

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**INDICADORES DE ESTRESSE POR DEFICIT HÍDRICO  
EM PLANTAS DE LARANJEIRA E RELAÇÕES COM  
FLORESCIMENTO**

**Renan Moisés Paneghini Zanata**  
Engenheiro Agrônomo

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**INDICADORES DE ESTRESSE POR DEFICIT HÍDRICO  
EM PLANTAS DE LARANJEIRA E RELAÇÕES COM  
FLORESCIMENTO**

**Discente: Renan Moisés Paneghini Zanata**

**Orientador: Prof. Dr. Jáiro Osvaldo Cazetta**

**Dissertação apresentada à Faculdade de  
Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp,  
Câmpus de Jaboticabal, como parte das  
exigências para a obtenção do título de  
Mestre em Agronomia (Ciência do Solo)**

Z27i                      Zanata, Renan Moisés Paneghini  
                                 Indicadores de estresse por déficit hídrico em plantas de  
                                 laranjeira e relações com florescimento / Renan Moisés  
                                 Paneghini Zanata. -- Jaboticabal, 2023  
                                 57 p.

                                 Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista  
                                 (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias,  
                                 Jaboticabal  
                                 Orientador: Jairo Osvaldo Cazetta

                                 1. Citrus. 2. Deficit irrigation. 3. Amido. 4. Index  
                                 Normalized Difference Vegetation. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da  
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos  
pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

## **Impacto potencial desta pesquisa**

O presente trabalho representa um conjunto de informações importantes que pode impactar consideravelmente a citricultura no Brasil. Como este ramo do agronegócio caracteriza-se por gerar grandes receitas ao país, assim como ser fonte de emprego para milhares de brasileiros, uma pesquisa que permite alavancar o conhecimento aplicado no setor, indiretamente beneficia outras classes sociais que circundam este ambiente. Obter índices de interpretação do estado hídrico das plantas, pode ainda, otimizar a utilização da água na irrigação, gerando também um benefício ambiental. Espera-se com estes resultados, que a citricultura se mantenha competitiva e importante no cenário mundial.

## **Potential impact of this research**

This work represents a set of important information that can considerably impact citrus farming in Brazil. As this branch of agribusiness is characterized by generating large revenues for the country, as well as being a source of employment for thousands of Brazilians, research that allows the knowledge applied in the sector to be leveraged, indirectly benefits other social classes that surround this environment. Obtaining indices for interpreting the water status of plants can also optimize the use of water in irrigation, also generating an environmental benefit. With these results, it is expected that citrus farming will remain competitive and important on the world stage.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: INDICADORES DE ESTRESSE POR DEFICIT HÍDRICO EM PLANTAS DE LARANJEIRA E RELAÇÕES COM FLORESCIMENTO.**

**AUTOR: RENAN MOISÉS PANEGHINI ZANATA**

**ORIENTADOR: JÁIRO OSVALDO CAZETTA**

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo), pela Comissão Examinadora:

  
Prof. Dr. JÁIRO OSVALDO CAZETTA (Participação Presencial)  
Departamento de Biotecnologia Agropecuária e Ambiental / FCAV UNESP Jaboticabal

  
Prof. Dr. LUIZ FABIANO PALARETTI (Participação Presencial)  
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas DECEEx / FCAV UNESP Jaboticabal

  
Dr. DANILO FRANCO (Participação Presencial)  
Farm Assistência Técnica S/S Ltda / Bebedouro/SP

Jaboticabal, 02 de agosto de 2023

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

Renan Moisés Paneghini Zanata nasceu em Jardinópolis/SP, em 20 de setembro de 1995. Em fevereiro de 2015 ingressou no curso de Engenharia Agrônoma na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, câmpus de Jaboticabal, e em março de 2020, obteve o título de Engenheiro Agrônomo. Durante a graduação foi bolsista de iniciação científica pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) de agosto de 2016 a julho de 2019, desenvolvendo trabalhos em fisiologia e nutrição do abacateiro. Entre outubro de 2015 e junho de 2019, foi integrante do Programa de Educação Tutorial do curso de Engenharia Agrônoma (PETAGRO), atuando em projetos de ensino, pesquisa e extensão. Ocupou ainda o cargo de Presidente durante a gestão 2018 do Grupo de Integração Empresa Universidade (GIEU), organizando diversos eventos técnicos e de extensão universitária. Em março de 2021 iniciou o curso de Mestrado em Agronomia (Ciência do Solo), pela mesma instituição, trabalhando com fisiologia da laranja. Atualmente ocupa o cargo de Supervisor no Departamento de Pesquisa da Farm Assistência Técnica S/S Ltda, atuando com desenvolvimento e validação de eficácia de defensivos e fertilizantes.

“Descansem o meu leito solitário  
Na floresta dos homens esquecida,  
À sombra de uma cruz, e escrevam nela:  
Foi poeta – sonhou – e amou na vida.”  
(Lembranças de Morrer, Álvares de Azevedo)

"Longe do estéril turbilhão da rua,  
Beneditino escreve! No aconchego  
Do claustro, na paciência e no sossego,  
Trabalha e teima, e lima, e sofre e sua!"  
(A um Poeta, Olavo Bilac)

Aos meus amados pais:  
João Sebastião Antonio Zanata  
Cláudia Regina Paneghini Zanata

**Dedico**



## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por sempre me guiar pelo caminho da fé, da bondade e da perseverança, por me fazer vitorioso em todas as minhas batalhas, por mais penosas que parecessem ser. Pela minha saúde e por colocar em minha vida pessoas excepcionais.

Aos meus pais, João Sebastião Antonio Zanata e Cláudia Regina Paneghini Zanata, que sempre me incentivaram a fazer o melhor, fizeram de tudo para realizar meus sonhos, educaram-me como um homem de bem, me ensinaram virtudes que nada pode comprar.

À minha irmã, Paloma Luzia Paneghini Zanata, por todo afeto, incentivo e ajuda nas análises laboratoriais.

À minha noiva Sara Caroline de Pontes, pelo companheirismo, compreensão e incentivo, pela torcida sempre pelo meu sucesso.

A toda a minha família, pelo suporte, amor e orações.

Ao meu orientador, Jáiro Osvaldo Cazetta, pela paciência, pelos ensinamentos – profissionais e pessoais – eternos, pela convivência tão enriquecedora durante esses anos, por me acolher desde os tempos de graduação e pela confiança e aposta em minha responsabilidade e meu potencial.

Ao amigo e Assistente de Suporte Acadêmico II José Carlos de Freitas, pelas conversas e apoio, por sempre fazer tudo para possibilitar esse estudo.

Aos membros da banca do exame geral de qualificação, Prof. Dr. Alexandre Barcellos Dalri e Prof. Dr. Luiz Fabiano Palaretti, pelas ricas contribuições que muito me ajudaram para redação final deste trabalho.

Aos diretores da Farm Assistência Técnica S/S Ltda (FarmATAC) Danilo, Leandro, Sérgio e Ramiro, por acreditarem na minha capacidade e permitirem que eu pudesse conduzir a pós-graduação e trabalhar nesta conceituada empresa.

Aos companheiros do Departamento de Pesquisa da FarmATAC, em especial Júnior, Guilherme, Marcelo, Leonardo, Gabriel e Cleber, por tanta ajuda em todo desenvolvimento deste experimento em campo. Eu não conseguiria sozinho.

Ao senhor Aparecido Lodo, proprietário do Sítio Laranjal, por permitir que o trabalho pudesse ser realizado em sua lavoura.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), por ter sido uma mãe, despertando em mim o prazer pela pesquisa e me oferecendo todo suporte e infraestrutura para executar um bom trabalho. Aos professores, coordenadores e funcionários, pelos ensinamentos, oportunidades e apoio técnico-científico.

## SUMÁRIO

### Página

Resumo .....	ii
Abstract.....	iii
1. CAPÍTULO 1: Considerações gerais.....	4
1.1. Introdução .....	4
1.2. Revisão de literatura.....	5
1.2.1. A citricultura no Brasil .....	5
1.2.2. Florescimento da laranjeira .....	6
1.2.3. Irrigação em citros.....	10
1.2.4. Parâmetros vegetais indicadores de estresse .....	12
1.2.4.1. Concentração de carboidratos de reserva .....	12
1.2.4.2. Liberação de eletrólitos .....	14
1.2.4.3. Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI).....	15
1.2.4.4. Teor de clorofila total .....	16
2. CAPÍTULO 2: Indicadores de déficit hídrico e correlações com florescimento de plantas de laranjeira.....	18
2.1. Introdução.....	19
2.2. Material e Métodos.....	21
2.3. Resultados e Discussão .....	25
2.4. Conclusões.....	36
2.5. Referências .....	37
3. CAPÍTULO 3: Considerações finais .....	42
4. Referências .....	43

## INDICADORES DE ESTRESSE POR DEFICIT HÍDRICO EM PLANTAS DE LARANJEIRA E RELAÇÕES COM FLORESCIMENTO

**RESUMO** – A citricultura é uma atividade agrícola de notável importância econômica e social no Brasil e no mundo. O florescimento da laranjeira é um evento fisiológico de singular importância, sendo ponto de partida para uma nova colheita, de modo que obtê-lo de forma vigorosa faz-se indispensável para o alcance de boas produtividades. Este processo é determinado por diversos fatores atuando em conjunto, sendo o déficit hídrico decisivo no centro-norte do Estado de São Paulo. Há carência de informações para prever o momento de interromper o estresse, fazendo uso de irrigação. O presente trabalho objetivou quantificar alguns atributos fisiológicos das plantas de laranjeira mediante estresse por déficit hídrico e relacionar estes parâmetros com manejo da irrigação e florescimento. O ensaio constou de 5 tratamentos e 4 repetições, com delineamento em blocos casualizados, sendo os tratamentos caracterizados por diferentes momentos de interrupção do estresse hídrico, realizado em pomar em idade de produção, localizado em Pitangueiras - SP. Foram mensurados diversos parâmetros, como teor de amido em folhas e ramos, teor de clorofila total, liberação de eletrólitos e índices NDVI, entre junho e outubro de 2021. Durante o período avaliado, os teores de amido variaram entre os tratamentos e no tempo ( $p < 0,05$ ). Outros atributos variaram no tempo, mas não entre os tratamentos. O NDVI esboçou correlação negativa com o número de flores de laranjeira, ao passo que liberação de eletrólitos e concentração de amido nos ramos apresentaram correlação positiva, porém mais baixa, de forma que estes três parâmetros, nessa ordem, podem ser considerados bons indicativos do momento de interromper o estresse obtendo como resposta quantidade de flores uniforme e viável. Houve diferença na quantidade de frutos, mas teor de suco, acidez total titulável e teor de sólidos solúveis foram semelhantes ( $p > 0,05$ ) em todos os tratamentos testados.

**Palavras-chave:** amido, *Citrus sinensis*, deficiência hídrica, índices de vegetação, irrigação, qualidade de frutos

## STRESS INDICATORS DUE TO WATER DEFICIT IN ORANGE PLANTS AND RELATIONSHIPS WITH FLOWERING

**ABSTRACT** – Citrus farming is an agricultural activity of notable economic and social importance in Brazil and in the world. The flowering of the orange tree is a physiological event of singular importance, being the starting point for a new harvest, so that obtaining it vigorously is indispensable for achieving good productivity. This process is determined by several factors acting together, with the water deficit being decisive in the center-north of the State of São Paulo. There is a lack of information to predict the moment to interrupt the stress, making use of irrigation. This work aimed to quantify some physiological attributes of orange plants under stress due to water deficit and relate these parameters to irrigation management and flowering. The trial consisted of 5 treatments and 4 replications, with a randomized block design, with treatments characterized by different moments of water stress interruption, carried out in an orchard at production age, located in Pitangueiras - SP. Several parameters were measured, such as starch content in leaves and branches, total chlorophyll content, electrolyte release and NDVI indices, between June and October 2021. During the evaluated period, starch contents varied between treatments and over time ( $p < 0.05$ ). Other attributes varied over time, but not between treatments. The NDVI showed a negative correlation with the number of orange blossoms, while electrolyte release and starch concentration in the branches showed a positive correlation, but lower, so that these three parameters, in that order, can be considered good indicators of the moment of interrupting stress by obtaining a uniform and viable amount of flowers in response. There was a difference in the number of fruits, but juice content, total titratable acidity and soluble solids content were similar ( $p > 0.05$ ) in all tested treatments.

**Keywords:** *Citrus sinensis*, fruit quality, irrigation, starch, vegetation indices, water deficit

## **1. CAPÍTULO 1: Considerações gerais**

### **1.1. Introdução**

A citricultura é uma atividade agrícola de notável importância econômica e social no Brasil e no mundo. Além de gerar milhares de emprego dentro e fora das fazendas, trata-se de um ramo do agronegócio brasileiro capaz de promover mais de um bilhão de dólares em receita de exportação, graças aos embarques de suco de laranja para Europa, Estados Unidos e China.

Trazidas ao Brasil ainda durante as expedições do descobrimento, as plantas cítricas se disseminaram por todo país, transformando-se em lavoura comercial principalmente na Região Sudeste, que cultiva atualmente mais de 400 mil hectares de laranja, para produção de suco e mercado de fruta fresca.

Com o avanço de problemas fitossanitários, disseminação do cancro cítrico e do “greening”, dificuldade de controle de insetos e ácaros vetores de doenças, adversidades climáticas e aumento do custo de mão-de-obra no campo, a busca por maiores produtividades passa a ser não somente uma estratégia para maximizar os lucros, mas também para se manter ativo no negócio, cada vez mais desafiador. Por conseguinte, a irrigação mostra-se uma ferramenta indispensável ao citricultor, promovendo precocidade de produção, melhor fixação e desenvolvimento de frutos, estabilidade de safras e sanidade e longevidade dos pomares.

Por se tratar de uma cultura perene, o florescimento da laranjeira é reconhecidamente um evento fisiológico de singular importância, sendo ponto de partida para uma nova colheita, de modo que obtê-lo de forma vigorosa faz-se indispensável para o alcance de boas produtividades. Assim, entender sua dinâmica e quais parâmetros podem influenciar no seu desdobramento é, indubitavelmente, questão primordial para o bom manejo da cultura.

Sabe-se que a planta de laranjeira é estimulada a florescer após passar por um período de estresse provocado por baixas temperaturas ou deficiência hídrica. Nas condições do centro-norte de São Paulo e Triângulo Mineiro, regiões de expressividade de produção, o estresse por déficit hídrico é quem acaba ditando

como será o florescimento da cultura, de modo que a irrigação deve ser iniciada no momento ideal, nem tão cedo a ponto de a planta ainda não ter sofrido o estresse necessário e, por isso, não florescer satisfatoriamente, nem tão tarde, a ponto de a planta se definhar demais e não possuir capacidade energética e estrutural para garantir o pegamento daquela florada que, sabidamente, já é naturalmente baixo.

Assim, existem atualmente métodos para identificar se a planta já se encontra fisiologicamente preparada para receber a irrigação e iniciar seu florescimento. Porém, são métodos baseados em parâmetros de solo ou atributos climáticos, ou até mesmo na experiência dos produtores e técnicos da área. Nesse sentido, não existem bem definidos parâmetros que realmente possam medir a planta, como ela está sendo afetada por aquele estresse e quais as implicações no processo produtivo. Destarte, objetivou-se com o presente trabalho quantificar alguns atributos fisiológicos das plantas de laranjeira mediante estresse por déficit hídrico e relacionar estes parâmetros com manejo da irrigação e florescimento.

## **1.2. Revisão de literatura**

### **1.2.1. A citricultura no Brasil**

As plantas cítricas são de origem asiática e foram trazidas para o Brasil durante as primeiras expedições colonizadoras, rapidamente se adaptando às condições edafoclimáticas e se espalhando por todo país (Lopes et al., 2011). Com o intuito de criar um estoque de vitamina C, que era utilizada como antídoto para o escorbuto, doença que assolava as tripulações na era colonial, os portugueses trouxeram da Espanha as plantas cítricas, que tiveram surpreendente adaptação (Medeiros, 2012). Pertencentes à família *Rutaceae*, são representadas pelas laranjas-doces (*Citrus sinensis*), tangerinas (*Citrus reticulata* e *Citrus deliciosa*), limões verdadeiros (*Citrus limon*), limas ácidas (*Citrus latifolia* e *Citrus aurantifolia*), limas doces (*Citrus limettioides*), pomelos (*Citrus paradisi*), cidras (*Citrus medica*), laranjas-azedas (*Citrus aurantium*) e toranjas (*Citrus grandis*)

(Mattos et al., 2017).

Segundo levantamento do Fundecitros (2023), a safra 2022/2023 de laranja foi finalizada com produção total de 314,21 milhões de caixas (40,8kg), contabilizando-se a colheita do cinturão citrícola do estado de São Paulo e Triângulo/Sudoeste Mineiro. Segundo levantamento da FAO (2021), o Brasil cultiva uma área de pouco mais de 578 mil hectares de laranja, alcançando produção de 16,2 milhões de toneladas da fruta, com produtividade média de 28 toneladas por hectare. Deste montante, a Região Sudeste é responsável por cerca de 14 milhões de toneladas de fruta fresca, produzida numa área de pouco mais de 410 mil hectares, com produtividade média em torno de 34 toneladas por hectare. Estes valores posicionam o Brasil como maior produtor mundial da fruta, bem como maior exportador de suco de laranja.

Segundo informação divulgada pela Associação Nacional dos Exportadores de Sucos Cítricos - CitrusBR (2021), a citricultura brasileira gerou um total de 19.560 empregos entre os meses de julho de 2020 e janeiro de 2021, sendo de extrema importância para o Brasil, mesmo durante a pandemia de Covid-19, visto que a colheita é totalmente manual. Desse modo, durante a safra, cerca de 96 bilhões de frutos passaram por mãos humanas.

### **1.2.2. Florescimento da laranjeira**

O florescimento pode ser considerado o principal evento fisiológico na cultura da laranjeira, visto que marca o início de uma nova safra, sendo ponto de partida para realização das várias práticas de manejo visando alcançar-se boas produtividades (Voigt, 2013). Dividido nas etapas de indução, diferenciação e antese, o florescimento da laranjeira é um processo complexo proveniente de interações entre níveis hormonais e balanço de carboidratos na planta (Vitti et al., 2003; Prado et al., 2007; Voigt, 2013; DAVIS, 2012).

A indução floral ocorre durante um período de repouso caracterizado por redução do crescimento vegetativo, o que favorece o acúmulo de reservas que serão utilizadas para formação das estruturas reprodutivas durante o florescimento (Voigt, 2013). Tal indução pode ser proporcionada, dependendo das

condições climáticas predominantes, por baixas temperaturas ou estresse por deficiência hídrica (Sanchez et al., 2001; Prado et al., 2007; Palaretti, 2009; Dovis, 2012). No Brasil, a indução floral concentra-se entre julho e agosto, no inverno (Palaretti, 2009). Nesta época, as plantas diminuem o crescimento devido à baixa umidade do solo e temperatura, reduzindo assim seu metabolismo. Tal situação favorece a transformação de gemas vegetativas em reprodutivas, graças à regulação proporcionada por mudanças hormonais (Ribeiro et al., 2006).

Posterior à indução, ocorre a diferenciação floral, de forma concomitante à retomada do crescimento, normalmente após aumento da temperatura e retorno das chuvas (maiores que 20 mm). Neste momento, se desencadeia o surto de crescimento primaveril, sendo considerado o mais importante e intenso, visto que nele ocorre emissão de ramos vegetativos e reprodutivos. Vale ressaltar, que nem todas as gemas são diferenciadas para produção de flores, uma vez que é necessária a manutenção de algumas ainda como vegetativas, para garantia do crescimento futuro das plantas (Goldschmidt & Monselise, 1970; Palaretti, 2009).

As plantas de citros apresentam, de maneira geral, florescimento bastante abundante. O número de flores por árvore pode chegar a 80 mil (Palaretti, 2009). Todavia, o número de flores que serão convertidos em frutos que chegarão à colheita é demasiadamente pequeno, variando entre 0,1 e 3% (Prado et al., 2007; Palaretti, 2009). Esta realidade pode ser explicada tanto por fatores fisiológicos, dada a necessidade de ajustes entre oferta e demanda de fotoassimilados associados ao desenvolvimento dos frutos, quanto por fatores externos à planta, bióticos e abióticos, seja por problemas fitossanitários que comprometam a safra, seja por condições climáticas adversas (Prado et al., 2007; Palaretti, 2009; Dovis, 2012).

Conforme já citado, o florescimento das plantas cítricas é influenciado por diferentes fatores, como quantidade de frutos já existente na planta, tipo de porta-enxerto utilizado, luminosidade e radiação solar, precipitação e umidade do solo e temperatura do ar e do solo (Southwick & Davenport, 1986; Krajewski & Rabe, 1995; Castro et al., 2001; Vitti et al., 2003; Ribeiro et al., 2006; Prado et al., 2007; Palaretti, 2009; Santos et al., 2011; Dovis, 2012; Voigt, 2013).

Plantas de citros que alcançaram grandes produtividades na safra anterior



ou que possuam frutos remanescentes de uma outra florada podem apresentar um baixo florescimento, uma vez que esses frutos tanto podem servir de dreno para fotoassimilados que seriam necessários à floração, como atuam na produção de giberelina, hormônio que comprovadamente inibe o florescimento da cultura (Sanches et al., 2001; Prado et al., 2007; De Nadai, 2019).

O porta-enxerto utilizado na cultura influencia vários atributos na produção, desde resistência a doenças e nematoides, arquitetura de copa, precocidade, vigor e tolerância à seca, de modo que a combinação de tais atributos pode tendenciar o desenrolar do processo reprodutivo, causando antecipação ou atraso da floração (Vitti et al., 2003). Este autor reúne ainda informações de como a luminosidade e a forma como a planta recebe a radiação solar pode interferir no número de flores, apresentando diferença estatística entre o número de flores obtidos nos quadrantes de cada ponto cardeal.

Pensando no estado de São Paulo como maior produtor de citros do Brasil, temperatura e estresse hídrico são os fatores primordiais para se desencadear o florescimento da laranjeira (Tonet et al., 2002). Na região centro-norte, a indução ocorre por deficiência hídrica, na região centro-sul, o estímulo é gerado por baixas temperaturas, ao passo que, na região central, há ação aditiva dos dois fatores (Ribeiro et al., 2006; DAVIS, 2012).

Para que a indução do florescimento ocorra por baixa temperatura, esta deve oscilar entre 13 e 15 °C durante o dia e entre 10 e 13 °C à noite (Moss, 1969; Amaral, 2018). Limites superiores não estão bem definidos, mas trabalhos indicam que temperaturas acima de 22 °C já são ineficientes (Doorenbos & Kassam, 1979; Silva et al., 2006).

Em seu trabalho, Santos et al. (2011) estudaram o efeito do número de horas de frio com o número de flores obtidas, para limeira ácida 'Tahiti'. Em condições de temperatura controlada, sendo 16/12°C (dia/noite), sem que houvesse deficiência hídrica, o número de flores contabilizado foi maior quanto maior foi o número de horas em que as plantas estiveram sob essas condições, de modo que 1080 horas de frio já foi considerado um estímulo para uma florada economicamente viável. Para as plantas que não receberam o estímulo de baixas temperaturas, houve emissão apenas de brotos vegetativos, sem diferenciação

floral.

Ribeiro e seus colaboradores (2006) afirmam que a quantidade de horas de frio próxima ou abaixo de 15 °C, interfere na quantidade de flores emitidas. De acordo com os autores, em levantamento realizado em diferentes regiões produtoras do estado de São Paulo, o florescimento sofre forte influência das baixas temperaturas se receber mais de 300 horas de frio, influência média se receber entre 101 a 299 horas de frio, e influência fraca se acumular entre 30 e 100 horas de frio, sendo tais horas contabilizadas abaixo de 13°C.

Em regiões em que não são acumuladas estas horas de frio, como é o caso do centro-norte de São Paulo, região de expressiva produção de citros e berço do presente estudo, a evocação do florescimento faz-se por deficiência hídrica, acumulada pela ausência de chuvas no inverno (Ribeiro et al., 2006; Palaretti, 2009; Voigt, 2013). Em estudos realizados com laranja 'Tahiti', Southwick & Davenport (1986) concluíram que a indução da floração é dependente da intensidade do estresse. Eles identificaram que as plantas produziram maior número de flores quando submetidas a duas semanas de déficit hídrico severo do que com cinco semanas de estresse moderado. No entanto, é sabido também que estresse demasiadamente severo pode provocar abscisão foliar, redução na floração e inclusive menor pegamento dos frutos, uma vez que a planta não detém reservas energéticas suficientes para garantir manutenção da safra (Dovis, 2012).

Em seu estudo, Ribeiro e seus colaboradores (2006) mais uma vez corroboraram a importância da indução por déficit hídrico, evidenciando que grande parte da citricultura paulista é definida por tal estresse. Segundo estes autores, déficit hídrico entre 10 e 30 mm mostra fraco poder de indução, entre 31 e 69 mm, o poder é moderado e, deficiência hídrica acumulada maior que 70 mm tem forte influência na determinação do processo reprodutivo.

Diante de tantos fatores capazes de promover, estimular ou inibir o processo reprodutivo na laranja, torna-se visivelmente impossível compreender como todos atuam em conjunto, em cada situação. Por essa via, ter em mãos ferramentas que possam medir as respostas da planta diante de todo esse cenário revela-se um grande passo para o avanço da citricultura.

### 1.2.3. Irrigação em citros

A irrigação é uma ferramenta de manejo cada vez mais eficaz e indispensável na agricultura, possibilitando aumento da produtividade, melhor desenvolvimento das plantas, maior fixação de flores e frutos e melhor qualidade dos frutos. No manejo da lavoura, atua para impedir a ocorrência de déficit hídrico durante alguns estádios de desenvolvimento, fazendo com que a água deixe de ser um fator limitante à obtenção de produtividades elevadas e frutos de qualidade (Pires et al., 2005). Por outro lado, se mal manejada, o excesso de água no solo ou o encharcamento pode causar redução no crescimento e desenvolvimento das plantas, uma vez que o desequilíbrio entre as proporções do solo culmina em falta de aeração do sistema radicular, comprometendo a respiração e o transporte de água e consequentemente, a evapotranspiração da cultura (Taiz e Zeiger, 2009).

A necessidade hídrica das plantas cítricas se situa entre 600 mm e 1200 mm anuais (Ortolani et al., 1991; Coelho et al., 2006; Palaretti et al., 2011; Marin et al., 2002). O requerimento varia de acordo com a localização geográfica, clima, cobertura de solo, espécie ou cultivar e porta-enxerto (Amendola, 2018). Esta demanda ocorre de maneira diferente de acordo com a época do ano. Estudos indicam que, no inverno, o consumo das plantas de citros ficam em torno de 1,5 mm/dia, ao passo que, no verão, este número salta para algo entre 3,2 e 4,7 mm/dia. (Coelho et al., 2006). Marin e seus colaboradores (2002) encontraram a transpiração diária em plantas de limeira ácida 'Tahiti' de 90 L por planta/dia no verão e 36 L por planta/dia, no inverno, para plantas com 90 m<sup>2</sup> de área foliar.

Tais variações no consumo são explicadas tanto pela demanda de água pela atmosfera, a qual aumenta em virtude da radiação solar, da temperatura e velocidade do vento, quanto pela quantidade exigida em cada fase fenológica da cultura, isto é, a demanda se intensifica durante a emissão dos botões florais e desenvolvimento dos frutos (verão) e decresce durante a maturação dos frutos, colheita e período de repouso (inverno) (Coelho et al., 2006).

Os ganhos com a irrigação são notáveis. Em seu trabalho, Coelho e colaboradores (2003) obtiveram ganhos de produtividade de até 5 t/ha, em pomar de laranja 'Pera' com apenas 4 anos de idade. A irrigação proporciona também a

antecipação do florescimento, permitindo melhor programação da colheita no ano seguinte. Além disso, é possível aplicar nutrientes via água de irrigação, o que melhora o aproveitamento pela cultura, além de propiciar ganhos de produção graças aos incrementos em tamanho e número de frutos por planta (Amendola, 2018).

Segundo levantamento feito pelo Fundecitros, apresentado por Souza et al. (2023), cerca de 35% da citricultura de São Paulo e Triângulo Mineiro é irrigada, de modo que manejar bem esta tecnologia revela-se essencial. Sobre o método, cerca de 90% dos produtores irrigantes preferem utilizar a irrigação localizada, que caracteriza-se por alta eficiência de aplicação, baixa pressão e facilidade de operação, valendo-se de lâminas menores e mais frequentes, sendo que as áreas irrigadas concentram-se prioritariamente nas grandes propriedades (Amendola, 2018).

Embora a demanda hídrica da laranjeira seja tão repleta de pormenores, o manejo da irrigação ainda é feito com base em parâmetros climáticos e atmosféricos, considerando-se a evapotranspiração (Amendola, 2018). A evapotranspiração de referência ( $E_{To}$ ) é obtida sob condições padrões, sendo calculada pelo método FAO Penman-Monteith (Allen et al., 1998), que considera velocidade do vento, temperatura, umidade relativa do ar, radiação e pressão atmosférica. Assim, fica a cargo do coeficiente de cultura ( $K_c$ ) relacionar atributos da planta, como altura do cultivo, cobertura do solo pela cultura, idade de plantio, ou seja, inúmeras variáveis que demandam muito estudo para que o  $K_c$  possa ser o mais assertivo possível.

Alguns trabalhos elencados por Amendola (2018) encontraram valores muito variáveis para o  $K_c$ , desde 0,39 para planta adultas na Itália, até 1,15 na região de Piracicaba, SP. Isto mostra a heterogeneidade do cultivo, elucidando que novos parâmetros que possam caracterizar melhor a planta são necessários. Há alguns outros métodos para determinar a irrigação, como lisimetria, métodos micrometeorológicos, métodos térmicos, como fluxo de seiva e balanço de calor, porém são ainda métodos pouco acessíveis, sobretudo utilizados para fins de pesquisa, de difícil manipulação e alto investimento (Rojas, 2003; Palaretti et al., 2011; Almeida, 2016; Amendola, 2018).

A planta de citros pode ser considerada pouco eficiente no uso da água, de modo que são necessários cerca de 1000 L de água para produção de 2 a 5 kg de frutos (Palaretti et al., 2011). Em artigo de revisão, Silva e seus colaboradores (2006) compilaram informações sobre a dinâmica da água nas plantas de citros. Existe uma dificuldade de transporte na planta, devido à baixa rede de vasos na folha e baixa condutividade hidráulica do sistema radicular, resultando em potenciais de água menores, complicando a entrada da água na planta. Mais adiante, estes autores reiteram sobre o estresse por déficit hídrico, esclarecendo que dependendo da fenologia da planta, pode ser prejudicial ou necessário para boas produtividades.

Assim, fica claro que a irrigação é uma estratégia benéfica, essencial e consolidada, de forma que ter em mãos conhecimento para seu manejo revela-se indispensável.

#### **1.2.4. Parâmetros indicadores de estresse**

Existem na literatura diversos atributos que são estudados como ferramentas para avaliar os níveis de estresse em plantas cultivadas, como estratégia para tomada de decisões agrônômicas. Concentração de carboidratos de reserva em órgãos específicos, liberação de eletrólitos por estresse oxidativo nos tecidos, índices NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada) e índice de clorofila total em folhas completamente expandidas podem ser parâmetros importantes para avaliar o nível de estresse de uma planta (EPHIFÂNIO, 1983; PEREIRA, 2015; GARCIA, 2008; FIOREZE et al., 2013; NASCIMENTO et al., 2019).

##### **1.2.4.1. Concentração de carboidratos de reserva**

Os carboidratos tem importante participação no florescimento de citros. Embora os mecanismos ainda não estejam perfeitamente elucidados, acredita-se que tenham mais o papel de suporte energético para formação dos botões florais do que propriamente função regulatória (Dovis, 2012). Vários autores observaram

que há um intenso consumo de amido no decorrer do desenvolvimento das gemas, desde a brotação até a antese. Relatam ainda que no inverno o teor de carboidratos é alto, e que plantas com maiores teores de amido nas folhas produzem mais flores (Goldschmidt & Golomb, 1982; Sanz *et al.*, 1987; García-Luis *et al.*, 1988; Ribeiro, 2006; Prado *et al.*, 2007; Dovis, 2012).

Em seu artigo de revisão, Kozłowski (1992) expõe que amido pode ser armazenado em diversos órgãos nas plantas, como gemas, folhas, ramos, caules e raízes. Além disso, ramos, caules e raízes podem ser considerados os mais importantes, sobremaneira no processo reprodutivo, de modo que, diversas espécies de plantas, como café, manga e abacate, que estão em produção apresentam menores índices de carboidratos não estruturais nesses órgãos, quando comparadas com plantas que não estão em produção. Em tangerina, plantas com altas produtividades expressaram drástico consumo de amido das raízes, comparado a plantas não produtivas.

Em plantas lenhosas, o amido representa uma importante fonte de energia capaz de manter a perenidade da espécie. As relações fonte-dreno são muito dinâmicas, de modo que determinados órgãos, como raízes, ramos e folhas, podem se comportar como dreno de fotoassimilados durante o verão, armazenando-os para posteriormente enviá-los, tornando-se fontes, aos órgãos reprodutivos durante o inverno. Mais ainda, as folhas e ramos mais próximos aos botões florais são os que mais enviam carboidratos aos novos tecidos (Marafon, 2008; Dovis, 2012).

Em estudo realizado por Freitas (2007), os teores de amido nos sarmentos de videira não sofreram alterações significativas durante a ano, revelando que, em espécies de clima temperado, a maior quantidade de carboidratos de reserva é armazenada no sistema radicular, que é perene.

Na cultura do café, Chaves Filho & Oliveira (2008) concluíram que ramos plagiotrópicos, caule e raízes são potenciais locais de armazenamento de amido, o qual pode ser utilizado como fonte de energia para o desenvolvimento reprodutivo. Mais especificamente, afirmam que o armazenamento de amido nos ramos plagiotrópicos e no caule ocorre no período de declínio do crescimento vegetativo, após a colheita dos frutos, de modo a preparar a planta para um novo

florescimento. Além disso, plantas com baixos teores de amido esboçam menor produção de frutos.

Em plantas jovens de seringueira sob estresse por déficit hídrico, Nascimento e seus colaboradores (2019) identificaram que houve diminuição dos teores de amido foliares em função dos níveis mais altos de estresse, sendo um indicativo de que a medição dos teores de amido nas folhas pode servir de parâmetro para quantificar a deficiência hídrica sofrida por uma cultura.

#### **1.2.4.2. Liberação de eletrólitos**

Plantas sob estresse por deficiência hídrica passam por algumas alterações fisiológicas, causadas pelo progresso da desidratação. O aumento da permeabilidade da membrana celular e, conseqüentemente, da saída de íons e outros solutos citoplasmáticos, é um sintoma típico bem elucidado por diversos autores, elencados por Faria (2010). Em revisão, Faria (2010) reitera que a desidratação aumenta a liberação de eletrólitos e solutos citoplasmáticos, induzindo danos de membrana, que podem se romper dependendo da severidade do dano (Senaratna & MacKersie, 1983).

Segundo Senaratna & MacKersie (1983), tecidos danificados liberam solutos mais rapidamente, visto que há rompimento do plasmalema ou do tonoplasto durante o processo de desidratação. Liberação de eletrólitos pode ser acentuada também por peroxidação de lipídios, atacados por radicais livres, espécies reativas de oxigênio, o que causa alterações na membrana. Do mesmo modo, a desidratação leva ainda a alterações na conformação de proteínas de membrana, condição que desencadeia liberação extensiva de eletrólitos e solutos a partir de tecidos vegetais (Faria, 2010).

Nesse sentido, o grau de dano às membranas celulares por estresse hídrico pode ser estimado através de medidas da liberação de eletrólitos (LE), pela análise de condutividade da solução em que o tecido fora encubado. A condutividade da água desionizada que recebe o material vegetal a ser analisado aumenta gradativamente com a liberação dos íons extravazados do citoplasma das células com permeabilidade da membrana alterada (Kocheva et al., 2005).

Assim, é possível aferir e correlacionar com o nível de estresse em que a planta se encontra (Bajji et al., 2001; Faria, 2010; Sá, 2017; Vieira, 2020).

Mais especificamente, Faria (2010) concluiu que a condutividade elétrica da solução aumenta linearmente nas primeiras 4 horas de reidratação, posteriormente diminuindo até atingir estabilidade, donde se sugere que nas primeiras horas os íons são liberados do espaço apoplástico e em seguida do próprio citoplasma, devido à desorganização da plasmalema.

Em outro trabalho, Sá (2017) identificou que espécies de ipê podem ser mais ou menos tolerantes ao déficit hídrico, sendo este comportamento evidenciado também aferindo-se a liberação de eletrólitos. Por essa via, corrobora que trata-se de um parâmetro simples e prático para quantificar o grau de estresse sofrido pelas espécies vegetais.

#### **1.2.4.3. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)**

Atualmente, o uso de técnicas de mapeamento e monitoramento da cobertura vegetal por sensoriamento remoto e processamento digital de imagens tem ganhado crescente importância e aplicabilidade (Poelking et al., 2007; Zhao et al., 2018). Trata-se de uma ferramenta relativamente barata, que permite obter informações da mesma superfície em momentos diferentes e que pode auxiliar na tomada de diversas decisões. De posse das imagens espectrais, é possível calcular dezenas de índices de vegetação, sendo o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) o mais conhecido e utilizado (Marion et al., 2021).

A vegetação esboça baixa reflectância para luz nos comprimentos de onda na região da luz visível, visto que a clorofila absorve a radiação solar para permitir a fotossíntese. Já no comprimento de onda do infravermelho próximo, a reflectância é alta pelos tecidos vegetais. Como o NDVI é simplificada uma diferença entre essas duas reflectâncias, uma planta sadia apresenta índices mais altos, próximos de 1. Em contrapartida, uma planta sob estresse hídrico absorve menos radiação, aumentando sua reflectância no espectro visível e absorvendo mais no infravermelho próximo. Assim, a diferença entre as reflectâncias nesses comprimentos de onda (NDVI) tende a decrescer quanto maior for o nível de



déficit hídrico sofrido pela cobertura vegetal, ficando mais próximo de 0. Em outras palavras, aumento da quantidade de vegetação e da atividade fotossintética conduz ao aumento nos valores de NDVI, ao passo que estresse hídrico causa redução nas taxas fotossintéticas e de transpiração da planta, culminando em drástica redução nos índices de vegetação (Poelking et al.,2007; Zhao et al., 2018; Marion et al.,2021).

Macedo e seus colaboradores (2015) também discorreram sobre as condições climáticas cada vez mais desafiadoras e a necessidade de monitorar o estresse hídrico das plantas, reiterando que a utilização dos índices de vegetação, como o NDVI, é facilmente aplicável e satisfatoriamente eficiente em determinar o nível de estresse das plantas. Plantas de arroz reduziram o NDVI pela metade, mediante déficit hídrico.

Na citricultura, existem trabalhos correlacionando índices de vegetação com produtividade e deficiências nutricionais, mas não há ainda estudos que demonstrem o comportamento do NDVI durante o período em que a planta passa por estresse por déficit hídrico, o que afirma a importância e a necessidade do presente trabalho (Parise & Vettorazzi, 2005; Barbosa, 2014).

#### **1.2.4.4. Teor de Clorofila Total**

A medida indireta do teor de clorofila na planta mostra-se atualmente uma ferramenta prática e versátil. Através da mensuração da reflectância e da absorção da luz, indica a intensidade da cor verde na planta (Argenta et al., 2001). Utilizando-se aparelhos portáteis, é possível, de maneira rápida e barata, sem necessidade de reagentes nem de destruição da amostra, quantificar o teor de clorofila e com isso tomar diversas decisões (Prado & do Vale, 2008).

Em estudo realizado com feijão-caupi, Bastos e seus colaboradores (2012) identificaram variações nos teores de clorofila total em função da lâmina de irrigação, de forma que entre a maior lâmina e a mais deficitária, houve diferença da ordem de 18% nos resultados obtidos.

Em cana-de-açúcar, Silva et al. (2014) identificaram que variedades apresentam diferentes comportamentos de tolerância ao déficit hídrico, e tal

característica pode ser bem evidenciada nos índices de clorofila total, reiterando a relação entre os níveis do pigmento na planta e sua resposta aos diferentes graus de estresse.

Conforme já mencionado, a atividade fotossintética da planta de laranjeira diminui no inverno, período em que a cultura passa por déficit hídrico e diminuição de luminosidade. Diante do exposto, espera-se que teor de clorofila total também possa ser um parâmetro para caracterizar a condição hídrica de plantas de laranjeira

## 2. CÁPITULO 2: Indicadores de déficit hídrico e correlações com florescimento de plantas de laranjeira

<sup>1</sup>Renan Moisés Paneghini Zanata & <sup>2</sup>Jairo Osvaldo Cazetta

**Resumo** – Frutas cítricas são apreciadas e consumidas em todo mundo, *in natura*, na forma de sucos ou vitaminas, pelo seu sabor característico e inúmeros benefícios para saúde humana. O florescimento ocorre após um período de estresse, estimulado por baixas temperaturas e/ou déficit hídrico. Nas condições do centro-norte do estado de São Paulo, região de expressiva produção, o estresse hídrico é o fator de maior relevância para determinar uma nova florada. O período de estresse por déficit hídrico passa a contar a partir da última chuva significativa (>20mm), no final do período chuvoso, havendo ainda dificuldade em prever qual o momento ideal de se fazer a interrupção deste estresse, iniciando a irrigação. Nesse sentido, atributos esboçados pela planta podem ser bons parâmetros indicativos para tal decisão. O presente trabalho objetivou quantificar atributos fisiológicos de plantas de laranjeira com o intuito de encontrar indicadores para correlacionar a interrupção do estresse hídrico com florescimento uniforme consistente. O ensaio constou de 5 tratamentos e 4 repetições, com delineamento em blocos casualizados, sendo os tratamentos caracterizados por diferentes momentos de interrupção do estresse hídrico, realizado em pomar de laranjeira em idade de produção, localizado em Pitangueiras - SP. Foram mensurados diversos parâmetros, como teor de amido em folhas e ramos, teor de clorofila total, liberação de eletrólitos e índices NDVI, entre junho e outubro de 2021. O NDVI esboçou correlação negativa com o número de flores de laranjeira, ao passo que liberação de eletrólitos e concentração de amido nos ramos apresentaram correlação positiva, porém mais baixa, de forma que estes três parâmetros, nessa ordem, podem ser considerados bons indicativos do momento de interromper o estresse obtendo como resposta quantidade de flores uniforme e viável.

**Termos para indexação:** Amido, *Citrus sinensis*, estresse, imagem de satélite

---

<sup>1</sup> Eng. Agrônomo, Programa de Pós-graduação em Agronomia (Ciência do Solo), UNESP - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal-SP, Brasil. E-mail: renanzanata20@gmail.com (ORCID 0000-0002-3448-0335)

<sup>2</sup> Eng. Agrônomo, Professor Titular, UNESP - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal-SP, Brasil. E-mail: jairo.cazetta@unesp.br (ORCID 000-0001-9541-6655)

## **Water deficit indicators and correlations with flowering of orange plants**

**Abstract** - Citrus fruits are appreciated and consumed all over the world, *in natura*, in the form of juices or vitamins, for their characteristic flavor and countless benefits for human health. Flowering occurs after a period of stress, stimulated by low temperatures and/or water deficit. In the conditions of the center-north of the state of São Paulo, a region of expressive production, water stress is the most relevant factor to determine a new flowering. The period of stress due to water deficit begins to count from the last significant rainfall (>20mm), at the end of the rainy season, and there is still difficulty in predicting the ideal moment to interrupt this stress, starting irrigation. In this sense, the attributes shown by the plant can be good indicative parameters for such a decision. The present work aimed to quantify physiological attributes of orange trees to find indicators to correlate the interruption of water stress with consistent uniform flowering. The trial consisted of 5 treatments and 4 replications, with a randomized block design, with treatments characterized by different moments of water stress interruption, carried out in an orange orchard at production age, located in Pitangueiras - SP. Several parameters were measured, such as starch content in leaves and branches, total chlorophyll content, electrolyte release and NDVI indices, between June and October 2021. The NDVI showed a negative correlation with the number of orange blossoms, while electrolyte release and starch concentration in the branches showed a positive correlation, but lower, so that these three parameters, in that order, can be considered good indicators of the moment of interrupting stress by obtaining a uniform and viable number of flowers in response.

**Index terms:** *Citrus sinensis*, starch, satellite image, stress

### **2.1. Introdução**

Frutas cítricas são apreciadas e consumidas em todo mundo, *in natura*, na forma de sucos ou vitaminas, pelo seu sabor característico e inúmeros benefícios para saúde humana. Para obtenção de boas produtividades, é primordial que a planta tenha um florescimento uniforme e viável, visto que apenas de 0,1 a 3% do total de flores é convertido em frutos, por ocasião da colheita (PRADO et al., 2007; PALARETTI, 2009; DOVIS, 2012).

O processo de florescimento representa o início de uma nova safra, ocorrendo após um período de dormência, seguido por diferenciação das gemas, após um período

de estresse fisiológico (PALARETTI, 2009). Este estresse, em plantas de citros, é desencadeado por fatores climáticos e ambientais, de modo que baixas temperaturas e o déficit hídrico são primordiais nesse sentido (DA SILVA et al., 2020).

Para que a indução do florescimento ocorra por baixa temperatura, esta deve oscilar entre 13 e 15 °C durante o dia e entre 10 e 13 °C à noite (MOSS, 1969; AMARAL, 2018). Limites superiores não estão bem definidos, mas trabalhos indicam que temperaturas acima de 22 °C já são ineficientes (DOORENBOS & KASSAM, 1979; SANTOS et al., 2011). Mais especificamente, as temperaturas abaixo de 13 °C devem somar ao menos 300 horas, para que haja forte influência (RIBEIRO et al., 2006). Nas condições do centro-norte do estado de São Paulo, podem não ocorrer períodos suficientes de baixas temperaturas a ponto de, por si só, induzir um florescimento uniforme e satisfatório. Assim, o estresse por deficiência hídrica, em patamares adequados, faz-se essencial (SILVEIRA, 2019; DOVIS, 2012).

Na citricultura, o período de déficit hídrico passa a ser contado a partir da última chuva significativa (maior que 20 mm), sendo que de duas a cinco semanas de seca já pode desencadear o processo de florescimento (SILVEIRA, 2019; PALARETTI, 2009). Porém, não há informações decisórias sobre o período de estresse necessário para que tal florescimento seja abundante e uniforme, tampouco parâmetros fisiológicos bem conhecidos e definidos para quantificar ou qualificar o momento exato para se interromper o estresse hídrico. Considerações que endossam o presente trabalho.

Por outro lado, sobretudo em pomares irrigados, a interrupção precoce do estresse por déficit hídrico pode comprometer o florescimento, encurtando o período de repouso, em que há acúmulo de reservas e mudanças hormonais para transformação das gemas vegetativas em reprodutivas, desencadeando pequeno número de flores ou até ausência delas, culminando em grandes perdas de produtividade (RIBEIRO, 2006; VOIGT, 2013).

Atualmente, o manejo da irrigação na citricultura é iniciado com base em parâmetros climáticos e de solo, mesmo a cultura apresentando grande variabilidade de demanda hídrica (MARIN et al., 2002; ROJAS, 2003; PALARETTI et al., 2011; ALMEIDA, 2018; AMENDOLA, 2018; BARBARA, 2022). Por essa via, a existência de índices que permitam quantificar o nível de estresse da planta para que se inicie o fornecimento de água para a cultura, de modo a garantir florescimento adequado e boas produtividades, faz-se necessário.

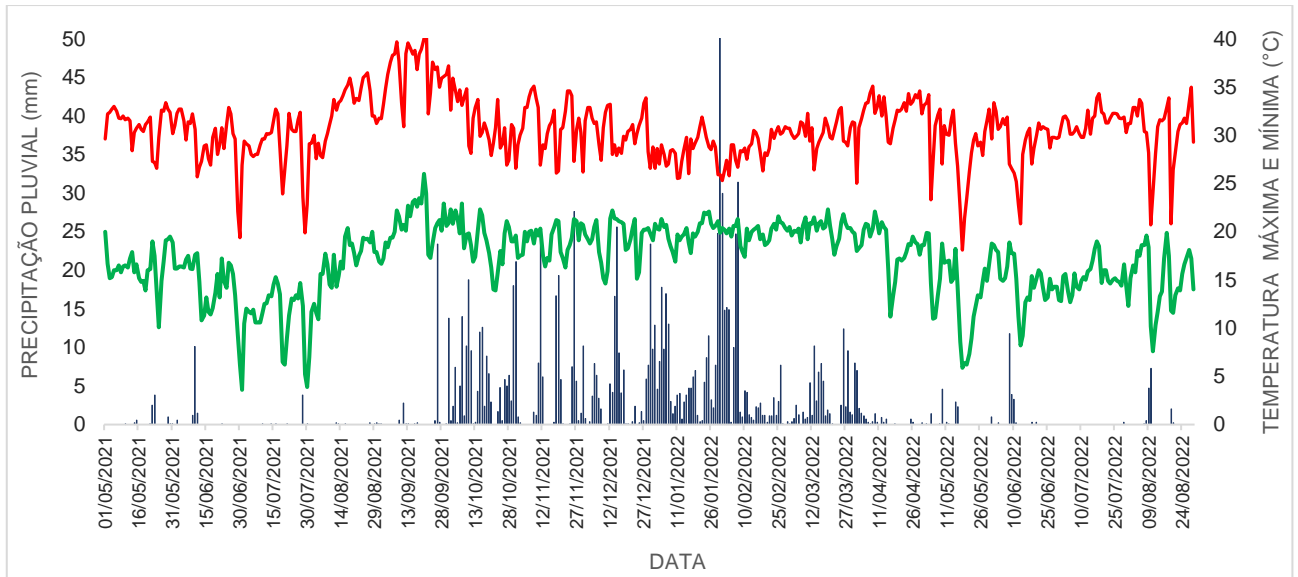
A concentração de carboidratos de reserva em órgãos fonte, liberação de eletrólitos por estresse oxidativo nos tecidos, índice NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada) do dossel e teor de clorofila total nas folhas são parâmetros importantes para avaliar o nível de estresse de uma planta (EPHIFÂNIO, 1983; GARCIA, 2008; CHAVES FILHO & OLIVEIRA, 2008; FIOREZE et al., 2013; PEREIRA, 2015; SÁ, 2017; NASCIMENTO et al., 2019). Por isso, a hipótese é que essas variáveis possam ser atributos utilizados como importantes ferramentas para tomada de decisão, no tocante ao manejo da irrigação, monitorando o estresse hídrico para promover o florescimento na citricultura.

Assim, objetivou-se com o presente trabalho quantificar atributos fisiológicos e espectrais de plantas de laranjeira com o intuito de encontrar bons indicadores para correlacionar o melhor momento de interromper o estresse hídrico com florescimento abundante, uniforme e viável

## **2.2. Material e métodos**

O experimento foi conduzido entre junho de 2021 e agosto de 2022, em Pitangueiras, região centro-norte do Estado de São Paulo, em pomar comercial no Sítio Laranjal, a 550 metros de altitude e relevo plano. A área experimental localiza-se em latitude 20°57'35,10" S e longitude 48°22'10,40" W. Segundo a classificação climática de Köppen, modificada por Rolim et al. (2007), o clima da região é classificado como tropical (Aw), com verão quente e úmido e inverno frio e seco, com médias anuais de temperatura mínima de 17,5°C, máxima de 31°C e precipitação de 1.440 mm. Este pomar foi implantado em novembro de 2017, sendo utilizada a variedade Pera Rio, transplantada em espaçamento de 6 metros entre linhas e 2 metros entre plantas, totalizando uma população de 833 plantas por hectare. Foi utilizado o porta-enxerto Citrumelo Swingle, com interenxertia de Valência.

Na figura 1 consta o regime pluviométrico da área experimental, desde o início dos tratamentos (junho de 2021) até a colheita da safra (agosto de 2022). Foi um ano agrícola com estação seca bem definida, praticamente sem precipitação entre junho e setembro de 2021, o que foi positivo para caracterizar as relações entre aporte hídrico e resposta fisiológica da planta.



**Figura 1.** Índice pluviométrico, temperatura máxima e mínima na área experimental localizada em Pitangueiras-SP. Dados coletados entre mai/2021 e ago/2022, com auxílio do pacote naspower (SPARKS, 2018; SPARKS, 2023) do software R 4.1.0 (R CORE TEAM, 2021).

O pomar foi conduzido seguindo boas práticas agrônômicas, com devidos tratamentos fitossanitários, controle de plantas daninhas e manejo nutricional. Foram realizadas três adubações, em outubro de 2021, dezembro de 2021 e fevereiro de 2022, com fertilizante formulado 20-10-20, nas doses de 540 kg/ha, 400 kg/ha e 400 kg/ha, respectivamente. Não foi realizada fertilização foliar na área experimental. A caracterização físico-química do talhão em que ocorrera o estudo consta na tabela 1.

**Tabela 1.** Caracterização físico-química do solo da área experimental em junho de 2021. Pitangueiras - SP.

<b>Prof.</b>	<b>pH</b>	<b>MO</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>K</b>	<b>H+Al</b>	<b>CTC</b>	<b>V</b>
(cm)	(CaCl <sub>2</sub> )	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>		----- mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			----- % -----		
0-20	5,2	15	17	10	20	7	3,2	22	52,2	58
20-40	5,4	13	19	8	22	7	2,3	20	51,3	61
			<b>B</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Zn</b>	<b>Areia</b>	<b>Silte</b>	<b>Argila</b>
			----- mg dm <sup>-3</sup> -----				----- g kg <sup>-1</sup> -----			
0-20	0,3	3,2	48	8,6	4,2	839	57	104		

Os tratamentos propostos foram desenvolvidos objetivando promover uma interrupção do estresse hídrico a cada mês, desde o final das chuvas significativas até um novo período de chuvoso, para avaliar a resposta da planta em cada momento. Assim, foram implantados cinco tratamentos, sendo: T1: Controle (sem irrigação); T2: Irrigação

em junho; T3: Irrigação em julho; T4: Irrigação em agosto; T5: Irrigação em setembro. A irrigação foi realizada sempre no primeiro dia útil de cada mês. O tratamento Controle seguiu apenas o regime pluviométrico local, sendo que a interrupção do estresse por déficit hídrico ocorreu em outubro de 2021, com chuva maior que 20 mm, no final de setembro, conforme consta na figura 1. Cada parcela, composta por seis plantas em linha, sendo as duas centrais tratadas como parcela útil, recebeu 20 mm de lâmina de irrigação (MARIN et al., 2002; PALARETTI, 2009), sendo esse volume distribuído nas duas plantas úteis, em coroa na projeção da copa, em diferentes momentos (tratamentos), para posterior análise de variáveis fisiológicas da planta. Após o início da aplicação do tratamento, cada parcela continuou recebendo este volume de irrigação quinzenalmente, até 01 de outubro de 2021, quando se regularizaram as chuvas na área experimental. Vale ressaltar que tal volume foi definido com objetivo de interromper a deficiência hídrica acumulada pelas plantas e impedir que novo estresse fosse acumulado, e não para suplantarmos todo o requerimento da cultura para o período.

Para caracterizar o teor de amido em ramos e folhas das plantas de laranja, quinzenalmente foram coletados oito ramos do último fluxo vegetativo maduro (quatro ramos por planta, um por ponto cardial) e as folhas a eles pertencentes, para determinação do teor de amido nesses órgãos vegetais. As amostras foram secas em estufa de circulação de ar (60-70°C) até peso constante, moídas em moinho tipo Willey e passadas em peneira de 0,5 mm. Neste material procedeu-se a determinação de amido, seguindo metodologia proposta por Amaral et al. (2007).

O monitoramento do estado de estresse das plantas foi feito também com outras medições, já utilizadas para outras culturas, como determinação do teor de clorofila total (TCT), nível de dano nos tecidos (liberação de eletrólitos) e índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) (PEREIRA, 2015; EPIPHANIO, 1983; SILVA et al, 2019).

Em cada parcela, mediu-se o índice de clorofila nas folhas maduras dos ramos emitidos no último fluxo vegetativo maduro, utilizando um clorofilômetro clorofiLOG CFL 1030 FALKER. Foram feitas cinco medições por planta útil, 15 dias após o início de cada tratamento (PRADO & DO VALE, 2008).

Para medição dos danos nos tecidos, foi quantificada a liberação de eletrólitos pela membrana e pelo citoplasma. Quando a planta está estressada, começam a se formar no



interior das células espécies reativas de oxigênio, as quais vão destruindo a estrutura das proteínas e fosfolípidios, o que causa liberação de eletrólitos, que aumentam a condutividade elétrica da solução em que a amostra foi mergulhada (SENARATNA & MACKERSIE, 1983; GARCIA et al., 2008; FIOREZE et al., 2013; VIEIRA, 2020). Para tal determinação, quinzenalmente, foram coletadas doze folhas do ramo do último fluxo vegetativo maduro, sendo seis de cada planta, três de cada face da linha de plantio. Recortou-se dois círculos por folha, de um centímetro de diâmetro, os quais foram imergidos em 100 mL de água deionizada, onde ficaram por uma hora, sendo medida a condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), com condutivímetro AKSO Ak51 devidamente calibrado.

Para determinar o NDVI das plantas, a cada avaliação quinzenal, duas plantas de cada parcela foram fotografadas com uma câmera multiespectral MAPIR Survey 3N, para captar índices de verde, vermelho e infravermelho próximo, proporcionando, após tratamento de padronização e calibração, imagens contendo índice de NDVI médio de cada planta fotografada. Também foram acessadas imagens do satélite Sentinel-2B (EMBRAPA TERRITORIAL, 2018) do talhão em que o experimento foi instalado, permitindo calcular o NDVI de cada parcela, quinzenalmente, a cada avaliação (DINIZ et al., 2020).

À medida que foram aplicados os tratamentos de irrigação, as plantas foram sendo monitoradas visualmente objetivando constatar o início e a intensidade do florescimento, para quantificação dos botões florais. A medição foi feita através da contagem dos órgãos reprodutivos, por amostragem, em dois locais da copa de cada planta, uma no lado Leste e outra no Oeste, na altura média da copa (ARAÚJO et al., 1999). Em cada lado da copa, a área amostrada por planta foi de  $0,25 \text{ m}^2$  ( $0,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$ ) através de um quadrado vazado de tal medida que foi posicionado encostado na copa da planta, contabilizando-se todas as flores desta área. Ao final da maturação dos frutos, todas as plantas úteis de cada parcela tiveram seus frutos colhidos e pesados, para estimativa da produtividade, em agosto de 2022. Também foi realizada análise tecnológica dos frutos, para levantamento de dados de tamanho de frutos, teor de suco, teor de sólidos solúveis, acidez total titulável e ratio.

Os dados foram submetidos à Análise de Variância (Teste F) e ao Teste de Comparação de Médias (Tukey, 5%) passaram por análise de variância e pelo Teste de

Tukey (5%) para diferenciar o comportamento das variáveis entre os tratamentos. Foi também realizada Análise de Correlação de Pearson e Regressão Polinomial para melhor interpretação das relações entre os atributos mensurados. Para as análises estatísticas foi utilizado o programa AGROESTAT (BARBOSA; MALDONADO JUNIOR, 2015).

Adicionalmente, para caracterizar e correlacionar os atributos mensurados com a quantidade de flores obtidas, foi realizada uma Análise de Componentes Principais (PCA), utilizando-se o Software R (R CORE TEAM, 2021), permitindo melhor identificar quais indicativos podem ser utilizados para prever o melhor momento de reiniciar a irrigação.

### 2.3. Resultados e discussão

O número de flores obtido em cada tratamento foi diferente, sendo um indicativo de que escolher o momento ideal para interrupção do estresse hídrico é realmente valioso para se obter boas produtividades (tabela 2).

**Tabela 2:** Comparação de médias de atributos quantificados em plantas de laranjeira ‘Pera’ submetidas à interrupção do déficit hídrico em diferentes momentos (meses). Número de flores por metro quadrado de copa (Flores), teor de amido no ramo (Am.Ramo) e na folha (Am.Folha), índice de vegetação por diferença normalizada calculado por imagens de satélite (NDVI.sat) e por câmera MAPIR (NDVI.mapir), condutividade elétrica por liberação de eletrólitos (CE.folha), teor de clorofila total (TCT) e produtividade de frutos frescos por hectare em caixas de 40,8kg (Prod.). Pitangueiras, SP. 2021.

Tratamento	Flores (n°/m <sup>2</sup> )	Am.Ramo (mg/gMS)	Am.Folha (mg/gMS)	CE.folha (µS/cm)	NDVI. mapir	NDVI. sat	TCT	Prod. (caixa/ha)
Junho	111,8c	15,4b	4,3a	12,8b	0,312ab	0,310a	70,6a	235,5b
Julho	253,8bc	20,7b	13,2a	16,0b	0,316ab	0,277ab	70,2a	241,3b
Agosto	427,3b	24,4ab	8,6a	12,3b	0,318a	0,271b	73,4a	283,3ab
Setembro	364,8b	44,2a	6,4a	25,0a	0,299b	0,193c	67,1a	72,0b
Outubro (C*)	710,0a	21,2b	2,9a	18,8ab	0,303ab	0,216c	66,0a	551,2a
Teste F	16,28**	5,75**	2,44ns	10,54**	3,76*	36,61**	2,46ns	6,74**
C.V.	29,61	36,8	73,28	18,94	2,8	6,21	5,43	48,29

Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey (5%). ns: não significativo pelo teste F ( $p > 0,05$ ); \*: significativo a 5% ( $p < 0,05$ ); \*\*: significativo a 1% ( $p < 0,01$ ). (C\*): tratamento controle, interrupção do estresse por chuvas, ausência de irrigação.

. O tratamento feito em junho trouxe um menor número de flores por metro quadrado de copa (tabela 2). A densidade de 111 flores/m<sup>2</sup> se assemelha à encontrada no tratamento feito em julho, que embora sendo um pouco maior (253 flores/m<sup>2</sup> de copa), ainda não apresenta diferença estatística ( $p > 0,05$ ) com o mês anterior. Esta florada

produziu uma estimativa de 240 caixas (40,8 kg) de frutos por hectare, produção muito aquém do esperado para um pomar de 5 anos de idade (REINA, 2021), o que corrobora a ideia de que a planta ainda não havia acumulado a deficiência hídrica necessária para indução de gemas reprodutivas, resultando apenas em manutenção de seu vigor vegetativo.

Nos tratamentos realizados em agosto e setembro, foi verificado considerável aumento no número de flores, para 427 e 364 flores/m<sup>2</sup>, respectivamente, diferindo ( $p < 0,05$ ) do tratamento realizado em junho. Isso demonstra que, com uma maior deficiência hídrica acumulada, a resposta da planta em número de flores foi mais acentuada. Ainda assim, não foram atingidas boas respostas em produtividade, de modo que, apenas o tratamento controle, em que a interrupção do estresse ocorrera em outubro, pela retomada das chuvas (figura 1), induziu produção superior ( $p < 0,05$ ), de 551 caixas/ha, quase 50% maior que o melhor dos demais tratamentos. Estas considerações enfatizam que apenas fazer a planta florescer não é suficiente para garantir boa colheita, pois desde a formação da flor até a obtenção do fruto pronto para consumo, existe um período relativamente longo em que variáveis climáticas, nutricionais e fitossanitárias podem interferir.

Notadamente, mesmo com bom número de flores formadas (364 flores/m<sup>2</sup>), no tratamento de setembro a produtividade foi irrisória, visto que a planta já estava em alto nível de estresse hídrico devido ao longo período de baixa pluviosidade. As condições que sucederam a florada (maiores temperaturas e ausência de chuvas, conforme figura 1) foram totalmente desfavoráveis à conversão das flores em frutos. Para o tratamento de outubro, embora a planta estivesse já com longo período de déficit hídrico acumulado, após o florescimento as chuvas se regularizaram na área (figura 1), dando condições para sua recuperação e confirmação da produção.

O florescimento das plantas cítricas é influenciado por diferentes fatores, como quantidade de frutos já existente na planta, tipo de porta-enxerto utilizado, luminosidade e radiação solar, precipitação e umidade do solo e temperatura do ar e do solo (Southwick & Davenport, 1986; Krajewski & Rabe, 1995; Castro et al., 2001; Vitti et al., 2003; Ribeiro et al., 2006; Prado et al., 2007; Palaretti, 2009; Santos et al., 2011; DAVIS, 2012; Voigt, 2013). Como na área experimental todas as parcelas estão submetidas às mesmas condições supracitadas, pode-se afirmar que as diferenças observadas nos números de flores foram por conta dos tratamentos de irrigação.

O índice NDVI obtido pela imagem de satélite (NDVI.sat), apresentou valores que foram decrescendo com o avanço do estresse nas plantas, de modo que os dois primeiros tratamentos diferiram ( $p < 0,05$ ) dos dois últimos tratamentos. Isso é um forte indício de que esta variável possa ser utilizada para prever o comportamento da planta perante o acúmulo de déficit hídrico necessário para o florescimento. O índice NDVI.mapir apresentou variação semelhante ao NDVI.sat, porém de forma mais discreta. Essa diferença pode ser explicada pela unidade amostral, visto que a imagem de satélite captura a planta toda, do mesmo ângulo para todas as parcelas, ao passo que as imagens feitas pela câmera MAPIR capturam apenas uma face da planta.

Estes valores de NDVI variando em torno de 0,3 foram menores que aqueles encontrados em laranjeira Valência por Barbosa (2014), visto que em seu estudo foram avaliadas plantas mais velhas, com copa mais densa e vigorosa e submetidas a doses crescentes de nitrogênio.

Durante a condução do experimento, as plantas foram acumulando carboidratos de reserva (amido) nos tecidos estratégicos (ramos e folhas) para suportar uma nova safra. Entretanto, a concentração de amido nas folhas não apresentou variação significativa ( $p > 0,05$ ) entre os tratamentos, embora o coeficiente de variação (tabela 2) das médias tenha ficado alto, mesmo com as análises laboratoriais sendo feitas em duplicata, donde se suspeita que possa ter ocorrido algum problema na amostragem do material. Em contrapartida, a concentração de amido nos ramos do último fluxo vegetativo maduro variou em função dos tratamentos (tabela 2). O maior teor foi encontrado em setembro, chegando a 44,2 mg/g na matéria seca, semelhante ( $p < 0,05$ ) ao teor de agosto, de 24,4 mg/g. Estes dados evidenciam que o teor de amido nos ramos poderia ser utilizado como indicativo de florescimento, porém não detém a mesma acurácia que o índice NDVI.

Teores semelhantes de amido nos ramos de laranjeira foram também encontrados por DAVIS (2012), comprovando que são teores comuns para essa cultura. A pouca resposta aos tratamentos expressada pela concentração de amido nas folhas indica que esses órgãos não podem ser considerados de reserva para as plantas de laranjeira, corroborando a afirmação descrita por Prado et al. (2007).

Chaves Filho (2008) encontrou em seu trabalho de monitoramento de amido em órgãos de cafeeiro, que há pronunciada correlação entre os teores de amido em ramos plagiotrópicos e o florescimento e produtividade da cultura. Já no trabalho de Nascimento et al. (2019), feito com plantas de seringueira, foi concluído que o amido

foliar é utilizado mais como suporte energético para que a planta ajuste mecanismo para se defender do estresse hídrico, do que como suporte para indução e manutenção do florescimento.

Outro parâmetro interessante foi a liberação de eletrólitos (CE.folha), que demonstrou internamente o efeito das condições adversas que a planta atravessou durante o período de déficit hídrico. A condutividade elétrica da solução em que os discos foliares foram imersos variou significativamente ( $p < 0,05$ ), passando de  $12,8 \mu\text{S}/\text{cm}$  em junho, para  $25,0 \mu\text{S}/\text{cm}$  em setembro, evidenciando que a planta passou por intenso estresse desencadeados pelo déficit hídrico crescente. Garcia (2008) e Fioreze et al. (2013) também apontaram a estreita relação entre situações de estresse sofridas pelas plantas e a liberação de eletrólitos pelas células, que aumentam a condutividade elétrica.

Por fim, o teor de clorofila total (TCT) não apresentou diferença estatística ( $p > 0,05$ ) entre os tratamentos. Todavia se comportaram de maneira coerente com as outras variáveis analisadas, visto que o teor de clorofila foi decrescendo com o avanço do período seco, conforme foi observado também em plantas de cana-de-açúcar submetidas a estresse por deficiência hídrica (SILVA et al., 2014).

De posse dos valores levantados para todos estes indicadores, foi possível analisar a correlação entre eles, visando esclarecer a interdependência entre as variáveis (tabela 3).

Nota-se que o índice NDVI.sat correlacionou-se ( $p < 0,01$ ) de maneira inversa com o número de flores produzido, isto é, plantas mais vigorosas exibem maiores índices NDVI.sat, todavia são plantas que acumularam pouco estresse, o que induziu florescimento insipiente. Por outro lado, plantas mais estressadas hidricamente exibiram índices NDVI menores (tabela 2), mas apresentaram maior número de flores.

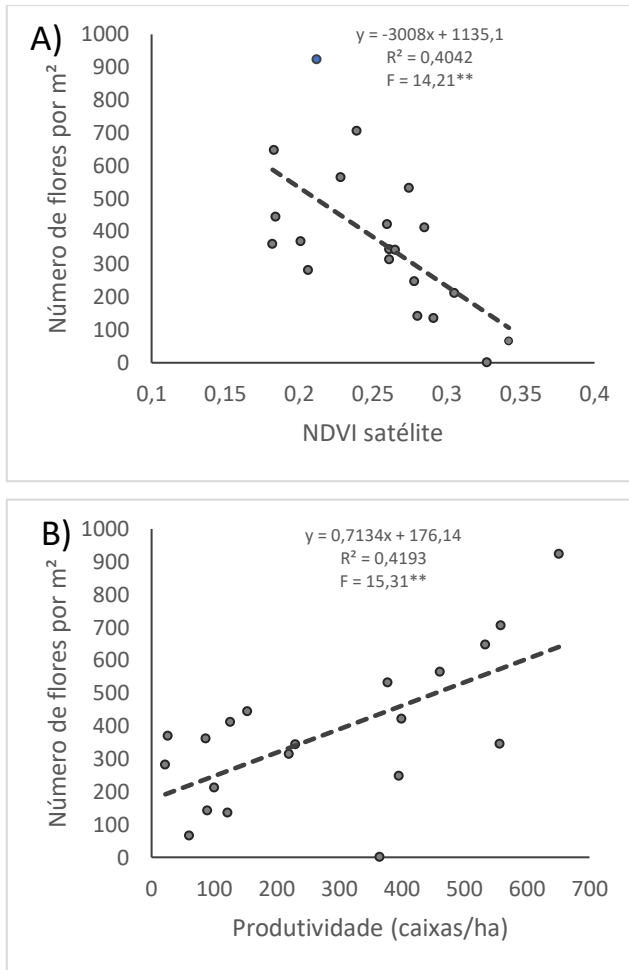
A produtividade se correlacionou apenas com o número de flores (tabela 3), reforçando que um número de flores abundante é um atributo importante para se obter boa safra, naturalmente se as condições edafoclimáticas e fitossanitárias forem favoráveis para a boa formação e crescimento dos frutos.

**Tabela 3:** Análise de correlação entre os atributos quantificados em plantas de laranjeira ‘Pera’ submetidas à interrupção do déficit hídrico em diferentes momentos (meses). Número de flores por metro quadrado de copa (Flores), teor de amido no ramo (Am.Ramo) e na folha (Am.Folha), índice de vegetação por diferença normalizada calculado por imagens de satélite (NDVI.sat) e da câmera MAPIR (NDVI.mapir), condutividade elétrica por liberação de eletrólitos (CE.folha), teor de clorofila total (TCT) e produtividade de frutos frescos por hectare em caixas de 40,8kg (Produtividade). Pitangueiras, SP. 2021.

	Am.Folha	Am.Ramo	CE.folha	NDVI. mapir	NDVI. sat	TCT	Flores
Am.Ramo	0,35ns						
CE.folha	-0,19ns	0,43ns					
NDVI.mapir	0,27ns	-0,24ns	-0,50*				
NDVI.sat	0,10ns	-0,64**	-0,63**	0,61**			
TCT	-0,04ns	-0,05ns	-0,64**	0,42ns	0,32ns		
Flores	-0,09ns	0,14ns	0,22ns	-0,30ns	-0,64**	-0,31ns	
Produtividade	-0,14ns	-0,28ns	-0,19ns	-0,11ns	-0,14ns	-0,08ns	0,65**

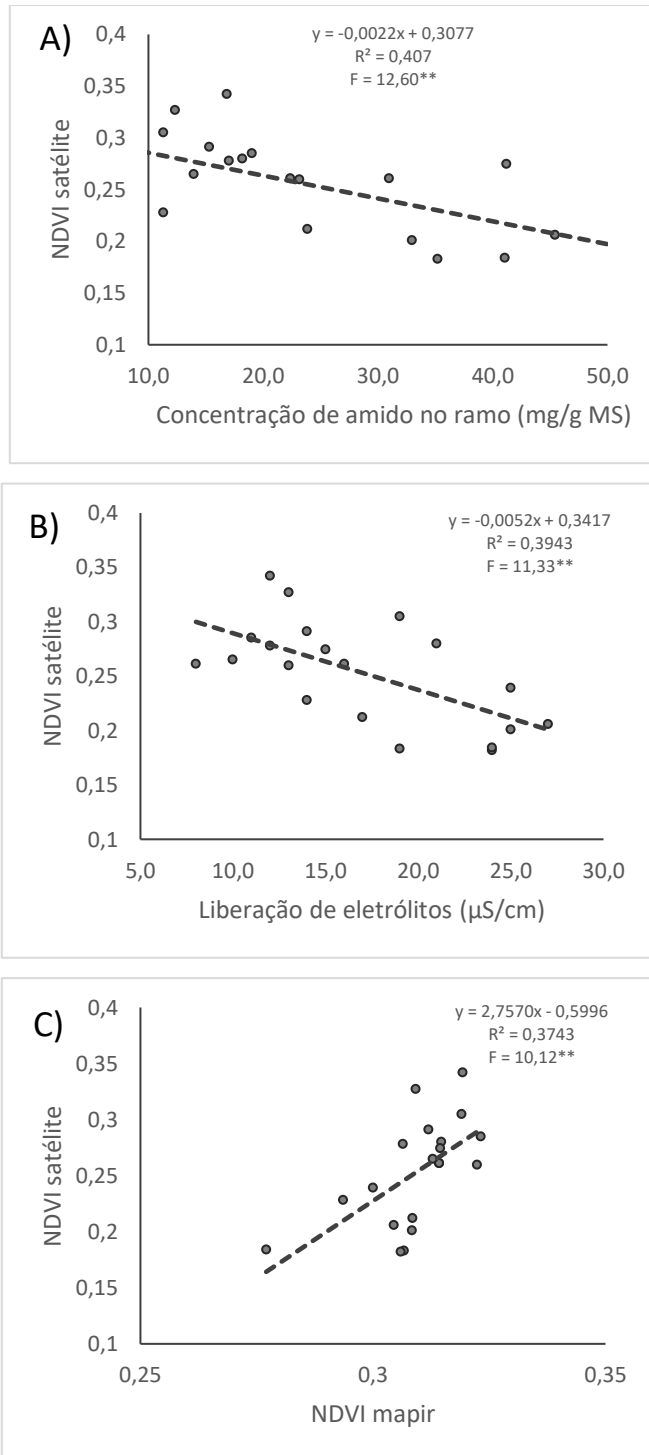
ns: não significativo ( $p > 0,05$ ); \*: significativo a 5% ( $p < 0,05$ ); \*\*: significativo a 1% ( $p < 0,01$ ).

Na figura 2 é possível constatar que as correlações acima descritas ocorreram de maneira linear, com base no período avaliado. O número de flores encontrado nas plantas de laranjeira é inversamente proporcional ao índice NDVI das imagens de satélite (NDVI.sat) e diretamente proporcional à produtividade estimada. Este comportamento já era esperado, uma vez que as plantas de laranjeira passam por período de repouso e estresse fisiológico para que suas gemas vegetativas sejam convertidas em gemas reprodutivas. Nesse sentido, a perda de vigor vegetativo exibe menores valores de NDVI, mas promove maior número de flores (figura 2A). No mesmo sentido, como a conversão de flores em frutos é muito baixa (PRADO et al., 2007; PALARETTI, 2009), é extremamente necessário que se tenha elevado número de flores para obtenção de maiores produtividades.



**Figura 2.** Gráfico de correlação entre número de flores por m<sup>2</sup> e NDVI obtido por imagens de satélite (A) e entre número de flores por m<sup>2</sup> e produtividade (B). Pitangueiras, SP. 2021.

Outras correlações relevantes foram observadas entre a concentração de amido no ramo e a liberação de eletrólitos e o NDVI do satélite (figuras 3A e 3B), bem como do NDVI da câmera mapir com o NDVI do satélite (figura 3C), corroborando a ideia de que estes quatro atributos possam ser utilizados no mapeamento do estresse hídrico das plantas de laranjeira. O teor de amido nas folhas não correlacionou com nenhum outro parâmetro, podendo ser então descartado como indicador de estresse ou reserva energética para induzir o florescimento das plantas de laranjeira.

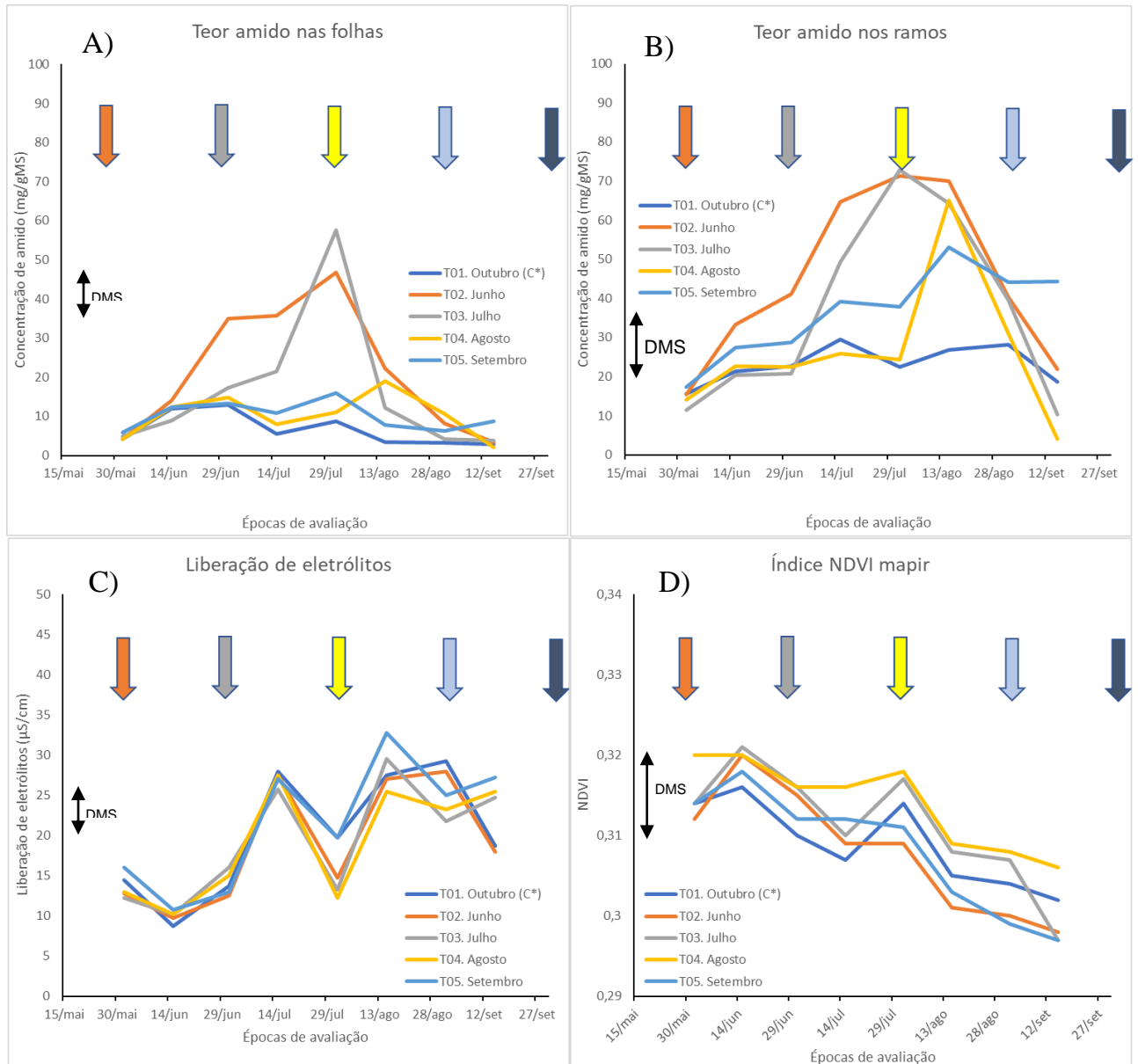


**Figura 3.** Gráfico de correlação entre NDVI obtido pelas imagens de satélite e concentração de amido nos ramos de laranjeira ‘Pera’ (A), liberação de eletrólitos (B) e NDVI obtido pelas imagens da câmera MAPIR (C). Pitangueiras, SP. 2021.

Ainda para descrever melhor todo o comportamento de alguns atributos mensurados durante a condução do ensaio, foi possível construir gráficos de forma a delinear como concentração de amido nas folhas (Figura 4A), concentração de amido nos ramos (Figura 4B), condutividade elétrica por liberação de eletrólitos (Figura 4C) e índice de vegetação por diferença normalizada obtido pela câmera MAPIR (Figura 4D)



variaram durante todo o período de pré-florescimento e florescimento, durante os meses de junho a setembro de 2021.



**Figura 4.** Comportamentos do teor de amido nas folhas (A) e nos ramos (B), da condutividade elétrica por liberação de eletrólitos (C) e do índice de vegetação por diferença normalizada obtida por fotos da câmera MAPIR (D) em plantas de laranjeira ‘Pera’ submetidas à interrupção do déficit hídrico em diferentes momentos (meses). Pitangueiras, SP, 2021. As setas indicam o momento em que cada tratamento foi iniciado.

De maneira geral, é possível observar que o teor de amido nas folhas sofreu variação significativa em função do tempo ( $p < 0,05$ ), assim como em algumas datas também foram observadas diferenças entre os tratamentos (Figura 4A). De fato, nos tratamentos que ficaram menos tempo sob déficit hídrico (Junho e Julho), a concentração de amido nas folhas aumentou de forma mais expressiva, provavelmente porque a planta ainda estava com bastante capacidade fotossintética para síntese de carboidratos. Já os tratamentos um pouco mais estressados, não ocorreu acentuada variação no teor de

amido nas folhas, indicando que o metabolismo da planta estava num grau de repouso maior.

Comportamento semelhante pôde ser observado para a concentração de amido nos ramos (Figura 4B), corroborando a concepção de que a planta mobiliza grande quantidade de reserva energética para transformar as gemas vegetativas em reprodutivas e assim iniciar o processo de florescimento.

Já no caso da liberação de eletrólitos, não foram observadas diferenças ( $p > 0,05$ ) entre os tratamentos aplicados, apenas entre as épocas de amostragem. A liberação de eletrólitos foi aumentando à medida que as plantas foram avançando no período seco, indicando que a deficiência hídrica acelera a oxidação das membranas celulares. Mesma característica foi encontrada para os cálculos de índice NDVI, uma vez que as plantas foram perdendo vigor e desse modo a absorção de luz para a fotossíntese foi sendo cada vez mais comprometida (Figuras 4C e 4D).

Os resultados de colheita e análise tecnológica dos frutos constam na tabela 4. De maneira geral, os parâmetros qualitativos de peso médio de frutos (PMF), teor de suco nos frutos (TS), teor de sólidos solúveis totais (SST), acidez total titulável (ATT) e ratio (RATIO) não apresentaram diferença entre os tratamentos aplicados ( $p > 0,05$ ), corroborando a premissa de que após o florescimento, os frutos passaram por condições muito semelhantes de desenvolvimento, de forma que já era esperado não encontrar notórias diferenças entre estes atributos.

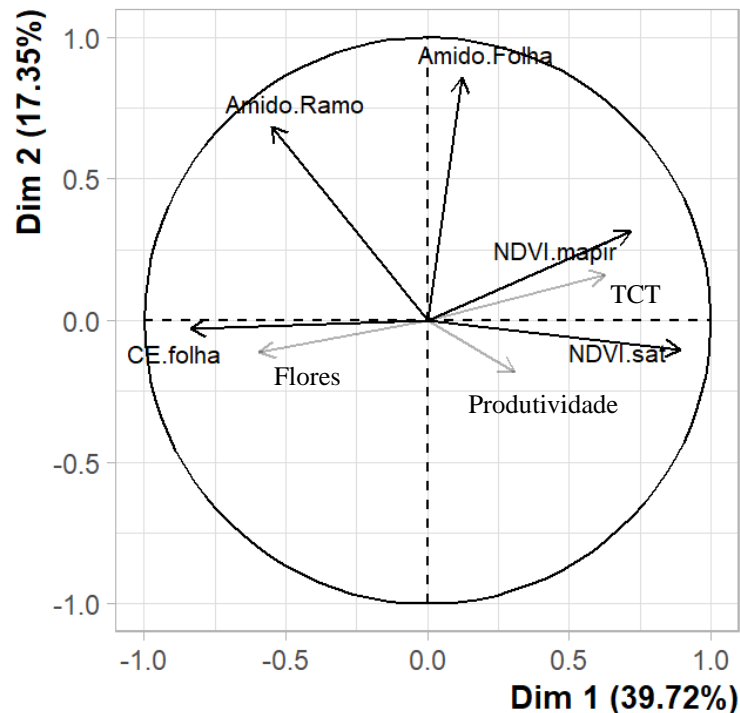
**Tabela 4:** Comparação de médias de resultados de colheita e análise tecnológica de frutos de plantas de laranja 'Pera' submetidas à interrupção do déficit hídrico em diferentes momentos (meses). Número de frutos por planta (NFP), peso médio de frutos (PMF), diâmetro médio de frutos (DMF), teor de suco (TS), sólidos solúveis totais (SST), acidez total titulável (STT) e ratio (RATIO). Pitangueiras, SP. 2022.

Tratamento	NFP (n°/planta)	PMF (g)	DMF (mm)	TS (%)	SST (°Brix)	ATT (g% de ácido cítrico)	RATIO
Junho	165,3b	154,4a	66,0ab	44,5a	14,9a	1,26a	12,3a
Julho	161,0b	154,1a	67,3ab	42,8a	14,6a	1,36a	10,8a
Agosto	184,3b	148,9a	67,1ab	41,9a	14,8a	1,23a	12,1a
Setembro	46,3b	156,1a	69,0a	46,2a	14,3a	1,40a	10,3a
Outubro (C*)	455,5a	119,8a	62,8b	48,4a	14,2a	1,22a	11,7a
Teste F	7,53**	2,69ns	3,32*	2,65ns	0,91ns	1,88ns	1,72ns
C.V.	54,56	12,66	3,82	7,2	4,86	8,98	11,67

Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey (5%). ns: não significativo pelo teste F ( $p > 0,05$ ); \*: significativo a 5% ( $p < 0,05$ ); \*\*: significativo a 1% ( $p < 0,01$ ). (C\*): tratamento controle, interrupção do estresse por chuvas, ausência de irrigação.

Já o número de frutos por planta (NFP) sofreu acentuada ação dos tratamentos ( $p < 0,01$ ), resultado da combinação tanto do número de flores obtido em cada parcela (tabela 2) quanto das condições ambientais posteriores ao florescimento, que favoreceram a conversão das flores em frutos maior em alguns tratamentos (Outubro/Controle) em detrimento de outros (tratamentos irrigados). A diferença mais pronunciada ocorreu entre os tratamentos de setembro e outubro, sendo que este produziu quase dez vezes mais frutos que aquele. A deficiência hídrica acumulada pelo tratamento Setembro esgotou a planta energeticamente, de forma que, quando as condições adversas prosseguiram após a indução floral, não suportou a conversão das flores em frutos. Por outro lado, no tratamento controle (Outubro), a retomada das chuvas induziu o florescimento e também deu condições para que a planta se recuperasse do estresse sofrido e conseguisse suportar uma maior fixação dos frutos. Porém, conforme consta na tabela 4, o diâmetro médio destes frutos (DMF) foram menores, cerca de 63 mm, ao passo que nos demais tratamentos, o DMF foi sempre acima de 66 mm. Houve diferença ( $p < 0,05$ ) entre o DMF nos tratamentos Setembro e Outubro, de forma que as plantas com menos frutos conseguiram promover maior enchimento dos mesmos.

Com os dados levantados em cada tratamento imediatamente antes de ocorrer a interrupção do estresse, foi possível apresentar e comparar como a planta estava neste momento, fisiologicamente, e qual fora a resposta, em intensidade de florescimento. Os resultados da Análise de Componentes Principais, indicaram que é possível reduzir as variáveis a duas dimensões, capazes de explicar 57,07% da variabilidade dos dados, valor considerado alto, portanto aceito neste tipo de análise estatística. No plano formado a partir dessas duas dimensões, foram distribuídas as variáveis de forma vetorial, permitindo identificar a influência de cada variável na construção da variabilidade entre os tratamentos, conforme consta na figura 5.



**Figura 5.** Mapa de Vetores de variáveis. Concentração de amido no ramo (Amido.Ramo), concentração de amido na folha (Amido.Folha), índice de vegetação da diferença normalizada obtida por fotos da câmera MAPIR (NDVI.mapir) e por imagem de satélite (NDVI.sat), teor de clorofila total em folhas (TCT), condutividade elétrica por liberação de eletrólitos (CE.folha), número de flores por m<sup>2</sup> de copa (Flores) e produtividade de frutos frescos por hectare em caixas de 40,8kg (Produtividade) em plantas de laranja ‘Pera’ submetidas à interrupção do déficit hídrico em diferentes momentos (meses). Pitangueiras, SP, 2021.

Tomando como ponto de partida a variável Flores, quanto maior o vetor e mais alinhado com o eixo desta variável, mais forte é seu efeito para explicar a variabilidade. Dessa forma, é possível identificar os atributos diretamente e inversamente proporcionais ao número de flores presentes nas plantas de laranja. A concentração de amido nos ramos (Amido.Ramo) e a condutividade elétrica provocada pela liberação de eletrólitos em folhas de laranja (CE.folha) são diretamente proporcionais ao florescimento, ou seja, as plantas mais estressadas hidricamente sofrem maior degradação das membranas e do citoplasma, bem como acumulam mais carboidratos de reserva (amido) nos ramos que vão induzir um florescimento mais abundante. Em contrapartida, plantas com maiores índices de vegetação (NDVI.sat e NDVI.mapir) e maior teor de clorofila total (TCT), encontram-se em situação de menor estresse, de modo que seu florescimento acaba sendo menos abundante e consistente.

De forma geral, no presente trabalho, CE.folha e NDVI.sat foram as que melhor explicaram o número de flores na planta (Flores), de modo que a liberação de eletrólitos (CE.folha) é diretamente proporcional ao número de flores, ao passo que o NDVI obtido

pelas imagens de satélite (NDVI.sat) apresenta comportamento contrário, ou seja, quanto menor o seu valor, maior o número de flores. Do mesmo modo, a concentração de amido nos ramos (Amido.Ramo) e o NDVI obtido pelas imagens da câmera MAPIR (NDVI.mapir) também são atributos com grande influência no número de flores, podendo-se reafirmar que estes foram os quatro atributos principais envolvidos com o florescimento. O teor de clorofila total (TCT) também correlacionou com o número de flores, porém com menor força (tabela 2). O vetor da concentração de amido nas folhas (Amido.Folha) aparece quase perpendicular ao vetor do número de flores e a produtividade (figura 5), indicando ser um atributo pouco relacionado com essas variáveis.

Os vetores das variáveis Flores e Produtividade aparecem com sentidos opostos (figura 5), sugerindo que a quantidade de água colocada nos tratamentos foi suficiente para interromper o acúmulo de deficiência hídrica e induzir o florescimento, mas não para permitir que as flores fossem convertidas em frutos.

Por comportamento semelhante ao demonstrado na tabela 2, é possível corroborar a resposta obtida na Análise de Componentes Principais e na Análise de Correlação, de que os atributos de índices NDVI, liberação de eletrólitos e concentração de amido nos ramos têm boa correlação com a quantidade de flores apresentada pelas plantas de laranjeira após a interrupção do estresse hídrico, de modo a ser possível monitorar estes atributos para tomar uma decisão mais assertiva no tocante ao manejo da irrigação. Vale salientar que as metodologias de cálculo e dimensionamento do aporte hídrico já utilizadas atualmente, considerando parâmetros climáticos e de solo, não devem ser descartados nem tampouco desacreditadas, mas sim somadas aos atributos estudados neste trabalho, uma vez que aquelas trazem informações do ambiente, e estes indicam o estado fisiológico das plantas diante do ambiente.

## **2.4. Conclusões**

NDVI obtido por imagem de satélite, liberação de eletrólitos, concentração de amido nos ramos e NDVI obtido por câmera terrestre, em ordem decrescente, possuem correlação com o florescimento da laranjeira, podendo ser ferramentas para quantificar de maneira assertiva o momento de realizar a interrupção do estresse e iniciar o manejo da irrigação.

## 2.5. Referências

- ALMEIDA, K. S. S. A.; SOUZA, L. S.; PAZ, V. P. S.; COELHO FILHO, M. A.; HOCES, E. H. Balanço de água em solo cultivado sob pomar adensado de laranja ‘Pera’ enxertada em diferentes porta-enxertos. **Irriga**, v. 23, n. 2, p. 235-248, 2018.
- AMARAL, C. O. Déficit hídrico no preflorescimento da laranjeira ‘Folha Murcha’ e a influência na produção e na qualidade dos frutos. 2018. 93f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal)- Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2018.
- AMARAL, L.I.V.; GASPAR, M.; COSTA, P.M.F.; AIDAR, M.P.M.; BUCKERIDGE, M.S. Novo método enzimático rápido e sensível de extração e dosagem de amido em materiais vegetais. **Hoehnea Instituto de Botânica**, 34(4), p. 425-431, 2007.
- AMENDOLA, E. C. Temperatura de superfície e evapotranspiração atual dos citros irrigados por diferentes sistemas. 2018. 55 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Sistemas de Produção) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2018.
- BARBARA, G. Reguladores vegetais e fertilizantes foliares na indução floral e produção da lima ácida tahiti (citrus latifolia) e tangerina ponkam (Citrus reticulata). 2022. 43 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Sistemas de Produção) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2022.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. Experimentação Agrônômica e Agroestat – Sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos. 1. Ed. Jaboticabal: Gráfica Multipress Ltda, 2015.
- CASTRO, P.R.C.; MARINHO, C.S.; PAIVA, R.; MENEGUCCI, J.L.P. Fisiologia da produção dos citros. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.22, n.209, p.26-38, 2001.
- CHAVES FILHO, J. T. Variação sazonal de amido em tecidos de reserva do cafeeiro arábica na fase reprodutiva. 2008. 69 p. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 2008.
- DA SILVA, C. R., JÚNIOR, J. A., DA SILVA, T. J. A., FOLEGATTI, M. V., DOS SANTOS, R. A., DE SOUZA, L. B. Déficit hídrico em citros: informações para o manejo da irrigação. **Citrus Research & Technology**, v. 27, n. 1, p. 119-130, 2020.

- DINIZ, J. M. F. de S.; MACIEL, D. A.; GAMA, F. F.; ADAMI, M. Avaliação do Sentinel-2, NDVI e MLME para Mapeamento do Uso e Cobertura da Terra. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 43, n. 2, p. 381-391, 2020.
- DOORENBOS, J., KASSAM, A. H. (1979) Yield response to water. Rome: FAO – Food and Agricultural Organization, 179p.
- DOVIS, V. L. Balanço de carboidratos e nitrogênio na planta: efeito de carga de frutos e sua relação com o desenvolvimento reprodutivo em laranjeira 'Valência'. 2012. 136 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Biologia, Campinas, SP, 2012.
- EMBRAPA TERRITORIAL. Satélites de Monitoramento. Campinas, 2018. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento> >. Acesso em: 26 mai. 2023.
- EPIPHANIO, J. C. N. Avaliação da condição hídrica da cultura do milho através de sensoriamento remoto termal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 18, n.11, p.1233-1241. 1983.
- FIGUEIREDO, S. L.; RODRIGUES, J. D.; CARNEIRO, J. P. C.; SILVA, A. do A.; LIMA, M. B. L. Fisiologia e produção da soja tratada com cinetina e cálcio sob déficit hídrico e sombreamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, p. 1432-1439, 2013.
- GARCIA, M. P. Physiological changes and evaluation of oxidative stress during leaf development and senescence in soybean, *Glycine max* L. 2008. 62 f. Dissertação (Mestrado em Controle da maturação e senescência em órgãos perecíveis; Fisiologia molecular de plantas superiores) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.
- KRAJEWSKI, A.J.; RABE, E. Citrus flowering: a critical evaluation. **Journal of Horticultural Science**, Kent, v.70, n.3, p.357-374, 1995.
- MARIN, F.R.; ANGELOCCI, L.R.; PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SENTELHAS, P.C. Balanço de energia e consumo hídrico em pomar de lima-ácida 'Tahiti'. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.17, n.2, p.219-228, 2002.
- MOSS, G. I. Influence of temperature and photoperiod on flower induction and inflorescence development in sweet orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck). **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Geneva, v. 44, p. 311-320, 1969.
- NASCIMENTO, N. F. do; NASCIMENTO, L. B. de B. do; GONÇALVES, J. F. de C. Respostas funcionais foliares de plantas jovens de *Hevea brasiliensis* submetidas à deficiência hídrica e à reidratação. **Ciência Florestal**, v. 29, p. 1019-1032, 2019.

- PALARETTI, L. F. Estudo dos efeitos do déficit hídrico na produção da laranjeira no norte do Estado de São Paulo. 2009. 145f. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2009.
- PALARETTI, L. F.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C. Caracterização e diagnóstico de sistemas de irrigação e práticas de manejo de água na citricultura do Norte do estado de São Paulo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 28, n. 2, p. 531-551, 2011.
- PEREIRA, R. M. Índice de área foliar e estresse hídrico da cana-de-açúcar em função de variáveis climáticas e dados orbitais. 2015. 94 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solo e Água) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.
- PRADO, A. K. de S.; MACHADO, E. C.; MEDINA, C. L.; MACHADO, D. F. S. P.; MAZZAFERA, P. Florescimento e frutificação em laranjeiras ‘Valência’ com diferentes cargas de frutos e submetidas ou não à irrigação. **Bragantia**, v. 66, p. 173-182, 2007.
- PRADO, R. de M.; DO VALE, D. W. Nitrogênio, fósforo e potássio na leitura spad em porta-enxerto de limoeiro cravo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, p. 227-232, 2008.
- R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- REINA, R. Sumário Executivo da Estimativa da Safra de Laranja 2021-2022. 2021.
- RIBEIRO, R. V.; MACHADO, E. C.; BRUNINI, O. Ocorrência de condições ambientais para a indução do florescimento de laranjeiras no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, p. 247-253, 2006.
- ROJAS, J. S. D. Avaliação do uso do fluxo de seiva e da variação do diâmetro do caule e de ramos na determinação das condições hídricas de citros, como base para o manejo de irrigação. 2003. 110 p. Tese (Doutorado em Agronomia – Irrigação e Drenagem). Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2003.
- ROLIM, G.S.; CAMARGO, M. B. P. D.; LANIA, D. G.; MORAES, J. F. L. D. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, 2007.
- SÁ, C. H. C. Trocas gasosas, tolerância protoplasmática e anatomia do lenho em *Handroanthus* spp. (Bignoniaceae) em condições de déficit hídrico. 2017. 59 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal – Fisiologia Vegetal e Ecologia). Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Biológicas, 2017.



- SANTOS, D.; SIQUEIRA, D. L.; CECON, P. R. Indução floral de limeiras ácidas' Tahiti' submetidas a baixas temperaturas. **Ciência Rural**, v. 41, p. 397-403, 2011.
- SENARATNA, T.; MCKERSIE, B. D. (1983). Characterization of solute efflux from dehydration injured soybean (*Glycine max* L. Merr) seeds. **Plant Physiology**, 72: 911-914.
- SILVA, M. B.; VITÓRIA, E. L.; CAMPANHARO, A.; MORAES, F.; SOELA, D. M.; CRAUSE, D. H.; BATISTA, A. G.; LIMA, A. S.; MAGESVSKI, L. S.; ARPINI, B. S.; FREITAS, I. L. J; LOCATELLI, T. Sensoriamento remoto na detecção de estresse hídrico em lavoura de *Coffea Canephora* P. In: X Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, Vitória, 5 p., 2019.
- 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, 2014.
- SILVEIRA, L. K. Produtividade e qualidade de frutos de laranjeira pêra-iac fertirrigada com déficit hídrico. 2019, 59 f. Tese (Mestrado) Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2019.
- SOUTHWICK, S.M.; DAVENPORT, T.L. Characterization of water stress and low temperature effects on flower induction in citrus. **Plant Physiology**, Rockville, v.81, n.1, p.26-29, 1986.
- SPARKS, A. (2018). nasapower: A NASA POWER Global Meteorology, Surface Solar Energy and Climatology Data Client for R. **Journal of Open Source Software**, 3(30), 1035, <https://doi.org/10.21105/joss.01035>
- SPARKS, A. (2023). nasapower: NASA-POWER Data from R\_. doi:10.5281/zenodo.1040727 (URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1040727>), R package version 4.0.9, <URL: <https://CRAN.R-project.org/package=nasapower>>.
- VIEIRA, R. D.; MARCOS FILHO, J. Teste de condutividade elétrica. Vigor de sementes: conceitos e testes. Tradução. Londrina: **Abrates**, 2020. p. 601: il. Acesso em: 19 jan. 2023.
- VITTI, M.; ROSSI, A.; RUFATTO, L.; VISENTIN, M.; MENDEZ, M. Época e intensidade de florescimento da laranja valência enxertada sobre dois porta-enxertos de acordo com a distribuição pelos quadrantes em três ciclos produtivos. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 9, n. 4, p.343-346, 2003.

VOIGT, V. Caracterização fenotípica e avaliação da expressão de genes envolvidos na indução e no florescimento da laranjeira. 2013. 109 f. Dissertação (Mestrado em Ciências – Biologia na Agricultura e no Ambiente). Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo, 2013.

### 3. Considerações finais

A citricultura brasileira é exemplo de produtividade, qualidade e sustentabilidade. Trata-se de uma atividade agroindustrial que enfrenta inúmeras dificuldades, dentro e fora da porteira das fazendas citrícolas. O cenário climático, econômico e fitossanitário é, sem dúvidas, cada vez mais desafiador. O Brasil atua como protagonista na produção mundial de suco de laranja, entregando qualidade e saúde na mesa de inúmeras famílias ao redor do mundo. Muita tecnologia está envolvida em todo este processo.

Para que esta cadeia mantenha-se ativa, é necessário que se tenha produção. O florescimento é o ponto de partida para cada safra a ser colhida. Assim, garantir que esta fase se desenvolva normalmente é primordial para que o objetivo seja alcançado. Diante dos vários fatores que interferem no processo reprodutivo da laranjeira, já bem discutidos neste trabalho, fica claro que reunir estratégias para diagnosticar o momento em que a planta está preparada para desencadear o florescimento e assim realizar um manejo assertivo para tal objetivo realmente faz a diferença na busca pela viabilidade da produção.

Com base nos resultados levantados neste trabalho, é possível afirmar que há bons parâmetros que podem ser quantificados e relacionados com o manejo da irrigação, com a interrupção do déficit hídrico. Não é possível preencher todas as lacunas com apenas um trabalho, mas há sim substancial contribuição do presente estudo que, galgado também na ciência já tão consolidada das técnicas de irrigação, tem a grande vantagem de apresentar índices que são medidos na planta, são um retrato de como a planta está respondendo diante do ambiente e suas intempéries.

Destarte, índices de vegetação por diferença normalizada, liberação de eletrólitos e concentração de amido em ramos são atributos que podem ser quantificados e incorporados ao planejamento da irrigação visando induzir o florescimento na citricultura, no centro-norte do Estado de São Paulo.

#### 4. Referências

- ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., RAES, D., & SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements** (Irrigation and Drainage Paper, No. 56). 300p. Roma: FAO. 1998.
- ALMEIDA, K. S. S. A.; SOUZA, L. S.; PAZ, V. P. S; COELHO FILHO, M. A.; HOCES, E. H. Balanço de água em solo cultivado sob pomar adensado de laranja 'Pera' enxertada em diferentes porta-enxertos. *Irriga*, v. 23, n. 2, p. 235-248, 2018.
- AMARAL, C. O. **Déficit hídrico no preflorescimento da laranjeira 'Folha Murcha' e a influência na produção e na qualidade dos frutos**. 2018. 93f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2018.
- AMARAL, L.I.V.; GASPAR, M.; COSTA, P.M.F.; AIDAR, M.P.M.; BUCKERIDGE, M.S. Novo método enzimático rápido e sensível de extração e dosagem de amido em materiais vegetais. *Hoehnea Instituto de Botânica*, 34(4), p. 425-431, 2007.
- AMENDOLA, E. C. **Temperatura de superfície e evapotranspiração atual dos citros irrigados por diferentes sistemas**. 2018. 55 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Sistemas de Produção) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2018.
- ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F. da. Adubação nitrogenada em milho implantado em semeadura direta após aveia-preta. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 31, n. 3, p. 715-722, 2001.
- BAJJI, M.; KINET, J-M.; LUTTS, S. The use of electrolyte leakage method for assessing cell membrane stability as water stress tolerance test in durum wheat. *Journal of Plant Growth Regulation*, 36, 61-70, 2001.
- BARBARA, G. Reguladores vegetais e fertilizantes foliares na indução floral e produção da lima ácida tahiti (citrus latifolia) e tangerina ponkam (Citrus reticulata). 2022. 43 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Sistemas de Produção) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2022.
- BARBOSA, A. P. **Imagens hiperespectrais no monitoramento da nutrição em citros**. 2014. xii, 81 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu, 2014.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. Experimentação Agrônômica e Agroestat – Sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos. 1. Ed. Jaboticabal: Gráfica Multipress Ltda, 2015.

- BASTOS, E. A., RAMOS, H. M. M., DE ANDRADE JÚNIOR, A. S., DO NASCIMENTO, F. N., & CARDOSO, M. J. Parâmetros fisiológicos e produtividade de grãos verdes do feijão-caupi sob déficit hídrico. *Water Resources and Irrigation Management WRIM*, 1(1), 31-37, 2012.
- CASTRO, P.R.C.; MARINHO, C.S.; PAIVA, R.; MENEGUCCI, J.L.P. Fisiologia da produção dos citros. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.22, n.209, p.26-38, 2001.
- CHAVES FILHO, J. T. **Variação sazonal de amido em tecidos de reserva do cafeeiro arábica na fase reprodutiva**. 2008. 69 p. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 2008.
- CITRUS, B. R. Associação Nacional dos Exportadores de Sucos Cítricos. **A indústria brasileira de suco de laranja**, p. 7, 2021.
- COELHO, E. F. Irrigação em citros nas condições do nordeste do Brasil. *Citrus Research & Technology*, v. 27, n. 2, p. 297-320, 2006.
- COELHO, E. F.; COELHO, Y. S. & SANTOS, M. R. dos. Produtividade da laranja Pêra sob diferentes níveis de irrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM,13., 2003. Juazeiro. O agronegócio da agricultura irrigada com revitalização hídrica. Anais... Viçosa: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 2003.
- CRUZ, M. C. M. Avaliação do potencial hídrico foliar, umidade do solo e temperatura do ar no período preflorescimento dos citros. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 31, p. 1291-1296, 2007.
- DA SILVA, C. R., JÚNIOR, J. A., DA SILVA, T. J. A., FOLEGATTI, M. V., DOS SANTOS, R. A., DE SOUZA, L. B. Déficit hídrico em citros: informações para o manejo da irrigação. *Citrus Research & Technology*, v. 27, n. 1, p. 119-130, 2020.
- DE NADAI, FÁBIO BARUFALDI. Avaliação temporal e molecular do florescimento da laranjeira x11. Tese de Doutorado. INSTITUTO AGRONÔMICO.
- DINIZ, J. M. F. de S.; MACIEL, D. A.; GAMA, F. F.; ADAMI, M. Avaliação do Sentinel-2, NDVI e MLME para Mapeamento do Uso e Cobertura da Terra. *Anuário do Instituto de Geociências*, v. 43, n. 2, p. 381-391, 2020.
- DOORENBOS, J., KASSAM, A. H. (1979) Yield response to water. Rome: FAO – Food and Agricultural Organization, 179p.
- DOVIS, V. L. **Balanço de carboidratos e nitrogênio na planta: efeito de carga de frutos e sua relação com o desenvolvimento reprodutivo em laranjeira 'Valência'**. 2012. 136 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Biologia, Campinas, SP, 2012.

EMBRAPA TERRITORIAL. Satélites de Monitoramento. Campinas, 2018. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento> >. Acesso em: 26 mai. 2023.

EPIPHANIO, J. C. N. Avaliação da condição hídrica da cultura do milho através de sensoriamento remoto termal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 18, n.11, p.1233-1241. 1983.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. FAOSTAT. Data. Production. Crops and livestock products. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>>. Acesso em: 26 de abr 2023.

FARIA, AP de. **Avaliação ex vivo da tolerância de cultivares de mamoneira (*Ricinus communis* L.) ao déficit hídrico**. 2010. 84 f. 2010. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Biologia).

FIGUEIREDO, S. L.; RODRIGUES, J. D.; CARNEIRO, J. P. C.; SILVA, A. do A.; LIMA, M. B. L. Fisiologia e produção da soja tratada com cinetina e cálcio sob déficit hídrico e sombreamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, p. 1432-1439, 2013.

FREITAS, G. de F. Respostas ecofisiológicas da videira (*Vitis vinifera* L.) à variação do dreno: efeito sobre a qualidade do fruto e do propágulo. 2007. 49 p. Dissertação (Mestrado). Lavras. UFLA, 2007.

FUNDECITROS. FUNDO DE DEFESA DA CITRICULTURA. Safra de laranja 2022/23 é encerrada com produção total de 314,21 milhões de caixas. 10 de abril de 2023. Disponível em: <<https://www.fundecitrus.com.br/comunicacao/noticias/integra/safra-de-laranja-202223-e-encerrada-com-producao-total-de-31421-milhoes-de-caixas/1307>>. Acesso em: 25 de abr. 2023.

GARCIA, M. P. Physiological changes and evaluation of oxidative stress during leaf development and senescence in soybean, *Glycine max* L. 2008. 62 f. Dissertação (Mestrado em Controle da maturação e senescência em órgãos perecíveis; Fisiologia molecular de plantas superiores) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

GARCIA-LUIS, A., FORNES, F., SANZ, A., & GUARDIOLA, JL (1988). A regulação da floração e da fruta em citros: relação com os níveis de carboidratos, **Israel Journal of Plant Sciences** , 37 (2-4), 189-201.

GOLDSCHMIDT, E. E.; MONSELISE, S. P. Hormonal control of flowering in citrus and some other woody perennials. In: CARR, D. **Plant growth substances**. Berlin: Springer Verlag, 1970. P.758-766.

GOLDSCHMIDT, E. E.; GOLOMB, A. O Balanço de Carboidratos de Citrinos Alternativos e a Importância das Reservas para Floração e Frutificação. **Journal of the American Society for Horticultural Science** , v. 107, n. 2, pág. 206-208, 1982.

KOCHEVA, K. V.; GEOGIEV, G. I.; KOCHEV, V. K. A diffusion approach to the electrolyte leakage from plant tissues. **Physiologia Plantarum**, 125: 1-9, 2005.

KOZLOWSKI, T. T. Carbohydrate sources and sinks in woody plants. The botanical review, v. 58, p. 107-222, 1992.

KRAJEWSKI, A.J.; RABE, E. Citrus flowering: a critical evaluation. **Journal of Horticultural Science**, Kent, v.70, n.3, p.357-374, 1995.

LOPES, J. M. S. Importância econômica do citros no Brasil. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, v. 20, n. 1, 2011.

MACEDO, K.; NARCISO, M. G.; HEINEMANN, A. B. Uso de sensores para a verificação do estresse hídrico da planta. In: X Congresso Brasileiro de Agroinformática. Anais [...] Ponta Grossa–PR. 2015.

MARAFON, A. C. **Metabolismo de carboidratos, conteúdo de água e necrose floral em pereira (*Pyrus sp.*) em condições de falta de frio**. 82f, 2008. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal. Instituto de Biologia. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2008.

MARIN, F.R.; ANGELOCCI, L.R.; PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SENTELHAS, P.C. Balanço de energia e consumo hídrico em pomar de lima-ácida 'Tahiti'. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.17, n.2, p.219-228, 2002.

MARION, F. A.; ANDRES, J.; HENDGES, E. R. Evolução dos Índices de Vegetação e sua Relação com o Estresse Hídrico: Uma Revisão. **GEOFRONTER**, v. 7, 2021.

MATTOS JUNIOR, D., DE NEGRI, J. D., FIGUEIREDO, J. O., POMPEU JUNIOR, J. Citros: principais informações e recomendações de cultivo: < [http://www.iac.sp.gov.br/imagem\\_informacoestecnologicas/43.pdf](http://www.iac.sp.gov.br/imagem_informacoestecnologicas/43.pdf) > em 31/07/2017 página mantida pelo IAC.

MEDEIROS, R. C. Aspectos agrônômicos e qualitativos de genótipos de citros cultivados no agreste meridional de Pernambuco. 2012. 75 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Melhoramento Genético de Plantas) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

MOSS, G. I. Influence of temperature and photoperiod on flower induction and inflorescence development in sweet orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck). **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Geneva, v. 44, p. 311-320, 1969.

NASCIMENTO, N. F. do; NASCIMENTO, L. B. de B. do; GONÇALVES, J. F. de C. Respostas funcionais foliares de plantas jovens de *Hevea brasiliensis* submetidas à deficiência hídrica e à reidratação. **Ciência Florestal**, v. 29, p. 1019-1032, 2019.

ORTOLANI, A.A.; PEDRO JUNIOR, M.J.; ALFONSI, R.R. Agroclimatologia e o cultivo dos citros. In: RODRIGUEZ, O. et al. (Ed.). Citricultura brasileira. 2.ed. Campinas: Fundação Cargill, 1991. v.1, p.153-195.

PALARETTI, L. F. **Estudo dos efeitos do déficit hídrico na produção da laranja no norte do Estado de São Paulo**. 2009. 145f. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2009.

PALARETTI, L. F.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C. Caracterização e diagnóstico de sistemas de irrigação e práticas de manejo de água na citricultura do Norte do estado de São Paulo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 28, n. 2, p. 531-551, 2011.

PARISE, F. J. de O.; VETTORAZZI, C. A. Análise de dados de produção em um pomar jovem de laranjeiras Hamlin: I. Relações com a resposta espectral. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 27, p. 43-47, 2005.

PEREIRA, R. M. Índice de área foliar e estresse hídrico da cana-de-açúcar em função de variáveis climáticas e dados orbitais. 2015. 94 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solo e Água) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

PIRES, R. C. M., LUCHIARI, D. J. F., ARRUDA, F. B., MOSSAK, I. (2005) Irrigação. In: MATTOS JUNIOR, D., DE NEGRI, J. D., PIO, R. M., POMPEU JUNIOR, J. (org.) Citros. ed. Cordeirópolis: Centro APTA Citros Sylvio Moreira, p. 369-408.

POELKING, E. L.; LAUERMANN, A.; DALMOLIN, R. Imagens CBERS na geração de NDVI no estudo da dinâmica da vegetação em período de estresse hídrico. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto , v. 13, p. 4145-4150, 2007.

PRADO, A. K. de S. Florescimento e frutificação em laranjeiras 'Valência' com diferentes cargas de frutos e submetidas ou não à irrigação. **Bragantia**, v. 66, p. 173-182, 2007.

PRADO, A. K. de S.; MACHADO, E. C.; MEDINA, C. L.; MACHADO, D. F. S. P.; MAZZAFERA, P. Florescimento e frutificação em laranjeiras 'Valência' com diferentes cargas de frutos e submetidas ou não à irrigação. **Bragantia**, v. 66, p. 173-182, 2007.

PRADO, R. de M.; DO VALE, D. W. Nitrogênio, fósforo e potássio na leitura spad em porta-enxerto de limoeiro cravo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, p. 227-232, 2008.

R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.



REINA, R. Sumário Executivo da Estimativa da Safra de Laranja 2021-2022. 2021.

RIBEIRO, R. V.; MACHADO, E. C.; BRUNINI, O. Ocorrência de condições ambientais para a indução do florescimento de laranjeiras no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, p. 247-253, 2006.

RIBEIRO, Rafael Vasconcelos et al. Avaliação do florescimento de laranjeiras valência em condição de campo. *Scientia Agricola*, v. 65, n. 4, p. 389-396, 2008.

ROJAS, J. S. D. **Avaliação do uso do fluxo de seiva e da variação do diâmetro do caule e de ramos na determinação das condições hídricas de citros, como base para o manejo de irrigação**. 2003. 110 p. Tese (Doutorado em Agronomia – Irrigação e Drenagem). Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2003.

ROLIM, G.S.; CAMARGO, M. B. P. D.; LANIA, D. G.; MORAES, J. F. L. D. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, 2007.

SÁ, C. H. C. Trocas gasosas, tolerância protoplasmática e anatomia do lenho em *Handroanthus* spp. (Bignoniaceae) em condições de déficit hídrico. 2017. 59 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal – Fisiologia Vegetal e Ecologia). Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Biológicas, 2017.

SANCHES, F. R.; LEITE, I. C.; CASTRO, P. R. C. Efeito do ácido giberélico (ag3) na floração e produção da lima ácida 'tahiti' (*Citrus latifolia* Tan.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 23, n. 3, p. 504–509, 2001.

SANTOS, D.; SIQUEIRA, D. L.; CECON, P. R. Indução floral de limeiras ácidas 'Tahiti' submetidas a baixas temperaturas. **Ciência Rural**, v. 41, p. 397-403, 2011.

SANZ, A.; MONERRI, C., GONZÁLEZ-FERRER, J, GURDIOLA, JL.. Mudanças em carboidratos e elementos minerais em folhas de *Citrus* durante a floração e frutificação. **Physiologia plantarum** , v. 69, n. 1, pág. 93-98, 1987.

SENARATNA, T.; MCKERSIE, B. D. (1983). Characterization of solute efflux from dehydration injured soybean (*Glycine max* L. Merr) seeds. **Plant Physiology**, 72: 911-914.

SILVA, C. R., ALVES JUNIOR, J., SILVA, T. J. A., FOLEGATTI, M. V., SANTOS, R. A., SOUZA, L. B. (2006) Déficit hídrico em citros: informações para o manejo da irrigação. **Laranja**, Cordeirópolis, 27(1):119-130.

SILVA, M. B.; VITÓRIA, E. L.; CAMPANHARO, A.; MORAES, F.; SOELA, D. M.; CRAUSE, D. H.; BATISTA, A. G.; LIMA, A. S.; MAGESVSKI, L. S.; ARPINI, B. S.; FREITAS, I. L. J.; LOCATELLI, T. Sensoriamento remoto na detecção de estresse hídrico em lavoura de *Coffea Canephora* P. In: X Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, Vitória, 5 p., 2019.

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, 2014.

SILVEIRA, L. K. Produtividade e qualidade de frutos de laranjeira pêra-iac fertirrigada com déficit hídrico. 2019, 59 f. Tese (Mestrado) Instituto Agrônômico de Campinas, Campinas, 2019.

SOUTHWICK, S.M.; DAVENPORT, T.L. Characterization of water stress and low temperature effects on flower induction in citrus. **Plant Physiology**, Rockville, v.81, n.1, p.26-29, 1986.

SOUZA, A. J. B. et al. Manejo da irrigação para lima ácida Tahiti IAC 10 e BRS Ponta Firme enxertadas em trifoliata Flying. 2023.

SPARKS, A. (2018). nasapower: A NASA POWER Global Meteorology, Surface Solar Energy and Climatology Data Client for R. **Journal of Open Source Software**, 3(30), 1035, <https://doi.org/10.21105/joss.01035>

SPARKS, A. (2023). nasapower: NASA-POWER Data from R\_. doi:10.5281/zenodo.1040727 (URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1040727>), R package version 4.0.9, <URL: <https://CRAN.R-project.org/package=nasapower>>.

TAIZ, L., ZEIGER, E. (2009) Fisiologia Vegetal. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 261p.

TONET, R. M.; LEITE, I. C.; STUCHI, E. S.; SANCHES, F. R. Florescimento e frutificação da laranjeira 'Pêra' em Bebedouro (SP). **Laranja**, v. 23, n. 1, p. 167-182, 2002.

VIEIRA, R. D.; MARCOS FILHO, J. Teste de condutividade elétrica. Vigor de sementes: conceitos e testes. Tradução. Londrina: **Abrates**, 2020. p. 601: il. Acesso em: 19 jan. 2023.

VITTI, M.; ROSSI, A.; RUFATTO, L.; VISENTIN, M.; MENDEZ, M. Época e intensidade de florescimento da laranja valência enxertada sobre dois porta-enxertos de acordo com a distribuição pelos quadrantes em três ciclos produtivos. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 9, n. 4, p.343-346, 2003.

VOIGT, V. Caracterização fenotípica e avaliação da expressão de genes envolvidos na indução e no florescimento da laranjeira. 2013. 109 f. Dissertação (Mestrado em Ciências – Biologia na Agricultura e no Ambiente). Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo, 2013.

ZHAO, A.; ZHANG, A.; CAO, S.; LIU, X.; LIU, J.; CHENG, D. Responses of vegetation productivity to multi-scale drought in Loess Plateau, China. **Catena**, v. 163, p. 165-171, 2018. DOI.: 10.1016/j.catena.2017.12.016.