

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

**YANE DE FREITAS DA SILVA**

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO NA CULTURA DE CITROS  
NO NOROESTE PAULISTA**

ILHA SOLTEIRA  
2014

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

**YANE DE FREITAS DA SILVA**

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO NA CULTURA DE CITROS  
NO NOROESTE PAULISTA**

Trabalho de Graduação  
apresentado à Faculdade de  
Engenharia do Campus de Ilha  
Solteira UNESP, como parte  
dos requisitos para obtenção  
do grau de Engenheiro  
Agrônomo.

**Orientador:** Prof. Dr. Fernando Braz Tangerino Hernandez

ILHA SOLTEIRA  
2014

## **DEDICO**

Aos meus pais, **Eurípedes dos Reis da Silva** e **Idair Aparecida Donizete de Freitas**, como uma pequena forma de retribuir todos os esforços realizados por eles para conseguir mais esta conquista em minha vida e acima de tudo pelo amor incondicional. Ao meu irmão **Elias Tristão da Silva Neto**, por todo o apoio, amizade e amor.

## AGRADECIMENTOS

Sobretudo, agradeço a Deus por essa grande oportunidade, pela saúde e pelas surpresas simplesmente fantásticas que acontecem em minha vida.

Aos meus pais, Eurípedes e Idair, pela total confiança, por sempre estarem ao meu lado, aceitarem as minhas escolhas, me apoiarem nas minhas decisões, pela paciência, por terem suportado a saudade, e muitas vezes, terem se privando para proporcionar o melhor. Nunca conseguirei agradecer o suficiente, nem demonstrar minha admiração por vocês!

Aos meus irmãos, Fransérgio, Juliana e Elias, pela ajuda e pela compreensão.

Ao meu segundo pai, Prof. Fernando Braz Tangerino Hernandez, pela orientação, pela paciência, amizade, dedicação e por abrir meus olhos a cada conversa e confiar no meu potencial.

Aos professores do curso que mais do que conteúdo didático, me ensinaram sobre a vida, e quando precisei sempre estavam de portas abertas para ouvirem.

A UNESP, pela oportunidade e pela excelência em qualidade de ensino que me foi passada todos esses anos.

As minhas amigas da grande Ipuã, pela compreensão e amizade mesmo nos momentos onde eu estava ausente.

As minhas amigas-irmãs de repúblicas e de alojamento, pelas horas gastas comigo e por todo o companheirismo, principalmente a minha querida Micaella, pois tamanha amizade não se compara, calma, conselhos a qualquer hora e ajuda desde o dia da minha matrícula.

Aos meus amigos do PRIME, foi ótimo trabalhar com vocês, e também aos colegas do CA, foi pouco tempo mais bastante cativante.

A melhor Turma 38°, vulga 3oitão, melhor que vocês jamais irão existir!

Aos meus companheiros do Laboratório de Hidráulica e Irrigação (Ronaldo, Inana, Isabela, Eric, Emanoelle, Lucicleia, Alex, Fernando, Rafael, Bruno e Jean), principalmente o Diego, Renato e Daniel, pelas orientações, por toda atenção e conhecimento, trabalho em grupo foi uma das coisas que mais aprendi durante esses dois anos e meio.

Ao Túlio, pela amizade, pela paciência, pelo companheirismo, pelas ajudas nos estudos e nos trabalhos.

Enfim agradeço há todos os dias terem começado com desafios e terminado com a sensação de dever cumprido, e a garra conseguida às vezes não sei de onde, para vencer todas as dificuldades e chegar até aqui.

...O MEU MUITO OBRIGADA!

*Você não vai receber outra vida como esta.  
Você nunca mais vivenciará o mundo exatamente desta maneira, com esses pais,  
filhos, familiares e amigos. Nem experimentará a Terra com todas as suas  
maravilhas, novamente, neste período da história. Não espere o momento em que  
desejará dar a última olhada no oceano, no céu, nas estrelas ou nas pessoas  
queridas. Vá olhar agora.*

(Luísa Rodrigues de Moraes)

## RESUMO

A citricultura representa uma das atividades mais importantes na região noroeste paulista, exigindo elevados investimentos e o uso da irrigação é cada vez mais uma exigência para a viabilidade da atividade, seja pela necessidade de altas produtividades em uma região com as maiores taxas de evapotranspiração e déficit hídrico do Estado de São Paulo, ou pela opção de novos plantios com porta-enxertos menos sensíveis à seca. Assim, torna-se indispensável o conhecimento sobre a evapotranspiração da cultura real em cada fase fenológica, sendo este conhecimento a base para a implantação de novos sistemas de irrigação, bem como a operação de sistemas de irrigação com uso eficiente da água, que depende da correta escolha de coeficientes de cultivo, uma vez que o noroeste paulista conta com estimativas precisas de Evapotranspiração de Referência ( $ET_o$ ). Assim, este projeto teve como objetivo determinar a evapotranspiração atual (ou real) das plantas cítricas, bem como dos coeficientes de cultura nas diferentes fases fenológicas e sob condições de sequeiro e diferentes sistemas de irrigação, fazendo uso combinado de técnicas de sensoriamento remoto e em conjunto com dados climáticos obtidas em estações agrometeorológicas aplicando e validando os modelos SAFER (*Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving*) e FAO Boletim 56 em larga escala. A estimativa do coeficiente de cultura pelo SAFER apresentou valores inferiores aos sugeridos pela FAO, o que estimula novas pesquisas com o tema, tendo em vista se tratar do primeiro trabalho de estimativa de consumo de água pelos citros no noroeste paulista em que se combina informações colhidas em campo (estações agrometeorológicas) com orbitais (imagens de satélite).

**Palavras-chave** - Evapotranspiração. Necessidade de água. Coeficiente de cultura.

## ABSTRACT

The crop is one of the most important activities of the northwestern state of São Paulo, requiring large investments and the use of irrigation have increased, as a prerequisite for the viability activity, or the need for high productivity in the region with the highest rates of evapotranspiration and water of the State, or the option of new plantings less sensitive to drought rootstocks deficit. Thus, it becomes essential to have knowledge about the culture of the real evapotranspiration at each developmental stage and this knowledge is the basis for the implementation of new irrigation systems and management of irrigation systems to water use efficiency, which depends the correct choice of crop coefficients, since the northwest region has accurate estimates of reference evapotranspiration ( $ET_0$ ). The objective of this project was to determine the actual evapotranspiration from citrus and crop coefficients in different growth stages under rainfed conditions and different irrigation systems, making combined use of remote sensing techniques and, together with climatic data from weather stations application and validation of SAFER (simple algorithm for retrieving evapotranspiration) and FAO has 56 models on a large scale. The crop coefficient estimated by SAFER had lower values than those suggested by FAO, which stimulates further research on the subject, considering it is the first study to evaluate the use of water for citrus in the northwest region of São Paulo, which combines information collected in soil (agrometeorological stations) with images of orbiting satellites.

**Keywords** - Evapotranspiration. Water requirements. Crop coefficient.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Mapa da localização da área estudada	15
<b>Figura 2</b> - Exemplo de imagem de uma das regiões identificadas com citros	16
<b>Figura 3</b> - Fluxograma das etapas do método SAFER utilizando a superfície albedo, a superfície temperatura e do NDVI	18
<b>Figura 4</b> - NDVI no noroeste paulista	31
<b>Figura 5</b> - Mapas de $ET_a$ pelo modelo SAFER em duas datas	32
<b>Figura 6</b> - Comparativo de $K_c$ tradicional e SAFER	33
<b>Figura 7</b> - Coeficiente da cultura ( $K_c$ ) calculados pelo método de SAFER	33
<b>Figura 8</b> - Comparaçao de sistemas de irrigação analisando a $ET_a$	34
<b>Figura 9</b> - Diferença de $ET_a$ comparando com sistemas irrigados e não irrigado	35
<b>Figura 10</b> - Volume estimado de água em cada método e em cada data-controle	36

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Localização de cada Polígono Processado pelo SAFER	16
<b>Tabela 2</b> - Descrição das bandas do Mapeador Temático (TM) do Landsat 5, com os correspondentes intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração (radiância mínima - a e máxima - b) e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera (TOA)	19
<b>Tabela 3</b> - Coeficientes para o cálculo do albedo planetário para cada banda do Landsat TM5.	20
<b>Tabela 4</b> - Áreas de citros em 2011 e área utilizada no processamento do método SAFER	24
<b>Tabela 5</b> - Condições hídricas da região do noroeste paulista nas datas das imagens utilizadas	25
<b>Tabela 6</b> - Evapotranspiração em áreas cultivadas com citros	27
<b>Tabela 7</b> - Evapotranspiração através do modelo SAFER	28

## SUMÁRIO

<b>RESUMO .....</b>	1
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	3
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	4
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	7
<b>2 DESENVOLVIMENTO.....</b>	8
2.1 Botânica, importância e fatores meteorológicos que influenciam no cultivo dos citros .....	8
2.2 Demanda hídrica .....	9
2.3 Irrigação .....	9
2.4 Evapotranspiração da cultura.....	10
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	13
3.1 Localização e caracterização do solo e clima .....	13
3.2 Identificação das áreas com citros e seus diferentes estádios de desenvolvimento .....	14
3.3 Evapotranspiração real ou atual com uso do método tradicional e SAFER .....	16
3.4 Processamento .....	19
3.4.1 Conversão dos valores de DN (números digitais) em radiância.....	19
3.4.2 Cálculo de reflectância.....	20
3.4.3 Albedo no topo da atmosfera.....	21
3.4.4 Albedo de superfície.....	21
3.4.5 Temperatura de superfície.....	22
3.4.6 Índice de vegetação de diferença normalizada-NDVI.....	22
3.4.7 Evapotranspiração em escala regional utilizando o algoritmo SAFER.....	23
3.4.8 Cálculo do Balanço de Energia.....	23
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	25
4.1 Área com citros .....	25
4.2 Comparação de variáveis.....	26
4.2.1 ET Tradicional e ETa SAFER.....	26

4.2.2 Épocas do ano.....	30
4.2.3 Coeficiente de cultura.....	32
4.2.4 Sistemas de Irrigação.....	34
4.2.5 Áreas irrigadas e sequeiros.....	34
4.2.6 Volume de água necessário para a cultura.....	35
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>36</b>
<b>LITERATURA CONSULTADA .....</b>	<b>37</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>42</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é, atualmente, o maior produtor mundial de citros, com produção em 2011 de aproximadamente 18 milhões de toneladas, seguido dos EUA, China e México (CRUZ, 2013). A produção de citros do Estado de São Paulo corresponde à cerca de 77% da produção nacional (CRUZ, 2013). A produção das culturas, e, particularmente neste estudo, a de citros, associada às condições climáticas e edáficas, é função da presença de água e nutrientes no solo em época e quantidades apropriadas. Sua falta ou excesso é fator limitante à produção, determinando em muitos casos a sua diminuição (CRUZ, 2013). O conhecimento da quantidade de água distribuída na planta, e utilizada por ela, é de grande interesse, principalmente para cálculo da evapotranspiração de cada cultura.

O consumo de água pelas comunidades vegetais é um parâmetro importante a ser considerado nos estudos de regionalização agrícola ou na avaliação da produtividade das culturas. Uma forma pela qual esse consumo hídrico (evapotranspiração) pode ser determinado é pelo balanço hídrico no solo.

Segundo Reuther (1973) os estudos relacionados com a influência do ambiente sobre a cultura de citros devem ser direcionados principalmente para avaliação dos efeitos dos fatores climáticos sobre a transpiração e uso de água pelas plantas e sobre o regime hídrico do solo, em virtude da forte relação entre disponibilidade de água no solo com a produtividade, vigor das plantas e qualidade dos frutos. Esta é, também, a posição de Oliveira (1991) o qual acrescenta que, por ser o citros uma espécie perenifólia, requer níveis contínuos de umidade no solo, além de condições adequadas de drenagem, porosidade e permeabilidade. Da mesma forma, Ortolani et al. (1991) afirmam que as necessidades hídricas dos citros variam em função da distribuição espacial e temporal das condições climáticas, dos fatores relacionados ao manejo do pomar e das características hídricas do solo.

Este trabalho tem por objetivo determinar a evapotranspiração atual ou real da cultura do citros em diferentes fases fenológicas, sistemas de irrigação e sob diferentes suprimentos hídricos na região noroeste paulista, fazendo uso combinado de técnicas de sensoriamento remoto e das variáveis climáticas obtidas pela Rede Agrometeorológica do Noroeste Paulista, aplicando e validando os modelos Teixeira

(2010), recentemente batizado de SAFER (TEIXEIRA et al, 2012) e FAO boletim 56 (ALLEN et al, 1998) em escala regional.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Botânica, importância e fatores meteorológicos que influenciam no cultivo dos citros

Como plantas cultivadas comercialmente, os citros podem se agrupar em laranjas doces, laranjas azedas, tangerinas, limas doces, limas ácidas, limões verdadeiros e pomelos, havendo ainda grupos de menor importância no Brasil, como é o caso das laranjas azedas, cidras, toranjas e Kunquats (DE NEGRI & PIZA JUNIOR, 1988). Na ordem Rutales (JOLY, 1975), família Rutaceae (MOREIRA & PIO, 1991; STEWART & NIELSEN, 1990), sub-tribo Citrinae três gêneros têm importância econômica: Citrus, Fortunella e Poncirus (MOREIRA & PIO, 1991).

A citricultura brasileira constitui-se no maior expoente mundial, em área cultivada, produção e exportação de suco concentrado e de subprodutos cítricos. No ano de 2009 a área colhida de laranja foi de aproximadamente 841 mil hectares, com produção de 454 milhões de caixas. O estado de São Paulo assume posição de destaque respondendo por 77,5% da produção nacional (FNP CONSULTORIA & AGROINFORMATIVOS, 2011). A área para a implantação de um pomar de citros deverá ser escolhida em função do acesso ao mercado ao consumidor, da disponibilidade de água no período de estiagem, do clima, da topografia e tipo de solo. Os fatores clima e solo são fundamentais, pois influenciam o crescimento, desenvolvimento, produção e a qualidade das frutas. Na região noroeste do Estado de São Paulo, têm-se as mais altas taxas de evapotranspiração do Estado, o balanço hídrico mostra-se negativo (em déficit) em 8 meses do ano, comprometendo não somente a produtividade, como também a qualidade dos frutos. Nesta região a situação ainda se agrava em função da característica dos solos, predominantemente arenosos, com baixa capacidade de retenção de água. Segundo Vieira (1991), nas regiões cítricas do Estado de São Paulo o consumo de água da planta irrigada

oscila, em média, ao redor de 3 mm/dia; enquanto na não irrigada, no período de inverno, portanto sem chuvas, em torno de 1,5 mm/dia.

## **2.2 Demanda hídrica**

As plantas cítricas apresentam capacidade de conservação de água nos seus tecidos, dada à elevada resistência à difusão de vapor d'água dos seus estômatos e a cerosidade das folhas. Além disso, quando a demanda de água pela atmosfera aumenta, a taxa de transpiração é reduzida pelo aumento da resistência estomática (Vellame, 2010). A elevada resistência foliar ao fluxo de vapor d'água apresentada pelos citros torna-se um fator limitante da transpiração, fazendo com que a planta apresente valores máximos similares em regiões bastante contrastantes em termos de demanda atmosférica. Alguns pesquisadores mencionam que os citros são, aparentemente, ineficientes na absorção de água em vista da pequena abundância de pelos radiculares. Tudo indica possuírem razão parte-aérea/raízes desfavorável, o que agrava o abastecimento de água à planta pela baixa condutividade hidráulica do sistema.

## **2.3 Irrigação**

Segundo Vellame (2010), o uso da irrigação em pomares cítricos proporciona inúmeros benefícios, assegura boa florada e adequado pegamento de frutos, o que induz à produção de melhor qualidade. A irrigação deve ser considerada como um fator importante para o aumento da produção. Entretanto, informações sobre o comportamento e necessidades da planta cítrica sob irrigação localizada são escassas para as diversas variedades de copa/porta-enxerto e condições de clima e solo. Um dos fatores críticos no sucesso de um sistema de irrigação localizada em culturas perenes é a definição em projeto da fração de área molhada do sistema radicular da planta.

O uso racional da irrigação em pomares cítricos assegura maiores floradas e retenção de frutos, proporcionando inúmeros benefícios. A necessidade de água dos citros varia conforme o período do ano e a fase fenológica das plantas, muitos autores observaram que a maior demanda hídrica dessas culturas ocorre de outubro

a novembro, época de emissão dos botões florais e no período seco, durante o desenvolvimento dos frutos. O manejo adequado da irrigação garante níveis de umidade aos solos compatíveis com a exigência da planta (VIEIRA, 1991).

Um fator de importância, em irrigação, é a profundidade efetiva das raízes, que é onde se encontram, aproximadamente, 80% delas, constituindo a profundidade a ser umedecida pela irrigação. Vieira (1991) define a profundidade efetiva do sistema radicular dos citros em 0,6 metros e afirma que a utilização de profundidades maiores, erroneamente adotadas por alguns, propiciam maior intervalo de irrigação, todavia comprometem o seu benefício.

## **2.4 Evapotranspiração da cultura**

Uma das atividades que mais consomem os recursos hídricos é a agricultura. Com uma população cada vez mais crescente, a demanda por alimentos é cada vez maior, e isso faz com que o consumo de água através da agricultura aumente. No Brasil, a partir dos anos 80 ocorreu uma expansão na agricultura irrigada, principalmente com adoção de novos métodos ou técnicas de irrigação pressurizadas (COELHO et al., 2004).

Com o conhecimento das variáveis meteorológicas registradas nas estações tanto convencionais como automáticas, é possível a quantificação da evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ), possibilitando conhecer os potenciais hídricos diários, mensais e anuais de uma região, necessária para satisfazer as necessidades reais hídricas das culturas a serem implantadas.

A determinação da  $ET_o$  é um problema compartilhado por várias ciências que estudam o sistema solo-planta-atmosfera. Devido à necessidade de se conhecer a perda d'água de superfícies vegetadas, vários pesquisadores desenvolveram métodos de estimativa da  $ET_o$ , havendo vários métodos sendo que muitos têm aceitação quase que unânime, enquanto outros são bastante criticados e até desprezados, seja pela ausência das variáveis necessárias para a sua implementação, ou ainda devido à imprecisão associada. A região noroeste paulista conta com o apoio de 8 estações agrometeorológicas que constituem a Rede Agrometeorológica do Noroeste Paulista, que estima a cada hora e depois consolida diariamente pela equação de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998) e ainda

possibilita o acesso livre e gratuitamente, se constituindo em uma informação importante para que os irrigantes estabeleçam seus programas de manejo da irrigação e assim, estima-se que quase 4.000 hectares irrigados por pivô central são irrigados a partir da evapotranspiração de referência divulgada pela UNESP Ilha Solteira.

Diferentes métodos foram desenvolvidos para estimar espacialmente a evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) utilizando dados de geoprocessamento, podem ser citados: métodos residuais do balanço de energia, que combinam algumas relações empíricas com modelos físicos e que utilizam dados de geoprocessamento para estimar parâmetros de entrada dos modelos, como o método de SEBAL e o de Teixeira (2010), posteriormente batizado como SAFER (*Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving*) em Teixeira et al. (2012) e aplicado neste trabalho.

Enfim, este recurso permite obter resultados satisfatórios sobre análises em diversas áreas da ciência, em escala regional, sobretudo no ramo da agricultura. Neste contexto, a evapotranspiração torna-se um elemento da mais alta importância, pois sendo um dos principais componentes do ciclo hidrológico a sua estimativa com maior confiabilidade, possibilitará um melhor entendimento sobre o balanço de água, e consequentemente um melhor planejamento da irrigação, principalmente em áreas com limitados recursos hídricos. A evapotranspiração pode ser expressa em valores totais, médios ou diários, em volume por unidade de área ou em lâmina de água, no período considerado (BERNARDO et al., 2005).

Assim sendo, a estimativa de evapotranspiração através de imagem de satélite também tem suas limitações, bastando para isso observar a grande área tomada para a obtenção deste parâmetro. Uma das vantagens da determinação da evapotranspiração através de imagens de satélite é a obtenção deste valor tomado *pixel a pixel*, ou seja, os valores de evapotranspiração poderão ser extrapolados para uma área maior ou até uma região, diferentemente do que ocorre com dados locais.

A proposta é a utilização de mais um *layer* interpolado a partir da rede agrometeorológica estabelecida no noroeste paulista, assim, tem-se a expectativa de se elevar a precisão do modelo e o mesmo será feito com o SAFER. No caso do SAFER, a determinação da  $ET_a$  foi desenvolvida e validada envolvendo tanto as

culturas irrigadas, como as de vegetação natural, tentando assim, aproximar melhor da evapotranspiração real (TEIXEIRA et al., 2012)

A situação atual das culturas comerciais revela que a água vem sendo usada produtivamente, proporcionando desenvolvimento socioeconômico à região, porém a falta de controle da água aplicada e erosão excessiva proveniente da agricultura mal manejada podem adversamente afetar a disponibilidade e qualidade da água, podendo em algumas microbacias inviabilizar a expansão da agricultura irrigada. Com a perda da qualidade em conjunto com a possível escassez provocada por alterações climáticas, todos os usuários (urbanos, industriais, agricultores e ecológicos) estarão competindo pelo suficiente abastecimento de água fresca. Assim, estudos em caráter regional são necessários para subsidiarem ações no presente, que garantam o suprimento hídrico no futuro.

Durante o ciclo vegetativo da cultura, o valor do coeficiente de cultura ( $K_c$ ) varia à medida que a planta cresce e desenvolve, do mesmo modo que a fração de cobertura da superfície do solo pela vegetação varia à medida que as plantas crescem e atingem a maturação. Uma vez que a evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) representa um índice climático da demanda evaporativa, o  $K_c$  varia, essencialmente, de acordo com as características da cultura, traduzindo, em menor escala, a variação dos elementos climáticos (FREVERT et. al., 1983).

Este fato possibilita a transferência de valores de  $K_c$  de um local para outro e de um clima para outro. O coeficiente de cultura pode variar de acordo com a textura e o teor de umidade do solo, com a profundidade e densidade radicular e com as características fenológicas da planta. Entretanto, o conceito de  $K_c$  tem sido usado, extensivamente, para estimar a necessidade real de água de uma cultura particular por meio de estimativas ou medições de Evapotranspiração de Referência ( $ET_o$ ) (SEDIYAMA et al., 1998).

Ao aplicar o modelo a áreas extensas cultivadas com citros sob diferentes condições de irrigação (sistemas e diferentes práticas de manejo da aplicação da água) e sob sequeiro e em plantas de diferentes idades fenológicas, espera-se a obtenção de diferentes coeficientes de cultura atual, ao invés do determinado em lisímetros, que traz a condição potencial, nem sempre obtida em campo.

Idealmente, a Evapotranspiração Atual ( $ET_a$ ) deveria caracterizar a demanda evaporativa determinada pela condição meteorológica, enquanto o  $K_c$  seria a medida

da restrição imposta pelo sistema solo-planta para atender tal demanda hídrica. Todavia, várias pesquisas têm demonstrado que a evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) não pode ser, simplesmente, estabelecida para todas as situações climáticas com um simples valor de  $K_c$ . Os coeficientes de culturas devem ser, portanto, determinados para cada estádio de desenvolvimento da cultura.

Devido ao crescente uso de computadores nas diversas aplicações agrícolas, há interesse em representar, matematicamente, a curva de  $K_c$  das culturas de interesse econômico a fim de computar o consumo de água desses cultivos.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização e caracterização do solo e clima

Este trabalho foi conduzido na região noroeste do Estado de São Paulo (Figura 1), localizado principalmente entre os municípios de Populina e Santa Fé do Sul e utilizando dados da Rede Agrometeorológica do Noroeste Paulista (CANAL CLIMA, 2014) operadas pela Área de Hidráulica e Irrigação da UNESP Ilha Solteira. De acordo com Köppen, o clima da região em estudo é classificado com subtropical úmido, CWa, com inverno seco e ameno e verão quente e chuvoso (ROLIM et al., 2007). O solo predominante é classificado como Argissolo vermelho e Argissolo-Amarelo (OLIVEIRA et al., 1999).

Levando em consideração que a região de estudo apresenta déficits hídricos prolongados ao longo de oito meses por ano e a maior taxa de evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) do Estado de São Paulo, com suscetibilidade a veranicos (DAMIÃO et al. 2010; SANTOS et al., 2010; HERNANDEZ et al., 1995; HERNANDEZ et al., 2003), ainda que tenha uma precipitação anual média histórica (1967-1994) de 1232 mm (HERNANDEZ et al., 1995) ou de 1.354 mm (DAMIÃO et al, 2010) no período de 2000 a 2010. Além disso, região apresenta áreas urbanas próximas às zonas rurais, elevando a importância do monitoramento da evolução temporal e do agravamento dos efeitos da ilha de calor urbano.

### **3.2 Identificação das áreas com citros e seus diferentes estádios de desenvolvimento**

Foram identificadas diferentes áreas (Tabela 1) cultivadas com citros sob condição de irrigação (por pivô central, carretel enrolador e microaspersão) e de sequeiro em diferentes idades fenológicas através de visitas realizadas em propriedades (Anexo 1) e partir destas áreas-controle (exemplo na Figura 2) sendo determinada a evapotranspiração real ou atual da cultura através do uso combinado de variáveis agrometeorológicas e de imagens do satélite Landsat em duas épocas, na época chuvosa e na época seca, e através dos softwares ArcGis e ILWIS, sendo obtidos então os coeficientes de cultura atual em diferentes estádios de desenvolvimento pelo método tradicional.

As análises iniciais foram feitas com imagens do ano de 2011 (não há disponibilidade de imagens do Landsat 5 em 2012 e 2013). Uma imagem sendo de época úmida (10 de abril) e uma imagem sendo de época seca (17 de setembro), adquiridas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.

As variáveis climáticas foram obtidas através das estações automáticas que compõem a Rede Agrometeorológica do Noroeste Paulista, sendo a  $ET_o$  (Penman-Monteith) interpolada por *Simple krigagem* no ILWIS e posteriormente inseridas no algoritmo SAFER utilizado para obtenção da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) e do balanço de radiação e energia.

O coeficiente de cultura para citros utilizados em ambientes irrigados na região foram os sugeridos por Allen et al. (1998) ou antes, Doorenbos e Kassam (1994) e é geral e para condições potenciais, e assim, foi obtido regionalmente nesta pesquisa com culturas sob condições de sequeiro e irrigadas, para diferentes sistemas de irrigação. O valor máximo do coeficiente de cultura ocorre sempre na fase de maior desenvolvimento vegetativo (no início da floração), coincidindo, portanto, com o maior valor do índice da área foliar. Da mesma maneira observa-se que este valor é mínimo na fase de emergência.

Figura 1 - Mapa de localização da área estudada.

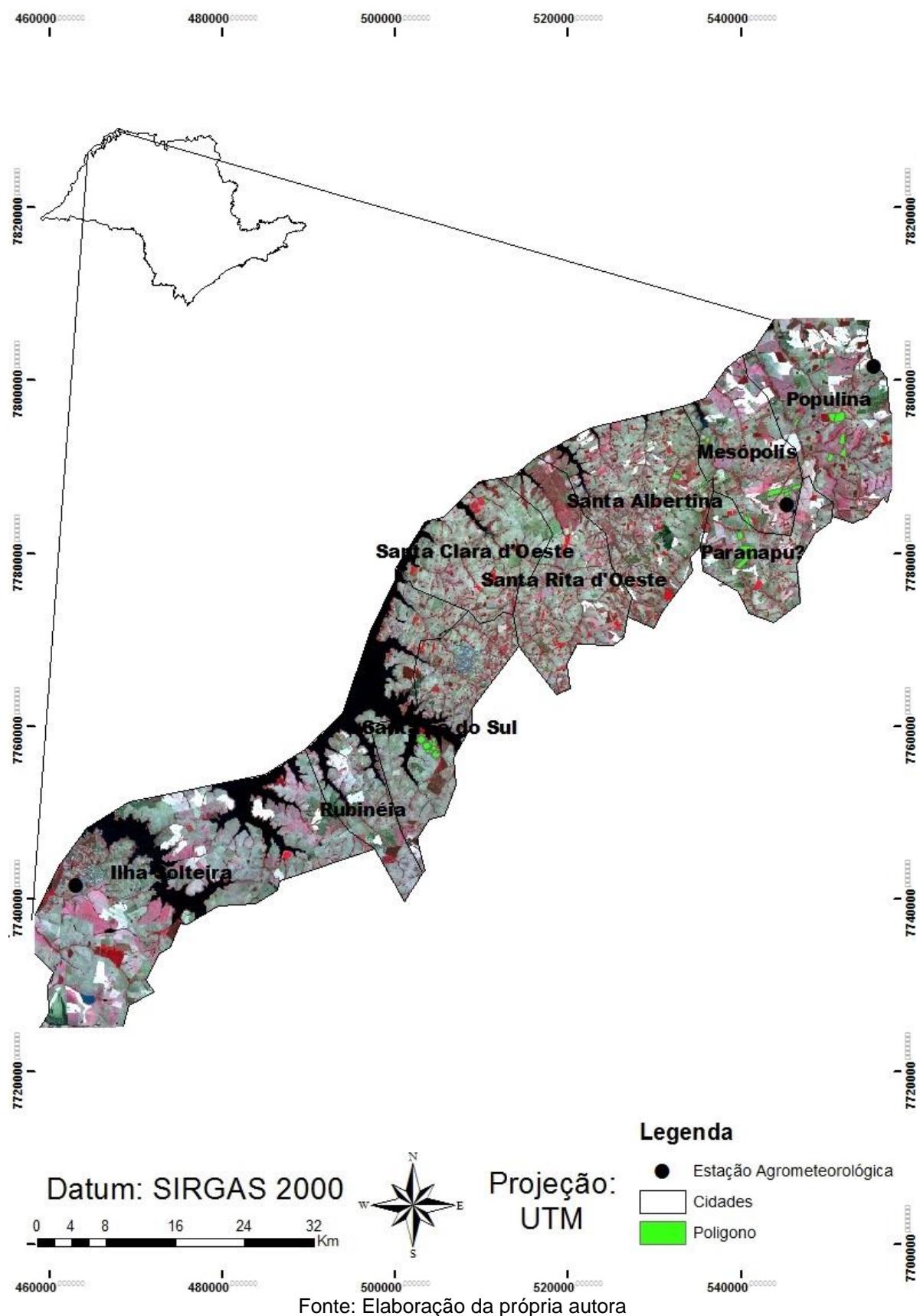


Figura 2 - Exemplo de imagem de uma das regiões identificadas com citros.



Fonte: Google Earth

Tabela 1- Localização de cada Polígono Processado pelo SAFER

Descrição POLIGONO	CIDADE	ÁREA (ha)	Tempo de implantação	LATITUDE (UTM)	LONGITUDE (UTM)
P01irrigado	Paranapuã	50	4 anos	7787622	546439
P02irrigado	Paranapuã	20	12 anos	7787605	545148
P03irrigado	Paranapuã	15	9 anos	7786834	545282
P04irrigado	Paranapuã	10	6 anos	7787807	545738
P05irrigado	Paranapuã	20	11 anos	7787262	545093
P06irrigado	Paranapuã	100	0 ano	7787047	543919
P07sequeiro	Paranapuã	17	9 anos	7777935	543538
P08sequeiro	Paranapuã	42	11 anos	7782077	539863
P09irrigado	Santa Fé do Sul	63	4 anos	7757702	503490
P10irrigado	Santa Fé do Sul	68	5 anos	7758396	502944
P11irrigado	Santa Fé do Sul	27	2 anos	7757437	504416
P12irrigado	Santa Fé do Sul	57	1 ano	7756594	504598
P13irrigado	Populina	30	6 anos	7790942	550266
P14irrigado	Populina	130	12 anos	7795810	551297
P15irrigado	Populina	45	8 anos	7791590	551827

Fonte: Dados da própria autora

### 3.3 Evapotranspiração real ou atual com uso do método tradicional e SAFER

Após a identificação das áreas de citros e construção dos polígonos e visita em campo para confirmação do alvo (Figura 1) e obtenção de informações adicionais sobre idade e sistemas de irrigação foi aplicado o método tradicional de estimativa da evapotranspiração potencial da cultura pelo método da FAO Boletim 56 (Allen et al. ,1995) através da expressão 1:

$$ET_c = ET_o * K_c \quad (1)$$

sendo:

$ET_c$  = evapotranspiração da cultura (mm/dia);

$ET_o$  = evapotranspiração de referência (mm/dia);

$K_c$  = coeficiente de cultura (adimensional) - FAO 56 (ALLEN et al, 1998).

A evapotranspiração de referência representa o consumo potencial de uma cultura de referência (grama batatais) sem restrição de água e nutrientes, selecionada para propósitos comparativos sob dadas condições meteorológicas, com adequados tratos e foi obtida na Rede Agrometeorológica do Noroeste Paulista operada pela UNESP Ilha Solteira. E a evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) obtida neste caso representará a potencial, ou o máximo consumo de água, a partir dos coeficientes de cultura determinado experimentalmente e foi comparado com os obtidos na modelagem baseada em sensoriamento remoto.

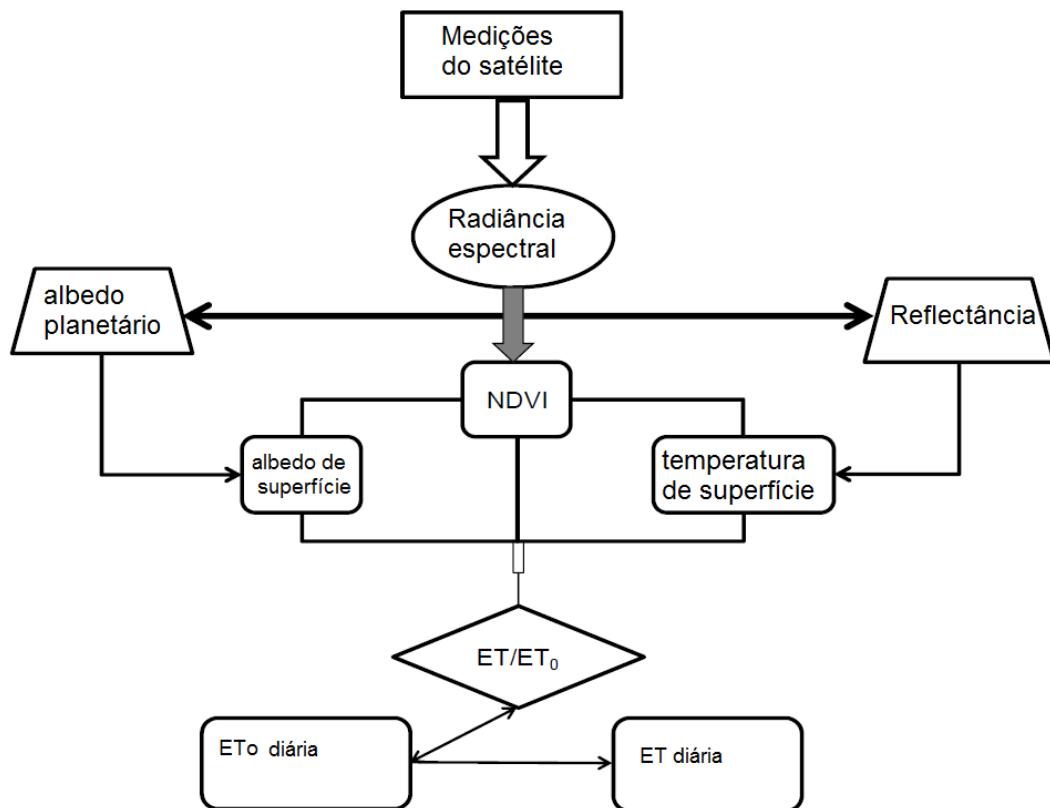
Experimentalmente, o cálculo da evapotranspiração de uma cultura pode ser feito com bastante precisão usando lisímetros de pesagem, técnicas de correlação de vórtices turbulentos ou ainda da técnica de razão de Bowen. Estes métodos são limitados, no entanto, porque eles fornecem valores da evapotranspiração atual para um local específico e não fornecendo valores em uma escala regional. Esta limitação tem motivado o desenvolvimento do uso de dados de sensoriamento remoto de satélites para avaliar a estimativa da evapotranspiração sobre vastas áreas. A principal vantagem da detecção remota é que a  $ET_a$  pode ser calculada sem quantificar outros complexos processos hidrológicos.

A  $ET_a$  é altamente variável no espaço e no tempo. São variáveis no espaço, devido à grande variabilidade espacial da precipitação, características hidráulicas de solos, e tipos de vegetação e densidades. É variável no tempo devido à variabilidade

temporal climatológica. As imagens de satélite fornecem um excelente meio para determinar e mapear a estrutura espacial e temporal da  $ET_a$ .

SAFER (Teixeira et al., 2012) é baseado na equação de Penman-Monteith para obter a evapotranspiração atual em larga escala. No SEBAL - um método bastante aceito - o  $K_c$  é calculado, enquanto que no SAFER, a relação  $ET_a/ET_0$  (coeficiente de cultura atual) é modelada (Figura 3) e não há a necessidade de se identificar os extremos representados pelos *pixel* frio e *pixel* quente e a implementação foi baseada em Teixeira (2010), porém utilizando o coeficiente “a” no valor de 1,0 (Hernandez et al., 2012; Hernandez et al., 2013 e Teixeira et al., 2013) que preliminarmente compararam os modelos sob condições de irrigação por pivô central no noroeste de São Paulo, tomando-se como referência o manejo de água baseado no tradicional método da FAO (ALLEN et al., 1998).

Figura 3 - Fluxograma das etapas do método SAFER (2012) utilizando a superfície albedo, a superfície temperatura e do NDVI.



Fonte: Teixeira et al,2012

A validação de um modelo mais preciso para estimativa da ET<sub>a</sub> e dos coeficientes de cultura nas condições do noroeste paulista é fundamental para estudos posteriores do uso da água em escala regional especialmente focado na ampliação das áreas irrigadas sobre a vegetação natural face a mudança no uso da terra, e é necessário conhecer e dispor de ferramentas eficientes para racional gestão de recursos hídricos.

### 3.4 Processamento

Antes da obtenção da estimativa da evapotranspiração via sensoriamento remoto às imagens são processadas, com correções geométricas, calibrações radiométricas e informações biofísicas para o cálculo do balanço de energia. Para o geoprocessamento das informações foi utilizado o software ILWIS (Integrated Land Water Information System) que na função *script* possibilitou os cálculos dos dados no formato matricial (*raster*).

#### 3.4.1 Conversão dos valores de DN (números digitais) em radiância

Inicialmente correções atmosféricas foram realizadas com posterior conversão dos valores digitais em radiância espectral (CHANDER; MARKHAM, 2003) para cada banda por meio da equação 2, sendo que a Radiância ( $L_\lambda$ ) é a intensidade radiante por unidade de área-fonte projetada numa direção específica, sendo medida em watts por metro quadrado por esterradiano ( $\text{Wm}^{-2} \text{sr}^{-1}$ ).

$$L_\lambda = \left( \frac{L_{MAX} - L_{MIN}}{255} \right) Q_{cal} + L_{MIN} \quad (2)$$

Onde:

$L_{MAX}$  = radiância máxima ( $\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}.\mu\text{m}^{-1}$ )

$L_{MIN}$  = radiância mínima ( $\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}.\mu\text{m}^{-1}$ )

$Q_{cal}$  = intensidade do pixel (ND), número inteiro variando de 0 a 255.

Tabela 2 - Descrição das bandas do Mapeador Temático (TM) do Landsat 5, com os correspondentes intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração (radiância mínima - a e máxima - b) e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera (TOA).

<b>Bandas</b>	<b>Comprimento de Onda (μm)</b>	<b>Coeficientes de Calibração (Wm<sup>-2</sup>sr<sup>-1</sup>μm<sup>-1</sup>)</b>		<b>Irradiância Espectral no Topo da Atmosfera (Wm<sup>-2</sup>μm<sup>-1</sup>)</b>
		<b>a</b>	<b>b</b>	
1 (azul)	0,45 - 0,52	-1,52	193,0	1957
2 (verde)	0,52 - 0,60	-2,84	365,0	1829
3 (vermelho)	0,63 - 0,69	-1,17	264,0	1557
4 (IV-próximo)	0,76 - 0,79	-1,51	221,0	1047
5 (IV-médio)	1,55 - 1,75	-0,37	30,2	219,3
6 (IV-termal)	10,4 - 12,5	1,237	15,303	-
7 (IV-médio)	2,08 - 2,35	-0,15	16,5	74,52

Fonte: modificado de Chandler e Markham (2003).

### 3.4.2 Cálculo de reflectância

Para cada banda é calculada então a reflectância ( $p_\lambda$ ) a partir dos valores de radiância obtidos na etapa anterior, sendo a reflectância o processo pelo qual a radiação “resvala” num objeto como o topo de uma nuvem, um corpo d’água, ou um solo exposto.

$$p_\lambda = \frac{\pi * L_\lambda}{ESUN_\lambda * \cos Z * E_0} \quad (3)$$

Sendo:

$L_\lambda$  = radiância de cada banda

$ESUN_\lambda$  = irradiância Espectral no Topo da Atmosfera (Tabela 1).

$\cos Z$  = ângulo zenital

$E_0$  = ângulo diário

Onde  $E_0$  é definidor por:

$$\begin{aligned} E_0 = & 1,000110 + 0,0342221 \cos(da) + 0,001280 \sin(da) \\ & + 0,000719 \cos(2 * da) + 0,000077 \sin(2 * da) \end{aligned} \quad (4)$$

Sendo:

$$da = \text{ângulo diário}$$

Onde  $da$  é definido pela equação 5:

$$da = (d_n - 1) \frac{2\pi}{365} \quad (5)$$

Sendo

$$d_n = \text{dia Juliano da imagem}$$

### 3.4.3 Albedo no topo da atmosfera

A obtenção do albedo planetário foi feita pela equação 6:

$$\alpha_{top} = \sum(\omega_\lambda * \rho_\lambda) \quad (6)$$

Onde:

$$\rho_\lambda = \text{reflectância}$$

$$\omega_\lambda = \text{coeficiente para cada banda}$$

Sendo  $\omega_\lambda$  obtido pela equação 7:

$$\omega_\lambda = \frac{ESUN_\lambda}{\sum ESUN_\lambda} \quad (7)$$

Tabela 3 - Coeficientes para o cálculo do albedo planetário para cada banda do Landsat TM5. (Fonte: INPE, 2014).

	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 6	Banda 7
Landsat TM 5	0,293	0,274	0,233	0,157	0,033	-	0,011

### 3.4.4 Albedo de superfície

As informações sobre o albedo de superfície e temperatura de superfície foram obtidos pelas equações 6 e 7 utilizando os coeficientes de Teixeira (2010):

$$\alpha_o = 0,7 * \alpha_{top} + 0,06 \quad (8)$$

Onde:

$\alpha_{top}$  = Albedo no topo da atmosfera, obtido na equação 6.

### 3.4.5 Temperatura de superfície

Os fundamentos do sensoriamento remoto termal estão embasados na Termodinâmica Clássica e na Física Quântica. O problema de se estimar a temperatura de um corpo por meio de sensores remotos é solucionado utilizando as Leis de Kirchhoff e a Lei de Planck. A base fundamental do sensoriamento remoto do infravermelho termal é que toda superfície emite radiação, e sua intensidade depende da temperatura da superfície estudada.

Para elaborar a carta de temperatura da superfície, utilizou-se a imagem do canal do infravermelho termal (faixa espectral de 10,4 a 12,5  $\mu\text{m}$ ) do sensor TM do satélite Landsat - 5, com resolução espacial de 60 metros.

A temperatura de superfície foi calculada pela equação 9:

$$T_0 = 1,11 * T_{bright} - 31,89 \quad (9)$$

Onde  $T_{bright}$  é obtido pela equação 10:

$$T_{bright} = \frac{1260,56}{\ln\left(\frac{607,76}{L_6 + 1}\right)} \quad (10)$$

Sendo:

$L_6$  = radiância ( $L_\lambda$ ) da banda 6

### 3.4.6 Índice de vegetação de diferença normalizada-NDVI

Em seguida foram calculados os dados de NDVI pela equação 11:

$$NDVI = \frac{(\rho_4 - \rho_3)}{(\rho_4 + \rho_3)} \quad (11)$$

Sendo:

$\rho_4$  = reflectância da banda 4 - infravermelho próximo

$\rho_3$  = reflectância da banda 3 - banda no vermelho

### 3.4.7 Evapotranspiração em escala regional utilizando o algoritmo SAFER

Posteriormente os dados de albedo de superfície ( $\alpha_0$ ), temperatura de superfície ( $T_o$ ) e NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), foram utilizados para se calcular os valores instantâneos da relação  $ET_a/ET_o$ .

Onde para o coeficiente “a” foi utilizado o valor de 1,0 (HERNANDEZ et al., 2012; TEIXEIRA et al., 2013) e o coeficiente “b” foi obtido por Teixeira (2010) correspondendo ao valor de -0,008.

$$\frac{ETa}{ET_o} = \exp \left[ a + b \left( \frac{T_o}{\alpha_o NDVI} \right) \right] \quad (12)$$

Em seguida os valores instantâneos dessa relação são então multiplicados pelos valores diários da  $ET_o$ , chegando assim à  $ET_a$ :

$$ETa = \frac{ETa}{ET_o} * ET_o \quad (13)$$

### 3.4.8 Cálculo do Balanço de Energia

Dentro do cálculo do balanço de energia, o albedo foi calculado pela fórmula 14:

$$Alb_{24} = 1,0223 * \alpha_o + 0,0149 \quad (14)$$

Já a radiação global incidente ( $Rg\downarrow$ ) foi obtida nos piranômetros nas estações agrometeorológicas, enquanto a radiação de onda curta refletida pela superfície ( $Rr\uparrow$ ) foi calculada pela equação 15:

$$Rr\uparrow = Rg\downarrow * Alb_{24} \quad (15)$$

Onde  $Rg\downarrow$  = radiação de onda curta incidente em  $MJ m^{-2} dia^{-1}$

A radiação de onda longa incidente ( $RI\downarrow$ ) foi calculada pela equação de Stefan-Boltsman, utilizando-se os valores de  $T_a$ .

$$Rl \downarrow = \varepsilon * \sigma * T^4 \quad (16)$$

Onde:

$\sigma$  = é a constante de Stefan-Boltz

$\varepsilon$  = o poder de emissividade do corpo

$T$  = é temperatura obtida por meio das estações agrometeorológicas em K

Enquanto  $Rl \downarrow$  foi obtido pela lei de Stefan-Boltsman, o valor de  $Rl \uparrow$  foi encontrado por meio da diferença entre radiações de ondas curtas, a radiação de onda longa emitida pela atmosfera e o saldo de radiação.

$$Rl \uparrow = (Rg \downarrow - Rr \uparrow) + (Rl \downarrow - Rn) \quad (17)$$

Já os valores de  $Rn$  foram obtidos pela equação 18 :

$$n = (1 - \alpha_o)Rg \downarrow - a\tau_{sw} \quad (18)$$

Onde  $Rg \downarrow$  em  $\text{W/m}^2$ ;  $a$  é um coeficiente de regressão entre o saldo de radiação de ondas longas e transmissividade atmosférica de ondas curtas ( $\tau_{sw}$ ), sendo obtido através da equação 19:

$$a = bT_a - c \quad (19)$$

Sendo que “b” e “c” são coeficientes de regressão obtidos por Teixeira et al. (2008a) para condições do semiárido brasileiro, sendo respectivamente 6,99 e 39,93. Os valores de  $T_a$  correspondem a interpolação dos dados de temperatura média do ar.

Os valores de fluxo de calor latente ( $\lambda E$ ) foram obtidos através da conversão da ETa em unidades de energia, posteriormente os valores de  $H$  (fluxo de calor sensível) foram determinados como resíduo do balanço de energia, assumindo-se para isso que os valores do fluxo de calor no solo ( $G$ ) correspondem a 0 para o período de 24 horas:

$$H = R_n - \lambda E \quad (20)$$

### 3.4.9 Avaliação dos Resultados Obtidos

Após a obtenção das imagens, estas foram importadas no software Arc Gis®10, onde foram obtidos os valores médios dos parâmetros biofísicos que compõem a evapotranspiração atual ou real e o  $K_c$ , para a área total de estudo.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Área com citros

Na Tabela 4 encontram-se os dados de áreas calculadas a  $ET_a$  pelo SAFER nos municípios que compõem a área de estudo. Foram feitos em cada cidade um número de polígonos para serem processados, e destes uma porcentagem que foi realizada uma conferência em campo para determinar alguns parâmetros como: a idade fenológica, a área de cada talhão, o tipo de sistema de irrigação, e se ainda havia a presença de citros na área. Pode-se observar que de toda área com citros do noroeste paulista houve uma área amostrada para o cálculo da  $ET_a$  e  $K_c$  de 53,75%.

Tabela 4 - Áreas de citros em 2011 e área utilizada no processamento do método SAFER.

Cidade	Polígonos processados	Área total (hectares)	Área amostrada (%)
Populina	14	400	69,6
Paranapuã	13	461	58,6
Santa Fé do Sul	5	228	51
Mesópolis	6	147	-
<b>TOTAL</b>	<b>38</b>	<b>1.236</b>	<b>53,75</b>

Fonte: Dados da própria autora

## 4.2 Comparação de variáveis

### 4.2.1 ET Tradicional e ET<sub>a</sub> SAFER

Na Tabela 6 foram realizados os cálculos do ET<sub>c</sub> determinado pelo método tradicional, e na tabela 7 foram realizados os cálculos para ET<sub>a</sub> utilizando o SAFER, tanto para o dia 10 de abril de 2011 como para a de 17 de setembro de 2011. Foram utilizados para a Evapotranspiração de Referência, os valores medidos pelas estações agrometeorológicas do noroeste paulista, operada pela Área de Hidráulica e Irrigação da Unesp de Ilha Solteira. Foi possível calcular também o volume de água estimado para suprir a cultura de acordo com as suas exigências, através da equação 21:

$$V = \text{área} * 10 * ET \quad (21)$$

Analizando a ET<sub>c</sub> (calculada na Tabela 5) através da fórmula de Penman-Monteith, podemos perceber que a ET<sub>c</sub> aumentou em condições de maiores estresse hídrico, ou seja, na data de setembro já que de acordo com a Tabela 5 é a que obteve mais dias sem chuvas se comparada com a de abril. Pelo fato de nessa época ter uma evaporação e uma transpiração maior, mesmo em sistemas irrigados, já que o cálculo não consegue distinguir uma produção quando irrigada, ou seu estágio de desenvolvimento.

Em relação ao K<sub>c</sub>, ALLEN et al. (1998), no Boletim da FAO-56, recomendam valores de K<sub>c</sub> para citros entre 0,70 e 0,75 para diferentes estádios fenológicos quando o grau de cobertura é em torno de 70% e a altura de plantas é no máximo 4m, como foi realizado uma pesquisa de campo com os produtores das áreas processadas, foi possível estimar um K<sub>c</sub> para cada polígono de acordo com seu desenvolvimento fenológico.

Para a evapotranspiração de referência não houve interpolação, pois simulou a situação de um irrigante que buscara os dados da estação agrometeorológica mais próxima para fazer o efetivo cálculo.

Tabela 5 - Condições hídricas da região do noroeste paulista nas datas das imagens utilizadas

Data da imagem	Dia Juliano	Chuva Acumulada em 180 dias C.A.(mm)	ETo Acumulada em 180 dias - ETo A (mm)	C.A. - ETo A (mm)	Dias sem chuva maior que 10 mm	Última chuva (mm)
10/04/2011	100	1.284,3	337,6	946,7	8	17,5
17/09/2011	260	272,3	630,5	-358,2	45	20,1

Fonte: Dados da própria autora

Quando se analisa a evapotranspiração atual estimada pelo método SAFER, observa-se na Tabela 7 que alguns polígonos possuíram a características de que em setembro apresentar valores menores do que em abril, podendo ser justificado por que a evaporação pode ter diminuído e a transpiração aumentado e assim não é possível diferir corretamente o valor da  $ET_a$ , principalmente em talhões que não possuem sistemas de irrigação. Em áreas irrigados, o fato de o satélite ter passado no horário (13:11 horas) de máxima demanda evapotranspirativa, pode ter coincidido com o sistema de irrigação em operação e neste caso ter influenciado nos resultados.

A relação  $ET_a/ET_o$  quando comparados as duas épocas houve áreas que tiveram valores menores mesmo quando está em fase inicial da cultura. Esse fato ocorre devido à interação desta relação e a cultura em si, podendo sofrer o efeito da frequência de umedecimento da superfície do solo, devido essa superfície estar descoberta ou pouco vegetada, ou ainda a frequência que houve de irrigação.

Tabela 6 - Evapotranspiração da cultura em áreas cultivadas com citros (Allen et al., 1998).

DESCRÍÇÃO POLIGONO	CIDADE	ÁREA (ha)	Tempo de implantação	K <sub>c</sub>	10/04/2011			17/09/2011		
					ET <sub>o</sub> mm dia <sup>-1</sup>	ET <sub>c</sub> mm dia <sup>-1</sup>	Volume (m <sup>3</sup> /ha)	ET <sub>o</sub> mm dia <sup>-1</sup>	ET <sub>c</sub> mm dia <sup>-1</sup>	Volume (m <sup>3</sup> /ha)
P01irrigado	Paranapuã	50	4 anos	0,75	3,9	<b>2,9</b>	29	5,8	<b>4,4</b>	44
P02irrigado	Paranapuã	20	12 anos	0,75	3,9	<b>2,9</b>	29	5,8	<b>4,4</b>	44
P03irrigado	Paranapuã	15	9 anos	0,75	3,9	<b>2,9</b>	29	5,8	<b>4,4</b>	44
P04irrigado	Paranapuã	10	6 anos	0,75	3,9	<b>2,9</b>	29	5,8	<b>4,4</b>	44
P05irrigado	Paranapuã	20	11 anos	0,75	3,9	<b>2,9</b>	29	5,8	<b>4,4</b>	44
P06irrigado	Paranapuã	100	0 ano	0,60	3,9	<b>2,7</b>	27	5,8	<b>4,1</b>	41
P07sequeiro	Paranapuã	17	9 anos	0,75	3,9	<b>2,9</b>	29	5,8	<b>4,4</b>	44
P08sequeiro	Paranapuã	42	11 anos	0,75	3,9	<b>2,9</b>	29	5,8	<b>4,4</b>	44
P09irrigado	Santa Fé do Sul	63	4 anos	0,75	3,9	<b>2,9</b>	29	7,0	<b>5,3</b>	53
P10irrigado	Santa Fé do Sul	68	5 anos	0,75	3,9	<b>2,9</b>	29	7,0	<b>5,3</b>	53
P11irrigado	Santa Fé do Sul	27	2 anos	0,70	3,9	<b>2,7</b>	27	7,0	<b>4,9</b>	49
P12irrigado	Santa Fé do Sul	57	1 ano	0,70	3,9	<b>2,7</b>	27	7,0	<b>4,9</b>	49
P13irrigado	Populina	30	6 anos	0,70	3,9	<b>2,7</b>	27	6,3	<b>4,4</b>	44
P14irrigado	Populina	130	12 anos	0,75	3,9	<b>2,9</b>	29	6,3	<b>4,7</b>	47
P15irrigado	Populina	45	8 anos	0,70	3,9	<b>2,7</b>	27	6,3	<b>4,4</b>	44

Fonte: Dados da própria autora

Tabela 7 - Evapotranspiração atual estimada pelo modelo SAFER (Teixeira, 2010).

DESCRIÇÃO POLIGONO	CIDADE	ÁREA (ha)	Tempo de implantação	10/04/2011				17/09/2011			
				ET <sub>a</sub> / ET <sub>o</sub>	ET <sub>o</sub> mm dia <sup>-1</sup>	ET <sub>a</sub> mm dia <sup>-1</sup>	Volume (m <sup>3</sup> /ha)	ET <sub>a</sub> / ET <sub>o</sub>	ET <sub>o</sub> mm dia <sup>-1</sup>	ET <sub>a</sub> mm dia <sup>-1</sup>	Volume (m <sup>3</sup> /ha)
P01irrigado	Paranapuã	50	4 anos	0,3	3,9	1,3	13	0,2	5,8	1,2	12
P02irrigado	Paranapuã	20	12 anos	0,3	3,9	1,1	11	0,2	5,8	1,4	14
P03irrigado	Paranapuã	15	0 anos	0,3	3,9	1,3	13	0,1	5,8	0,5	5
P04irrigado	Paranapuã	10	6 anos	0,2	3,9	0,7	7	0,1	5,8	0,4	4
P05irrigado	Paranapuã	20	11 anos	0,4	3,9	1,4	14	0,3	5,8	1,8	18
P06irrigado	Paranapuã	100	9 anos	0,3	3,9	1,1	11	0,1	5,8	0,3	3
P07sequeiro	Paranapuã	17	9 anos	0,4	3,9	1,7	17	0,1	5,8	0,6	6
P08sequeiro	Paranapuã	42	11 anos	0,4	3,9	1,5	15	0,1	5,9	0,5	5
P09irrigado	Santa Fé do Sul	63	4 anos	0,5	4,0	1,7	17	0,4	6,3	2,2	22
P10irrigado	Santa Fé do Sul	68	5 anos	0,4	4,0	1,7	17	0,2	6,3	1,3	13
P11irrigado	Santa Fé do Sul	27	2 anos	0,3	4,0	1,1	11	0,1	6,3	0,3	25
P12irrigado	Santa Fé do Sul	57	1 ano	0,1	4,0	0,5	5	0,4	6,3	2,1	21
P13irrigado	Populina	30	6 anos	0,3	3,9	1,1	11	0,1	5,9	0,3	3
P14irrigado	Populina	130	12 anos	0,4	3,9	1,7	17	0,1	6,0	0,5	5
P15irrigado	Populina	45	8 anos	0,4	3,9	1,4	14	0,1	6,1	0,3	3

Fonte: Dados da própria autora

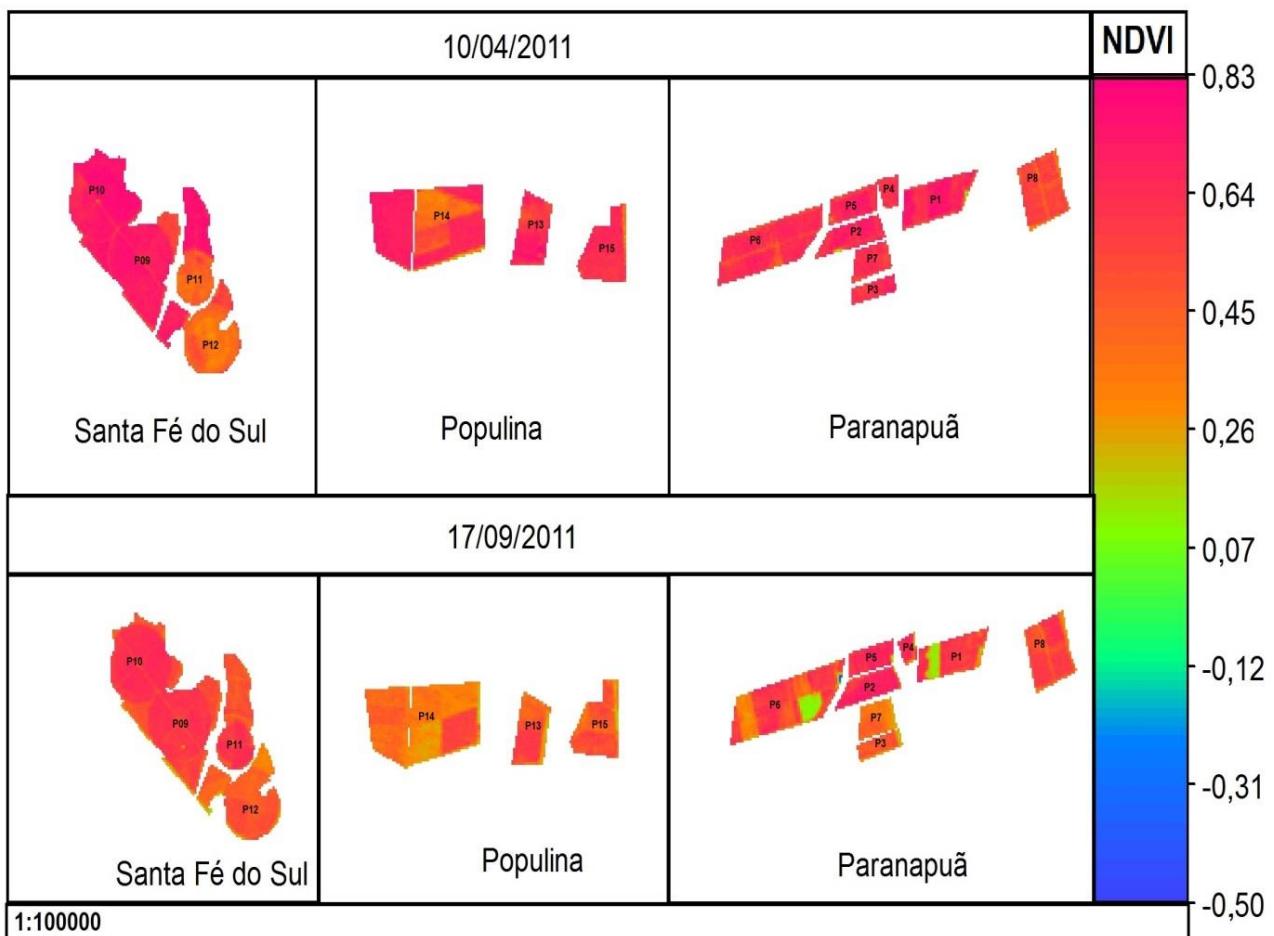
#### 4.2.2 NDVI

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada varia de -1 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1 maior o vigor da vegetação, mais densa a cobertura vegetal e maior a atividade fotossintética (Santos & Negri, 1997). Santos & Negri (1997) afirmam a estreita correlação do NDVI com variáveis climáticas tais como a precipitação e a temperatura da superfície terrestre. A oscilação entre as estações seca e úmidas durante o ano e entre os diferentes anos, com condições de maior ou menor secura, influenciam de forma direta o comportamento fenológico das plantas.

Santos & Negri consideraram que ao longo do ano o NDVI apresenta valores mais elevados próximos a 1 na estação chuvosa e valores menores na estação seca. Partindo desta premissa realizou-se comparação entre os valores de NDVI, obtidos a partir de imagens orbitais dos meses de abril e setembro do ano de 2011. A tabela 8 apresenta os valores dos níveis de NDVI para a área de estudo nos meses indicados e mostrando o que realmente próximo da época chuvosa têm-se valores maiores, por ter uma Radiação Fotossintética Ativa maior do que na época mais seca.

Os tons de vermelho na Figura 4 indicam áreas cobertas de vegetação, sendo que as zonas em vermelho mais escuro representam regiões de vegetação densa, onde os valores de NDVI estão próximos de 1. O solo exposto e os plantios recentes estão representados em tons verde azulado, com NDVI variando de 0 a -1.

Figura 4 – NDVI (Índice de vegetação de diferença normalizada) no noroeste paulista.

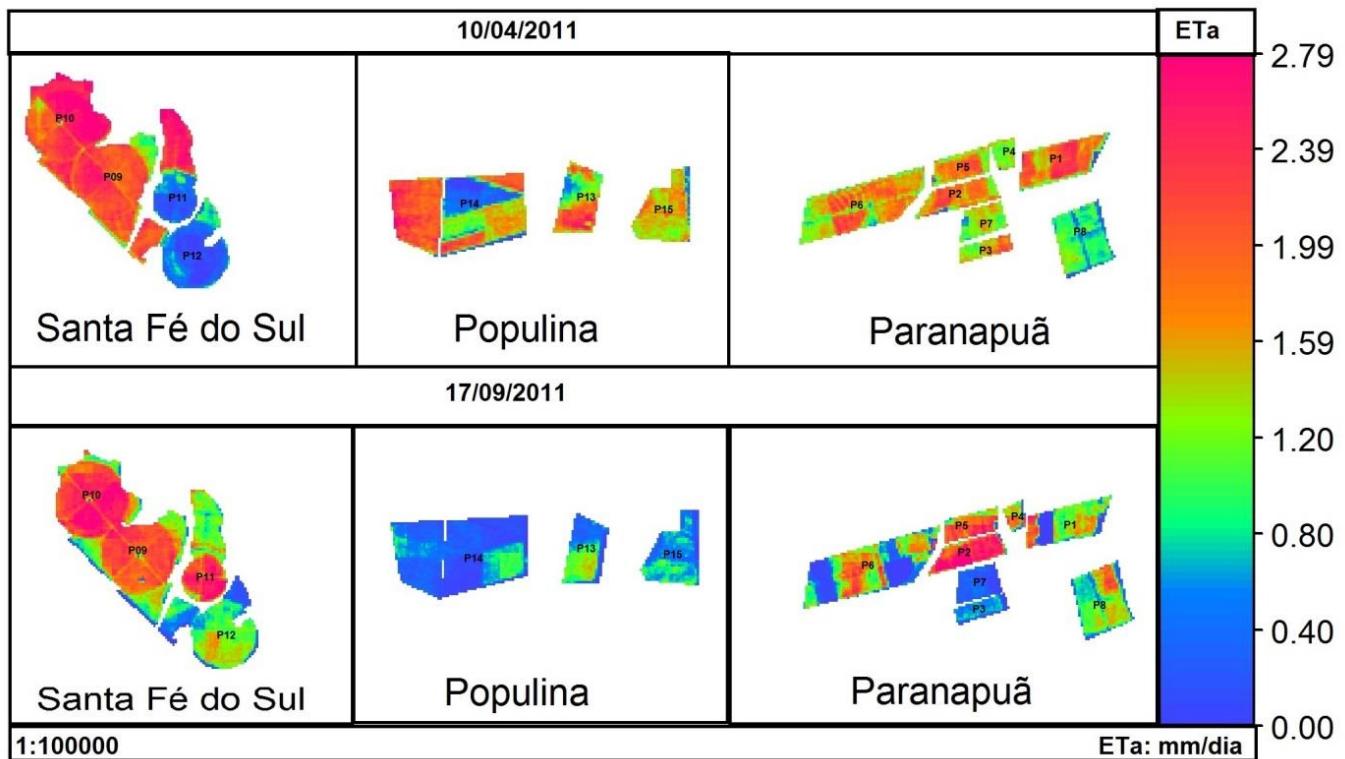


Fonte: Dados da própria autora

#### 4.2.3 Épocas do ano

Quando se analisa as datas, uma com uma umidade maior no solo devido aos dias próximos em que houve chuva e outra com ausência de chuva há mais tempo, pode-se notar que a mesma região possui  $ET_a$  menor na data com maior umidade, exceto aquelas que fazem o uso de irrigação frequentes. Como se verifica na Figura 5 com a comparação através do mapa temático quanto à época de passagem do satélite.

Figura 5 - Mapas de Evapotranspiração Atual pelo modelo SAFER em duas datas.

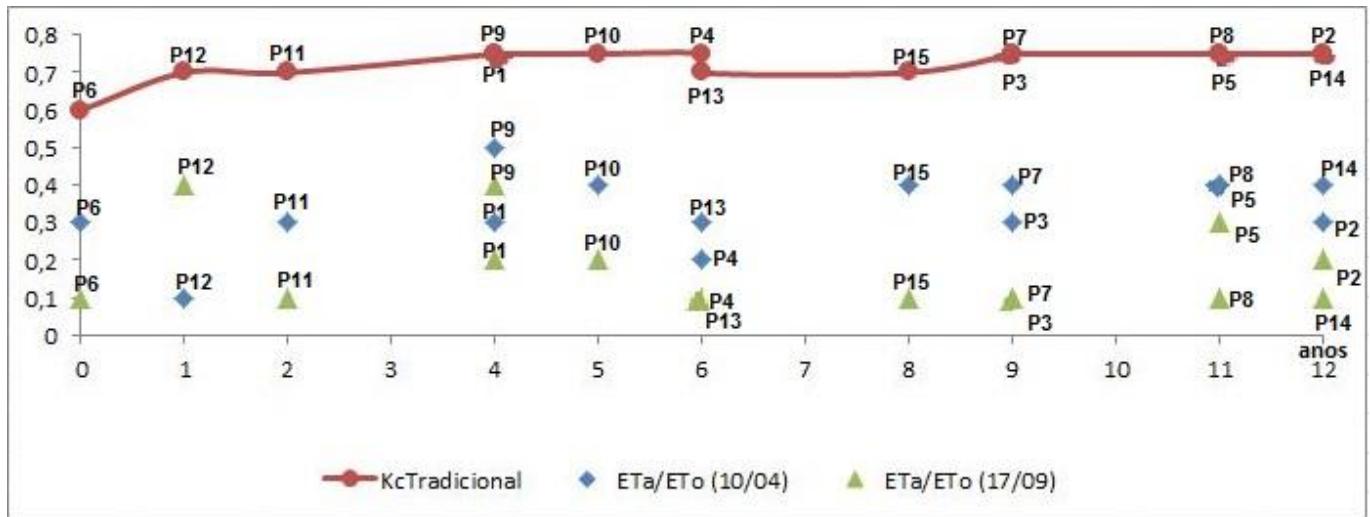


Fonte: Dados da própria autora

#### 4.2.4 Coeficiente de cultura

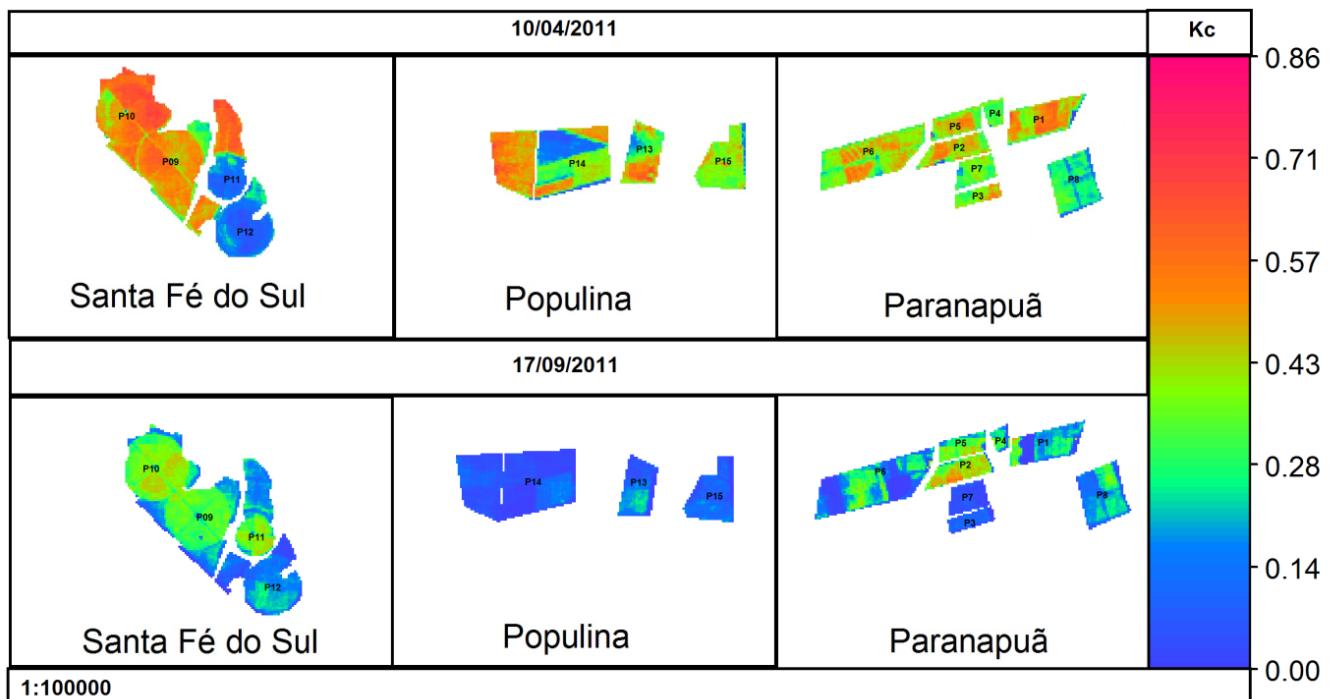
A Figura 7 mostra a diferença em relação ao coeficiente de cultura, no qual consegue ter, mesmo com diferença de 5 meses, mapas temáticos diferentes mostrando a variação do  $K_c$  para a cultura do citros no noroeste paulista, sendo de fundamental importância a obtenção de valores destes  $K_c$  para que possam ser utilizados para o dimensionamento e o manejo de sistemas de irrigação, levando em consideração também as condições de umedecimento da superfície do solo que podem ocorrer de acordo com a última irrigação realizada na área antes do satélite passar. Na Figura 6 foi possível analisar a diferença de coeficiente de cultura, tanto o tradicional quanto o estimado pelo SAFER. Podendo ter uma variação quanto a época do ano, tanto seca quanto chuvosa.

Figura 6 – Comparativo de Kc tradicional e SAFER



Fonte: Dados da própria autora

Figura 7 - Coeficiente da cultura ( $K_c$ ) calculados pelo método de SAFER.

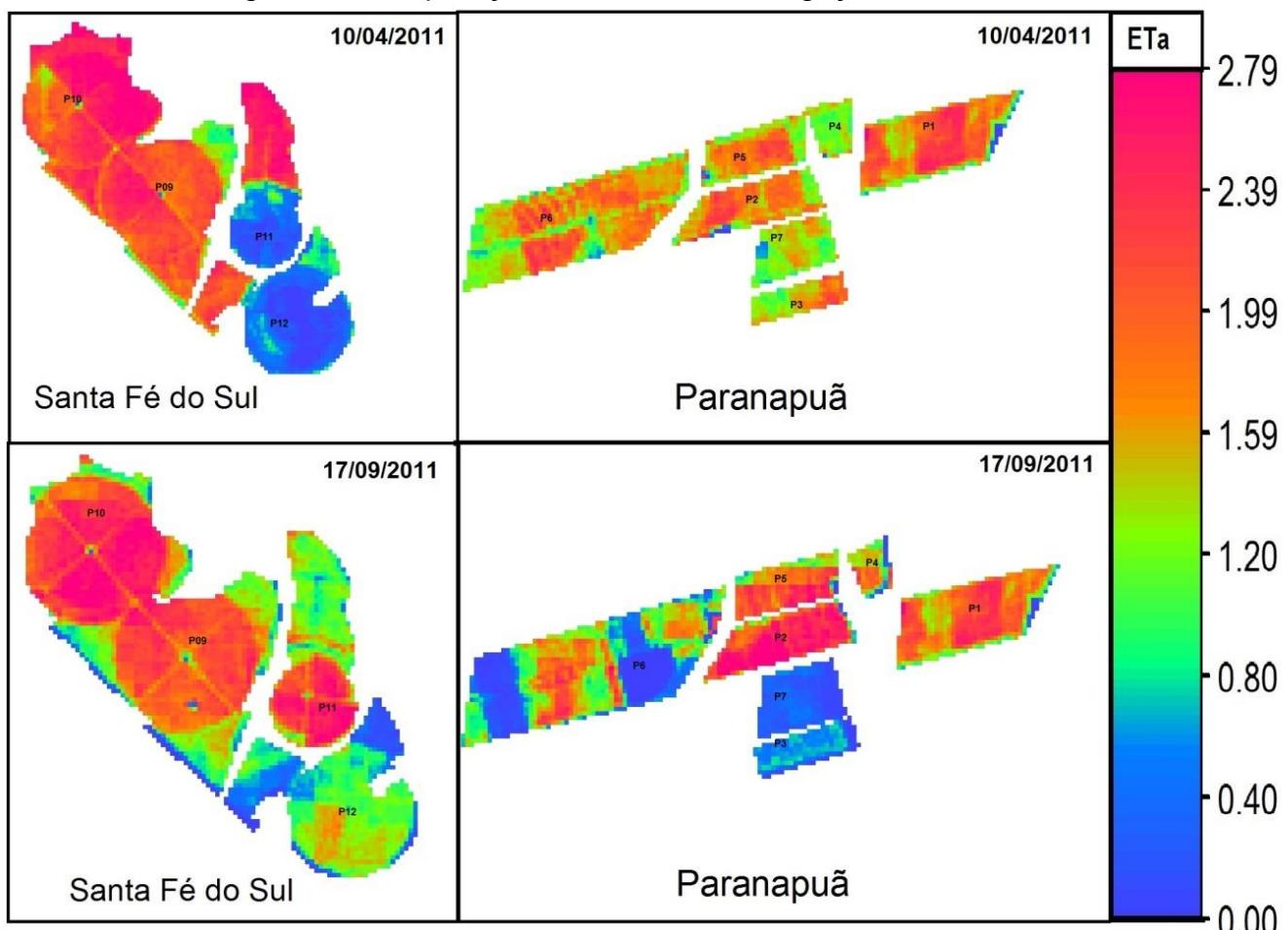


Fonte: Dados da própria autora

#### 4.2.5 Sistemas de Irrigação

A Figura 8 consegue expor visualmente a diferença na evapotranspiração das áreas onde o sistema de irrigação é do tipo pivô central (Santa Fé do Sul) e as áreas onde são irrigadas por canhão - carretel enrolador (Paranapuã), tanto na data mais chuvosa quanto na data mais seca, evidentemente na data mais chuvosa os dois sistemas de irrigação conseguem ter uma uniformidade, porém na data mais seca pode ver uma variação maior no sistema de irrigação tipo carretel enrolador.

Figura 8 - Comparação de sistemas de irrigação analisando a ET<sub>a</sub>.



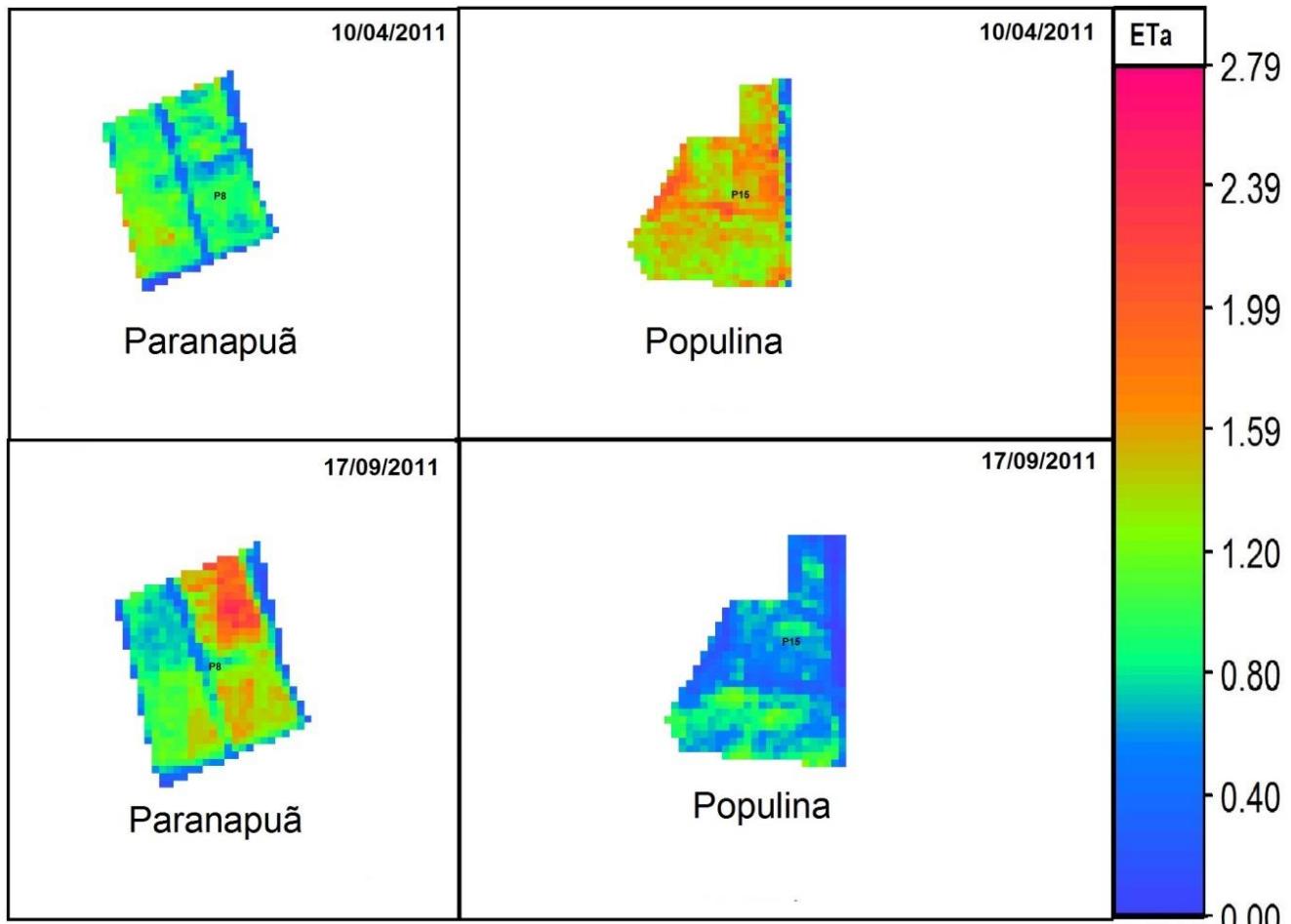
Fonte: Dados da própria autora

#### 4.2.6 Áreas irrigadas e sequeiros

Pode-se analisar as áreas irrigadas e as de sequeiros, áreas onde possuem a mesma idade cronológica da cultura, sendo essas com predominância de

variedades do tipo Pera Rio. A área de Paranapuã é de sequeiro e a de Populina é irrigada, na data mais seca a  $ET_a$  é menor na área irrigada, como mostra o mapa temático (Figura 9).

Figura 9 - Diferença de  $ET_a$  comparando com sistemas irrigados e não irrigado.



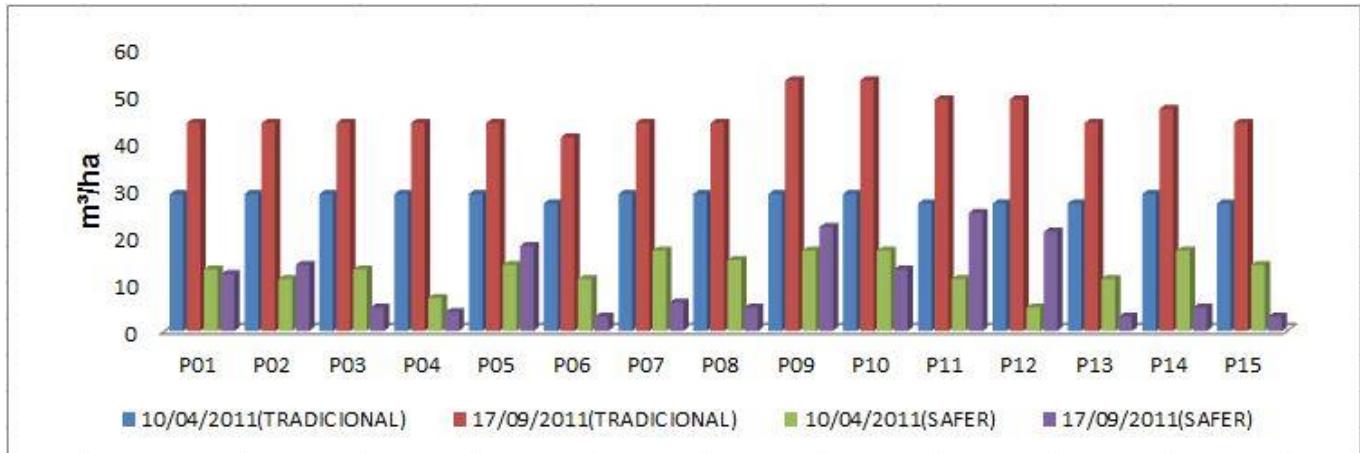
Fonte: Dados da própria autora

#### 4.2.7 Volume de água necessário para a cultura

Na Figura 10 tem-se um gráfico mostrando a diferença entre a quantidade de água necessária quando utiliza o método SAFER como padrão para as culturas e o método tradicional. Nas duas épocas o método SAFER teve uma quantidade de volume de água menor, tendo assim o uso combinado de conjunto de imagens Landsat com dados de estações agrometeorológicas podendo permitir a

quantificação e análises das tendências dos parâmetros de consumo adequado da água.

Figura 10 - Volume estimado de água em cada método e em cada data-controle.



Fonte: Dados da própria autora

## 5 CONCLUSÕES

A combinação de sensoriamento remoto com estações agrometeorológicas possibilita avaliar variáveis para possível melhoramento no manejo da irrigação e um possível diagnóstico da quantidade necessária de água a ser aplicada em cada área, podendo ser feito tanto para épocas chuvosas quando a precipitação não consegue suprir a necessidade da planta e tanto para épocas de secas que o irrigante necessita de informação para o manejo adequado de sua cultura, para que assim obtenha uma maior produtividade sem que haja desperdício de recursos hídricos.

Os valores de  $ET_a/ET_o$  obtidos pelo modelo SAFER, que na prática corresponderia ao coeficiente de cultura atual e sob condições de irrigação deveriam representar a condição potencial, ficaram abaixo do preconizado pelo Boletim FAO 56.

Todavia, em uma primeira abordagem em citros, pois até o momento só se têm estudos com culturas anuais, o modelo SAFER se mostrou consistente na

avaliação do consumo de água pelos pomares e na identificação de possíveis problemas na uniformidade da aplicação de água pelos sistemas de irrigação, ou mesmo, em condições de sequeiro, apontar a variabilidade no consumo de água em um mesmo talhão, o que pode motivar novos estudos sobre o manejo da irrigação praticado, avaliando no tempo com imagens sequenciais possíveis déficits ou excesso de água aplicada.

## LITERATURA CONSULTADA

ABREU, F.L.G. Avaliação de sistema radicular de porta-enxertos para lima ácida ‘Tahiti’ [Citrus latifolia (Yu.Tanaka) Tanaka] e relação com atributos do solo. 2005. 56 fl. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2005.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. Roma: FAO Irrigation and Drainage, Paper 56, p.297, 1998.

ALLEN, R.G.; TASUMI, M.; TREZZA, R.; WATERS, R.; BASTIAASSEN, W. Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) - Advanced training and User’s Manual. Kimberly: Idaho Implementation, p.98, 2002.

ALVES JÚNIOR, J. Necessidade hídrica e resposta da cultura de lima-ácida ‘Tahiti’ a diferentes níveis de irrigação. 2006. p 100. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

BASTIAANSSEN, W. SEBAL - Based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. Journal of Hydrology, v. 229, p. 87-100, 2000.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C., Manual de Irrigação, 7<sup>a</sup> edição, Editora UFV, 2005.

BEZERRA, F.M.L.; OLIVEIRA, C.H.C. Evapotranspiração máxima e coeficiente de cultura nos estádios fenológicos da melancia irrigada. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.3, n.2, p.173-177, Campina Grande, Paraíba, 1999.

BEZERRA, B. G.; SILVA, B. B.; FERREIRA, N. J. Estimativa da evapotranspiração real diária usando-se imagens digitais TM - Landsat 5. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 23, n. 3, p. 305-317, 2008.

- BOMAN, B.J. Evapotranspiration from young Florida flatwoods citrus trees. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, New York, v.120, n.1, p.81-88, 1994.
- CHANDER, G.; MARKHAM, B. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. *Ieee Transactions On Geoscience And Remote Sensing*, Piscataway, v.41, n.11, p.2674-2677, nov. 2003.
- COELHO, R.D. Contribuições para a irrigação pressurizada no Brasil.2007. p. 192.Tese (livre-Docência) - Escola de Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- COELHO, R.D.; SCHMIDT W.; JACOMAZZI, M.A.; ANTUNES, M.A.H. Distribuição espacial de pivôs centrais no Brasil: I - região sudeste. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.8, n.2-3, p.7, 2004.
- CRUZ, A.C.R. Consumo de água por cultura de citros cultivada em latossolo vermelho amarelo, Piracicaba, p. 92,2013.
- DAMIÃO, J.O.; HERNANDEZ, F.B.T.; SANTOS, G.O.; ZOCOLER, J.L. Balanço hídrico da região de ilha solteira, noroeste paulista. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, Uberaba, 2010. Disponível em: [http://www.agr.feis.unesp.br/pdf/conird2010\\_damiao.pdf](http://www.agr.feis.unesp.br/pdf/conird2010_damiao.pdf). Acesso em: 25 mai. 2014
- DE NEGRI, J.D.; PIZA JR., C.T. Instruções para a cultura dos citros. In: Manual Shell sobre Citricultura. São Paulo: Shell do Brasil, p.75-79, 1988.
- DI PACE, F.T.; SILVA, B.B.; SILVA, V.P.R.; SILVA, S.T.A. Mapeamento do saldo de radiação com imagens Landsat 5 e modelo de elevação digital. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.12, n.4, p.385-392, 2008.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande: UFPB, Estudos FAO Irrigação e Drenagem, n.33, 1994. 306p. (Tradução de H.R. GHEYI).
- FLUMIGNAN, D.L.; TEIXEIRA, F.R. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo de cafeeiros em fase de formação, Bragantia: revista de ciências agronômicas, Vol. 68, N. 1, p. 269-278, Instituto Agronômico de Campinas, 2009.
- FNP CONSULTORIA & AGROINFORMATIVOS. Agriannual 2011: anuário da agricultura Brasileira. São Paulo, 2011.p. 504.
- FREVERT, D.R.; HILL, R.W.; BRAATEN, B. C. Estimation of FAO evapotranspiration coefficients. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. ASCE, vol.109, p.265-270, 1983.
- HERNANDEZ, F.B.T.; LEMOS FILHO, M.A.F.; BUZZETTI, S. Software HIDRISA e o balanço hídrico de Ilha Solteira. Ilha Solteira: UNESP. 1995. 45p. (Série Irrigação,1).
- HERNANDEZ, F.B.T.; NEALE, C.; TAGHVAEIAN, S. TEIXEIRA, A.H.C. Avaliação preliminar do modelo SEBAL para a estimativa da distribuição espacial da evapotranspiração em áreas irrigadas no noroeste paulista. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 15, 2011, Curitiba. Anais

XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR. Curitiba: INPE, p.5209 - 5216, 2011.

HERNANDEZ, F.B.T.; SOUZA, S.A.V.; ZOCOLER, J.L.; FRIZZONE, J.A. Simulação e efeito de veranicos em culturas desenvolvidas na região de Palmeira d'Oeste, Estado de São Paulo. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.23, n.1, p.21-30, 2003.

HERNANDEZ, F.B.T.; TEIXEIRA, A.H.C; NEALE, C.M.U.; TAGHVAEIAN, S. Determining actual evapotranspiration on the large scale using agrometeorological and remote sensing data in the Northwest of the São Paulo State, Brazil. In: International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops, 7º, Geisenheim - Alemanha, Proceedings, p.51, 2012.

INPE- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. São José dos Campos. Disponível em: <<http://www.inpe.br>>. Acesso em: 20 abr. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo demográfico 2010 - primeiros resultados. Brasília, 2003. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 14 set. 2012.

JOLY, A.B. Botânica: Introdução à taxonomia vegetal. São Paulo: EDUSP, p.777, 1975.

MATZENAUER, R. Evapotranspiração de plantas cultivadas e coeficientes de cultura. In: Bergamaschi et al., 1992. Agrometeorologia aplicada à irrigação. Porto Alegre: UFRGS, p. 125, 1992.

MEIRELES, M. Estimativa da evaporação real pelo emprego do algoritmo SEBAL e imagem landsat 5-TM na Bacia do Acaraú - CE [manuscrito]; 89 f., il. color., enc. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

MOREIRA, C.S.; PIO, R.M. Melhoramento dos citros. In: RODRIGUES, O.; VIÉGAS, F.; POMPEU JÚNIOR, J.; AMARO,A.A. Citricultura Brasileira. Campinas: Fundação Cargill, v.1, p. 116-152, 1991.

OLIVEIRA, J.B. Solos para citros. In: RODRIGUEZ, O.;VIÉGAS, J.; POMPEU JÚNIOR, J.; AMARO, A.S. (eds.) Citricultura brasileira, 2.ed. Campinas: Fundação Cargill, v.1, p.196-227, 1991.

OLIVEIRA, J.B.; CAMARGO, M.N.; ROSSI, M. & CALDERANO FILHO, B. Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida. Campinas: Instituto Agronômico/ EMBRAPA Solos, p. 64, 1999.

ORTOLANI, A.A.; PEDRO JÚNIOR, M.J.; ALFONSI, R.R. Agroclimatologia e o cultivo dos citros. In: RODRIGUEZ, O.; VIÉGAS, J.; POMPEU JÚNIOR, J.; AMARO, A.S. (eds.) Citricultura brasileira, 2.ed. Campinas: Fundação Cargill, v.1, p.153-195, 1991.

REUTHER, W. Climate and citrus behavior. In: REUTHER, W.(ed.) The citrus industry. Berkeley: University of California, v.3, p.280-337, cap.9, 1973.

ROLIM, G.S.; CAMARGO, M.B.P.; LANIA, D.G.; MORAES, J.F.L. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de

zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. Bragantia - Revista de Ciências Agronômicas. Campinas, v.66, n.4, p.711-720, 2007.

SANTOS, G.O.; HERNANDEZ, F.B.T.; ROSSETTI, J.C. Balanço hídrico como ferramenta ao planejamento agropecuário para a região de Marinópolis, noroeste do estado de São Paulo. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, v.4, p.142-149, 2010.

SANTOS, P.; NEGRI, A. J. A comparasion of the normalized difference vegetation index and rainfall for the Amazon and northeastern Brazil. Journal of applied meteorology, Washington, v. 36, nº 7, 1997, p. 958-965.

SEDIYAMA, G.C., RIBEIRO, A., LEAL, B.G. Relações Clima-Água-Planta. Capítulo 2, pag. 46-85. In: Manejo da Irrigação. Editor: FARIA, M. A. et. al. Lavras: UFLA/SBEA,1998. 368p.

SILVA, C.R. Evapotranspiração e desenvolvimento de Limeira Ácida 'Tahiti' na ausência e presença de estresse hídrico. 2005. 85 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

STEWART, B.A.; NIELSEN, D.R. Irrigation of agricultural crops. Madison: ASA, 1.218p. Agronomy Series, v.30, 1990.

TASUMI, M. Progress in operacional estimation of regional evapotranspiration using satellite imagery. University of Idaho, p. 355, 2003.

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, Petrolina, n. 2, p.1287-1319, 2010.

TEIXEIRA, A.H.C.; HERNANDEZ, F.B.T.; LOPES, H.L. Application of Landsat images for quantifying the energy balance under conditions of fast land use changes in the semi-arid region of Brazil. In: SPIE Remote Sensing, 2012, Edinburgh. Proc. SPIE 8531, Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology, XIV, v. 8531. p. 1-10, 2012.

TEIXEIRA, A.H.C.; SHERER-WARREN, M.; HERNANDEZ, F.B.T.; LOPES, H.L. Water productivity assessment by using MODIS images and agrometeorological data in the Petrolina municipality, Brazil. Remote Sensing, Edinburgh, United Kingdom, v. 8531, p. 1-10, 2012.

TEIXEIRA, A.H.C.; HERNANDEZ, F.B.T.; LOPES, H.L.; SHERER-WARREN, M.; BASSOI, L.H. Modelagem espacotemporal dos componentes dos balanços de energia e de água no Semiárido brasileiro. Campinas: EMBRAPA Monitoramento por Satélite. 2013. 32p. (Documentos, 99)

UNESP. ÁREA DE HIDRÁULICA E IRRIGAÇÃO: DADOS CLIMÁTICOS. Disponível em: <<http://clima.feis.unesp.br>>. Acesso em: 10 de março de 2013.

VELLAME, L.M. Relações hídricas e frutificação de plantas cítricas jovens com redução de área molhada do solo. Piracicaba, 2010, p.128.

VIEIRA, D.B. Irrigação de citros. In: Citricultura Brasileira. 2º ed. v 2. Campinas, São Paulo: Fundação Cargill, p. 519-554, 1991.

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

## ANEXOS

**ANEXO I.** Questionário utilizado para o levantamento das áreas com citros irrigadas e não irrigadas.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
Campus de Ilha Solteira

**FEIS - DEFERS**

Faculdade de Engenharia  
Área de Hidráulica e Irrigação

### LEVANTAMENTO DAS ÁREAS COM CITROS

#### 1. CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES

1.1. Nome da propriedade:	
1.2. Nome do Proprietário:	
1.3. Localização geográfica/Mapa: S O	
1.4. Área total (ha):	1.5. Tempo de posse:
1.6. Quem administra a propriedade: ( ) Proprietário ( ) Funcionários ( ) Outros: _____	
1.7. Faz a adubação baseada em análise de solo: ( ) Sim ( ) Não ( ) Não faz adubação	
1.8. Irrigado ( ) Sim ( ) Não , Fertilização ( ) Sim ( ) Não	
OBSERVAÇÕES:	
1.9. Atividade(s) agrícola(s) não irrigada(s):	
a. _____	Área: _____ hectares. Produção total: Produtividade:
Epoca de produção:	
b. _____	Área: _____ hectares. Produção total: Produtividade:
Epoca de produção:	
c. _____	Área: _____ hectares. Produção total: Produtividade:
Epoca de produção:	
d. _____	Área: _____ hectares. Produção total: Produtividade:
Epoca de produção:	
1.10. Atividade(s) agrícola(s) irrigada(s):	
a. _____	Área: _____ hectares. Quando começou a irrigar? _____ Produção total: Produtividade:
Epoca de produção:	
b. _____	Área: _____ hectares. Quando começou a irrigar? _____ Produção total: Produtividade:
Epoca de produção:	
c. _____	Área: _____ hectares. Quando começou a irrigar? _____ Produção total: Produtividade:
Epoca de produção:	

**LEVANTAMENTO DAS ÁREAS COM CITROS****2. CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE CITROS**

2.1. Data da implantação da cultura/talhão:

2.2. Data do Plantio da cultura/talhão:

2.3. Qual ou Quais as variedades plantadas/talhão:



2.5. Qual a origem da água utilizada na irrigação: ( ) Rio/ Córrego \_\_\_\_\_ ( ) Poço \_\_\_\_\_

2.6.1. Tipo de sistema de irrigação:  
**HIDRÁULICA E IRRIGAÇÃO**  
**ILHA SOLTEIRA - SP**

2.6.2. Fabricante:

2.7. Características do Aspersor / Micro / Gotejador:

Marca:

Diâmetro dos bocais:

Altura:

Pressão de Operação:

Vazão:

Tempo de coleta:

2.8. Acionamento do motor: ( ) Elétrico ( ) Diesel ( ) Outro: \_\_\_\_\_

Marca, Modelo e Potência do MOTOR:

Marca, Modelo, Potência da BOMBA e ▶ rotor:

2.9. Possui projeto: ( ) Sim- Quem Projetou? ( ) Não

**LEVANTAMENTO DAS ÁREAS COM CITROS**

2.9.1 Se não houve projeto, houve alguma orientação quanto a compra dos materiais?

( ) Sim ( ) Não Se sim quem orientou?

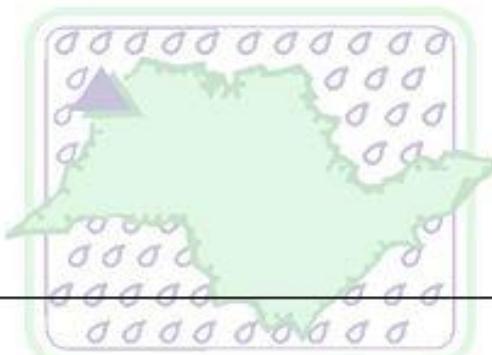
2.10. Utiliza manejo da irrigação: ( ) Tensiômetro ( ) Evapotranspiração ( ) Nenhum

2.10.1. Se não, que critérios utilizam para realizar a irrigação?

2.11. Utiliza tempo fixo de irrigação? Quanto?

2.12. Qual o intervalo de irrigação?

2.13. Comentários adicionais do proprietário ou entrevistador:



**UNESP**  
HIDRÁULICA E IRRIGAÇÃO  
ILHA SOLTEIRA - SP