

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

EMANOELE CAROLINE AMENDOLA

**TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE E EVAPOTRANSPIRAÇÃO ATUAL DOS
CITROS IRRIGADOS POR DIFERENTES SISTEMAS**

Ilha Solteira
2018

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

EMANOELE CAROLINE AMENDOLA

**TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE E EVAPOTRANSPIRAÇÃO ATUAL DOS
CITROS IRRIGADOS POR DIFERENTES SISTEMAS**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Especialidade: Sistemas de Produção.

Fernando Braz Tangerino Hernandez
Orientador

Ilha Solteira
2018

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

A511t Amendola, Emanoele Caroline.
Temperatura de superfície e evapotranspiração atual dos citros irrigados por diferentes sistemas / Emanoele Caroline Amendola. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2018
55 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2018

Orientador: Fernando Braz Tangerino Hernandez
Inclui bibliografia

1. SAFER. 2. Necessidade hídrica. 3. Variedades de citros.

Raiane da Silva Santos
Raiane da Silva Santos


CERTIFICADO DE APROVAÇÃO


TÍTULO: TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE E
EVAPOTRANSPIRAÇÃO ATUAL DOS CITROS
IRRIGADOS

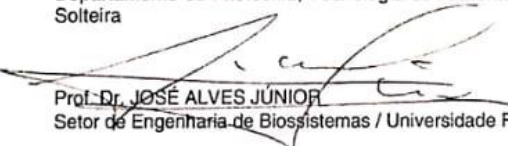
AUTORA: EMANOELE CAROLINE AMENDOLA

ORIENTADOR: FERNANDO BRAZ TANGERINO HERNANDEZ

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA,
área: SISTEMAS DE PRODUÇÃO pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. FERNANDO BRAZ TANGERINO HERNANDEZ
Depto de Fitossanidade, Engenharia Rural / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - SP


Profa. Dra. APARECIDA CONCEICAO BOLIANI
Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. JOSÉ ALVES JÚNIOR
Setor de Engenharia de Biossistemas / Universidade Federal de Goiás

Ilha Solteira, 30 de julho de 2018.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à minha família e aos meus pais, Antonio e Isabel, e minhas irmãs Elisandra e Elaine, pela vida, pelos ensinamentos e apoio nas decisões que guiaram minha vida até aqui e me tornaram a pessoa que sou hoje.

Ao meu Orientador, Prof. Dr. Fernando Braz Tangerino Hernandez pelos ensinamentos, incentivos, oportunidades e conselhos concedidos desde 2011, que, na ausência da minha família, foi um grande conselheiro e professor da vida.

Á toda a equipe da Área de Hidráulica e Irrigação da UNESP Ilha Solteira que dividiram comigo desde as frustrações e alegrias nas saídas de campo, CR's, conhecimento e vitórias coletivas, acentuando o valor do trabalho em equipe.

Á todos os amigos, que tornaram meus dias mais leves e divertidos em todos os locais onde passei. Representados principalmente por Lucas Jacomassi, Milena Rodrigues, Jessica Duarte e minhas companheiras de República: Vanessa Biazotto, Anne Caroline Rocha, Regiane Carvalho, Loane Dantas e o agregado Tiago Calves, que me incentivaram a não desistir.

Aos proprietários, representantes e funcionários das citricolas Costa Mello, Scholl e Okuma Citros, que abriram as porteiças das propriedades, e foram solícitos ao responderem minhas perguntas e ensinaram “na prática” o cultivo dos citros irrigados.

Ao programa de Pós-Graduação em Agronomia da UNESP campus de Ilha Solteira pela oportunidade e ensinamentos concedidos.

Á CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - pela Bolsa de Estudo concedida.

“Não fique triste quando ninguém notar o que fez de bom. Afinal, o sol faz um enorme espetáculo ao nascer, e mesmo assim, a maioria de nós continua dormindo.”

Charles Chaplin

RESUMO

A citricultura brasileira exerce participação importante no mercado internacional agrícola. Atualmente o país é o maior exportador do suco destas frutas no mundo. A participação dos sistemas de irrigação na citricultura vem sendo cada vez mais acentuada, entretanto pesquisas com as aplicações do sensoriamento remoto, especialmente do algoritmo SAFER (*Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving*), e análises comparativas entre sistemas de irrigação em citros são escassas. Os objetivos deste trabalho foram detectar diferenças de temperatura de superfície entre os sistemas de irrigação (autopropelido, pivô central, microaspersão e gotejamento) e verificar a evapotranspiração atual de diferentes copas dos citros, utilizando o sensoriamento remoto, com o algoritmo SAFER, aplicado a fazendas comerciais cultivadas em diferentes idades - diferenciadas em adultas (plantas com 3 ou mais anos desde o plantio) e jovens (inferiores a 3 anos de plantio) - e tipos de copas de citros - laranjeiras, tangerineiras e limeira ácida Thaiti - no Noroeste Paulista. Após a aplicação da metodologia, foi verificada diferença significativa na temperatura de superfície dos pomares irrigados por diferentes sistemas de irrigação e encontrou-se uma copa com maior potencial para consumo de água entre os cítricos.

Palavras-chave: SAFER. Necessidade hídrica. Variedades de citros.

ABSTRACT

Brazilian citriculture has a significant stake in the international agricultural market. Currently the country is the biggest exporter of the juice in the world. The participation of irrigation systems in citriculture has been increasing steadily. However, research with the applications of remote sensing, especially the SAFER algorithm, and comparative analyzes between irrigation systems in citrus are scarce. The objective of this work was to detect differences in surface temperature between irrigation systems (self-propelled, center pivot, micro sprinkler and drip) and to verify the current evapotranspiration of different citrus canopies, using remote sensing with the SAFER algorithm applied to farms (plants with 3 years or more since planting) and young (less than 3 years of planting) - and citrus canopy types - orange, tangerine and Thaiti acid lime trees - in the Northwest region of São Paulo. After the application of the methodology, a significant difference in the surface temperature of orchards irrigated by different irrigation systems was verified, and a canopy with greater potential for water consumption among citrus was found.

Keywords: SAFER. Water needs. Varieties of Citrus.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E ESTADO DA ARTE	8
2	REVISÃO DE LITERATURA	10
2.1	Importância econômica.....	10
2.2	Botânica dos citros	11
2.3	Cultivo	11
2.4	Irrigação em citros	12
2.5	Sensoriamento remoto na agricultura irrigada	15
2.5.1	Temperatura de superfície e NDVI	16
3	MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1	Localização.....	19
3.2	Caracterização dos pomares	21
3.3	Aquisição e processamento das imagens.....	24
3.3.1	Correção atmosférica.....	24
3.3.2	Cálculo da temperatura de superfície e NDVI.....	26
3.3.3	Algoritmo SAFER.....	27
3.4	Estimativa da necessidade de irrigação.....	28
3.5	Água aplicada	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1	Temperatura de superfície entre os sistemas.....	31
4.2	Relação ET/ET _o e ET _a	36
4.2.1	Relação ET/ E _{to} nas laranjeiras	41
4.2.2	Relação ET/ E _{To} nas Limeiras Ácidas Tahiti.....	42
4.2.3	Relação ET/ E _{To} nas tangerineiras	43
5	CONCLUSÕES	49
	REFERÊNCIAS	50

1. INTRODUÇÃO E ESTADO DA ARTE

Segundo a Política Nacional dos Recursos Hídricos, instituída pela lei número 9.433, de 08 de janeiro de 1997, a água é um recurso de domínio público, finito e dotado de valor econômico (BRASIL, 1997), portanto seu uso deve ser feito de forma racional. A agricultura irrigada é comumente apontada como a maior consumidora de água entre as atividades que dela dependem, e o fato que a água utilizada na irrigação é utilizada para produzir alimentos é, em geral, negligenciado.

O sensoriamento remoto é uma ferramenta muito versátil por permitir variados usos e abranger grandes áreas, sendo amplo seu uso na agricultura irrigada. Como exemplo podemos citar a mensuração da evolução e estabelecimento de áreas irrigadas, análises de mudança no uso e ocupação do solo e a mensuração de parâmetros agrometeorológicos para diversas culturas (AMENDOLA, 2016; SQUIZATO, 2018; FRANCO et al., 2016; SALES et al., 2017; AVILEZ, 2018).

A quantificação de parâmetros agrometeorológicos atualizados é essencial para que produtores irrigantes realizem um bom manejo e evitem o desperdício de água e energia. A combinação de estações agrometeorológicas em terra com o sensoriamento remoto vem sendo aplicada para obtenção de coeficientes de culturas locais e quantificação da evapotranspiração, seja esta de referência (ET_o), da cultura (ET_c) ou atual (ET_a), visando dar base a operação sustentável da irrigação.

Diante desta temática, o algoritmo SAFER (*Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving*) utiliza parâmetros como NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*, índice de vegetação por diferença normalizada), temperatura de superfície e albedo da superfície como entradas no cálculo de obtenção da relação ET/ ET_o dos alvos, e este vem sendo aplicado às imagens de satélite em diversas regiões do país, porém suas aplicações em citros e na região Noroeste do estado de São Paulo são escassas.

Os objetivos deste trabalho foram detectar diferenças de temperatura de superfície entre os sistemas de irrigação e diferenciar a evapotranspiração atual por diferentes copas dos citros, comparando-as com a evapotranspiração da cultura, cujo K_c foi estabelecido na referência mundial FAO 56 (ALLEN et al., 1998), afim de

facilitar o manejo da irrigação no Noroeste Paulista e dar base para estudos futuros, projetos de irrigação, gestão dos recursos hídricos e demais usos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Importância econômica

A citricultura brasileira tem grande importância no cenário mundial. Segundo a FAOSTAT (2018), em 2016 o Brasil respondeu por 23,6% da produção mundial de laranjas e aproximadamente 7% das limas ácidas e limões, no mercado internacional de frutas para mesa.

Em 2016 o Brasil colheu aproximadamente 756 mil hectares entre limões, laranjas e tangerinas, com uma produção de 19,5 toneladas, o que resultou em uma produtividade média de 25,8 t por hectare e movimentou cerca de 10,6 bilhões de reais. No mesmo ano, a região sudeste possuía a maior área colhida do país com 501.193 ha e 45,8 toneladas produzidas, sendo o estado de São Paulo o responsável por 72,1% da produção nacional de laranja neste ano, com média de 33,6 toneladas por hectare (IBGE, 2017).

Na safra 2017/18 o cinturão citrícola, que envolve o sul do estado de Minas Gerais e todo o estado de São Paulo, colheu aproximadamente 16,3 milhões de toneladas de laranjas (398,35 milhões de caixas de 40,8 kg) com média de 42 toneladas por hectare, enquanto o noroeste paulista, que compreende as regiões de São José do Rio Preto e Votuporanga, colheu cerca de 1,5 milhões de toneladas com produtividade média de 44,9 toneladas por hectare (FUNDECITRUS, 2018a).

Um dos principais produtos processados dos citros é o suco de laranja, e este é dividido entre não concentrado (NFC - *Not From Concentrate*) e concentrado (FCOJ - *Frozen Concentrate Orange Juice*), sendo o principal diferencial dos dois os processos pelos quais passam até sua obtenção final. O suco NFC é apenas pasteurizado após a extração e vendido resfriado, ou seja, é comercializado para o consumo imediato, enquanto o suco FCOJ passa pelos processos de concentração e congelamento da polpa após a extração, sendo comercializado para adição em refrigerantes, néctares e outras bebidas (VILANOVA et al., 2017). Segundo a FAOSTAT (2018), em 2013 o Brasil exportou aproximadamente 1 milhão de toneladas de suco FCOJ, aproximadamente 52% do volume exportado no mundo, e gerou aproximadamente US\$ 1,9 bilhões para o país em exportações. Como exemplo de outros produtos originários dos citros estão o óleo para essências e aromas e o ácido cítrico.

2.2. BOTÂNICA DOS CITROS

Os citros pertencem à família Rutaceae, sub-família Aurantioideae, tribo e subtribo Citreae e gênero *Citrus*, que compreende 178 espécies. O gênero *Citrus* possui 4 grupos comercialmente importantes, sendo: o das laranjas doces, *Citrus sinensis* (L) Osbeck, que compreende as variedades Pêra, Bahia, Moro e Lima; o grupo das tangerinas: Ponkan, Cravo (*Citrus reticulata* Blanco), Mexerica Rio (*C. deliciosa* Tenore), o grupo dos limões verdadeiros: Siciliano, Lisboa (*C. limon* (L) Burm) e as limas ácidas: Galego (*C. aurantifolia* (Christimas) Swingle) e Tahiti (*C. latifolia* Tanaka) (EMBRAPA, 2000).

Os citros são originários do Sudeste da Ásia e foram inseridos no Brasil pelos portugueses no século XVI. As árvores atingem, em média, 4 metros de altura, são densas e de formato normalmente arredondado (MATTOS JUNIOR et al., 2005).

2.3. CULTIVO

Os citros plantados em clima subtropical podem ser encontrados entre as latitudes 40°N e 40°S e até 750 m de altitude (DOORENBOS; KASSAN, 1979). As temperaturas ótimas de desenvolvimento dos citros estão entre 23 e 32°C, sendo que temperaturas menores que 13°C e maiores que 32°C podem causar redução no metabolismo da planta e decréscimo na taxa de crescimento (EMBRAPA, 2000).

As copas de laranjas mais utilizadas pelos produtores no Noroeste Paulista são a Lima e a Pera. Segundo Mattos Junior et al. (2005), a primeira tem como principais características a casca fina, sendo a coloração amarela esverdeada, considerada sem acidez, portanto doce e succulenta; enquanto a segunda possui formato alongado, com casca de coloração amarela e baixo teor de suco, poucos açúcares e ligeira acidez, sendo mais indicada para venda a indústria de sucos concentrados. Também é comum na região o plantio de Lima-ácida Thaiti, que apresenta fruto ligeiramente ovalado em relação aos limões verdadeiros, tendo casca fina, bom teor de suco e açúcares, sendo indicado tanto para consumo *in natura* como para processamento na indústria.

O principal porta-enxerto utilizado na região, tanto para cultivos irrigados quanto para sequeiro, é o Limão Cravo. Segundo Matos Junior (2005), este

apresenta boa adaptação á solos arenosos e ligeiramente ácidos, tolerância a seca, além de conferir porte nanicante a planta além da maturação precoce dos frutos. Machado e Coelho (2000) concluíram que este porta-enxerto possui a profundidade efetiva do sistema radicular próxima á 40 cm da superfície e que de 50 a 75% das raízes estão em até 2,25 m de distância do tronco.

Os citros começam a florescer a partir do terceiro ano após plantio das mudas no campo, entretanto para obter índices de colheitas comercialmente competitivos esta idade é elevada para o quinto ano. Em climas subtropicais, para que ocorra o florescimento na primavera, os citros necessitam de estresse térmico causados pelas baixas temperaturas do inverno, e do em estresse hídrico para complementar o período de repouso (DOORENBOS; KASSAN, 1979).

Citricultores que possuem sistemas de irrigação em suas propriedades podem manejar de forma adequada este período de estresse hídrico e planejam sua colheita para os períodos onde o preço dos frutos de mesa estejam mais atrativos. Doorenbos e Kassan (1979) citaram que do florescimento a maturação dos frutos são necessários entre 7 e 14 meses. A colheita dos citros normalmente ocorre no período de abril a maio até novembro ou dezembro.

2.4. IRRIGAÇÃO EM CITROS

O início da irrigação no país ocorreu por volta dos anos sessenta nas regiões de Mogi-Guaçú e Leme, destacando-se a Fazenda Sete Lagoas e após alguns insucessos a técnica foi transferida para a região de Limeira (SP), adotada por produtores de frutas *in natura* para o mercado internacional e alguns viveiristas (PIRES et al., 2005).

A irrigação vem tomando maior importância no setor citrícola com o passar dos anos. Em 2015 as áreas de citros irrigadas eram 24,6% do total no cinturão citrícola (norte de Minas Gerais e o estado de São Paulo), em 2018 este índice foi para 30,14%. Quando separadas por tamanho das propriedades, nota-se que a adoção da tecnologia é proporcional. Em propriedades acima de mil hectares o percentual de área irrigada é de 46%, enquanto apenas 10,95% das propriedades cuja área se limita entre 1 e 10 hectares possuem sistemas de irrigação. Também se nota que há preferência dos produtores por sistemas de irrigação pertencentes ao

método de irrigação localizada, com 89,20% das áreas irrigadas e 10,8% irrigadas por métodos de aspersão (FUNDECITRUS, 2018b).

No noroeste do cinturão citrícola as áreas irrigadas passaram de 31,7% em 2015 para 39,4% de 48.760 hectares em 2018. Neste período foram implementados 1.535 hectares irrigados e registrado um decréscimo de 7.074 hectares nas áreas de sequeiro (FUNDECITRUS, 2018b).

Fitchett et al., (2014) estudaram em um período de 1960 a 2010, entre outros fatores, o início de florescimento de 4 pomares em 3 diferentes cidades e verificaram que na cidade de Shiraz (onde os pomares dispunham o ano todo de água para a irrigação) o florescimento em 2010 ocorreu 33 dias antes do que normalmente ocorria em 1960, enquanto na cidade de Gorgan (onde os pomares não haviam irrigação) em 2010, o florescimento ocorreu no dia 135 do ano de 2010, cinco dias após o ocorrido em 1960. A antecipação do florescimento é utilizada na estimativa e programação da colheita do ano seguinte. Pode-se adicionar ainda aos benefícios da irrigação a possibilidade de realizar aplicação de adubos (via fertirrigação), melhora na qualidade dos frutos de mesa e principalmente o ganho de produção em função do aumento em diâmetro e número de frutos por planta.

A forma como a água será aplicada também deve ser alvo de mais estudos. No método de aspersão a água é aplicada em toda a área (simulando uma chuva), entretanto, fatores como a velocidade do vento e a umidade relativa do ar elevados podem afetar a uniformidade da irrigação, por meio dos processos de arraste e evaporação, diminuindo a eficiência do sistema (BERNARDO et al., 2011). No sistema de irrigação autopropelido deve-se atentar ainda ao impacto do jato na planta, evitando assim a derrubada de flores e frutos jovens (COELHO et al., 2011).

O método de irrigação localizada, que envolve os sistemas de gotejamento e microaspersão, caracterizam-se pela alta eficiência de aplicação, baixa pressão e facilidade de operação, lâminas de irrigação menores e com menor intervalo e maior frequência de aplicação. Comumente em solos com textura média ou fina é recomendada a irrigação por gotejamento para manter o solo molhado na região do sistema radicular, porém em solos cuja textura é predominantemente arenosa, com rápida drenagem, a microaspersão é mais recomendada (COELHO et al., 2011).

O requerimento hídrico dos citros, assim como das demais culturas, varia de acordo com a localização geográfica, clima, tipo ou ausência de cobertura do solo,

espécie ou cultivar e porta-enxerto. Doorenbos e Kassan (1979) comentam que, em geral, o requerimento hídrico dos citros varia de 900 a 1200 mm/ano.

As áreas citrícolas tendem a ser de grande extensão e, portanto, os citricultores que tentam realizar o manejo da irrigação tendem a utilizar as técnicas baseadas no manejo via atmosfera, e esta envolve principalmente os conceitos referentes à evapotranspiração (ET), sendo esta a somatória da transpiração das plantas e evaporação do solo, dividida em evapotranspiração de referência (ET_o), evapotranspiração da cultura (ET_c), evapotranspiração real ou atual (ET) e coeficiente de cultura (K_c).

A ET_o é aquela mensurada sob condições padrões, é influenciada principalmente por fatores ambientais e cujos dados são comparáveis em qualquer lugar. A estimativa da ET_o se dá sob padrões de tamanho e resistência da superfície vegetada de referência, altura dos sensores e distância mínima de possíveis obstáculos (ALLEN et al., 1998). Existem diversas metodologias para tal estimativa, porém atualmente o método mais utilizado e preciso para estimar ET_o é o FAO Penman-Monteith, que se baseia em variáveis como velocidade do vento, temperatura, umidade relativa do ar, radiação e pressão atmosférica.

A ET_c se refere aquela mensurada sob condições padrões de cultivo, e é a evapotranspiração de qualquer cultura em condições ótimas, ou seja, livre de pragas e doenças e com suprimento adequado de adubo e água, onde o cultivo atinge sua máxima produtividade.

O coeficiente de cultivo (K_c) é um fator adimensional e está diretamente relacionado com as condições de manejo de cada cultura. O K_c é o quociente da relação ET_c por ET_o, e é influenciado principalmente pela altura do cultivo, albedo, resistência da superfície do cultivo e evaporação que ocorre do solo (ALLEN et al., 1998). Segundo os mesmos autores, o K_c dos citros varia de acordo com a cobertura da planta em relação ao espaçamento de plantio, e pode ser dividido em 3 etapas sendo: o K_c^{inicial}, o K_c^{médio} e o K_c^{final}.

Diversos esforços são empregados na determinação de novos K_c atualizados e adaptados para o cultivo em cada região. Alves Junior et al., (2006) encontraram valores médios mensais de K_c variando de 0,49 á 1,15 na região de Piracicaba. No mesmo local, Barbosa et al., (2008) chegaram a um K_c para o período outono/inverno médio de 0,98 em estudo com uma copa de lima ácida Thaiti. Allen e Pereira (2009) avaliando K_c em local com cobertura ativa do solo e de 70% de cobertura de

superfície chegaram a valores 20% superiores ao apontados no Boletim FAO 56. Dettori e Filigheddu (1994) citados por Petello e Castel (2007), avaliaram árvores de aproximadamente 10 anos, com 3 metros de altura e 42% de cobertura encontrou na Itália o valor médio de K_c de 0,39 para os citros. Tal valor pode ter ocorrido devido à alta resistência da superfície do dossel, que, segundo Jensen (1968), pode reduzir a evapotranspiração potencial (ET) anual em 45% e, portanto, diminuir o valor de K_c .

A evapotranspiração potencial ou atual (ET) é mensurada sob uma área cultivada onde ocorre algum, ou alguns, fatores que limitam a produção, sendo normalmente a que acontece nos cultivos comerciais. A ET_c é produto da ET_o e do K_c . (ALLEN et al., 1998). A avaliação da ET pode ser feita de diversas formas; em ordem cronológica, as principais metodologias são: lisimetria, métodos micrometeorológicos e de sensoriamento remoto.

A lisimetria é uma forma de determinação direta da ET. Os lisímetros são tanques isolados cercados por solo, perturbado ou não, onde a cultura cresce e se desenvolve. Existem diversos tipos de lisímetros, sendo o mais preciso o de pesagem, onde a ET é mensurada pela mudança de massa. Entretanto, os lisímetros exigem maiores atenções que os outros métodos, sendo necessária mão de obra especializada, além de serem caros de construir e manejar a cultura (ALLEN et al., 1998).

Os métodos micrometeorológicos constituem em formas precisas e sofisticadas de medição da ET. São baseados no balanço de energia, onde o princípio da conservação da energia é aplicado, e toda energia que chega à superfície deve ser igual à que sai no mesmo período, porém os custos de implantação são altos. Em ordem decrescente de investimentos necessários temos: Scintilômetros, Eddy Covariance, Razão de Bowen e Surface Renewal.

2.5. SENSORIAMENTO REMOTO NA AGRICULTURA IRRIGADA

Autores como Costa e Silva (2007) destacaram como grande vantagem do sensoriamento remoto a manipulação de um elevado número de dados, aliada a precisão dos resultados obtidos. Em virtude dos altos custos de implantação, a complexidade dos cálculos e pelo aspecto pontual das avaliações dos métodos de medição direta de ET, algoritmos baseados em sensoriamento remoto, combinados com informações provenientes de estações agrometeorológicas em terra para

estudos da evapotranspiração atual, determinação de coeficientes de cultura e outros indicadores de desempenho do uso da água, foram desenvolvidos e calibrados com o auxílio dos métodos micrometeorológicos. A principal limitação das aplicações destes é a repetitividade dos dados, onde as imagens do satélite Landsat TM estão disponíveis apenas a cada 16 dias, e quando da ocorrência de nuvens que impossibilitem a visualização clara a área de estudo.

Segundo Trezza (2005), SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*), descrito em Bastiaanssen et al. (1998), tem sido aplicado em diversos países em desenvolvimento, associado ao processamento de imagens de satélite para calcular a evapotranspiração como um resíduo do balanço de energia de superfície, através dos dados coletados pelo *Landsat Thematic Mapper* (TM), como a radiação visível, infravermelho próximo e infravermelho térmico. A principal vantagem do SEBAL é a necessidade de uma quantidade mínima de dados de solo, enquanto que o METRIC (*Mapping Evapotranspiration at high Resolution and with Internalized Calibration*) é uma forma otimizada do método, desenvolvido e descrita por Allen et al., (2007a) e Allen et al. (2007b), para fornecer um melhor controle dos componentes do balanço de energia no solo, usando a evapotranspiração de referência calculada a partir do método padronizado de Penman -Monteith.

Com princípios semelhantes ao balanço de energia, SAFER (*Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving*), descrito em Teixeira, 2010; Teixeira et al., 2013, está baseado na modelagem da razão da evapotranspiração atual, mensuradas pela aplicação do algoritmo nas cenas de satélite, e a de referência, obtida em estações agrometeorológicas. Segundo Teixeira et al. (2013), o SAFER é de simples aplicação, pois não é necessária a classificação da vegetação, dispensa a verificação das condições hidrológicas extremas pelo operador e a necessidade de conhecimentos específicos sobre a física da radiação. Como forma de aprimorar a metodologia utilizada no algoritmo, Hernandez et al., (2014) apresentam novos coeficientes de ajustes na equação original para culturas anuais sob condição de irrigação no Noroeste Paulista.

2.5.1. TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE E NDVI

No mundo, as variações da temperatura de superfície vêm sendo muito exploradas em estudos ambientais e de mudança no uso e ocupação da superfície

terrestre. Por exemplo, Franco et al., (2016) analisaram a temperatura de superfície sob diferentes condições ambientais e agroecossistemas na bacia hidrográfica do Baixo Tietê, e encontraram diferentes valores para cada superfície, variando entre 23,8 e 25,85°C para corpos hídricos; de 15,85 a 21,85°C para culturas de interesse agrícola irrigadas; e de 39,85°C para locais com solo nu. Amendola et al., (2015) estudaram a variabilidade espacial da temperatura de superfície em ecossistemas sensíveis no Noroeste do estado de São Paulo e verificaram resultados variando de 24,6°C, para áreas com mata nativa, até 36,1°C para ambientes cujo solo estava exposto, concluindo que a cobertura do solo é um fator determinante na temperatura de superfície.

A temperatura tem grande importância no desenvolvimento e na floração das plantas, e, portanto, na produção final das culturas. Diversos autores estudaram a influência desta variável nas plantas cítricas, como Moss (1969), que em ambiente de temperatura do ar controlada, encontrou evidências que valores diários maiores que 30°C prejudicaram a formação de flores. Sentelhas (2005) afirma que em pomares cuja temperatura ultrapassa 40°C aumentam as probabilidades de ocorrerem injúrias em frutos, folhas e tecidos, sendo um problema frequente em países com grande potencial produtivo de citros de clima tropical e subtropical. A temperatura também possui influência na qualidade da produção, sendo que em climas quentes, os frutos possuem coloração interna e externa pouco intensa, com teores mais baixos de açúcares e principalmente de acidez, o que resulta em frutos mais doces (EMBRAPA, 2005).

O conceito que temperatura e umidade relativa do ar são inversamente proporcionais é amplamente conhecido, e levam grande parte dos consultores e produtores do setor citrícola a acreditar que a forma como a água será aplicada na irrigação pode inferir na temperatura e, assim, ser um diferencial para o abortamento ou indução floral.

Outra aplicação do monitoramento da temperatura do dossel por imagens termais foi evidenciada por Ballester et al. (2013), que afirmaram ser uma ferramenta útil para evitar níveis de estresse hídrico nas plantas cítricas sob irrigação deficitária, o que poderia reduzir o peso do fruto e, portanto, as receitas obtidas pelos produtores. Ballester et al., (2014) analisaram a temperatura de superfície, em um total de 11 árvores sob três tratamentos de irrigação sendo: um tratamento de controle, composto por quatro árvores irrigadas a 100% da evapotranspiração da

cultura (ET_c); um tratamento com déficit hídrico regulado composto por outras quatro árvores irrigadas a 35% ET_c de julho a meados de setembro e; três árvores adicionais em que a irrigação foi retirada durante cinco semanas consecutivas e depois retomou como no tratamento de déficit regulado. Os autores concluíram que a temperatura do dossel pode ser usada com sucesso para detectar o estresse hídrico das plantas de citros quando há árvores deficitárias e bem irrigadas no mesmo pomar.

Amendola et al. (2017) usaram polígonos com valores semelhantes de NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index* (índice de vegetação por diferença normalizada), para isolar o fator cobertura de solo na influência da temperatura de superfície mensurada por satélite, e encontraram uma correlação de 0,82, considerada alta, entre NDVI e temperatura de superfície. Entretanto, os efeitos dessas variáveis são pouco estudados em relação a irrigação, e o tema se restringe ainda mais quando filtramos os resultados das buscas para suas aplicações em citros.

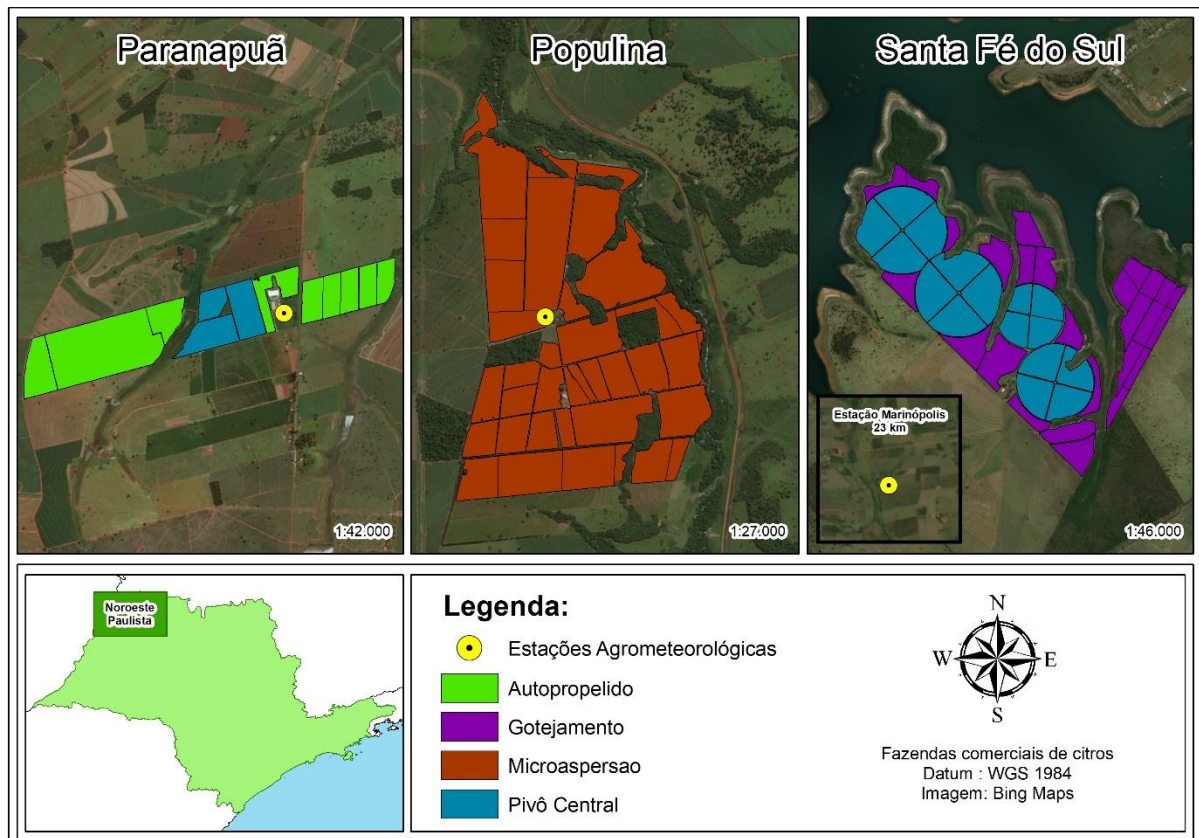
Entre os mais diversos usos do NDVI na agricultura, é possível incluir a estimativa da evapotranspiração atual. Bezerra et al., (2010) estimaram a ET diária e sazonal do algodão através da relação entre o coeficiente de cultura dual (descrito por Allen et al., 1998) e NDVI, obtido através do processamento de imagens do satélite Landsat 5. Os resultados obtidos foram comparados com a ET estimada através da razão de Bowen e foram considerados de nível de precisão satisfatório, com diferenças inferiores a 10%.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. LOCALIZAÇÃO

Neste trabalho foram utilizados dados de três fazendas comerciais cultivadas com citros nos municípios de Populina, Paranapuã e Santa Fé do Sul, localizadas no Noroeste do Estado de São Paulo, conforme indicado na Figura 1. Segundo Alvares et al. (2013), que estudando os valores médios anuais de parâmetros agrometeorológicos usando a classificação de Köppen para o Brasil, o clima na região é o Aw, a temperatura média diária varia entre 22 e 24°C e a precipitação de 1000 a 1300 mm por ano, concentradas de outubro a março, valores próximos ao sinalizado por Silva Junior (2017) em pesquisa na mesma região, que encontrou média de 1.281 mm.

Figura 1: Localização das áreas comerciais e sistemas de irrigação.

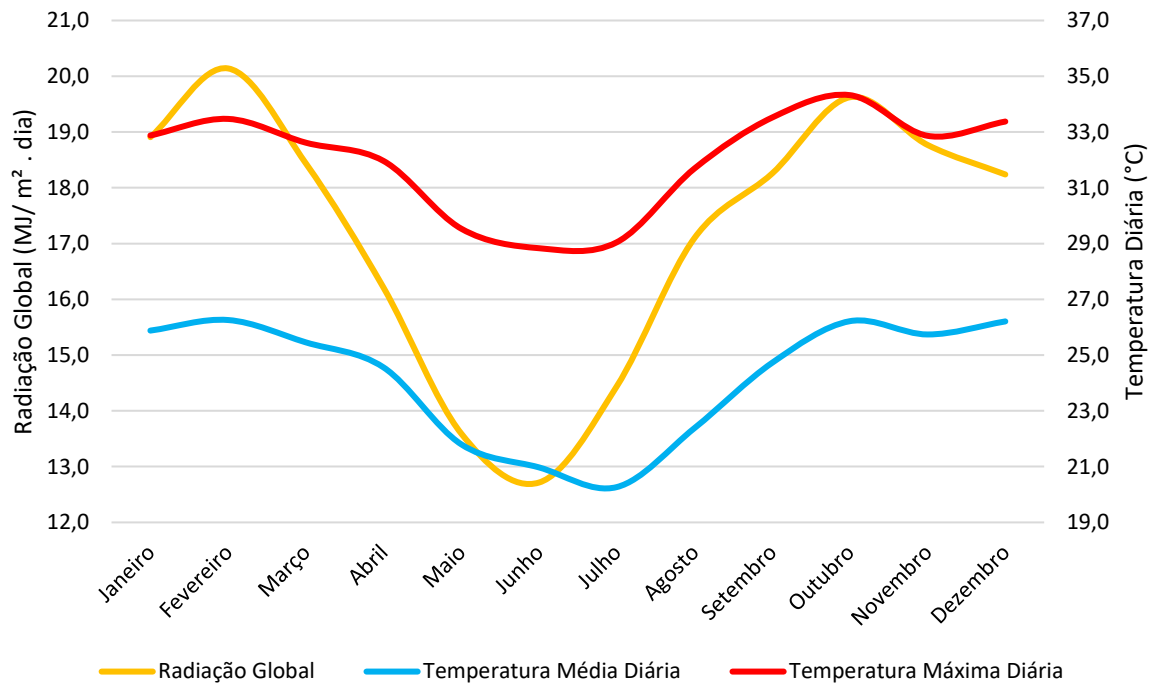


Fonte: próprio autor.

A radiação global e as temperaturas máximas e médias diárias na região durante o período de 2012 a 2017, estão representadas na Figura 2, e é nítida a queda nos valores de radiação durante o mês de junho, fato natural devido à

proximidade ao solstício de inverno, ou seja, quando o sol chega ao seu ponto mais distante do plano da linha do Equador.

Figura 2: Radiação Global e temperaturas máximas e médias diárias na região Noroeste Paulista.



Fonte: adaptado de UNESP, 2018.

De forma geral, os fatores avaliados foram os sistemas de irrigação sendo: gotejamento, microaspersão, pivô central e autopropelido - ou carretel enrolador - e a idade do pomar, que foi agrupada segundo a condição fenológica em 2, sendo: plantas jovens e adultos. A classe adulta foi considerada plantas acima de 3 anos, tendo como referência o ano de 2017, e que já apresentavam produção de frutos, seguindo o modelo do Fundecitrus (2017). Ao total foram analisados 877 hectares, sendo 23% da área total irrigada por gotejamento, 28% por microaspersão, 16% por autopropelido, ou carretel enrolador, e 33% por pivô central. É importante destacar que tais sistemas foram escolhidos por suas peculiaridades, como os sistemas de irrigação pertencentes ao método de irrigação localizada - gotejamento e a microaspersão - onde não ocorre o molhamento da entrelinha e apenas a base da planta recebe a lâmina proveniente da irrigação, enquanto o método de aspersão simula uma chuva e ocorre o molhamento total da área.

3.2. CARACTERIZAÇÃO DOS POMARES

A caracterização dos pomares foi possível após visitas em campo, e para tanto foram elaboradas as Tabelas 1, 2 e 3. A Tabela 1 mostra os tipos de copas cultivadas nas três fazendas alvos do estudo. Ao analisarmos a área plantada, a copa da laranja Pera representa 46% do total, a tangerina “Ponkan” 29% e a lima ácida Thaiti com 17% do total. A diversificação do pomar é uma prática comum na citricultura, pois assim o produtor tem frutos no pomar durante todo o ano e assim ocorre a geração de renda contínua.

O predomínio destas três copas não é por acaso. A lima-ácida Thaiti emite mais de uma florada ao ano, sendo colhida durante toda a temporada, e no cultivo irrigado, espera-se maior qualidade dos frutos de mesa e para a indústria um bom volume de suco. A laranja Pera também pode ser comercializada para mesa ou para indústria, sendo o primeiro caso mais vantajoso economicamente para o produtor. Esta laranja é programada para colheita nos meses de fevereiro e março pelos produtores, porém pode emitir de 2 a 3 floradas durante o ano, o que não vem a ser desvantagem no caso da citricultura irrigada, pois o florescimento fora de época pode levar a colheita dos frutos durante os preços mais altos. O plantio da tangerina Ponkan também é comum na região e o auge da colheita nas fazendas estudadas ocorre durante os meses de março e abril. A Ponkan é a tangerina de maior aceitação na mesa dos brasileiros, devido a concentração de açúcares, grande volume de suco e facilidade de descasque.

Nas propriedades estudadas ainda ocorre o plantio do híbrido de tangerina e laranja doce cultivar Murcote e da laranja Lima, ambas destinadas a indústria, porém em área muito menor que quando comparadas aos outros citros anteriormente citados.

Tabela 1: Área irrigada e plantada com citros nas 3 fazendas estudadas por copas.

	Copas	Sistemas de Irrigação				Total (ha)	Total (%)	Municípios			Total (ha)
		Autopropelido	Pivô Central	Microaspersão	Gotejamento			Populina	Paranapuã	Santa Fé do Sul	
Área plantada (ha)	Lima	0	16	0	29	46	5%	0	16	29	46
	Pera	41	190	68	106	405	46%	68	41	296	405
	Murcote	0	0	0	20	20	2%	0	0	20	20
	Ponkan	80	15	144	17	255	29%	144	80	31	255
	Thaiti	25	61	36	30	151	17%	36	48	67	151
	Total	146	282	248	202	877	100%	248	186	444	877
Área plantada (ha)	Laranjas	41	207	68	135	451	51%	68	57	326	451
	Tangerinas	80	15	144	36	275	32%	144	80	51	275
	Lima Ácida	25	61	36	30	151	17%	36	48	67	151
	Total	146	282	248	202	877	100%	248	186	444	877
Condição da planta	adulta	132	245	244	171	792	90%	*	*	*	*
	jovem	13	37	4	31	85	10%	*	*	*	*
	Total	146	282	248	202	877	100%	*	*	*	*

Fonte: próprio autor.

A Tabela 2 indica a localização dos sistemas de irrigação de acordo com a localização das fazendas. O sistema de irrigação sobrecopa autropelido, ou carretel enrolador, está presente apenas na fazenda localizada no município de Paranapuã, que ainda abriga 14% do total de área irrigada por Pivô central deste estudo. A fazenda localizada no município de Santa Fé do Sul abriga 242 hectares de pivô central e 202 hectares de gotejamento, o que representa 86% da área total do primeiro sistema e toda a área do segundo sistema. No município de Populina a fazenda alvo deste estudo é totalmente irrigada pelo sistema de microaspersão, o que representa 248 hectares.

Tabela 2: Área de citros irrigada em cada fazenda, diferenciadas por municípios.

	Município	Autopropelido	Pivô Central	Microaspersão	Gotejamento	Total
Área Irrigada (ha)	Santa Fé do Sul	0	242	0	202	444
	Paranapuã	146	40	0	0	186
	Populina	0	0	248	0	248
	Total	146	282	248	202	877
% de área irrigada	Santa Fé do Sul	0%	86%	0%	100%	*
	Paranapuã	100%	14%	0%	0%	*
	Populina	0%	0%	100%	0%	*
	Total	100%	100%	100%	100%	*

Fonte: próprio autor.

A Tabela 3 indica a altura (em metros) e o coeficiente de cobertura por condição fenológica e tipos de copas. Tal coeficiente indica a relação de cobertura da copa e o espaçamento de plantio utilizado. Podemos notar que ocorrem diferenças na altura de copa. Sendo as tangerineiras mantidas em média de 4,4 m de altura e Kr de 68% entre as plantas adultas, as laranjeiras mantidas a 3,9 m e 72% de cobertura, enquanto as limas ácidas Thaiti são mantidas a 2,6 m e 58%.

A explicação para a lima ácida “Thaiti” ter um porte de copa menor inclui as características naturais desta copa e também no porta-enxerto sob o qual está sendo cultivada. A maior parte da lima ácida cultivada na região está plantada sobre o limão cravo, cujo entre as principais características podemos destacar a resistência à seca e ainda conferir porte nanicante às árvores, viabilizando e facilitando assim a colheita dos frutos nas limeiras.

Tabela 3: Coeficiente de cobertura por condição fenológica e tipos de copas.

Condição Fenológica	Município	Lima Ácida		Laranjeira		Tangerineira		Citros	
		Altura (m)	Kr (%)	Altura (m)	Kr (%)	Altura (m)	Kr (%)	Altura (m)	Kr (%)
adulta	Paranapuã	2,5	65%	3,4	62%	3,9	48%	3,3	58
	Populina	3,1	59%	3,8	74%	4,7	76%	3,9	70
	Santa Fé do Sul	2,2	50%	4,6	81%	4,7	81%	3,8	71
Jovem	Paranapuã	1,3	23%	*	*	*	*	1,3	23
	Populina	2,2	17%	*	*	*	*	2,2	17
	Santa Fé do Sul	3,0	46%	*	*	3,9	37%	2,9	38

Fonte: próprio autor.

3.3. AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DAS IMAGENS

Os parâmetros biofísicos da cultura dos citros foram feitos no software ILWIS, sendo processadas um total de 14 imagens do satélite Landsat 8 (cenas) de nível 1, ortorretificadas, com 0% de cobertura de nuvens nas áreas ou locais próximos, de órbita 222 e ponto 074, dos anos de 2016 e 2017 adquiridas na plataforma “Earthexplorer” (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), e disponibilizadas pelo *United States Geological Survey* (USGS), em parceria com a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA).

O satélite capta cenas da região a cada 16 dias e no horário das 10:13 horas, no horário de Brasília. Quando na ocorrência de nuvens nas passagens do satélite foi utilizado a ferramenta *raster calculator*, do aplicativo Arcmap - pacote ESRI ArcGIS - para realizar a média aritmética entre os pixels que compunham os polígonos, delimitados de acordo com cada sistema de irrigação, denominados alvos. Posteriormente os alvos foram filtrados por idade em entrevista presencial com os produtores. A extração dos valores para cada parâmetro biofísico foi realizada com a ferramenta *Zonal Statistics as Table*.

3.3.1. Correção atmosférica

As cenas passaram por correções geométricas baseadas na metodologia de Silva et al., (2012) para produtos do Landsat 8, adaptadas de produtos Landsat 5. O passo seguinte foi a correção radiométrica da cena, eliminando possíveis distorções provenientes de sensores ou da própria Terra (GARCIA et al., 2014). As correções

radiométricas seguiram a metodologia de Ariza (2013) e Vanhellemont e Ruddick (2014), para as bandas 1 a 7, 10 e 11. Da seguinte forma:

$$L\lambda = M_L Q_{cal} A_L$$

onde: M_L é o fator multiplicativo de dimensionamento específico, A_L é o fator aditivo de dimensionamento específico.

A conversão para valores de reflectância para cada banda de acordo com:

$$\rho_\lambda = \frac{L_\lambda \pi}{ESUN_\lambda \cos\theta_s E_0}$$

em que, ρ_λ é a reflectância planetária no topo da atmosfera (TOA), π é a constante matemática pi, $ESUN_\lambda$ é a irradiância solar média no topo da atmosfera para cada banda (Tabela 2 ; em $W m^{-2} \mu m^{-1}$), θ_s é o ângulo zenital solar no momento da aquisição (rad), E_0 é a correção da distância entre o sol e a terra (unidades astronômicas).

A banda planetária de albedo em TOA (α_{TOA}) é a somatória dos produtos entre o albedo de cada banda e seus respectivos pesos, de acordo com a Tabela 4.

$$\alpha_{TOA} = \sum(\omega_\lambda \rho_\lambda)$$

Onde ω_λ é dado por (ALLEN et al., 2002):

$$\omega_\lambda = \frac{ESUN_\lambda}{\sum ESUN_\lambda}$$

O albedo de superfície foi calculado com base na equação de regressão apresentada por Teixeira et al., (2009a)

$$\alpha_0 = 0,6054 \alpha_{TOA} + 0,08$$

Tabela 4: Faixa Espectral, irradiância no topo da atmosfera para cada banda do satélite Landsat 8.

Banda	Faixa espectral	ESUN λ	ω_λ
	μm	$W m^{-2} \mu m^{-1}$	*
B1	0,43 - 0,45	1718,8	0,10
B2	0,45 - 0,51	1810,4	0,31
B3	0,53 - 0,59	1741,7	0,30
B4	0,64 - 0,67	1558,3	0,13
B5	0,85 - 0,88	962,5	0,08
B6	1,57 - 1,65	206,3	0,05
B7	2,11 - 2,29	68,8	0,04

Fonte: adaptado de Nuñez (2016).

3.3.2. Cálculo da temperatura de superfície e NDVI

Devido as altas temperaturas da região no período de florescimento, o estudo da temperatura de superfície dos citros em ambientes irrigados torna-se essencial para detectar diferenças que possam levar à manutenção e desenvolvimento da florada nas plantas no ano.

Para se analisar a temperatura de superfície foi necessário dividir as plantas em duas categorias: as jovens e as adultas. As áreas de plantas jovens ofereciam uma menor cobertura vegetal e tal exposição do solo resultam em uma temperatura de superfície média do polígono mais elevada, o que não ocorre nas plantas adultas, onde a cobertura vegetal pelas plantas cítricas predominava.

Foi realizada uma análise prévia das temperaturas de superfície entre os sistemas de irrigação por autopropelido, pivô central, microaspersão e gotejamento, e verificou-se que os sistemas pertencentes ao método de irrigação por aspersão apresentavam as menores médias de temperatura de superfície, assim, visando uma comparação entre métodos, foi escolhida a área comercial de citros de Santa Fé do Sul para uma análise mais apurada, e então uma comparação para diferenciar a temperatura de superfície nos sistemas de gotejamento (método de irrigação localizada) e o pivô central (método de irrigação por aspersão) dentro de uma mesma fazenda, aplicando as mesmas técnicas de manejo fitossanitário e fitotécnico.

Foram escolhidas imagens dos anos de 2016 e 2017 onde não havia nuvens em nenhuma, tampouco nas proximidades, das áreas de interesse resultando na escolha de 12 cenas do satélite Landsat 8, sendo datas apresentadas na Tabela 5. No parâmetro temperatura de superfície (TS), não foram feitas interpolações de datas, explicadas na próxima seção.

Tabela 5: Cenas utilizadas no cálculo da temperatura de superfície.

Datas	
12/07/2016	25/03/2017
13/08/2016	12/05/2017
30/09/2016	15/07/2017
05/02/2017	31/07/2017
21/02/2017	01/09/2017
09/03/2017	17/09/2017

Fonte: próprio autor.

A temperatura de brilho do sensor (T_{bri} ; em K) foi dada pela equação (CHANDER; MARKHAM; HELDER, 2009):

$$T_{bri} = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_\lambda} + 1\right)}$$

em que, $K2$ é a constante de calibração dois ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$) 1321,08 e 480,89, respectivamente, para as bandas 10 e 11, $K1$ é a constante de calibração 1 ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$), 774,89 e 408,89, respectivamente, para as bandas 10 e 11. O valor médio das bandas 10 e 11 foi considerado T_{bri2} para Landsat 8.

A temperatura de superfície (em K) foi calculada com base em coeficientes de regressões realizados por Teixeira et al., (2009a)

$$T_0 = 1,0694T_{bri2} - 20,173$$

O cálculo do NDVI foi dado utilizando a razão entre a diferenciação da refletividade planetária do infravermelho próximo ($\rho_{IV\rho}$) e do vermelho (ρ_V)

$$NDVI = \frac{\rho_{IV\rho} - \rho_V}{\rho_{IV\rho} + \rho_V}$$

3.3.3. Algoritmo SAFER

O modelo SAFER se baseia no sensoriamento remoto para estimar a relação ET/ET_0 dos alvos em uma cena de satélite, e tem como grande vantagem a abrangência de grandes áreas analisadas em um curto período.

A Tabela 6 apresenta as datas das cenas consideradas neste estudo, bem como as três interpolações, que representam a média aritmética entre duas imagens sequenciais, que substituíram as cenas onde havia nuvens nas áreas alvos ou próximo deles.

A relação ET / ET_0 baseada no modelo SAFER seguiu a equação

$$\frac{ET}{ET_0} = \exp \left[a + b \left(\frac{T_0}{\alpha_0 NDVI} \right) \right]$$

onde, a e b são coeficientes de regressão, respectivamente, 1,0 e -0,008 para as condições do Nordeste de São Paulo (HERNANDEZ et al., 2014; TEIXEIRA et al., 2013; TEIXEIRA et al., 2014).

Tabela 6: Cenas aplicadas o algoritmo SAFER.

Datas Satélite		Interpolações
12/07/2016	25/03/2017	28/07/2016
13/08/2016	12/05/2017	06/09/2016
30/09/2016	15/07/2017	18/04/2017
05/02/2017	31/07/2017	
21/02/2017	01/09/2017	
09/03/2017	17/09/2017	

Fonte: próprio autor.

3.4. ESTIMATIVA DA NECESSIDADE DE IRRIGAÇÃO

Foi estimado a necessidade de irrigação para cada sistema nos dias de ETc máxima, mínima e média no período de 12 de julho de 2016 até o início da próxima irrigação em cada fazenda. O volume de água necessário diário (litro planta-1 dia-1) foi calculado para os sistemas de irrigação localizada (gotejamento e microaspersão) pela equação:

$$V = \frac{ET_0 \cdot \left(\frac{ET}{ET_0}\right) \cdot e \cdot E \cdot Kr}{E_f}$$

Onde a ET_0 foi extraída da estação da rede agrometeorológica do noroeste paulista mais próxima (mm/dia), ET/ET_0 foi a obtida utilizando o modelo SAFER para plantas adultas em cada sistema de irrigação; e foi o espaçamento entre plantas, E foi espaçamento entre ruas, E_f a eficiência do sistema segundo Bernardo et al., (2005) e Kr o coeficiente de recobrimento, dado pela equação de Keller e Karmeli (1974):

$$Kr = \frac{CS}{0,85}$$

Onde CS é a cobertura do solo pela planta, dada por:

$$CS = \frac{e' \cdot E'}{e \cdot E}$$

Sendo e' e E' o espaçamento sombreado pela copa das árvores entre planta e entrelinhas, e e o espaçamento de plantio do pomar. No cálculo da demanda hídrica entre as plantas jovens, foi considerado Kr 0,30 ou 30%.

O caminhamento para amostragem dos dados de cobertura do solo se deu em “zigzague”, pelos carregadores das fazendas, de forma que todos os talhões

fossem amostrados. A cada 10 linhas de plantas dos talhões a décima árvore foi amostrada.

A estimativa da necessidade de irrigação diária para os sistemas de irrigação por aspersão (pivô central e autopropelido) dos citros para produção máxima possível foi estimada a partir da equação (ALLEN et al., 1998) dividida pela eficiência do sistema como se segue:

$$LB_{FAO\ 56} = \frac{ET_o \cdot K_c}{Ef}$$

Onde $LB_{FAO\ 56}$ é a lâmina bruta e é dada pelo produto entre a evapotranspiração de referência (ET_o), obtidas nas estações da Rede Agrometeorológica do Noroeste Paulista, e o coeficiente de cultura (K_c), com valor adimensional de 0,7, para os citros adultos com 70% de cobertura vegetal das plantas e entrelinha com cobertura vegetal ativa, disponível em Allen et al., (1998) e a eficiência do sistema (Ef), em porcentagem, considerada segundo Bernardo et al., (2005).

Por considerarmos alvo áreas comerciais, temos de considerar a ocorrência de problemas fitotécnicos e fitossanitários, como ataque de pragas e doenças, que resultam em uma produção e, conseqüentemente, uma necessidade hídrica menor. A lâmina bruta ($LB_{FAO\ 56}$) dá lugar então á lâmina bruta real (LB_r), em mm/dia, e o coeficiente de cultura passa a ser estimado pelo algoritmo SAFER (ET / ET_o) neste estudo. Então a lâmina bruta real necessária foi calculada por:

$$LB_r = \frac{ET_o \cdot \left(\frac{ET}{ET_o}\right)}{Ef}$$

Foram consideradas as eficiências de 95% para o gotejamento, 90% para a microaspersão, 80% para o pivô central e 70% para os sistemas sobre copa carretel enrolador ou autopropelido (Bernardo et al., 2005).

3.5. ÁGUA APLICADA

Em entrevista presencial com os citricultores e eles foram questionados quanto aos critérios que utilizavam para iniciar a irrigação, desde a decisão da data de início no ano, passando pela forma de manejo até o cessamento da irrigação por retomada das chuvas na região. De maneira geral, os produtores informaram que utilizaram critérios visuais para iniciar a irrigação, como secagem da superfície do

solo e início de “retraimento da parte aérea”. A irrigação normalmente se inicia nos meses de maio e junho para as copas de lima ácida Thaiti e de julho a agosto para as copas de Tangerina Ponkan e Laranja Pera.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE ENTRE OS SISTEMAS

Na análise entre todos os sistemas de irrigação foi necessário levar em consideração a condição fenológica das plantas, pois esta condição determinará a cobertura da planta cítrica em relação ao solo e isso influenciará diretamente na temperatura de superfície, entretanto, em nenhuma das análises de Temperatura de Superfície (TS) a interação entre os fatores sistemas de irrigação e condição fenológica foi significativa.

Na análise da Tabela 7 vemos as médias de TS divididas por sistemas de irrigação entre o Período Seco e o Período Úmido na região. No período Úmido os sistemas de microaspersão e pivô central diferiram estatisticamente dos demais, e obtiveram médias de 23,8 e 23,9° C respectivamente, enquanto gotejamento e autopropelido tiveram médias de 24,2 e 24,3°C, representando uma diferença de 0,5°C entre a maior e a menor média. Apesar dessas diferenças nas médias, não podemos inferir que houve influência dos sistemas de irrigação, pois as diferenças pareceram sofrer grande influência da distribuição das chuvas na região, e os sistemas encontravam-se inativos pelos produtores.

Os citricultores relataram que costumam acionar os sistemas de irrigação no período de maio a outubro, mesmo período caracterizado como seco na região. Neste intervalo as maiores médias foram observadas nos sistemas de irrigação pertencentes ao método de irrigação localizada do tipo gotejamento e microaspersão com 27,0 e 26,8°C respectivamente. O método de irrigação sobrecoxa autopropelido teve média de 26,4°C no mesmo período enquanto que o Pivô Central teve médias de 25,6°C. Estes resultados podem estar relacionados ao fato que o método de irrigação por aspersão, ao simular a chuva e adicionar água em toda a superfície da área gera um ambiente de maior conforto entre as plantas, evidenciado pela menor temperatura nas áreas irrigadas por este método.

Na análise sobre a TS entre plantas adultas e plantas jovens, verificou-se uma diferença significativa, pelo teste de Scott-Knot com 95% de confiança, entre os estandes. Entre as plantas adultas a temperatura de superfície foi em média 1,4°C menor que nas plantas jovens durante o período seco, o que pode ser explicado pela cobertura vegetal proporcionada pela copa das árvores. Notou-se que quanto

maior o Kr (tabela 3), menor a elevação da TS, indicando menor perda de umidade no solo por evaporação da água nas entrelinhas de plantio e, conseqüentemente, menor a elevação da TS.

Tabela 7: Temperatura de superfície entre os sistemas de irrigação durante o período seco.

Sistemas	Período Seco	Período Úmido
	°C	°C
Gotejamento	27,0 B	24,2 B
Microaspersão	26,8 B	23,8 A
Autopropelido	26,4 B	24,3 B
Pivô Central	25,6 A	23,9 A
Condição		
Adulta	26,4 A	23,9 A
jovem	27,8 B	24,6 B
C.V. (%):	12,56	4,3

Nota: Letras Maiúsculas nas colunas diferem as médias significativas pelo teste de Scott-Knot, com 95% de confiança.

Fonte: próprio autor.

Ainda na Tabela 7, apenas o Pivô Central diferiu dos outros sistemas de irrigação, diminuindo a temperatura de superfície em 1,4°C. Este desempenho se deve principalmente pela forma como a água é aplicada. O molhamento total da área e a pressurização do sistema, permite o lançamento da água na atmosfera com partículas menores que no autopropelido, e simule um efeito próximo ao oásis, e gera um ambiente mais propício para o desenvolvimento, florescimento e manutenção dos frutos nas plantas.

Afim de quantificar a diferença na temperatura de superfície entre os métodos de irrigação por aspersão e localizada, foi elaborada a Tabela 8, tendo como base de comparação a fazenda de Santa Fé do Sul, sendo isolados os fatores de manejos fitotécnicos e fitossanitários, uma vez que são praticados da mesma forma para toda a fazenda e tendo como fonte de variação apenas os sistemas de irrigação.

Tabela 8: Temperatura de superfície (°C) entre sistemas de irrigação em Santa Fé do Sul - SP.

Sistema	Período Seco	Período Úmido
Gotejamento	27,0 B	24,2 B
Pivô Central	25,4 A	23,8 A
Condição Fenológica		
Jovem	27,8 B	24,4 B
Adulto	26,1 A	23,9 A
C. V. (%)	11,4	4,3

Nota: Letras Maiúsculas nas colunas diferem as médias significativas pelo teste de Scott-Knot, a 5% de significância.

Fonte: próprio autor.

Nas mesmas condições, o Pivô Central teve média de 25,4 °C, enquanto o Gotejamento teve média de 27,0°C, diferindo em 1,6°C com confiança de 95%, no período em que os sistemas de irrigação são utilizados pelos produtores. Segundo UNESP (2018), a temperatura máxima diária do ar durante o período seco é de 30,8°C, chegando a 33,9°C durante o mês de outubro, portanto, a diminuição de 1,6°C nesta variável pode significar uma diferença crucial no desenvolvimento da florada e manutenção dos frutos na planta cítrica. A temperatura ótima de florescimento está entre 25 e 30°C e a combinação de baixa umidade do solo e elevadas temperaturas (maiores que 35°C) podem ocasionar queda na taxa de florescimento e ainda levar a abscisão dos frutos de diâmetro entre 0,5 e 2 cm (SENTELHAS, 2005). Este resultado é próximo do encontrado por Amendola et al., (2017), que compararam a TS entre estes mesmos sistemas em uma data específica e encontraram diferença de 2,2°C.

A Figura 3 mostra a distribuição espacial da TS nos polígonos da fazenda comercial em Santa Fé do Sul nas 12 imagens analisadas. Nas cenas das datas 12 de julho, 13 de agosto e 30 de setembro em 2016, 15 e 31 de julho e 01 e 17 de setembro de 2017 são referentes ao período seco, enquanto as imagens das datas de 5 e 21 de fevereiro, 09 e 25 de março e 12 de maio de 2017 são referentes ao período úmido na região.

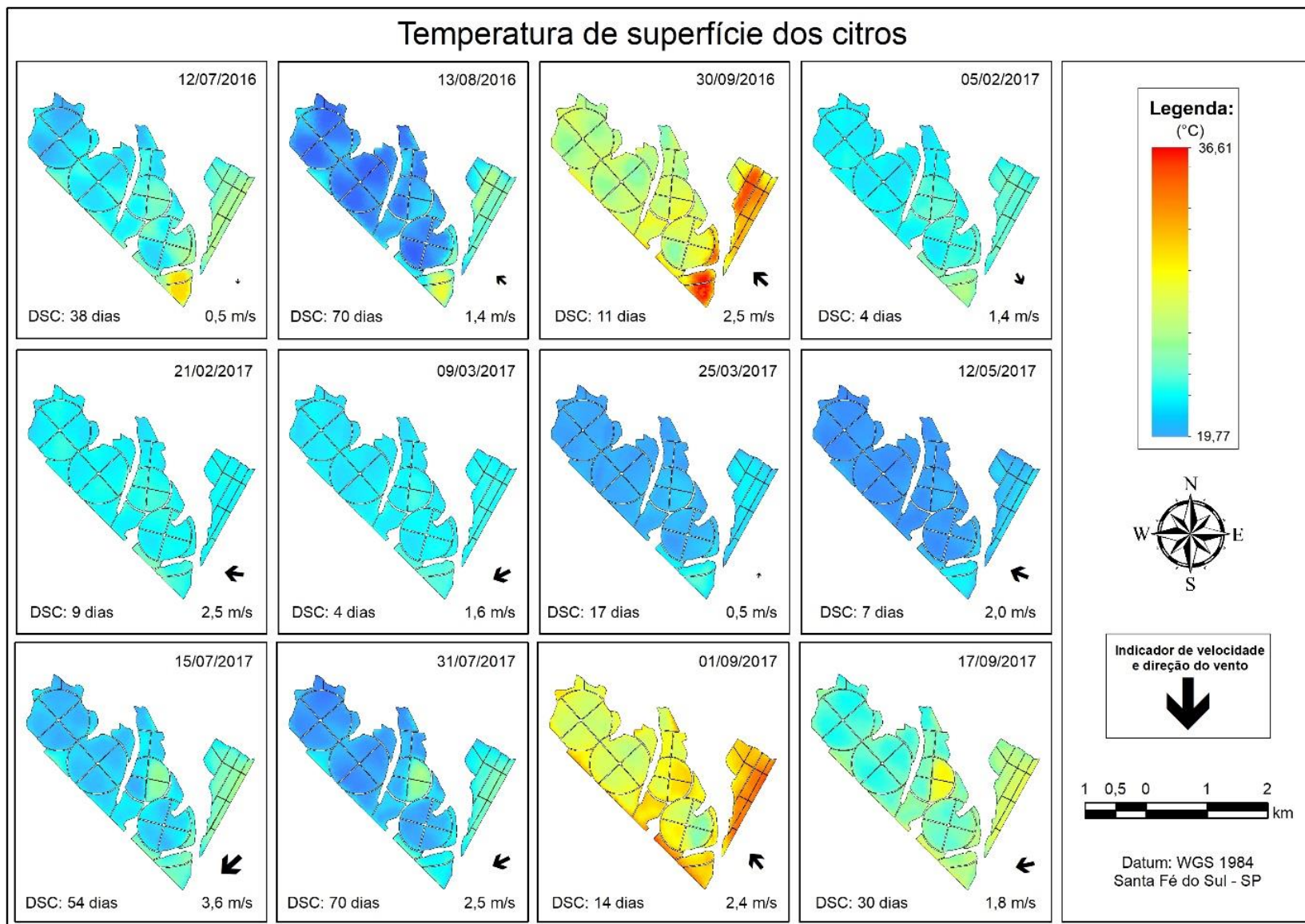
Notamos que nas imagens onde os dias sem chuva (DSC) são maiores que 10 dias as diferenças são mais pronunciadas. É importante salientar que a propriedade é limitada por um braço do rio Paraná ao norte, portanto quando o vento médio provém das direções Norte, Nordeste e Noroeste, com velocidade superior à 2,0 m/s, ele pode carregar partículas de água e então um efeito de bordadura deve ser considerado.

De forma geral, observa-se uma menor temperatura nas áreas de citros adultas irrigadas por Pivô Central que nas irrigadas por gotejamento, sendo a diferença mais evidente no período seco, com os sistemas de irrigação acionados, enquanto no período úmido esta diferença é pouco pronunciada uma vez que o suprimento de água no solo e na atmosfera provém das chuvas.

No pivô número 3, que é dividido ao meio entre plantas adultas de laranja Pera e outra metade de Lima Ácida "Thaiti" jovem, a diferença entre as condições fenológicas é expressa na maior temperatura das áreas jovens em todas as imagens

analizadas, confirmando visualmente a hipótese levantada nas estatísticas anteriores.

Figura 3: Temperatura de superfície dos citros irrigados pelos sistemas de gotejamento e pivô central.



Fonte: Próprio autor.

4.2. RELAÇÃO ET/ETO E ETA

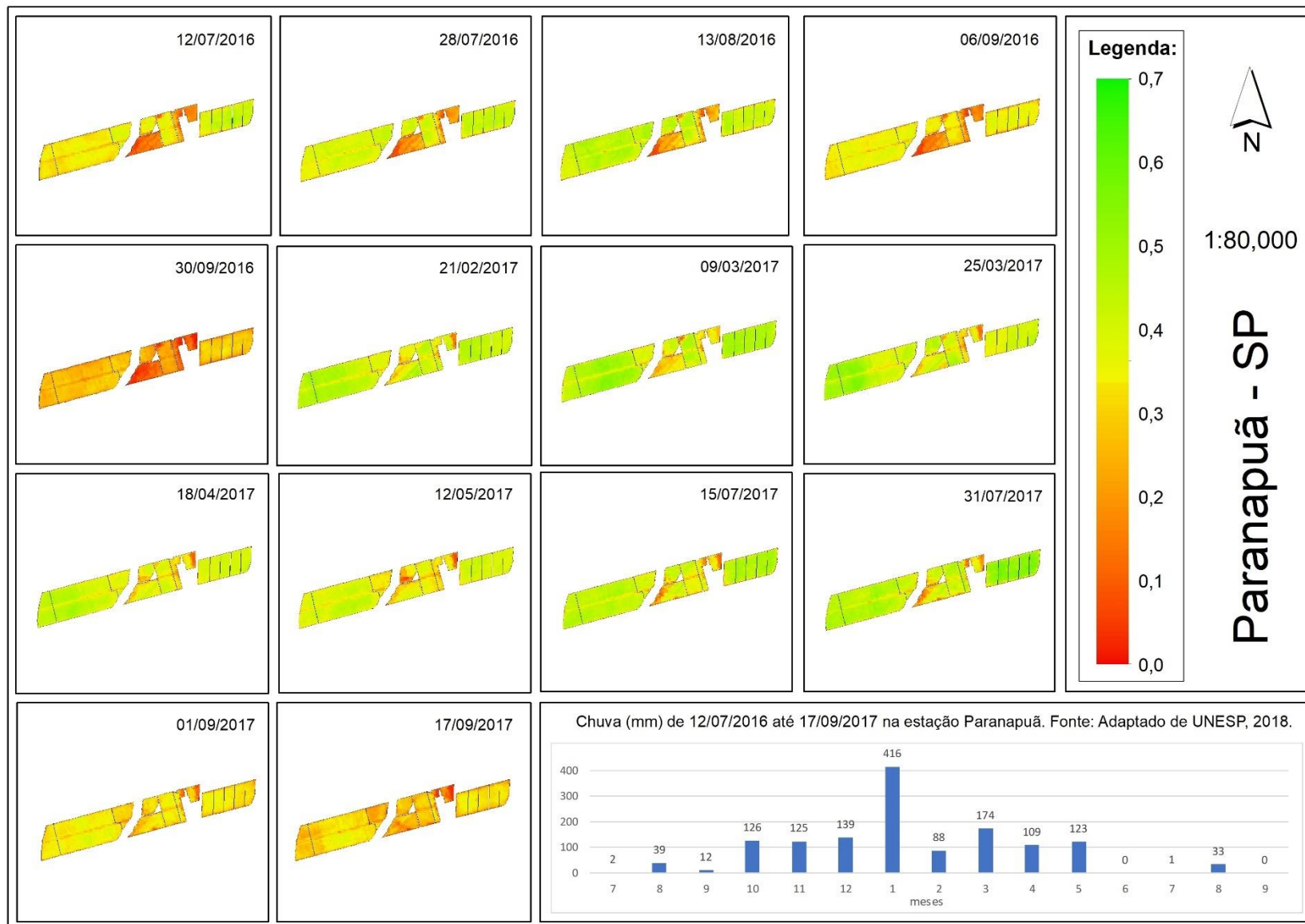
A relação ET/ETO estimada pelo modelo SAFER sofre influência direta das variáveis TS, NDVI e albedo de superfície das plantas, variando de acordo com a espécie, o estado fenológico e manejo agrônômico empregado. As Figuras 4, 5 e 6 mostraram a distribuição espacial da relação ET/ETO estimada por este modelo e o índice pluviométrico mensal nas estações agrometeorológicas mais próximas a cada área. Notou-se que na propriedade de Paranapuã (Figura 4) ocorrem áreas com alguma desuniformidade nas áreas irrigadas por autopropelido, e verificou-se que no período onde os sistemas de irrigação são solicitados, a relação ET/ETO foi muito menor que nos períodos onde o suprimento de água é feito pelas chuvas, indicando que possivelmente estas plantas não tiveram a irrigação total necessária, ou tiveram algum estresse. Segundo o próprio produtor, a quantidade de equipamentos não é suficiente para suprir a demanda da área.

Na propriedade localizada em Populina (Figura 5) a variação de cores é muito pronunciada de acordo com as variedades de copas das áreas, notando ainda algumas irregularidades, que podem ser causadas por problemas, como entupimento dos microaspersores e corte das mangueiras nas linhas de derivação.

Na propriedade de Santa Fé do Sul (Figura 6) notamos valores mais elevados na relação ET/ETO nas áreas irrigadas por pivô central que nas áreas de irrigação por gotejamento, durante o período seco, indicando que a irrigação foi feita de forma mais eficaz nas áreas irrigadas pelos pivôs que nas áreas onde o gotejamento está instalado.

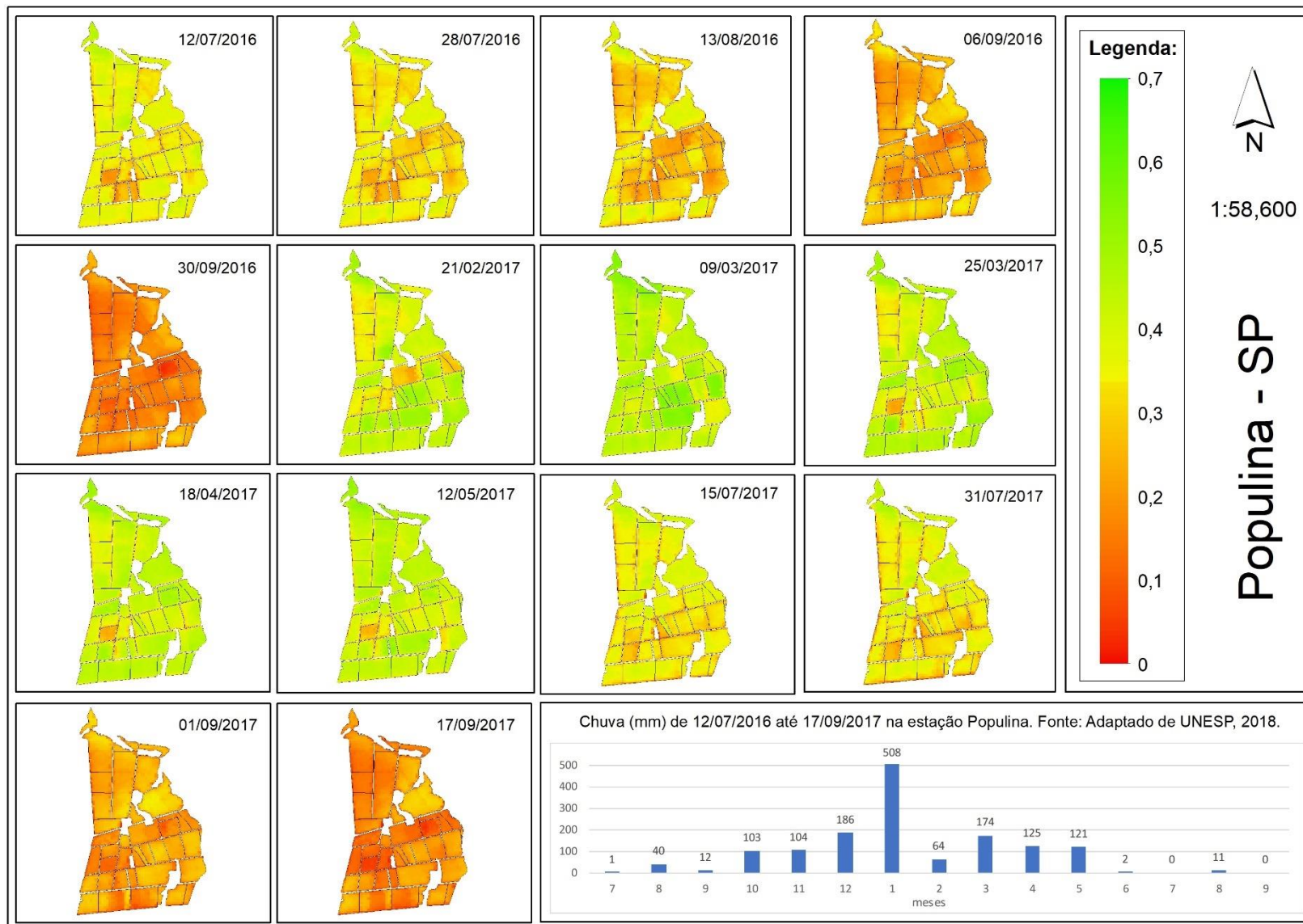
Na análise do período chuvoso, as três propriedades apresentaram valores próximos entre os sistemas de irrigação e com valores mais altos que no período seco. Segundo a Figura 7, mesmo diferenciando os tipos de copas entre laranjeiras, tangerineiras e limeiras ácidas Tahiti, em todos os casos a ETa ocorreu muito abaixo da ETc. No período de 12 de julho de 2016 até a retomada das irrigações em 2017, a somatória da ETc calculada para os citros pelo método FAO 56 foi de 854 mm por safra, enquanto a ETa calculada utilizando o índice do modelo SAFER foi de 472 mm por safra para as laranjeiras, 409 mm por safra para as tangerineiras e 405 mm por safra para a Lima-ácida Thaiti. Os valores de ETc encontrados neste trabalho corroboram com os resultados obtidos por Bernardo et al. (2005), que afirmam que a necessidade hídrica dos citros varia entre 600 e 1.200 mm por ciclo.

Figura 4: Distribuição da relação ET/ETo no município de Paranapuã - SP.



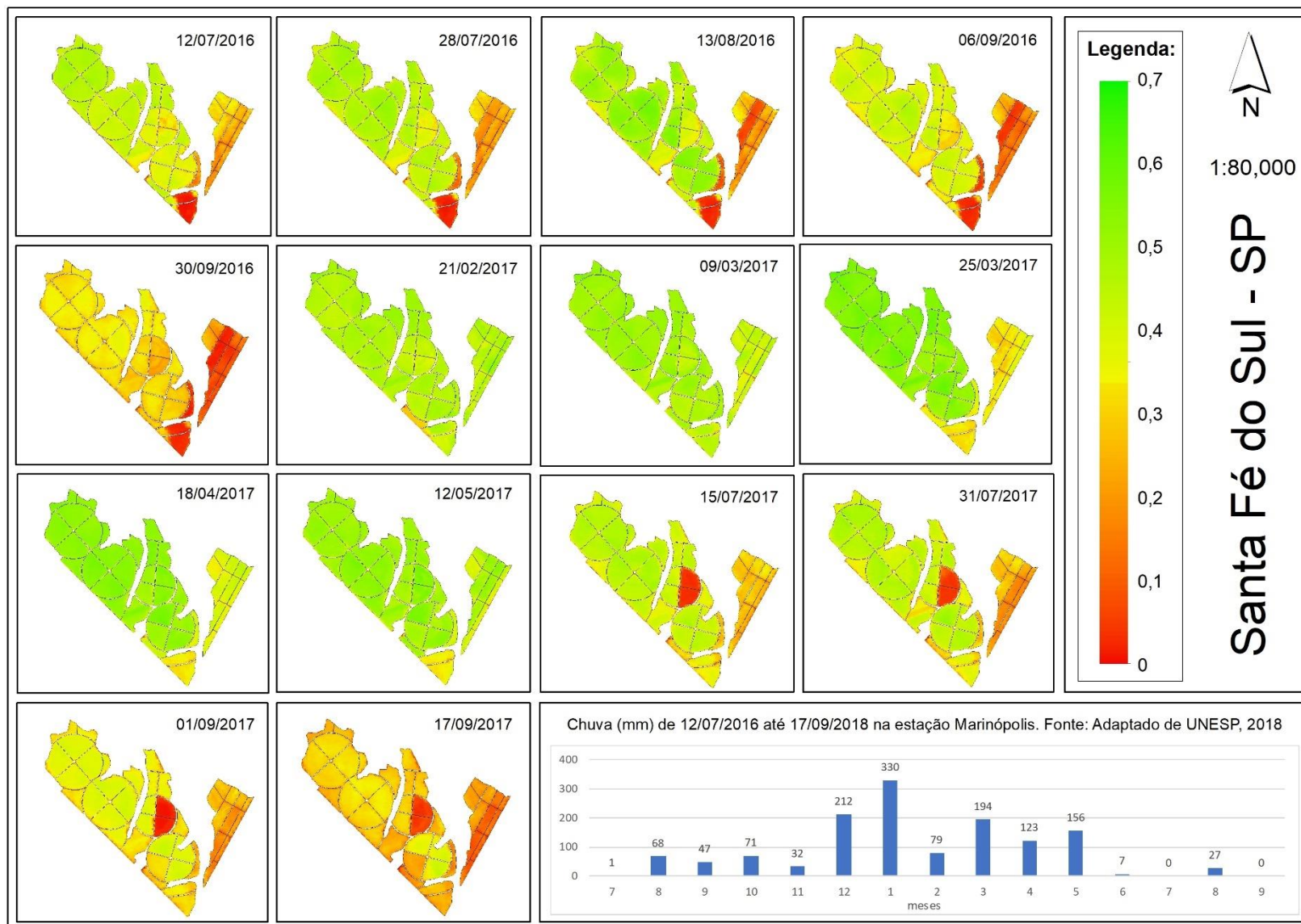
Fonte: Próprio autor.

Figura 5: Distribuição da relação ET/ETo no município de Populina - SP.



Fonte: Próprio autor.

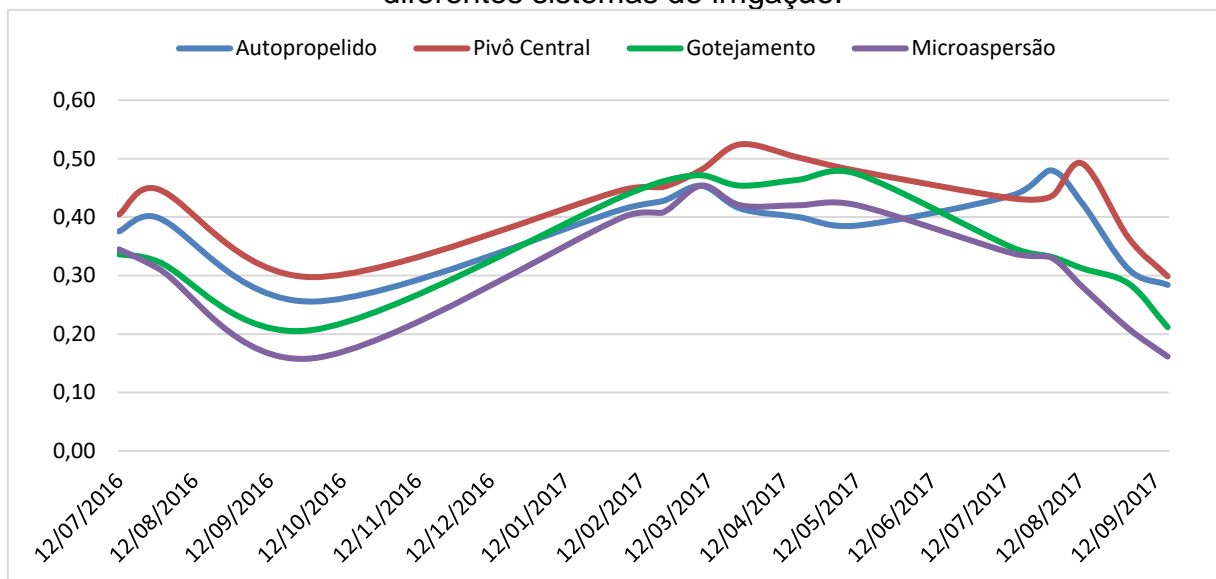
Figura 6: Distribuição da relação ET/ETo no município de Santa Fé do Sul - SP.



Fonte: Próprio autor.

Como resultado das estimativas realizadas pelo modelo foram elaboradas as Figuras 7 e 8. A Figura 7 mostra a distribuição das médias obtidas em cada imagem para os citros na condição adulta em diferentes sistemas de irrigação. Podemos notar semelhanças no comportamento das curvas dos sistemas de irrigação por aspersão, sendo o pivô central com médias ligeiramente maiores que a irrigação sobrecofa do autopropelido, porém os picos do primeiro sistema se deram na imagem seguinte ao do segundo devido á diferença na data de início das irrigações em cada propriedade, o que não aconteceu nas áreas irrigadas pelo método de irrigação localizada, já que as duas propriedades iniciaram as irrigações em datas próximas.

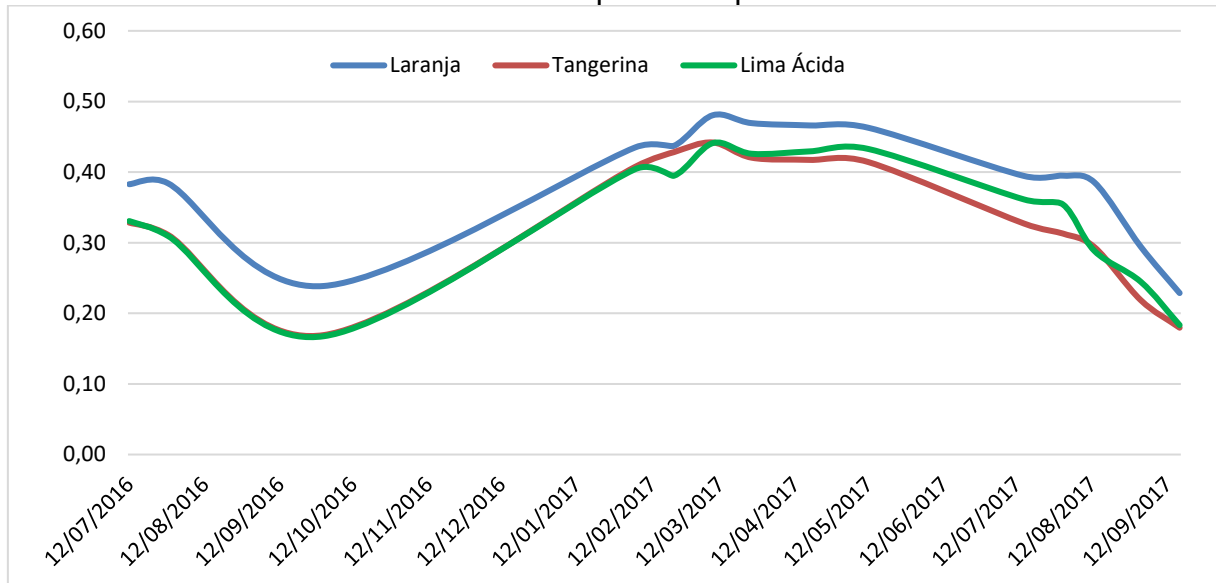
Figura 7: Relação ET/ET₀ obtida no modelo SAFER para plantas adultas em diferentes sistemas de irrigação.



Fonte: próprio autor.

A Figura 8 demonstra a média na relação ET/ET₀, para plantas adultas, nos diferentes tipos de copas de citros no decorrer de todo o período avaliado. Nota-se um comportamento semelhante para as três copas, sendo no período chuvoso da região a maior demanda na relação ET/ET₀. Entretanto, as laranjeiras apresentaram valores superiores ao das Tangerineiras e Limeiras Ácidas, indicando que tal grupo demanda uma maior quantidade de água que os outros dois para desempenhar suas funções fisiológicas.

Figura 8: Relação ET/ETo obtida no modelo SAFER para plantas adultas em diferentes tipos de copas.



Fonte: próprio autor.

Os citricultores parecem utilizar os sistemas de irrigação no Noroeste Paulista como forma de induzir o florescimento nas plantas cítricas na fase final do inverno, e mantêm a irrigação para que as plantas atinjam as maiores demandas no período chuvoso na região.

Os resultados da análise de ET / ETo foram divididos por grupos dos cítricos em: laranjas, tangerineiras e limeira ácida “Thaiti”, afim de diferenciar as copas e demonstrar qual a relação ET/ ETo foi, ou deveria ter sido utilizada, no cálculo da demanda hídrica de cada tipo de citros na região Noroeste Paulista.

4.2.1. Relação ET/ Eto nas laranjeiras

De acordo com a Tabela 9, os valores médios de ET/ETo para as laranjeiras no Noroeste Paulista durante o período úmido foi de 0,45 enquanto que no período seco, foi de 0,35. Neste segundo período, que é quando os sistemas de irrigação são acionados após o período de estresse das plantas, as áreas irrigadas por pivô central e autopropelido retornaram médias de 0,40 e 0,38, respectivamente, e foram consideradas como iguais estatisticamente no teste de Scott-Knot a 5% de confiança, enquanto os sistemas de gotejamento e microaspersão as médias obtidas foram 0,33 e 0,28, respectivamente, sendo o segundo estatisticamente menor entre todos os sistemas.

Tabela 9: Valores médios de ET/ET_o por período para laranjeiras.

Sistema	ET/ET _o SAFER	
	P. Seco	P. Úmido
Autopropelido	0,38 A	0,42 A
Gotejamento	0,33 B	0,47 B
Microaspersão	0,28 C	0,43 A
Pivô Central	0,40 A	0,49 B
C. V. (%):	26,7	12,3

Nota: Letras Maiúsculas nas colunas diferem as médias significativas pelo teste de Scott-Knot, a 5% de significância.

Fonte: próprio autor.

O valor médio de 0,35 durante o período seco encontrado neste estudo para o grupo das laranjas é ligeiramente menor ao indicado por Allen et al., (1998) de 0,7 na região mediterrânea. Porém o valor obtido se aproxima ao encontrado por Silva (2014) em estudo na mesma região. Estes resultados também são próximos ao encontrado por Boman (1994), que para a densidade de 445 árvores por hectare encontrou valores variando de 0,26 até 0,47 nos meses do ano para a variedade de laranja Valência montada sob citromelo Swingle.

4.2.2. Relação ET/ ET_o nas Limeiras Ácidas Tahiti

As áreas de limeiras ácidas estudadas tiveram significância para a interação entre condição fenológica e sistemas de irrigação. A Tabela 10 apresenta os valores médios de ET/ET_o para a limeira ácida Tahiti encontrado neste trabalho para o período seco e para o período úmido. Durante o primeiro período, as plantas adultas apresentaram média de relação ET/ ET_o, estimada pelo modelo SAFER de 0,28, sendo que os sistemas de irrigação por aspersão o pivô central e autopropelido apresentaram as maiores médias estatísticas, com 0,33 e 0,35 respectivamente, e diferiram estatisticamente dos sistemas por gotejamento e microaspersão. Estes sistemas ainda apresentaram diferença significativa nos valores médios de ET/ET_o quanto á condição fenológica, sendo que as plantas adultas apresentaram a relação ET/ET_o significativamente maior que as plantas jovens. No mesmo período, as plantas jovens não apresentaram diferença significativa entre os sistemas de irrigação e obtiveram médias de 0,22.

Na análise do período úmido, os sistemas de irrigação pertencentes ao método de irrigação localizada expressaram diferença significativa na relação ET/ ET_o e obtiveram as maiores médias, entretanto esta resposta pode estar mais

associada as diferenças na distribuição das chuvas em cada propriedade do que a características e eficácia dos próprios sistemas de irrigação.

Tabela 10: Valores médios de ET/ETo por período para Limas Ácidas Thaiti.

Sistema	Período Seco		Período Úmido
	Adulto	Jovem	
Autopropelido	0,35 Aa	0,23 Ab	0,33 B
Gotejamento	0,20 Ba	0,26 Aa	0,42 A
Microaspersão	0,25 Ba	0,19 Aa	0,40 A
Pivô Central	0,33 Aa	0,20 Ab	0,44 A
C. V. (%):	31,44		15,47

Nota: Letras Maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas diferem as médias significativas pelo teste de Scott-Knot, a 5% de significância.

Fonte: próprio autor.

Os resultados obtidos neste estudo para a limeira ácida Thaiti são ligeiramente menores que os indicados por Allen et al., (1998) para condições de plantas adultas de até 4 m e umidade relativa do ar próxima á 45%, entretanto, o valor médio é compatível com o encontrado por Silva (2006) em um lisímetro em Piracicaba, que encontrou valores de 0,36 durante o verão e 0,22 para o período inverno.

4.2.3. Relação ET/ ETo nas tangerineiras

Segundo a Tabela 11, durante o período seco, as áreas cultivadas com tangerineiras sob os sistemas pivô central e autopropelido apresentaram as maiores médias da relação ET/ ETo com 0,36 e 0,35, respectivamente, seguidas do sistema de irrigação por microaspersão com 0,26 e o gotejamento com 0,18, sendo que neste último as médias foram estatisticamente as menores em relação aos outros sistemas, esta fato está ligado á idade das plantas, pois nestas áreas as plantas ainda não possuíam 5 anos desde o seu plantio, o que ficou evidenciado por não haver diferença estatística entre as plantas adultas (com mais de 3 anos desde o seu plantio) e plantas jovens (inferiores á 3 anos de estadia em campo) tanto no período úmido como no seco.

Ainda na tabela 11, a análise do período úmido mostrou não haver diferença entre os sistemas autopropelido, gotejamento e microaspersão, sendo apenas o pivô

central com médias superiores aos demais estatisticamente, e, mais uma vez, esta resposta provavelmente sofreu influência da distribuição das chuvas na região.

Tabela 11: Valores médios de ET/ETo por período para Tangerineiras.

Sistema	Período Seco		Período Úmido	
	Adulto	Jovem	Adulto	Jovem
Autopropelido	0,35 A	*	0,44 B	*
Gotejamento	0,18 Ca	0,18 a	0,42 Ba	0,41 a
Microaspersão	0,26 B	*	0,42 B	*
Pivô Central	0,36 A	*	0,47 A	*
C. V. (%):	31,52		10,37	

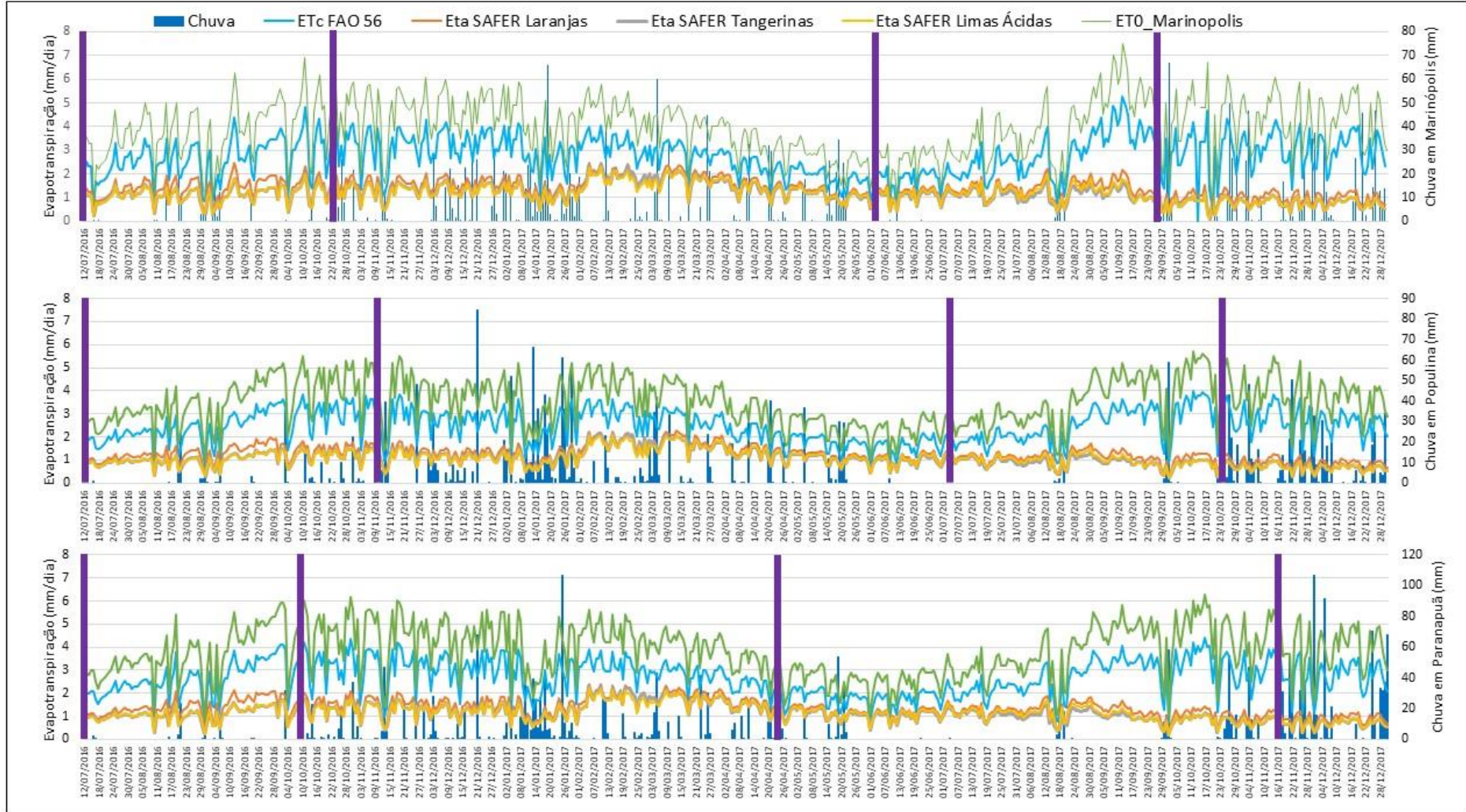
Letras Maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas diferem as médias significativas pelo teste de Scott-Knot, a 5% de significância.

4.3. ESTIMATIVA DA NECESSIDADE HÍDRICA

De posse dos dados de estimativa da relação ET/ ETo para cada tipo de copa dos citros e de dados de ETo da estação agrometeorológica da Rede Agrometeorológica do Noroeste Paulista mais próxima à cada área, foi estimada a ETa para cada tipo de copa em cada uma das propriedades estudadas, e assim foi elaborada a Figura 9, que demonstram em todos os casos que as estimativas de ETa ocorreram abaixo da ETc, calculada utilizando o Kc proposto por Allen et al., (1998), isto nos mostra que as plantas provavelmente não atingiram seu potencial máximo de produção em nenhum período durante as passagens de satélite utilizadas neste trabalho.

No período de 12 de julho de 2016 até a retomada das irrigações em 2017, a somatória da ETc calculada para os citros utilizando parâmetros do método FAO 56 foi de 854 mm por safra, enquanto a ETa calculada pelos parâmetros do modelo SAFER foi de 472 mm por safra para as laranjeiras, 409 mm por safra para as tangerineiras e 405 mm por safra para a Lima-ácida Thaiti. Na somatória do período analisado a ETa estimada neste trabalho representou 55% da ETc calculada para as laranjeiras, 47% para as tangerineiras e limeiras ácidas Tahiti. Os valores de ETc calculados aqui corroboram com os encontrados por Bernardo et al. (2005), que afirmam que a necessidade hídrica dos citros varia entre 600 e 1.200 mm por ciclo, entretanto as estimativas de ETa pelo modelo SAFER foram ligeiramente inferiores.

Figura 9: Evapotranspiração da cultura (ETc) e atual (ETA) por município e tipo de copa no Noroeste Paulista.



Fonte: Próprio autor.

A necessidade hídrica por plantas irrigadas pelo método de irrigação localizada em cada tipo de copa é expressa na Tabela 12, sendo ainda subdivididas por condição fenológica, sistemas de irrigação e dias onde a ET_c calculada foi mínima, média e máxima durante o período estudado. O volume em litros por planta dia estimados pelo K_c FAO 56 retornaram resultados sempre superiores aos estimados pela relação ET/ET_o estimada através do modelo SAFER.

Tabela 12: Necessidade de irrigação das plantas nos sistemas de irrigação localizada.

	Sistema	Condição Fenológica	Data	Volume (l / pl . dia)			
				FAO 56	SAFER		
				Laranjas	Tangerinas	Lima Ácida	
Mínimo	Microaspersão	Adulta	10/08/2016	7	3	3	3
		Jovem		3	*	*	1
	Gotejamento	Adulta	11/10/2016	6	3	2	3
		Jovem		3	*	1	1
Média	Microaspersão	Adulta	14/08/2016	20	9	8	7
		Jovem		9	*	*	3
	Gotejamento	Adulta	29/07/2016	31	18	12	15
		Jovem		17	*	5	8
Máximo	Microaspersão	Adulta	19/11/2016	36	8	9	7
		Jovem		15	*	*	2
	Gotejamento	Adulta	11/10/2016	56	22	10	14
		Jovem		30	*	4	9

Nota: Cálculo feito com o espaçamento e K_r mínimo de 30% ou o médio (Tabela 3) das propriedades Populina e Santa Fé do Sul e ET_o retirada da estação mais próximas. O valor de K_c foi o de Allen et al., (1998) ou o encontrado pelo modelo SAFER nas referidas condições e datas.

Fonte: próprio autor.

Conforme a Tabela 12, entre as plantas adultas, o volume necessário para suprir a demanda média dos citros no sistema de gotejamento estimados com o K_c de Allen et al., (1998) foi de $7.447 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, enquanto a necessidade utilizando a relação ET/ET_o estimada pelo modelo SAFER resultou em demandas de $4.362 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ para as laranjeiras, $3.511 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ para as limeiras ácidas Thaiti e $2.766 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ para as tangerineiras, utilizando a densidade média de 649 plantas por hectare (espaçamento de 7 por 2,20 m), adotadas na fazenda Santa Fé do Sul. Ainda na Tabela 12, o sistema de microaspersão a demanda estimada para os citros de modo geral (com K_c de Allen et al., 1998) foi de $6.160 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, enquanto pelo modelo SAFER foi de $2.640 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ para laranjeiras, 2.552 m^3 .

ha⁻¹. ano⁻¹ para as tangerineiras e 2.112 m³. ha⁻¹. ano⁻¹ para as limeiras ácidas Thaiti, utilizando o espaçamento médio de 6 por 2 metros (aproximadamente 833 plantas por hectare).

Segundo a Tabela 13, nas condições médias apuradas para o sistema autopropelido a lâmina demandada foi de 1.132 mm. ano⁻¹ para os citros, 663 mm. ano⁻¹ para as laranjeiras, 695 mm. ano⁻¹ para as tangerineiras e 711 mm. ano⁻¹ para as limeiras ácidas Thaiti. Ainda na Tabela 13, o sistema de irrigação pivô central retornou demandas médias para os citros de 1.246 mm. ano⁻¹, enquanto pelo modelo SAFER as laranjeiras exigiram 730 mm. ano⁻¹, as tangerineiras 463 mm. ano⁻¹ e as limeiras ácidas 587 mm. ano⁻¹.

Tabela 13: Lâmina bruta de irrigação das plantas nos sistemas de irrigação por aspersão.

	Sistema	C. Fenológica	Data	Lâmina Bruta (mm/dia)			
				FAO 56 ^a	SAFER ^b		
					Laranjas	Tangerinas	Lima Ácida
Mínimo	Autopropelido ¹	Adulta	31/08/2016	0.8	0.5	0.5	0.5
		Jovem		0.8	*	*	0.3
	Pivô Central ²	Adulta	11/10/2016	0.6	0.3	0.2	0.3
		Jovem		0.6	*	0.2	0.3
Média	Autopropelido ¹	Adulta	08/09/2016	3.1	1.8	1.9	1.9
		Jovem		3.1	*	*	1.0
	Pivô Central ²	Adulta	29/07/2016	3.4	2.0	1.3	1.6
		Jovem		3.4	*	1.0	1.6
Máximo	Autopropelido ¹	Adulta	30/10/2016	5.5	2.0	1.9	1.9
		Jovem		5.5	*	*	0.7
	Pivô Central ²	Adulta	11/10/2016	6.0	2.4	1.1	1.6
		Jovem		6.0	*	0.8	1.9

Nota: Cálculo foi feito com o espaçamento e Kr médio das propriedades Paranapuã e Santa Fé do Sul e ETo retirada da estação mais próximas. O valor de Kc foi o de Allen et al., (1998) ou o encontrado pelo modelo SAFER nas referidas condições e datas.

Fonte: próprio autor.

Em todas as datas avaliadas a necessidade hídrica indicada pela literatura entre as plantas adultas foram superiores às estimadas por parâmetros do modelo SAFER. As laranjeiras tiveram maior demanda estimada entre os tipos de copas de citros pesquisados, seguidos pela limeira ácida Thaiti e por fim as tangerineiras, sendo estes dois últimos resultando em demandas estimadas muito próximas. Além das diferenças entre a fisiologia das plantas, o resultado parece ter sido influenciado

pela maior cobertura vegetal, uma vez que as laranjeiras apresentaram a maior média de cobertura vegetal, seguidas pelas limeiras e as tangerineiras.

5. CONCLUSÕES

As plantas adultas tiveram menor média de temperatura de superfície que as plantas jovens, devido ao maior recobrimento vegetal da copa das árvores. Entre os sistemas de irrigação, o pivô central apresentou a menor média de temperatura de superfície entre os quatros sistemas estudados, possivelmente pela aplicação de água em toda a superfície da área, mantendo o local úmido pelo mais tempo e gerando um maior conforto para as plantas.

As laranjeiras apresentaram maior média na relação ET/ET_o estimada pelo modelo SAFER que as tangerineiras e limeira-ácida Thaiti, entretanto, todos os grupos apresentaram valores abaixo do K_c single descrito em Allen et al. 1998. Consequentemente, as laranjeiras também tiveram maiores demandas hídricas que tangerineiras e a limeira ácida Tahiti.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) - model. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v. 133, n. 4, p. 380-394, 2007.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S. Estimating crop coefficients from fraction of ground cover and height. **Irrigation Science**, Heidelberg, v. 28, n. 1, p.17-34, 16 set. 2009.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO - Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALLEN, R.G.; TASUMI, M.; MORSE, A.; TREZZA, R.; WRIGHT, J.L.; BASTIAANSSEN, W.; KRAMBER, W.; LORITE, I; ROBISON, C.W. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) - applications. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 133, n. 4, p. 395-406, 2007a.
- ALLEN, R.G.; TASUMI, M.; TREZZA, R.; WATERS, R.; BASTIAANSSEN, W. **Surface energy balance algorithms for land- sebal: advanced training and users manual**. Idaho: Idaho Implementation, 2002. v. 1, 98 p.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 1 dez. 2013.
- ALVES JUNIOR, J.; FOLEGATTI, M.V.; PARSONS, L.R.; BANDARANAYAKE, W.; SILVA, C.R.; SILVA, T.J.A.; CAMPECHE, L.F.S.M. Determination of the crop coefficient for grafted 'Tahiti' lime trees and soil evaporation coefficient of Rhodic Kandudalf clay soil in Sao Paulo, Brazil. **Irrigation Science**, Heidelberg, v. 25, n. 4, p. 419-428, 22 dez. 2006
- AMENDOLA, E.C. **Evolução da agricultura irrigada por pivô central no noroeste paulista**. 2016. 51 f. Trabalho de Conclusão de curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2016.
- AMENDOLA, E. C.; HERNANDEZ, F. B. T.; TEIXEIRA, A. H. C. Temperatura de Superfície em Pomares Irrigados de Citrus. In: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 4., 2017, Fortaleza. **Anais...** [S. l.: s. n.], 2017.
- AMENDOLA, E. C.; NUÑEZ, D. N. C.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. Variabilidade espacial da temperatura superficial de ecossistemas Sensíveis. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2015, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: [s. n.], 2015.
- ARIZA, A. **Descripción y corrección de productos landsat 8 - LDCM (Landsat Data Continuity Mission)**. Bogota: IGAC, 2013. v. 1, 46 p.

- AVILEZ, A. M. A. **Determinação do coeficiente de cultura “kc” na cultura da cana de açúcar com imagens landsat utilizando o modelo SAFER no Noroeste Paulista, Brasil**. 2018. 75 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2018.
- BALLESTER, C.; CASTEL, J.; JIMÉNEZ-BELLO, M. A.; CASTEL, J. R.; INTRIGLILOLO, D. S. Are sap flow and canopy temperature measurements useful alternatives to stem water potential for detecting plant water stress in citrus trees? **Acta horticulturae**, Leuven, v. 1038, p. 51-58, 2014.
- BALLESTER, C.; CASTEL, J.; JIMÉNEZ-BELLO, M. A.; CASTEL, J. R.; INTRIGLILOLO, D. S. Thermographic measurement of canopy temperature is a useful tool for predicting water deficit effects on fruit weight in citrus trees. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 122, p. 1-6, 2013.
- BARBOZA JUNIOR, C. R. A.; FOLEGATTI, M. V.; ROCHA, F. J.; ATARASSI, R. T. Coeficiente de cultura da lima-ácida Thaiti no outono-inverno determinado por lisimetria de pesagem em Piracicaba - SP. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 691-698, 2008.
- BASTIAANSEN, W.G.M.; MENENTI, M.; FEDDES, R. A.; HOLTSLAG, A. A. M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 212-213, p. 198-212, 1998.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7. ed. Viçosa, MG, 2011. 611 p.
- BEZERRA, B. G.; SILVA, B. B.; BEZERRA, J. R. C.; BRANDÃO, Z. N. Evapotranspiração real obtida através da relação entre o coeficiente dual de cultura da FAO-56 e o NDVI. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 3, p. 404-414, 2010.
- BOMAN, B. J. Evapotranspiration by young florida flatwoods citrus trees. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v. 120, n. 1, p. 80-88, 1994.
- BRASIL. **Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, DF, 1997.
- CHANDER, G.; MARKHAM, B. Revised landsat-5 tm radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, New York, v. 41, n. 11, p. 2674-2677, nov. 2003.
- COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; MAGALHÃES, A. F. J.; OLIVEIRA, A. S. Irrigação e fertirrigação na cultura de citros. In: SOUSA, V. F.; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. C. **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília, DF, 2011. Cap. 14, p. 413-440.

COSTA, N. M. C.; SILVA, J. X. Geoprocessamento aplicado á criação de planos de manejo: o caso do parque estadual da Pedra Branca - RJ. In: SILVA, J.X.; ZAIDAN, R.T. **Geoprocessamento e análise ambiental**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. 368 p.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 193 p. (FAO, Irrigation and Drainage Paper, 33).

EARTHEXPLORER. United States Geological Survey. Site. [S. I.], 2018. Disponível em <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>.

EMBRAPA. **Citros: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 217 p.

FAOSTAT. Área colhida, rendimento e produção nos principais países produtores de citros. [S. I.], 2018. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

FITCHETT, J. M.; GRAB, S. W.; THOMPSON, D. I.; ROSHAN, G. Spatio-temporal variation in phenological response of citrus to climate change in Iran: 1960-2010. **Agricultural And Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 198-199, p. 285-293, nov. 2014.

FRANCO, R. A. M.; HERNANDEZ, F. B. T.; TEIXEIRA, A. H. C.; LEIVAS, J. F.; NUÑEZ, D. N. C.; NEALE, C. M. U. **Water productivity mapping using Landsat 8 satellite together with weather stations**. Edinburgo: SPIE Remote Sensing, 2016.

FUNDO DE DEFESA DA CITRICULTURA - FUNDECITRUS. **Inventário de árvores e estimativa da safra de laranja do cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo/Sudoeste Mineiro 2017/2018**. Araraquara, 2017. 124 p.

FUNDO DE DEFESA DA CITRICULTURA - FUNDECITRUS. **Reestimativa da safra de laranja 2017/18 do cinturão citrícola de são paulo e triângulo/sudoeste mineiro: fechamento em abril/2018**. Araraquara, 2018a. Disponível em: <http://www.fundecitrus.com.br/pdf/pes_relatorios/0418_Reestimativa_da_Safra_de_Laranja.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2018.

FUNDO DE DEFESA DA CITRICULTURA - FUNDECITRUS. **Inventário de árvores e estimativa da safra de laranja 2018/19 do cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo/ Sudoeste mineiro**. Araraquara, 2018b. 144 p.

GARCIA, W.; MARCHAND, G.; LLACTAYO, W.; SALCEDO, K.; VICTORIA, E.; ZAMBRANO, A. **Protocolo: ortorectificación de imágenes satelitales Landsat**. Lima, 2014.

HERNANDEZ, F. B. T.; NEALE, C. M. U.; TEIXEIRA, A. H. C.; TAGHVAEIAN, S. Determining large scale actual evapotranspiration using agro-meteorological and remote sensing data in the Northwest of São Paulo State, Brazil. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 1038, p. 263-270, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Produção agrícola municipal**. Rio de Janeiro, 2017.

JENSEN, M. E. **Water consumption by agricultural plants**. New York: Academic, 1968. v. 2.

MACHADO, C. C.; COELHO, R. D. Estudo da distribuição espacial do Sistema radicular do limão 'Cravo' enxertado com lima ácida 'Thaiti'. **Laranja**, Cordeiropolis, v. 21, n. 2, p. 359-380, 2000.

MATTOS JUNIOR, D.; NEGRI, J. D.; FIGUEREDO, J. O.; POMPEU JUNIOR, J. **Citros**: principais informações e recomendações de cultivo. Cordeiropolis, 2005.

MOSS, G.I. influence of temperature and photoperiod on flower induction and inflorescence development in sweet orange (*Citrus Sinensis* L. Osbeck). **Journal of Horticultural Science**, Abingdon, v. 44, n. 4, p.311-320, jan. 1969.

NUÑEZ, D. N. C. **Indicadores ambientais e planejamento integrado dos recursos hídricos na microbacia do córrego do coqueiro**. 2017. 222 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2017.

PETILLO, M. G.; CASTEL, J. R. Water balance and crop coefficient estimation of a citros orchard in Uruguay. **Spanish Journal Of Agricultural Research**, Madrid, v. 5, n. 2, p. 232-243, 1 jun. 2007.

SALES, D. L. A.; ALVES JUNIOR, J.; CASAROLI, D.; EVANGELISTA, A.W.P.; SOUZA, J.M.F. Estimativa de evapotranspiração e coeficiente de cultura do tomateiro industrial utilizando o algoritmo SAFER. **Irriga**, Botucatu, v. 22, n. 3, p. 629-640, 2017.

SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia dos citros. In: MATTOS JUNIOR, D.; NEGRI, J.D.; PIO, R.M.; POMPEU JUNIOR, J. **Citros**. Campinas: Instituto Agrônomo/FUNDAG, 2005. v.1, p. 317-344.

SILVA JUNIOR, J. F. **Evapotranspiração de referência como base para o manejo sustentável da irrigação no noroeste paulista**. 2017. 81 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2017.

SILVA, G. B. S.; LOEBMANN, D. G. S. W; FOLHARINI, S. O.; NOGUEIRA, S. F.; VICENTE, L. E.; ANDRADE, R. G.; FURTADO, A. L. S. **Procedimentos para correção geométrica de imagens de satélite**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2012. v. 18. (Circular Técnica)

SILVA, Y. F. **Evapotranspiração na cultura de citros no Noroeste Paulista**. Trabalho de Graduação (Graduação em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2014. 49 p.

SIMONNEAUX, V.; DUCHEMIN, B.; HELSON, D.; ER-RAKI, S.; OLIOSO, A.; CHEHBOUNI, A. G. The use of high-resolution image time series for crop classification and evapotranspiration estimate over an irrigated area in central Morocco. **International Journal of Remote Sensing**, Abingdon, v. 29, n. 1, p. 95-116, jan. 2008.

SQUIZATO, M. **Evolução e identificação da área irrigada por pivô central no Noroeste Paulista**. 2018. 39 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2018.

TEIXEIRA, A. H. C.; HERNANDEZ, F. B. T.; ANDRADE, R. G.; LEIVAS, J. F.; VICTORIA, D. C.; BOLFE, E. L. Irrigation performance assessments for corn crop with landsat images in the São Paulo State, Brazil. In: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 2., 2014, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Instituto INOVAGRI, 2014. p. 739-748.

TEIXEIRA, A. H. C. Determining regional actual evapotranspiration of irrigated crops and natural vegetation in the São Francisco River basin (Brazil) using remote sensing and Penman-Monteith equation. **Remote Sensing**, Basel, v. 2, p. 1287-1319, 2010.

TEIXEIRA, A.H.C.; BASTIAANSSEN, W.G.M.; AHMAD, M.D.; BOS, M. G. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle São Francisco River basin, Brazil. Part A: calibration and validation. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 149, p. 462-476, 2009.

TEIXEIRA, A. H. C.; HERNANDEZ, F. B. T.; LOPES, H. L.; SCHERER-WARREN, M.; BASSOI, L. H. **Modelagem espaço-temporal dos componentes dos balanços de energia e de água no semiárido brasileiro**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2013a. v.1, 32 p.

TREZZA, R. Estimation of crop water use from satellite-based surface energy balance models for water management in irrigation districts in Venezuela, South America. In: AIP CONFERENCE PROCEEDINGS, 2005, Napoli. **Anais...** Napoli, Italia: AIP, 2005.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP. Faculdade de Engenharia. Departamento de Fitossanidade e Engenharia Rural e Solos. Área de Hidráulica e Irrigação. Canal CLIMA. **Acesso à base diária**. Ilha Solteira, 2018. Disponível em: <<http://clima.feis.unesp.br>>. Acesso em: 05 jan. 2018.

PIRES, R. C. M.; LUCHIARI, D. J. F.; ARRUDA, F. B.; MOSSAK, I. Irrigação. In: MATTOS JUNIOR, D.; NEGRI, J. D.; PIO, R. M.; POMPEU JUNIOR, J. **Citros**. Campinas: Instituto Agrônomo/FUNDAG, 2005. v. 1, p. 369-408.

VANHELLEMONT, Q.; RUDDICK, K. Turbid wakes associated with offshore wind turbines observed with Landsat 8. **Remote sensing of environment**, New York, v. 145, p. 105-115, 2014.

VILANOVA, D.; SILVA, F. F. F.; GALHARDO, P. V. Estudo da produção de laranja para suco concentrado exportado pelo porto de santos. In: ENCONTRO CIENTÍFICO DE GESTÃO PORTUÁRIA: REDES DE EMPRESAS E CADEIAS PRODUTIVAS, 2., 2018, Santos. **Anais...** Santos: FATECRL, 2018. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/iiencigesp/78358-estudo-da-producao-de-laranja-para-suco-concentrado-exportado-pelo-porto-de-santos>>. Acesso em: 01 jul. 2018.

ZANINI, J. R.; PAVANI, L. C.; SILVA, J. A. A. **Irrigação em citros**. Jaboticabal: Funep, 1998. 35 p.