

CAPÍTULO 22

22 IRRIGAÇÃO DE FRUTEIRAS SUBTROPICAIS (CITRICULTURA E VITICULTURA)

Regina Célia de Matos Pires, Marco Antônio Fonseca Conceição e Maurício Antônio Coelho Filho

Resumo

Neste capítulo, serão discutidos os aspectos gerais mais relevantes para a prática da irrigação de duas culturas frutíferas subtropicais (citricultura e viticultura), que também são cultivadas em regiões tropicais do Brasil. A sequência da apresentação do tema, para cada cultura, envolverá primeiramente uma abordagem geral a relevância do cultivo irrigado para as diferentes regiões produtoras do Brasil. Depois o capítulo tratará de aspectos voltados ao manejo de irrigação, como as necessidades de água da cultura, indicadores do solo e planta como estratégias para o manejo de água no campo; além de abordagem atual e muito importante ao se buscar o aumento da eficiência de uso de água das culturas, que é uso do manejo de irrigação com *deficit* hídrico controlado. No início da expansão da agricultura irrigada, esse tema não fazia muito sentido, desde que o objetivo era basicamente a maximização da produção. Hoje, com aumento dos riscos de conflitos pelo uso de água, cenários de mudanças climáticas e o conhecimento científico de que a técnica pode ser aplicada, principalmente em fruteiras, sem perdas relevantes de produção, com agregação de outros atributos como os qualitativos de frutos, essa é uma tendência científica e deve ser melhor entendida e aplicada na prática do manejo de irrigação para maximização da produtividade da água (kg [fruto] m^{-3} [água]) no campo.

22.1 Introdução

Apesar do Brasil ser o terceiro maior produtor mundial de frutas, sua participação no mercado internacional ainda é pequena. No entanto, considerando a necessidade de melhoria das condições de saúde com a conseqüente demanda de nutrientes diversos, o consumo mundial de frutas tende a aumentar. Aspecto relevante característico da fruticultura é a demanda de profissionais com diversos níveis tecnológicos que impactam positivamente na geração de emprego, renda com melhoria na qualidade de vida nas regiões onde se desenvolve.

A tecnologia de irrigação é muito aplicada à fruticultura e seus benefícios impactam positivamente desde a melhoria da produção, da qualidade de frutos até o aumento da janela de produção e mitigação dos riscos climáticos. Estes principalmente relacionados aos eventos de deficiência hídrica mais prolongada, que podem ocorrer em fases críticas da planta ou mesmo por eventos curtos de veranicos que possam afetar negativamente a qualidade de produção. Isso explica o grande interesse para adoção da irrigação nos pomares, mesmo em regiões com bons regimes pluviométricos.

A possibilidade de obtenção de produção em épocas distintas agrega valor ao produto, disponibilizando-o ao longo do ano aos consumidores nacionais e internacionais. Independentemente dos objetivos pretendidos pelo uso da irrigação nas fruteiras, esta precisa ser aplicada com eficiência e contribuir para sustentabilidade dos recursos hídricos. A eficiência do uso da água (EUA) na fruticultura irrigada requer a adoção de estratégias de manejo e tecnologias apropriadas à cada cultura.

Diversas são as fruteiras subtropicais cultivadas no Brasil, considerando as características climáticas, avanços em práticas culturais e melhoramento genético das espécies estas não se localizam apenas nas regiões subtropicais, sendo cultivadas em diversas regiões do país. Dentre as fruteiras subtropicais com plantio em grandes áreas e nas quais a irrigação é prática importante, destacam-se os citros e a videira, as quais serão abordadas neste capítulo separadamente. Serão destacados aspectos básicos e tecnologias de maior relevância aplicados à irrigação nessas culturas.

22.2 Citricultura

22.2.1 Mercado e área de cultivo

O Brasil é o maior produtor de laranjas e produtor e exportador de suco de laranja no mundo, sendo o terceiro país no consumo da fruta fresca (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2020). Segundo estimativas do USDA (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2020) e Fundecitrus (FUNDO DE DEFESA DA CITRICULTURA, 2020) a produção de laranjas no mundo será menor na safra atual devido a clima desfavorável no Brasil e México na safra anterior. No Brasil, esta redução deve atingir 25% e está relacionada a alternância de produção, e, em especial, no cinturão citrícola do Estado de São Paulo, triângulo e sudoeste de Minas Gerais e devido às ocorrências climáticas, com elevadas temperaturas do ar na época de pegamento de flores e frutos e precipitações abaixo da média esperada após as duas primeiras floradas em 2019 (FUNDO DE DEFESA DA CITRICULTURA, 2020). Este cenário evidencia a grande influência da disponibilidade hídrica e da variabilidade climática na produção da cultura. Segundo o IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2019) as áreas plantadas com laranjeiras, limoeiros e tangerineiras atingiram 592.814, 56.664 e 52.928 ha, respectivamente, em 2019. Apesar de menores áreas cultivadas para produção de limão e tangerina é importante considerar que estas têm valor agregado importante.

Conforme levantamento da área cultivada com citros pelo IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2019) cerca de 70% da área plantada no Brasil concentra-se na região sudeste, seguida de 16% no Nordeste e 10% no Sul, mas há com cultivo em todas as regiões do Brasil. A área de laranjeiras segue aproximadamente a mesma proporção na área plantada. Em relação ao limoeiro, verificou-se que 65%, 16% e 12% as áreas encontram-se nas regiões sudeste, nordeste e norte do país, respectivamente. A área com tangerineiras distribui-se nas regiões sudeste, sul e nordeste, nas proporções de 48%, 40% e 7%, respectivamente.

A irrigação na citricultura no Brasil iniciou na década dos anos 60 para produção de frutas 'in natura' e para produção de mudas. Como benefícios pelo uso da irrigação destacavam-se aumento da produtividade e a qualidade dos frutos e melhoria nas mudas com crescimento, padronização, precocidade, facilidade para enxertia e redução de descartes (PIRES *et al.*, 2005). Na década dos anos noventa, a irrigação na citricultura foi adotada em pomares de frutas destinadas à indústria (produção de suco). Devido aos resultados positivos a adoção da irrigação para produção de frutas para indústria apresentou crescimento superior ao dos pomares de produção de frutas 'in natura' (PIRES *et al.*, 2005). Os benefícios da irrigação na citricultura podem ser diretos e indiretos, destacando-se melhorias como crescimento das plantas, floração, pegamento dos frutos, antecipação da florada, produtividade e qualidade. Apesar de ser cultura perene, Pires *et al.* (2011) verificaram grande aumento de produtividade de laranjeiras Pêra com uso do gotejamento no primeiro ano após a instalação do sistema em pomar de plantas adultas na região sul do Estado de São Paulo. Nesta área é

importante ressaltar a importância de adequação do manejo da água e da nutrição associados. Além dos benefícios positivos da irrigação na produção e qualidade é importante destacar a expectativa relacionada à melhoria nas condições das plantas pela redução de estresses abióticos para evitar o depauperamento das plantas tornando-as menos suscetíveis à ocorrência de pragas e doenças.

O cultivo em regiões áridas e semiáridas não deixa dúvidas sobre a relevância e importância da irrigação nos citros, principalmente para médias e pequenas propriedades. Outro fator relevante associado ao aumento na adoção da irrigação nos citros no Brasil está associado ao uso do porta-enxerto Limoeiro Cravo em grande parte dos pomares no Brasil. Bassanezi *et al.* (2006) reportaram adoção em 80 a 90% dos pomares no Estado de São Paulo. Este porta-enxerto, dentre outras características apresenta boa resistência ao *deficit* hídrico. O surgimento da morte súbita dos citros (MSC) em 1999 associado ao fato das plantas enxertadas em limoeiro Cravo serem susceptíveis à MSC; para conviver com doença foram adotados outros porta-enxertos tolerantes à doença, mas, sensíveis ao *deficit* hídrico quando comparado ao limoeiro Cravo (POMPEU JUNIOR; BLUMER, 2008). Tal fato também aumentou o interesse pela irrigação na citricultura, em especial, no Estado de São Paulo, triângulo e sudoeste de Minas Gerais.

Além dos fatos relevantes associados ao aumento no uso da irrigação na citricultura há que se destacar os cenários climáticos das regiões de cultivo (PEREIRA *et al.*, 2018). Por meio de abordagem relativista, os autores verificaram, em análise de tendências históricas que mudanças significativas ocorreram nos três primeiros meses da estação chuvosa no Estado de São Paulo (outubro, novembro e dezembro) com aumento do *deficit* hídrico. Este período equivale a fase crítica à deficiência hídrica nos citros nesta região (floração, pegamento de flores e frutos e crescimento de frutos). Diversas pesquisas reportam o aumento de produtividade dos citros pelo uso da irrigação no Brasil e no mundo. A porcentagem de aumento é variável considerando a região, as práticas culturais adotadas, a combinação copa-cavalo, o manejo e o método de irrigação e o clima. Aumentos variáveis de 20% a mais de 100% pelo uso da irrigação foram observados no Brasil em diferentes regiões (COELHO *et al.*, 2006; PIRES *et al.*, 2011; SILVEIRA *et al.*, 2020, dentre outros). Em regiões com precipitações naturais acima de 1000 mm por ano pode se verificar aumentos diferentes dependendo a distribuição das precipitações naturais (SILVEIRA *et al.*, 2020).

De acordo com levantamentos do setor produtivo a área irrigada na citricultura ao final da década de 90 equivalia a apenas 1,5% do total cultivado. Devido aos benefícios diretos e indiretos alcançados pelo uso da irrigação anteriormente abordados e os cenários climáticos o aumento percentual da área irrigada em relação à cultivada foi de 10% para 30% da área cultivada em citros no Estado de São Paulo e triângulo e sudoeste de Minas Gerais no período entre 2000 e 2019 (BASSANEZI *et al.*, 2020). O percentual de 30% foi relatado pelo inventário dos pomares de citros do Estado de São Paulo e Triângulo e sudoeste Mineiro, com área atingindo cerca de 120.000 ha (Fundo de Defesa da Citricultura - Fundecitrus 20/21 Censo). O gotejamento é utilizado em aproximadamente 90% da área sendo o restante irrigado por aspersão. A maior concentração encontra-se na região norte do Estado de São Paulo. Cerca de 80% das plantas irrigadas é em pomares de meia estação e tardias (Pêra Rio, Valência e Natal). Da área irrigada apenas 5,5% concentram-se em pomares de 1 a 2 anos. Assim, verifica-se, nesta região, a concentração da irrigação em plantas em fase de produção. Na região do Triângulo Mineiro há relato de 80% da área citrícola é irrigada. Apesar de acentuado uso de irrigação por gotejamento, a microaspersão também é adotada, em especial em pomares em áreas menores, o pivô central, além do autopropelido na aspersão, e há ainda, viabilidade de irrigação por sulcos, para aplicações em fases específicas em região

com disponibilidade de recursos hídricos. Para melhoria da eficiência do uso da água com a utilização do pivô central é necessário o uso de aspersores adaptados à cultura, como a meia altura, entre a superfície do solo e a linha principal, ficando os emissores de 0,3 a 0,9 m da superfície do solo conforme descrito por Coelho *et al.* (2006). A adoção da fertirrigação em pomares cítricos é interessante e contribui para redução dos custos de produção e potencializa a eficiência do uso de nutrientes.

22.2.2 Necessidades hídricas

A necessidade de água das plantas cítricas varia com a combinação copa-cavalo, práticas culturais, estágio de desenvolvimento, uso e manejo das irrigações, idade e condições climáticas, que afetam a absorção e transporte de água na planta, abertura estomática e transpiração (PIRES *et al.*, 2005).

O menor uso de água dos *Citrus* spp. em relação a outras espécies se relacionam a baixa condutância estomática do dossel vegetativo (CARR, 2012) e elevada regulação estomática com aumento do *deficit* de pressão de vapor a do ar (SAMPAIO *et al.*, 2021). A elevada resistência das folhas dos citros à difusão do vapor d'água acarreta maior eficiência do uso da água em relação a outras fruteiras, como a macieira, por exemplo (SHALHEVET; LEVY, 1990). Tal fato, também pode ser evidenciado comparando-se a transpiração das plantas cítricas similares cultivadas em distintas condições de demanda climática (BOMAN *et al.*, 2002).

A floração dos citros ocorre após período de 'repouso aparente'. Em regiões subtropicais, ocorre pelas baixas temperaturas no período de outono-inverno e nos trópicos e em regiões com estação seca pronunciada a floração é desencadeada após reidratação do solo (CARR, 2012). Ainda, em algumas regiões subtropicais a floração pode ocorrer devido a baixas temperaturas e/ou deficiência hídrica dependendo das condições climáticas do ano (RIBEIRO *et al.*, 2006). Em áreas irrigadas, a escolha do momento de retornar à irrigação após período de repouso é fundamental pois afeta a floração, pegamento de frutos e por conseguinte a produtividade. A duração do período de repouso determina a intensidade da floração. Zanini e Pavani (1998) salientam que *deficit* hídrico em excesso é prejudicial, acarretando abortamento de flores e frutos, por outro lado, *deficit* insuficiente, acarreta florescimento pouco vigoroso. Como duração média do período alguns autores citam cerca de dois meses, podendo a indução ocorrer por baixas temperaturas no inverno (cerca de 10°C) nos sub trópicos e por período de *deficit* hídrico (precipitação mensal menor que 50 a 60 mm) nos trópicos (DOORENBOS; KASSAM, 1979). Após o período de repouso, as irrigações devem proporcionar adequada disponibilidade hídrica para favorecer florescimento, pegamento das flores e frutos. Desta forma, a época de início das irrigações deve considerar o estado hídrico das plantas, as condições climáticas do ano, como a temperatura do ar e/ou a deficiência hídrica. A estratégia adotada para o período de repouso aparente na imposição de *deficits* hídricos, desde que as condições climáticas do ano possibilitem, podem favorecer a indução floral em épocas mais adequadas, seja para produção em período de entressafra, ou promover antecipação da floração e evitar que a fase de pegamento dos frutos ocorra em época com ocorrência de elevadas temperaturas do ar elevadas o que pode acarretar intensa queda de frutos. A antecipação do início das irrigações para promoção da floração tem sido utilizada para redução da queda de frutos conforme relatado por Fundecitrus (FUNDO DE DEFESA DA CITRICULTURA, 2020) na região do triângulo mineiro.

Pavão (2016) e Silveira *et al.* (2020) contabilizaram o número de horas de frio desde 1º de maio até o total acumulado de no mínimo 300 horas abaixo de 13°C para início das irrigações e promoção de floração na região sudoeste do Estado de São Paulo

em laranjeiras Valência e Pêra. No período estudado a adoção deste critério resultou em boa floração com valores de produtividade das laranjeiras irrigadas variando de 40,4 a 73,2 t ha⁻¹ em cinco safras da laranjeira Pêra (SILVEIRA *et al.*, 2020) e de 40,8 a 72,8 t ha⁻¹ em três safras de laranjeira Valência (PAVÃO, 2016). A soma de 300 horas de temperaturas abaixo de 13°C foi considerado fator forte de indução forte para floração dos citros em estudo realizado por Ribeiro *et al.* (2006).

Em relação à indução por ocorrência de deficiência hídrica Ribeiro *et al.* (2006) consideraram indução fraca a soma de deficiência hídrica de 10 a 30 mm, indução moderada com deficits de 31 a 69 mm e indução forte valores de deficiência acima de 70 mm, provenientes de balanço hídrico climatológico dos meses de junho, julho e agosto. Os autores adotaram 100 mm como armazenamento de água no solo de 100 mm para diferentes regiões do Estado de São Paulo. Na Itália no cultivo de limoeiro, Barbera *et al.* (1985) relatam que a suspensão da irrigação por 30 dias e a não ocorrência de chuvas impuseram boas condições para floração do limoeiro, momento no qual o potencial de água nas folhas antes do amanhecer atingiu valores de -1,3 MPa (BARBERA *et al.*, 1981, *apud* BARBERA *et al.*, 1985). Valores de potencial de água nas folhas ao meio-dia de -2,25 MPa e -3,5 MPa, indicaram estresse moderado e severo em lima ácida Tahiti, respectivamente (SOUTHWICK; DAVENPORT, 1986). Pires *et al.* (2008) relacionaram aos melhores resultados na produção, de laranjeira Valência enxertada em limoeiro Cravo, ao início das irrigações após o período de dormência aparente na região central do Estado de São Paulo com -2 MPa de potencial de água nos ramos ao meio-dia.

Estudos que avaliam o efeito da duração e intensidade do *deficit* hídrico durante o período de repouso na produtividade de plantas cítricas em condições de clima subtropical, são necessários e importantes. Em regiões nas quais o *deficit* hídrico é o principal indutor da floração, ou também pode ser associado à ocorrência de baixas temperaturas, vários produtores utilizam nos pomares áreas de observação em plantas específicas. Nestas áreas realizam coroas ao redor das plantas e aplicam água uma a duas vezes por semana e seguem observando a resposta das plantas em floração. Nas semanas seguintes se inicia aplicação de água em outras coroas de plantas. Isto possibilita o acompanhamento visual das plantas em relação à ocorrência da floração. Com a identificação visual de floração intensa nas plantas das coroas iniciam-se as irrigações.

A inflorescência pode ser acompanhada ou não de folhas nos ramos. Inflorescência sem folhas, em geral, surgem primeiro e tem baixa probabilidade de gerar fruto viável, por outro lado, flores em inflorescências folhosas têm maior probabilidade de pegamento dos frutos, e, ainda quanto menor o número de flores no caule, maior o pegamento dos frutos (CARR, 2012). Apesar do grande número de flores que pode ocorrer na planta pequena porcentagem atinge a maturação. Carr (2012) relata a ocorrência de até 250.000 flores por árvore em laranjeira, mas, após a abscisão de botões de flores, ovários, frutos em desenvolvimento menos de 1% atinge a maturidade (IGLESIAS *et al.*, 2010 *apud* CARR, 2012). A frutificação e a abscisão de flores e frutos nos citros consistem em processo complexo, regulado por fatores genéticos, metabólicos e ambientais que podem atuar sequencialmente, simultaneamente ou sobrepostos, e ainda não são totalmente compreendidos (IGLESIAS *et al.*, 2010 *apud* CARR, 2012).

Após o florescimento, ocorre a queda natural de frutos, conhecida no hemisfério norte como 'June drop' e, no hemisfério sul, como 'December drop'. *Deficit* hídrico durante a floração reduz a frutificação e acarreta acentuada queda de frutos (DOORENBOS; KASSAM, 1979), e, na fase inicial dos frutos pode aumentar a queda e

reduzir a taxa de crescimento. Segundo estes autores para produção de limão a ocorrência de *deficit* hídrico no verão pode ser adotada, se possível, para promover floração e produção ao longo do ano. Nos citros o período crítico ao *deficit* hídrico vai de a floração até o fruto atingir 2,5 cm de diâmetro. *Deficit* hídrico durante a fase de expansão do fruto afeta o tamanho final do fruto, mas pode aumentar o conteúdo de sólidos solúveis totais (SST) e ácidos (DOORENBOS; KASSAM, 1979). Outro fator importante a considerar é que *deficit* severo durante a expansão dos frutos pode desencadear a floração, o que é indesejável nesta fase (exceto para limões). Kriedemann e Barrs (1981) relatam que o crescimento de frutos de Satsuma paralisou quando o potencial de água das folhas ao amanhecer atingiu -0,8 MPa. Assim verifica-se a importância de considerar a intensidade e a duração da deficiência hídrica. O tempo decorrido desde a floração até a maturação dos frutos pode levar de 7 a 14 meses.

Frutos de limão tem período de floração mais longo do que outros *Citrus* spp. e podem ser colhidos ao longo do ano (DOORENBOS; KASSAM, 1979). A massa média dos frutos pode ser afetada com a disponibilidade de água no solo, manejo da irrigação (PAVÃO, 2016; SILVEIRA *et al.*, 2020) e número de frutos e porte das plantas. Além da disponibilidade hídrica, a temperatura do ar também afeta a maturação e qualidade dos frutos (POZZAN; TRIBONI, 2005). A concentração de sólidos solúveis totais e a acidez são parâmetros importantes para caracterização da qualidade do fruto e previsão da época de colheita. Neste sentido, Pavão (2016) e Silveira (2019) correlacionaram os graus-dia-acumulados (GDA) ao *Ratio* e apresentam regressões para estimativa do momento de colheita. Para isto adotaram a soma de GDA a partir de 1 de abril e 1 de março, para laranjeiras Valência e Pêra, respectivamente. A deficiência hídrica pode aumentar a concentração de sólidos solúveis no suco, mas esta relação depende muito das condições climáticas do ano e do critério do manejo das irrigações. Há tendência de maior concentração de SST em plantas com maior *deficit*, mas há anos em que este fato não ocorre e plantas adequadamente irrigadas apresentam bons resultados (PAVÃO, 2016; SILVEIRA, 2019). Desta forma, verifica-se a necessidade de estudos em busca da melhor resposta em produtividade e qualidade associado ao manejo da água e da fertirrigação.

A necessidade hídrica dos citros varia de acordo com as condições de solo, clima, condução do pomar, população de plantas, método e manejo da irrigação, dentre outros aspectos. A demanda de água é elevada nos períodos de brotação, emissão de botões florais, frutificação e início de desenvolvimento dos frutos, sendo menor nos períodos de maturação, colheita e período de repouso. Doorenbos e Kassam (1979) citam que o consumo de água na produção do pomelo tende a ser mais elevado que para outras espécies de citros. Valores de consumo anual variando de 750 a 1800 mm são encontrados na literatura considerando a diversidade de locais, combinação copa-cavalo, práticas culturais adotadas e manejo e método de irrigação (DOORENBOS; KASSAM, 1979; PARSONS; WHEATON, 2000; SHIRGURE *et al.*, 2000; GARCIA PETILLO; CASTEL, 2007; JAMSHIDI *et al.*, 2020).

Dependendo da região de cultivo e dos objetivos na condução do pomar as irrigações podem ter caráter complementar às chuvas, eventual quando aplicadas em condições ou épocas e objetivos específicos e ainda caráter essencial como em regiões com precipitação anual reduzida (regiões áridas e semiáridas). Considerando o dinamismo envolvido no processo de transferência da água no sistema solo-planta-atmosfera e as variações no consumo de água das plantas relacionado às condições de cultivo local é necessário o monitoramento, seja esta via clima, solo ou planta ou ainda a associação destes indicadores. Em caráter complementar as chuvas valores totais anuais de irrigação 400 a 600 mm por ano são relatados. Por exemplo, na região nordeste da Bahia o total anual da irrigação de 442 mm alcançou melhor produtividade

em laranjeira Pêra com 4 anos de idade (COELHO *et al.*, 2003). Shalhevet e Levy (1990) relataram recomendações para a região central citrícola aplicações semanais - 10, 15, 25, 45 e 65 L dia⁻¹ planta⁻¹ para pomares do primeiro ao quinto ano após plantio, respectivamente. Já a partir do sexto ano, recomendam 100 L dia⁻¹ planta⁻¹ (4,0 a 4,5 mm dia⁻¹).

O consumo de água das plantas ou a evapotranspiração da cultura (ETc) representa a quantidade de água que deve ser reposta ao solo para manter o crescimento em condições ideais. A ETc pode ser medida por diferentes métodos. A partir de estudos que avaliam a ETc e a evapotranspiração de referência (ETo) ou demanda climática, valores de coeficiente de cultura (Kc) são estimados. Assim, com a utilização da relação $ETc = ETo \cdot Kc$ (ALLEN *et al.*, 1998), estima-se o consumo de água das plantas. Desta forma, a variação climática da região é incorporada pela ETo, que depende apenas das variáveis meteorológicas, e expressa o potencial de evapotranspiração para as condições meteorológicas vigentes (ALLEN *et al.*, 1998). O Kc possibilita estimativa de ETc para condições ideais, sem limitações ao desenvolvimento das plantas, integrando as diferenças entre a ETc e a ETo. Assim, o Kc varia predominantemente com as características da cultura e as práticas adotadas que afetam o desenvolvimento das plantas, com isto é um coeficiente com significado físico e biológico importante. Os valores de Kc podem ser adotados a partir de modelo simples, com valor único, ou por modelo de partição, que considera separadamente as perdas por transpiração das plantas (Kcb) e por evaporação (Ke) (ALLEN *et al.*, 1998).

Vários trabalhos de pesquisa realizados com diferentes culturas indicam que valores medidos de Kc são dependentes também do método de estimativa de ETo. A indicação de método único de estimativa de ETo, o método de Penman-Monteith, conforme recomendado pela Food and Agriculture Organization (SMITH *et al.*, 1992) contribuiu bastante para estimativa do consumo de água pelas culturas irrigadas e indicações de valores de Kc e possibilidade de uso em diferentes regiões do mundo. Na literatura encontram-se valores de coeficiente de cultivo (Kc) para citros em diferentes locais e diversidade de combinações copa-cavalo, manejo e método de irrigação e ainda indicações de valores médios obtidos a partir de análises de diversos estudos (DOORENBOS, KASSAM, 1979; BOMAN, SYVERTSEN, 1991; CASTEL, 1996; IAFFE, ARRUDA, 1997; ALLEN *et al.*, 1998; BOMAN, PARSONS, 2002; ALVES JÚNIOR, 2006; GARCÍA PETILLO, CASTEL, 2007; KOBAYASHI *et al.*, 2009; MARIN; ANGELOCCI, 2011; MARTARELLO *et al.*, 2012; PEDDINTI; KAMBHAMMETTU, 2019; JAMSHIDI *et al.*, 2020).

O Kc varia com o desenvolvimento das plantas, e que no cultivo de limão e de pomelo os valores devem ser maiores (cerca de 10 a 15%) em relação aos observados para laranjeiras (DOORENBOS; KASSAM, 1979). Em pomar de laranjeira Valência sobre porta-enxerto citrumelo Swingle, com cinco anos de idade, na Flórida, Boman e Syvertsen (1991) encontraram valores de Kc para o período que antecede o florescimento de 0,5 (final de outono e inverno) e no período de crescimento dos frutos e amadurecimento Kc de 1,0 (final de primavera e verão). Ainda na região da Flórida, Boman e Parsons (2002) recomendam valores de Kc para pomares de plantas adultas de 0,9 durante o inverno a 1,0 nas demais fases do ciclo. Castel (1996) avaliando Kc de laranjeiras irrigadas por gotejamento também verificou variação sazonal durante o ciclo de cerca de 0,6 a 0,8. O autor avaliou que as perdas de água por evaporação diretamente da superfície do solo representaram diferentes proporções em períodos chuvosos e secos. Nos períodos secos, as perdas por evaporação do solo representaram de 8% a 30% da ETc, por outro lado, em períodos chuvosos ocorreu aumento, representando de 30% a 50% da ETc. Iaffe e Arruda (1997) observaram em condições de deficiência hídrica, em plantas de Baianinha e Hamlin nos porta-enxertos laranja

'Caipira' e limão 'Cravo', que o Kc reduziu até próximo de zero. Após período de seca prolongada, não houve pronta recuperação do Kc com reinício das chuvas.

Allen *et al.* (1998) compilaram informações sobre Kc os quais encontram-se na Tabela 1. Os autores apresentam também metodologia para estimativa do consumo de água e de ajuste de Kc para condições de molhamento parcial do solo conforme o método de irrigação; equações para ajuste de acordo com o clima; equações para estimativa do valor diário de Kc; metodologia para condição de deficiência hídrica; e, valores de Kc por modelo de partição.

Tabela 1. Coeficiente de cultura (Kc), coeficiente de cultura basal (Kcb) e altura máxima das plantas (Hx, m) para condições sem estresse hídrico, para os citros em clima subúmido, com umidade relativa mínima de 45% e velocidade do vento aproximadamente 2 m s⁻¹, considerando a estimativa de ETo pela equação FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (Penman-Monteith), para pomares conduzidos com e sem plantas infestantes, para diferentes porcentagens de cobertura do solo (CS, %) promovida pelo dossel das plantas avaliadas com o sol a pino. Kci: período de repouso e início do florescimento. Kcm: período de floração e desenvolvimento vegetativo pleno até os frutos atingirem 2,5 a 3,0 cm de diâmetro. Kcf: estágio final de formação e maturação dos frutos (ALLEN *et al.*, 1998).

CS	Kci ¹	Kcbi ²	Kcm	Kcbm ²	Kcf	Kcbr ²	Hx
Pomar sem plantas invasoras ³							
70	0,70	0,65	0,65	0,60	0,70		4
50	0,65	0,60	0,60	0,55	0,65		3
20	0,50	0,45	0,45	0,40	0,55		2
Pomar com plantas invasoras ³							
70	0,75	0,75	0,70	0,70	0,75	0,75	4
50	0,80	0,75	0,80	0,75	0,80	0,75	3
20	0,85	0,80	0,85	0,80	0,85	0,85	2

¹ Kci são para condições típicas de manejo de irrigação e de molhamento do solo. Para molhamentos frequentes, como irrigações diárias ou a cada dois dias, estes podem aumentar substancialmente e atingir valores de 1,0 a 1,2. ² Kcb representam situações de superfície de solo seca e devem ser utilizados quando: $Kc = Kcb + Ke$. ³ Kcm é menor do que os de início e final, devido ao fechamento de estômatos durante o período de ETo de pico. Para climas úmidos e subúmidos, onde há menor controle de estômatos pelos citros, valores para Kci, Kcm e Kcf podem ser aumentados de 0,1 a 0,2, conforme Rogers *et al.* (1983).

Alves Júnior (2006) avaliou o Kc em lima ácida Tahiti irrigada por gotejamento, em Piracicaba, em pomar com 357 plantas ha⁻¹, e observou variação de 0,6 a 1,22, e de Kcb entre 0,4 a 1,0. García Petillo e Castel (2007) avaliaram Kc de laranjeiras Valência no Uruguai irrigadas por gotejamento e em média verificaram Kc de 0,69, mas com variação sazonal de 0,60 no verão, outono 0,77, primavera 0,80 e 0,87 no inverno. Kobayashi *et al.* (2009) avaliaram Kc e ETc de laranjeira Pêra irrigada por gotejamento em Casa Branca, Estado de São Paulo. O Kc médio do ciclo foi de 0,71 e foi próximo da umidade na primavera-verão e reduziu no outono. Em Piracicaba, Estado de São Paulo, Marin e Angelocci (2011) avaliaram em pomar de lima ácida Tahiti com 7 anos de idade, com população de plantas de 178 por hectare e obtiveram valores de Kc de 0,24 ± 0,12 (inverno) e 0,65 ± 0,11 (verão). Martarello *et al.* (2012) estimaram o Kc de laranjeira Pêra enxertada em tangerineira Sunki irrigada por gotejamento por balanço hídrico de campo na região central do Estado de São Paulo e verificaram valor médio anual de 0,80. A densidade de plantio era de 588 plantas ha⁻¹.

Peddinti e Kambhammettu (2019) avaliaram Kc de laranjeiras adultas, com altura de 2,5 a 3 m e com as plantas proporcionando 70% de cobertura do solo na Índia, com valores de 0,43, 0,78 e 0,80 para os estádios K_{Ci} , K_{Cm} e K_{Cf} de forma similar ao apresentado por Allen *et al.* (1998). Em clima semiárido no Irã, Jamshidi *et al.* (2020) avaliaram Kc como valor único e com modelo de partição em pomar de laranjeiras Washington navel, espaçadas 5 x 5 m (400 plantas ha⁻¹) irrigadas por gotejamento. O valor médio de ETc foi 5,11 mm dia⁻¹ e consumo anual de 1800 mm (85% relacionado a transpiração e 15% a evaporação), e variação de Kc de 0,67 no inverno até 0,96 no verão para plantas sem *deficit* hídrico.

Considerando o dinamismo que envolve o consumo de água das plantas é relevante criteriosa seleção do valor de Kc. De acordo com os valores da literatura verificam-se variações nos valores e também sazonal do Kc. Várias pesquisas apontam redução de Kc no inverno. Tal fato deve estar associado à variação na condutância estomática dos citros nas diferentes estações do ano, que é menor no período de inverno conforme verificado por Ribeiro e Machado (2007), associado também a redução da temperatura do ar e do solo. Ainda, em alguns locais, verificou-se redução do consumo de água das plantas cítricas no verão, mesmo com irrigações adequadas, denotando a limitação pelo controle estomático. Para seleção do Kc alguns fatores podem ser considerados, tais como a similaridade da área na qual o Kc foi estimado e a do pomar ao qual se fará o manejo da água, a combinação copa-cavalo, as condições edafoclimáticas, a densidade de plantio, práticas culturais, método e manejo das irrigações, dentre outros. Em relação a densidade de plantio é importante considerar que ocorreu grande variação no número de plantas por hectare, passando de 338 plantas por hectare ao final dos anos 70 para 616 plantas por ha em 2019 e para pomares em formação 625 no mesmo ano (Fundecitrus 20/21 censo).

22.2.3 Manejo das irrigações com indicadores do solo e sistema radicular

22.2.3.1 Água disponível

O manejo da água utilizando o solo como indicador monitora direta ou indiretamente o teor de água no solo ou o potencial matricial de água no solo. Para este monitoramento é importante conhecer alguns parâmetros, dentre estes, destacam-se a capacidade de retenção de água do solo, a distribuição e profundidade do sistema radicular e critérios para manejo que auxiliem a tomada de decisão de momento e quantidade de água a ser aplicada.

A capacidade de retenção de água no solo é obtida pela diferença entre o limite superior de retenção de água no solo (capacidade de campo) e o limite inferior de retenção da água no solo (ponto de murcha permanente). Para fins de manejo de água é fundamental conhecer a umidade na capacidade de campo e garantir que após as irrigações este valor não seja ultrapassado, pois caso isto ocorra haverá redução da aeração do solo o que afeta negativamente a absorção de água das plantas cítricas. Por outro lado, a umidade do solo no ponto de murcha permanente representa a condição na qual o solo não pode mais suprir água às plantas e estas entram em murchamento permanente não se recuperando durante a noite. Para fins de manejo das irrigações os critérios adotados ficam distantes do ponto de murcha, mas este auxilia na estimativa da capacidade de retenção da água dos solos. Prado (2013) apresenta a capacidade de retenção de água de diferentes tipos de solos tropicais de acordo com a classificação do solo em mm de água por cm de profundidade do solo (Figura 1). Esta informação auxilia a estimativa inicial da capacidade de retenção de água dos solos até que determinações locais sejam possíveis.

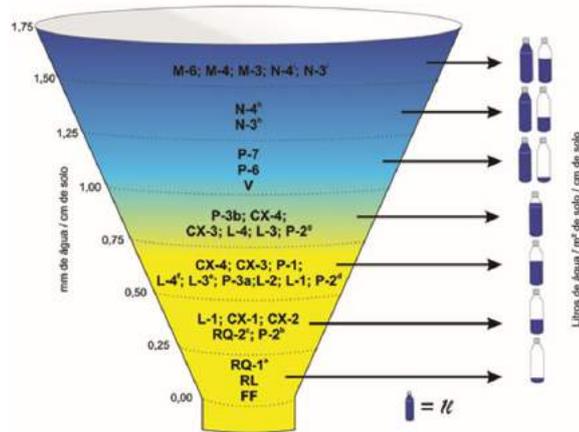


Figura 1. Capacidade de retenção de água no solo para diferentes tipos de solo do Brasil (PRADO, 2013).

Para estimar a capacidade de água disponível do solo para cultura há necessidade de conhecer a profundidade e a distribuição do sistema radicular das plantas. A disponibilidade de água do solo interfere na atividade radicular. Sob excesso de umidade no solo há comprometimento da aeração e sob *deficit* hídrico, redução da atividade radicular. O sistema radicular dos citros se caracteriza por raiz pivotante, que pode ser substituída por raízes de grande porte em condições de campo, e, a partir destas se ramificam densa concentração de raízes laterais nas camadas superficiais do solo (KRIEDEMANN; BARRS, 1981; MEDINA *et al.*, 2005; CARR, 2012). No início da década dos anos 80, Kriedemann e Barrs (1981) reportaram que as interconexões no sistema radicular das plantas poderiam garantir que a água aplicada a determinada parte do sistema radicular é disponível para toda a árvore.

22.2.3.2 Sistema radicular

Para fins de irrigação, a profundidade efetiva e a distribuição das raízes no perfil são importantes para estimativa da água disponível bem como para instalação de sensores para monitoramento. A profundidade desde a superfície do solo até onde se concentram cerca de 75 a 80% das raízes finas responsáveis pela absorção de água e de nutrientes chama-se de profundidade efetiva. A distribuição espacial das raízes ao redor da planta também é importante para escolha de locais para instalação de sensores de umidade ou extratores de solução do solo, melhor posicionamento de emissores (gotejadores e microaspersores) e realização de amostragens de solo. O crescimento radicular depende de vários fatores do solo que o circunda, dentre estes destacam-se aspectos químicos, físicos e biológico, tais como compactação do solo, fertilidade e acidez do solo, presença de elementos tóxicos no perfil do solo, aeração do solo, método e manejo das irrigações, densidade de plantio, porta-enxerto (KRIEDEMANN; BARRS, 1981; MORGAN *et al.*, 2007), idade e porte das plantas (MONTENEGRO, 1960; MORGAN *et al.*, 2007) dentre outros fatores. Desta forma, avaliações locais são importantes.

Avaliações de sistema radicular dos citros tem sido determinada por diversos autores. Em cultivo de Tahiti sobre limão Cravo com 3,5 anos de idade, 74% das raízes finas foram encontradas até 30 cm de profundidade e 50% até 25 cm de profundidade (RIBEIRO, 1993). Com relação à distribuição horizontal das raízes, a maior parte se concentrou entre 0,70 e 1,40 m do tronco da planta. Ainda em cultivo de Tahiti sobre limão Cravo com oito anos de idade, Vieira e Gomes (1999) encontraram 80% das raízes até 50 cm de profundidade, permanecendo 50% até 25 cm, similar ao observado por Ribeiro (1993). Com relação à distribuição espacial, 80% das raízes finas se

concentraram até 1,5 m do tronco da planta. Para a mesma combinação copa e porta-enxerto Machado e Coelho (2000) observaram maior concentração até 40 cm de profundidade e a maior parte das raízes situou-se entre 50 e 75% do diâmetro de projeção da copa. Santos (2002) observou em região semiárida em lima ácida 'Tahiti' irrigada por microaspersão a maior absorção de água ocorreu até 1,5 m de distância do tronco das plantas na linha de plantio e até 0,5 m de profundidade. A até 0,5 m de distância do tronco a absorção de água ocorreu até 1,1 m de profundidade. Marin e Angelocci (2011) verificaram maior concentração radicular de lima ácida 'Tahiti' com 7 anos de idade, em porta-enxerto de *C. limonia* nos primeiros 0,4 m de profundidade, apesar das raízes terem atingido 1,5 m de profundidade, em Piracicaba. Simões *et al.* (2019) verificaram que a extração de água pelas raízes de lima ácida Tahiti em região semiárida no norte de Minas Gerais irrigadas por microaspersão foi mais significativa (85 a 90%) ocorreu desde a superfície do solo até 0,625 m de profundidade.

A distribuição do sistema radicular de laranjeiras sob irrigação localizada deve considerar se as irrigações são complementares às chuvas, típicas de regiões úmidas, ou, se em caráter pleno como nas regiões áridas e semiáridas. De acordo com Coelho *et al.* (2003), o uso da irrigação durante 6 meses do ano em laranjeiras resultou maior volume de solo explorado (profundidade e expansão lateral das raízes e com maior densidade) em comparação ao cultivo sob sequeiro. A máxima concentração radicular situou-se entre 0,5 a 2,0 m do tronco e entre a superfície do solo até 1,5m de profundidade, com maior concentração e uniformidade de raízes na linha de plantio. Pires *et al.* (2011) verificaram que no primeiro ano após a instalação da irrigação por gotejamento em pomar de plantas adultas de laranjeira Pêra em tangerina Cleópatra houve grande concentração radicular na região do bulbo úmido e que a maior concentração de raízes ocorreu entre 0,1 a 0,3 m de distância do gotejador e até 0,25 m de profundidade. Alves Junior *et al.* (2012) avaliaram sistema radicular de laranjeiras Valência irrigadas por microaspersão e verificaram que nas plantas irrigadas houve maior densidade radicular na camada de 0,15 a 0,3 m de profundidade nas plantas irrigadas em comparação àquelas não irrigadas. Pires *et al.* (2013) verificaram que cerca de 80% das raízes de laranjeira Natal enxertada em citrumelo *Swingle* irrigadas por gotejamento com e sem irrigação deficitária encontraram-se até 0,6 m de profundidade e grande concentração de raízes de 0,1 a 0,2 m de distância dos gotejadores.

De acordo com os resultados observados em condições de campo, com enfoque nos estudos realizados no Brasil a profundidade efetiva variou de 40 a 60 cm de profundidade, com maior concentração na linha de plantio e com maior concentração até cerca de 1,5 m do tronco das plantas, ou ainda a aproximadamente de 1/3 à 2/3 do diâmetro da copa.

22.2.3.3 Critérios e indicadores para manejo das irrigações pelo solo

O manejo das irrigações via solo pode adotar diversos critérios, dentre estes o que indica que as irrigações devem ser aplicadas até valores críticos sejam atingidos, seja após o consumo de determinada porcentagem da água disponível do solo ou até o valor de potencial matricial crítico da água no solo. Estes valores críticos correspondem a resultados de pesquisas nos quais se observaram como limites para não reduzir a produtividade. A água disponível desde o limite superior de retenção de água no solo até estes valores críticos considera-se que a água no solo está facilmente disponível às plantas. Quando se adota o critério de atingir um limite crítico para fazer a irrigação, de um modo geral, se faz para irrigações com intervalos entre irrigações maiores. Por outro lado, para irrigações por gotejamento, em muitos casos a lâmina de irrigação a ser aplicada, com adoção deste critério, pode ser elevada considerando que a irrigação não

resulta em molhamento em 100% da área. Sendo assim, a aplicação de lâminas de irrigação elevadas para gotejamento poderá acarretar perdas por percolação abaixo da profundidade do sistema radicular. Desta forma, ressalta-se a importância de sincronia do critério de manejo adotado com as características do método de irrigação.

A porcentagem da água disponível que pode ser consumida antes das irrigações para não acarretar prejuízo ao crescimento e produção é denominada fator de consumo de água ou fator de depleção (f), e está relacionado à suscetibilidade da cultura ou de cada estágio de crescimento ao estresse hídrico. Como fator de depleção para citros encontram-se recomendações que variam desde 15 a 60% do consumo da água disponível do solo. Para irrigações realizadas com maior frequência, como para gotejamento, pode-se adotar o valor de 15% e para irrigações com intervalos maiores, permitir consumo maior da água disponível do solo. O uso de valor variável do fator de depleção de água ao longo do ciclo da cultura também pode ser realizado com uso de valores menores no período crítico ao *deficit* hídrico (20 a 40%) e maiores (50 a 70%) nos demais períodos (DOORENBOS; KASSAM, 1979; ALLEN *et al.*, 1998). Doorenbos e Kassam (1979) apresentaram recomendação de valores variáveis em função da demanda atmosférica local, variando desde 80%, 70%, 60%, 50%, 45%, 42,5%, 37,5%, 35% e 30% para épocas com valores de evapotranspiração de referência de 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10 mm dia⁻¹, respectivamente. Assim, verifica-se que com aumento da demanda climática recomendam-se reduzir o fator de depleção, e, por conseguinte, irrigações com intervalos menores. Para condições de clima quente e seco, com elevada ETc, o valor de " f " deverá ser de 10 a 25% menor que os médios e para baixos valores de ETc, o de " f " pode ser acrescido em 20%.

Allen *et al.* (1998) salientam que expressar a tolerância ao estresse hídrico em função do fator de depleção de água no solo, não é a forma mais correta, pois a taxa de absorção de água pelas raízes é influenciada diretamente pelo estado de energia da água no solo que pode ser obtido pelo potencial da água no solo. O potencial de água no solo possui relação específica com a umidade nos diferentes solos, com isso, o valor do fator de depleção (f) também é função do tipo de solo. Para os argilosos, os valores de " f " podem ser reduzidos de 5 a 10%, e, para os arenosos, devem ser acrescidos em 5 a 10%. Carr (2012) indica como valores adequados para fins de manejo das irrigações para os citros permitir o consumo de 40% da água disponível do solo no período crítico ao *deficit* hídrico dos citros (floração, pegamento de frutos e fase de queda de frutos) e de 60 a 70% nos demais estádios.

A lâmina de irrigação a ser aplicada também pode considerar a umidade do solo no momento da irrigação e com isto estimar quanto é necessário para elevar a umidade do solo à capacidade de campo ou limite superior de retenção de água no solo. Esta umidade do solo pode ser medida por diferentes métodos e ainda pode estar associada ao potencial de água crítico para a cultura. A partir do momento em que o solo atinge esse valor de potencial, determina-se a umidade por meio de uma curva de retenção de água do solo e estima-se a lâmina de irrigação a ser aplicada.

O potencial de água crítico determina o momento em que a irrigação se faz necessária para que produtividades elevadas sejam alcançadas. Um dos primeiros estudos relacionados ao uso e manejo da água em laranjeiras no Brasil foi realizado em pomar de plantas jovens, em Ribeirão Preto, no qual as irrigações foram realizadas sempre que o potencial de água no solo atingisse -150 kPa (BARRETO *et al.*, 1976) e os autores ressaltam que aumentos maiores na produtividade poderiam ser alcançados com uso de intervalos entre irrigações menores, com manejo adotando valores menos negativos de potencial de água no solo.

Para uso em manejo das irrigações dos citros há recomendações de potencial de água no solo variáveis de -10 a -70 kPa (BOMAN; SYVERTSEN, 1991; PARAMASIVAM *et al.*, 2000; SHIRGURE *et al.*, 2000). Critério de manejo com irrigações quando o potencial de água no solo atingia -15 kPa foram adotadas por Boman e Syvertsen (1991). Shirgure *et al.* (2000) encontraram bons resultados com irrigações quando o potencial de água atingiu -50 kPa. Paramasivam *et al.* (2000) utilizaram como potencial de água crítico para a laranjeira Hamlin sobre Cleópatra com 25 anos de idade irrigada por microaspersão valor de potencial de água crítico de -10 kPa e -15 kPa nas fases que antecedem o florescimento até pegamento dos frutos e crescimento e amadurecimento dos frutos respectivamente em solo arenoso na Flórida. Silveira (2019) utilizando irrigações por gotejamento com frequência diária adotou o critério para o solo em questão de após as irrigações deveriam atingir -10 kPa em pomar de laranjeira Pêra na região sudoeste do Estado de São Paulo.

Considerando resultados das pesquisas e a adoção de sistemas que aplicam água com alta frequência, como o gotejamento recomenda-se trabalhar em faixa de variação de potencial de água no solo de -15 a -30 kPa na camada de maior concentração radicular (até 1/3 a 1/2 da profundidade efetiva das raízes). Com irrigações aplicadas em intervalos mais espaçados as irrigações podem ser realizadas quando o potencial de água no solo atingir -50 kPa. De forma, similar ao relatado quando do uso do fator de depleção podem-se adotar a condução das irrigações em faixa menos negativa de potencial no período crítico ao *deficit* hídrico das plantas e nas demais fases admitir manejo em faixa um pouco mais negativa de potencial.

22.2.3.4 Manejo da água com indicadores da planta

Considerando que o desenvolvimento das plantas e a produção são os objetivos fundamentais do cultivo o uso de parâmetros que envolvem medição do estado hídrico das plantas, taxas de crescimento de partes das plantas, trocas gasosas, fluxo de seiva, dentre outros são relevantes. No entanto, devido aos custos, nível tecnológico envolvido, cuidados necessários e as interações que vários destes parâmetros apresentam com o ambiente, embora relevantes estes métodos têm sido utilizados principalmente em pesquisas. O uso destes métodos em pesquisas é fundamental para entendimento dos processos e efeitos resultantes de critérios de manejo das irrigações ou mesmo em resposta a condições ambientais adversas.

Alguns autores trabalharam com a relação da transpiração por área foliar da lima ácida 'Tahiti' em relação a evapotranspiração de referência (Figura 2). Esta abordagem foi adotada por Marin *et al.* (2001) e Coelho Filho (2002). Aumento na transpiração em função de aumento da área foliar para a mesma evapotranspiração de referência pode ser verificada (Figura 2a). Quanto à relação entre transpiração por unidade de área foliar e evapotranspiração de referência, Coelho Filho (2002) verificou tendência linear (Figura 2b). Tal relação possibilita a estimativa da transpiração das plantas conhecendo-se a área foliar e a demanda climática e o coeficiente que os relacionada por meio de modelo climatológico. A Figura 3 apresenta variação diária do fluxo de seiva e da radiação líquida de lima ácida Tahiti, em Piracicaba em cinco dias consecutivos. Coelho Filho (2002) verificou certa defasagem do fluxo de seiva em relação à radiação líquida e relata que isto está relacionado à capacitância dos ramos das plantas pronunciada em plantas adultas.

Silva *et al.* (2005) verificaram que o consumo de água da lima ácida Tahiti reduziu com consumo de 60% da água disponível do solo, já a condutância estomática, as trocas gasosas, a fotossíntese e o potencial de água das folhas reduziram com a depleção de 40% da água disponível no solo.

O uso de medidas taxas de crescimento e contração do tronco para manejo das irrigações foi avaliado por Velez *et al.* (2007) em pomar de Clementina de Nules (*C. clemantina*) enxertada em citrange Carrizo (*C. sinensis*), na Espanha. Os autores objetivaram que a contração máxima do tronco não excedesse 125% daquela observada na planta controle bem hidratada por três meses após ao "June drop" (no hemisfério norte que equivale ao "December drop" no hemisfério sul). Este limite de contração assegurava que o potencial de água dos ramos não era menor que -1,3 MPa ao meio-dia local. O tratamento com *deficit* reduziu a lâmina de irrigação em 18% e 12% em cada ciclo, respectivamente. A produtividade com a irrigação deficitária não se diferenciou daquela alcançada nas plantas adequadamente irrigadas. Ainda com manejo de água em pomar com irrigação deficitária na Espanha, García-Tejero *et al.* (2011) verificaram o potencial de uso da diferença entre a temperatura do dossel e a do ar como parâmetro sensível do estado hídrico das plantas, indicando a potencialidade do uso de termômetro infravermelho para monitoramento da água das plantas, auxiliar no manejo da água.

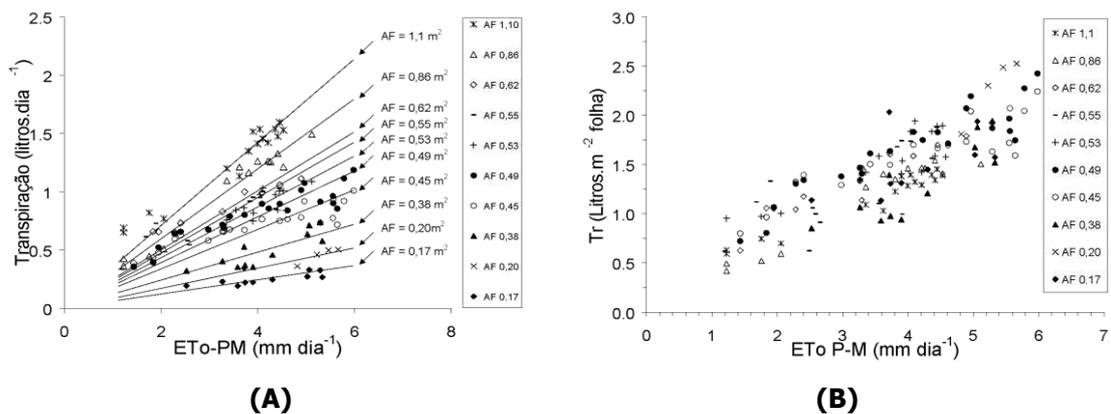


Figura 2. Transpiração máxima de plantas da lima ácida 'Tahiti' por classe de área foliar total (A), e a transpiração máxima por área foliar (Tr) (B) de plantas da lima ácida 'Tahiti' ambos relacionados a evapotranspiração de referência (Penman-Monteith - ETo-PM) (COELHO FILHO, 2002).

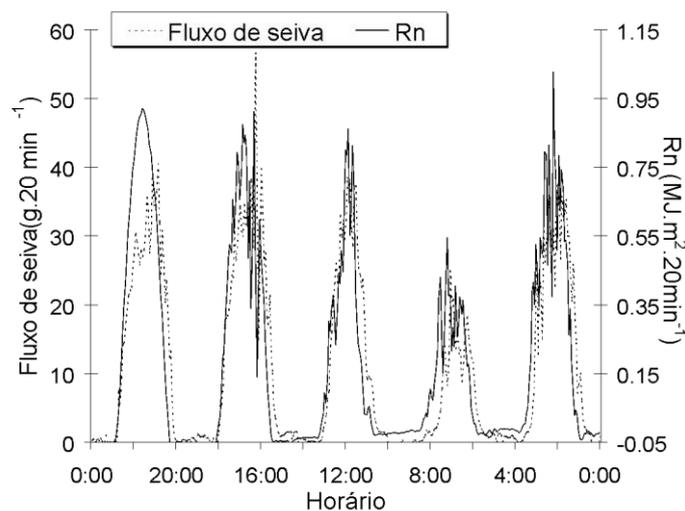


Figura 3. Curso diário do fluxo de seiva (transpiração máxima) de plantas da lima ácida 'Tahiti' e da radiação líquida em planas com 0,6 m² de área foliar nos dias julianos 337 ao 341 de 2001, Piracicaba, SP (COELHO FILHO, 2002).

Com o objetivo de estabelecer critérios para irrigação baseados no estado hídrico de tangerineiras Satsuma (*Citrus unshiu*) na África do Sul, Dzikiti *et al.* (2010) avaliaram vários parâmetros e horários de medição. Melhor caracterização do estado hídrico das plantas com medição ao meio-dia do potencial hídrico dos ramos foi verificada. Por outro lado, o potencial hídrico das folhas antes do amanhecer não apresentou sensibilidade para indicar a ocorrência de *deficit* hídrico leve. Dzikiti *et al.* (2011) verificaram a possibilidade de uso da refletância do dossel como indicador de mudanças relativas no estado hídrico de laranjeiras Valência.

Carr (2012) compilando informações relacionadas ao estado hídrico das plantas indica que irrigações deficitárias em citros considerando o potencial de água dos ramos a $-1,3$ MPa não representa fator limitante da produtividade. O uso do potencial hídrico dos ramos na caracterização do estado hídrico tem sido utilizado na identificação do momento de início das irrigações para promoção de floração (BARBERA *et al.*, 1985; PIRES *et al.*, 2008) conforme reportado no item de relações hídricas.

Em pomar de plantas adultas de mandarina na Espanha, Conesa *et al.* (2018) obtiveram correlação linear da máxima contração do diâmetro do tronco com o potencial de água dos ramos medido ao meio dia de plantas adequadamente hidratadas e daquelas sob irrigação deficitária. Assim, verifica-se também o potencial de uso deste indicador para manejo das irrigações.

Simões *et al.* (2019) avaliaram a transpiração de plantas de lima ácida Tahiti no norte de Minas Gerais irrigadas por microaspersão com diferentes configurações de vazão e posição dos emissores em relação às plantas. Maior transpiração das plantas e eficiência no uso da água ocorreu com um microaspersor ($Q = 70 \text{ L h}^{-1}$) entre duas plantas na linha de plantio.

O uso de indicadores nas plantas tem relevante importância. Alguns equipamentos e possibilidades de uso e aplicações foram relatadas e certamente aumentarão o uso dado o potencial para alcançar a eficiência no uso da água necessária para a agricultura irrigada.

22.2.3.5 Balanço hídrico e manejo da irrigação

O balanço hídrico envolve todas as entradas e saídas de água que envolvem o volume de solo explorado pelas raízes. A irrigação (I), a precipitação (P), escoamento superficial advindos de áreas contíguas e a ascensão capilar compõem as entradas do balanço hídrico, enquanto o consumo de água pela cultura (ETc) e as perdas por percolação profunda e escoamento superficial compõem as saídas. Todos esses componentes podem ser estimados e acarretam variação do armazenamento da água no solo. Assim a variação do armazenamento da água no solo no perfil do solo reflete o balanço destes fluxos de entrada (positivos) e saída (negativos).

Com adequação do manejo das irrigações as perdas por percolação profunda devem ser minimizadas e as entradas e saídas advindas do escoamento superficial podem desconsideradas para fins de balanço hídrico de campo (LIBARDI, 2012). As entradas de água provenientes da ascensão capilar devem ser consideradas quando o lençol freático é pouco profundo, condição não muito comum na maior parte das áreas cultivadas e irrigadas na citricultura. De forma simplificada, o balanço hídrico de campo pode ser expresso pela relação $\Delta h = P + I - ETc$. A variação do armazenamento de água do solo (Δh), em um dado intervalo de tempo, pode ser conhecida por medidas sequenciais de umidade no perfil do solo. Conhecendo-se as precipitações, as irrigações e a variação do armazenamento de água no solo, pode-se estimar o consumo de água da cultura em condições de campo. A variação do armazenamento de água no solo pode

ser estimada em diferentes camadas ao longo do perfil do solo conforme a distribuição do sistema radicular. Informações detalhadas podem ser encontradas em Libardi (2012).

Considerando que o monitoramento da água no solo, seja umidade ou potencial, é realizado de forma pontual para representar as plantas de determinada parcela ou talhão, a escolha do local de monitoramento é importante para garantir representatividade das informações. Considera-se como local com boa representatividade áreas com mesma face de exposição solar, similaridade das condições de solo, plantas sadias e com porte que representem a maior parte da população a que se pretende representar.

O controle e as informações para tomada de decisão da irrigação a partir de dados da água no solo poderão ocorrer de acordo com os critérios adotados, dentre estes: (i): reposição da umidade do solo considerando a umidade do dia ou do momento e aplicando a diferença para que a umidade referente a capacidade de campo seja atingida; (ii): realização, ou não, da irrigação seguindo critério de nível crítico para a cultura, seja pelo consumo da porcentagem de água disponível ou por potencial de água no solo crítico; (iii): realizar as irrigações com objetivo de manter a umidade do solo ou o potencial de água crítico no solo em determinada faixa de variação em profundidade específica considerada para este fim. Neste último caso ressalta-se a importância de se conhecer a faixa de controle e o valor do limite superior de retenção de água no solo com o próprio sensor. Para tanto avalia-se a capacidade de campo em condições de campo com o uso do sensor que será adotado e nas profundidades de interesse.

Com a adoção da irrigação localizada, em especial, há variação da umidade do solo na região do bulbo úmido formado. Portanto, o posicionamento de sensores precisa considerar, além da distribuição do sistema radicular, a distância em relação a planta e também em relação ao emissor. Em grande parte das situações tem-se observado que a distância entre 0,10 e 0,15 m do gotejador tem se mostrado adequada para fins de manejo da água e manutenção de faixa adequada de variação. Ainda, neste caso específico precisa-se selecionar a profundidade que deverá indicar a condução das irrigações na faixa adequada. O sensor deverá ser posicionado na profundidade efetiva das raízes, e, nesta, na região mais ativa e com maior concentração de raízes. De um modo geral, esta profundidade equivale a $1/3$ a $1/2$ da profundidade efetiva das raízes. Este sensor deverá indicar que após as irrigações este deverá se atingir o valor equivalente ao limite superior de retenção de água do solo (capacidade de campo). Caso este não atinja o valor almejado o tempo de irrigação deverá ser aumentado em pequenos incrementos, ou diminuir o intervalo entre irrigações. Após mais um período de monitoramento a adequação ou não das irrigações a necessidade de novo ajuste poderá ser verificada. De forma similar, caso após as irrigações o valor da capacidade de campo tenha sido excedido reduz-se o tempo de irrigação com ajustes de pequena variação e prossegue o monitoramento para verificar a adequação.

A partir do monitoramento da água no solo, confecção de planilha e figura com a variação ao longo do tempo nas diferentes profundidades monitoradas faz-se as adequações necessárias para evitar irrigações excessivas ou deficientes. É importante lembrar que a variação na umidade do solo entre as irrigações é esperada e a magnitude dessa flutuação, que será trabalhada pelos critérios técnicos, precisa considerar também o método de irrigação e as características e cuidados relacionados a estes. Com a aspersão sobre a copa, de um modo geral, a superfície do solo é totalmente molhada e o intervalo entre as irrigações é maior que o utilizado com irrigação localizada, em especial se utilizado autopropelido. Já com uso do pivô central o intervalo entre irrigações é menor que no autopropelido. O uso do gotejamento ou microaspersão

precisa considerar que as irrigações são mais frequentes e que há molhamento parcial da superfície do solo. No manejo da irrigação com intervalos entre irrigações maiores há possibilidade de uso de lâminas de irrigação considerando os limites críticos ao *deficit* hídrico. Por outro lado, irrigações frequentes demandam estratégia de manejo com a manutenção da umidade do solo em condições adequadas e aplicações de lâminas menores, evitando-se excesso de irrigação, principalmente no gotejamento.

Há grande número de opções de sensores para monitoramento da água no solo no mercado, seja para medição da umidade ou do potencial de água no solo. O uso destes sensores além de auxílio para o manejo da irrigação possibilita conhecer a efetividade das precipitações naturais ocorridas, o quanto e até que profundidade determinada precipitação contribuiu para o balanço hídrico. Há que se considerar que qualquer aporte de chuvas que faça com que o armazenamento da água no solo ultrapasse seu limite de retenção, o excesso deve ser considerado como perda por percolação profunda. Com relação ao número de sensores, recomenda-se instalar de duas a três estações de controle em cada parcela ou talhão a se irrigar e em cada estação de controle, de dois a três sensores nas profundidades de 1/3, 1/2 e no limite da profundidade efetiva ou a 1/2 e no limite da profundidade efetiva das raízes. Se houver a opção de melhorar o número de sensores, aumentar o número de sensores instalado na região mais ativa das raízes (1/3 a 1/2). Em pomares cítricos mais adensados, o posicionamento dos sensores pode ser na distância média entre duas plantas. Em pomares com espaçamentos mais largos, geralmente a bateria de sensores pode ser posicionada entre 0,5 e 1,5 m de distância do tronco da planta, onde há maior concentração radicular (COELHO *et al.*, 2011).

O manejo das irrigações também pode ser realizado com o uso do balanço hídrico climatológico, levando em consideração as características do solo e planta, aos se estimar a evapotranspiração da cultura (ETc) por meio da evapotranspiração de referência (ETo) e o coeficiente de cultura (Kc) (Tabela 1). Neste caso as irrigações devem ser aplicadas de acordo com o consumo de água das plantas diariamente ou variável ao se considerar nas simulações o consumo desde o dia da última irrigação até atingir o limite crítico de porcentagem da água disponível no solo. Quando se associa indicadores há aumento da confiabilidade no processo de tomada de decisão da irrigação. Neste caso pode-se fazer a estimativa do quanto irrigar baseado no clima e nas plantas e adotar o uso de sensores de monitoramento de água no solo para indicar se o valor de Kc adotado está devidamente ajustado para a área em questão.

22.2.3.6 Manejo de irrigação com *deficit* hídrico

Como visto anteriormente, a prática da irrigação deve envolver grande conhecimento técnico para em cada situação específica definir o quanto e quando irrigar, ou seja, o manejo de irrigação é fundamental para que se alcancem maiores eficiências de irrigação e de uso de água. Mesmo porque, com a mesma lâmina de água aplicada e acumulada num ciclo de produção pode-se submeter ou não a cultura níveis diferenciados de estresse hídricos. Nesse aspecto, mais importante que os totais aplicados é a definição de quando aplicar e qual nível de estresse que a planta pode suportar para não afetar a produção e qualidade dos frutos. Ou quais níveis de estresse deve-se aplicar para que se maximizem os ganhos líquidos. Esse equilíbrio é que vai ser responsável pela manutenção da produtividade em níveis aceitáveis economicamente, garantindo aumento da eficiência de uso de água.

Buscando-se não apenas maximizar a produtividade, mas encontrar caminhos para o uso racional de água no processo de produção, várias pesquisas foram realizadas nas últimas décadas relacionado ao manejo da irrigação com *deficit* hídrico controlado.

O principal objetivo do manejo com *deficit* é aumentar a eficiência do uso de água ou a produtividade da água (kg m^{-3}), permitindo a expansão da área irrigada ou mesmo viabilizar a produção em locais com escassez hídrica.

Grande parte dos estudos com o manejo de *deficit* controlado em citros ocorreram em regiões semiáridas, a exemplo da Espanha; e também no semiárido brasileiro e também há resultados positivos no sudeste brasileiro, região de clima subtropical. Resultados alcançados ao longo de vários anos demonstraram a viabilidade da técnica, com economia no uso de água e manutenção da produtividade e qualidade de frutos de laranjeiras, tangerineiras, limas, limões e pomelos.

O conhecimento das respostas das plantas às condições distintas de disponibilidade de água no solo e demanda atmosférica é importante para que estratégias de manejo possam alcançar respostas positivas quando da implementação da irrigação deficitária. Manejo com *deficit* permite, quando bem manejado, controle da indução floral, modelagem do fluxo vegetativo das plantas, aumento da produtividade por volume de copa e qualidade de frutos. Para os citros, as respostas das plantas ao *deficit* de água no solo combinados ou não como estresse salino são dependentes também da combinação copa-cavalo.

Diferentes tipos de estratégias de manejo com *deficit* controlado podem ser aplicados para esse propósito: (i) *deficit* controlado em épocas específicas de desenvolvimento dos frutos, o que se chama de irrigação com *deficit* regulado (RDI); (ii) *deficit* de irrigação fixos ao longo do ciclo produtivo; e (iii) irrigação com *deficit* ao longo do ciclo produtivo, alternando-se a distribuição de água no solo (PRD); ou associação destas estratégias.

22.2.3.7 Deficit hídrico controlado em fases do desenvolvimento dos frutos

Este manejo tem por objetivo aplicar *deficit* controlado em fases menos sensíveis da planta e manter a irrigação plena no período crítico, no qual ocorre impacto na produtividade e qualidade de frutos. Para isso, é necessário melhor compreensão de como a fase de produção de citros é dividida. Além do período de floração, o crescimento e o desenvolvimento de frutos cítricos após a antese se dividem em três fases típicas e suas principais características (MEDINA *et al.*, 2005): Fase I (atividade metabólica intensa e divisão celular), Fase II (rápido crescimento) e Fase III (redução das taxas de crescimento e maturação dos frutos). Geralmente o período de maior sensibilidade da planta ao *deficit* hídrico, afetando severamente a produção é a fase de floração e início de frutificação (Fase I), principalmente quando o estresse vem associado a elevadas temperaturas e baixas umidades do ar, provocando abortamento de flores e de frutos além do normal e impactando o número total de frutos por planta no ciclo, que geralmente não é compensada por florações posteriores em cultivos de sequeiro (TONET *et al.*, 2002).

Estratégias de manejo para antecipação de floradas para períodos com temperaturas mais amenas e/ou irrigações mais conservadoras na Fase I, reduzem os riscos de queda de produção. Por outro lado, como verificado por Silva *et al.* (2006) a suspensão da irrigação de limeira ácida 'Tahiti' a partir da brotação, em diferentes períodos fenológicos reduziu o potencial de água das folhas das plantas não irrigadas; mas sem efeito negativo no crescimento da brotação e dos frutos, na abscisão, produção e qualidade dos frutos formados das plantas. Tal fato pode ter ocorrido devido a cultivo em solo com boa fertilidade e região na qual os picos de temperaturas não são críticos a para planta. Os efeitos do estresse se acentuam na FASE II, impactando a taxa de crescimento de frutos (RUIZ-SÁNCHEZ *et al.*, 2010) e qualidade (GARCÍA-TEJERO *et al.*,

2010), com acúmulo progressivo de sólidos solúveis e redução da acidez do suco; e principalmente quando *deficit* aplicado na FASE III (CARR, 2012). Em geral, o *deficit* afeta especialmente as características organolépticas, aumentando a acidez e sólidos solúveis (GARCÍA-TEJERO *et al.*, 2010).

Em clima semiárido a recomendação se baseia na aplicação de estresse controlado na FASE II. Portanto a técnica parte do conhecimento de que o acúmulo de matéria seca dos frutos durante o estresse hídrico controlado na FASE II é compensado por uma rápida recuperação do status hídrico da planta após o período de estresse e aceleração do crescimento de frutos compensa a menor taxa de crescimento no período de estresse (RUIZ-SÁNCHEZ *et al.*, 2000). Assim, a disponibilidade de água em níveis ótimos ao retornar à irrigação, é importante para compensar o crescimento. É importante salientar que além das características edafoclimáticas da região, as respostas dependem também da combinação copa-cavalo adotada. Efeitos do *deficit* hídrico são menores em porta-enxertos tolerantes à seca, e por exemplo a qualidade dos frutos, especialmente a acidez, pode não ser tão afetada (ROMERO-TRIGUEROS *et al.*, 2020).

A aplicação da estratégia de irrigação em uma das fases ou em todas, promove respostas fisiológicas variáveis e deve ser bem planejada e monitorada para que o estresse não comprometa a produção e qualidade final de frutos. O monitoramento pode ser baseado em respostas fisiológicas das plantas como o potencial da água nas folhas ou ramos (GARCIA-TEJERO *et al.*, 2011), variações espectrais do dossel das plantas (JORGE; INAMASU, 2014) ou do solo, como a disponibilidade de água na zona radicular ou potencias de água (PIRES *et al.*, 2005). Os valores críticos dos indicadores de estresse dependem do clima da região, época do ano, fertilidade do solo, combinação copa e porta-enxerto utilizado, dentre outros aspectos.

É importante o conhecimento das respostas fisiológicas das plantas no ambiente de produção para correto manejo do *deficit* de irrigação, estabelecendo-se os limites críticos dos índices de estresse adotados indicando necessidade da irrigação. Como índices, avaliações dos potenciais da água folha/ramo em torno próximos de -1,2 MPa, como limiares máximos para leituras realizadas antes do amanhecer; ou valores que podem superar -1,7 MPa ao meio dia avaliados em tangerineiras irrigadas por gotejamento (GONZÁLEZ ALTOZANO; CASTEL, 2000); limiar de -1,3 MPa para não haver efeitos no tamanho de frutos de tangerineiras (GONZÁLEZ ALTOZANO; CASTEL, 2003) e de -1,4 MPa (BALLESTER *et al.* 2011); limiar máximo de -2 MPa (leituras ao meio dia) para laranja irrigada por gotejamento (GASQUE *et al.*, 2016) e irrigação superficial (GARCIA-TEJERO *et al.*, 2011). O tamanho final dos frutos, bem como a produtividade dependem da duração e da intensidade do estresse aplicado (BALLESTER *et al.*, 2011).

Para limeira ácida 'Tahiti' enxertada em limoeiro 'Cravo' no semiárido brasileiro, resultados evidenciaram a possibilidade de aplicação de deficits aplicados nas três fases de desenvolvimento de frutos em solos profundos, de textura arenosa do perímetro irrigado de Jaíba-MG (COELHO FILHO *et al.*, 2006). O estudo avaliou a aplicação deficits hídricos de 15%, 30% e 45% em cada fase de desenvolvimento de frutos, e de *deficit* de 50% ao longo de todas as fases. As reduções das irrigações foram em relação a irrigação plena (ETc) e avaliados separadamente nas três fases de desenvolvimento de frutos. Nesse estudo também foram avaliadas as respostas do *deficit* regulado de irrigação (RDI) aplicados com gotejamento, duas linhas de gotejadores por planta e microaspersão, um emissor por planta.

As distintas configurações da irrigação localizada promoveram diferenças nas respostas alcançadas em função de interação manejo e sistema de irrigação no ambiente avaliado (Figura 4). A maior variabilidade de resposta ocorreu com as lâminas aplicadas na Fase I, principalmente com a microaspersão, indicando maior sensibilidade

principalmente nessa fase, sendo as respostas compatíveis às alcançadas com *deficit* fixo aplicado em todas as FASES (T50). Isso pode estar relacionado a heterogeneidade de distribuição de água no solo, nos dois anos de avaliação, em especial no segundo quando as condições de demanda atmosférica foram mais elevadas na Fase I, impactando mais severamente o abortamento floral e número de frutos colhidos. Maior estabilidade de produção entre os tratamentos e valores médios de produtividade foi observado nas plantas irrigadas por gotejamento.

No segundo ano de avaliação, é interessante observar que a produção nos tratamentos que receberam as maiores lâminas de água apresentou maior abortamento floral e de frutos (Figura 4b). Esta tendência também foi verificada para os tratamentos aplicados na Fase III. Esses resultados corroboram com outras observações que mostram ganhos em produção ao se utilizar *deficit* com RDI em comparação com ausência de estresse, devido ao maior número de frutos por planta, ou seja, menor abortamento de flores e frutos, que pode estar ligado a possível resposta a *deficit* na estação anterior ou *deficit* não programado (GASQUE *et al.*, 2016). Isto pode se relacionar com a possibilidade de efeito de memória genética do estresse anterior. Respostas epigenéticas a eventos de estresse induzindo fortes respostas bioquímicas e influenciadas por diferentes porta-enxertos de citros (NEVES *et al.*, 2018) podem explicar os resultados em campo. Esse certamente é um dos desafios para evolução do manejo de irrigação do futuro com maior entendimento das respostas biológicas às interações entre plantas, ambiente e manejo da irrigação deficitária.

Estudos realizados com laranja Pêra, sendo o porta-enxerto o limoeiro 'Cravo', na principal região produtora do Estado da Bahia, também evidenciaram a possibilidade de uso da irrigação com *deficit* controlado. Nesse estudo, Amorim *et al.* (2021) verificaram grandes impactos na produção quando os deficits foram aplicados nas Fases I e II, ao se suspender completamente a irrigação. Tanto a produtividade quanto aspectos qualitativos do fruto foram afetados quando a planta foi submetida ao estresse programado na Fase II.

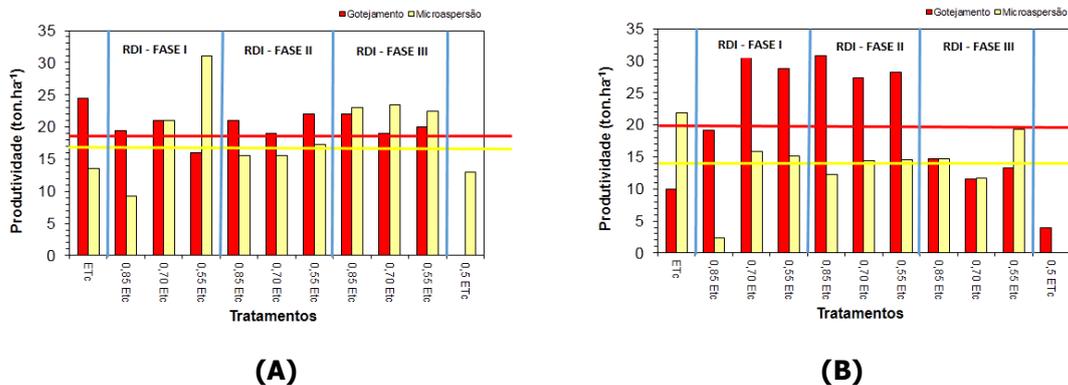


Figura 4. Produtividade de limeira ácida 'Tahiti' enxertada em limoeiro 'Cravo' nas condições semiáridas de Jaíba (MG), submetidas a diferentes níveis de irrigação com *deficit* controlado nas fases de desenvolvimento dos frutos (RDI): Fases I, II e III; e irrigado por microaspersão e gotejamento. (A) ano de 2005, e (B) ano de 2006 (COELHO FILHO *et al.*, 2006).

Com relação à qualidade de frutos, verificou-se manutenção de valores elevados de acidez, afetando a relação sólidos solúveis e acidez, que acabou sendo menor nas plantas sob maior *deficit* (RDI - Fase II e sequeiro). Esses resultados corroboram com diversos estudos de irrigação com *deficit* e mostram efeito na qualidade de frutos, efeito este dependente da intensidade do *deficit* aplicado e duração (BALLESTER *et al.*, 2011). Nos estudos de Amorim *et al.* (2021), os valores acidez dos frutos observados no RDI -

FASE II foram compatíveis ao tratamento sequeiro e estratégias de irrigação com *deficit* fixo, aplicando-se 50% água. Interessante pontuar que para os citros no semiárido ou regiões quentes ao longo do ano, há indução de baixa acidez dos frutos, e que o manejo de irrigação com *deficit* pode ser trabalhado estrategicamente para o aumento da qualidade do fruto, e atuar na qualidade.

A queda de produção observada no tratamento de RDI para laranjeiras cultivadas em clima subúmido, ligada a suspensão completa da irrigação na FASE II, foi pelo esgotamento completo da água disponível do solo na zona radicular da planta por longo período, similar às plantas não irrigadas, resultando em valores altos de temperatura foliar e de resistência estomática em período de elevado *deficit* de pressão de vapor da atmosfera. Tal fato resultou em produtividades similares ao tratamento sequeiro ao longo dos três anos de estudo ($73 \text{ kg planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e eficiência de uso de água de 8 kg m^{-3} . Estas produtividades foram inferiores ao verificado com plena irrigação ($110,4 \text{ kg planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e eficiência de uso de água ligeiramente superior, mas não estatisticamente ($7,37 \text{ kg m}^{-3}$). Mesmo em clima subúmido há necessidades de irrigação ao longo da Fase II, tendo como base índice que indique o limite superior de estresse.

O *deficit* fixo ao longo do ano é também pode ser adotada e nesse aspecto, resultados obtidos por Silveira *et al.* (2020) na principal região produtora de citros do Brasil, em experimento de longa duração, mostraram ser possível a aplicação de 50% da lâmina recomendada ao longo do período de produção sem efeitos significativos na produtividade das plantas, mantendo-se a qualidade de frutos sem diferenças grandes na eficiência de uso de água em comparação aos alcançados com as plantas que irrigadas sem *deficit*. Há que se ressaltar que na região sudeste, em especial no Estado de São Paulo e triângulo e sudoeste de Minas Gerais, há interesse em avaliar o efeito do *deficit* nas diferentes fases de desenvolvimento dos frutos pois esta época coincide, em geral, com o período de estiagens no qual a redução no uso da água é fundamental. A irrigação deficitária com aplicação de 75, 50 ou 25 % da ETc apresentaram produtividade e qualidade dos frutos de laranjeira Pêra-IAC compatíveis com a reposição de 100% da ETc em 3 dos 5 anos avaliados. Comparando-se às plantas não irrigadas a adoção de irrigações deficitárias aumentaram a produtividade e vários dos atributos qualitativos. Considerando os resultados relacionados à produção e qualidade dos frutos, o crescimento da copa ao longo do tempo, bem como a tendência ao longo do experimento e a eficiência do uso da água os autores recomendam a estratégia de irrigação deficitária de 50% da ETc. Interessante ressaltar que comparando a produtividade média dos tratamentos irrigados nos 5 anos de produção com o obtido em cultivo sob sequeiro, houve aumento de produtividade equivalente a 1,5 safras com a adoção da irrigação. Ainda há que se ressaltar que nos anos de baixa produtividade associada ao *deficit* hídrico há valorização da laranja com a redução da oferta, e, o aumento da receita deverá ser mais acentuado que o verificado na produtividade.

O efeito positivo do uso da irrigação deficitária em pomar de plantas adultas de laranjeira Valência no Estado de São Paulo foi verificado por Pavão (2016). A irrigação favoreceu a produtividade quando aplicada a lâmina de irrigação de 100, 75 e 50% da ETc em três anos de produção. A estratégia de aplicação de 50% da ETc apresentou também maiores valores de kg de sólidos solúveis por hectare, importante parâmetro para frutas destinadas à produção de suco. Assim a aplicação da irrigação com 50% de *deficit* mostrou-se interessante considerando-se economia no uso da água e produção.

Em condições semiáridas do Brasil, o *deficit* fixo está sendo aplicado com o objetivo de avaliar as interações de porta-enxertos em lima ácida 'Tahiti' e lâminas de água aplicadas para avaliar o manejo que proporcione aumento da eficiência de uso de

água e eficiência produtiva (kg de fruto m^{-3} de copa) em sistemas mais adensados de produção ($5 \times 2,5 \text{ m}$). Nessas condições, busca-se plantas mais compactas e produtivas, seja pelo uso de novos porta-enxertos que induzem o nanismo às copas, seja pela plasticidade induzida pelas interações entre porta-enxerto e lâminas aplicadas. Essa resposta é fundamental nas receitas do produtor, pois permite menores intervenções com podas e facilidade de colheita. Costa *et al.* (2019) e Jesus *et al.* (2019), trabalhando com gotejamento com irrigações diárias no semiárido de Bom Jesus da Lapa-BA, verificaram não haver interações copa e porta-enxerto de limeira ácida nos primeiros anos de cultivo. Mesmo assim, observaram efeitos dos porta-enxertos no vigor de plantas, expresso pelo volume de copa e respostas leves das lâminas aplicadas no volume de copa no terceiro ano de cultivo (Figura 5).

O volume de copa da lima ácida 'Tahiti' enxertada em híbrido TSKC x TRFD-06, Citrumelo Swingle e HTR-069 apresentaram valores similares estatisticamente e intermediários, comparados aos resultados obtidos com plantas enxertadas em limoeiro 'Cravo' e Flying Dragon, este com menor vigor. Os resultados encontrados impactam a eficiência produtiva das plantas (Figura 6), superiores para os porta-enxertos com copas mais compactas, como foi o caso do porta-enxerto *Flying Dragon* e seu híbrido com Tangerineira 'Sunki comum' (TSKC x TRFD - 06). O TSKC x TRFD-06 com eficiência produtiva de $2,82 \text{ kg m}^{-3}$, seguido do *Flying Dragon* que apresentou eficiência produtiva de $1,87 \text{ (kg m}^{-3})$, sendo superior ao limoeiro 'Cravo' e ao Citrumelo 'Swingle', porta-enxerto muito utilizados no cultivo da limeira ácida 'Tahiti'.

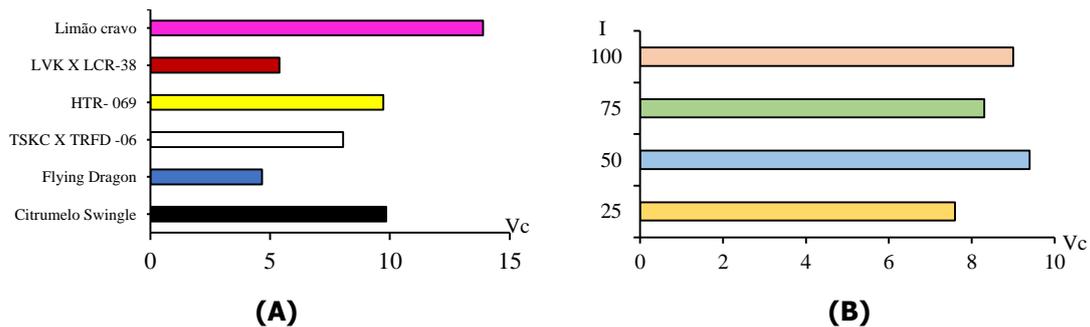


Figura 5. Volume de copa de plantas jovens de limeira ácida, enxertadas em 6 porta-enxertos: (1) Citrumelo *Swingle*, (2) *Flying Dragon*, (3) TSKC x TRFD-06, (4) HTR-069, (5) LVK x LCR-038 e (6) Limoeiro 'Cravo' (A), e plantas submetidos (volume de copa – V_c , m^3) a 4 níveis de lâminas de irrigação (I, %) ao longo do ciclo em pomar irrigado por gotejamento e frequência diária (B). Bom Jesus da Lapa (BA). Ano de 2019.

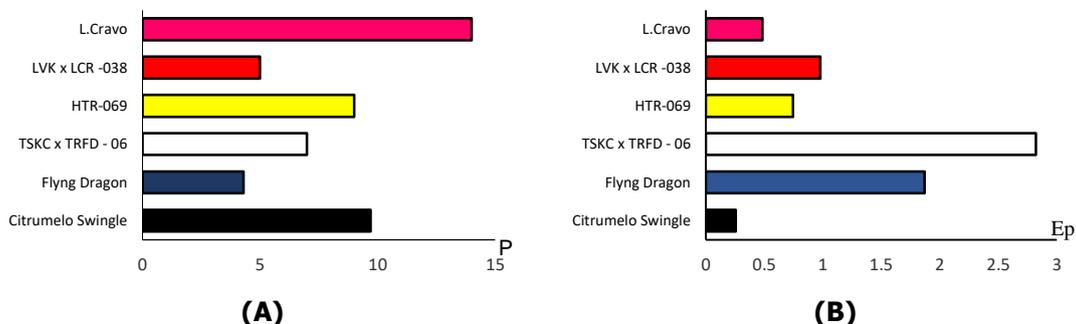


Figura 6. Produtividade (P , kg planta^{-1}) (A) e eficiência produtiva (E_p , kg m^{-3}) (B) de pomar jovem de limeira ácida 'Tahiti', em plantas enxertadas em 6 porta-enxertos e submetidos a 4 níveis de irrigação ao longo do ciclo em pomar irrigado por gotejamento com frequência diária. Bom Jesus da Lapa, BA. Ano 2019.

22.2.3.8 Irrigação com secamento parcial e alternado do sistema radicular das plantas

Nesse tipo de manejo, as plantas são irrigadas apenas com fração da água recomendada, geralmente 50%, alternando-se a zona irrigada do solo em períodos que variam em função da sensibilidade da planta ao *deficit*, distribuição radicular e demanda atmosférica e capacidade de armazenamento de água no solo. O método se baseia na sinalização química de ácido abscísico (ABA) produzido no sistema radicular da planta submetido ao *deficit* que translocado para copas, que afeta a abertura de estômatos e crescimento das plantas. Assim, o controle da produção de ABA com a prática do PRD tem como objetivos direcionar os fluxos de crescimento da planta e aumento da eficiência do uso de água, desde que o fechamento dos estômatos, controlados pelos teores de ABA seja apenas parcial permitindo a conservação da água na planta, efeitos leves nas taxas fotossintéticas (KANG; ZHANG, 2004), aumento da eficiência de uso de água (A/E) e a manutenção do status hídrico da planta. Para tal propósito é necessário irrigar alternadamente/heterogeneamente em zonas do solo com sistema radicular umedecido pela irrigação, permitindo a manutenção vital da planta e seu status hídrico; e outra parte do sistema radicular, na zona seca do solo, seja responsável pela sinalização de ABA afetando as trocas gasosas com consequências diretas no fechamento de estômatos, redução do crescimento foliar e aumento da eficiência de uso de água. Em outras palavras, é possível separar as respostas bioquímicas do estresse hídrico dos efeitos hidráulicos do estresse da redução da disponibilidade de água (LOVEYS *et al.*, 2000).

Inicialmente, visando o controle do vigor de ramos de videiras e melhor balanço com fluxos reprodutivos, pensou-se que o efeito do secamento parcial fosse duradouro (DRY; LOVEYS, 1998), mas foi observado que é transiente e algum tempo após o início do estresse, as plantas reduzem a produção de ABA, com taxas de crescimento e condutância estomática retornando aos níveis das condições pré-estresse. A alternativa para este fato que dificultava o uso dessa estratégia surgiu com a alternância regular do secamento nas zonas irrigadas (DRY *et al.*, 1999) e a possibilidade de manutenção da produção de ABA em níveis elevados, sempre se mantendo nível de transporte de água nas raízes expostas ao *deficit* para garantir sinalização para os ramos (DODD *et al.*, 2008). Essa é a base do manejo PRD que depois foi estudado em diversas culturas, dentre estas para os citros (HUTTON; LOVEYS, 2011; CONSOLI *et al.*, 2014; PÉREZ-PÉREZ *et al.*, 2018).

O manejo com PRD também foi estudado com a cultura dos citros no Brasil. Em clima semiárido e solo arenoso, Jaíba-MG, pomar adulto de limeira ácida 'Tahiti' enxertada em limoeiro 'Cravo' irrigada por gotejamento foi submetido a diferentes tratamentos envolvendo o manejo de irrigação PRD envolvendo reduções de 25 a 50% da ETC e alternâncias de secamento/molhamento do solo de 7, 14, 21 e 28 dias. Foi verificada a possibilidade de economia de 50% da irrigação, com ganhos em eficiência de uso de água e produtividade em relação a plantas irrigadas sem estresse (Figura 7). As frequências de alternâncias de molhamento do solo devem ser avaliadas e aplicadas com critério em pomares irrigados por PDR. Neste estudo foi verificado que mais importante que o volume irrigado são as frequências de alternâncias das zonas molhadas. Baixas frequências resultaram em quedas de produção e eficiência de uso de água, como pode ser verificado para frequências de 14, 21 e 28 dias, resultando em produtividades inferiores à plena irrigação (100 ETC): redução de 36% irrigando com 50% lâmina recomendada e de 27% ao se irrigar com 85% da lâmina recomendada. Por outro lado, frequências alternadas de irrigação de 7 dias viabilizaram produtividades e EUA superiores à irrigação plena, independente da lâmina aplicada (Figura 7).

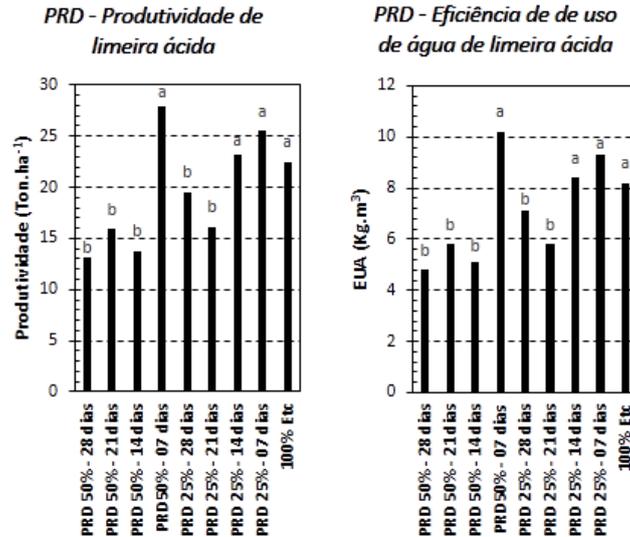


Figura 7. Produtividade ($t\ ha^{-1}$) e eficiência de uso de água ($kg\ m^{-3}$) de limeira ácida 'Tahiti' enxertado em limoeiro 'Cravo' em condições semiáridas, Jaíba (MG) (COELHO *et al.*, 2012).

Sampaio *et al.* (2012) em pomar irrigado por microaspersão e tratamentos de PRD aplicados continuamente por dois anos, em solo arenoso e com impedimento físico a aproximadamente 1 m de profundidade, não verificaram benefícios do PRD em relação ao *deficit* fixo de 50% ETC, apesar dos ganhos nesses dois tratamentos em relação a eficiência de uso de água ($9,4\ kg\ m^{-3}$), comparado aos alcançados no manejo sem *deficit* ($6,30\ kg\ m^{-3}$). Foi comprovada a possibilidade de aplicação de lâmina de 75% da ETC (PRD - 21 dias) para garantias de produtividades compatíveis com a irrigação plena ($22,5\ t\ ha^{-1}$), com ganhos expressivos em EUA ($8,16\ kg\ m^{-3}$). Nesse estudo ficou comprovada a importância do monitoramento do potencial da água da planta e temperatura foliar na estratégia da irrigação por PDR, que refletiram o maior controle estomático (Figura 8).

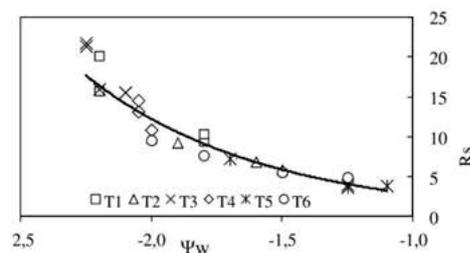


Figura 8. Relação entre potencial hídrico dos ramos (Ψ_w , MPa) e resistência estomática (R_s , $s\ cm^{-1}$) de folhas em pomar de lima ácida 'Tahiti', fazenda Boa Vista, Iaçú, BA. (T₁) PRD 7 dias e 50% da ETC, (T₂) PRD 14 dias e 50% da ETC, (T₃) PRD 21 dias e 50% da ETC, (T₄) Irrigação fixa e 50% ETC, (T₅) irrigação fixa e 100% da ETC, e (T₆) PRD 21 dias 75% da ETC (SAMPAIO *et al.*, 2014)

Plantas cítricas são muito responsivas ao aumento do *deficit* de pressão de vapor e temperatura do ar, geralmente elevados nos meses secos no semiárido, regulando a abertura estomática e aumentando a temperatura foliar, principalmente em condições de PRD (LOVEYS *et al.*, 2004). Essas respostas ainda foram mais significativas em plantas em PRD submetidas a alternâncias de irrigação de 7 dias, com reflexos no balanço total de água na planta expresso pelo fluxo de seiva, mas que não implicaram em ganhos produtivos. Levando em consideração o tratamento PRD com redução de 25% da lâmina alternada a cada 21 dias, os valores de potenciais ficaram em $-1,6\ MPa$

em média, não superando - 2 MPa, o que parece ser um limite para o manejo de irrigação com *deficit*. Valores médios de potencial da água na folha para os tratamentos PRD ficaram entre -1,6 e -2,2 MPa e -1,2 MPa para irrigação plena. Faixas geralmente encontradas em trabalhos com *deficit* de irrigação, como verificado anteriormente. As quedas de produção ao se reduzir 50% da lâmina podem ser explicadas pela maior variabilidade de lâmina aplicada no solo, pelo sistema de microaspersão, ponto a ser melhor estudado; agravado pelo solo com baixa capacidade de armazenamento e pouco profundo.

Certamente o conhecimento dos níveis ótimos de secamento do solo para promover a sinalização química, alterações nas relações hídricas foliares, status hídrico da planta e alocação de biomassa, influenciados pelas frequências de alternâncias e consequente proporções da massa radicular exposta ao solo seco, é ponto chave a ser investigado para o sucesso da técnica do PRD (PÉREZ-PÉREZ *et al.*, 2018).

Evidências da importância de se estabelecer os períodos de alternâncias de irrigação PRD com critérios científicos foram observados por Amorim *et al.* (2021), em estudos realizados em condições subúmidas do litoral Norte da Bahia, com laranjeira 'Pêra'. Existiu uma boa relação entre produtividades das plantas e períodos de alternâncias estudados (15 e 30 dias). Plantas submetidas a alternâncias de 15 dias foram mais produtivas, mesmo assim 10% a menos que o tratamento sem *deficit*, e permitindo acréscimos de 56% na eficiência de uso de água, 12,21 kg m⁻³ em relação a irrigação plena, 7,7 kg m⁻³. Interessante que a queda de produção em relação a irrigação plena foi de 24% para o tratamento com alternâncias a cada 30 dias e com eficiência de uso de água de 11,1 kg m⁻³. Esses resultados sugerem que os ganhos poderiam ser melhores com o uso do PRD com alternâncias menores aos estudados.

22.3 Viticultura

22.3.1 Região

A irrigação de videiras no Brasil tem sido adotada, principalmente, nas regiões tropicais do país, como no semiárido nordestino, no norte de Minas Gerais ou na região noroeste de São Paulo, onde todas as áreas vitícolas são irrigadas. Nas regiões de clima temperado ou subtropical do Brasil, como nos estados do Sul, na região sudeste de São Paulo e no sul de Minas, a irrigação, em geral, não é adotada, embora haja um crescente interesse para a implantação de sistemas irrigados nessas áreas, em função da ocorrência mais frequente de estiagens durante os períodos de desenvolvimento da cultura. Nessas regiões de clima temperado ou subtropical, a produção de uvas de mesa é mais favorecida pelo uso da irrigação, uma vez que critérios como produtividade e tamanho de cachos e bagas apresentam vantagens competitivas no mercado. Além disso, as uvas de mesa apresentam, normalmente, preço maior por kg, em relação às uvas para processamento. No entanto, em algumas áreas do sul do país tem havido interesse na irrigação de vinhedos destinado à produção de uvas para vinho, visando melhor formação das plantas e evitando a ocorrência de deficits hídricos mais severos, o que poderia comprometer a qualidade final dos produtos. Também há interesse, nessas regiões, pela irrigação em áreas que utilizam cobertura plástica impermeável, empregada para proteger os vinhedos das precipitações pluviais, que favorecem a incidência de doenças fúngicas. Embora a cobertura reduza, normalmente, a demanda hídrica da cultura, ela impede, muitas vezes, o umedecimento adequado do sistema radicular das plantas.

22.3.2 Métodos de irrigação

Os métodos mais empregados na irrigação da cultura são a microaspersão e o gotejamento, que apresentam, normalmente, alta uniformidade de aplicação e evitam o molhamento foliar, reduzindo o risco de ocorrência de doenças fúngicas, como o míldio (*Plasmopara viticola*) e as podridões de cachos (*Glomerella cingulata*, *Botrytinia fuckeliana*). Na microaspersão, os emissores são, normalmente, fixados no aramado do parreiral, operando de modo invertido e umedecendo toda a área cultivada, inclusive as entrelinhas. Uma das vantagens desse método, em relação ao gotejamento, é a sua menor suscetibilidade ao entupimento, inclusive em decorrência de águas com alta concentração de ferro, reduzindo a necessidade de investimento em sistemas de filtragem mais onerosos. Ele também possibilita melhor aplicação e incorporação da matéria orgânica ao solo, prática bastante comum em algumas regiões produtoras de uvas. Por outro lado, o consumo de água costuma ser maior, em relação ao gotejamento, em função da maior área molhada pelos microaspersores e, conseqüentemente, das maiores perdas por evaporação da água do solo (TEIXEIRA *et al.*, 2007). A irrigação por gotejamento permite, por sua vez, o manejo com molhamento parcial do sistema radicular, prática que tem sido empregada em algumas áreas, principalmente em regiões semiáridas. Além disso, no gotejamento, as práticas culturais (poda, condução de ramos, etc.) não precisam ser interrompidas durante a aplicação de água, o que não ocorre na microaspersão.

22.3.3 Necessidades hídricas da videira

As necessidades hídricas do vinhedo irão depender das condições meteorológicas do local e de fatores específicos relacionados à cultura. A demanda será maior quanto maiores forem a radiação solar (R_s), a temperatura do ar (T) e a velocidade do vento (V_v) e quanto menor for a umidade relativa do ar (UR). Em relação à cultura, diferentes fatores irão afetar a necessidade hídrica, como o sistema de condução do parreiral, o desenvolvimento vegetativo das plantas, o uso de cobertura plástica, o manejo da irrigação e a cobertura vegetal do solo, entre outros.

A presença de cobertura vegetal sobre o solo poderá afetar a demanda hídrica ou evapotranspiração do vinhedo, principalmente no período após a poda, quando ainda é restrita a área foliar das videiras (CONCEIÇÃO *et al.*, 2012). Quanto menor for o intervalo entre irrigações, maiores serão as perdas por evaporação da água do solo. O uso de cobertura plástica sobre o parreiral tende, por sua vez, a diminuir a demanda hídrica do vinhedo em função, principalmente, da redução da radiação solar incidente e da velocidade do vento (HOLCMAN *et al.*, 2018). Já a evapotranspiração da cultura (ETc) tende a aumentar com o desenvolvimento vegetativo das plantas, apresentando redução no final do ciclo, principalmente em regiões que apresentam senescência das folhas. Por fim, a influência do sistema de condução do parreiral está relacionada à área foliar interceptada pela radiação solar, ou a fração de cobertura ou porcentagem da área sombreada pelo dossel (PAS). Isso porque a ETc tende a apresentar valores maiores para plantas que com maior PAS, mesmo que apresentem mesmo índice de área foliar (WILLIAMS; AYARS, 2005). Dessa forma, vinhedos com sistemas de condução horizontal do tipo latada apresentam, normalmente, maior demanda hídrica do que aqueles que adotam sistemas de condução vertical do tipo espaldeira (Figura 9).



Figura 9. Videiras conduzidas no sistema latada (A) e no sistema espaldeira (B). Fotos: Marco A. F. Conceição.

22.3.4 Manejo da irrigação

O manejo da irrigação em vinhedos tem sido realizado, normalmente, com base na estimativa da demanda hídrica ou evapotranspiração diária da cultura (ET_c). A estimativa da ET_c é feita, geralmente, multiplicando-se a evapotranspiração de referência (ET_o) pelo coeficiente de cultivo (K_c). A ET_o representa a demanda hídrica da atmosfera, sendo função das variáveis meteorológicas registradas no local. Quando todas as variáveis estão disponíveis, pode-se calcular a ET_o pelo método padrão de Penman-Monteith. No entanto, quando só estiverem disponíveis dados de temperaturas máxima e mínima do ar, a ET_o poderá ser estimada pelo método de Hargreaves, que foi ajustado para algumas regiões vitícolas do país (CONCEIÇÃO, 2017).

Já os valores do K_c são, muitas vezes, obtidos experimentalmente em diferentes condições de clima, solo e práticas culturais. Teixeira *et al.* (1999) obtiveram valores de K_c entre 0,65 e 1,15, para videiras para mesa do cultivar Itália (*Vitis vinifera*), em Petrolina (PE). Na mesma localidade, Nascimento (2010) obteve valores de K_c entre 0,31 e 1,17, para videiras para vinho do cultivar Syrah (*Vitis vinifera*). Já para as condições do noroeste paulista, Conceição *et al.* (2012) obtiveram valores de K_c entre 0,23 e 0,93, para videiras para mesa do cultivar Niágara Rosada (*Vitis labrusca*), cobertas com tela plástica de 18% de sombreamento. Essa tela é utilizada, na região, para proteção dos frutos contra o ataque de pássaros e morcegos.

Modelos matemáticos também podem ser empregados para a estimativa de K_c em função dos diversos fatores que afetam seu valor (CONCEIÇÃO, 2016b), entre eles a porcentagem da área sombreada (PAS) pelo dossel. Williams e Fidelibus (2016), com base em dados obtidos na Califórnia empregando-se lisímetro de pesagem, obtiveram a relação entre PAS e K_c expressa na equação 2. Os autores registraram um valor máximo da PAS igual a 82%, correspondendo a um valor máximo de K_c igual a 1,40. Modelos como esse, no entanto, necessitam ainda ser ajustados para as condições brasileiras.

$$K_c = 0,017 \cdot PAS \quad (1)$$

A determinação da PAS pode ser efetuada por meio de imagens digitalizadas, ou empregando-se equipamentos específicos, que podem ser simples ou mais sofisticados (Figura 10).

Uma vez obtidos os valores da ET_c, pode-se efetuar o balanço hídrico no vinhedo, incluindo-se os dados da precipitação pluvial diária e da taxa de aplicação de água do sistema de irrigação. Deve-se considerar que em áreas com um manejo adequado do solo o escoamento superficial é desprezível, e que o plantio de videiras

deve ser realizado em locais onde não haja ascensão capilar. Para facilitar o cálculo diário do balanço hídrico, podem ser utilizados aplicativos ou planilhas eletrônicas (CONCEIÇÃO, 2017). Para avaliar se os critérios adotados estão adequados, deve-se realizar o monitoramento hídrico do solo e, ou, das plantas.



Figura 10. Equipamentos para estimativa da porcentagem de área sombreada pelo dossel das videiras. Fotos: Marco A. F. Conceição.

22.3.5 Monitoramento hídrico do solo e da planta

O monitoramento hídrico do solo pode ser realizado empregando-se sensores de umidade ou de tensão da água no solo. Para a determinação da tensão podem ser utilizados tensiômetros, ou sensores do tipo Irrigás[®], que foram desenvolvidos pela Embrapa Hortaliças para irrigação de olerícolas, mas que têm sido utilizados, também, em outras culturas, inclusive em videiras (CONCEIÇÃO, 2016c). Os sensores, em geral, devem ser instalados na região central do sistema radicular, para avaliar as condições hídricas das plantas; e abaixo das raízes, para avaliar se estão ocorrendo perdas por percolação. Apesar das videiras apresentarem, muitas vezes, raízes profundas, a maior parte do sistema radicular da cultura se concentra até 0,60 m de profundidade, sendo essa a camada que deve ser monitorada (PIRES *et al.*, 1997; BASSOI *et al.*, 2002; BASSOI *et al.*, 2003).

Para cultivares de uvas de mesa, pode-se admitir uma redução de até 35% da água disponível no solo, enquanto para cultivares de uvas para vinho, esse valor pode chegar a 45% (ALLEN *et al.*, 2006). Os limites de tensão da água no solo para a produção de uvas de mesa devem ficar entre 10 kPa e 30 kPa, até o final da formação das bagas; e de 30 kPa a 80 kPa, no período de maturação e após a colheita (CONCEIÇÃO, 2016a), sendo que os valores mais baixos devem ser utilizados em solos de menor capacidade de retenção de água. Esses limites também podem ser empregados em cultivares de uvas destinadas à elaboração de sucos e vinhos de mesa, uma vez que para esses cultivares, assim como para as uvas de mesa, também são desejadas altas produtividades, com vistas a um maior retorno econômico do vinhedo. Já para uvas destinadas à elaboração de vinhos finos, os valores limites da tensão poderão ser maiores, já que o uso de *deficit* hídrico controlado pode melhorar a qualidade e o preço final dos vinhos, embora reduza, muitas vezes, o rendimento da cultura (OJEDA, 2007).

Para o monitoramento hídrico das plantas é comum o uso da câmera de Scholander, que possibilita a determinação do potencial hídrico foliar (ψ_f). Podem ser

recomendados os seguintes valores de ψ_f para a cultura da videira, determinados antes do amanhecer (DELOIRE *et al.*, 2006; OJEDA, 2007): (i) $\psi_f \geq -0,2$ MPa, estresse hídrico ausente ou moderado, (ii) $-0,2 \text{ Mpa} > \psi_f \geq -0,4$ MPa, estresse leve a moderado, (iii) $-0,4 \text{ Mpa} > \psi_f \geq -0,6$ MPa, estresse moderado a severo, e (iv) $-0,6 \text{ MPa} > \psi_f$, estresse severo.

De acordo com Ojeda (2007), para vinhedos em formação e para a produção de uvas de mesa, ou destinadas à elaboração de sucos e vinhos de mesa, o estresse hídrico deve ser ausente ou moderado: (i) para a obtenção de vinhos finos jovens, leves e frutados pode-se admitir um estresse leve a moderado durante a maturação dos frutos, (ii) já para vinhos de guarda, admite-se um estresse leve a moderado durante o desenvolvimento das bagas, (iii) e um estresse moderado a severo durante a maturação, e (iv) esses valores servem como uma primeira referência, uma vez que devem ser realizadas pesquisas para cada local e cultivar a fim de se estabelecer os limites mais adequados em cada condição.

22.3.6 Manejo da irrigação com *deficit* hídrico e secamento parcial do sistema radicular

O uso do manejo da irrigação com *deficit* hídrico controlado (RDI, da sigla em inglês) é mais comum em uvas para processamento, principalmente naquelas destinadas à elaboração de vinhos finos, visando ao incremento da qualidade e do preço dos produtos finais. Isso porque o *deficit* hídrico favorece a concentração de açúcares e a redução da acidez nos frutos (BASSOI *et al.*, 2011), levando à obtenção de vinhos com maior concentração alcoólica, melhores intensidades de cor e aroma, melhor estrutura, harmonia e persistência (COSTA, 2009). Além disso, permite economia de água (BASSOI *et al.*, 2015), recurso escasso, principalmente nas regiões semiáridas do Brasil.

Essa estratégia também pode, no entanto, ser adotada em cultivares de uvas de mesa com o objetivo, principalmente, de reduzir uso da água, sem alterar a produtividade ou a qualidade final dos frutos (PERMANHANI *et al.*, 2016). Nesses cultivares, o *deficit* hídrico moderado pode ser adotado durante todo o ciclo produtivo da cultura (ANDRADE *et al.*, 2017), ou suspendendo-se a irrigação no período de maturação dos frutos (BASSOI *et al.*, 1999; MARINHO *et al.*, 2009; ZEOLI *et al.*, 2011; CONCEIÇÃO *et al.*, 2014).

O manejo com secamento parcial do sistema radicular (PRD, da sigla em inglês) visa umedecer parcialmente a região das raízes de forma alternada, levando as plantas à redução da transpiração, em função do fechamento parcial dos estômatos. Essa prática, contudo, pode, muitas vezes, afetar o tamanho dos cachos e o rendimento da cultura (BASSOI, 2011). Novos estudos necessitam ser empreendidos com a utilização dessa técnica, principalmente na região semiárida, uma vez que ela pode reduzir o consumo hídrico da cultura, aumentando a eficiência do uso da água no vinhedo (BASSOI *et al.*, 2005).

22.4 Considerações finais

A irrigação das videiras é imprescindível nas regiões tropicais do Brasil. O incremento do seu uso está, assim, relacionado à expansão da própria viticultura nessas regiões. O lançamento de novos cultivares, mais adaptadas às condições brasileiras, tem contribuído de maneira expressiva para essa expansão. Já em regiões de clima temperado ou subtropical, a irrigação deverá ser cada vez mais demandada em função

das estiagens que deverão ocorrer com maior frequência, como consequência das mudanças climáticas globais.

Referências

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.; RAES, D.; SMITH, M. **Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Roma: FAO, Riego y Drenaje, 56, 298p., 2006.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. **Irrigation and Drainage Paper**, n.56, 300p. Roma: FAO, 1998.

ALVES JÚNIOR, J. **Necessidade hídrica e resposta da cultura de lima ácida "Tahiti" a diferentes níveis de irrigação**. 100p., 2006. Tese (Doutorado em Agronomia, Área de Concentração em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP, Piracicaba, 2006.

ALVES JUNIOR, J.A.; BANDARANAYAKE, W.; PARSONS, L.R.; EVANGELISTA, A.W.P. Citrus root distribution under water stress grown in sandy soil of central Florida. **Engenharia Agrícola**, v.32, n.6, p.1109-115, nov./dez., 2012.

AMORIM, M.S.; TOYOSUMI, I.S.; AMORIM, W.S.; CAMILLO, L.S.R.; FERREIRA, L.N.; ROCHA JUNIOR, D.S.; SOARES FILHO, W.S.; GESTEIRA, A.S.; COSTA, M.G.C.; COELHO FILHO, M.A. Partial rootzone drying and regulated deficit irrigation can be used as water-saving strategies without compromising fruit yield and quality in tropically grown sweet orange. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v.98, n.2, p.1-10, 2021.

ANDRADE, V.P.M.; SILVA, J.A.B.; SOUSA, J.S.C.; OLIVEIRA, F.F.; SIMÕES, W.L. Physiological characteristics of grapevine under irrigation and fertilization management. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.47, n.4, p.390-398, 2017.

BALLESTER, C.; CASTEL, J.; INTRIGLIOLO, D.; CASTEL, J. Response of Clementina de Nules citrus trees to summer deficit irrigation. Yield components and fruit composition. **Agricultural Water Management**, 98.6, p.1027-1032, 2011.

BARBERA, G.; FATTA DEL BOSCO, G.; LO CASCIO, B. Effects of water stress on lemon summer bloom: The "forzatura" technique in the Sicilian citrus industry. **Acta Horticulturae**, v.171, p.391-397, 1985.

BARRETO, G.B.; RODRIGUEZ, O.; REIS, A.J.; ARRUDA, F.B. **Irrigação de citros**. Campinas: Instituto Agrônomo, 17p., 1976. (Boletim Técnico, 35).

BASSANEZI, R.B.; FERNANDES, N.G.; MASSARI, C.A. Progresso da morte súbita dos citros no Estado de São Paulo no período 2002-2005. **Laranja**, v.27, n.1, p.13-29, 2006.

BASSANEZI, R.B.; LOPES, S. A.; MIRANDA, M.P.; WULFF, N.A.; VOLPE, H.X.L.; AYRES, A.J. Overview of citrus huanglongbing spread and management strategies in Brazil. **Tropical Plant Pathology**, v.45, p.251-264, 2020.

BASSOI, L.H. Irrigation management on wine grapes in the Tropical zone. **Acta Horticulturae**, v.910, p.83-88, 2011.

BASSOI, L.H.; ASSIS, J.S.; LIMA FILHO, J.M.P.; RIBEIRO, H.A.; SILVA, M.R.; MIRANDA, A.A. Interrupção da irrigação no período de maturação da uva cv. Itália. Petrolina: **Embrapa Semiárido**, 5p., 1999. (Embrapa Semiárido. Comunicado Técnico, 79).

BASSOI, L.H.; CORREIA, J.S.; SANTOS, A.R.L.; SILVA, J.A.; COSTA, B.R.S. Deficit irrigation in grapevine e cv. Syrah during two growing seasons in the Brazilian semiarid. **Engenharia Agrícola**, v.35, n.3, p.430-441, 2015.

BASSOI, L.H.; DANTAS, B.F.; LIMA FILHO, J.M.P.; LIMA, M.A.C.; LEÃO, P.C.S.; SILVA, D.J.; MAIA, J.L.T.; SOUZA, C.R.; SILVA, J.A.M.; RAMOS, M.M. Preliminary results of a long-term

- experiment about RDI and PRD irrigation strategies in wine grapes in São Francisco Valley, Brazil. **Acta Horticulturae**, v.754, p.275-282, 2007.
- BASSOI, L.H.; GONÇALVES, S.O.; SANTOS, A.R.L.; SILVA, J.A.; LIMA, A.C.M. Influência de manejos de irrigação sobre aspectos de ecofisiologia e de produção da videira cv. Syrah / Paulsen 1103. **Irriga**, v.16, n.4, p.395-402, 2011.
- BASSOI, L.H.; GRANGEIRO, L.C.; SILVA, J.A.M.; SILVA, E.E.G. Root distribution of irrigated grapevine root stocks in a coarse texture soil of the São Francisco valley, Brazil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.24, n.1, p.35-38, 2002.
- BASSOI, L.H.; HOPMANS, J.W.; JORGE, L.A.C.; ALENCAR, C.M.; SILVA, J.A.M. Grapevine root distribution in drip and microsprinkler irrigation. **Scientia Agricola**, v.60, n.2, p.377-387, 2003.
- BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 8. Ed. Viçosa: UFV, 2006. 611p.
- BOMAN, B.; PARSONS, L. Evapotranspiration. In: BOMAN, B.J. **Water and Florida Citrus**. Gainesville: University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences, p.163-174, 2002.
- BOMAN, B.; PARSONS, L.; OBREZA, T.; STOVER, E. Citrus water use and irrigation scheduling. In: BOMAN, B.J. **Water and Florida Citrus**. Gainesville: University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences, p.175-191, 2002.
- BOMAN, B.; SYVERTSEN, J.P. Drainage lysimeters for high water table citrus studies. In: ALLEN, R.G. (Ed.). **Lysimeter for evapotranspiration and environmental measurements**. New York: American Society of Civil Engineers, p.318-325, 1991.
- BRITO, R.R.; FILGUEIRAS, R.; SANTOS, J.E.V.; LEDA, V.C.; ANDRDRADE JUNIOR, A.S.; ZIMBACK, R.C. Índices de vegetação SAVI, NDVI e temperatura de brilho na caracterização da cobertura vegetativa do Distrito de Irrigação dos Tabuleiros Litorâneos do Piauí - DITALPI. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, João Pessoa-PB, **Anais**, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE.
- CARR, M.K.V. The water relations and irrigation requirements of citrus (*Citrus spp.*): a review. **Experimental Agriculture**, v.48, n.3, p.347-377, 2012.
- CASTEL, J.R. Evapotranspiration of drip irrigated Clementine citrus tree in a weighing lysimeter. In: CHARTOZULAKIS, K.S. PROCEEDINGS OF THE SECOND INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON IRRIGATION AND HORTICULTURAL CROPS, v.1, p.91-98, 1996.
- COELHO FILHO, M.A. **Determinação da transpiração máxima em um pomar jovem de lima ácida 'Tahiti' (*Citrus latifolia* Tan) e sua relação com a evapotranspiração de referência**. 91p., 2002. 91p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- COELHO FILHO, M.A.; COELHO, E.F.; SIMÕES, W.L.; COSTA, E.L. Uso regulado do *deficit* de irrigação nas fases de crescimento de frutos de lima ácida Tahiti irrigado por gotejamento. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 16, 2006, Goiânia. **Anais...** Goiânia: ABID. CD ROM, 2006.
- COELHO, E.F.; COELHO FILHO, M.A.; MAGALHÃES, A.D.J.; OLIVEIRA, A.S. In: SOUSA, V.F.; MAROUELLI, W.A.; COELHO, E.F.; PINTO, J.M.; COELHO FILHO, M.A. (Ed.). **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, cap.14, p.413-439, 2011.
- COELHO, E.F.; COELHO FILHO, M.A.; SIMÕES, W.L.; COELHO, Y.S. Irrigação em citros nas condições do nordeste do Brasil. **Laranja**, v.27, n.2, p.297-320, 2006.
- COELHO, E.F.; COELHO, Y.S.; SANTOS, M.R. Produtividade da laranja 'Pêra' sob diferentes níveis de irrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 13, 2003, Juazeiro. **Anais...** CD-ROM. Juazeiro: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 2003.

COELHO, E.F.; OLIVEIRA, F.C.; ARAÚJO, E.C.E.; VASCONCELOS, L.F.L. Sistema radicular da laranja 'pêra' não-irrigada e irrigada por gotejamento em solo arenoso dos tabuleiros costeiros. **Magistra**, Cruz das Almas, v.15, n.1, p.45-53, 2003.

CONCEIÇÃO, M.A.F. **IRRIVITIS-T: manual da planilha eletrônica para manejo da irrigação de videiras com base na temperatura do ar**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 8p., 2017. (Embrapa Uva e Vinho. Comunicado Técnico, 198).

CONCEIÇÃO, M.A.F. **Limites de tensão da água no solo para a produção de uvas de mesa**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 22p., 2016a. (Embrapa Uva e Vinho. Comunicado Técnico, 198).

CONCEIÇÃO, M.A.F. **Modelos para estimativa dos coeficientes de cultivo (Kc) de videiras irrigadas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 13p., 2016b (Embrapa Uva e Vinho. Circular Técnica, 132).

CONCEIÇÃO, M.A.F. **Uso de sensores Irrigas® para o manejo da água na produção de uvas de mesa no noroeste paulista**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2016c. 6p. (Embrapa Uva e Vinho. Comunicado Técnico, 183).

CONCEIÇÃO, M.A.F.; SAVINI, T.C.; SOUZA, R.T.; SANTOS, C.P. Suspensão da irrigação durante a maturação de uvas 'Niágara Rosada'. In: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 2. 2014, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: INOVAGRI: INCTSA: INI, 2014. p.2896-2901.

CONCEIÇÃO, M.A.F.; SOUZA, R.T.; ZEOLI, J.J.S.; PAULA, M.V.B. Coeficiente de cultura (Kc) para videira com e sem cobertura vegetal no solo. **Irriga**, Edição Especial, p.234-249, 2012.

CONESA, M.R.; LA ROSA, J.M.; FERNÁNDEZ-TRUJILLO, J.P.; DOMINGO, R.; PÉREZ-PASTOR, A. Deficit irrigation in commercial mandarin trees: water relations, yield and quality responses at harvest and after cold storage. **Spanish Journal of Agricultural Research**, n.16, v.3, 1201, 15p., 2018.

CONSOLI, S.; STAGNO, F.; ROCCUZZO, G.; CIRELLI, G.L.; INTRIGLIOLO, F. Sustainable management of limited water resources in a young orange orchard. **Agricultural Water Management**, v.132, p.60-68, 2014.

COSTA, A.L.C. **Manejo da irrigação com restrição hídrica sobre a fisiologia, produção e qualidade da uva e do vinho da cultivar *Chenin Blanc* no Vale do São Francisco**. 70p., 2009. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

COSTA, J.; SANTOS, G.G.; JESUS, J. F.; SAMPAIO, A.; COELHO FILHO, M.A. Crescimento de lima ácida 'Tahiti' em diferentes porta-enxertos e manejo de irrigação em clima semiárido. In: Embrapa Mandioca e Fruticultura. Anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 26, 2019, Juazeiro, BA/Petrolina, PE. Fruticultura de precisão: desafios e oportunidades. **Anais**. Petrolina: Embrapa Semiárido: UNIVASF: SBF, 2019.

DELOIRE, A.; CARBONNEAU, A.; WANG, Z.; OJEDA, H. Vid y agua: una breve revisión. **Enología**, v.5, p.36-42, 2006.

DODD, I.C.; EGEE, G.; DAVIES, W.J. ABA signaling when soil moisture is heterogeneous: decreased photoperiod sap flow from drying roots limit ABA export to the shoot. **Plant Cell Environ**, v.31, p.1263-1274, 2008.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. Yield response to water. Rome: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. FAO. **Irrigation and drainage paper**, 33, 179p., 1979.

DRY, P.R.; LOVEYS, B.R. Factors influencing grapevine vigor and the potential for control with partial rootzone drying. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, n.4, v.3, p.140-148, 1998.

DRY, P.R.; STOLL, M., Mc CARTHY, M.G.; LOVEYS, B.R. Using plant physiology to improve the water use efficiency of horticultural crops. In: III INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON IRRIGATION OF HORTICULTURAL CROPS, n.537, p.187-197, 1999.

- DZIKITI, S.; VERREYNNE, J.S.; STUCKENS, J.; STREVER, A.; VERSTRAETEN, W.W.; SWENNEN, R.; COPPIN, P. Determining the water status of Satsuma mandarin trees (*Citrus unshiu Marcovitch*) using spectral indices and by combining hyperspectral and physiological data. **Agricultural and Forest Meteorology**, n.150, p.369-379, 2010.
- DZIKITI, S.; VERREYNNE, J.S.; STUCKENS, J.; STREVER, A.; VERSTRAETEN, W.W.; SWENNEN, R.; THARON, K.I.; COPPIN, P. Seasonal variation in canopy reflectance and its application to determine the water status and water use by citrus trees in the Western Cape, South Africa. **Agricultural and Forest Meteorology**, n.151, p.1035-1044, 2011.
- FUNDO DE DEFESA DA CITRICULTURA. Fundecitrus. Inventário de árvores do cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo/Sudoeste Mineiro: retrato dos pomares em março de 2020. Araraquara, SP: **Fundecitrus**, 105p., 2020. Disponível em: https://www.fundecitrus.com.br/pdf/pes_relatorios/2020_06_25_Invent%C3%A1rio_e_Estimativa_do_Cinturao_Citricola_2020-2021.pdf. Acesso em: 16 mar. 2021.
- GARCIA PETILLO, M.; CASTEL, J.R. Water balance and crop coefficient estimation of a citrus orchard in Uruguay. **Spanish Journal of Agricultural Research**, n.5, v.2, p.232-243, 2007.
- GARCÍA-TEJERO, I.; DURÁN-ZUAZO, V.H.; MURIEL-FERNÁNDEZ, J.L.; JIMÉNEZ-BOCANEGRA, J.A. Linking canopy temperature and trunk diameter fluctuations with other physiological water status tools for water stress management in citrus orchards. **Functional Plant Biology**, n.38, p.106-117, 2011.
- GARCÍA-TEJERO, I.; JIMÉNEZ-BOCANEGRA, J.A.; MARTÍNEZ, G.; ROMERO, R.; DURÁN-ZUAZO, V.H.; MURIEL-FERNÁNDEZ, J.L. Positive impact of regulated deficit irrigation on yield and fruit quality in a commercial citrus orchard [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck, cv. salustiano]. **Agricultural Water Management**, n.97, p.614-622, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.12.005>. Acesso em: 16 mar. 2021.
- GASQUE, M.; MARTI, P.; GRANERO, B.; GONZÁLEZ-ALTOZANO, P. Effects of long-term summer deficit irrigation on 'Navelina' citrus trees. **Agricultural Water Management**, v.169, p.140-147, 2016.
- GONZÁLEZ-ALTOZANO, P.; CASTEL, J.R. Regulated deficit irrigation in 'Clementina de Nules' citrus trees. II: Vegetative growth. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v.75, n.4, p.388-392, 2000.
- GONZÁLEZ ALTOZANO, P.; CASTEL, J.R. Riego deficitário controlado em 'Clementina de Nules'. I. Efectos sobre la producción y la calidad de la fruta. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v.1, n.2, p.81-92, 2003.
- HOLCMAN, E.; SENTELHANS, P.C.; CONCEIÇÃO, M.A.F.; COUTO, H.T.Z. Vineyard microclimate and yield under different plastic covers. **International Journal of Biometeorology**, v.62, p.925-937, 2018.
- HUTTON, R.J.; LOVEYS, B.R. A partial root zone drying irrigation strategy for citrus-effects on water use efficiency and fruit characteristics. **Agricultural Water Management**, n.98, v.10, p.1485-1496, 2011.
- IAFFE, A.; ARRUDA, F.B. Avaliação do consumo de água em pomar de laranjas em Pindorama, SP, em período de inverno. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro Cidade: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, n.26, p.407, 1997.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção agrícola municipal - Sistema IBGE de recuperação automática - Sidra**, 2019. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457#resultado>. Acesso em: 16 mar. 2021.
- JAMSHIDIA, S.; ZAND-PARSA, S.; KAMGAR-HAGHIGHI, A.A.; SHAHSAVAR, A.R.; NIYOGI, D. Evapotranspiration, crop coefficients, and physiological responses of citrus trees in semi-arid climatic conditions. **Agricultural Water Management**, n.227, p.105838, 2020.

JESUS, J.F.; COSTA, J.; SANTOS, G.G.; SAMPAIO, A.; COELHO FILHO, M.A. Eficiência produtiva de limão Tahiti sobre diferentes porta-enxertos e quatro lâminas de irrigação no semiárido baiano. In: Embrapa Mandioca e Fruticultura-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 26, 2019, Juazeiro, BA/Petrolina, PE. Fruticultura de precisão: desafios e oportunidades. **Anais**. Petrolina: Embrapa Semiárido: UNIVASF: SBF, 2019.

JORGE, L.C.; INAMASU, R.Y. **Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão**. Embrapa Instrumentação. capítulo em livro científico (ALICE), 2014.

KANG, S.; ZHANG, J. Controlled alternate partial root-zone irrigation: its physiological consequences and impact on water use efficiency. **Journal of Experimental Botany**, n.55, p.2437-2446, 2004.

KOBAYASHI, E.S.; PIRES, R.C.M.; BODINE JUNIOR, D.; VILLAR, H.L.; SAKAI, E.; SILVA, T.J.A. Coeficiente de cultura e consumo de água da laranja com irrigação localizada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 38, 2009, Juazeiro-Petrolina. **Anais...CD-ROM**. Juazeiro-Petrolina: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2009.

KRIEDEMANN, P.E.; BARRS, M.D. Citrus orchards. In: **Water deficit and plant growth**. Ed. T.T. KOZLOWSKI. New York: Academic Press, v.6, p.325-417, 1981.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: Edusp, 2012

LOVEYS, B.R.; STOLL, M.; DAVIES, W.J. Physiological approaches to enhance water use efficiency in agriculture: exploiting plant signaling in novel irrigation practice. **Water Use Efficiency in Plant Biology**, p.113-141, 2004.

MACHADO, C.C.; COELHO, R.D. Estudo da distribuição espacial do sistema radicular do limão 'Cravo' enxertado com lima ácida Tahiti. **Laranja**, v.21, p.359-380, 2000.

MARIN, F.R.; ANGELOCCI, L.R. Irrigation requirements and transpiration coupling to the atmosphere of a citrus orchard in southern Brazil. **Agricultural Water Management**, n.98, p.1091-1096, 2011.

MARIN, F.R.; ANGELOCCI, L.R.; PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SENTELHAS, P.C. Sap flow and evapotranspiration in an irrigated citrus orchard. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, n.2, p.219-226, 2001.

MARINHO, L.B.; RODRIGUES, J.J.V.; SOARES, J.M.; LIMA, M.A.C.; MOURA, M.S.B.; BRANDÃO, E.O.; SILVA, T.G.F.; CALGARO, M. Produção e qualidade da videira 'Superior Seedless' sob restrição hídrica na fase de maturação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.12, p.1682-1691, 2009.

MARTARELLO, V.D.; PIRES, R.C.M.; QUAGGIO, J.A.; SILVA, A.L.B.O.; LIMA, M.A.F. Evapotranspiração e coeficiente de cultura de pomar de laranjeiras irrigadas. In: CONGRESO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE INGENIERIA AGRÍCOLA, 10 e CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 41. 2012, Londrina. **Anais...CD-ROM**. Londrina: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2012.

MEDINA, C.L.; RENA, A.B.; SIQUEIRA, D.L.; MACHADO, E.C. Fisiologia dos citros. In: MATTOS JUNIOR, D.; DE NEGRI, J.D.; PIO, R.M.; POMPEU JUNIOR, J. **Citros**. Campinas: Instituto Agrônomo e Fundag, p.147-195, 2005.

MONTENEGRO, H.W.S. **Contribuição ao estudo do sistema radicular das plantas cítricas**. 143p., 1960. Piracicaba. Tese (Cátedra) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP, Piracicaba, 1960.

MOREIRA, C.S. Manejo de solo em pomar cítrico. **Laranja**, v.9, p.423-436, 1988.

MORGAN, K.T.; OBREZA, T.A.; SCHOLBERG, J.M.S. Orange tree fibrous root length distribution in space and time. **Journal of the American Society of Horticultural Science**, v.2, n.132, p.262-269, 2007.

- NASCIMENTO, E.F. **Desenvolvimento e análise de funcionamento de lisímetros de pesagem para determinação da evapotranspiração em videira de vinho cv. Syrah (*Vitis vinifera* L.)**. 68p., 2010. Dissertação (Mestrado) – Universidad Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2010.
- NEVES, D.M.; SANTANA-VIEIRA, D.D.S.; DÓRIA, M.S.; FRESCHI, L.; FERREIRA, C.F.; SOARES FILHO, W.S.; COSTA, M. G. C.; COELHO FILHO, M.A.; MICHELI, F.; GESTEIRA, A.S. Recurrent water deficit causes alterations in the profile of redox proteins in citrus plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.132, p.497-507, 2018.
- OJEDA, H. Riego cualitativo de precisión en la vid. **Revista Enologia**, v.1, p.14-17, 2007.
- PARAMASIVAM, S.; ALVA, A.K.; FARES, A. An evaluation of soil water status using tensiometers in a sandy soil profile under citrus production. **Soil Science**, v.165, n.4, p.343-353, 2000.
- PARSONS, L.R.; WHEATON, T.A. Irrigation management and citrus tree response in a humid climate. **HortScience**, v.35, p.1043-1045, 2000.
- PAVÃO, G.C. **Produtividade e qualidade de frutos de laranjeira Valência fertirrigadas sob déficit hídrico controlado na região centro-sul do Estado de São Paulo**. 54p., 2016. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agronômico, Campinas, 2016.
- PEDDINTI, S.R.; KAMBHAMMETTU, B.V.N.P. Dynamics of crop coefficients for citrus orchards of central India using water balance and eddy covariance flux partition techniques. **Agricultural Water Management**, v.212, p.68-77, 2019.
- PEREIRA, V.R.; BLAIN, G.C; AVILA, A.M.H.; PIRES, R.C.M.; PINTO, H.S. Impacts of climate change on drought: changes to drier conditions at the beginning of the crop growing season in southern Brazil. **Bragantia**, Campinas, v.77, n.1, p.201-211, Mar. 2018. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87052018000100201&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 2 dez. 2020.
- PÉREZ-PÉREZ, J.G.; NAVARRO, J.M.; ROBLES, J.M.; DODD, I.C. Prolonged drying cycles stimulate ABA accumulation in *Citrus macrophylla* seedlings exposed to partial rootzone drying. **Agricultural Water Management**, v.210, p.271-278, 2018.
- PERMANHANI, M.; COSTA, J.M.; CONCEIÇÃO, M.A.F.; SOUZA, R.T.; VASCONCELLOS, M.A.S.; CHAVES, M.M. Deficit irrigation in table grape: eco-physiological basis and potential use to save water and improve quality. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v.28, p.85-108, 2016.
- PIRES, R.C.M.; BODINE JUNIOR, D.; SAKAI, E.; VILLAR, H.L.; SILVA, T.J.A.; ARRUDA, F.B. Effect of trickle irrigation on root development of the wet bulb and 'Pêra' orange tree yield in the State of São Paulo, Brazil. **Engenharia Agrícola**, v.31, n.6, p.1096-1103, 2011.
- PIRES, R.C.M.; LIMA, M.A.F.; SILVA, A.L.B.O.; OHASHI, A.Y.P.; QUAGGIO, J.A. Orange root system distribution under controlled deficit irrigation. In: ASABE ANNUAL MEETING, Kansas. **Anais...** St. Joseph: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2013.
- PIRES, R.C.M.; LUCHIARI, D.J.F.; ARRUDA, F.B.; MOSSAK, I. Irrigação. In: MATTOS JUNIOR, D.; DE NEGRI, J.D.; PIO, R.M.; POMPEU JUNIOR, J. **Citros**. Campinas: Instituto Agronômico e Fundag, p.369-408, 2005.
- PIRES, R.C.M.; SAKAI, E.; FOLEGATTI, M.V.; PIMENTEL, M.H.L.; FUJIWARA, M. Distribuição e profundidade do sistema radicular da videira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26, 1997, Campina Grande. **Anais...** CD-ROM. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1997.
- PIRES, R.C.M.; SILVA, A.L.B.O.; BODINE JUNIOR, D.; SAKAI, E.; GIACOMELLI, V.J.; GIROTTO, E.J.; SILVA, J.A.; KOBAYASHI, E.S. Duration of imposed water deficit periods on irrigated Orange productivity. In: CIGR INTERNATIONAL CONFERENCE OF AGRICULTURAL ENGINEERING, CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 37, 2008, Foz do

- Iguaçu. **Anais...CD-ROM**. Foz do Iguaçu: CIGR, Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2008.
- POMPEU JÚNIOR, J.; BLUMER, S. Morte súbita dos citros: suscetibilidade de seleções de limão-cravo e uso de interenxertos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.30, n.4, p.1159-1161, 2008.
- POZZAN, M.; TRIBONI, H.R. Colheita e qualidade do fruto. In: MATTOS JÚNIOR, D.; DE NEGRI, J.D.; PIO, R.M.; POMPEU JÚNIOR, J. **Citros**. Campinas: Instituto Agronômico e Fundag, p.799-822, 2005.
- PRADO, H. **Pedologia fácil**: aplicações em solos tropicais. 4. Ed. Piracicaba: Hélio do Prado, 284p., 2013.
- RIBEIRO, R.V.; MACHADO, E.C. Some aspects of citrus ecophysiology in subtropical climates: re-visiting photosynthesis under natural conditions. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.19, n.4, p.393-411, 2007.
- 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**, v.28, n.2, p.247-253, 2006.
- RIBEIRO, T.A.P. **Estudo dos parâmetros básicos de irrigação por microaspersão para a cultura do limão Tahiti (*Citrus limonia*, Osbeck)**, 148p., 1993. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, Campinas, 1993.
- ROMERO-TRIGUEROS, C.; CABAÑERO, J.J.; TORTOSA, P.A.; GAMBÍN, J.M.; MAESTRE-VALERO, J.F.; NICOLÁS, E.N. Medium-long term effects of saline reclaimed water and regulated deficit irrigation on fruit quality of citrus. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.100, n.3, p.1350-1357, 2020.
- SAMPAIO, A.H.R.; SILVA, R.O.; BRITO, R.B.F.; SANTOS SOARES FILHO, W.; SILVA GESTEIRA, A.; SOUZA, L.D.; COELHO FILHO, M.A. Sweet orange acclimatization to water stress: a rootstock dependency. **Scientia Horticulturae**, v.276, p.109727, 2021.
- SANTOS, D.F. **Extração de água pela cultura do limão 'Tahiti' com porta-enxerto citrumelo 'Swingle' sob microaspersão nas condições semiáridas da Bahia**. 112p. 2002. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2002.
- SHALHEVET, J.; LEVY, Y. Citrus trees. In: STEWART, B.A.; NIELSEN, D.R. (Ed.). **Irrigation of agricultural crops**. Madison: Series Agronomy, USA, p.951-986, 1990.
- SHIRGURE, P.S.; MARATHE, R.A.; LALLAN, R.; SINGH, S. Irrigation scheduling in acid lime (*Citrus aurantifolia*) as affected by different soil moisture regimes. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v.70, p.173-176, 2000.
- SILVA, C.R.; FOLEGRATTI, M.V.; SILVA, T.J.A.; JUNIOR, J.A.; SOUZA, C.F.; RIBEIRO, R.V. Water relations and photosynthesis as criteria for adequate irrigation management in 'Tahiti' lime trees. **Scientia Agricola**, v.62, p.415-422, 2005.
- SILVA, C.R.R.; ROCHA, F.J.; ALVES JÚNIOR, J.; SILVA, T.J.R.; FOLEGATTI, M.V.; MASCHIO, R. Respostas de limeira ácida 'Tahiti' à suspensão da irrigação em diferentes períodos fenológicos. **Laranja**, Cordeirópolis, v.27, p.321-339, 2006.
- SILVEIRA, L.K. **Produtividade e qualidade de frutos de laranjeira Pêra-IAC fertirrigada com deficit hídrico**. 51p., 2019. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agronômico, Campinas, 2019.
- SILVEIRA, L.K.; PAVÃO, G.C.; DIAS, C.T.S.; QUAGGIO, J.A.; PIRES, R.C.M. Deficit irrigation effect on fruit yield, quality and water use efficiency: a long-term study on Pêra-IAC sweet orange. **Agricultural Water Management**, v.231, p.106019, 2020.
- SIMÕES, W.L.; COELHO, E.C.; COELHO FILHO, M.A.; GUIMARÃES, M.J.M.; SANTOS, M.R.; COSTA, E.L.C. Transpiration, water extraction, and root distribution of Tahiti lime (*Citrus*

- latifolia* Tanaka) plant under different micro-sprinkler placements. **African Journal of Agricultural Research**, v.14, n.31, p.1369-1378, 2019.
- SMITH, M.; ALLEN, R.G.; MONTEITH, J.L.; PERRIER, A.; PEREIRA, L.S.; SEGEREN, A. **Report of expert consultation on procedures for revision of FAO guidelines for prediction of crop water requirements**. Rome: FAO, 54p., 1992.
- SOUTHWICK, S.M.; DAVENPORT, T.L. Characterization of water stress and low temperature effects on flower induction in Citrus. **Plant Physiology**, v.81, p.26-29, 1986.
- TEIXEIRA, A.H.C.; AZEVEDO, P.V.; SILVA, B.B.; SOARES, J.M. Consumo hídrico e coeficiente de cultura da videira na região de Petrolina, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3, n.3, p.413-416, 1999.
- TEIXEIRA, A.H.C.; BASTIAANSEN, W.G.M.; BASSOI, L.H. Crop water parameters of irrigated wine and table grapes to support water productivity analysis in the São Francisco river basin, Brazil. **Agricultural Water Management**, v.94, p.31-42, 2007.
- TONET, R.M.; LEITE, I.C.; STUCHI, E.S.; SANCHES, F.R. **Florescimento e frutificação da laranja 'Pêra' em bebedouro (SP)**. 2002.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Foreign Agricultural Service**. Citrus: World Markets and Trade. USDA. 11p., Jul. 2020. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/citrus.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2021.
- VELEZ, J.E.; INTRIGLIOLO, D.S.; CASTEL, J.R. Scheduling deficit irrigation of citrus trees with maximum daily shrinkage. **Agricultural Water Management**, v.90, p.197-204. 2007.
- VIEIRA, D.B.; GOMES, E.M. Determinação da profundidade efetiva do sistema radicular do limão 'Cravo' com copa de lima ácida 'Tahiti'. **Laranja**, v.20, p.419-431, 1999.
- WILLIAMS, L.E.; FIDELIBUS, M.W. Measured and estimated water use and crop coefficients of grapevines trained to overhead trellis systems in California's San Joaquin Valley. **Irrigation Science**, v.34, p.431-441, 2016.
- WILLIAMS, L.E.; AYARS, J.E. Grapevine water use and the crop coefficient are linear functions of the shaded area measured beneath the canopy. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.132, p.201-211, 2005.
- ZANINI, J.R.; PAVANI, L.C. Irrigação em citros. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL EM CITROS: Tratos culturais, 5, 1998. Bebedouro. **Anais**. Campinas, Fundação Cargill, p.409-442, 1998.
- ZEOLI, J.J.S.; PAULA, M.V.B.; CONCEIÇÃO, M.A.F. Suspensão da irrigação durante o período de maturação de frutos em videiras 'BRS Morena'. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 21, 2011, Petrolina. **Anais...** Petrolina: ABID, 2011. p.1-6. 1 CD-ROM.