, vol. 38(4) 2008: 815 – 818.

JIFON, J. e WHALEY, E. Growth Environment and Leaf Anatomy Affect Nondestructive Estimates of Chlorophyll and Nitrogen in Citrus sp. Leaves. **J. AMER. SOC. HORT. SCI.** 130(2):152–158. 2005.

LEDIEU, J.; DE RIDDER, P.; DE CLERCK, P. & DAUTREBANDE, S. A method for measuring soil water moisture by time-domain reflectometry. *J. Hydrol.*, 88:319-328, 1986.

LEONARDO, F. de A. P.; PEREIRA, W. E.; SILVA, S. de M.; COSTA, J. P. da. **Teor de clorofila e índice SPAD no abacaxizeiro cv. vitória em função da adubação nitrogenada**. *Rev. Bras. Frutic.*, Jaboticabal - SP, v. 35, n. 2, p. 377-383 Junho 2013.

MIELKE, M. S., SCHAFFER, B., LI, C. Use of a SPAD meter to estimate chlorophyll content in *Eugenia uniflora* L. leaves as affected by contrasting light environments and soil flooding. **Photosynthetica**. v. 48, p.332-338, 2010.

NEVES, O. S. C.s; CARVALHO, J. G. de.; MARTINS, F. A. D. PÁDUA, T. R. P. de e PINHO, P. J. de. Uso do SPAD-502 na avaliação dos teores foliares de clorofila, nitrogênio, enxofre, ferro e manganês do algodoeiro herbáceo. (Nota). **Pesq. agropec. bras., Brasília**, v.40, n.5, p.517-521, maio 2005.

RITCHIE, R.J. Universal chlorophyll equations for estimating chlorophylls *a*, *b*, *c*, and *d* and total chlorophylls in natural assemblages of photosynthetic organisms using acetone, methanol, or ethanol solvents. **Photosynthetica**, v.46, n.1, p.115-126, 2008. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/8163013p214176x3/>>. Acesso em: 05 set. 2017. doi: 10.1007/s11099-008-0019-7.

SILVA, M. de A.; SANTOS, C. M. dos; VITORINO, H. dos S.; RHEIN, A. F. de L. Pigmentos fotossintéticos e índice SPAD como descritores de intensidade do estresse por deficiência hídrica em cana-de-açúcar. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 30, n. 1, p. 173-181, Jan./Feb. 2014.

STREIT, N. N.; CANTERLE, L. P.; CANTO, M. W. do; HECKTHEUER, L. H. H. As clorofilas. **Ciência Rural**, v.35, n.3, p.748-755, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782005000300043&script=sci_arttext>. Acesso em: 05 set. 2017. doi: 0.1590/S0103- 84782005000300043.

CONCLUSÃO GERAL

As avaliações de umidade do solo permitiram diferenciar três períodos distintos seco, úmido e intermediário, sendo que as variações no teor de água disponível apresentaram boa correlação linear com todas as variáveis analisadas: condutância estomáticas, assimilação líquida de CO₂, concentração interna de CO₂, déficit de pressão de vapor, transpiração, teor de clorofila e potencial hídrico da folha.

Houve também a correlação linear entre as variáveis, condutância estomática e concentração interna de CO₂, bem como correlação linear inversa entre as variáveis condutância estomática, assimilação líquida de CO₂ e concentração interna de CO₂ com as variáveis transpiração e déficit de pressão de vapor.

Os resultados também mostraram diferenças entre os porta-enxerto analisados, sendo os maiores valores verificados no porta-enxerto limão Volkameriano, indicando ser um dos porta-enxertos mais resistentes ao déficit hídrico. Essa premissa vale também para análise de ponto de murchamento permanente, sendo esse o porta-enxeto que resistiu ao déficit hídrico, tanto pelo método tradicional quanto pelo método de rega.

Em relação ao método de determinação de clorofila, verificou-se grande relação entre os dados obtidos por determinação direta, com extração e determinação pelo espectrofotômetro e os índices ClorofiLOG, obtido indiretamente com o aparelho. Esses resultados indicam a possibilidade de uso do aparelho em análises de colorofila de citros, sem grandes prejuízos.

ANEXO

CAPÍTULO 3 – Comparison of Different Methods for Assessing Chlorophyll Content in Citrus

Rivani Oliveira Ferreira¹, Marilza Neves do Nascimento¹, Luciano da Silva Souza²,
Felipe Gomes Frederico da Silveira² & Roberto Toyohiro Shibata²

¹ Department of Biological Sciences, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, BA, Brazil

² Department of Soils Sciences, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, BA, Brazil

Correspondence: Rivani Oliveira Ferreira, Potsgraduate Program in Plant Genetic Resources, Universidade Estadual de Feira de Santana, Av. Transnordestina, s/n, Labio, Novo Horizonte, Feira de Santana, BA, CEP: 44036900, Brazil. E-mail: rivaniserrinha@yahoo.com.br

Received: May 2, 2018 Accepted: June 17, 2018 Online Published: August 15, 2018

doi:10.5539/jas.v10n9pxx URL: <https://doi.org/10.5539/jas.v10n9pxx>

Abstract

The content of chlorophyll-Chl present in green vegetables is strongly associated with the momentary state of the plant photosynthesis. Conventionally, determination of chlorophyll is by extraction with organic solvents and determining a spectrophotometer, and this method expensive, laborious and moreover a destructive method. Thus, the use of portable equipment has been used instead, as they allow studies without destruction of leaf tissue and obtaining instantaneous measurements. Thus, the aim of correlating the chlorophyll results obtained in the laboratory with Falker Chlorophyll Index (FCI) obtained by the ChlorofiLog in different citrus rootstocks, as well as its relationship to soil moisture content variation. Positive simple correlations (linear Pearson correlation) were obtained for chl α , β and total, with the lowest correlation values observed for chl β , which ranged from 0.470-788 among the analyzed rootstocks. The coefficients of determination for the three variables chl α , β and total $\alpha+\beta$ showed a better fit by the polynomial regression model in all analyzed rootstocks; in general, the best results were for chl α , ranging from 0.7093-0.8551. The results indicate the usefulness of the ChlorofiLog apparatus in the indirect determination of chlorophyll content in citrus.

Keywords: indirect determination of chlorophyll content, Falker Chlorophyll Index, Volkamer lime, Santa Cruz Rangpur lime, soil moisture, Cleopatra mandarin, Tropical Sunki mandarin, TSK \times TRENG

1. Introduction

The Citrus is a very important crop in the Brazilian economy, being cultivated throughout the country, especially in the states of São Paulo, Bahia and Sergipe (IBGE, 2016). The citrus production in Northeast Brazil focuses on the tableland, where rainfall distribution is very uneven, with records of long periods of drought, a factor that affects agricultural productivity and causes extensive damage to producers (E. Coelho, Coelho Filho, Simões, & Y. Coelho, 2006).

One of the main processes related plant productivity is photosynthesis, and among the factors related to the photosynthetic efficiency and hence growth and adaptability to different environments is chlorophyll, present in all green vegetables (Engel & Poggiani, 1991). These chloroplastid pigments are important in this context because they are responsible for light used in photosynthesis and are essential in the conversion of light radiation into chemical energy ATP and NADPH (Batista, Araújo, Antunes, Cavatte, Morães, Martins, & Damatta, 2012). The Chlorophylls ($\alpha + \beta$) they are not only pigments responsible for the color expression in plants but are also indicative of photosynthetic efficiency of plants and therefore its primary

productivity, since they control the amount of solar radiation absorbed by plants (Engel & Poggiani, 1991; Blackburn, 2007).

In this case, the stress by drought can lead to loss of chlorophyll and decline in photosynthetic capacity (Silva, Santos, Vitorino & Rhein, 2014). Thus, the amount and composition of pigments present in plants can be used as parameters to evaluate the stress level in plants and their respective tolerances (Codognotto et al., 2002; Jabeen, Shahbaz & Ashraf, 2008).

Quantitation of chlorophyll content is normally carried out by extraction using different organic solvents such as acetone, ether, dimethylsulfoxide or methanol (Cruz et al., 2007), followed by the standard determination based on the absorbance of light by the pigments (Arnon, 1949). However, besides the variation in results depending on the type of solvent used (Ritchie, 2008), this method is very laborious.

Thus, portable meters have been developed that determine chlorophyll content, based on optical characteristics of the sheets (Argenta, Da Silva, & Bortoline, 2001). This indirect method calculates the chlorophyll content from the amount of light transmitted through a sheet at two or three wavelengths (depending on device brand) at different absorbencies, generating a chlorophyll content that corresponds to the amount of chlorophyll α and β (Argenta et al., 2001).

One such device is the ClorofiLog, CFL 1030 model produced by Falker Agricultural Automation. The clorofiLog measures the absorption of light by the sheet at specific wavelengths: 635, 660 and 880 nm and absorption from the relations in the different frequencies is determined Falker Chlorophyll Index (FCI) (Falker, 2009). This equipment is of recent use in relation to SPAD, chlorophyll meter of Japanese origin (Barbieri junior, Rossiello, Silva, Ribeiro, & Morenz, 2012.), which was already employed in various jobs, including citrus (Jifon, Syvertsens, & Whaley, 2005; Vale & Prado, 2009). The use of the devices in determining the chlorophyll content's main advantage the fact that they are more practical and fast (Mielke, Schaffer, & Li, 2010), especially by producers in the field (Leonardo, Pereira, Silva, & Costa, 2013).

Thus, whereas the chlorophyll content may vary in response to environmental changes and their analysis from the non-destructive method may represent an important tool in agriculture. We sought to compare the chlorophyll content obtained by the direct method by dimethyl sulfoxide and Chlorophyll content in different Falker rootstock citrus and its relationship to moisture content variation in soil.

2. Materials and Methods

The work was carried out on the farm Coconut Lagoon, Rio Real, BA, (geographical coordinates: 11°34'25"S and 37°52'58"W, altitude 182 m), north coast of Bahia, located at Coastal Board, with flat topography wavy soft and predominance of Oxisols Yellow and Yellow Argissolos presenting the cohesive character in natural conditions. The property consists of some experimental blocks linked to the Federal University of Bahia Reconcavo. The orchard has analyzed eight years of implementation and during the search the cultural treatments were limited in weed control mechanically.

The experiment consisted in the evaluation of five combinations Cup rootstock citrus, and orange cup "Pera" grafted on Santa Cruz Rangpur lime, Volkamer mandarin, Tropical Sunki mandarin, Cleopatra mandarin and Indian lime (TSK \times TRENG 256) monthly analyzes were performed for ten months (March to December, 2017).

The Falker Chlorophyll Index (FCI) was determined by reading with chlorophyll meter, ClorofiLog CFL 1030 model, in the median part of the leaf, on the adaxial surface, on three leaves per plant. Then he proceeded to the extraction 5.0mm diameter disks with the aid of a

manual punch on three sheets (1disco/sheet). The collected material was transferred to glass tubes previously coated with aluminum foil containing 5 ml of dimethylsulfoxide (DMSO). The tubes were appropriately sealed with their lids. The protocol used for the extraction and quantification was to dimethylsulfoxide (DMSO), as described in Barnes, Balaguer, Manrique, Elvira, and Davison (1992).

In the laboratory, the vials were kept in the dark for 48 hours at room temperature, after which the extracts were analyzed in a spectrophotometer, absorbance at 649 and 665nm. The estimated concentrations of chlorophyll α and β was made from the following equations: Chl α ($\mu\text{g mL}^{-1}$) = $12.7A_{663} - 2.69A_{645}$; Chl β ($\mu\text{g mL}^{-1}$) = $22.9A_{645} - 4.68A_{663}$; total chl = (Chl α + Chl β).

To monitor the soil water potential installed in each plant analyzing a TDR probe different depths in five 0-0.7; 0.7 to 0.17-0.17 to 0.47; from 0.47 to 0.87; from 0.87 to 1.07 cm, according to the depths of horizons. The readings recorded in the TDR soil moisture based on calibration equation proposed by Ledieu et al. (1986) (1) inserted into the machine:

$$\theta = 0.1138\sqrt{Ka} - 0.1758 \quad (1)$$

Where, θ = volumetric water content ($\text{cm}^3 \text{ cm}^3$); Ka = apparent dielectric constant of the soil.

The apparent dielectric constant of soil was obtained for each humidity value recorded in the TDR using Equation 2:

$$Ka = \left(\frac{\theta + 0.1758}{0.1138} \right)^2 \quad (2)$$

Calibration of the TDR probes used to record the soil moisture in the field was made using soil samples from each horizon with undeformed structure, which were saturated in the laboratory after inserting TDR probes therein. After that θ were simultaneously made to read the TDR for about 30 days natural drying of samples, allowing to obtain Ka based on equations 1 and 2, and their determined gravimetrically θ ($\theta = U_g \times D_s$). The data θ determined at each horizon of the soil profile and recorded Ka (Equation 2) were adjusted to a cubic polynomial model (Equation 3), for processing of the field data θ (Table 3):

$$\theta = aKa^3 - bKa^2 + cKa^3 - d \quad (3)$$

The experimental design was a split-plot, with three replicates and five treatments, with each replicate comprising a plant. The following treatments were examined: crownorange ‘‘Pera’’ grafted on Cravo Santa Rangpur lime, Volkamer mandarin, Tropical Sunki mandarin, Cleopatra mandarin, and Indian lime (TSK \times TRENG 256). The data obtained in evaluations were subjected to a simple correlation analysis (Pearson correlation) between the FCI values and chlorophyll content. Additionally it was carried out linear regression polynomial and with 5% significance using the software Sisvar v. 5.3 (Ferreira, 2008). After it was also realized simple correlation (Pearson’s linear correlation) between soil moisture content and the determined levels of chlorophyll in the laboratory as well as in relation to Falker Chlorophyll index.

3. Results and Discussions

The results of simple correlation (linear correlation Pearson) to the determined levels of chlorophyll in the laboratory and the results of the Falker Chlorophyll Index (FCI) (Table 1), show a high correlation between the values for chl α variable, and the smallest correlation value obtained was for the Volkamer lime rootstock and the highest value for the indian lime (TSK \times TRENG 250), with respective values (0.809 and 0.897). These results indicate the possibility of using the handset to replace laboratory analysis without major damage, especially for most rootstocks and especially to follow this culture in agriculture.

For the results of chl β , there is a lower correlation, and rootstocks with the highest correlations were respectively Cleopatarata mandarin (0.788) and Tropical Sunki mandarin (0.699). The values found for total chlorophyll $\alpha+\beta$, varied between (0.766) for Indian lime (TSK TRENG 250) and (0.914) for the Cleopatarata mandarin.

Table 1. Pearson correlation coefficients (Pearson linear correlation) between the values of chlorophyll α , β and the total ($\alpha+\beta$) extracted by DMSO in relation to Falker index for different rootstock (Penx) citrus

Penx	Correlations		
	Chl α	Chl β	Total Chl ($\alpha+\beta$)
L. Volk	0.809	0.543	0.806
L. CSC	0.825	0.561	0.831
L. Indian	0.897	0.470	0.796
T. Sunki	0.873	0.699	0.869
T. Cleo	0.862	0.788	0.914

Note. Penx: rootstock; Chl α : chlorophyll α ; Chl β : chlorophyll β ; Total Chl: total chlorophyll ($\alpha+\beta$); L. Volk: Volkamer lime; L. CSC: Santa Cruz Rangpur lime; L. Indian: Indian lime (TSK \times TRENG 256); L. Sunki: Tropical Sunki mandarin; L. Cleo: Cleopatra mandarin.

Since the coefficient of determination (R^2) found for each rootstock from the linear regression model (Figure 1) and polynomial regression model (Figure 2), there is a relative increase in the linear model for polynomial model, indicating that the latter had a better correlation adjusting for all variables, but especially for the chl α and total chl. Jifon and Whaley (2005) also observed reductions in the correlation coefficient obtained by linear regression in citrus, compared to the polynomial regression model, attributing this result low efficiency of light absorption by leaves with high content of Chl. Although slightly smaller, coefficients for determining the chl α through polynomial regression model were closer to the linear Pearson correlation values than values obtained by the linear regression model.

The coefficients of determination (R^2) by linear regression model for chl α from 0.65 in the Volkamer lime rootstock, 0.80 in Indian lime (TSK \times TRENG 256); linear coefficient of determination for the total chlorophyll $\alpha+\beta$ change between 0.63 and 0.83 respectively for Indian lime (TSK \times TRENG 256) and Cleopatra mandarin rootstocks. When evaluating a variety of limes, Jesus and Marengo (2008) found a linear coefficient of determination of 0.80, by SPAD index, for both chl α and total chlorophyll $\alpha+\beta$; the majority of the rootstocks of the present study presented approximate determination values.

The coefficients of linear determination to chlorophyll β found in this study were very low, ranging from 0.22 to the Indian lime (TSK \times TRENG 256) and 0.62 for cleopatra mandarin; most rootstocks differ widely from the value found by Jesus and Marengo (2008) corresponding to 0.76 in variety of lemon. However, these values are similar to that found by Neves et al. (2005) on cotton, which found a lower correlation 0.48 to chl β and 0.79 for the chl α , attributed this difference to the fact that the second peak of absorption of red light by chlorophyll α (663 nm) plus be greater than that of chlorophyll β , it is very close to the wavelength emitted by SPAD-502 (650). This situation may apply to the results in the present study, despite being Falker Chlorophyll Index (FCI) and not the SPAD index. However, ClorofiLog also emits peak absorption (660 nm) closer to that of chl α than chl β .

In the regression polynomial model, the coefficient of determination values (R^2) for chl α variable ranged from 0.71 and 0.85 on Cravo Santa Rangpur lime and Tropical Sunki mandarin rootstocks, respectively. These values are similar to values found by Jifon and Whaley (2005)

for some varieties of citrus polynomial model by correlating the chl and SPAD index. Barbieri Junior et al. (2012) found chl content of forage grass Tifton correlations and the FCI values (0.64 and 0.79), all of which are within the range of values found in this work, even though they are in very different species. Due to the limited publication of papers with FCI, the data were compared to more SPAD index, because it is similar principles.

The linear correlation results yesple (correlation Pearson) (Table 2) between soil moisture content and chlorophyll α , β and total ($\alpha+\beta$) determined in laboratory as well as the FCI showed a greater correlation of soil moisture with FCI than the determined levels of chlorophyll laboratory; the correlation amplitudes varied between (0.667 to 0.783) to chl α , (0.540 to 0.834) chl β (0.676 to 0.966) total chl ($\alpha+\beta$) in the results of FCI (0.540 to 0.706) to chl α , (0.320 and 0.670) to chl β (0.585 to 0.813) to total chl ($\alpha+\beta$) determined in the laboratory. In general, higher soil moisture at either correlations laboratory method as the FCI were observed for the total chl. Silva et al. (2014) found that the soil moisture variation changed the chl α and β in the total sugar cane, confirming the correlation between these variables.

Among the rootstocks analyzed, it is found that the Volkamer lime and Tropical Sunki mandarin were those with the highest correlations for most variables, both the laboratory method as for the FCI.

Table 2. Pearson correlation coefficients between soil moisture and chlorophyll α , β and total ($\alpha+\beta$) extracted with DMSO and Chlorophyll index obtained by Falker (FCI) for different rootstock (Penx) citrus

Penx	Chl DMSO ($\mu\text{g mL}^{-1}$)			Chl	FCI			Chl
	Chl β	Chl α	Total ($\alpha+\beta$)		Chl α	Chl β	Total ($\alpha+\beta$)	
L. Volk	0.674	0.605	0.813		0.705	0.834	0.966	
L. CSC	0.540	0.410	0.585		0.668	0.540	0.755	
L. Indian	0.651	0.320	0.589		0.667	0.560	0.676	
T. Sunki	0.706	0.487	0.747		0.783	0.803	0.892	
T. Cleo	0.569	0.670	0.646		0.680	0.670	0.681	

Note. Penx: rootstock; Chl α : chlorophyll α ; Chl β : chlorophyll β ; Total Chl: total chlorophyll; L. Volk: Volkamer lime; L. CSC: Santa Cruz Rangpur lime; L. Indian: Indian lime (TSK \times TRENG 256); T. Sunki: Tropical Sunki mandarin; T. Cleo: Cleopatra mandarin.

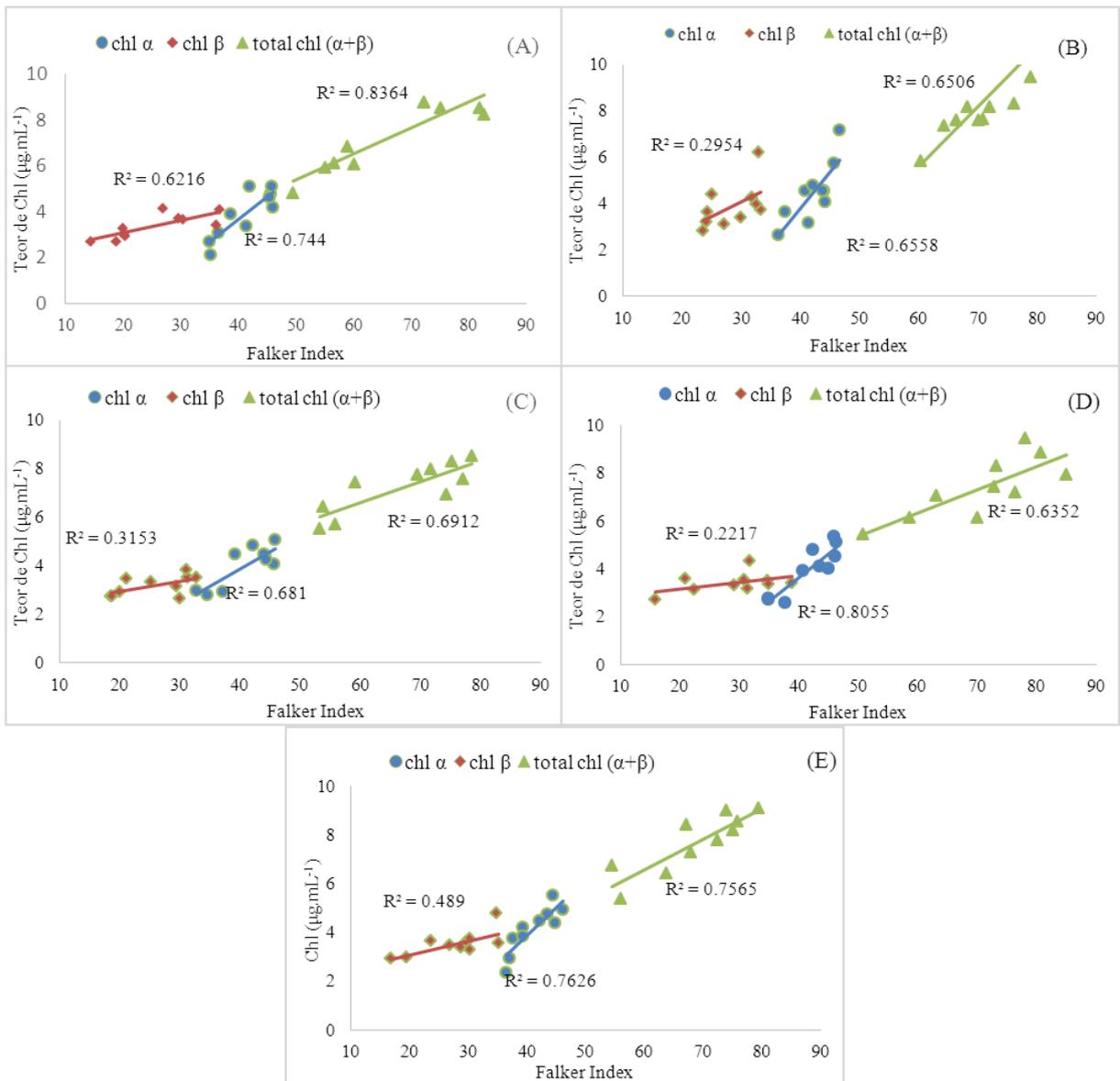


Figure 1. Linear relationship between the contents of chlorophyll α , β and total ($\alpha + \beta$) extracted with DMSO and Falker index for Cleopatra mandarin (A); Volkamer lime (B), Santa Cruz Rangpur lime (C); Indian lime (TSK \times TRENG 250) (D), and Tropical Sunki mandarin (E). chl: chlorophyll

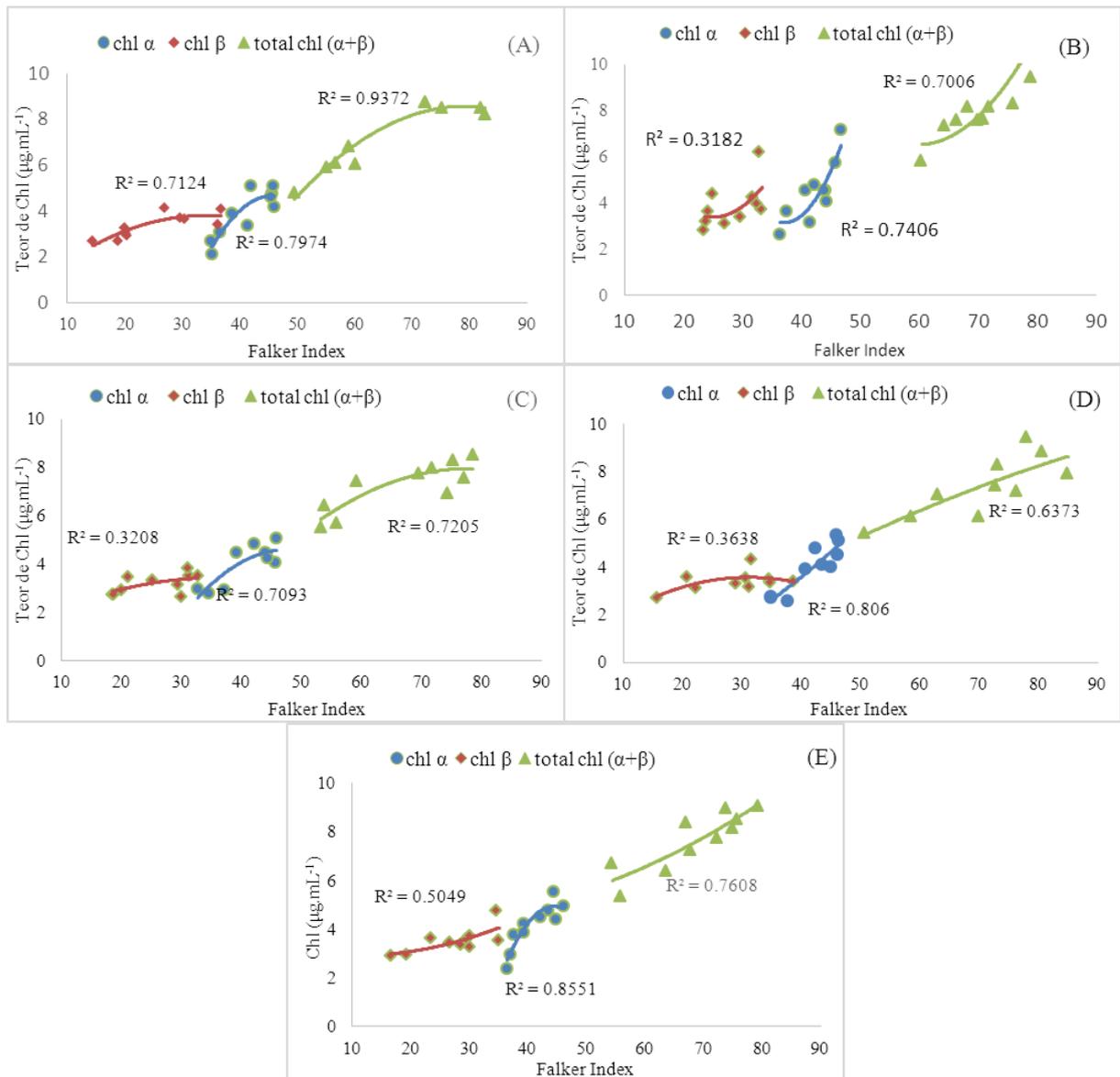


Figure 2. Polynomial relationship between the contents of chlorophyll α , β and total ($\alpha+\beta$) extracted with DMSO and Falker index for Cleopatra mandarin (A); Volkamer lime (B), Santa Cruz Rangpur lime (C); Indian lime (TSK \times TRENG 250) (D), and Tropical Sunki mandarin (E). chl: chlorophyll

4. Conclusions

- (1) The results of simple polynomial regression and linear correlation indicates the possibility of using the portable device instead laboratory analyzes, especially in the management of the citrus crop.
- (2) The polynomial regression model was shown to be the most suitable for analysis of correlation between the chlorophyll content in citrus and ICF, as compared to the linear regression model.

References

- Argenta, G., Da Silva, P. R. F., & Bortolini, C. G. (2001). Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 13, 158-167. <https://doi.org/10.1590/S0103-31312001000200005>
- Barbieri Junior, É., Rossiello, R. O. P., Silva, R. V. M. M., Ribeiro, R. C., & Morenz, M. J. F. (2012). Um novo clorofilômetro para estimar os teores de clorofila em folhas do capim Tifton 85. *Ciência Rural*, 2(12), 2242-2245. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012005000109>
- Barnes, J. D., Balaguer, L., Manrique, E., Elvira, S., & Davison, W. (1992). A reappraisal of the use of DMSO for the extraction and determination of chlorophylls a and b in lichens and higher plants. *Environmental and Experimental Botany*, 32(2), 85-100. [https://doi.org/10.1016/0098-8472\(92\)90034-Y](https://doi.org/10.1016/0098-8472(92)90034-Y)
- Batista, K. D., Araújo, W. L., Antunes, W. C., Cavatte, P. C., Moraes, G. A. B. K., Martins, S. C. V., & Damatta, F. M. (2012). Photosynthetic limitations in coffee plants are chiefly governed by diffusive factors. *Viçosa*, 26(2), 459-468. <https://doi.org/10.1007/s00468-011-0606-2>
- Blackburn, G. A. (2007). Hyperspectral remote sensing of plant pigments. *Journal of Experimental Botany*, 58(4), 855-867. <https://doi.org/10.1093/jxb/erl123>
- Codognotto, L. M., Leite, I. C., Santos, D. M. M., Madaleno, L. L., Kobori, N. N., Marin, A., & Banzatto, D. A. (2002). Efeito do alumínio nos teores de clorofilas de plântulas de feijão-mungo e labe-labe. *Revista Ecosystema*, 27(12), 27-30. Retrieved from <http://ferramentas.unipinhal.edu.br/ecossistema/viewarticle.php?id=55>
- Coelho, E. F., Coelho Filho, M. A., Simões, W. L., & Coelho, Y. S. (2006). Irrigação em citros nas condições do nordeste do Brasil. *Laranja*, 27(2), 297-320. Retrieved from https://www1.ufrb.edu.br/neas/images/Artigos_NEAS/2006_1.pdf
- Cruz, A. C. F., Santos, R. P., Iarema, L., Fernandes, K. R. G., Kuki, K. N., Araújo, R. F., & Otoni, W. C. (2007). Métodos comparativos na extração de pigmentos foliares de três híbridos de *Bixa orellana* L. *Revista Brasileira de Biociências*, 5(Supl. 2), 777-779. Retrieved from <http://www.ufrgs.br/seerbio/ojs/index.php/rbb/article/viewFile/658/557>
- Engel, V. L., & Poggiani, F. (1991). Study of foliar chlorophyll concentration and its light absorption spectrum as related to shading at the juvenile phase of four native forest tree species. *Rev. Bras. Fisiol. Vegetal*, 3(1), 39-45. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/277249118>
- Falker Automação Agrícola Ltda. (2009). *Manual do medidor eletrônico de teor clorofila* (ClorofiLOG/CFL 1030). Porto Alegre: Falker Automação Agrícola. Retrieved from <http://www.falker.com.br/download.php>
- IBGE (Geography and Statistical Brazilian Institute). (2016). *Systematic Survey of Agricultural Production*. Retrieved from <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618#resultado>
- Jabeen, F., Shahbaz, M., & Ashraf, M. (2008). Discriminating some prospective cultivars of maize (*Zea mays* L.) for drought tolerance using gas exchange characteristics and proline contents as physiological markers. *Pakistan Journal of Botany*, 40(6), 2329-2343. Retrieved from [http://www.pakbs.org/pjbot/PDFs/40\(6\)/PJB40\(6\)2329.pdf](http://www.pakbs.org/pjbot/PDFs/40(6)/PJB40(6)2329.pdf)
- Jesus, S. V., & Marengo, R. A. (2008). O SPAD-502 como alternativa para a determinação dos teores de clorofila em espécies frutíferas. *Acta Amazonica*, 38(4), 815-818. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672008000400029>

- Jifon, J. L., Syvertsen, J. P., & Whaley, E. (2005). Growth Environment and Leaf Anatomy Affect Nondestructive Estimates of Chlorophyll and Nitrogen in *Citrus* sp. Leaves. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, *130*(2), 152-158. Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/9b00/1fa54f1d62e99ec10e999c8c0301a1417fc3.pdf>
- Leonardo, F. de A. P., Pereira, W. E., Silva, S. de M., & Costa, J. P. da. (2013). Teor de clorofila e índice SPAD no abacaxizeiro cv. vitória em função da adubação nitrogenada. *Rev. Bras. Frutic.*, *35*(2), 377-383. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452013000200006>
- Mielke, M. S., Schaffer, B., & Li, C. (2010). Use of a SPAD meter to estimate chlorophyll content in *Eugenia uniflora* L. leaves as affected by contrasting light environments and soil flooding. *Photosynthetica*, *48*, 332-338. <https://doi.org/10.1007/s11099-010-0043-2>
- Neves, O. S. C., Carvalho, J. G. de, Martins, F. A. D., Pádua, T. R. P. de, & Pinho, P. J. de. (2005). Uso do SPAD-502 na avaliação dos teores foliares de clorofila, nitrogênio, enxofre, ferro e manganês do algodoeiro herbáceo. *Pesq. Agropec. Bras.*, *40*(5), 517-521. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005000500014>
- Ritchie, R. J. (2008). Universal chlorophyll equations for estimating chlorophylls *a*, *b*, *c*, and *d* and total chlorophylls in natural assemblages of photosynthetic organisms using acetone, methanol, or ethanol solvents. *Photosynthetica*, *46*(1), 115-12. <https://doi.org/10.1007/s11099-008-0019-7>
- Silva, M. de A., Santos, C. M. dos, Vitorino, H. dos S., & Rhein, A. F. de L. (2014). Pigmentos fotossintéticos e índice SPAD como descritores de intensidade do estresse por deficiência hídrica em cana-de-açúcar. *Biosci. J.*, *30*(1), 173-181. Retrieved from <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/15057/13696>
- Streit, N. N., Canterle, L. P., Canto, M. W. do, & Hecktheuer, L. H. H. (2005). As clorofilas. *Ciência Rural*, *35*(3), 748-755. Retrieved from http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782005000300043&script=sci_arttext
- Vale, D. W. do, & Prado, R. de M. (2009). Adubação com NPK e o estado nutricional de 'citrumelo' por medida indireta de clorofila. *Revista Ciência Agronômica*, *40*(2), p. 266-271. Retrieved from <http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/520/338>

Copyrights

Copyright for this article is retained by the author (s), with first publication rights granted to the journal.

This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).