

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

LARISSA GODARELLI FARINASSI

**NECESSIDADES HÍDRICAS DO FEIJOEIRO IRRIGADO NO NOROESTE
PAULISTA**

Ilha Solteira
2018

LARISSA GODARELLI FARINASSI

**NECESSIDADES HÍDRICAS DO FEIJOEIRO IRRIGADO NO NOROESTE
PAULISTA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP como parte dos requisitos para obtenção Título de Mestre em Agronomia. Especialidade: Manejo do solo e água.

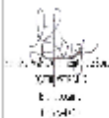
Fernando Braz Tangerino Hernandez
Orientador

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

F225n Farinassi, Larissa Godarelli.
Necessidades hídricas do feijoeiro irrigado no Noroeste Paulista / Larissa Godarelli Farinassi. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2018
108 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. Área de conhecimento: Manejo do Solo e Água, 2018

Orientador: Fernando Braz Tangerino Hernandez
Inclui bibliografia



1. Safer. 2. Evapotranspiração. 3. Irrigação.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira


CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: NECESSIDADES HÍDRICAS DO FEIJOEIRO IRRIGADO NO NOROESTE PAULISTA

AUTORA: LARISSA GODARELLI FARINASSI

ORIENTADOR: FERNANDO BRAZ TANGERINO HERNANDEZ

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre 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

Prof. Dr. R. CARDO ANTONIO FERREIRA RODRIGUES
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Soos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. LUIZ FARIAS PALARETTI
Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Ilha Solteira, 30 de julho de 2018

DEDICATÓRIA

A minha família...

Aos meus queridos pais Nelson Aparecido Farinassi e Fátima Terezinha Godarelli Farinassi.

Ao meu amado sobrinho Ryuki Takashi Suenaga, que mesmo tão pequeno me mostrou o que é o amor verdadeiro, puro e sincero.

Aos meus amigos que compreendem minha ausência e me apoiam em minhas decisões.

Em memória dos meus avós maternos Attílio Godarelli, Josefa Aparecida de Souza Godarelli e Agenor Farinassi meu avo paterno.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Nelson Aparecido Farinassi e Fátima Terezinha Godarelli Farinassi, pela educação, apoio e amor durante minha vida.

Agradeço à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP e a toda a sociedade do Estado de São Paulo que possibilitaram os meus estudos e a minha formação para a obtenção para o título de mestre.

Agradeço a Área de Hidráulica e Irrigação da Unesp Ilha Solteira, onde passei grande parte dos meus dias, aos amigos que lá fiz e que os carregarei em meu coração por onde eu for.

Por fim, agradeço ao meu orientador, Fernando Braz Tangerino Hernandez por não ter desistido de mim, até quando eu mesma já havia desistido de tudo.

A Deus, pela saúde, sabedoria, força e vida.

Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades; lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.

Charles Chaplin

RESUMO

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) de grande importância sócio-econômica para o Brasil, sendo o segundo maior produtor e principal consumidor mundial. O objetivo neste trabalho foi compreender as metodologias disponíveis para manejo e avaliação do uso da água em culturas irrigadas e estimar a evapotranspiração atual (ETa) e ainda determinar coeficientes de cultura nas áreas cultivadas com feijão de inverno utilizando as técnicas baseadas em sensoriamento remoto (algoritmo SAFER - Simple Algorithm for Retrieving Evapotranspiration), confrontando-os com as estimativas da evapotranspiração da cultura (ETc) preconizados pelo Boletim FAO 56. O estudo foi realizado em condições irrigadas por pivô central com sete épocas de semeadura de feijão de inverno nos municípios de Rubinéia e Pereira Barreto. Cada época de semeadura recebeu um manejo de irrigação, realizado pelo próprio irrigante e uma simulação sugerida de irrigação mantendo os mesmos dados de ETo e chuva. As imagens do satélite LandSat 8 foram utilizadas para execução do algoritmo SAFER para a obtenção da relação entre a evapotranspiração atual e a evapotranspiração de referência. Foram feitas a análise da produtividade de água em função da produção obtida para cada época de semeadura. Para as semeaduras de feijão de outono/inverno em Rubinéia, o irrigante possui a opção de utilizar dados das Estações Ilha Solteira e Marinópolis, fato que as ETo são semelhantes. Resultados obtidos das irrigações utilizadas pelo irrigante superestimaram o armazenamento de água no solo, assim sendo necessário a realização de um manejo mais minucioso do controle de água disponível no solo e em a relação ET/ETo apresentou comportamento da curva similar aos citados na literatura, contudo os valores encontrados foram menores do recomendado para o feijoeiro, sendo assim, deve-se continuar com estudos que calibrem o algoritmo SAFER para obtenção de melhores resultados para a região Noroeste Paulista.

Palavras-chave: SAFER. Evapotranspiração. Irrigação.

ABSTRACT

Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) of great socioeconomic importance for Brazil, being the second largest producer and main consumer worldwide. The objective of this work was to understand the available methodologies for the management and evaluation of water use in irrigated crops and to estimate current evapotranspiration (ET_a) and to determine crop coefficients in areas cultivated with winter bean using techniques based on remote sensing SAFER - Simple Algorithm for Retrieving Evapotranspiration), comparing them with estimates of crop evapotranspiration (ET_c) recommended by FAO Bulletin 56. The study was conducted under central pivot irrigation conditions with seven winter bean sowing seasons in the municipalities of Rubinéia and Pereira Barreto. Each sowing season received an irrigation management, performed by the irrigator and a suggested irrigation simulation, maintaining the same ET_o and rainfall data. The images of the LandSat 8 satellite were used to execute the SAFER algorithm to obtain the relation between the current evapotranspiration and the reference evapotranspiration. The water productivity was analyzed according to the production obtained for each sowing season. For the autumn / winter bean sowing in Rubinéia, the irrigator has the option to use data from the Ilha Solteira and Marinópolis Stations, a fact that ET_o are similar. Results obtained from the irrigations used by the irrigator overestimated the water storage in the soil, so it was necessary to carry out a more detailed control of the available water in the soil and in the ET/ET_o relation presented curve behavior similar to those mentioned in the literature, however the values found were lower than those recommended for common bean. Therefore, studies should be carried out to calibrate the SAFER algorithm to obtain better results for the Northwest region of São Paulo.

Keywords: SAFER. Evapotranspiration. Irrigation.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-------------|---|----|
| Figura 1 - | Localização das Estações Agrometeorológicas e áreas de estudo dos Municípios de Rubinéia e Pereira Barreto. | 37 |
| Figura 2 - | Unidades de Gerenciamento de Recursos Hidrográficos Turvo Grande, São Jose dos Dourados e Baixo Tietê. | 39 |
| Figura 3 - | Distribuição do volume de chuva mensal e histórico e evapotranspiração de referência histórico no Noroeste Paulista no ano de 2017. | 41 |
| Figura 4 - | Radiação Global do ano de 2017 e Temperatura Média e histórica na região Noroeste Paulista no ano de 2017. | 42 |
| Figura 5 - | Precipitação total ocorrida durante toda a safra do feijoeiro, de acordo com os pluviômetros instalados em cada pivô central, dados fornecidos pelos responsáveis das áreas comerciais de Rubinéia e Pereira Barreto. | 43 |
| Figura 6 - | Mapa representativo das Zonas Homogêneas e valores estimados mensais da evapotranspiração, mm dia-1, para cada diferente Zona. | 44 |
| Figura 7 - | Coeficiente de cultivo do feijão. | 47 |
| Figura 8 - | Fluxograma das etapas do algoritmo SAFER (2012) utilizando a superfície albedo, a superfície temperatura e do NDVI. | 52 |
| Figura 9 - | Rosa dos ventos e sua nomenclatura. | 57 |
| Figura 10 - | Evapotranspiração de referência média (ET _o) e evapotranspiração da cultura média (ET _c) nas áreas comerciais. | 63 |
| Figura 11 - | Evapotranspiração de referência total (ET _o) e evapotranspiração da cultura total (ET _c) nas áreas comerciais. | 64 |
| Figura 12 - | Irrigações reais realizadas e simulações de irrigações propostas e a diferença ocorrida entre a irrigação real e a irrigação proposta através de simulação. | 65 |
| Figura 13 - | Armazenamento de água no solo de acordo com o manejo de irrigação real realizado pelo irrigante e o manejo sugerido ao irrigante para a época de semeadura 05 de abril de 2017. | 67 |

| | |
|---|----|
| Figura 14 - Armazenamento de água no solo de acordo com o manejo de irrigação real realizado pelo irrigante e o manejo sugerido ao irrigante para a época de semeadura 02 de junho de 2017. | 69 |
| Figura 15 - Armazenamento de água no solo de acordo com o manejo de irrigação real realizado pelo irrigante e o manejo sugerido ao irrigante para a época de semeadura 13 de julho de 2017. | 73 |
| Figura 16 - Armazenamento de água no solo de acordo com o manejo de irrigação real realizado pelo irrigante e o manejo sugerido ao irrigante para a época de semeadura 19 de julho de 2017. | 75 |
| Figura 17 - Armazenamento de água no solo de acordo com o manejo de irrigação real realizado pelo irrigante e o manejo sugerido ao irrigante para a época de semeadura 31 de julho de 2017. | 78 |
| Figura 18 - Armazenamento de água no solo de acordo com o manejo de irrigação real realizado pelo irrigante e o manejo sugerido ao irrigante para a época de semeadura 04 de agosto de 2017. | 79 |
| Figura 19 - Dados de ETc calculados a partir da ETo e Kc FAO, ETa extraída do SAFER e ET/ETo, para as sete épocas de semeadura comerciais nos municípios de Rubinéia e Pereira Barreto. | 82 |
| Figura 20 - Evapotranspiração atual das semeaduras na área comercial de Rubinéia A e em Pereira Barreto B e C, extraídos pelo algoritmo SAFER, com cinco imagens da passagem no satélite Landsat 8. | 86 |
| Figura 21 - Produtividade da água da cultura do feijão, utilizando os dados reais de manejo de irrigação e produção real obtidas em casa época de semeadura A e produtividade da água da cultura do feijão, utilizando os dados de manejo de irrigação sugeridos em simulação e produção real obtidas em casa época de semeadura. | 91 |
| Figura 22 - Razão irrigação real e ETc e simulação de irrigação e ETc. | 92 |
| Figura 23 - Irrigações reais realizadas e chuvas e as simulações de irrigações sugeridas, seguidas das razões entre irrigações//ETc e, irrigações/água total disponível | 95 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-------------|---|----|
| Tabela 1 - | Informações gerais sobre os equipamentos de irrigação utilizados nas épocas de semeaduras. | 40 |
| Tabela 2 - | Resoluções radiométricas e espaciais dos sensores (OLI e TIRS) do Landsat 8. | 45 |
| Tabela 3 - | Duração de cada fase. | 47 |
| Tabela 4 - | Capacidade de água disponível (CAD), reserva, sendo 50% da Capacidade de água disponível (CAD) e a Capacidade de água disponível (CAD) de Manejo. | 54 |
| Tabela 5 - | Evapotranspiração de referência (A) e evapotranspiração da cultura do feijoeiro (B) para diferentes épocas de semeadura no Noroeste Paulista. | 56 |
| Tabela 6 - | Velocidade do vento média predominante e direção do vento predominante durante as safras de feijão na região Noroeste Paulista. | 58 |
| Tabela 7 - | Coeficiente de cultivo e Evapotranspiração do feijão, nos municípios de Rubinéia e Pereira Barreto em diferentes épocas de semeadura no ano de 2017. | 85 |
| Tabela 8 - | Produção em quilogramas por hectare, obtidos em cada época de semeadura, com seus respectivos cultivares e duração do ciclo. | 90 |
| Tabela 9 - | Comparação entre a quantidade de água total disponível durante as épocas de semeadura, analisando o manejo real de irrigação a simulação sugerida e a diferença em porcentagem entre ambas. | 94 |
| Tabela 10 - | Porcentagem de água provinda da irrigação em relação a quantidade de água total disponível durante a safra. | 95 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-------------------------|---|
| ANA | Agência Nacional de Águas. |
| ASPRS | American Society Photogrammetry and Remote Sensing. |
| CAD | Capacidade de Água Disponível. |
| CONAB | Companhia Nacional de Abastecimento. |
| DAS | Dias após a semeadura. |
| ETa | Evapotranspiração atual da cultura (mm dia^{-1}). |
| ETc | Evapotranspiração da Cultura (mm dia^{-1}). |
| ETo | Evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}). |
| ETM | Enhanced Thematic Mapper. |
| ERTS | Earth Resources Satellite Technology. |
| EUA | Eficiência de uso da água (kg m^{-3}) |
| FAO | Food and Agriculture Organization. |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. |
| G | Fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$). |
| GIS | Ciências de informação geográfica. |
| IICA | Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. |
| Kc | Coeficiente de cultivo. |
| METRIC Calibration). | (Mapping Evapotranspiration at High Resolution using Internalized |
| MTF | Função de transferência de modulação. |
| NASA | National Aeronautics and Space Administration. |
| OLI | Operational Land Imager. |
| ONR | Office of Naval Research. |
| Rn | Radiação neta na superfície do cultivo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$). |
| NDVI | Normalized Difference Vegetation Index. |
| SAFER | Simple Algorithm for Retrieving Evapotranspiration. |
| SUREAL | Surface Resistance Algorithm. |
| T | Temperatura média do ar a 2 m de altura ($^{\circ}\text{C}$). |
| TM | Thematic Mapper. |
| TIRS | Thermal Infrared Sensor. |
| USGS | United States Geological Survey. |
| ZH | Zonas Homogêneas de Evapotranspiração. |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 16 |
| 2 | REVISÃO DE LITERATURA | 19 |
| 2.1 | IRRIGAÇÃO | 19 |
| 2.1.1 | Histórico e importância da agricultura irrigada | 19 |
| 2.1.2 | Irrigação no Brasil | 22 |
| 2.1.3 | Irrigação no Noroeste Paulista | 23 |
| 2.1.4 | Métodos e sistemas de irrigação | 24 |
| 2.2 | MANEJO DA IRRIGAÇÃO | 24 |
| 2.2.1 | Evapotranspiração (ET) | 26 |
| 2.2.2 | Coeficiente de cultivo (Kc) | 27 |
| 2.2.3 | Evapotranspiração da cultura (ETc) | 27 |
| 2.3 | ASPECTOS SOCIAIS E ECONÔMICOS DA PRODUÇÃO DE FEIJÃO | 28 |
| 2.4 | DESCRIÇÃO E FISILOGIA DA PLANTA | 28 |
| 2.5 | ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DA PLANTA DO FEIJOEIRO COMUM | 30 |
| 2.5.1 | Descrição | 30 |
| 2.5.2 | Cultivares | 30 |
| 2.6 | ASPECTOS CLIMÁTICOS DO FEIJOEIRO | 31 |
| 2.6.1 | Temperatura | 31 |
| 2.6.2 | Deficiência e excesso hídrico | 32 |
| 2.7 | SENSORIAMENTO REMOTO DO AMBIENTE | 34 |
| 2.7.1 | O programa Landsat | 35 |
| 2.7.2 | Landsat 8 | 36 |
| 3 | MATERIAL E METODOS | 36 |
| 3.1 | ÁREA DE ESTUDO | 36 |
| 3.1.1 | Identificação e localização das áreas irrigadas e dos irrigantes | 38 |
| 3.1.2 | Informações sobre os equipamentos de irrigação | 39 |
| 3.1.3 | Condições climáticas | 40 |
| 3.2 | COLETA DE DADOS E PRÉ PROCESSAMENTO | 43 |
| 3.3 | ESTIMATIVA DA EVATRANSPIRAÇÃO E DO USO DA ÁGUA | 46 |
| 3.3.1 | Evapotranspiração de referência e da cultura | 46 |
| 3.3.2 | Evapotranspiração atual | 48 |

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 3.3.3 | Componentes da produtividade da água | 50 |
| 3.3.4 | Eficiência de uso da água | 52 |
| 3.3.5 | Armazenamento de água do solo | 53 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 55 |
| 4.1 | OBTENÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA E ACURÁCIA DOS DADOS | 55 |
| 4.2 | ESTIMATIVAS DAS DEMANDAS HÍDRICAS | 62 |
| 4.3 | MANEJO DA IRRIGAÇÃO | 64 |
| 4.3.1 | Semeadura 05/04/2017 (Rubinéia) | 66 |
| 4.3.2 | Semeadura 02/06/2017 (Rubinéia) | 68 |
| 4.3.3 | Semeadura 05/06/2017 (Pereira Barreto) | 70 |
| 4.3.4 | Semeadura 13/07/2017 (Pereira Barreto) | 72 |
| 4.3.5 | Semeadura 19/07/2017 (Pereira Barreto) | 74 |
| 4.3.6 | Semeadura 31/07/2017 (Pereira Barreto) | 76 |
| 4.3.7 | Semeadura 04/08/2017 (Pereira Barreto) | 78 |
| 4.4 | EVAPOTRANSPIRAÇÃO ATUAL E COEFICIENTES DE CULTIVO | 80 |
| 4.5 | PRODUTIVIDADE DE ÁGUA | 90 |
| 5 | CONCLUSÃO | 95 |
| | REFERÊNCIAS | 97 |

1 INTRODUÇÃO

A agricultura irrigada é comumente apontada como a maior consumidora de água dentre as atividades humanas, e com as mudanças climáticas, é bem provável que os períodos de escassez de água sejam agravados. Neste contexto, a busca dos produtores de alimentos por maneiras de melhorar a eficiência do uso da água na irrigação é cada vez maior, e assim, tecnologias que estimem o uso da água nos cultivos de forma mais precisa e acessível aos usuários se tornam imprescindíveis.

A água é um recurso essencial para o desenvolvimento e evolução da agricultura. Aplicada neste setor através da irrigação, a água é imprescindível para suprir a grande demanda por alimentos, que é cada vez maior em decorrência do aumento das atividades humanas. Segundo a Agência Nacional de Águas, no Brasil cerca de 70 % das águas retiradas da natureza são utilizadas pela irrigação (1.270 m³/s) (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA, 2012).

O sistema de irrigação por pivô central é um dos mais utilizados na agricultura moderna, por ser mecanizado e automatizado, disponibilizando água para a planta, mantendo a umidade adequada do solo para manejo agrícola (SPAGNOLO, 2013). Segundo Feitosa *et al.* (2011), o uso das ferramentas do sensoriamento remoto é importante para a caracterização dos manejos realizados pelos irrigantes e elaboração de um bom planejamento hidro agrícola. O uso de técnicas de identificação e geoprocessamento e imagens de satélite de média resolução para o levantamento de áreas irrigadas por pivôs centrais é uma técnica empregada e cada vez mais, quando combinadas com informação provenientes de estação agrometeorologias, tem se mostrado uma ferramenta eficiente de avaliação de uso dos recursos hídricos, possibilitando a obtenção dos coeficientes de cultivo e os componentes do balanço de energia na área de interesse.

Esta técnica desempenha um importante papel na produção de alimentos em larga escala, contribuindo estrategicamente para o crescimento macroeconômico, uma vez que participa da geração de emprego e de renda no país. E ainda, contribui de forma significativa para a tecnificação do campo e assim, aumenta a contribuição da agricultura no incremento do PIB nacional (MOREIRA, 2015).

O Noroeste Paulista está inserido na área chamada de Grandes Lagos devido à construção de usinas hidrelétricas, o que, se de um lado, a torna potencial para a agricultura irrigada, ainda é pouco explorada, apresentando uma área irrigada por pivô central de apenas 13.331 hectares (AMENDOLA 2016), mesmo sendo a irrigação necessária para garantir a alta produtividade das culturas, pois, mesmo com precipitações anuais elevadas, sendo mal distribuídas, resulta em até oito meses de déficit hídrico sucessivos no solo e as maiores taxas evapotranspiratórias do Estado (HERNANDEZ *et al.* 1995; HERNANDEZ *et al.*, 2000; SANTOS *et al.*, 2010; HERNANDEZ *et al.*, 2003) concluíram que são altas as probabilidades de ocorrência dos veranicos críticos para as culturas agrícolas, sendo o desenvolvimento da agricultura na região sem o uso da irrigação é uma atividade de alto risco, devido a frequência e intensidade do período de estiagem, a mesma evidência foi encontrada por Santos *et al.* (2009) também na região Noroeste do Estado de São Paulo e que se caracteriza como uma área tipicamente explorada pela agropecuária (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE, 2016), o que faz com que o uso eficiente da água seja necessário para assegurar a produtividade.

A equação de Penman-Monteith para obtenção da evapotranspiração de referência se firmou como a mais precisa (ALLEN *et al.*, 1998) é a base para o manejo racional da água, que será feito com a sua multiplicação pelo coeficiente de cultura (K_c), que varia em função da fase fenológica das culturas. A determinação do K_c é uma demanda recorrente e necessário face às novas variedades colocadas no mercado, que apresentam ciclo e fases fenológicas distintas. O coeficiente da cultura K_c é obtido a partir de relação entre a evapotranspiração da cultura (ET_c) e a de referência (ET_o).

Allen *et al.* (2015), fazem uma detalhada abordagem sobre os diferentes métodos de estimativa de evapotranspiração atual ou da cultura que é a chave para chegar à determinação dos coeficientes de cultura, que pode ser feita por várias técnicas, com diferentes precisões, mas essencialmente podem ser classificados como lisimétricos, micrometeorológicos ou ainda por sensoriamento remoto, cada vez mais utilizada, especialmente quando se pensa em escala regional e também na avaliação da produtividade da água.

Teixeira e Bastiaanssen (2012) destacam que, a lisimetria é de difícil aplicação espacialmente em árvores, a necessidade de implantação de mais de um lisímetro para se obter um valor de representativo da evapotranspiração, o que se aplica para a cultura do feijão e por isso realizaram experimentos utilizando métodos micrometeorológicos e de sensoriamento remoto. Nas técnicas micrometeorológicas, Allen *et al.* (2015), destacam a Razão de Bowen, as correlações de vórtices turbulentos (Eddy Covariance) e ainda a técnica de Scintilometria. Contudo, em relação aos investimentos necessários em cada técnica, Snyder *et al.* (2008), Shapland (2012) e ainda Shapland *et al.* (2012) colocam a técnica chamada de Surface Renewal como promissora, por exigir sensores mais simples, como, termopares, mas exige calibração. As limitações de ordem financeira para aquisição de equipamentos, compreensão da complexidade dos cálculos e ainda o aspecto pontual das avaliações micrometeorológicas e lisimétricas estimularam o uso do sensoriamento remoto combinado 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, tanto à nível de talhão, como em escala regional. De acordo com Trezza (2005), o SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) tem sido aplicado em muitos países em desenvolvimento, com o processamento de imagem de satélite para calcular a evapotranspiração como um resíduo do balanço de energia de superfície, onde usa dados de satélite coletados pelo Landsat Thematic Mapper (TM), ou outros sensores de satélites, coletando 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 algoritmo METRIC (Mapping Evapotranspiration at high Resolution and with Internalized Calibration) é uma forma otimizada do SEBAL, que fornece 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.

O SAFER (Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving) por sua vez, com princípios semelhantes do balanço de energia (TEIXEIRA, 2010; TEIXEIRA *et al.*, 2013a), está baseado na modelagem da razão da evapotranspiração atual (ETa) e a de referência, também obtida em estações agrometeorológicas e segundo Teixeira *et al.* (2013), o algoritmo 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.

Assim, a principal vantagem da detecção remota da ETa é calcular a mesma sem quantificar outros complexos processos hidrológicos e quando combinado com informações de estações em terra possibilitam desde estimar a ETa que, se adequadamente irrigada, pode ser igual a conceitualmente definida como ETc (condição ótima de cultivo) até determinar os coeficientes da cultura, assim como outros indicadores de desempenho agrometeorológicos e os componentes do balanço de energia, que são essencialmente, a evapotranspiração (fluxo de calor latente) e o fluxo de calor sensível no aquecimento do ar e no solo.

O objetivo geral neste trabalho é compreender as metodologias disponíveis para manejo e avaliação do uso da água em culturas irrigadas e, como objetivos específicos, foi identificar as áreas irrigadas com culturas anuais no Noroeste Paulista e estimar a evapotranspiração atual (ETa) e ao longo do ciclo e os coeficientes de cultura nas áreas cultivadas com feijão de outono/inverno utilizando as técnicas baseadas em sensoriamento remoto (algoritmo SAFER), confrontando-os com as estimativas da evapotranspiração da cultura (ETc) preconizados pelo Boletim FAO 56.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 IRRIGAÇÃO

2.1.1 Histórico e importância da agricultura irrigada

No mundo os primeiros relatos do uso da água para a prática da irrigação ocorreram a 6000 a.C nas margens do vale do Rio Jordão, localizado no Oriente Médio. Acredita-se que a irrigação também era praticada no Egito no mesmo período (6.000 a.C) e a primeira representação pictográfica da irrigação foi registrada no Egito por volta de 3.100 a.C pela necessidade da expansão da

agricultura para suprir a demanda de alimentos (SOJKA; BJORNEBERG; ENTRY, 2002). Segundo os mesmos autores, nos milênios seguintes a irrigação espalhou-se por toda Pérsia, Oriente Médio e Oeste do Mediterrâneo. De forma independente, e durante o mesmo período, a irrigação surgiu em todo o continente asiático, Índia, Paquistão, China e em outros lugares.

O primórdio da irrigação no Brasil nasceu indiretamente e de forma lenta, quando comparadas as primeiras experiências mundiais com irrigações registradas, a construção do reservatório do Cadro no Rio Grande do Sul. Empreendimento de uma rede de iniciativa privada foi iniciada em 1881 e efetivamente operacionalizado em 1903 com objetivo de permitir o suprimento de água para as lavouras de arroz irrigado. Anos depois, em 1912, outro empreendimento similar foi construído, em Cachoeira do Sul - RS, para atender também as demandas da cultura do arroz (BRASIL, 2008).

Embora considerada uma técnica milenar, o uso da irrigação ganhou espaço somente na década de 1900, com início nos estados de Rio Grande do Sul e São Paulo com destaque para as culturas irrigadas do arroz e café, respectivamente, avançando para a região Nordeste nas décadas de 60 e 70 (BRASIL, 2008).

O uso da irrigação, como fonte de tecnologia, garantiu a subsistência de muitas civilizações ao decorrer dos séculos e, desde então, a irrigação modernizou-se para atender a demanda por alimentos de uma população mundialmente crescente (SILVA JUNIOR, 2017).

Segundo dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura- FAO (2012) foram irrigados cerca de 275 milhões de hectares mundialmente em 2012, valor que representou 85% da área equipada para irrigação. Ao longo dos anos de 1970 a 2012 houve um acréscimo de 76% da área equipada com sistemas para irrigação, partindo de 184 para 324 milhões de hectares.

O método de irrigação mais empregado foi o por superfície (86%), seguido pelos métodos de aspersão (11%) e pelo método de irrigação localizada (3%). Entre os métodos citados, de um modo geral, a irrigação por superfície é menos eficiente na aplicação de água, do que a aspersão, que por sua vez é menos eficiente que a irrigação localizada. Entretanto, em termos de custo de instalação de sistema, o preço da irrigação por superfície é mais em conta, que o custo da instalação de um

sistema de irrigação por aspersão, que por sua vez é mais barata que a irrigação localizada (FAO, 2012).

Cerca de 61% das áreas irrigadas são destinadas à produção de cereais, seguido pela produção de hortícolas (10%), forragens e pastagens (7%), oleaginosas (7%), frutíferas (6%), fibrosas (5%) e açucareiras (4%). A maior cultura de cereal irrigada do mundo é o arroz, cobrindo 29% da área total das culturas irrigadas e quase metade da área de cereais irrigados. Em resumo, a agricultura irrigada engloba 20% do total da área cultivada no mundo e contribui com 40% da produção mundial de alimentos (FAO, 2012).

França (2001) citou diversos trabalhos relacionados aos benefícios da irrigação na geração de empregos e renda e de desenvolvimento regional, como criação de empregos diretos.

A água é um recurso finito e essencial para o bom desenvolvimento e crescimento das culturas em campo, assim quando a planta complementa suas necessidades hídricas conseqüentemente consegue ter melhor desempenho morfológico e fisiológico para competir com as demais plantas e para se adaptar adequadamente ao ambiente no qual está inserida (PETRY, 1991). Por outro lado, quando a planta sofre estresse hídrico prolongado em decorrência do déficit hídrico ocorre em seu metabolismo a ativação de mecanismos que buscam a conservação da água, mecanismos estes que ocasionam o decréscimo da produção de massa de área foliar, o fechamento estomático, a aceleração da senescência e da abscisão foliar, e como conseqüência ocorre a redução da produtividade esperada (TAIZ; ZEIGER, 1991).

Por conta disso a irrigação é um fator importante que está extremamente ligado ao alcance do potencial máximo de produtividade das culturas, segundo estudos realizados por Gonzaga Neto (2000) a agricultura brasileira só irá ter ampliações significativas na produtividade se forem feitos maiores investimentos em sistemas de irrigação, pois tal técnica possibilita explorar uma maior produção em menor área.

Além do aumento da produtividade da agricultura irrigada quando comparada a agricultura de sequeiro, a agricultura irrigada também ocasiona melhoria nas condições de competitividade no mercado nacional e internacional,

uma vez que os produtos sofrem melhorias nas características físico, químicas que são importantes para o mercado, gerando aumento e regularidade na oferta de produtos agrícolas, e também é uma prática que permite a utilização de uma mesma área durante todo o ano e a geração de novos empregos, movimentando assim a economia do país (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS- ANA, 2017).

2.1.2 Irrigação no Brasil

Atualmente o Brasil ocupa o ranking entre os dez países com maior área irrigada do planeta possuindo a nona posição, atrás somente, da Tailândia, México, Indonésia, Irã, Paquistão, Estados Unidos da América, Índia e China, possuindo um potencial de expansão em área de cerca 30 milhões de hectares (FAO, 2012), ampliado para 75 milhões de hectares irrigados de acordo com o IICA - *Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura* (2015), atualmente a área irrigada total do Brasil é de mais de 6 milhões de hectares (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS- CSEI, 2016).

Segundo estudo realizado pela *Agência Nacional de Águas* (ANA), em parceria com a EMBRAPA, atualmente a agricultura irrigada brasileira possui um grande potencial de expansão, e mostra que em 2014 o país possuía cerca de 4.350 Outorgas de direito de uso de recursos hídricos válidas, totalizando 620 mil hectares irrigados, sendo o sistema pivô central o mais utilizado, com representatividade de 30,1% do total. Ainda, de acordo com a Agência Nacional de Águas- ANA (2017) a irrigação por sistema pivô central é uma das práticas de irrigação com maior eficiência do uso da água, representando cerca de 70% do aumento de área irrigada entre os anos de 2006 e 2016.

Porem considerando todo o território brasileiro e seu potencial para expansão da agricultura irrigada o Brasil ainda possui uma área regada consideravelmente pequena frente à área agrícola total, à extensão territorial e somados ao conjunto de fatores físico-climáticos favoráveis, inclusive a boa disponibilidade hídrica. Por outro lado, os aumentos crescentes anuais das áreas irrigadas têm se mantido elevados nos últimos anos, indicando que esse potencial

tem sido aproveitado sobre áreas significativamente maiores a cada ano (ANA, 2014).

2.1.3 Irrigação no Noroeste Paulista

Segundo estudos realizados por Amendola (2016) a média de aumento de sistemas pivô central no Noroeste Paulista é de 7 equipamentos por ano, com 56,3 hectares cada equipamento, totalizando um acréscimo médio de 408 hectares anuais. Ainda e Amendola (2016) constatou que no período de 2000 a 2015 houve incremento de 6.528 hectares irrigados e 116 novos sistemas pivô central instalados, em que em 2015 foi contabilizado um acúmulo de 202 pivôs. Já o estudo realizado pela ANA e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária- EMPRAPA (2016), constatou uma capitalização de 322 sistemas pivôs centrais na região Noroeste Paulista no ano de 2014, sendo uma diferença de 120 equipamentos quando comparado ao resultado encontrado por Amendola (2016).

Segundo Hernandez *et al.* (2003), a região Noroeste Paulista apresenta cerca de oito meses de déficit hídrico e as maiores taxas de evapotranspiração de todo o estado de São Paulo, assim a prática de irrigação torna-se indispensável para que as culturas possam atingir seu potencial máximo da produtividade, principalmente culturas que são pouco resistentes ao calor excessivo predominante nessa região. Sendo assim, são necessárias maneiras de realizar-se o bom manejo da irrigação pelos produtores, para atingirem maiores índices de produtividades e para realizarem o uso dos recursos hídricos de forma mais sustentável e eficiente possível (LIMA *et al.*, 2015).

Segundo estudos realizados por Ortega, Juan e Tarjuelo (2005), para que o manejo da irrigação realizado pelo produtor irrigante seja bem-sucedido, é necessário que o irrigante tenha acesso a informações que sejam de fácil aplicabilidade em seu cotidiano do campo, permitindo a gestão das variáveis que poderão afetar o quanto de água a planta necessitaria para que alcance índices satisfatórios de produção. Neste aspecto, o Noroeste Paulista destaca-se por possuir a Rede Agrometeorológica do Noroeste Paulista, que é monitorada pela Área de Hidráulica e Irrigação da UNESP Ilha Solteira, em que os dados obtidos são processados e disponibilizados de forma gratuita para todo o tipo de público, através do Canal Clima da UNESP Ilha Solteira.

2.1.4 Métodos e sistemas de irrigação

A irrigação assume papel primordial no desenvolvimento dos arranjos produtivos. Embora aumente o uso da água, os investimentos no setor resultam em aumento substancial da produtividade e do valor da produção, diminuindo a pressão pela incorporação de novas áreas para cultivo (ANA, 2015).

Segundo a FAO (2016), a adequação do método de irrigação dependerá de fatores como, tipo de cultura instalada, tipo de tecnologia utilizada, custos e benefícios, em que cada método possui vantagens e desvantagens e, basicamente são quatro os métodos de irrigação aplicados atualmente, são eles: o de superfície, aspersão, localizada e subsuperfície. E ainda dentre eles, o sistema de irrigação pivô central é o responsável pelo maior crescimento das áreas irrigadas na região alvo do desenvolvimento desse trabalho, nas semeaduras de feijão de outono/inverno.

Sendo o pivô central a maior tecnologia embarcada em sistema de irrigação existente no mercado, podendo ter inclusive seu controle e manejo feito remotamente. Quanto maior a área irrigada, menor o investimento por hectare e assim, a área média irrigada por equipamento em 2015 foi de 60 hectares (CSEI, 2016). O Estado de São Paulo representa 14% da área brasileira total irrigada por sistemas de irrigação do tipo pivô central, com uma área de aproximadamente 1,2 milhões de hectares (ANA, 2014) e com 3.528 pivôs (EMBRAPA, 2016).

O uso do sistema de irrigação sob pivô central tem apresentado expansão significativa nos últimos anos, havendo um incremento médio anual de 63 mil hectares nos últimos dez anos (CSEI, 2016).

2.2 MANEJO DA IRRIGAÇÃO

Com o crescimento populacional desenfreado, tem forçado a expandir o uso de uma quantidade de solos que antes não eram agricultáveis para a produção de alimentos. Esse fator impulsionou o aumento do uso da irrigação, uma vez que essa tecnologia proporciona a complementação hídrica das culturas em regiões úmidas e

torna possível a produção agrícola em regiões áridas e semiáridas, que representa cerca de 55% da área total do planeta. Além disso, as áreas irrigadas garantem a produção de alimentos para mais da metade da população mundial (LIMA; FERREIRA; CHRISTOFIDIS, 1999).

O desenvolvimento do uso da irrigação nos últimos anos incorporou um conjunto de novas tecnologias que possibilitaram o controle mais eficiente da aplicação de água e do uso de fertilizantes e defensivos agrícolas. Esse conjunto de tecnologias proporcionou a redução de problemas relacionados a drenagem e ao perigo de contaminação dos solos, tornando o processo produtivo mais eficiente e ambientalmente mais sustentável. Além disso, o surgimento de diferentes sistemas de irrigação proporcionou rendimentos mais elevados nas lavouras maximizando os benefícios socioeconômicos (BRASIL, 2008).

Segundo dados da (ANA, 2015) a demanda utilizada total estimada para o Brasil, em 2015, foi de 2.275,07 m³ s⁻¹, quando considerada a vazão retirada. O setor da irrigação foi responsável pela maior parcela da retirada, seguido das vazões de retirada para fins de abastecimento humano urbano, indústria, animal e abastecimento humano rural. A vazão efetivamente consumida pelo uso da água na irrigação foi de 1.209,64 m³ s⁻¹.

Entretanto, Sousa *et al.* (2003) sugere que os usuários da agricultura irrigada brasileira não realizam estratégias de manejo adequado da irrigação. Esses autores ressaltam que a ausência no manejo do uso da água para irrigação pode contribuir para aplicação de água em excesso ou em quantidade insuficiente para o desenvolvimento da cultura. No primeiro caso, o excesso de água compromete a salinidade de rios, lagos e lençóis freáticos em função da lixiviação de elementos tóxicos e nutrientes. No segundo caso, a aplicação insuficiente de água pode afetar o desenvolvimento da planta em função dos efeitos fisiológicos do estresse hídrico.

Para um bom manejo da irrigação, fica evidente a necessidade de se monitorar diversos fatores, de maneira a responder de forma objetiva às questões referentes ao manejo adequado do uso da água. Esse monitoramento pode ser feito via planta, via solo ou via clima (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2009).

2.2.1 Evapotranspiração (ET)

A evapotranspiração é a soma dos componentes de transpiração das plantas e evaporação da água do solo. Sua definição é de fundamental importância, pois estabelece o consumo de água pelas plantas e, por consequência, a lâmina de irrigação a ser aplicada pelo sistema (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2009).

Estimativas precisas da evapotranspiração (ET) são fundamentais para identificar as variações temporais sobre a necessidade de irrigação, para aprimorar a utilização dos recursos hídricos e avaliar o efeito do uso da terra e as transformações na gestão do balanço hídrico (ORTEGA-FARIAS *et al.*, 2009).

As principais variáveis climáticas que afetam a evapotranspiração são: radiação solar, temperatura do ar, déficit de pressão de vapor e velocidade do vento. O tipo da cultura, a densidade de plantio, a variedade e a fase de desenvolvimento fenológico que a cultura se encontra, também afetam a evapotranspiração, já que diferenças na resistência estomática, altura da cultura, rugosidade do dossel, refletividade e cobertura do solo pela vegetação resultam em uma disparidade de valores de ET sob as mesmas condições climáticas e de solo (ALLEN *et al.*, 1998).

O método de Penman-Monteith (FAO) é adotado como o método padrão para estimar evapotranspiração de referência (ET_o) , (ALLEN *et al.*, 1998), mesmo considerando que, em condições climáticas especiais, pode levar a equívocos próximos a 30% (WIDMOSER, 2009). Porque se aproxima da evapotranspiração do padrão grama nos locais avaliados e apresenta superioridade em relação aos outros métodos de mesma finalidade, (CAI *et al.*, 2007; GAVILAN *et al.*, 2007; XING *et al.*, 2008). O método de Penman-Monteith é baseado em processos físicos e, explicitamente, incorpora os parâmetros fisiológicos e aerodinâmicos. Existem vários métodos para estimar a evapotranspiração, mas suas performances, em diferentes ambientes, variam, já que a maioria apresenta empirismo em sua concepção (SENTELHAS *et al.*, 2010).

2.2.2 Coeficiente de cultivo (Kc)

Segundo Medeiros *et al.* (2004) o Kc é um parâmetro relacionado aos fatores ambientais e fisiológicos das plantas devendo, preferencialmente, ser determinado para as condições locais nos quais será utilizado; todavia, sua determinação sob condições de campo exige um grande esforço de pessoal técnico, equipamentos e custos, em virtude da quantidade de informações, controles e monitoramentos necessários para o balanço hídrico em uma área irrigada. Para obtenção de Kc ao longo do ciclo da cultura, normalmente se utilizam lisímetros. Pereira *et al.* (2002) descrevem que o lisímetro se constitui de uma caixa impermeável, contendo um volume de solo que possibilita se conhecer, com detalhe, alguns termos do balanço hídrico do volume amostrado, sendo que os mais empregados são os de drenagem, o de lençol freático constante e o de pesagem; neste último, é possível utilizar-se células de carga para a medição automatizada da variação do peso do sistema.

2.2.3 Evapotranspiração da cultura (ETc)

A evapotranspiração da cultura é uma das principais informações necessárias para um bom manejo racional da irrigação e para fins de projeto e planejamento do uso da água. Dentre as abordagens disponíveis para a estimativa do consumo de água pelas plantas, se destaca o uso de coeficientes de cultura (Kc) associados a estimativas da evapotranspiração de referência (ET_o). A utilização do Kc, as metodologias e os procedimentos de cálculo, têm sido apresentados e recomendados pela Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO (DOORENBOS; PRUITT, 1977; DOORENBOS; KASSAM, 1979; ALLEN *et al.*, 1998).

Estudos recentes sobre o aquecimento global e os cenários futuros da agricultura brasileira apontam que o conhecimento da demanda hídrica das culturas, diante das mudanças climáticas, influenciará na definição das estratégias regionais de manejo da água (ASSAD; PINTO, 2008). Aliado a estes fatores, a crescente demanda pelo uso da água e os conflitos pela sua utilização, devido aos múltiplos

usos, mostram a importância de se ter informações precisas e seguras dos diversos tipos de demanda, dentre eles o da evapotranspiração.

Existem diversos métodos para determinação da evapotranspiração, sejam eles diretos ou indiretos. Dentre os métodos diretos destaca-se a utilização dos lisímetros e do balanço hídrico no solo. No caso dos métodos indiretos, destaca-se o modelo de Penman-Monteith, recomendado pela FAO (*Food and Agriculture Organization*) no Boletim de Irrigação e Drenagem nº 56 (FAO-56), como padrão para determinação da evapotranspiração de referência (ALLEN *et al.*, 1998).

2.3 ASPECTOS SOCIAIS E ECONÔMICOS DA PRODUÇÃO DE FEIJÃO

O feijão, além de sua importância comercial e nutricional, tem também um papel importante no ponto de vista social do Brasil, pois sua produção é realizada em todo território brasileiro, ocorrendo desde o pequeno agricultor em sua maioria de subsistência ou familiar. A produção brasileira de feijão de cor apurada no último Censo Agropecuário do IBGE 2006, constatou-se que 72,58% ocorre em estabelecimentos menores que 20 ha e 86,19% em propriedades rurais menores que 50 hectares.

O consumo de feijão no Brasil, no período de 2003/04 a 2013/14, passou de 3150 mil toneladas para 3450 mil toneladas, o que representa um aumento de 9,52%. O consumo per capita do feijão, também cresceu, atingiu 19 kg/habitante/ano (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO- CONAB, 2013).

Nos últimos 10 anos os preços médios nominais cresceram 88%, mais em termos reais o aumento foi de apenas 3,15%, considerando os valores médios para as três safras. Os preços pagos pelo governo ficaram em quase todas as safras abaixo do preço de mercado (INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA- IEA, 2013).

2.4 DESCRIÇÃO E FISILOGIA DA PLANTA

O feijão é uma planta que possui um sistema radicular no qual apresenta uma raiz pivotante principal muito desenvolvida em relação as demais raízes. As raízes, quanto à origem, são normais e, sendo assim, partir da primária surgem as

secundárias; das secundárias surgem as terciárias e assim sucessivamente (BINOTE 2015).

O caule é herbáceo tipo haste e é o eixo principal da planta. Tem origem a partir do meristema apical do embrião, possuindo os nós, que são pontos de inserção das folhas no caule e dos quais saem os ramos (ramificações). Do caule saem ramos primários, destes originam-se os ramos secundários, os ramos terciários e assim por diante. Os entrenós são os espaços entre dois nós. Na axila das folhas encontram-se gemas, podendo ser de três tipos: vegetativa, floral e vegetativa e completamente floral. Portanto, em cada nó existe uma folha trifoliolada e uma inflorescência que resulta num rácimo (cacho) com vagens. Esse conjunto é denominado de unidade de produção, assim, quanto maior o número de nós por planta, maior poderá ser sua produção de grãos ou sementes por planta (COSTA, 2009).

O feijoeiro pode ser agrupado em hábitos de crescimento determinado, em que o caule termina por uma inflorescência (tipo I) e indeterminado, em que na extremidade do caule existe gema vegetativa ou floral e vegetativa, podendo ser arbustivo - tipo II, prostrado - tipo - III e trepador - tipo IV (DOURADO NETO; FANCELLI, 2000). Apresenta dois tipos de folhas: simples (folhas primárias) e composta do tipo trifoliadas (folhas verdadeiras). A inflorescência é um racemo que pode ser axilar (hábitos de crescimento tipo II, III e IV) ou terminal - hábitos de crescimento tipo I (VILHORDO *et al.*, 1996).

O fruto deiscente é um legume (vagem) constituído de duas valvas unidas por duas suturas. As vagens geralmente são glabras ou subglabras e a cor varia entre cultivares e em função do estágio de desenvolvimento. Sementes de feijão são exalbuminosas constituídas, externamente, pelo tegumento, hilo, micrópila, estrofiolo e rafe e, internamente, formado pelo embrião que é constituído de eixo embrionário (plúmula, hipocótilo e radícula) e dois cotilédones (VEIRA; RAVA, 2000).

2.5 ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DA PLANTA DO FEIJOEIRO COMUM

2.5.1 Descrição

V0 Germinação: absorção de água pela semente; emergência da radícula e sua transformação em raiz primária; V1 Emergência: os cotilédones aparecem ao nível do solo e começam a separar-se. O epicótilo começa o seu desenvolvimento; V2 Folhas primárias: folhas primárias completamente abertas; V3 Primeira folha trifoliolada: abertura da primeira folha trifoliolada e o aparecimento da segunda folha trifoliolada; V4 Terceira folha trifoliolada: abertura da terceira folha trifoliolada, as gemas e os nós inferiores produzem ramos; R5 Pré-floração: aparece o primeiro botão floral e o primeiro rácimo; R6 Floração: abre-se a primeira flor; R7 Formação das vagens: aparece a primeira vagem; R8 Enchimento das vagens: começa o enchimento da primeira vagem (crescimento das sementes). Ao final desta etapa, as sementes perdem a cor verde e começam a mostrar as características da cultivar. Inicia-se o desfolhamento; R9 Maturação fisiológica: As vagens perdem a pigmentação e começam a secar. As sementes adquirem a coloração típica da cultivar; sendo o que a letra V representa a fase vegetativa e R representando a fase reprodutiva do feijoeiro. Cada nova fase fenológica inicia-se quando 50% das plantas mostram as condições que correspondem à descrição da próxima fase da cultura. (QUINDELLA, 2001).

2.5.2 Cultivares

A cultivar BRS Estilo é uma cultivar de feijoeiro comum do grupo comercial carioca e apresenta arquitetura de planta ereta, adaptada à colheita mecanizada direta. Apresenta alto potencial produtivo e estabilidade de produção. A BRS Estilo é moderadamente resistente a antracnose e ferrugem. Em relação às doenças, a cultivar BRS Estilo apresenta resistência intermediária ao crestamento bacteriano comum e à ferrugem e é suscetível à mancha angular, mosaico dourado e murcha de *Fusarium*, possuindo um público-alvo de agricultores, associações, cooperativas de produtores e empresas produtoras (MELO *et al.*, 2009).

A cultivar Campos Gerais possui hábito de crescimento indeterminado tipo II e porte ereto favorecendo a colheita mecânica direta. Apresenta-se como resistente ao vírus do mosaico comum e oídio e moderadamente resistente a antracnose, ferrugem, crestamento bacteriano comum, murcha de *Curtobacterium* e murcha de fusário e suscetível a mancha angular. Apresenta tolerância intermediária a altas temperaturas e à seca ocorridas durante a fase reprodutiva e tolerância a baixa disponibilidade de fósforo e acidez do solo. O ciclo médio da emergência a colheita é de 88 dias e o potencial de rendimento é em torno de 3.987kg/ha (INSTITUCIONAL DO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ- IAPAR, 2018).

2.6 ASPECTOS CLIMÁTICOS DO FEIJOEIRO

O acompanhamento e o conhecimento sobre o clima de cada região é o subsídio mais importante para a atividade agrícola. Principalmente quando se trata da cultura do feijão, em que o número de horas diárias de sol não afeta o seu ciclo, pois é insensível ao fotoperíodo, podendo ser cultivado em várias épocas do ano.

2.6.1 Temperatura

O feijoeiro tem uma temperatura ótima de desenvolvimento que corresponde a 21°C (FANCELLI; DOURADO NETO, 2001; SILVA; RIBEIRO, 2009). Regiões com temperaturas médias de 15 a 29 °C são consideradas aptas ao cultivo do feijão (FANCELLI; DOURADO NETO, 2001). No entanto, temperaturas diurnas elevadas, acima de 30°C e noturnas superiores a 25°C afetam de forma negativa o pegamento de botões florais e formação de vagens (BARBOSA; GONZAGA, 2012). Esses fatores são facilmente perceptíveis nas horas mais quentes do dia, quando ocorre o murchamento das plantas e o fechamento dos estômatos (aberturas naturais que permitem as trocas gasosas com o ambiente externo) com a finalidade de perder menos água. A temperatura máxima tolerável pelo feijoeiro é de 29°C (SILVA; RIBEIRO, 2009), sendo que temperaturas superiores têm efeito prejudicial às plantas, principalmente se ocorrer no florescimento, causando abortamento de flores e, conseqüentemente, diminuição do número de vagens por planta.

Cada época de semeadura tem sua particularidade quando à temperatura limitante. No feijão “das águas”, por exemplo, que é semeado na primavera (mais precisamos em outubro-novembro), na qual ocorrem temperaturas amenas e alta precipitação e, é colhido no verão, período em que há incidência de elevadas temperaturas. Dessa maneira, no período inicial da cultura, ocorrem melhores condições para o desenvolvimento, enquanto que o período compreendido no meio ao final do ciclo as condições são desfavoráveis, principalmente pelo maior índice de doenças e pelo risco de elevada precipitação no momento da colheita. (PORTUGAL *et al.*, 2015).

Temperaturas de 12°C podem causar abortamento de flores, refletindo diretamente na produtividade de grãos (SILVA; RIBEIRO, 2009). Baixas temperaturas podem também impedir, reduzir ou atrasar a germinação das sementes e emergência das plântulas (ANDRADE, 1998). No entanto, temperaturas noturnas amenas beneficiam a cultura pela menor transpiração e redução no gasto de energia e, pode ser convertida na produção de grãos.

2.6.2 Deficiência e excesso hídrico

Por apresentar ciclo e sistema radicular pouco profundo, em que a floração, de acordo Inforzato e Miyasaka (1963), 83% de biomassa radicular situa-se na camada de 0-20 cm de profundidade; além de ser uma planta menos eficiente na utilização de água em comparação com o milho.

Segundo Doorenbos e Kassan (1979), a cultura do feijão necessita de 300 a 500 mm durante todo o ciclo, dependendo do clima da região. No entanto a precipitação deve ser regular, já que chuvas bem distribuídas garante o fornecimento de água necessária para casa estágio fenológico de desenvolvimento da cultura.

Se a deficiência de água ocorrer principalmente nas fases de maior exigência pela cultura, entre R5 (pré-florescimento) e R7 (formação de vagens), ocorrem perdas na produtividade da cultura do feijoeiro (PORTUGAL *et al.*, 2015).

No florescimento e formação das vagens, o feijoeiro é mais sensível aos estresses hídricos, tanto a deficiência como o excesso (MOREIRA *et al.*, 1988) e assim como a maioria das plantas o déficit hídrico diminui a fotossíntese do feijoeiro, devido à água controlar a abertura e o fechamento dos estômatos, haja vista que os estômatos são os responsáveis pela captura de CO₂ necessário ao processo de produção de fotoassimilados. Se déficit hídrico ocorrer no período vegetativo da planta há um menor desenvolvimento, com menor altura das plantas e área foliar.

Segundo Guimarães (1996), resulta na queda de flores e assim há diminuição do número de vagens por planta no estágio fenológico de enchimento de grãos, se houver déficit hídrico haverá redução no número e massa dos grãos (GUIMARÃES, 1996), já que com baixa ou ausência de fotossíntese a planta fica sem energia para a formação de seus grãos. Portanto, o déficit hídrico reduz a produtividade.

Na terceira safra ou safra de “outono-inverno”, a semeadura concentra-se entre os meses de maio a junho se estendendo até meados de julho, que tem como características a baixa quantidade de chuvas com predomínio da seca na maioria dos estados. Nesta safra o cultivo deve ser realizado utilizando irrigação. A irrigação proporciona boa distribuição de água para a cultura do feijoeiro, tanto na quantidade como no momento adequado, atendendo as necessidades da planta em cada estágio fenológico de desenvolvimento que ela se encontra. No entanto o manejo inadequado pode causar deficiência ou excesso de água, havendo a necessidade de se obter um bom manejo (PORTUGAL, 2015).

O estresse hídrico causado pelo excesso de água é prejudicial a cultura do feijoeiro, diminuindo a quantidade de oxigênio no solo disponível às plantas e limitando principalmente a respiração, um processo essencial a sua sobrevivência. Além disso de acordo com Silveira e Stone (1994), em condições de excesso de água a absorção de nutrientes é prejudicada, há aumento da concentração de substâncias tóxicas na planta e diminuição do crescimento. Após a semeadura, no período inicial do cultivo, o excesso de água prejudica a germinação restringe o desenvolvimento do sistema radicular tornando-o superficial e favorece a ocorrência de doenças radiculares (ANDRADE, 1998).

2.7 SENSORIAMENTO REMOTO DO AMBIENTE

Cientistas observam a natureza, fazem medições e, depois, tentam aceitar ou rejeitar hipóteses referentes aos fenômenos naturais. A coleta de dados pode ocorrer diretamente no campo ou a alguma distância remota do objetivo em apreço.

É possível coletar informação sobre um objeto ou área geográfica a partir de um ponto distante privilegiado usando instrumentos de sensoriamento remoto. A coleta de dados por sensoriamento remoto foi realizada, originalmente, por câmeras montadas em aeronaves suborbitais. Segundo as primeiras edições do *Manual of Photogrammetry*, a fotogrametria foi definida como a arte ou ciência de obter medidas confiáveis por meio da fotografia (AMERICAN SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING- ASPRS, 1966).

Em 1988, a ASPRS adotou uma definição combinada de fotogrametria e sensoriamento remoto. Fotogrametria e sensoriamento remoto são a arte, ciência e tecnologia de obter informação confiável sobre objetivos físicos e o ambiente por meio do processo de registro, medição e interpretação de imagens e representações digitais dos padrões de energia derivados de sistemas sensores sem contato físico (COLWELL, 1997).

O termo sensoriamento remoto veio de um artigo não publicado no começo de 1960, elaborado pelo grupo do *Office of Naval Research (ONR) Geography Branch*, sendo Pruitt a principal autora do artigo seguida de seus colaboradores (PRUINTT, 1979). Durante os anos de 1960 e início dos anos 70, o termo sensoriamento remoto foi promovido numa série de simpósios patrocinados pelo ONR nos Laboratórios Willow Run da Universidade de Michigan, em conjunto com o National Research Council e, desde então, tem sido usado (ESTER; JENSEN, 1998).

Sensoriamento remoto é concebido, assim, como a aquisição de dados sobre um objeto sem tocá-lo. Tal definição é curta, simples, geral e “memorizável”. De certa forma, ela exclui pouco da esfera do sensoriamento remoto (FUSSEL; RUNDQUIST; HARRINGTON, 1986).

Jensen *et al.* (2002) têm sugerido uma definição mínima de sensoriamento remoto, mais focada, que adicione mais qualificadores em uma tentativa de

assegurar que apenas funções legítimas sejam incluídas na definição do termo. Sensoriamento remoto é o registro da informação das regiões do ultravioleta, visível, infravermelho e micro-ondas do espectro eletromagnético, sem contato, por meio de instrumentos tais como câmeras, escâneres, lasers, dispositivos lineares ou matriciais localizados em plataformas tais como aeronaves ou satélites, bem assim a análise de informação adquirida por meio visual ou processamento digital de imagens.

O sensoriamento remoto funciona em harmonia com outras ciências de informação geográfica (frequentemente chamadas de GIScience), incluindo a cartografia, levantamento e sistemas de informações geográficas (GIS) (CLARKER, 2001).

Os seres humanos selecionam o sistema de sensoriamento remoto mais apropriado para coletar os dados, especificam as várias resoluções dos dados dos sensores remotos, calibram os sensores, selecionam a plataforma que irá portar o sensor, determinam quando os dados serão coletados e especificam como os dados serão processados. O erro produzido pelo método humano pode ser introduzido quando os parâmetros da missão e do instrumento de sensoriamento remoto são especificados (JENSEN, 2009). Ainda segundo o autor os sistemas de sensoriamento remoto a bordo de satélites fornecem dados de alta qualidade e relativamente baratos quando analisados por quilômetro quadrado.

Dados de sensoriamento remoto obtidos em múltiplas datas podem ser utilizados para identificar o tipo e a distribuição de mudanças que ocorrem na paisagem (FRIEDL *et al.*, 2002). A informação de mudanças fornece preciosa intuição compreensiva sobre processos em ação (ALBERTI; WEKS; COE, 2004). Os algoritmos de detecção de mudanças podem ser usados em classificação por pixel e orientados ao objeto, embora ainda não haja um método universalmente aceito para detecção de mudança.

2.7.1 O programa Landsat

William T. Pecora, há 40 anos atrás, teve um sonho em um tempo quando a maioria dos membros da comunidade da indústria espacial e da ciência

concentraram suas atenções em levar o homem na Lua. Porém, Pecora sentiu que talvez devêssemos olhar no espelho com alguns dos nossos avanços tecnológicos para aprender mais sobre a dinâmica do nosso próprio planeta e como é influenciado por eventos naturais e atividades humanas. O que evoluiu a partir desse sonho foi o conceito visionário de observação terrestre, cartografia ou exploração através de satélites, o que nós conhecemos hoje como a série de satélites Landsat de observação da Terra (WILLIAMS; GOWARD; ARVIDSON, 2006; ARIZA, 2013).

2.7.2 Landsat 8

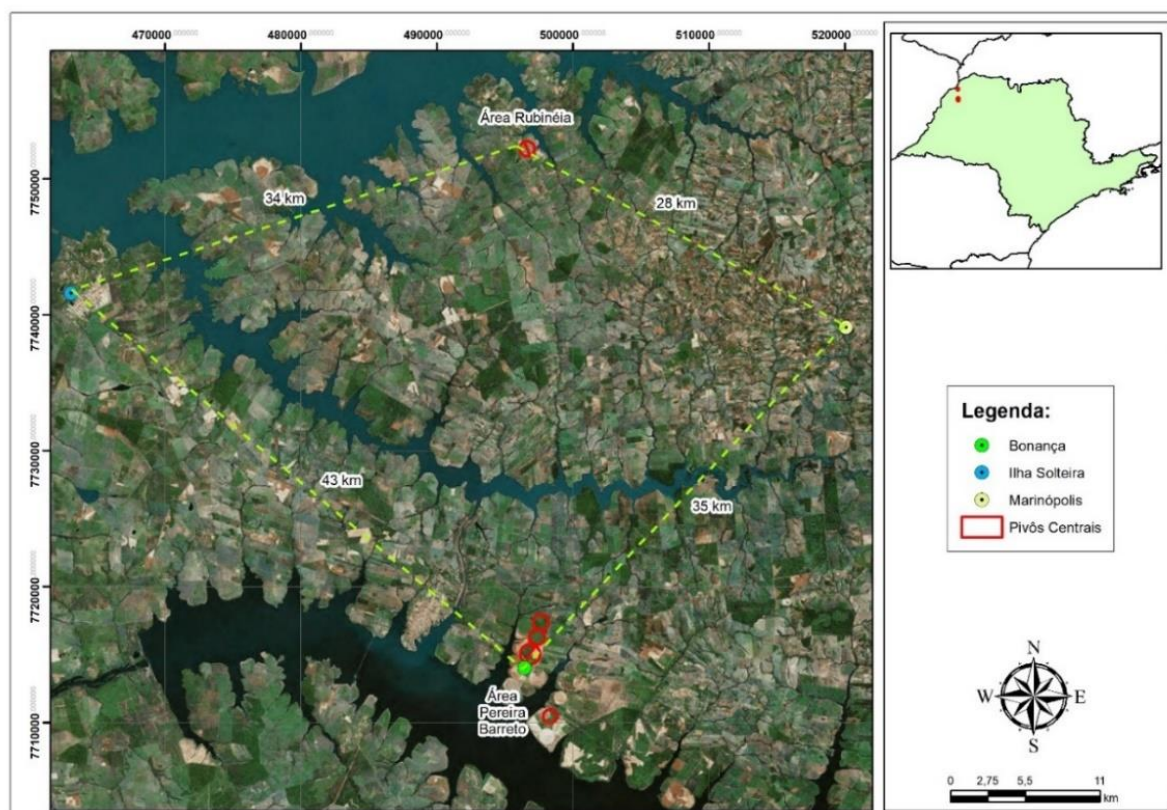
O satélite Landsat 8 foi lançado como Landsat Data Continuity Mission (LDCM) em 11 de fevereiro de 2013. Nos três primeiros meses após do lançamento o LDCM foi rebatizado como Landsat 8. A plataforma do Landsat 8, foi construída pela empresa Orbital Sciences Corporation em Gilbert, Arizona, com uma vida útil de cinco anos, embora leve combustível para 10 anos. O Landsat 8 tem uma órbita de Norte a Sul durante o dia, cruzando a linha do Equador às 10 horas (horário local), à 705 km acima da Terra (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY- USGS, 2013).

3 MATERIAL E METODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

Os estudos foram realizados em duas áreas de semeadura comerciais irrigadas por pivôs centrais nos municípios de Rubinéia às margens esquerda do Rio Paraná e em Pereira Barreto, às margens direita do Rio Tietê, localizadas no Noroeste do Estado de São Paulo, Figura 1.

Figura 1 - Localização das Estações Agrometeorológicas e áreas de estudo dos Municípios de Rubinéia e Pereira Barreto.



Fonte: Elaboração do próprio autor

No município de Rubinéia foram estudadas duas épocas de semeadura com coordenadas $20^{\circ} 19' 40''$ S e $51^{\circ} 1' 55''$ O, cujas semeaduras ocorreram em 05/04/2017 e 02/06/2017, com suas colheitas ocorreram respectivamente em 08/07/2017 e 04/09/2017, possuindo ambas áreas irrigadas a mesma dimensão 46,5 hectares, semeadas com o cultivar BRS Estilo.

No município de Pereira Barreto outras cinco datas de semeadura foram estudadas, sendo a primeira data de semeadura 05/06/2017 com colheita em 05/09/2017, com coordenadas de $20^{\circ}42'19''$ S e $51^{\circ}1'55''$ O, a área irrigada de 75 hectares, com a semeadura utilizando o cultivar IPR C. Gerais. A segunda e a terceira data de semeadura, ocorreram em 13/07/2017 e 19/07/2017, com suas colheitas acontecendo em 20/10/2017 e 26/10/2017, respectivamente. As mesmas foram em plantadas no mesmo pivô central situado nas coordenadas $20^{\circ}39'50''$ S e $51^{\circ}1'48''$ O, com área de 80,75 hectares, sendo um pivô central de 161,5 hectares que foi dividido em duas épocas de semeadura, com o cultivar BRS Estilo. Já a

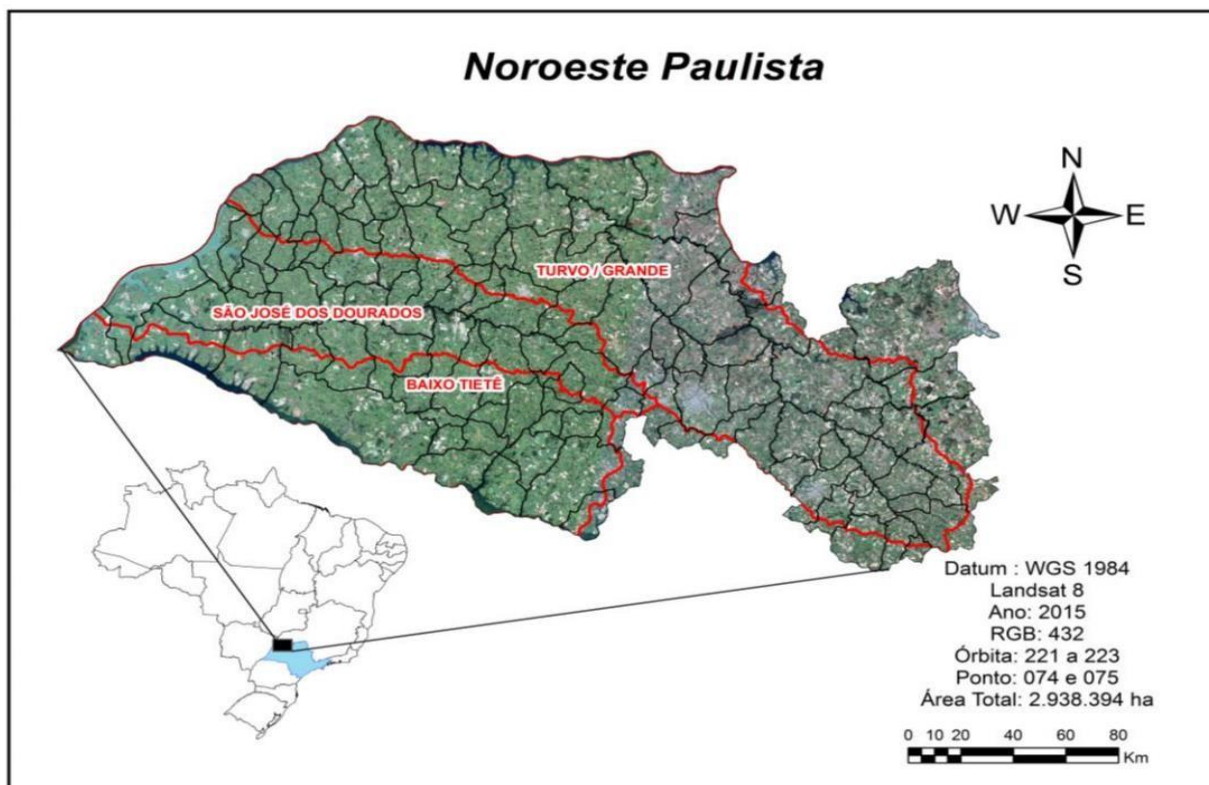
quarta e quinta época de semeadura, foram realizadas em pivôs centrais de 100 hectares. Sendo a quarta semeadura em 31/07/2017, com colheita em 02/11/2017, nas coordenadas 20°39'9"S e 51°1'31"O, e a quinta época de semeadura ocorreu em 04/08/2017 e colheita 11/11/2017, nas coordenadas 20°38'34"S e 51°1'21"O, ambas as semeaduras foram realizadas com o cultivar IPR C. Gerais.

3.1.1 identificação e localização das áreas irrigadas e dos irrigantes

A identificação das áreas irrigadas foi realizada a partir do banco de dados iniciado por Amendola (2016), quantificando as áreas irrigadas por pivô central no Noroeste Paulista nas unidades de gerenciamento de recursos Hidrográficos do Turvo Grande, São José dos Dourados e Baixo Tietê, ampliado e utilizado para a verificação e quantificação das áreas irrigadas por pivô central nas unidades de gerenciamento, a partir de um *shapefile* do tipo polígono, com a posição, formato e atributos de feições geográficas, para que as imagens possam estar corretamente alinhadas com as projeções das cenas de satélite. Já para os limites dos municípios e bacias hidrográficas serão utilizados os *shapefile* disponibilizados gratuitamente pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Com as informações do banco de dados, contatamos os irrigantes, com posse das coordenadas dos pivôs, as áreas de estudos ficaram concentradas na unidade de gerenciamento de recursos hídricos, (Figura 2). Por estarem mais próximas ao de Ilha Solteira da UNESP - Universidade Estadual Paulista. Foram feitas as visitas semanalmente para acompanhamento e levantamento dos dados do sistema de plantio na safra de feijão de outono/inverno e desempenho produtivo da safra de 2017.

Figura 2 - Unidades de Gerenciamento de Recursos Hidrográficos Turvo Grande, São Jose dos Dourados e Baixo Tietê.



Fonte: Amendola (2016).

3.1.2 Informações sobre os equipamentos de irrigação

Foram utilizados cinco equipamentos de irrigação em sete épocas de semeadura, sendo que, dois pivôs centrais foram divididos ao meio e semeados em épocas diferentes. Sendo esses equipamentos os utilizados nas semeaduras da área comercial de Rubinéia 05/04 e 02/06; em Pereira Barreto o equipamento que possui 161 hectares também foi dividido em duas épocas de semeadura, 13/07 e 19/07 conforme observado na Tabela 1.

Tabela 1 - Informações gerais sobre os equipamentos de irrigação utilizados nas épocas de semeaduras.

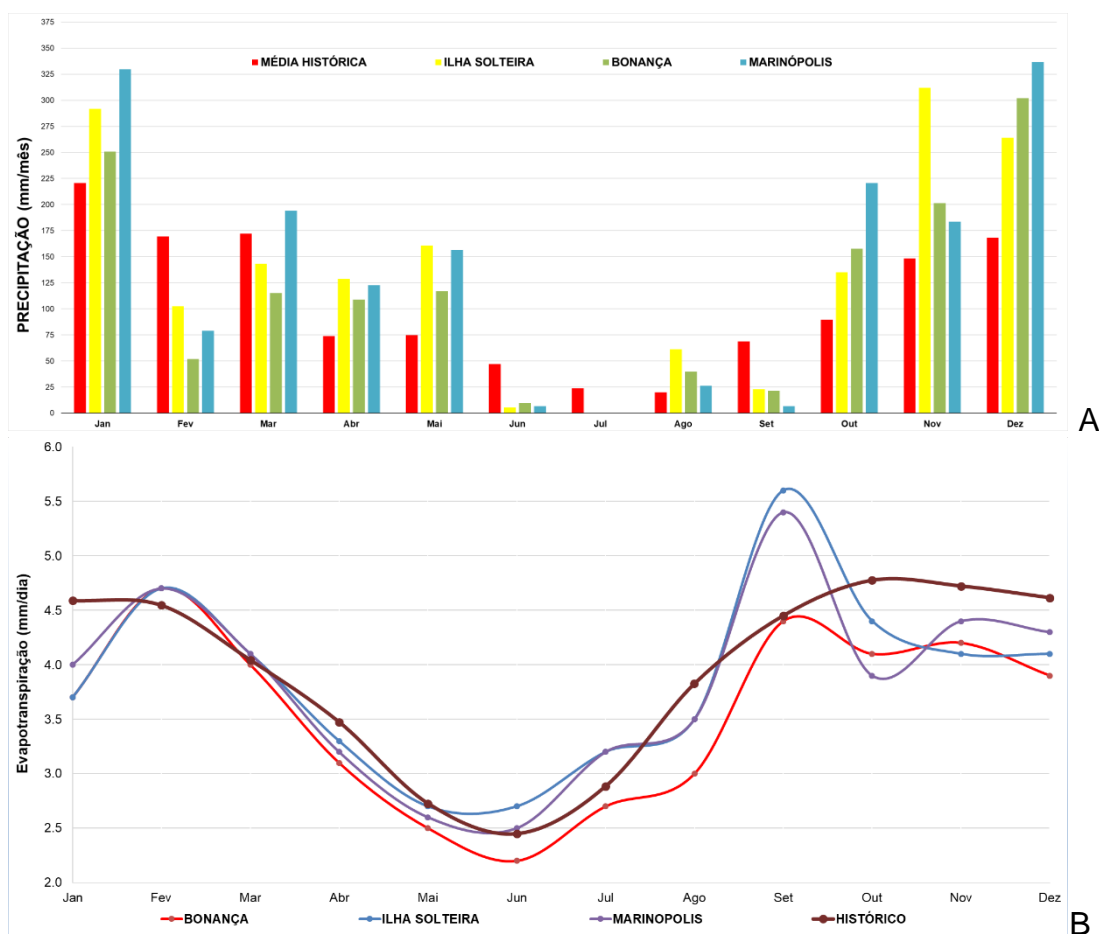
| | | Produção | | | |
|-----------------|------------|-------------|----------------------------|---------------|-----------------|
| Semeadura | | Lâmina (mm) | Tempo de giro (100%) horas | Potência (kW) | Área (hectares) |
| Rubinéia | 05/04/2017 | 5,4 | 12,5 | 163 | 93,0 |
| | 02/06/2017 | | | | |
| Pereira Barreto | 05/06/2017 | 4,7 | 8,7 | 187 | 75,0 |
| | 13/07/2017 | 4,3 | 13,5 | 320 | 161,5 |
| | 19/07/2017 | | | | |
| | 31/07/2017 | 3,6 | 10,9 | 167 | 100,0 |
| | 04/08/2017 | 3,6 | 10,6 | 190 | 100,0 |

Fonte: Elaboração do próprio autor.

3.1.3 condições climáticas

O clima da região, de acordo com a classificação de Koppen, é subtropical úmido, Aw, com inverno seco e ameno e verão quente e chuvoso (ROLIM et al., 2007). Segundo Hernandez *et al.* (2003), a região Noroeste Paulista apresenta cerca de oito meses de déficit hídrico, assim bem demonstrados na Figura 3 A, e os maiores índices de evapotranspiração de todo o estado de São Paulo, conforme Figura 3 B, assim as práticas de irrigação tornam-se cada vez mais indispensáveis para garantir o alcance máximo da produtividade das culturas, principalmente aquelas que são pouco resistentes ao calor excessivo e ao estresse hídrico.

Figura 3 - Distribuição do volume de chuva mensal e histórico e evapotranspiração de referência histórico no Noroeste Paulista no ano de 2017

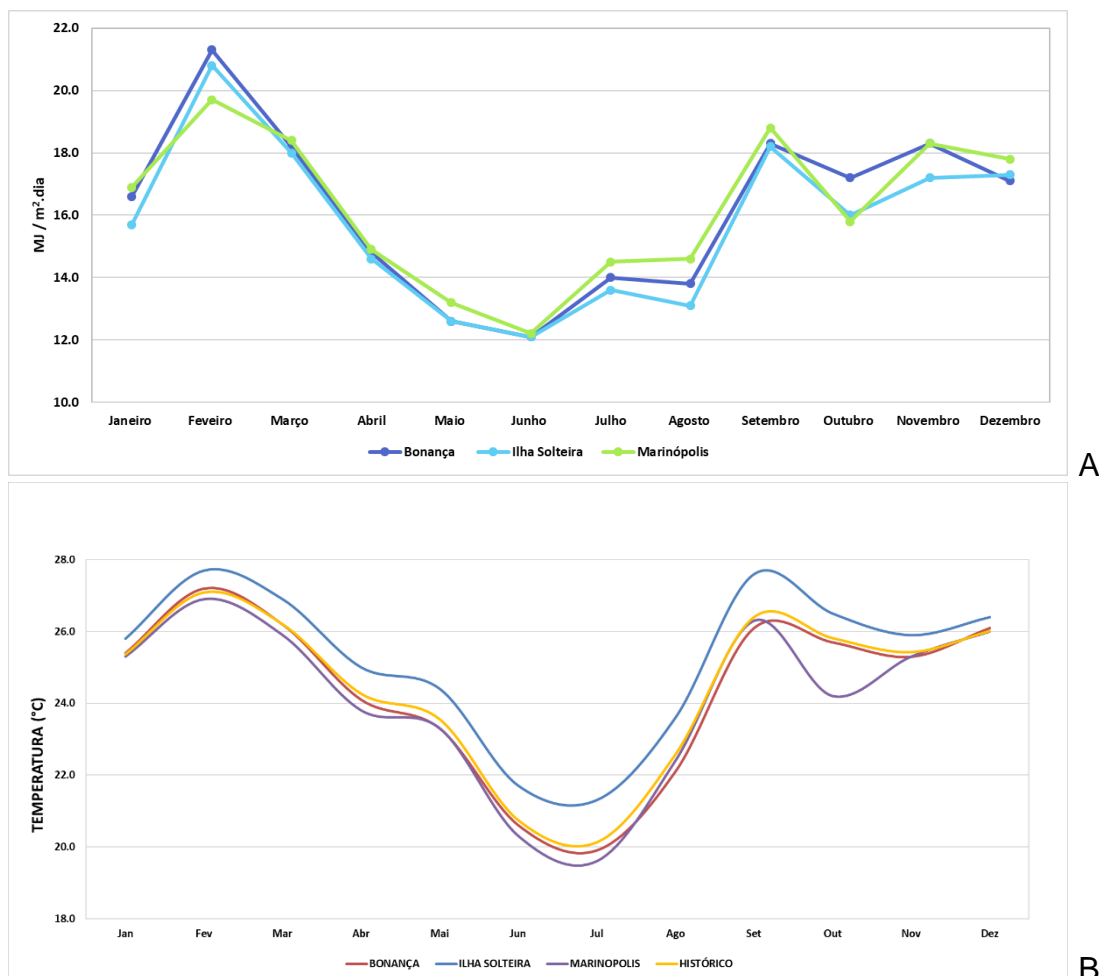


Fonte: Canal Clima da UNESP (2017). <http://clima.feis.unesp.br>

Os dados de radiação global e temperatura média do ano de 2017 em toda a Região Noroeste Paulista, podem ser observados na Figura 4. Apresenta os dados de radiação global e temperatura, distribuídos temporalmente ao longo do ano e espacialmente em toda a região Noroeste Paulista.

Os dados de ETo utilizados na área comercial do município de Pereira Barreto foram provenientes na Estação Bonança, na qual os dados de ETo utilizados no manejo da irrigação na área comercial de Rubinéia foram provenientes da Estação Ilha Solteira.

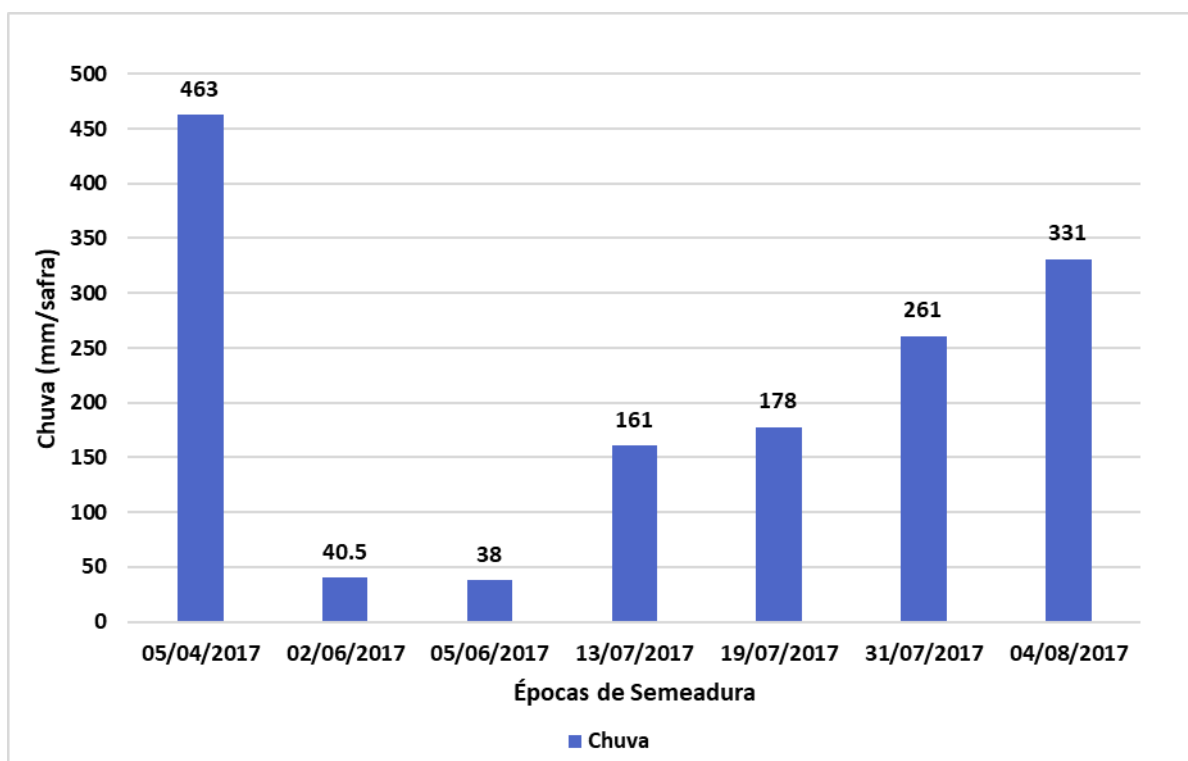
Figura 4 - Radiação Global do ano de 2017 e Temperatura Média e histórica na região Noroeste Paulista no ano de 2017.



Fonte: Canal CLIMA da UNESP (2017). <http://clima.feis.unesp.br>.

Os dados de chuva para cada área de estudo e época de semeadura foram obtidos com os irrigantes, através de monitoramento realizado com pluviômetro de leitura manual, contidos em cada pivô central estudado, conforme Figura 5, pois é sabido que as chuvas não possuem uma distribuição espacial igual, assim sendo necessário que se haja um pluviômetro em casa equipamento, para que não haja sub ou sob estimação das chuvas ocorridas, para assim não haver interferência no manejo de irrigação a ser realizado.

Figura 5 - Precipitação total ocorrida durante toda a safra do feijoeiro, de acordo com os pluviômetros instalados em cada pivô central, dados fornecidos pelos responsáveis das áreas comerciais de Rubinéia e Pereira Barreto.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

3.2 COLETA DE DADOS E PRÉ PROCESSAMENTO

Os dados de evapotranspiração de referência, velocidade e direção dos ventos foram obtidos através da Rede Agrometeorológica do Noroeste Paulista, que é composta por 8 estações padronizadas em diferentes municípios, com uma área de abrangência da Rede de 16.130 km² e cobertura de 60 municípios segundo (Silva Junior, 2017).

Foram utilizadas as Estações Ilha Solteira, Marinópolis e Bonança, que estão em pontos estratégicos em relação ao trabalho desenvolvido. A Estação Ilha Solteira foi instalada no ano de 1991 e teve suas atividades iniciadas em 20 de agosto no mesmo ano, sendo a mais antiga da Rede, localizada à 337 m de altitude, Latitude de 20° 25' 24,4" S e Longitude de 51° 21' 13,1" O, os dados analisados da Estação Ilha Solteira estão distantes da área estuda no município de Rubinéia 34 km e 43 km da área comercia localizada no município de Pereira Barreto, Figura 1. A

Estação Marinópolis foi a segunda a ser instalada, 06 de agosto de 1998, com altitude de 370 m, Latitude de 20° 26' 47,5" e Longitude 50° 48' 26,1" O, estando localizada em uma região com alta concentração de viticultores que utilizam sistemas de irrigação, estando distante da área comercia de Rubinéia 28 km e 35 km da áreas estudada em Pereira Barreto, Figura 1. E em 09 de setembro de 2011 a Estação Bonança começou a operar na altitude de 357 m, Latitude de 20° 40' 23,1" S e Longitude de 51° 2' 2.1" O, na maior área irrigada do Noroeste Paulista, com mais de 2000 hectares irrigados. A estação Bonança se encontra dentro da área de estudo do município de Pereira Barreto, Figura 1.

As Zonas Homogêneas de Evapotranspiração (ZH) foram propostas por (Silva Junior, 2017) que utilizou se base histórica diária de ETo para definir 4 regiões de mesma ETo oferecendo valores diários médios mensais em cada zona, servindo de base para a realização do manejo da irrigação (Figura 6) sem que haja consulta diária e sistemática às estimativas de ETo presentes no Canal CLIMA da UNESP Ilha Solteira (<http://clima.feis.unesp.br>).

Figura 6 - Mapa representativo das Zonas Homogêneas e valores estimados mensais da evapotranspiração, mm dia⁻¹, para cada diferente Zona.



Fonte: Silva Junior e Hernandez (2016).

Nesse contexto, foram simulados três cenários diferentes para as sementeiras realizadas em Rubinéia e quatro cenários distintos para as sementeiras realizadas no município de Pereira Barreto, para assim saber a necessidade hídrica do feijoeiro utilizando as diferentes bases de dados de ETo. Os dados das estações Ilha Solteira e Marinópolis e da ZH 1 foram utilizados para as sementeiras realizadas em Rubinéia e para as sementeiras realizadas em Pereira Barreto foram os dados de ETo da Estação Ilha Solteira, Marinópolis, Bonança e da ZH 2. Para auxiliar na definição dos melhores cenários simulado, foram observados os valores de direção do vento predominante (nomenclatura conforme a Figura 9) e a velocidade média durante o período estudado.

As imagens trabalhadas neste estudo foram adquiridas através das bases de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e da NASA (National Aeronautics and Space Administration), disponibilizadas gratuitamente. Para o ano de 2017 foram utilizadas as imagens do satélite americano Landsat 8, que possui 8 bandas multiespectrais com resolução espacial de 30 metros, 1 banda pancromática com resolução espacial de 15 metros e 2 bandas termais com resolução espacial de 100 metros, oferece cenas de 185 x185 Km, revisitando uma mesma área a cada 16 dias Tabela 2.

Tabela 2 - Resoluções radiométricas e espaciais dos sensores (OLI e TIRS) do Landsat 8.

| Sensor | Bandas | Resolução | | | | |
|--------|--|----------------|--------------|-----------------|---------------------|----|
| | | Espectral (µm) | Espacial (m) | Temporal (dias) | Radiométrica (bits) | |
| OLI | Banda 1 - Aerossol costeiro | 0,43 - 0,45 | 30 | 16 | 12 | |
| | Banda 2 - Azul | 0,45 - 0,51 | | | | |
| | Banda 3 - Verde | 0,53 - 0,59 | | | | |
| | Banda 4 - Vermelho | 0,64 - 0,67 | | | | |
| | Banda 5 - Infravermelho próximo | 0,85 - 0,88 | | | | |
| | Banda 6 - Infravermelho médio (SWIR1) | 1,57 - 1,65 | | | | |
| | Banda 7 - Infravermelho distante (SWIR2) | 2,11 - 2,29 | | | | |
| | Banda 8 - Pancromático | 0,50 - 0,68 | | | | 16 |
| | Banda 9 - Cirros | 1,36 - 1,38 | | | | 30 |
| TIRS | Banda 10 - Infravermelho térmico 1 | 10,60 - 11,19 | 100 | 16 | 12 | |
| | Banda 11 - Infravermelho térmico 2 | 11,50 - 12,51 | | | | |

Fonte: Ariza (2013), URGS e NASA (2013).

O processamento das imagens será feito no software ILWIS 3.3 Academic (*Integrated Land Water Information System*), onde foram reprojetaadas e feitas as correções geométricas para coordenadas projetadas em UTM, sob o *Datum* WGS 1984, Hemisfério Sul e Zona 22 S. Após o processamento das imagens, as imagens processadas foram exportadas para o ArcGis 10.1 onde foram extraídos os valores de Kc e ETa.

3.3 ESTIMATIVA DA EVATRANSPIRAÇÃO E DO USO DA ÁGUA

As necessidades hídricas da cultura do feijoeiro foram estimadas diariamente utilizando-se a ETo fornecidos pela Universidade Estadual Paulista-UNESP (2017), calculada pela equação de Penman-Monteith conforme equação 1.

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 U_2)} \quad (1)$$

Em que:

ETo = Evapotranspiração de referência (mm día⁻¹)

Rn = Radiação neta na superfície do cultivo (MJ m⁻² día⁻¹)

G = Fluxo de calor no solo (MJ m⁻² día⁻¹)

T = Temperatura média do ar a 2 m de altura (°C)

u2 = Velocidade do vento a 2 m de altura (m s⁻¹)

es = Pressão do vapor de saturação (kPa)

ea = Pressão real do vapor (kPa)

es - ea = Déficit da pressão de vapor (kPa)

Δ = Pendente da curva de pressão de vapor (kPa °C⁻¹)

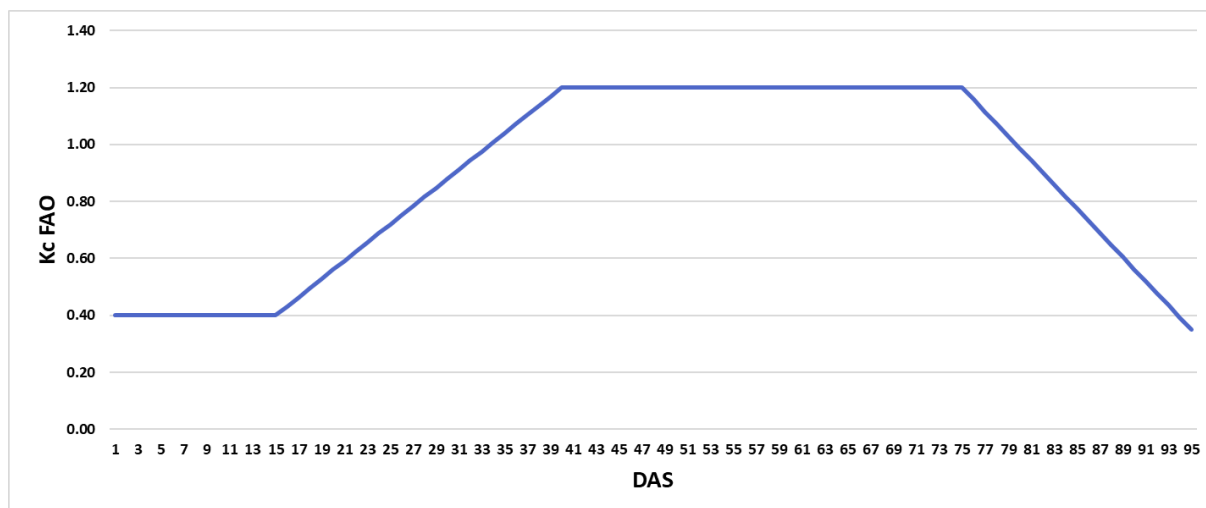
γ = constante psicrométrica (kPa °C⁻¹)

3.3.1 Evapotranspiração de referência e da cultura

O coeficiente de cultivo (Kc) extraído da FAO 56 é representado por uma série de quatro segmentos lineares que mostram desde o desenvolvimento inicial, crescimento vegetativo, florescimento, maturação e maturidade fisiológica da cultura, conforme descrito na Figura 7, (ALLEN *et al.*, 1998) afirmam que os valores de Kc

devem ser usados sob condições climáticas padrão, como clima sub-úmido, umidade relativa mínima de 45% e velocidade média do vento de 2 m/s e que variações na velocidade do vento podem alterar a resistência aerodinâmica e os coeficientes de cultura principalmente para as culturas altas. Eles também inferiram que sob altas velocidades do vento e baixa umidade relativa K_c tende a aumentar.

Figura 7 - Coeficiente de cultivo do feijão.



Fonte: Allen *et al.* (1998).

Nesse estudo o ciclo total de desenvolvimento variou de 95 a 100 dias, havendo variação do início da maturação e maturidade fisiológica conforme, Tabela 3. A partir dessas informações foi possível calcular a evapotranspiração da cultura (ET_c), estimada pelo produto entre a ET_o e o K_c , conforme Equação 2.

Tabela 3 - Duração de cada fase

| Safra DAS | Inicial | Crescimento Vegetativo | Florescimento | Maturação | Maturidade Fisiológica |
|--------------|---------|---------------------------|---------------|-----------|---------------------------|
| 05/04/2017 | 0 | 15 | 40 | 75 | 95 |
| 02/06/2017 | 0 | 15 | 40 | 75 | 95 |
| 05/06/2017 | 0 | 15 | 40 | 75 | 95 |
| 13/07/2017 | 0 | 15 | 40 | 80 | 100 |
| 19/07/2017 | 0 | 15 | 40 | 75 | 100 |
| 31/07/2017 | 0 | 15 | 40 | 75 | 95 |
| 04/08/2017 | 0 | 15 | 40 | 80 | 95 |

Fonte: Elaboração do próprio autor.

$$ET_c = ET_o * K_c \quad (2)$$

Em que:

ET_c = Evapotranspiração da cultura (mm/dia)

ET_o = Evapotranspiração de referência (mm/dia)

K_c = Coeficiente de cultura.

A velocidade do vento e suas direções também foram estudadas para analisar seus efeitos no processo de ET_o, pois o vento está diretamente ligado a remoção do vapor d'água, em grande parte, com a dinâmica do vento, pois o ar acima da cultura vai se tornando gradativamente saturado com vapor d'água e se não há reposição de ar seco, a evapotranspiração da cultura decresce, como já estudado por Teixeira e Lima Filho (2004).

3.3.2 Evapotranspiração atual

O algoritmo SAFER (TEIXEIRA, 2010; TEIXEIRA *et al.*, 2012) é baseado na equação de Penman-Monteith para obter a evapotranspiração atual em larga escala. No SAFER a relação entre a evapotranspiração atual e a de referência (ET_a/ET_o) é modelada e não há a necessidade de se identificar os extremos representados pelos pixel frio e pixel quente e a implementação é baseada em Teixeira (2010), porém utilizando o coeficiente “a” no valor de 1,0 conforme os trabalhos de Hernandez *et al.* (2014) e Teixeira *et al.* (2014).

Para obter o desenvolvimento sustentável e para assegurar a disponibilidade de água em bacias hidrográficas, gestores de recursos hídricos precisam de ferramentas para determinar a evapotranspiração real em grande escala. A Rede de Estações Agrometeorológicas do Noroeste Paulista forneceu os valores das variáveis climáticas que alimentaram o algoritmo SAFER. As metodológicas aplicadas serão:

As correções radiométricas dos sensores OLI e TIRS para as bandas 1-7 e 10-11:

$$L_\lambda = M_L Q_{cal} + A_L \quad 3$$

Onde L_λ é a radiação espectral no sensor ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$), ML é o fator multiplicativo (ganho), AL é o fator aditivo e Qcal é o valor de pixel calibrado quantificado.

A conversão para valores de reflectância para cada banda de acordo.

$$\rho_\lambda = \frac{L_\lambda \pi}{ESUN_\lambda \cos\theta_s E_0} \quad 4$$

($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$) θ_s é o ângulo do zênite solar no momento da aquisição (rad), E_0 é a correção do sol - terra distância (unidades astronômicas).

A banda planetária de albedo em TOA (α_{TOA}) será calculada ao longo dos valores de cada banda de peso (ω_2):

$$\alpha_{TOA} = \sum(\omega_\lambda \rho_\lambda) \quad 5$$

A equação de conversão para radiação espectral para a temperatura de brilho do sensor (T_{bri})

$$T_{bri} = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad 6$$

Onde K_2 é a constante de calibração dois (K) 1321,08 e 480,89, respectivamente, para a banda 10 e 11, K_1 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 de bandas 10 e 11, foi considerado T_{bri} para Landsat 8

O NDVI é calculado usando a razão entre a diferenciação da refletividade planetária do infravermelho próximo (ρ_{IVP}) e do vermelho (ρ_V)

$$NDVI = \frac{\rho_{IVP} - \rho_V}{\rho_{IVP} + \rho_V} \quad 7$$

Os dados de α_{TOA} e T_{bri} serão corrigidos atmosféricamente para obter os valores de albedo (α_0) e temperatura superficial (T_0 , K).

$$\alpha_0 = a \cdot \alpha_{TOA} + b \quad 8$$

Onde, a e b são coeficientes de regressão 0,6054 e 0,08, respectivamente.

$$T_0 = a \cdot T_{bri} + b \quad 9$$

Onde, a e b são coeficientes de regressão 1.0694 e -20.173, respectivamente.

3.3.3 Componentes da produtividade da água

Para estimar a evapotranspiração atual será utilizado o algoritmo SAFER - *Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving* (TEIXEIRA, 2010; TEIXEIRA *et al.* 2013; TEIXEIRA *et al.*, 2014), que é baseado na equação de Penman-Monteith necessitando dos dados diários de evapotranspiração de referência (ET_0), da radiação global, e da temperatura média do ar (T_a), que serão adquiridos através da Rede Agrometeorológica do Noroeste Paulista disponível através do Canal CLIMA da UNESP Ilha Solteira (<http://clima.feis.unesp.br>). O algoritmo SAFER, é um método que se baseia na modelagem da relação ET_a/ET_0 (Coeficiente de cultura atual), que utiliza para o cálculo, os dados de albedo de superfície (α_0), temperatura de superfície (T_0) e NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), não tendo a necessidade de se identificar os extremos representados pelos pixel frio e quente, sendo a implementação baseada em Teixeira (2010), porém o coeficiente de “a” com valor de 1,00 (HERNANDEZ *et al.*, 2014; TEIXEIRA *et al.*, 2013) e o coeficiente de “b” sendo com valor de -0,008, obtido por Teixeira (2010) e com fluxograma na Figura 8.

A evapotranspiração real (ET_a , mm dia⁻¹) será obtida pela multiplicação de ET_0 e (ET_a/ET_0) SAFER, obtendo-se a valores diários de ET_a em grande escala por pixel.

$$ET_a = ET_0 \quad 11$$

Onde ET_0 é a grade diária de evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹) do Noroeste do Estado de São Paulo Rede (<http://clima.feis.unesp.br>).

$$\lambda E = \frac{\Delta(R_n - G)}{\Delta + \gamma} \quad 12$$

Onde Δ é a inclinação das curvas de pressão de vapor de saturação (kPa °C⁻¹), R_n é a radiação líquida (MJ m⁻² dia⁻¹), G é a (MJ m⁻² dia⁻¹), γ é a constante psicométrica (kPa °C⁻¹).

$$R_n = (1 - \alpha_{24})R_G - a_L \tau_{SW} \quad 13$$

Onde α_{24} é o albedo superficial de 24 horas, R_G é a grade de interpolação da radiação global diária de estações agrometeorológicas (W m⁻²), a_L é o coeficiente de regressão entre a radiação líquida de comprimento de onda longo, a

transmissividade atmosférica (τ_{sw}) de ondas curtas em uma escala diária é calculada dividindo a radiação global por TOA.

$$\alpha_{24} = a \cdot \alpha_0 + b \quad 14$$

Onde, a e b são coeficientes de regressão, respectivamente, 1,023 e 0,0149.

O a_L será espacializado de acordo com os valores da grade de interpolação de T_a ($^{\circ}\text{C}$) de estações agrometeorológicas.

$$a_L = a \cdot T_a + b \quad 15$$

Onde, a e b são coeficientes de regressão, respectivamente, 6,99 e -39,93.

O G será estimado pela sua relação com a radiação líquida

$$\frac{G}{R_n} = a \cdot \exp(b \cdot \alpha_0) \quad 16$$

Onde, a e b são coeficientes de regressão, respectivamente, 3,98 e -31,89.

A biomassa (BIO , $\text{kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) é obtida utilizando-se o modelo de radiação de Monteith:

$$BIO = \varepsilon_{max} E_f APAR \cdot 0,864 \quad 17$$

Onde ε_{max} é a eficiência máxima de radiação no estudo atual $2.522 \text{ (g MJ}^{-1}\text{)}$ foi considerado, E_f é a fração evaporativa (sem unidades), $APAR$ é radiação absorvida fotossinteticamente ativa (W m^{-2}), 0.864 é uma conversão de unidade fator.

O E_f , como indicador da umidade do solo.

$$E_f = \frac{\lambda E}{R_n - G} \quad 18$$

Onde, λE foi obtido pela equação 9, pela transformação de ET_a em unidades de energia.

O $APAR$ será diretamente aproximado da radiação fotossinteticamente ativa (PAR):

$$APAR = f_{PAR} PAR \quad 19$$

Onde, o f_{PAR} é estimado de $NDVI$

$$f_{PAR} = a \cdot NDVI + b \quad 20$$

Onde, a e b são coeficientes 1,257 e -0,161,

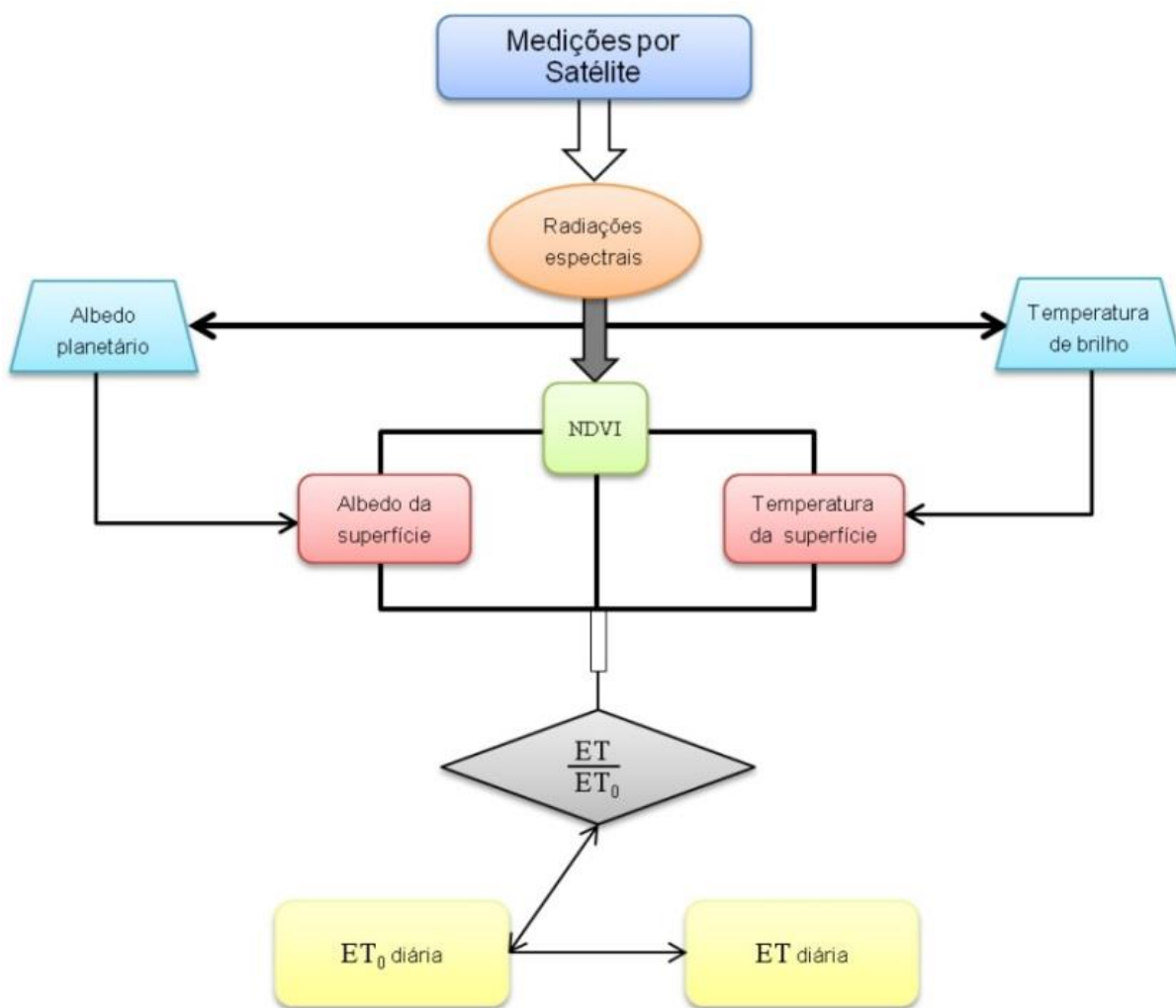
O PAR no tempo de 24 horas será obtido pela Equação 19:

$$PAR = a \cdot R_G$$

21

Sendo “a” a constante de regressão para as condições brasileiras (1).

Figura 8 - Fluxograma das etapas do algoritmo SAFER (2012) utilizando a superfície albedo, a superfície temperatura e do NDVI.



Fonte: Teixeira *et al.* (2012).

3.3.4 Eficiência de uso da água.

Para Barraclough (1999), a eficiência no uso da água (Kg m^{-3}) é definida como a relação entre a produtividade da cultura em (kg ha^{-1}) e o volume de água total consumido pelos processos fisiológicos da produção ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$).

Para Doorenbos e Kassam (1994), a eficiência do uso da água é uma variável de rendimento total da colheita por unidade de água utilizada na produção (Kg m^{-3}) e o maior objetivo nestas pesquisas nessas áreas é conseguir altos valores de eficiência, mantendo-se altas produtividades. Contudo, a ênfase dada à resistência a seca é frequentemente relacionada à sobrevivência da planta durante o período de déficit hídrico, resultante do baixo fornecimento de água e alta radiação, temperatura e demanda evaporativa da atmosfera (HERNANDEZ, 1991).

De acordo com esses estudiosos, tanto a produtividade biológica de massa como a de frutos e a quantidade de água evapotranspirada são dependentes do balanço de energia, e a eficiência do uso de água, por sua vez, é dependente da distribuição de energia dentro da cultura (AGUIAR NETTO; BASTOS, 2013).

A caracterização da eficiência do uso da água (EUA) ou produtividade da água (PA), no estudo apresentado os dados de PA foram calculados com baseados na ET_c de cada safra e na quantidade de água aplicada. Segundo Hatfield *et al.* (2001), para o cálculo da EUA.

$$EUA = \frac{p}{ET_c} \quad 22$$

onde:

EUA ou PA = eficiência de uso da água, em kg m^{-3}

p = produção de grãos, em kg ha^{-1}

ET_c = evapotranspiração de cultura, em mm dia^{-1} .

3.3.5 Armazenamento de água do solo

O balanço hídrico diário foi realizado para cada época de semeadura durante o ciclo total da cultura, com capacidade de água disponível (CAD) de acordo com a curva de retenção de água no solo.

A determinação da umidade do solo constitui uma importante ferramenta nos estudos relacionados com movimento de água no solo e manejo de irrigação (MIRANDA *et al.*, 2001) e o controle de irrigação associado a sistemas de manejo mais eficientes no uso da água, levam resultados de produção com maior economia deste recurso (OLIVEIRA *et al.*, 2000).

Para as semeaduras realizadas em 05/04 e 02/06 em Rubinéia, foi utilizado uma CAD de 40 mm, que é a que o irrigante utiliza para a realização do seu manejo de irrigação, o proprietário da área de plantio não possui curva de retenção de água no solo, considerando assim, 1mm/cm de solo, já que o irrigante trabalhou com a profundidade de manejo de água no solo de 40 cm.

As curvas características de retenção de água do solo foram elaboradas com o método membrana de Richards, conforme descrito por Freitas Júnior ; Silva (1984), nas tensões de água correspondentes a 0, 10, 50, 100, 330, 1000, 5000, 15500 cca (centímetro de coluna de água), para as semeadura 05/06, 13/07 e 19/07; para as semeaduras 31/07 e 04/08 foram utilizadas tensões correspondentes a 10, 60, 100, 330, 1000, 5000 e 15500 cca.

Tabela 4 - Capacidade de água disponível (CAD), reserva, sendo 50% da Capacidade de água disponível (CAD) e a Capacidade de água disponível (CAD) de Manejo.

| Safra | CAD | Reserva | CAD de Manejo |
|--------------|------------|----------------|----------------------|
| 05/04/2017 | 40,0 | 20,0 | 48,0 |
| 02/06/2017 | | | |
| 05/06/2017 | 36,3 | 18,2 | 44,3 |
| 13/07/2017 | 44,4 | 22,2 | 52,4 |
| 19/07/2017 | | | |
| 31/07/2017 | 37,1 | 18,6 | 45,1 |
| 04/08/2017 | 44,2 | 22,1 | 52,2 |

Fonte: Elaboração do próprio autor.

O armazenamento de água da chuva foi calculado utilizando os dados de ZH. Para as semeaduras realizadas em Rubinéia foi feita a média da ZH1 dos meses de abril a setembro. Para as semeaduras em Pereira Barreto foram utilizados os dados da ZH2, realizando a média dos meses de junho a novembro, o período que havia o ciclo da cultura do feijoeiro instalada e essa média foi multiplicada pelo Kc da FAO máximo do feijão, que é 1,2, com isso obteve-se o valor 8, que foi considerado o aproveitamento da água da chuva, quando ocorreu chuva e a CAD foi saturada houve um aproveitamento de 8 mm.

Para a realização do início dos cálculos de armazenamento de água no solo, foi considerado metade da CAD sendo o armazenamento de água já contido no solo

em cada época de semeadura. Considerando a CAD sendo 100% do armazenamento de água no solo e seu ponto crítico, 50% do valor da CAD de cada pivô central.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 OBTENÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA E ACURÁCIA DOS DADOS

Os valores de ET_c calculados estão apresentados na Tabela 5B a partir dos dados de ET_o das diferentes estações e da ZH para cada ciclo produtivo do feijoeiro, nos municípios de Rubineia e Pereira Barreto. Para o semeadura na área comercial de Rubineia na data 05/04, observou-se que os valores de ET_c apresentaram diferença de 8 mm/safra quando utilizados dados de ET_o da estação de Ilha Solteira e Marinópolis, contudo para os dados de ZH 1, a diferença é crescente, sendo igual a 20,1 mm/safra em relação a estação de Marinópolis e de 12,1 mm/safra em relação a estação de Ilha Solteira. Um outro fator importante para a escolha da taxa de ET_o que represente o cenário estudado é o vento e sua direção, por ambas as estações estarem localizadas na mesma Latitude e com altitudes próximas, não possuindo variáveis climáticas tão distintas.

Tabela 5 - Evapotranspiração de referência (A) e evapotranspiração da cultura do feijoeiro (B) para diferentes épocas de semeadura no Noroeste Paulista.

| Soma | | ET _o (mm/safra) | | | | Municípios |
|------------|------------|----------------------------|-------------|---------|-------|-----------------|
| Plantio | Colheita | Ilha Solteira | Marinópolis | Bonança | ZH | |
| 05/04/2017 | 08/07/2017 | 269,1 | 260,1 | 239,8 | 283,7 | Rubinéia |
| 02/06/2017 | 04/09/2017 | 310,5 | 307,3 | 260,6 | 307,3 | Rubinéia |
| 05/06/2017 | 07/09/2017 | 317,2 | 314,2 | 266,8 | 267,4 | Pereira Barreto |
| 13/07/2017 | 20/10/2017 | 433,8 | 424,2 | 351,2 | 349,1 | Pereira Barreto |
| 19/07/2017 | 26/10/2017 | 417,5 | 407,1 | 357,7 | 361,7 | Pereira Barreto |
| 31/07/2017 | 02/11/2017 | 426,7 | 419,0 | 365,7 | 376,2 | Pereira Barreto |
| 04/08/2017 | 11/11/2017 | 428,6 | 421,4 | 368,7 | 380,9 | Pereira Barreto |

A

| Soma | | ET _c (mm/safra) | | | | Municípios |
|------------|------------|----------------------------|-------------|---------|-------|-----------------|
| Plantio | Colheita | Ilha Solteira | Marinópolis | Bonança | ZH | |
| 05/04/2017 | 08/07/2017 | 228,5 | 220,5 | 202,5 | 240,6 | Rubinéia |
| 02/06/2017 | 04/09/2017 | 271,7 | 271,8 | 222,0 | 295,1 | Rubinéia |
| 05/06/2017 | 07/09/2017 | 277,2 | 277,7 | 235,5 | 239,5 | Pereira Barreto |
| 13/07/2017 | 20/10/2017 | 404,4 | 396,6 | 329,5 | 329,1 | Pereira Barreto |
| 19/07/2017 | 26/10/2017 | 395,0 | 384,9 | 330,4 | 329,8 | Pereira Barreto |
| 31/07/2017 | 02/11/2017 | 398,8 | 387,5 | 337,4 | 336,4 | Pereira Barreto |
| 04/08/2017 | 11/11/2017 | 414,4 | 404,0 | 348,7 | 350,5 | Pereira Barreto |

B

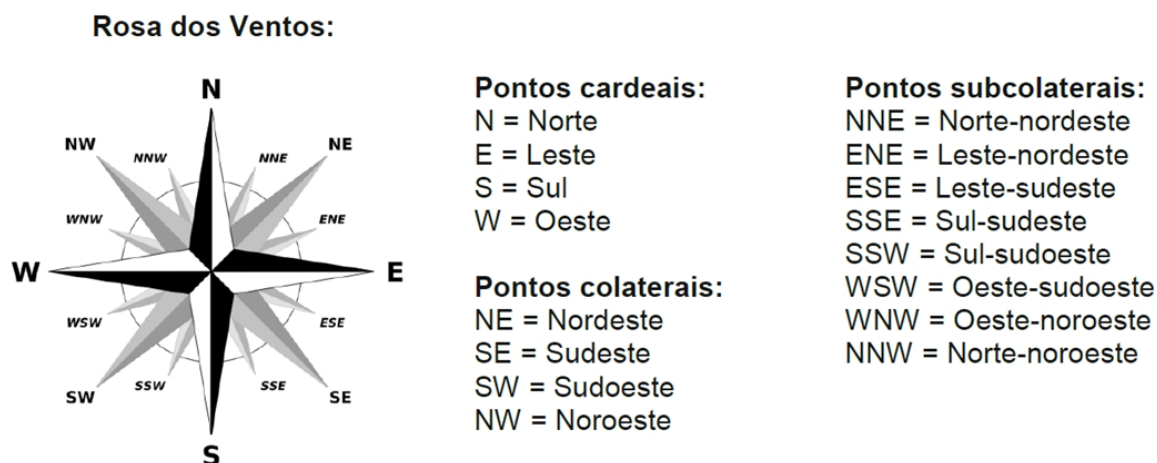
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Assim, na data de semeadura 05/04, localizado no município de Rubinéia que a fica à direita de um braço do Rio Paraná, notou-se que o vento predominante durante a safra na Estação Ilha Solteira foi de 123°, indicando que sua direção SE: (sudeste), tendendo para ESE: (lés-sudeste) Figura 9, com uma velocidade média de 1,1 m/s, classificados por Allen et al. (1998), como fraco. Já, os dados de vento da estação Marinópolis para a mesma época de semeadura foram, direção do vento 116° indicando que sua predominância também foi SE: (sudeste), tendendo para ESE: (lés-sudeste), evidenciando assim que a massa de ar emergida do Rio Paraná, que poderia ser transportada pelo vento e levada até a área de semeadura, não causou influência nos dados de ET_c, pois os mesmos sopraram do continente para o oriente.

A diferença de radiação global média para essa época de semeadura de feijão 05/04, foi pequena comparando os dados da Estação Ilha Solteira e Estação

Marinópolis, sendo $12,9 \text{ MJ/m}^2$ e $13,2 \text{ MJ/m}^2$ respectivamente, equivalendo a uma diferença de apenas $0,3 \text{ MJ/m}^2$.

Figura 9 - Rosa dos ventos e sua nomenclatura.



Fonte: Geocaching (2018).

Para Allen *et al.* (1998), o aumento da velocidade do vento promove o aumento da evapotranspiração, sendo que pequenas variações na velocidade do vento podem dar lugar a significativas variações no processo evapotranspiratório.

No semeadura 02/06, também realizado em área comercial do município de Rubinéia, a ETc calculada a partir dos dados de Ilha Solteira foi de $271,7 \text{ mm/safra}$ Tabela 5B e utilizando os dados da estação de Marinópolis foi de $271,8 \text{ mm/safra}$, apresentando uma diferença de $0,1 \text{ mm}$ durante toda a safra, já a ETc baseada nos dados de ZH 1 o valor foi igual a $295,1 \text{ mm/safra}$, sendo aproximadamente $23,4 \text{ mm}$ acima dos valores de ETc obtidos a partir dos dados de Ilha Solteira e Marinópolis.

Analisando os dados de direção e velocidade dos ventos, que se mostraram que para Estação Ilha Solteira foi de 111° Tabela 5B, sendo esse vento ESSE, Figura 9, com uma velocidade de $1,4 \text{ m/s}$ Tabela 5A, Marinópolis mesma velocidade do vento com direção de 107° , tais elementos causaram diferença relevante nos dados de ETo e, conseqüentemente, de ETc. Para Marin *et al.* (2016), quando os valores de radiação líquida são baixos, indicam influência da velocidade do vento e déficit de vapor de pressão na ETc e temperatura, ou seja, a transpiração da cultura

torna-se condicionadas pelas condições aerodinâmicas e não pelas condições de radiação, o que impõe uma tendência de maiores taxas de ETc.

A radiação global média para essa safra na Estação Ilha Solteira foi de 13,2 MJ/m² e na Estação Marinópolis de 14,1 MJ/m², com temperaturas médias de 22,5 °C e 21,1 °C, respectivamente em cada estação para a época de semeadura 02/06.

Tabela 6 - Velocidade do vento média predominante e direção do vento predominante durante as safras de feijão na região Noroeste Paulista.

| Safra | | Velocidade do vento (m/s) | | | | Municípios |
|------------|------------|---------------------------|-------------|---------|-----------------|------------|
| Plantio | Colheita | Ilha Solteira | Marinópolis | Bonança | | |
| 05/04/2017 | 08/07/2017 | 1,1 | 1,0 | - | Rubinéia | |
| 02/06/2017 | 04/09/2017 | 1,4 | 1,4 | - | Rubinéia | |
| 05/06/2017 | 07/09/2017 | 1,4 | 1,4 | 0,9 | Pereira Barreto | |
| 13/07/2017 | 20/10/2017 | 1,6 | 1,6 | 1,0 | Pereira Barreto | |
| 19/07/2017 | 26/10/2017 | 1,6 | 1,6 | 1,0 | Pereira Barreto | |
| 31/07/2017 | 02/11/2017 | 1,6 | 1,6 | 1,0 | Pereira Barreto | |
| 04/08/2017 | 11/11/2017 | 1,6 | 1,7 | 1,0 | Pereira Barreto | |

A

| Safra | | Direção vento | | | | Municípios |
|------------|------------|---------------|-------------|---------|-----------------|------------|
| Plantio | Colheita | Ilha Solteira | Marinópolis | Bonança | | |
| 05/04/2017 | 08/07/2017 | 123,2 | 116,3 | - | Rubinéia | |
| 02/06/2017 | 04/09/2017 | 110,5 | 107,1 | - | Rubinéia | |
| 05/06/2017 | 07/09/2017 | 109,6 | 105,8 | 140,1 | Pereira Barreto | |
| 13/07/2017 | 20/10/2017 | 109,1 | 96,8 | 146,0 | Pereira Barreto | |
| 19/07/2017 | 26/10/2017 | 108,6 | 97,8 | 147,3 | Pereira Barreto | |
| 31/07/2017 | 02/11/2017 | 112,5 | 105,4 | 156,4 | Pereira Barreto | |
| 04/08/2017 | 11/11/2017 | 110,7 | 102,9 | 156,1 | Pereira Barreto | |

B

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Na semeadura 05/06 realizada na área comercial no município de Pereira Barreto os observasse que empregando os dados de Ilha Solteira foram precisos 277,2 mm/safra, Tabela 5B já utilizando os dados de Marinópolis foram 277,7 mm/safra. Quando comparados com a estação Bonança, que é mais próxima as áreas de semeadura, as taxas de ETc foram menores com valor igual a 235,5 mm/safra, diferenciando em 41,7 mm/safra, significando que o irrigante superestimaria em aproximadamente 15% a lâmina total para safra utilizando dados das estações de Ilha Solteira e Marinópolis. De acordo com Carvalho *et al.* (2011),

para um manejo eficiente da irrigação, qualquer que seja a cultura, é essencial a determinação da evapotranspiração. De acordo com Gondim *et al.* (2005), que citam que o conhecimento das necessidades hídricas das espécies irrigadas, estimadas pelo coeficiente de cultivo (K_c) e evapotranspiração de referência (ET_o), é de fundamental importância para gestão sustentável dos recursos hídricos. A utilização da ET_c para realização do manejo de irrigação vem sendo sustentada ao longo dos anos como procedimento de mensuração da quantidade de água a ser aplicada no campo, mais de acordo Rosa *et al.* (2012) e Taylor *et al.* (2015), a necessidade de melhorias sistemáticas para na utilização da ET_c deve ser frequente. Para os dados das ZH 2 a demanda hídrica apresentou-se similar aos dados da estação Bonança, com uma diferença de apenas 8 mm/safra.

Utilizando os dados de ET_o da Estação Ilha Solteira para o manejo da irrigação, pode ocorrer um excesso de água no solo. Segundo Taiz e Zeiger (2004), tanto o excesso, quanto o déficit de água no solo em diferentes fases fenológicas da cultura, causam redução na produtividade em diferentes proporções, estudos realizados por Angelocci *et al.* (2004), Marin *et al.* (2005) e Nassif *et al.* (2014), mostraram que há resposta da condutância foliar, à temperatura do ar, déficit de vapor de pressão e radiação solar, tendo uma relação quadrática em que a condutância foliar diminui quando a atmosfera exige altas taxas de evapotranspiração.

Ainda para a semeadura em 05/06, notou-se que uma diferença expressiva entre a ET_o possui um fator o vento. Devido ao pivô central estar localizado à margem direita do Rio Tietê, o vento transporta a massa de ar contendo água proveniente da evaporação do rio para a direção onde está localizado o pivô. Na Tabela 6A e B é possível observar que a velocidade do vento é 0,9 m/s e sua direção predominante na estação Bonança de 140° , Figura 9. Enquanto os dados de vento da Estação Ilha Solteira sopram na direção ESE com 110° e a uma velocidade média 1,4 m/s, em Marinópolis a direção do vento é de 106° Figura 9, com velocidade de 1,4 m/s. Desta forma, o vento é um elemento do clima que influencia diretamente o microclima de uma área ou região, mostrando tanto aspectos positivos quanto negativos ao crescimento de culturas. Para Pereira; Angelocci; Sentelhas. (2007), os ventos que ocorrem de maneira excessiva e contínua podem causar um

grande problema para o desenvolvimento de atividades agrícolas, sendo necessário dispor de alternativas, como os quebra ventos, para proteger as culturas.

Para a semeadura em 13/07 a demanda hídrica do feijão é menor quando utilizados os dados de ETo da estação Bonança, 329,5 mm/safra Tabela 5B, apresentando diferença de 74,9 mm/safra com relação aos dados da estação Ilha Solteira. Para essa semeadura se o irrigante utilizar os dados de ETo da estação de Ilha Solteira para realizar o manejo da irrigação, aplicaria 74,9 m³ de água a mais durante uma única safra. Quando comparado com os dados da estação de Marinópolis a diferença encontrada foi de 67,1 mm/safra, porém quando inseridos os dados de ZH 2 a demanda hídrica é inferior a ETc adquirida a partir dos dados da estação Bonança, podendo assim acarretar em deficiência hídrica em alguma fase do ciclo da cultura. Segundo Miorini *et al.* (2011), a disponibilidade de água no solo é um dos principais fatores limitantes para o crescimento e produção do feijoeiro, pois o desenvolvimento da cultura é afetado pela quantidade de água disponível no solo, assim, o déficit ou excesso de água, nas diferentes fases fenológicas de desenvolvimento da cultura do feijão, causam redução na produtividade em diferentes proporções.

Para a época de semeadura realizada em 19/07, a demanda hídrica calculada com os dados da estação Ilha Solteira foi de 395,0 mm/safra Tabela 5B, já com a utilização dos dados de Marinópolis a ETc foi de 384,9 mm/safra, 10,1 mm inferior, quando comparadas à Ilha Solteira. As informações de ETc com os dados de entrada da estação Bonança foi de 330,4 mm/safra, sendo 0,6 mm superior as da ZH 2, que foi de 329,8 mm/safra.

Ainda para a semeadura em 13/07, quando analisado as ETc juntamente com os dados de velocidade e direção do vento, justificam-se valores de evapotranspiração tão distintas entre estações agrometeorológicas, mesmo próximas e com altitude semelhante. Marin *et al.* (2016) constataram que em condições de alta energia disponível, velocidade do vento e déficit de vapor de pressão, normalmente são encontradas taxas de ETo superiores 4,0 mm/dia. Além da intensidade do vento, deve-se ter atenção também à sua direção predominante durante a época de semeadura. A localização de proteções vegetais (quebra-vento), tão úteis nas atividades agropecuárias, depende principalmente do conhecimento das direções predominantes do vento (MUNHOZ; GARCIA, 2007). Com isso,

Mendonça (2008), relata que estudos mais aprofundados da estimativa da ETo é de extrema importância na agricultura, pois a adaptação ideal do uso da água na irrigação de acordo às necessidades hídricas está implicitamente ligada com o conhecimento da ETc.

Analisando as Tabelas 5A e B, e a Tabela 6A e B, juntamente, na época de semeadura 31/07, a diferença da ETc da Estação Bonança para a Estação Ilha Solteira é de 61,4 mm/safra, que também pode ser atribuída a direção do vento, sendo o vento predominante na estação Bonança 156° Figura 9, indicando que a água evaporada na superfície do Rio Tietê e levada para a área que está localizado o pivô com semeadura em 31/07.

O vento é uma variável meteorológica relevante no processo de evaporação da água, pois transporta calor e massa via fluxos turbulentos tanto na horizontal quanto na vertical (ALLEN *et al.*, 1998), com isso esse movimento de massas e fluxo de calor influencia diretamente na ETc, se os ventos transportarem grandes massas de vapor de água (OLIVEIRA *et al.*, 2012), como demonstrado no semeadura realizado em 04/08, onde o vento transporta a massa de ar como vapor de água do Rio Tietê para a direção do pivô, como pode ser observado analisando os dados da Tabela 5B. A ETc foi de 348,7 mm/safra Tabela 5B a partir de dados da estação Bonança, quando confrontados com os dados obtidos com base na estação de Ilha Solteira a diferença foi de 65,7 mm/safra, indicando superestimava da ETc, que ao usar esses dados levaria o irrigante a aplicar 657 m³ por hectare ao longo da safra, necessitando de 190,5 horas à mais de bombeamento equivalente à 36.756 kw.h a mais gerando depreciação do equipamento, aumento no custo de produção e irrigação, ainda o excesso de água poderia acarretar em problemas filotécnicos. Assim, a instalação de Estação Bonança, que encontra-se na maior área irrigada do Noroeste Paulista, é de fundamental importância na disponibilização de dados mais precisos para realização de manejo de irrigação, demonstrando que a utilização de dados de outras estações pode gerar níveis de demanda hídrica altíssimos durante uma safra, de acordo com Carvalho *et al.* (2011), as atividades agrícolas demandam grandes quantidades de água, e é cada vez mais preocupante a sua escassez.

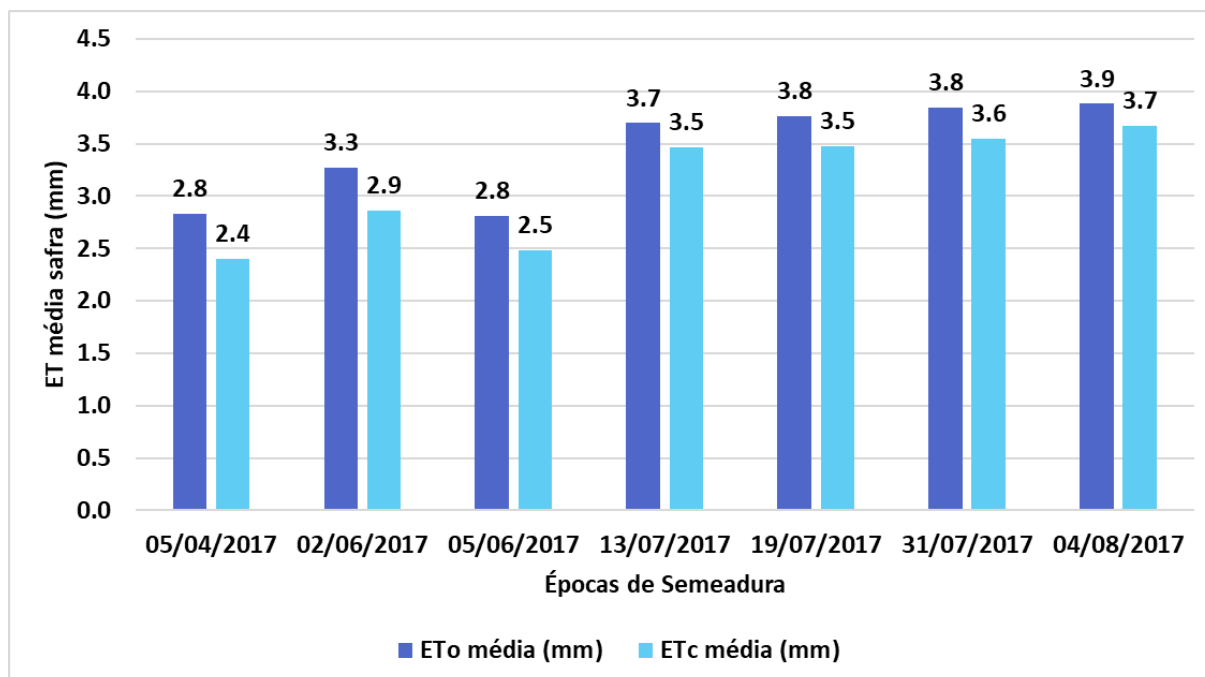
4.2- ESTIMATIVAS DAS DEMANDAS HÍDRICAS

Para a estimativa da demanda hídrica determinou-se através do cálculo da evapotranspiração da cultura (ET_c) por meio da equação 2, utilizando-se dados de evapotranspiração de referência estimadas diariamente a partir do cálculo da ETo por Penman-Monteith parametrizado pela FAO Allen *et al.* (1998), fornecidas pelas estações agrometeorológicas, Ilha Solteira para as sementeiras de Rubinéia e a Estação Bonança para as sementeiras de Pereira Barreto descritas para cada área.

A ET_c média ficou abaixo da ETo média, em todas as épocas de sementeira, nas duas áreas comerciais estudadas, conforme o apresentado na Figura 10. Obtendo as menores médias ET_c nas sementeiras realizadas em abril e junho, não chegando alcançar os 3 mm/dia na média, as demais épocas de sementeiras atingiram ET_c superiores a 3 mm/dia na média.

As taxas de ETo média são mais inferiores a 3.5 mm/dia nas sementeiras 05/04; 02/06 e 05/06 (abril a junho), demonstrado na Figura 10. Segundo os dados do Canal CLIMA da UNESP nesses meses as taxas ETo descessem ao comparado ao demais meses do ano, o que pode ser observado na Figura 3B, que mostra a variação da ETo temporal e espacial em todo o Noroeste Paulista durante o ano de 2017. As demais épocas de sementeira 13/07; 19/07; 31/07; 04/08 já se encontram quando as taxas ETo entram em ascendência alcançando seu pico máximo no mês de setembro, o que pode ser visto na Figura 3B. Com essa ascendência das taxas de ETo, as médias de ETo durante essas épocas de sementeira acaba sendo superior.

Figura 10 - Evapotranspiração de referência média (ET_o) e evapotranspiração da cultura média (ET_c) nas áreas comerciais.

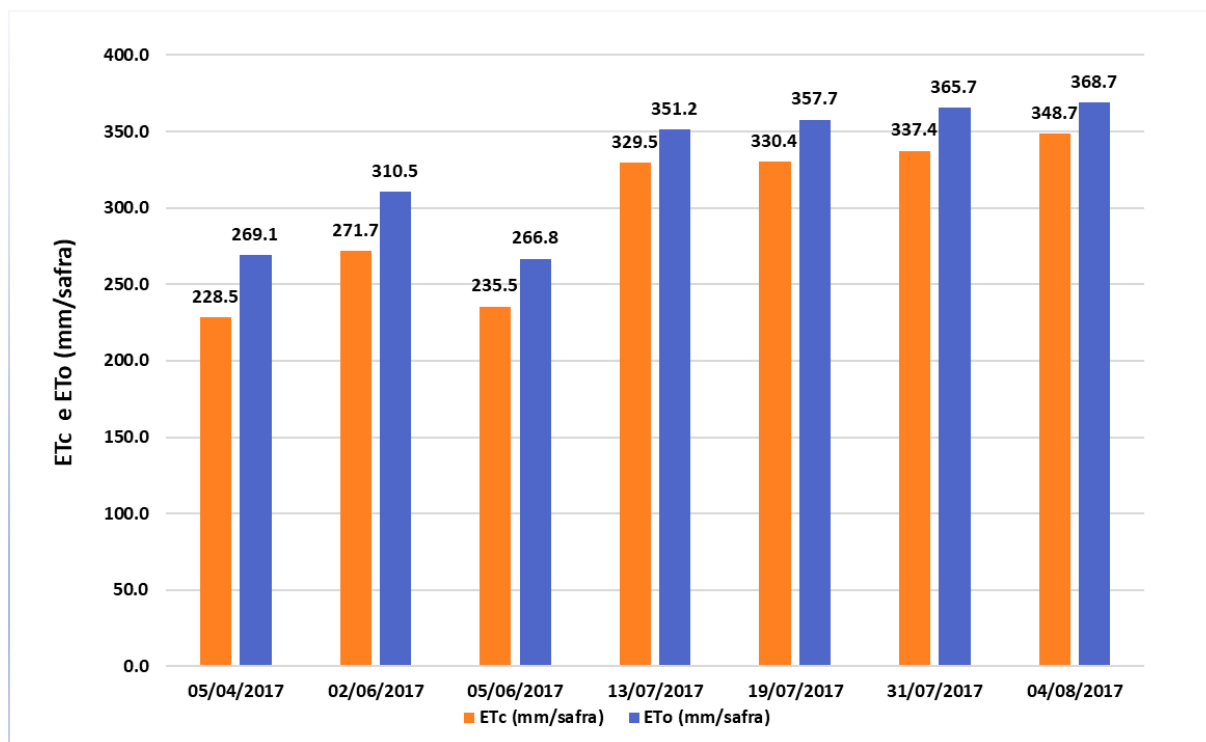


Fonte: Elaboração do próprio autor.

A ET_c total durante as semeaduras 05/04; 02/06 e 05/06, foram inferiores a 300 mm/safra, Figura 11, com um destaque para a semeadura de 05/04 que ET_c total foi 220,8 mm/safra, isso pode ser atribuído a grande quantidade e volume de chuvas que ocorreu durante essa safra o que pode ser observado na Figura 5. As depois épocas de semeadura obtiveram uma demanda hídrica parecida com a apresentada por Doorenbos e Kassan (1979), ficando dentro dos 300 a 500 mm durante todo o ciclo de plantio da cultura do feijoeiro.

A ET_o total nas épocas de semeadura 13/07; 19/07; 31/07; 04/08 foi superior a 400 mm/safra, conforme Figura 11, estando diretamente relacionada com os estudos realizados por (HERNANDEZ *et al.*, 1995; HERNANDEZ *et al.*, 2000; SANTOS *et al.*, 2010) que apontam a região Noroeste Paulista possuindo as maiores taxas de ET_o de todo o Estado. O que pode ser observado também na Figura 3B, que essas épocas de semeadura estão localizadas a partir do mês de julho quando a uma ascensão nas taxas de ET_o, alcançando seu ápice no mês de setembro. Sendo que o ciclo do feijoeiro possuiu de 95 a 100 dias, ficou totalmente dentro das faixas de meses que continham as maiores ET_o do ano de 2017.

Figura 11 - Evapotranspiração de referência total (ETo) e evapotranspiração da cultura total (ETc) nas áreas comerciais.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

4.3 MANEJO DA IRRIGAÇÃO

O manejo da irrigação tem potencial para elevar a produção e reduzir o risco associado às flutuações de produção. No entanto, introduz custos adicionais, envolvendo mão-de-obra energia e água, além da aquisição de equipamentos. Os custos da irrigação não devem contemplar apenas os custos de implantação e de investimento, mas também outros custos fixos e variáveis calculados por um ano e por unidade de área. A irrigação justifica-se como recurso tecnológico indispensável ao aumento da produtividade das culturas em regiões onde a insuficiência ou má distribuição das chuvas inviabiliza a exploração agrícola (FRIZZONE, 2002; MARQUES; MARQUES; FRIZZONE, 2006).

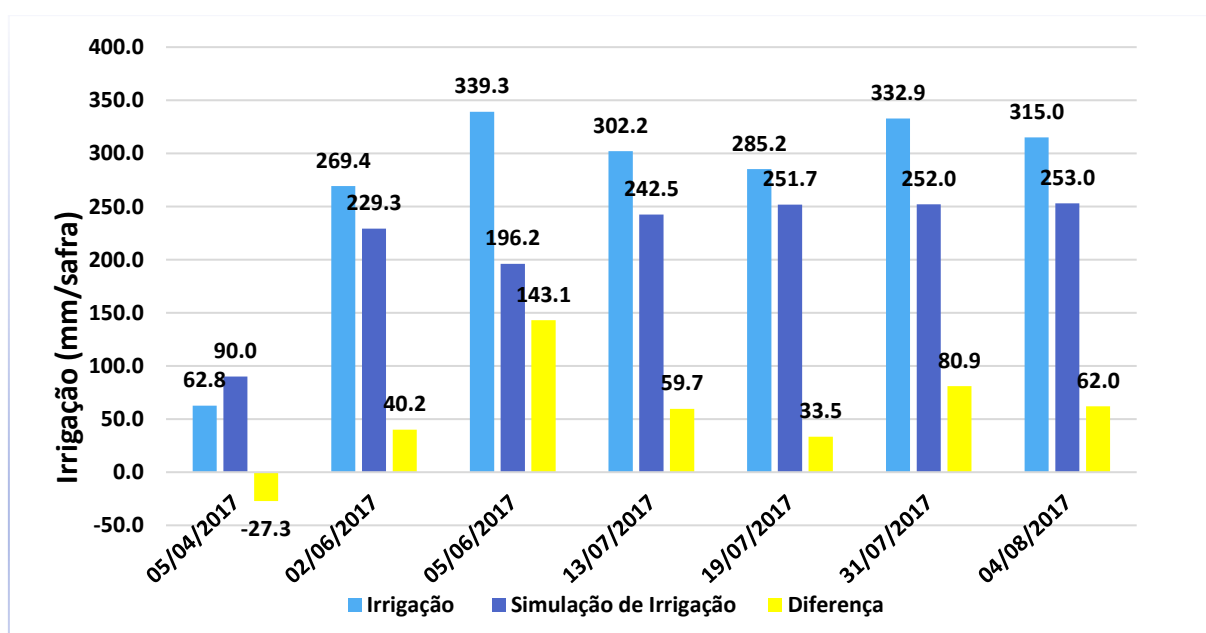
Os dados das irrigações reais, realizadas pelos irrigantes das áreas comerciais, foram fornecidos pelos próprios irrigantes, onde cada época de semeadura foi realizada um manejo de irrigação diferente, de acordo com ETo da estação Ilha Solteira para as semeaduras comerciais de Rubinéia e os dados de

ETo da estação Bonança para as semeaduras no município de Pereira Barreto, o Kc utilizado foi o da FAO.

Para a simulação do manejo de irrigação sugerido ao irrigante, foi utilizado dos dados de ETo das mesmas estações agrometeorológicas utilizadas pelos irrigantes e o mesmo Kc. A simulação de irrigação levou em conta o teor de água no solo, sempre respeitando a CAD, mais o aproveitamento da água da chuva de 8 mm, assim obtendo uma CAD de manejo.

Na Figura 12 pode se observar as irrigações realizadas pelo o irrigante e as simulações propostas, e a diferença entre as irrigações e as simulações, notando que todas as semeaduras com exceção, da ocasião 05/04, o manejo sugerido ao irrigante reduz a quantidade de água aplicada, indicando que o manejo sugerido ao irrigante diminuiria seu consumo de água, podemos aumentar sua produtividade de água, sabendo que a produtividade de água. Ainda na ocasião 05/04 houve uma maior recomendação do uso da irrigação para que o armazenamento de água no solo não fosse inferior aos 50% sugeridos.

Figura 12 - Irrigações reais realizadas e simulações de irrigações propostas e a diferença ocorrida entre a irrigação real e a irrigação proposta através de simulação.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

4.3.1 Semeadura 05/04/2017 (Rubinéia)

Na Figura 13A podemos observar o manejo de irrigação realizado pelo irrigante na semeadura realizada 05/04 na área comercial de Rubinéia, nota-se que durante grandes períodos a quantidade de água contida no solo foi superior ao seu armazenamento de 100%, nesse plantio a CAD juntamente com o armazenamento é 48 mm, considerando a profundidade de 40 cm que o irrigante realiza o manejo de água no solo e os 8 mm de armazenamento do excedente da precipitação.

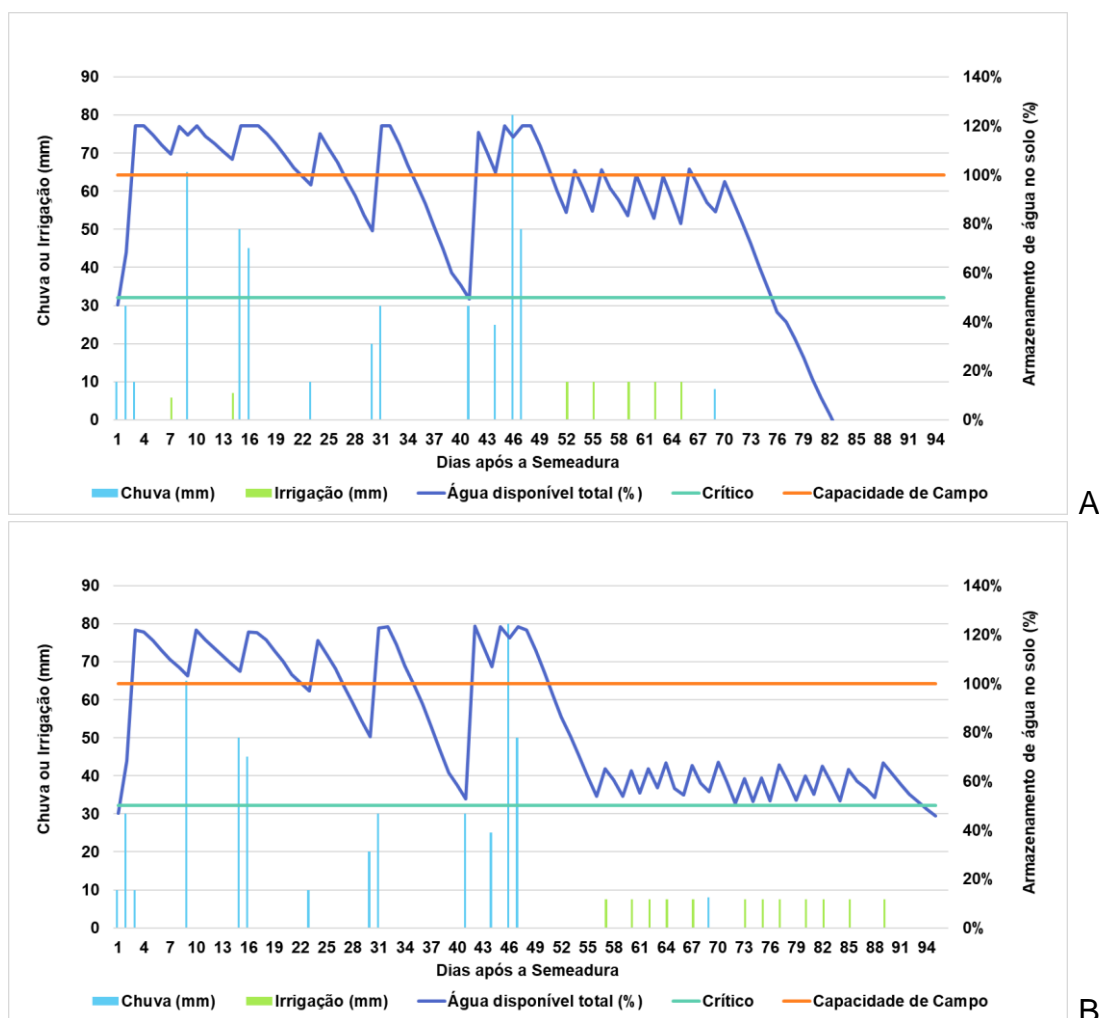
Essa época de semeadura foi castigada pelo forte volume de chuva registrado, no dia após o término da semeadura foi registrado uma chuva de 10 mm, no 2 DAS (Dias após a semeadura) 30 mm e no 3 DAS 10 mm, totalizando nos 3 primeiros DAS um total de 50 mm de chuva. Já causando assoreamento das sementes, dificultando a emergência das plântulas. Quando as sementes que conseguiram emergir estavam em início de desenvolvimento, com somente 9 DAS, choveu 65 mm, causando assoreamento de muitas plantas, diminuindo ainda mais a quantidade de plantas por hectare. Com isso a ocorrência de precipitação que atenda à demanda hídrica da cultura num determinado estágio de desenvolvimento muitas vezes não se traduz em alta produtividade, em decorrência de possíveis estresses por excesso ou mesmo por deficiência hídrica em outros estágios, devido à grande variabilidade espacial e temporal que o elemento meteorológico precipitação em geral apresenta (TAVARES *et al.*, 2004; SILVA; NERY, 2012).

Com o registro dessas chuvas o armazenamento de água do solo permaneceu acima dos 100%, causando excesso de água no solo. O feijoeiro é uma planta relativamente sensível ao excesso de água no solo, nestas condições o seu desenvolvimento vegetativo e o rendimento são bastante prejudicados (SILVEIRA; STONE, 2001).

Mesmo com um alto volume de chuvas durante a safra o que pode ser visto na Figura 5 de 463 mm, o produtor ainda realizou algumas irrigações o que pode ser conforme pode ser observado na Figura 13A, totalizando 62,8 mm durante o ciclo, irrigações essas realizadas para que o irrigante conseguisse colher um pouco da sua produção de 435,6 kg/ha.

A baixa produtividade poder ser atribuída ao longo período de excesso de água no solo causado pelos grandes volumes de chuvas e segundo Souza; Camargo e Vahl (2010), essas condições de períodos com excesso de água no solo por longos dias, ocorrem ciclos de oxidação-redução, que influenciam o pH, a disponibilidade de nutrientes, a redução de óxidos de ferro e manganês, assim como a elevação da condutividade elétrica e a redução na disponibilidade de oxigênio.

Figura 13 - Armazenamento de água no solo de acordo com o manejo de irrigação real realizado pelo irrigante e o manejo sugerido ao irrigante para a época de semeadura 05 de abril de 2017.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Já na Figura 13B no manejo de irrigação sugerido em forma de simulação ao irrigante, na mesma época de semeadura, considerando o mesmo volume de chuva, dia de ocorrência das chuvas e duração de ciclo.

O manejo proposto utilizou 90 mm durante toda a safra, acionando o equipamento de irrigação 12 vezes, aproveitando ao máximo a água da chuva e não permitindo que o nível do armazenamento de água no solo alcançasse o ponto crítico de 50% da CAD. O manejo sugerido não garante que o produtor pode se ter obtido uma produtividade melhor, já que houve a ocorrência de grandes volumes de chuvas em momentos importantes do desenvolvimento da cultura. Segundo Andrade (1998), após a semeadura, no período inicial do cultivo, o excesso de água prejudica a germinação, restringe o desenvolvimento do sistema radicular tornando o superficial e favorece a ocorrência de doenças radiculares.

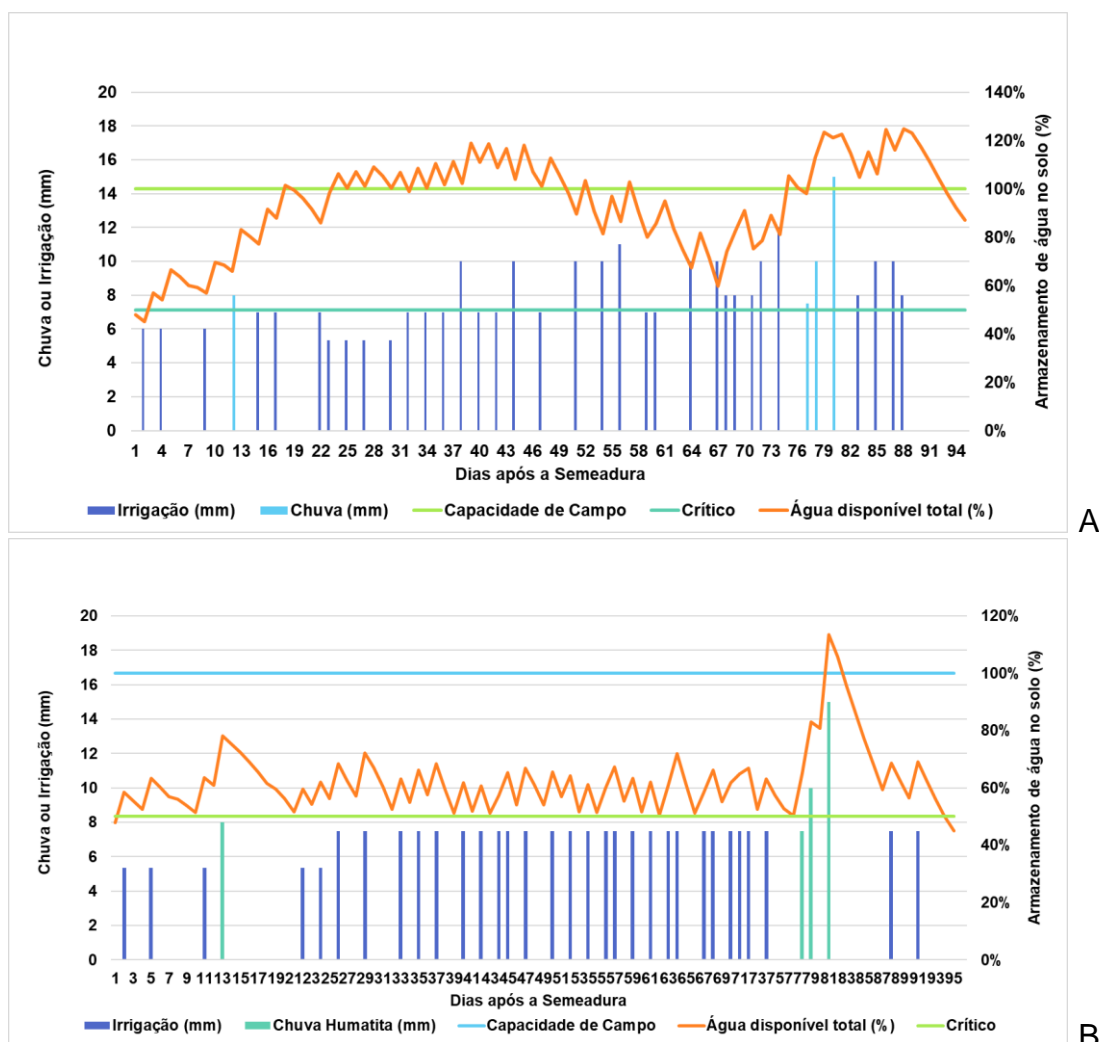
4.3.2 Semeadura 02/06/2017 (Rubinéia)

Na semeadura ocorrida em 02/06 a ocorrência de chuvas foi menor e mais distribuídas ao longo do ciclo da cultura, durante todo o ciclo foi registrada 40,2 mm, conforme Figura 5. O maior volume de chuva registrado quando a cultura já possuía 80 DAS, 15 mm, assim não interferindo no desenvolvimento inicial, com danos de má germinação, assoreamento de plantas e diminuição de stand.

O irrigante durante toda a safra aplicou 269,4 mm/safra de água através do uso de seu equipamento de irrigação, comparado com a ET_c total da cultura 271,7 mm/safra são somente 2,4 mm. Para o manejo de irrigação ocorrer da forma mais correta possível a porcentagem de água disponível no solo deve sempre estar entre 50 e 100%, quando a água disponível no solo atinge limites superiores a 100% utilizando a irrigação, indica que o irrigante está aplicando água além do necessário, aumentando seu custo de produção com a aplicação excessiva de água.

Na Figura 14A podemos constatar que o irrigante fazendo o uso da irrigação elevou seu nível de armazenamento de água no solo a mais de 100% de 22 a 45 DAS, ficando com um excesso de água no solo por um período superior a 20 dias. Em estudos realizados por Foursythe e Legarda (1978) observaram uma forte redução o rendimento, próximo de 90%, quando submeteram uma linhagem de feijão à cinco inundações semanais por um período de 12 horas, redução da produção por inundações por longos períodos também já foi constatada por Muñoz (1973).

Figura 14 - Armazenamento de água no solo de acordo com o manejo de irrigação real realizado pelo irrigante e o manejo sugerido ao irrigante para a época de semeadura 02 de junho de 2017.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

O manejo de irrigação sugerido a irrigante na época de semeadura 02/06 pode ser analisado na Figura 14B, as simulações de irrigação respeitaram o critério de não ultrapassar os 100% da capacidade de campo e não atingir o ponto crítico de água no solo, que foi estipulado 50 % da CAD que essa época de semeadura é de 40 mm.

O manejo proposto ao irrigante aplicou 229,3 mm/safra, sendo que o efetuado por ele aplicou 269,4 mm/safra Figura 11, possuindo uma diferença de 40,1 mm/safra. A quantidade de água aplicada em relação a ET_c é de 42,2 mm, indicando que na realização do manejo da irrigação está havendo aproveitamento das águas pluviais. O manejo da irrigação representa os procedimentos utilizados

para se irrigar. Para que esses procedimentos sejam realizados de forma correta é preciso não somente se ter meios que auxiliem na determinação do momento de irrigar e da quantidade de água a ser aplicada, mas também conhecer a resposta das culturas aos procedimentos de manejo da irrigação adotados (FRIZZONE, 2007).

Por isso informações sobre o efeito do manejo da irrigação para as culturas são importantes para: conhecer os períodos críticos durante os quais a deficiência de água causa sérias reduções à produção; determinar o momento de aplicar água de modo a maximizar a eficiência do seu uso, da energia elétrica, do sistema de irrigação e manter favoráveis as condições de umidade do solo para garantir a produção e o retorno dos investimentos (SILVA *et al.*, 2012).

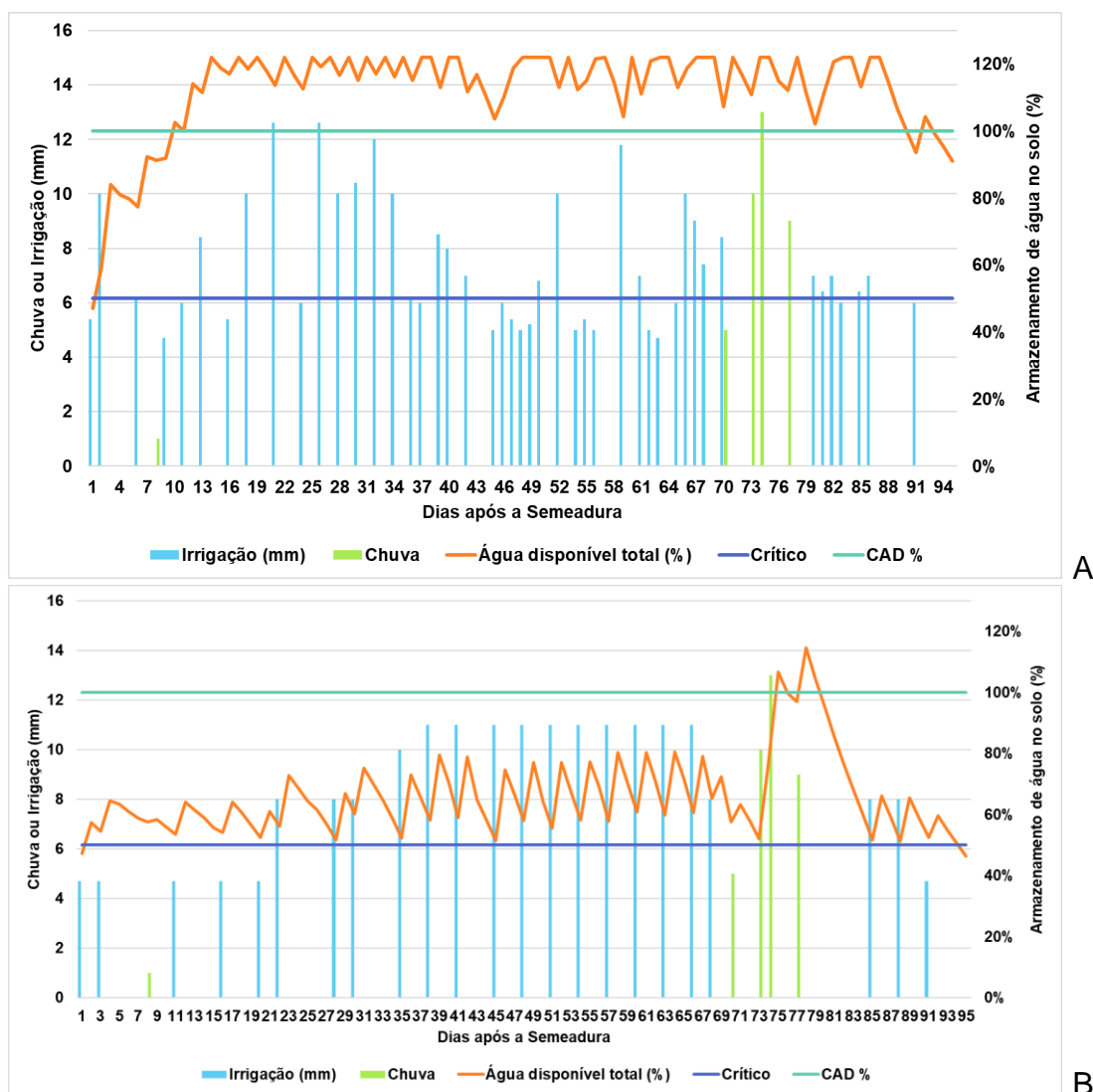
4.3.3 Semeadura 05/06/2017 (Pereira Barreto)

Observando os dados de manejo de irrigação do irrigante da área comercial de Pereira Barreto, de pronto na Figura 15A, pode-se notar que o irrigante opta por trabalhar com lâminas pesadas de irrigação, com velocidade do seu equipamento sempre inferior a 100%. O irrigante durante toda a safra aplicou um total de 339,3 mm de água através do uso da irrigação e que durante o ciclo que a cultura estava no campo choveu apenas 38 mm conforme Figura 5.

Nesta época de semeadura a necessidade hídrica do feijoeiro foi de 235,5 mm/safra e com uma aplicação de água superior a necessidade hídrica de 103,8 mm/safra, aplicando 44% a mais de água em relação a necessidade hídrica calculada a partir dos dados de ETo da estação Bonança que está dentro da área comercial estudada.

Nota - se que durante praticamente toda a safra o armazenamento de água no solo permaneceu acima dos 100%, chegando a alcançar níveis de 20% superiores à armazenagem. Quando que o armazenamento somente deveria ser superior a 100% quando houvesse chuva.

Figura 15 - Armazenamento de água no solo de acordo com o manejo de irrigação real realizado pelo irrigante e o manejo sugerido ao irrigante para a época de semeadura 05 de junho de 2017.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Com isso é sabido que, solos muito úmidos propiciam condições de má aeração ao sistema radicular, além de aumento da incidência de doenças. Assim, segundo Moreira *et al.* (1988), o excesso de água provoca deficiência de oxigênio, levando a uma concentração inadequada desse elemento na planta e redução da atividade microbiana do solo.

O manejo de simulando as irrigações, utilizou 196,2 mm/safra, confortando a ETc de 235,5 mm/safra, somados a chuva Figura 5 e a simulação de irrigação realizada nessa época de plantio tenho um total de água de 234,2 mm/safra, ficando somente 1,3 mm abaixo da ETc da safra.

4.3.4 Semeadura 13/07/2017 (Pereira Barreto)

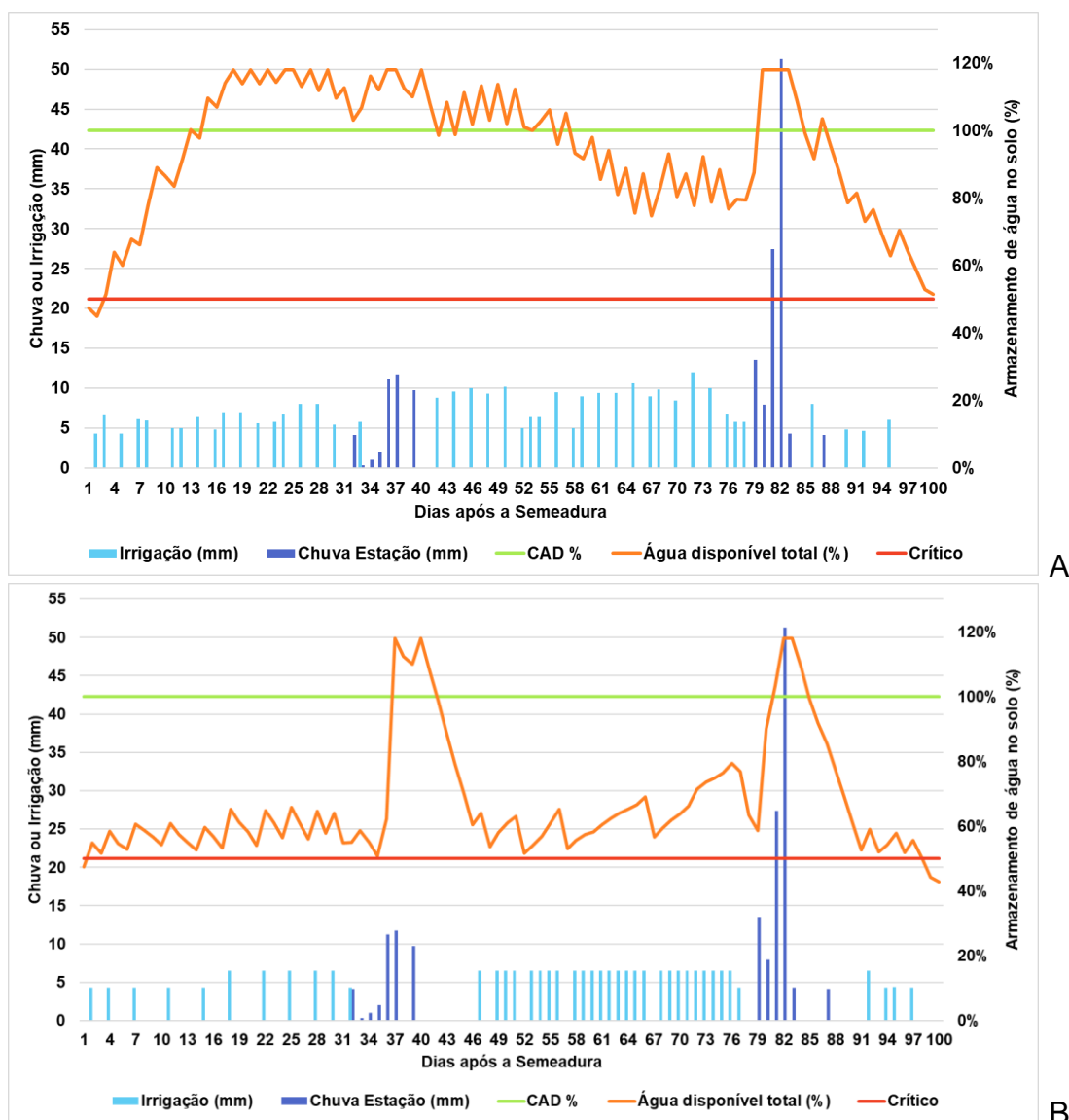
Na semeadura ocorrida em 13/07 o irrigante aplicou 302,2 mm/safra de água com o auxílio do equipamento de irrigação, nessa safra foi registrada uma precipitação de 161 mm/safra, com uma taxa de ETc de 329,5 mm/safra.

As chuvas ocorridas durante a safra não obtiveram uma boa distribuição, e algumas dessas chuvas vieram com um alto volume, em destaque à ocorrida quando a cultura possuía 80 DAS com um volume de 60 mm, elevando o armazenamento de água no solo a limites superiores a 100% da CAD de manejo trabalhada.

De um modo geral o irrigante analisando a Figura 15A, permaneceu com seu armazenamento de água em níveis elevados, do 14 DAS ao 50 DAS o armazenamento foi superior ao necessário, indicando que o irrigante aplicou água em excesso. Cada tipo de solo apresenta uma diferença em relação à interação com as plantas e a atmosfera, principalmente em razão das suas características físicas, tais como textura, estrutura, porosidade e densidade, além da profundidade que possa ser explorada pelo sistema radicular das plantas (VILA NOVA; SCARDUA, 1984), com isso as características do solo, a textura é a que mais influência na condutividade hidráulica, visto sua influência nas demais características do solo (AZEVEDO; DALMOLIN, 2004).

Com o manejo de irrigação realizado pelo irrigante o solo permanece com excesso de água por longos períodos e o excesso ou a falta de água acarreta injúrias e diminuição dos índices de produtividade das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2013), o que torna necessário conhecer a quantidade de água a ser fornecida na safra para que seja efetuado um manejo de irrigação consciente com o qual as plantas se desenvolvam de forma satisfatória, melhorando a qualidade da produção, evitando desperdício de água e reduzindo custos na irrigação (COELHO *et al.*, 2014).

Figura 15 - Armazenamento de água no solo de acordo com o manejo de irrigação real realizado pelo irrigante e o manejo sugerido ao irrigante para a época de semeadura 13 de julho de 2017.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Na Figura 15B podemos observar o manejo de irrigação sugerido, nota-se que os níveis de armazenamento de água no solo sempre flutuam entre os 50% da CAD e os 100%, somente sendo superior a 100% da CAD quando há ocorrência de chuvas.

Constata - se que na Figura 15B que há dois picos nos níveis de armazenamento de água no solo, 35 DAS e 80 DAS esses dois picos são atribuídos a chuvas que ocorreram nessa época. A água provinda da chuva foi aproveitada ao

máximo no manejo de simulado de irrigação, pois água da chuva não gera oneração nos custos de produção.

Por isso que a utilização eficiente do uso da água em um manejo de irrigação é preciso, para que não haja acréscimo no custo de produção e o uso indevido da água. O manejo da irrigação constitui uma técnica muito importante do ponto de vista econômico e ambiental em uma atividade agrícola irrigada sustentável, proporcionando economia de água, energia, alcance máximo do seu potencial produtivo da cultura e melhoria na qualidade do produto (BONOMO *et al.*, 2013). Portanto, adotando-se um manejo de irrigação adequado é possível utilizar, muitas vezes, o sistema de irrigação em tempo inferior àquele em que foi projetado, economizando assim em termos de operação, com reflexos diretos nos custos de energia elétrica e mão de obra (RESENDE; ALBUQUERQUE, 2003).

Embora o gerenciamento do uso racional da água aplicada nas irrigações seja um dos aspectos mais importantes para o sucesso da agricultura irrigada (FIGUÊREDO *et al.*, 2008), no Brasil a grande maioria dos usuários da agricultura irrigada não adota qualquer estratégia de uso e manejo racional da água de irrigação e quando adotam muitas vezes é um manejo ineficaz.

4.3.5 Semeadura 19/07/2017 (Pereira Barreto)

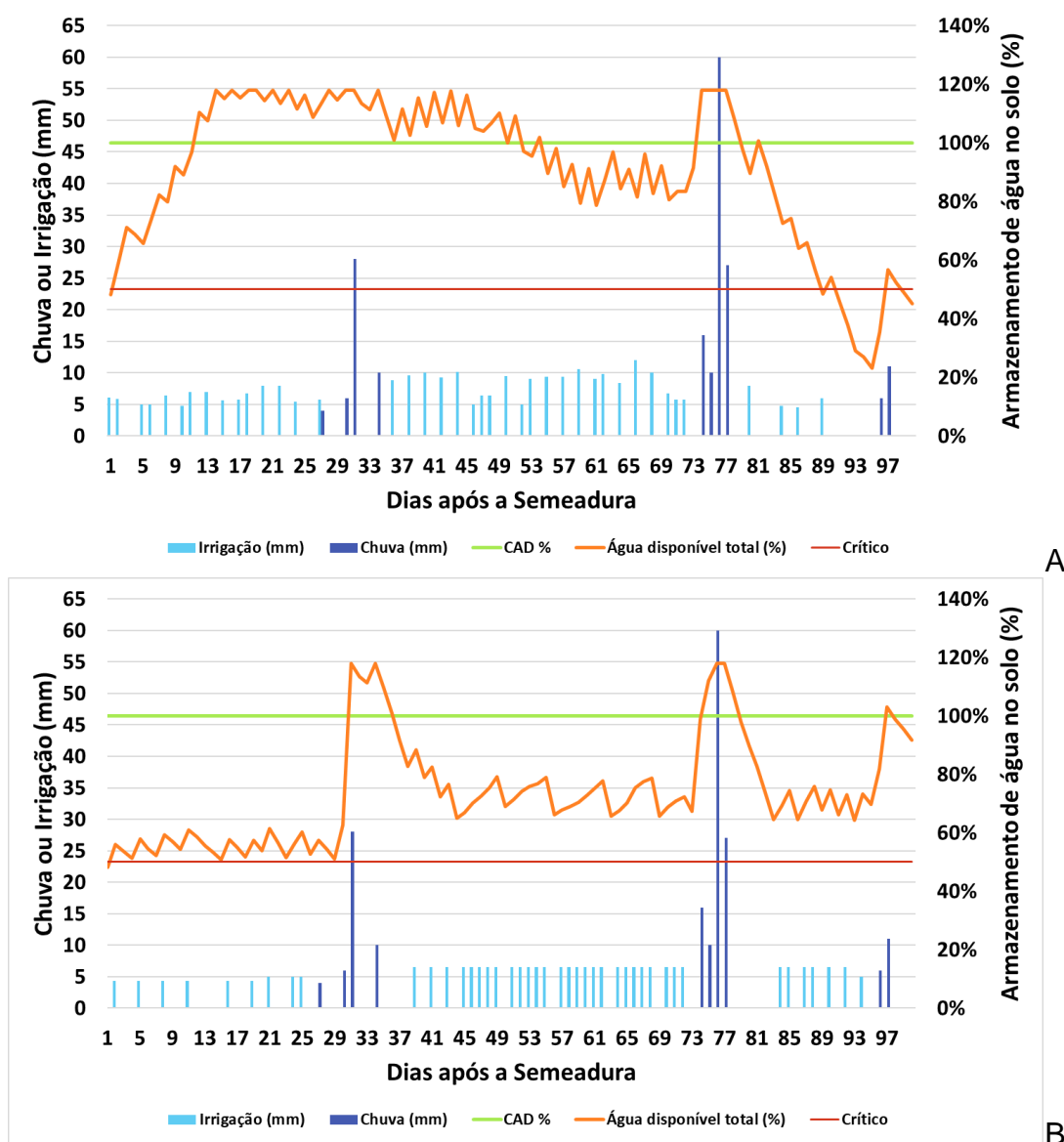
A semeadura ocorrida em 19/07, ocorreu no pivô central de 161 hectares, porem essa época de semeadura só ocorreu em metade da área que o equipamento abrange. O manejo de irrigação real realizado pelo irrigante utilizou 285,2 mm/safra, com uma ETc de 330,4 mm/safra e acumulado de chuvas de 178 mm/safra o que pode ser vista na Figura 5.

A irrigação utilizada no manejo de irrigação real corresponde há 86% da ETc e a 62% da água total disponível durante a safra. Indicando que durante essa época o uso do sistema de irrigação é indispensável para a garantia de produção.

Com a irrigação representando mais de 80% da necessidade hídrica da cultura durante o ciclo e má distribuição de chuvas a expansão das lavouras irrigadas tem exigido maiores investimento em pesquisas, com intuito de suprir a

demanda de conhecimento com relação ao manejo de irrigação e alcançar produtividades altas e conseqüentemente obter um retorno econômico satisfatório (PAVINATO *et al.*, 2008).

Figura 16 - Armazenamento de água no solo de acordo com o manejo de irrigação real realizado pelo irrigante e o manejo sugerido ao irrigante para a época de semeadura 19 de julho de 2017.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

O irrigante praticava o manejo de irrigação e conhecia sua CAD, porem na realização das irrigações elevou seu nível de armazenamento de água no solo acima do necessário quase durante toda a safra, sendo a capacidade de

armazenamento de água de um solo é a quantidade máxima de água utilizável pelas plantas que pode ser armazenada na zona radicular, determinada, assim, pela interação entre as diferentes características do solo com as plantas ali instaladas.

Ainda sobre a CAD, Pereira, Angelocci e Sentelhas (2002) consideram que o tipo de cultura é o principal fator a determinar a seleção da CAD, visto que o sistema radicular apresenta crescimento diferenciado em função do tipo de solo, como a manifestação de maior profundidade efetiva do sistema radicular em solos arenosos para compensar a menor CAD.

No final no ciclo 89 DAS o irrigante parou de efetuar irrigações causando uma deficiência hídrica, trazendo seu armazenamento a baixo do limite crítico considerado com segurança na realização do manejo, contudo a cultura já estava em final de ciclo na fase de senescência.

No manejo de irrigação sugerido ao irrigante ele utilizaria 251,7 mm/safra, conforme Figura 12, com uma diferença de 33,5 mm/safra. Essa simulação representaria 76% da necessidade hídrica em relação a ETc da época de semeadura, 10% a menos que a irrigação real, pois assim a simulação otimizou a precipitação no manejo da irrigação.

Mesmo com a otimização das chuvas em dois períodos da safra o nível de armazenamento de água no solo foi além dos 100%, devido às chuvas ocorridas com altos volumes.

4.3.6 Semeadura 31/07/2017 (Pereira Barreto)

Na Figura 17A podemos observar o manejo de irrigação real, feito pelo irrigante na semeadura corrida em 31/07, nesse manejo o irrigante aplicou 332,9 mm/safra Figura 12, trabalhando no início da safra com irrigações mais espaçadas, a partir dos 10 DAS alcançou sua CAD e permaneceu acima dela até 66 DAS. Após um grande volume de chuvas ocorrido o irrigante aproveitou ao máximo a água da chuva, porém quando voltou a irrigar o nível de armazenamento de água no solo já havia alcançado o nível crítico, mesmo voltando a realizar irrigações as taxas de ETo para aquela época eram muito elevadas, não conseguindo repor o estoque de

água no solo. Quando o irrigante conseguiu repor o estoque de água no solo, saindo do ponto crítico alcançando 50% da CAD, o irrigante para de efetuar as irrigações por dois dias trazendo o armazenamento de água no solo para baixo, chegando a 24,7% da CAD, quando a cultura possuía 78 DAS estando no estágio final de enchimento de grãos, podendo ter acarretado queda na produção.

Segundo Doorenbos e Kassam (1994) e em razão do curto período do ciclo do feijoeiro, pequenos períodos de deficiência hídrica podem afetá-lo severamente. Resultados que períodos de deficiência hídrica mesmo que curtos causam danos a cultura também foram obtidos por Pavani *et al.* (2008).

Os efeitos da deficiência hídrica iniciam-se quando as taxas de ETo superam as taxas de absorção de água pelas raízes e sua transmissão para as partes aéreas da planta Silveira e Stone (2001). A deficiência hídrica, portanto, está associada a uma redução progressiva de água no solo, de acordo com a profundidade do sistema radicular. Quanto maior a redução do armazenamento de água no solo mais severo será a deficiência. Segundo Bänziger *et al.* (2000), em condições de déficit hídrico, a produtividade de grãos é substancialmente afetada, sendo os estágios de florescimento e enchimento de grãos considerados as fases mais críticas da cultura.

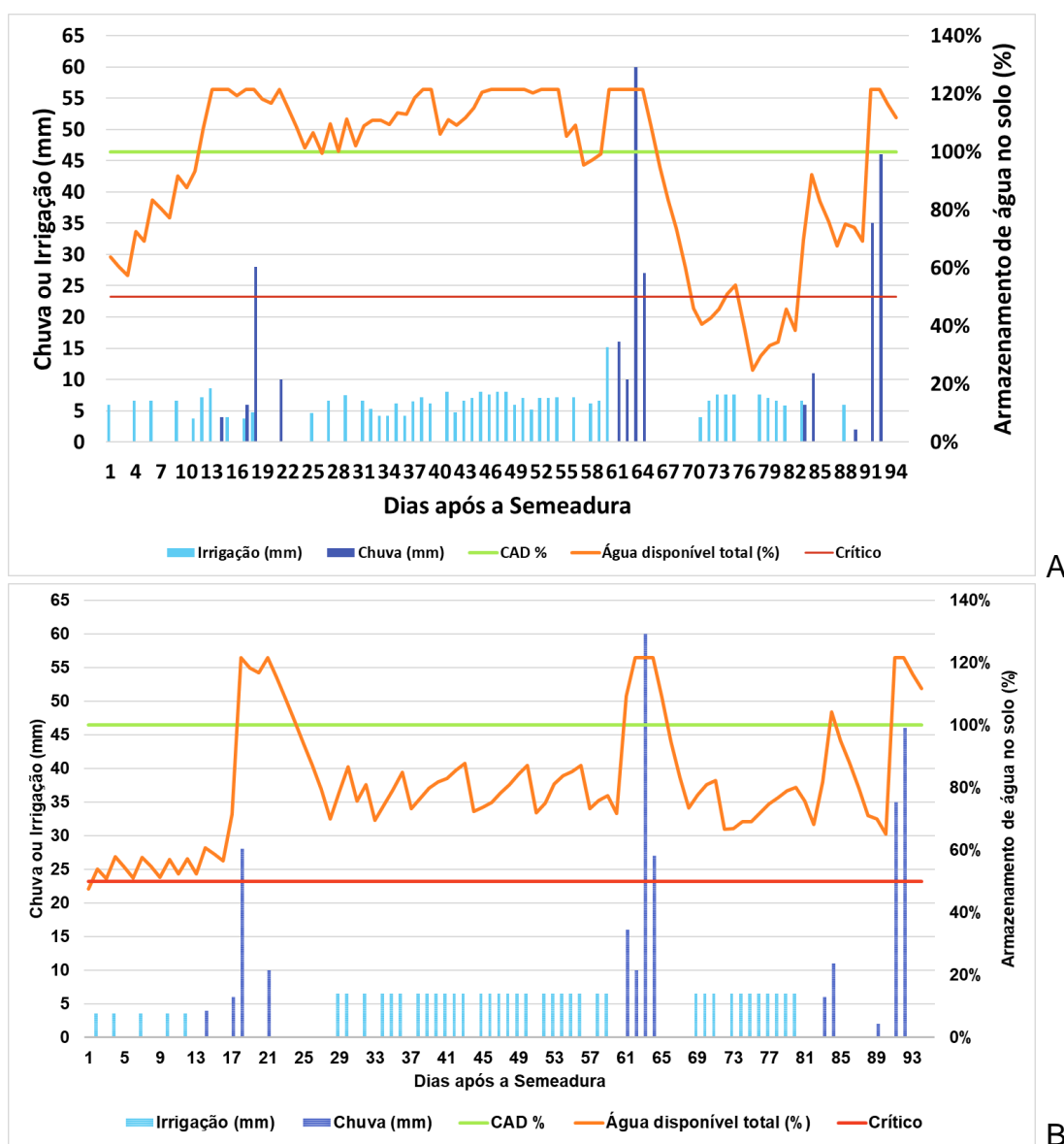
A quantidade de água utilizada na no manejo real da irrigação, corresponde a 99% da ETc e a 50% da água disponível total. Enquanto a simulação de manejo de irrigação corresponde 75% da ETc e 45% da água total durante o ciclo da cultura.

Na simulação de manejo foi sugerido a utilização de 252 mm/safra, bem distribuídos ao longo do ciclo aproveitando ao máximo as chuvas, com o aproveitamento das chuvas e não ultrapassando a CAD, gerou uma economia do uso da água de 80,9 mm/safra.

Durante toda a simulação, o armazenamento de água no solo foi superior a 100% somente quando houve precipitação, 17, 61, 85 DAS Figura 17B. A partir da última irrigação 80 DAS o armazenamento foi mantido apenas com a água da chuva.

Com isso para um manejo adequado da irrigação é necessário conhecer a quantidade de água armazenada no perfil do solo em um dado instante, assim é possível definir a quantidade da lâmina a ser aplicada e o intervalo de tempo para a próxima irrigação.

Figura 17 - Armazenamento de água no solo de acordo com o manejo de irrigação real realizado pelo irrigante e o manejo sugerido ao irrigante para a época de semeadura 31 de julho de 2017.



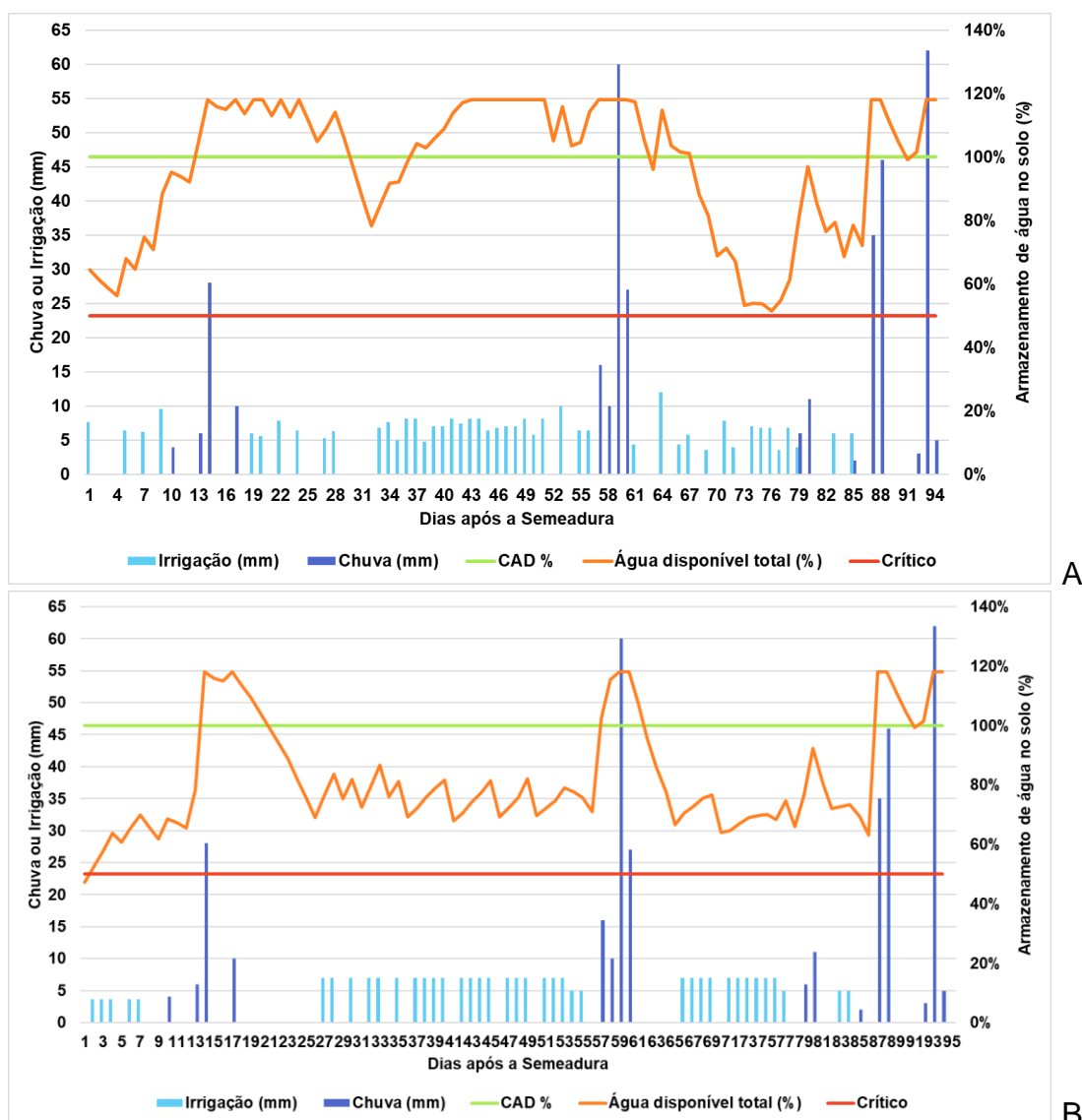
Fonte: Elaboração do próprio autor.

4.3.7 Semeadura 04/08/2017 (Pereira Barreto)

No manejo de irrigação real em nenhum momento do ciclo da cultura, o armazenamento de água no solo ficou a baixo dos 50%. O manejo de irrigação real utilizou 315 mm/safra, e ocorreu um volume de chuva de 331 mm/safra conforme Figura 5.

A irrigação real correspondeu a 90% da ETc durante o ciclo do feijoeiro e a 49% da água total disponível, mesmo havendo um grande volume de chuvas, as precipitações não foram bem distribuídas ao longo da safra o que pode ser vista na Figura 18A. Como uma média global, 60% da precipitação anual caindo sobre a terra é retornado para a atmosfera por evapotranspiração, equivale a cerca de 70% da precipitação anual dos Estados Unidos e mais de 90% da precipitação nas áreas áridas e semi-áridas do oeste dos Estados Unidos. Em Nebraska, aproximadamente 90-93% da precipitação é usado para ET (IRMAK, 2010).

Figura 18 - Armazenamento de água no solo de acordo com o manejo de irrigação real realizado pelo irrigante e o manejo sugerido ao irrigante para a época de semeadura 04 de agosto de 2017.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

O armazenamento de água no solo varia em função da quantidade de água que entra no perfil do solo e dos fatores que contribuem para que água permaneça armazenada (GONZÁLEZ; ALVES, 2005), assim com a realização de irrigações e chuvas o armazenamento ficou acima dos 100% esperados para bom manejo durante quase toda a safra.

De acordo com Medeiros *et al.* (2013) a técnica do balanço hídrico fornece o saldo de água disponível no solo para o vegetal, ou seja, contabiliza a entrada (precipitação e ou irrigação) e a saída (evapotranspiração potencial), considerando determinada capacidade de armazenamento de água pelo solo.

O manejo sugerido ao irrigante através de simulação utilizou 253 mm/safra, tendo uma diferença entre o manejo real de 62 mm/safra, representando 73% da ETc e corresponde há 43% da água total disponível.

4.4 EVAPOTRANSPIRAÇÃO ATUAL E COEFICIENTES DE CULTIVO

Na Tabela 7 são apresentados os valores de coeficiente de cultivo (Kc) e evapotranspiração de cultura (ETc) estimadas pelo método padrão (FAO-56), coeficientes de cultivo extraídos do SAFER (Kc_SAFER) e para evapotranspiração utilizando o SAFER (ETa), ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura do feijão. Em média uma diferença no Kc de 0,6. Sendo a maior diferença encontrada de 1,0 e para ETc/ETa uma diferença média de 2,2 mm, sendo a mais ampla diferença encontrada de 3,5 mm. Levando em conta todas as épocas de semeaduras apontadas nesse estudo.

A Figura 20 apresenta a distribuição espacial dos valores da ETa (mm dia⁻¹) para a cultura do feijão na área delimitada pelo estudo, sendo a Figura 20A para a semeadura comercial de Rubinéia e 20B para Pereira Barreto. Na Figura 21A os dados de Kc extraídos pelo algoritmo SAFER do município de Rubinéia e na Figura 21B de Pereira Barreto.

Ao se analisar os dados da Tabela 7 e as Figuras 19A e B, observa-se que, a ETa variou ao longo do ciclo fenológico dependendo do estágio de

desenvolvimento das culturas, seguindo uma tendência adversa da ETc padrão para todas as culturas estudadas.

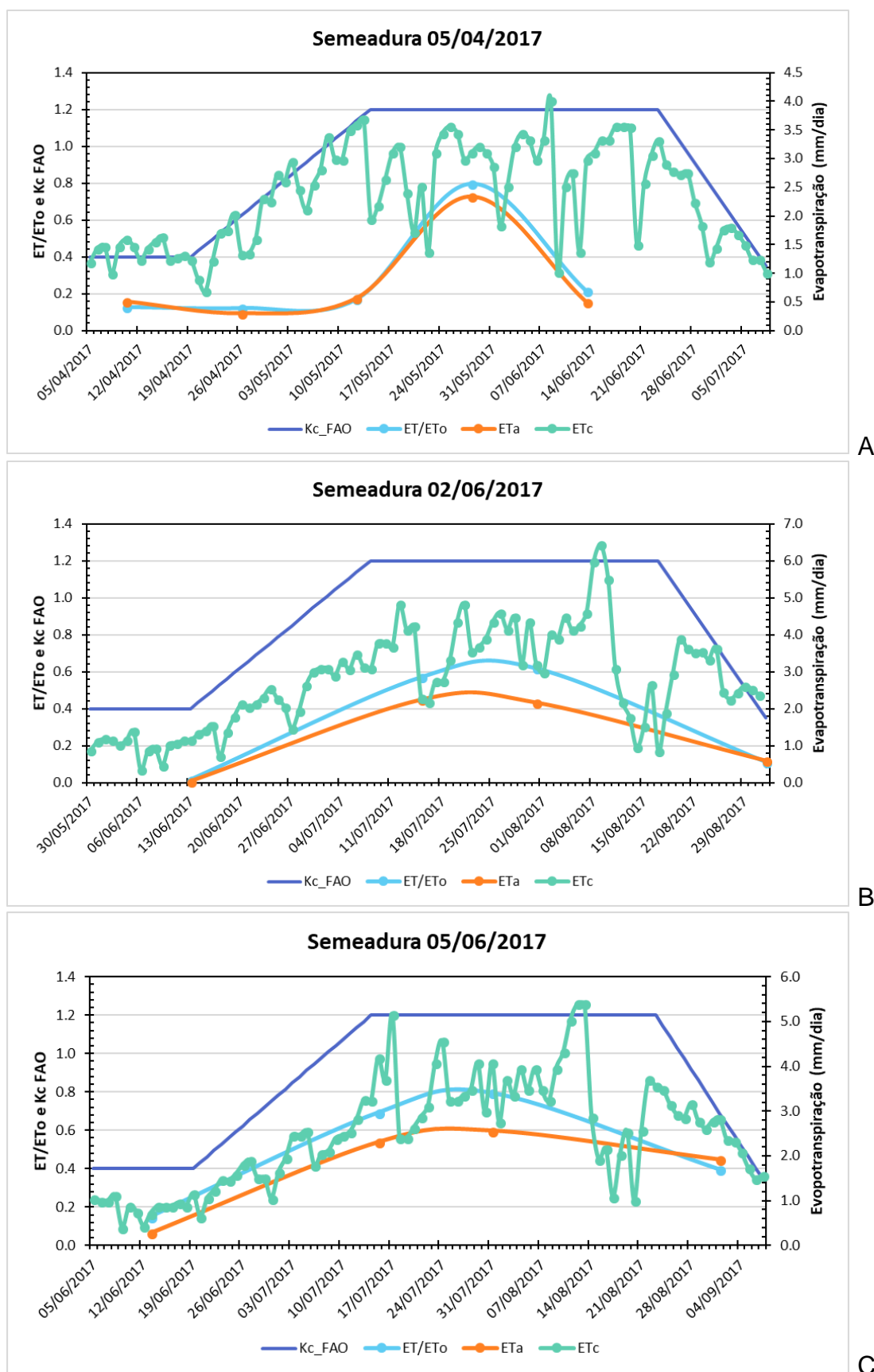
Averiguando os dados da Tabela 7 e da Figura 21A e 21B de coeficiente de cultivo (Kc) para as distintas épocas de semeadura, nota-se que os valores obtidos através do SAFER são inferiores ao padronizado pela FAO.

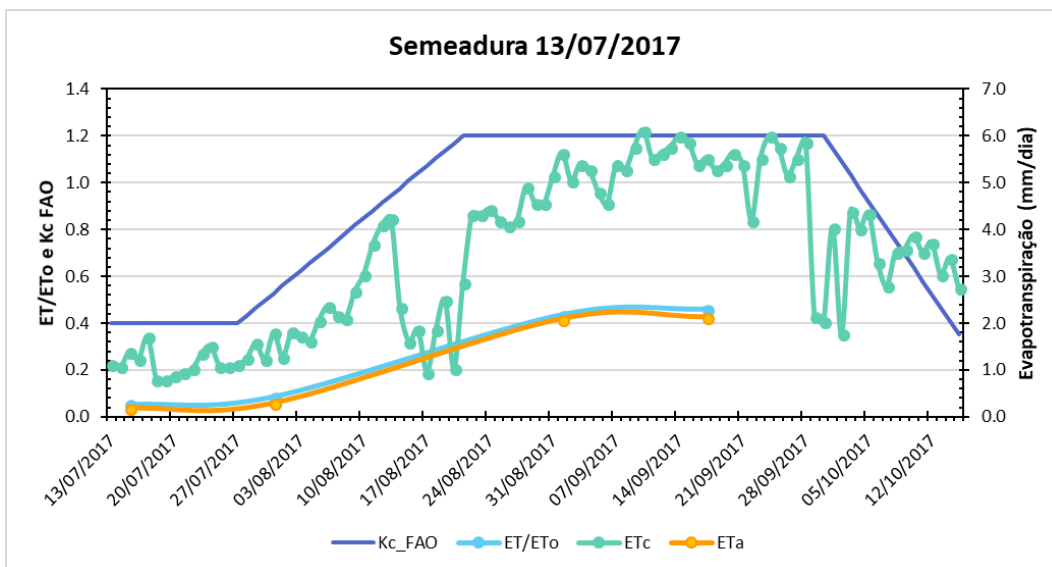
O SAFER é baseado na equação de Penman-Monteith para obter a evapotranspiração em larga escala. Utiliza a forte correlação de alguns parâmetros calculados por sensoriamento remoto como albedo, NDVI e temperatura da superfície, com a evapotranspiração. Para o modelo tornar-se aplicável em outros ecossistemas, há a necessidade de se fazer ajustes nos coeficientes da equação que relaciona a fração da evapotranspiração atual à de referência, com parâmetros obtidos por sensoriamento remoto, visto que o modelo foi desenvolvido para a região semiárida brasileira (TEIXEIRA *et al.*, 2012b) e posteriormente calibrado apenas para o noroeste paulista (HERNANDEZ *et al.*, 2014) utilizando o satélite LandSat 5.

Segundo Teixeira *et al.* (2012a) o SAFER é um algoritmo que apresenta como vantagem o uso não obrigatório da banda termal e a possibilidade de aplicação com dados meteorológicos provenientes de diferentes tipos de estações agrometeorológicas, sendo uma característica importante por possibilitar a avaliação das tendências históricas dos componentes do balanço de energia, evapotranspiração e produtividade da água em larga escala ao longo dos anos, haja vista que sensores automáticos são avanços relativamente recentes na tecnologia instrumental (TEIXEIRA *et al.*, 2013b). No SEBAL, método bastante aceito, o Kc é calculado, enquanto que no SAFER, a relação ET/ETo (coeficiente de cultura atual) é modelada e não há a necessidade de se identificar os extremos representados pelos pixel frio e pixel quente, como no SEBAL (BASTIAANSSEN *et al.*, 1998).

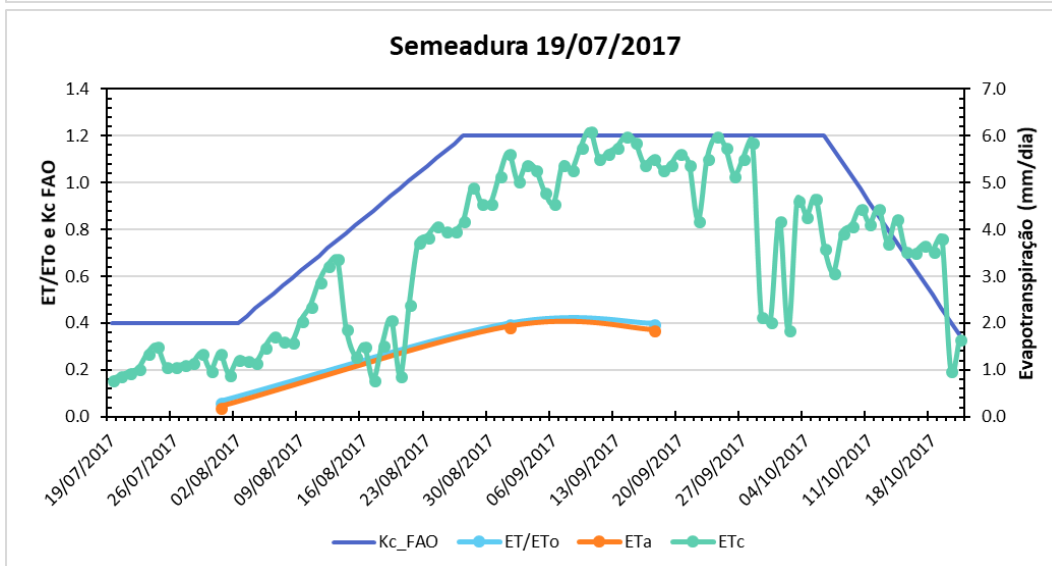
Porem a dependência de dados de imagens de satélites representa uma limitação relevante na aplicação de modelos de estimativa de evapotranspiração uma vez que somente imagens livres da presença de nuvens podem ser utilizadas. Outro fator a ser considerado é a escala temporal de aquisição dessas imagens, visto que para o Landsat 8 essa escala de obtenção de imagens é de 16 dias.

Figura 19 - Dados de ET_c calculados a partir da ET_o e K_c FAO, ET_a extraída do SAFER e ET/ET_o , para as sete épocas de semeadura comerciais nos municípios de Rubinéia e Pereira Barreto.

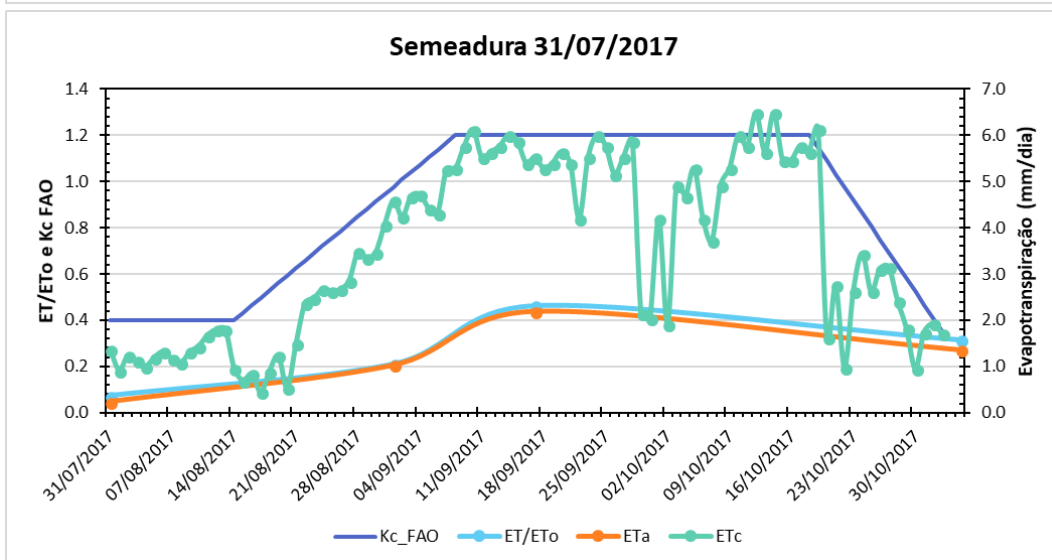




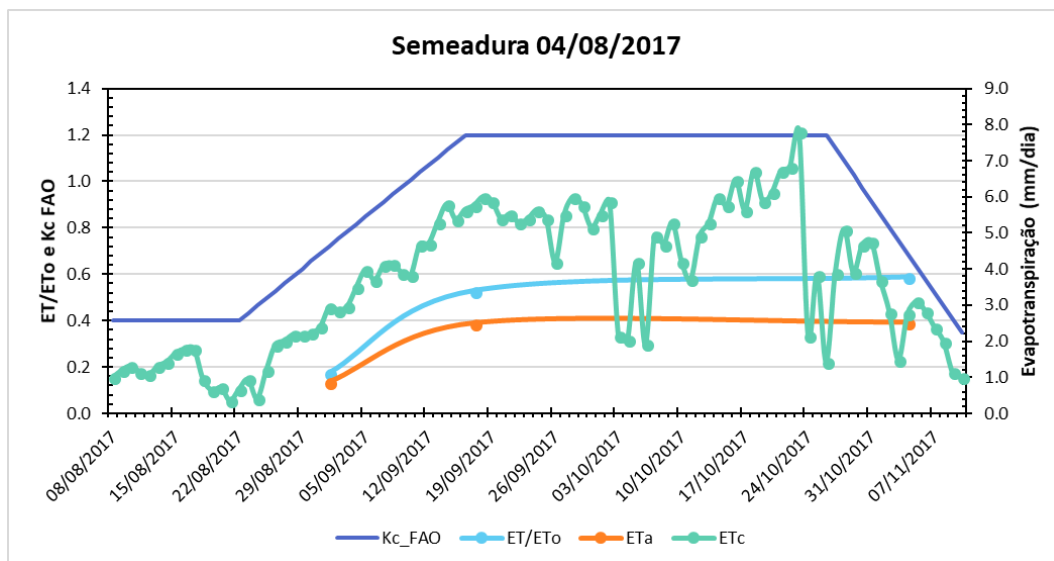
D



E



F



G

Fonte: Elaboração do próprio autor.

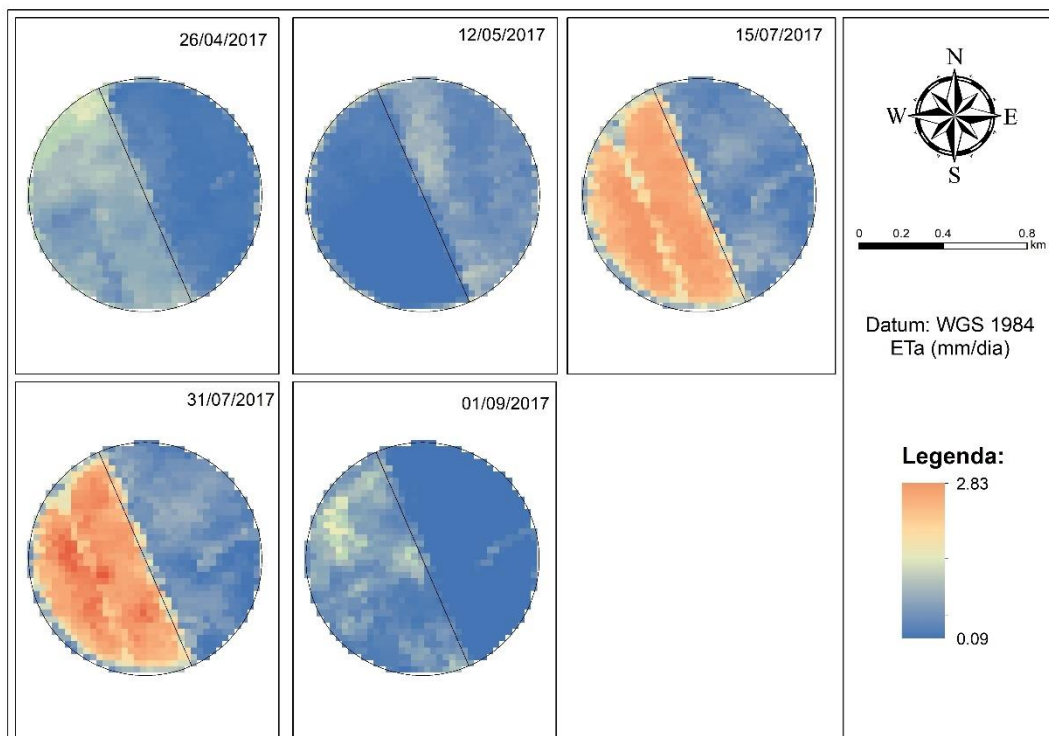
Na figura 19 A ao G pode-se observar a extração dos dados do SAFER para ET/ETo e ETa, para cada época de semeadura estudada, juntamente com os dados do preconizado Boletim 56 da FAO e os dados de ETc calculados com base nos dados de ETo utilizados por cada área comercial. Mostrando coerência no segmento das curvas geradas a partir da extração dos dados, porém com níveis inferiores.

Tabela 7 - Coeficiente de cultivo e Evapotranspiração do feijão, nos municípios de Rubinéia e Pereira Barreto em diferentes épocas de semeadura no ano de 2017.

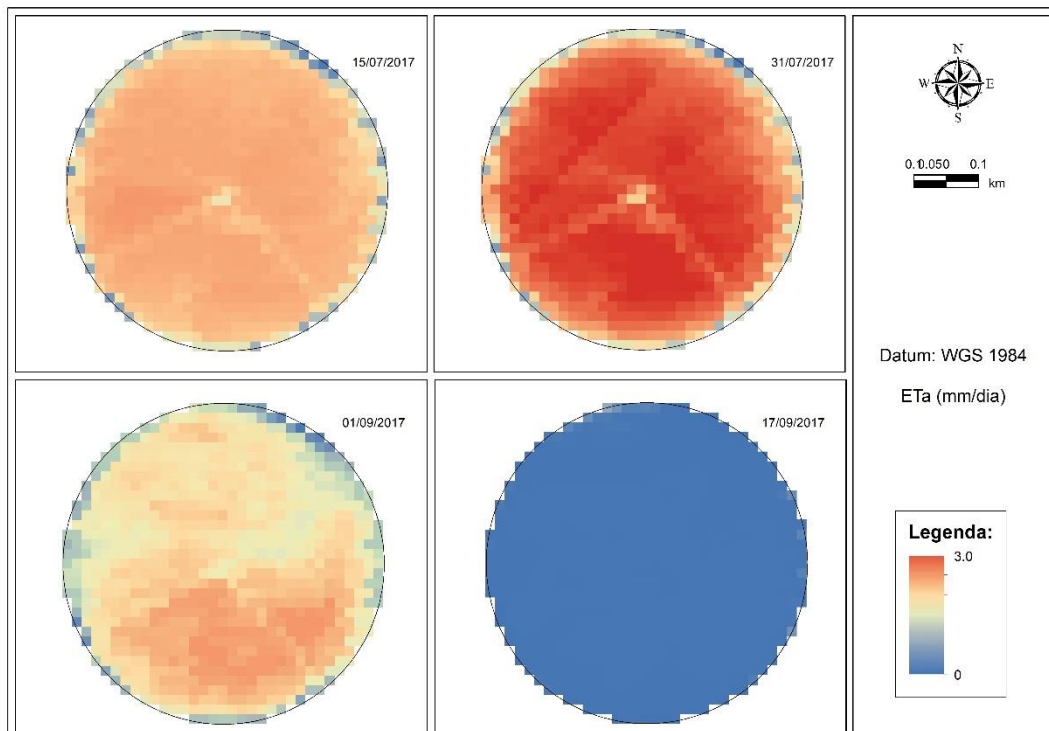
| 05/04/2017 | DAS | FAO | SAFER | (mm/dia) | | Diferença Kc | Diferença ETc/ETa | Irrigação dia anterior (mm) | Irrigação no dia (mm) |
|-------------------|------------|------------|---------------|-----------------|------------|---------------------|--------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| Semeadura | | Kc | ET/ETo | ETc | ETa | | | | |
| 26/04/2017 | 22 | 0,59 | 0,12 | 1,4 | 0,30 | 0,5 | 1,1 | 0,0 | 0,0 |
| 12/05/2017 | 38 | 1,14 | 0,17 | 3,7 | 0,56 | 1,0 | 3,2 | 0,0 | 0,0 |
| A | | | | | | | | | |
| 02/06/2017 | DAS | FAO | SAFER | (mm/dia) | | Diferença Kc | Diferença ETc/ETa | Irrigação dia anterior (mm) | Irrigação no dia (mm) |
| Semeadura | | Kc | ET/ETo | ETc | ETa | | | | |
| 15/07/2017 | 44 | 1,2 | 0,6 | 5,0 | 2,2 | 0,6 | 2,8 | 0,0 | 11,7 |
| 31/07/2017 | 60 | 1,2 | 0,6 | 4,7 | 2,2 | 0,6 | 2,5 | 7,0 | 8,2 |
| 01/09/2017 | 92 | 0,5 | 0,1 | 2,7 | 0,6 | 0,4 | 2,1 | 0,0 | 0,0 |
| B | | | | | | | | | |
| 05/06/2017 | DAS | FAO | SAFER | (mm/dia) | | Diferença Kc | Diferença ETc/ETa | Irrigação dia anterior (mm) | Irrigação no dia (mm) |
| Semeadura | | Kc | ET/ETo | ETc | ETa | | | | |
| 15/07/2017 | 41 | 1,2 | 0,7 | 4,2 | 2,3 | 0,5 | 1,9 | 8,0 | 0,0 |
| 31/07/2017 | 57 | 1,2 | 0,8 | 4,1 | 2,6 | 0,4 | 1,5 | 5,0 | 0,0 |
| 01/09/2017 | 89 | 0,6 | 0,4 | 2,8 | 1,9 | 0,2 | 0,9 | 0,0 | 0,0 |
| C | | | | | | | | | |
| 13/07/2017 | DAS | FAO | SAFER | (mm/dia) | | Diferença Kc | Diferença ETc/ETa | Irrigação dia anterior (mm) | Irrigação no dia (mm) |
| Semeadura | | Kc | ET/ETo | ETc | ETa | | | | |
| 15/07/2017 | 3 | 0,4 | 0,1 | 1,4 | 0,2 | 0,3 | 1,2 | 4,3 | 10,5 |
| 31/07/2017 | 19 | 0,5 | 0,1 | 1,8 | 0,3 | 0,4 | 1,5 | 0,0 | 11,0 |
| 01/09/2017 | 51 | 1,2 | 0,4 | 5,6 | 2,1 | 0,8 | 3,5 | 10,2 | 0,0 |
| 17/09/2017 | 67 | 1,2 | 0,5 | 5,5 | 2,1 | 0,7 | 3,4 | 0,0 | 14,1 |
| D | | | | | | | | | |
| 19/07/2017 | DAS | FAO | SAFER | (mm/dia) | | Diferença Kc | Diferença ETc/ETa | Irrigação dia anterior (mm) | Irrigação no dia (mm) |
| Semeadura | | Kc | ET/ETo | ETc | ETa | | | | |
| 31/07/2017 | 13 | 0,4 | 0,1 | 0,4 | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,0 | 7,0 |
| 01/09/2017 | 45 | 1,2 | 0,4 | 5,6 | 1,9 | 0,8 | 3,7 | 10,2 | 0,0 |
| 17/09/2017 | 61 | 1,2 | 0,4 | 5,5 | 1,9 | 0,8 | 3,7 | 0,0 | 14,1 |
| E | | | | | | | | | |
| 31/07/2017 | DAS | FAO | SAFER | (mm/dia) | | Diferença Kc | Diferença ETc/ETa | Irrigação dia anterior (mm) | Irrigação no dia (mm) |
| Semeadura | | Kc | ET/ETo | ETc | ETa | | | | |
| 31/07/2017 | 1 | 0,4 | 0,1 | 1,4 | 0,2 | 0,3 | 1,1 | 0,0 | 6,0 |
| 01/09/2017 | 33 | 1,0 | 0,2 | 4,6 | 1,0 | 0,8 | 3,6 | 5,3 | 4,2 |
| 17/09/2017 | 51 | 1,2 | 0,5 | 5,4 | 2,2 | 0,7 | 3,2 | 8,0 | 6,0 |
| F | | | | | | | | | |
| 04/08/2017 | DAS | FAO | SAFER | (mm/dia) | | Diferença Kc | Diferença ETc/ETa | Irrigação dia anterior (mm) | Irrigação no dia (mm) |
| Semeadura | | Kc | ET/ETo | ETc | ETa | | | | |
| 01/09/2017 | 29 | 0,8 | 0,2 | 4,0 | 0,9 | 0,7 | 3,1 | 6,3 | 0,0 |
| 17/09/2017 | 45 | 1,2 | 0,5 | 5,5 | 2,5 | 0,7 | 3,0 | 6,4 | 6,4 |
| G | | | | | | | | | |

Fonte: Elaboração do próprio autor.

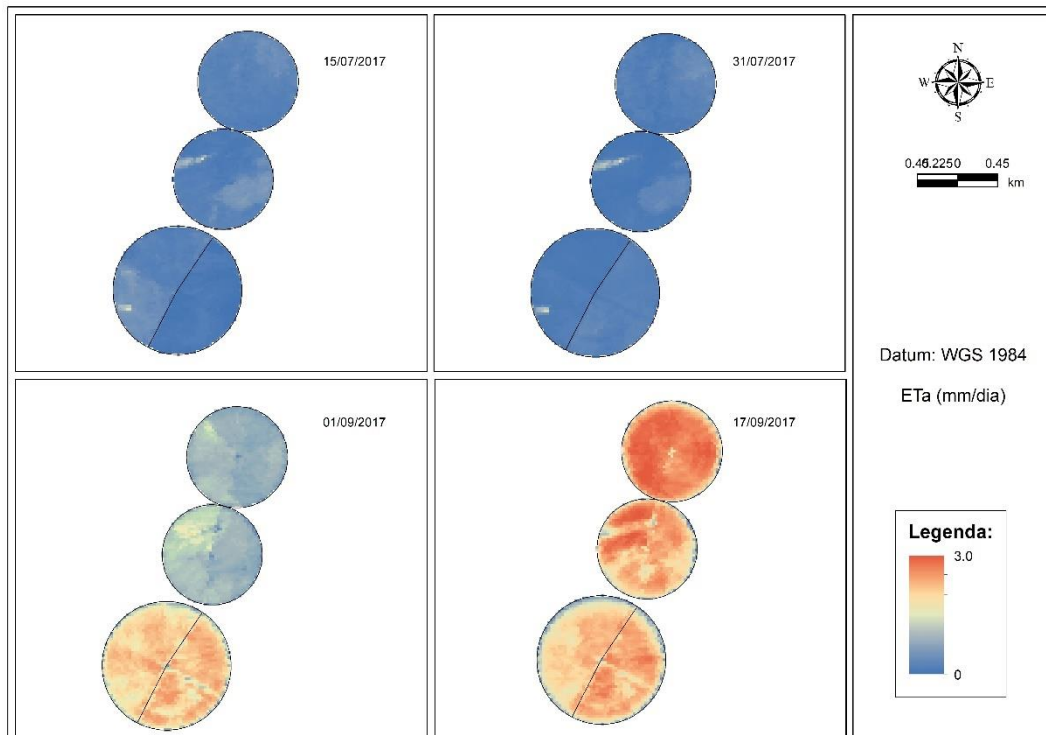
Figura 20 - Evapotranspiração atual das semeaduras na área comercial de Rubinéia A e em Pereira Barreto B e C, extraídos pelo algoritmo SAFER, com cinco imagens da passagem no satélite Landsat 8.



A



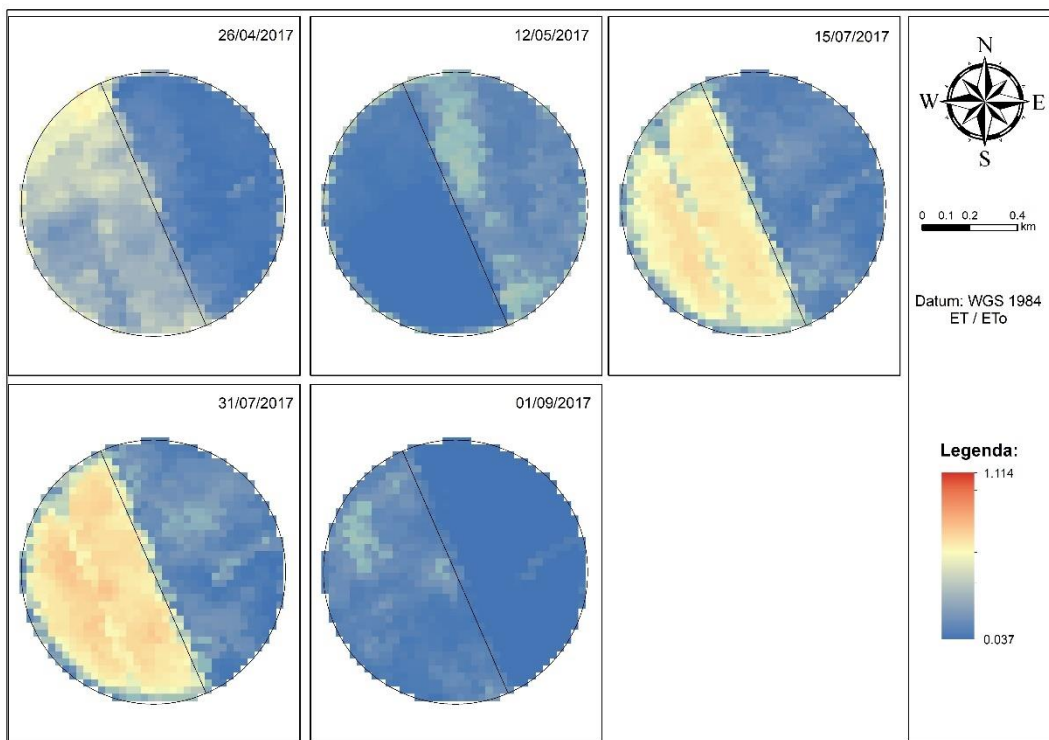
B



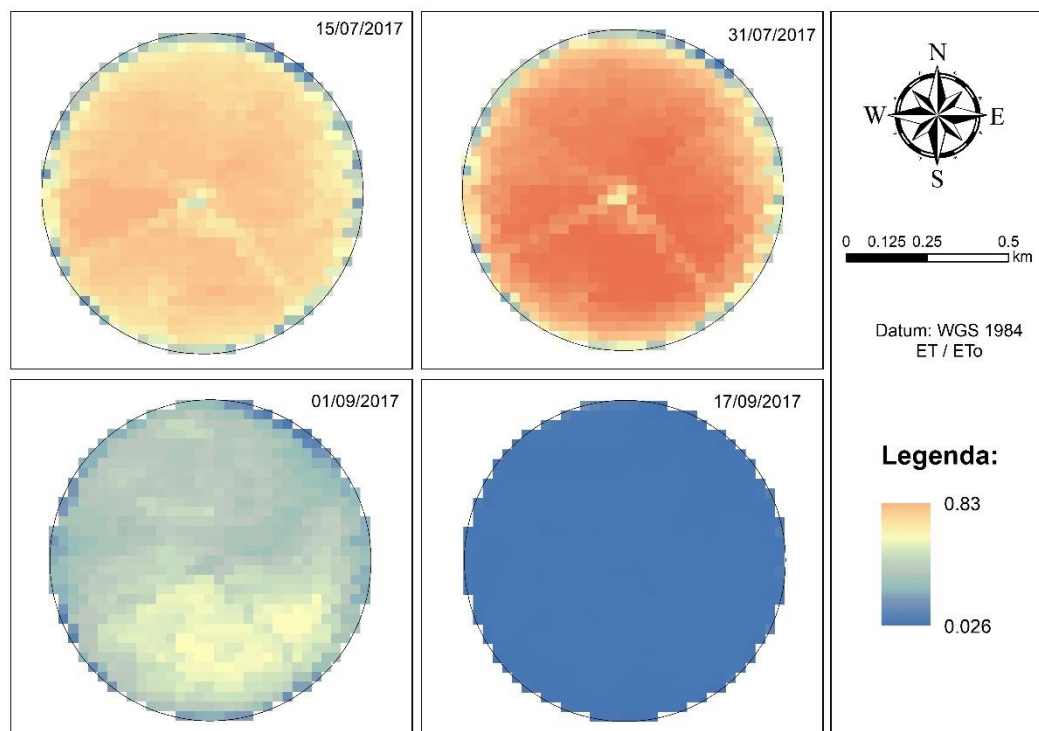
Fonte: Elaboração do próprio autor.

C

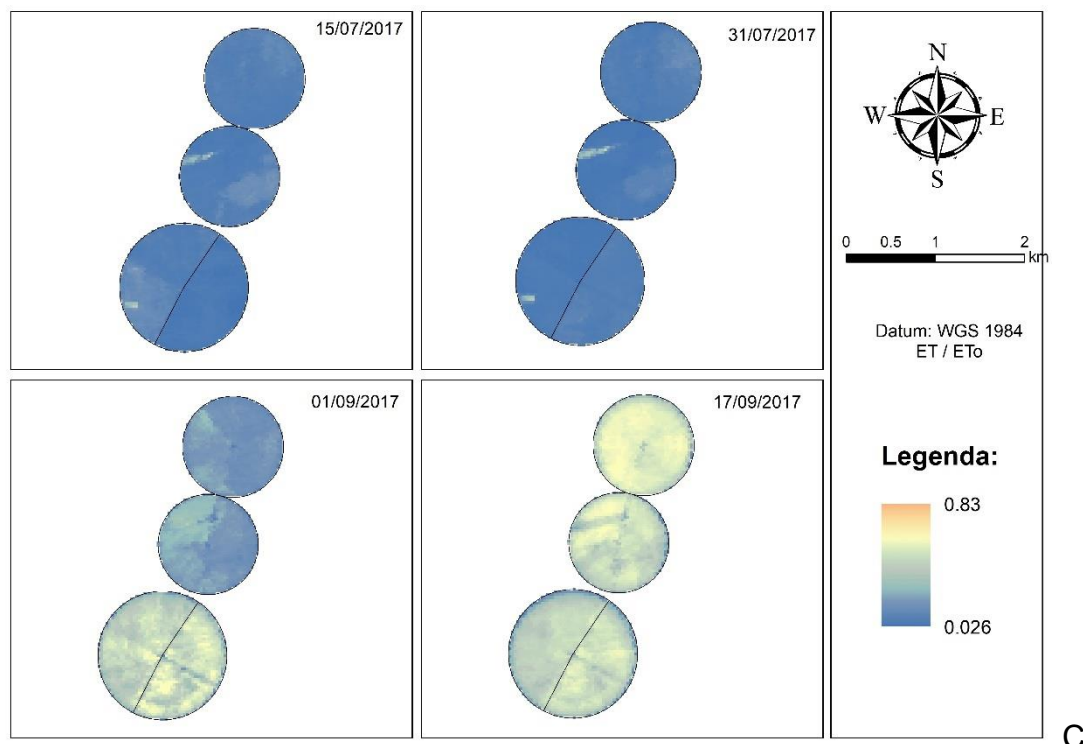
Figura 20 - ET/ETo das semeaduras na área comercial de Rubinéia A e em Pereira Barreto B e C, extraídos pelo algoritmo SAFER, com cinco imagens da passagem no satélite Landsat 8.



A



B



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Souza (2016) fez uso do algoritmo SAFER em feijão no Distrito Federal - Goiás e encontrou valores de K_c e taxas de ET_a bem próximas as padronizadas pela FAO, utilizando o satélite LandSat 8. Nesse estudo o autor utiliza o coeficiente de ajusta "a" sendo 1, como proposto por Hernandez *et al.* (2014). No estudo realizado o autor relata a utilização de uma série de imagens da passagem de satélite sem nuvens.

Segundo Irmak (2010), quantificação precisa de ET é crucial na alocação de água, gestão de irrigação, avaliando os efeitos da alteração de uso do solo no rendimento da água, avaliação ambiental e o desenvolvimento de melhores práticas de gestão para proteger a quantidade de águas superficiais e subterrâneas e de qualidade.

Em estudos realizados na mesma área comercial em Pereira Barreto por Hernandez *et al.* (2014) utilizando o SEBAL e TEIXEIRA atual SAFER, relatam que valores extraídos de ambos algoritmos de ET_a e K_c são consistentes ao preconizado da FAO, assim recomendando-se aplicar na região.

4.5 PRODUTIVIDADE DE ÁGUA

Os valores de produtividade da água (PA) foram calculados pela razão entre produtividade e lâmina total aplicada em cada época de semeadura. A partir da análise de regressão verificou-se as PAs em função dos diferentes manejos de irrigação, e simulações propostas, que se ajustaram a um modelo polinomial quadrático com um coeficiente de determinação (R^2) de 0,2408 para o manejo realizado pelos irrigantes e 0,7949 para a sugestão de manejo.

Os dados da Tabela 8 mostram a produção real obtida pelos irrigantes em cada época de semeadura utilizando seus próprios manejos de irrigação. Os pontos dissipados nas Figuras que demonstram a produtividade de água, são as respectivas produções demonstradas na Tabela 8.

Tabela 8 - Produção em quilogramas por hectare, obtidos em cada época de semeadura, com seus respectivos cultivares e duração do ciclo.

| Produção | | | | |
|------------------------|------------------|------------------|---------------------|--------------|
| | Semeadura | Variedade | Ciclo (dias) | kg/ha |
| Rubinéia | 05/04/2017 | BRS Estilo | 95 | 435,6 |
| | 02/06/2017 | BRS Estilo | 95 | 2625,5 |
| Pereira Barreto | 05/06/2017 | IPR C. Gerais | 95 | 2520,0 |
| | 13/07/2017 | BRS Estilo | 100 | 1509,2 |
| | 19/07/2017 | BRS Estilo | 100 | 1532,1 |
| | 31/07/2017 | IPR C. Gerais | 95 | 2076,0 |
| | 04/08/2017 | IPR C. Gerais | 95 | 2179,4 |
| | | | | |

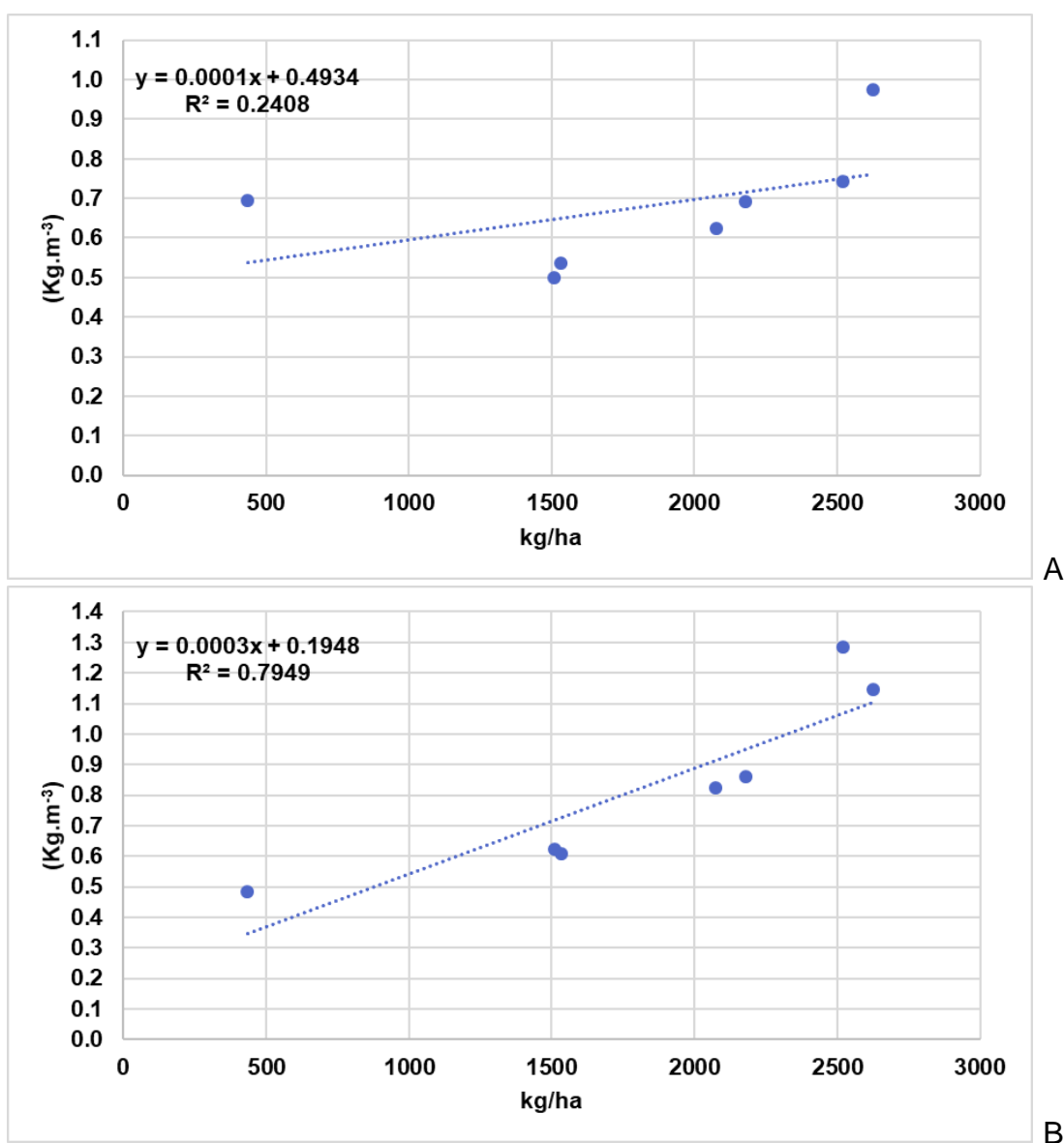
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Nas Figuras 7A e B (irrigação real e na simulação de irrigação), são apresentados os modelos polinomiais quadráticos que relacionam a produtividade grãos como os diferentes manejos de irrigação, sendo a irrigação real indicando um ajuste baixo e a simulação de irrigação um valor do coeficiente de determinação elevado ($R^2 = 0,2408$ e $0,7949$). Verifica-se que a produtividade da cultura do feijão foi influenciada pelos manejos de irrigação durante as épocas de semeadura.

É sabido que a produtividade da água é definida como a razão entre a produção de biomassa (kg) e a quantidade de água consumida pela cultura (m^3),

incluindo a precipitação e água aplicada pela irrigação, ou evapotranspiração total do período de cultivo (PEREIRA *et al.*, 2002). Na Figura 17A e B é considerado somente a água provinda da irrigação na realização dos cálculos de produtividade de água.

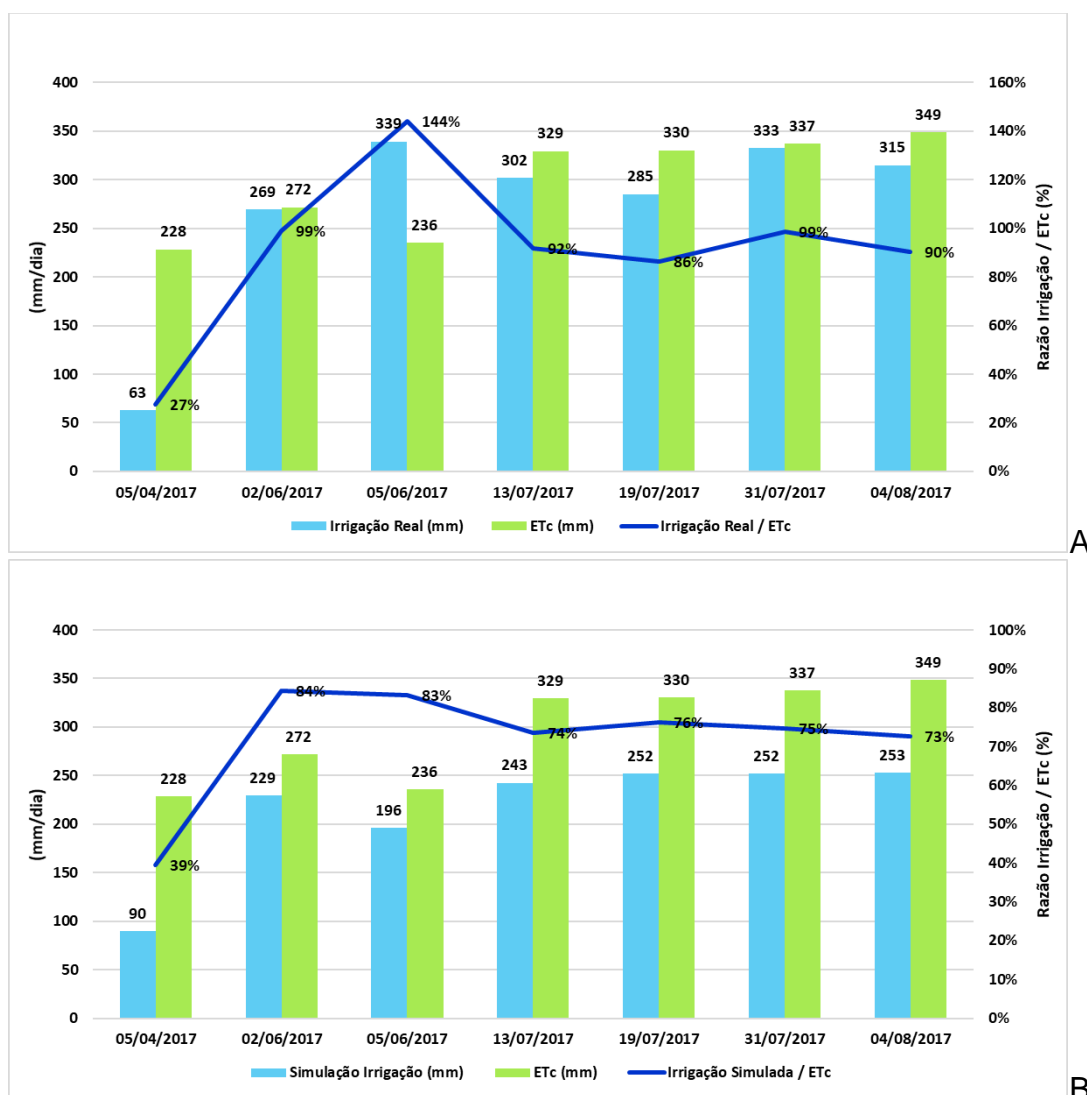
Figura 21 - Produtividade da água da cultura do feijão, utilizando os dados reais de manejo de irrigação e produção real obtidas em casa época de semeadura A e produtividade da água da cultura do feijão, utilizando os dados de manejo de irrigação sugeridos em simulação e produção real obtidas em casa época de semeadura.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

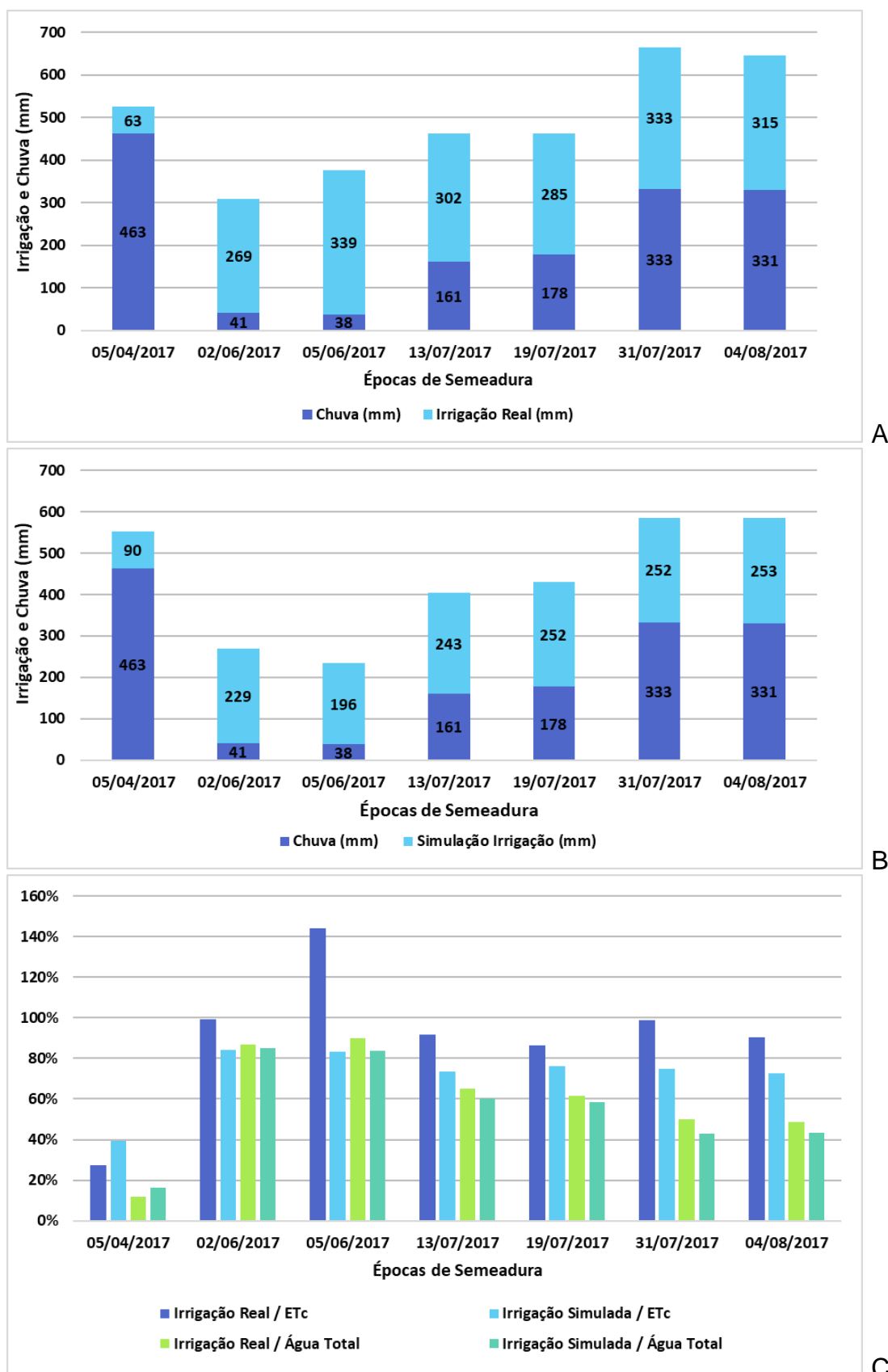
A diferença entre a quantidade de água disponível durante cada época de semeadura considerando a precipitação mais a irrigação realizada e a simulação sugerida pode ser observada na Tabela 6. O volume total de água disponível foi superior em quase todas as épocas de semeadura, com exceção o plantio comercial realizado em Rubinéia em 05/04, que abordado por um grande volume de chuvas, Figura 5, o que acarretou uma quebra brusca na produção. A diferença que quando realizado a sugestão na simulação do manejo da irrigação, houvesse o cuidado para que em nenhum momento do ciclo o armazenamento de água no solo alcance os índices crítico.

Figura 22 - Razão irrigação real e ETC e simulação de irrigação e ETC.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 23 - Irrigações reais realizadas e chuvas e as simulações de irrigações sugeridas, seguidas das razões entre irrigações//ETc e, irrigações/água total disponível.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Nas demais épocas de semeadura nota-se que a água disponível total durante o ciclo são superiores quando o manejo da irrigação é realizado pelos irrigantes. Nas simulações sugeridas a diferença em porcentagem varia de 8 a 61% em relação à irrigação real. Por isso que o conhecimento da produtividade da água ao longo do ciclo da cultura possibilita identificar qual é o estágio mais suscetível à deficiência hídrica ou em que período do ciclo ocorre o maior consumo de água, favorecendo o manejo adequado da irrigação, trazendo assim, maior retorno econômico através da produção (FAGAN *et al.*, 2009).

Tabela 9 - Comparação entre a quantidade de água total disponível durante as épocas de semeadura, analisando o manejo real de irrigação a simulação sugerida e a diferença em porcentagem entre ambas.

| Volume de água total (chuvas e irrigações) | | | | |
|---|--------|-----------|-----------|---------------|
| Safra | kg/ha | Irrigação | Simulação | diferença (%) |
| 05/04/2017 | 435,6 | 525,8 | 553,0 | -5% |
| 02/06/2017 | 2625,5 | 309,9 | 269,8 | 15% |
| 05/06/2017 | 2520,0 | 377,3 | 234,2 | 61% |
| 13/07/2017 | 1509,2 | 463,2 | 403,5 | 15% |
| 19/07/2017 | 1532,1 | 463,2 | 429,7 | 8% |
| 31/07/2017 | 2076,0 | 593,9 | 513,0 | 16% |
| 04/08/2017 | 2179,4 | 646,0 | 584,0 | 11% |

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Desta forma, a produtividade da água é um ótimo indicador para a análise e tomada de decisão, pois permite avaliar a variação da razão entre a produção e a quantidade de água utilizada, sugerindo valores que maximizem sua utilização (MASCHIO, 2011).

Queiroz *et al.* (2005) relatam que a PA é um parâmetro importante na seleção de métodos de aplicação e manejo da água de irrigação, pois indica qual a combinação entre estes fatores que leva à maior produção com o menor consumo.

A PA quando analisada em porcentagem, conforme a Tabela 9, confrontando o percentual que a irrigação corresponde do total de água disponível durante toda a época de semeadura, as simulações propostas obtiveram uma

porcentagem inferior em quase todas as semeaduras, com exceção da semeadura 05/04 que foi uma semeadura que obteve um volume de chuvas muito alto, conforme Figura 5.

As simulações diminuíram utilização de água proveniente da irrigação de 2 a 7 %, variando a época de semeadura. Segundo Melo *et al.* (2010), a PA aumenta quando ocorre uma redução da lâmina aplicada sem diminuição da produção. Para estudos realizados por Lima *et al.* (2010), com apenas 1% do aumento da PA na Região Nordeste, estima-se que haveria uma economia de 165 mil litros de água por hectare irrigado por ano.

Tabela 10 - Porcentagem de água provinda da irrigação em relação a quantidade de água total disponível durante a safra.

| Porcentagem que a irrigação representa da água total disponível durante as safras | | | |
|--|--------------|------------------|------------------|
| Safra | kg/ha | Irrigação | Simulação |
| 05/04/2017 | 435,6 | 14% | 19% |
| 02/06/2017 | 2625,5 | 87% | 85% |
| 05/06/2017 | 2520,0 | 90% | 84% |
| 13/07/2017 | 1509,2 | 65% | 60% |
| 19/07/2017 | 1532,1 | 62% | 59% |
| 31/07/2017 | 2076,0 | 56% | 49% |
| 04/08/2017 | 2179,4 | 49% | 43% |

Fonte: Elaboração do próprio autor.

5 CONCLUSÃO

Para as semeaduras de feijão de outono/inverno em Rubinéia, o irrigante possui a opção de utilizar dados das Estações Ilha Solteira e Marinópolis, fato que as ETo são semelhantes.

Para semeaduras na região sul do município de Pereira Barreto, as margens do Rio Tietê, na ausência dos dados locais de ETo, recomenda-se o uso das ZH 2 ao invés das opções Ilha Solteira e Marinópolis.

O manejo das irrigações utilizadas pelo irrigante superestimaram o armazenamento de água no solo, assim sendo necessário a realização de um manejo mais minucioso do controle de água disponível no solo.

A relação ET/ET_0 apresentou comportamento da curva similar aos citados na literatura, contudo os valores encontrados foram menores do recomendado para o feijoeiro, sendo assim, deve-se continuar com estudos que calibrem o algoritmo SAFER para obtenção de melhores resultados para a região Noroeste Paulista.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS- ANA. **Divulga relatório de conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**: informe 2012. Brasília: ANA, 2012. 215 p. Disponível em: <http://www3.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>. Acesso em: 22 nov 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA- ANA. **Divulga relatório de conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**: Informe 2014. Brasília: ANA, 2015. Disponível em: http://www2.ana.gov.br/Paginas/imprensa/noticia.aspx?id_noticia=12683. Acesso em: 28 nov 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA- ANA **Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil - 2014**: relatório síntese. Brasília: ANA, 2016. 33.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA - ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**. Brasília: ANA, 2015. Disponível em: <http://www.ana.gov.br>. Acesso em: 10 jul. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS- ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**: informe 2013. Brasília: ANA, 2014. 432 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS- ANA. **Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil**: 2014. Brasília: ANA, 2016. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/metadados/>. Acesso em: 10 jul. 2017

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Atlas irrigação**: uso da água na agricultura irrigada. Brasília: ANA, 2017. 86 p.

AGUIAR JUNIOR, A. S.; SILVA, C. R; COELHO, E. F. **Princípios agronômicos da irrigação**: monitoramento do teor de água no solo. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013. p. 31-63.

AGUIAR NETTO, A O.; BASTOS, E. A. **Princípios agronômicos da irrigação**. 2. ed. Brasília-DF: Embrapa, 2013. p. 262.

ALBERTI, M.; WEEKS, R.; COE, S. Urban land-cover change analysis in central puget sound. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Seattle, v. 70, n. 9, p.1043-1052, 2004.

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

ALLEN, R. G.; ANDERSON, M.; BOLTEN, J.; CESTTI, R.; DUNSMOOR, L.; ERICKSON, T.; FISHER, J.; HAIN, C.; HARSHADEEP, N.; HOBBS, M.; HUNTINGTON, J.; HOOK, S.; KILIC, A.; KUSTAS, W.; LEE, C.; MENDEZ-COSTABEL, M.; MELTON, F.; MORSE, T.; TRACY, J.; VERDIN, J.; WILLARDSON, T.; WOLFF, S.; WOODWARD, D. Evapotranspiration mapping for water security: recommendations and requirements. In: WORKSHOP ON EVAPOTRANSPIRATION

- MAPPING FOR WATER SECURITY, 2015, Washington. **Anais...** Washington: [s.n.], 2015. p.1-12. Disponível em: <https://surveygizmoreponseuploads.s3.amazonaws.com/fileuploads/15647/2289356/36-4e32f7da6d33bb4e962dc0d8d0a03113>. Acesso em: 23 out 2016.
- ANDRADE, M. J. B. Clima e solo. In: VIERA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão: aspectos gerais e cultura no estado de Minas**. Viçosa: UFV, 1998. cap.4, p. 83-98.
- ANGELOCCI, L. R.; MARIN, F. R.; OLIVEIRA, R. F.; RIGHI, E. Z. Transpiration, leaf diffusive conductance, and atmospheric water demand relationship in an irrigated acid lime orchard. **Braz. J. Plant Physiol**, São Paulo v. 16, n. 1, p. 53-64, 2004.
- AMENDOLA, E.C. **Evolução da agricultura irrigada por pivô central no noroeste paulista**. 2016. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia)- Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"- UNESP, Ilha Solteira, 2016.
- ARIZA, A. **Descripción y corrección de productos landsat 8**. Bogota: IGAC, 2013., v. 1, 46 p. Landsat Data Continuity Mission- LDCM
- AMERICAN SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING - ASPRS. **Manual of photogrammetry**. Bethesda: ASP&RS, 1966. 21 p.
- ASSAD, E. D.; PINTO, H. S. (Coord.). **Aquecimento global e cenários futuros da agricultura brasileira**. São Paulo: EMBRAPA, 2008. 84 p.
- AZEVEDO, A. C.; DALMOLIN, R. S. D. **Solos e ambiente: uma introdução**. Santa Maria: Palloti, 2004. 100 p.
- BARBOSA, F. R.; GONZAGA, A. C. O. (Ed.). **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro comum na Região Central-Brasileira: 2012-2014**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa/Arroz e Feijão, 2012. 247 p. (Documentos/Embrapa Arroz e Feijão).
- BARRACLOUGH, C. O. **Audit of water & irrigation use efficiencies on farms within the Queensland horticultural industry**. Queensland: [s.n.], 1999. 174 p.
- 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**, Perth, v. 212, n. 213, p. 198-212, 1998.
- BÄNZIGER, M.; EDMEADES, G. O.; BECK, D.; BELLON, M. **Breeding for drought and nitrogen stress tolerance in maize: from theory to practice**. México: CIMMYT, 2000. 68 p.
- BINOTE, F. F. S. Descrição e fisiologia da planta. In: ARF, O.; LEMOS, L. B.; SORATTO, R. P.; FERRARI, S. (Ed.). **Aspectos gerais da cultura do feijão**. Botucatu: FEPAF, 2015. p. 29-38.

BRASIL. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **A irrigação no Brasil: situações e diretrizes**. Brasília: IICA, 2015. 132 p.

BONOMO, D. Z.; BONOMO, R.; PARTELLI, F. L.; SOUZA, M. S.; MAGIERO, M. Desenvolvimento vegetativo do cafeeiro Conilon submetido a diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 7, n. 2, p. 157-169, 2013.

CAI, J.; LIU, Y.; LEI, T.; PEREIRA, L. S., Estimating reference evapotranspiration with the FAO Penman-Monteith equation using daily weather forecast messages. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 145, n. 2, p. 22-35, 2007.

CARVALHO L. G.; RIOS G. F. A.; MIRANDA W. L.; CASTRO. NETO P. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, São Paulo v. 41, n. 3, p. 456- 465, 2011.

CLARKER, K. C. **Getting started with geographic information systems**. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 2001. 353 p.

COÊLHO, M. R. V. **Alterações fisiológicas e metabólicas em *Hyptis fruticosa salzm. ex. benth* e *Ocimum gratissimum* L. sob diferentes regimes hídricos**. 2014. 87 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais)- Faculdade Federal de Feira de Santana, Feira de Santana, 2014.

COLWELL, R. N. History and place of photographic interpretation. In: PHILLIPSON, W. R. (Ed.). **Manual of photographic interpretation**. 2nd. ed. Betchesda: ASP&RS, 1997. p. 33-48.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos**. Brasília: CONAB, 2013. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 10 jan. 2018.

COSTA, J. G. C. Conhecendo a planta do feijoeiro comum. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (Ed.). **Fundamentos para uma agricultura sustentável, com ênfase na cultura do feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e feijão, 2009. cap. 2, p. 37-43.

CÂMARA SETORIAL DE EQUIPAMENTOS DE IRRIGAÇÃO- CSEI. ABIMAQ. **Atualização da área irrigada no 37 Brasil, 2016**. Brasília-DF: ANA, 2016. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/AtlasIrrigacao-UsodaAguanaAgricaturalIrrigada.pdf>. Acesso em: 27 abr 2017.

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

DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campinan Grande: Editora da UFPB, 1994. 306 p. (Irrigação e Drenagem, 33).

- DOOREMBOS, J.; PRUITT, J. O. **Crop water requirement**. Rome: FAO, 1977. 179 p. (Irrigation and Drainage Paper, 24).
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1994. 360 p.
- DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A. L. **Produção de feijão**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 385 p.
- DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S. **Soil water retention curve SWRC**: programa para confecção da curva de retenção de água no solo. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2001. 1CD-ROM. Version 3.00 beta.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA. **Água na agricultura**. Brasília-DF: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agua-na-agricultura>. Acesso em: 18 set 2017.
- ESTER, J. E.; JENSEN, J. R. Development of remote sensing digital image processing systems and raster GIS. In: FORESMON, T. (Ed.). **History of geographic information systems**. New York: Longman, 1998. p.163-180.
- EVETT, S. **Neutrons moisture meters. Field estimation of water content: a practical guide de methods, instrumentation and sensor technology**. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2008. p. 39-54.
- FAGAN, E. B.; PETTER, S. L.; SIMON, J.; BORCIONI, E.; LUZ, J. L.; MANFRON, P. A.; Eficiência do uso de água do meloeiro hidropônico. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 25, n. 2, p. 37-45, mar.apr. 2009
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS- FAO. Irrigation water management. **Choosing an Irrigation method**. Roma: FAO, 2016. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/S8684E/s8684e08.htm>. Acesso em: 2 set 2017.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS- FAO. **Opportunities for economic growth and job creation in relation to food Security and nutrition, report to the G20 development working group**. Roma: FAO, 2012. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-bt682e.pdf>. Acesso em: 17 jun 2017.
- FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Ecofisiologia: implicações práticas de manejo. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. (Ed). **Sistemas de produção de feijão irrigado**. Piracicaba: Departamento de Produção Vegetal/ESALQ/USP, 2001. p.196-211.
- FEITOSA, D. G.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M., SANTOS, G. O. Caracterização dos sistemas de irrigação no córrego do Coqueiro no noroeste paulista. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2011,

Curitiba. **Anais...** Curitiba: Estação Convention Center, 2011. p.161-169. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0866.pdf>. Acesso em: 11 dez 2016.

FIGUERÊDO, S. F.; POZZEBON, E. J.; FRIZZONE, J. A.; AZEVEDO, J.; GUERRA, A. F.; SILVA, E. Gerenciamento da irrigação do feijoeiro baseado em critérios técnicos e econômicos no cerrado. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 3, p. 378-391, 2008.

FIGUEIREDO, M. G.; FRIZZONE, J. A.; PETELLI, M. M.; REZENDE, R. Lâmina ótima de irrigação do feijoeiro, com restrição de água, em função do nível de aversão ao risco do produtor. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 1, p. 81-87, 2008.

FRANÇA, F. M. C. **Políticas e estratégias para um novo modelo de irrigação**. Fortaleza: Banco do Nordeste, 2001. 127 p. (Documento Síntese).

FRIZZONE, J.A. **Análise de decisão de investimento em irrigação**. Piracicaba: ESALQ, 2002. 394 p.

FRIZZONE, J.A. Planejamento da irrigação com o uso de técnicas de otimização. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 1, n. 1, p. 24-49, 2007.

FRIEDL, M. A.; MCIVER, D.; HODGES, J. C. F.; ZHANG, X. Y.; MUCHONEY, D.; STRAHLER, A. H.; WOODCOCK, C. E.; GOPAL, S.; SCHNEIDER, A.; COOPER, A.; BACCINI, A.; GAO, F.; SCHAAF, C. Global land cover mapping from MODIS: algorithms and early results. **Remote Sensing of Environment**, Peath, v. 83, n. 83, p. 287-302, 2002.

FREITAS JÚNIOR, E.; SILVA, E. M. Uso da centrífuga para determinação da curva de retenção de água no solo em uma única operação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 11, p.1423-1428, 1984.

FORSYTHE, W. M.; LEGARDA, B. L. Soil water and aeration and res bean production: I - mean maximum soil moisture suction. **Turrialba**, San Jose, v. 28, n. 3, p. 81-86, 1978.

FUSSELL, J.; RUNDQUIST, D.; HARRINGTON, J. A. On defining remote sensing. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Falls Church, v. 52, n. 9, p.1507-1511, 1986.

GONDIM, R. S. TEIXEIRA, A. S.; BARBOSA, F. C. Novo paradigma para a água e coeficientes de cultivos aplicados a gestão de recursos hídricos em nível de bacia hidrográfica. **Revista ITEM - Irrigação e Tecnologia Moderna**, Leme, v.16, n. 67, p.14-18, 2005.

HATFIELD, J. J.; AUER, T. J.; PRUEGER, J. H. Managing soils to achieve greater water use efficiency: a review. **Agronomy Journoul**, Wisconsin, v. 93, n. 37, p. 271-280, 2001.

HERNANDEZ, F. B. T. **Determinação do consumo de água na cultura do trigo na região de Jaboticabal-SP**. 1991. 77 f. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Ciência Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 1991.

HERNANDEZ, F. B. T.; BEDUM, J. A. D. ; SUZUKI, M. A.;BUZETTI, S. Efeito de lâminas de irrigação sobre a produtividade do meloeiro na região de Ilha Solteira - SP. **Cultura Agrônômica**, Ilha Solteira, v. 4, p. 1-10, 1995.

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. Large scale actual evapotranspiration using agro-meteorological and remote sensing data in the northwest of Sao Paulo State, Brazil. **Soc Horticultural Science**, Lisboa, v. 1038, n. 3, p. 263-270, 2014.

HOWELL, T. A. Relationships between crop production and transpiration, evapotranspiration, and irrigation. In: STEWART, B. A.; NIELSEN, D. R. (Ed.). **Irrigation of agricultural crops**. Madison: American Society of Agronomy, 1990. p. 391-434.

GAVILAN, P.; BERENGENA, J.; ALLEN, R. G. Measuring versus estimating net radiation and soil heat flux: impact on Penman-Monteith reference ET estimates in semiarid regions. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 89, n. 3, p. 275-286, 2007.

GEOCACHING. **Descrição da geocaching**. Canadá: DBA, 2013. Disponível em: https://www.geocaching.com/geocache/gc490ja_winds. Acesso em: 5 mar. 2018.

GONZAGA NETO, L. Produtividade e competitividade dependem do aumento de hectares irrigados. **Revista dos Agrônomos**, São Paulo, v. 3, n. 1, p. 14-20, 2000.

GONZÁLES, A. P.; ALVES, M. A. Armazenamento de água e densidade do solo sob três condições de superfície, em um Cambissol gleico de Lugo, Espanha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 1, p. 45-50, 2005.

GUIMARÃES, C. M. Relações hídricas. In: ARAÚJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. O. (Coord.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafos, 1996. cap. 2, p. 139-167.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ- IAPAR. **Principais características das cultivares de feijão com sementes disponíveis no mercado**. Londrina: IAPAR, 2018. Disponível em: <http://www.iapar.br/pagina-1363.html>. Acesso em: 27 maio 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE. **Censo Agropecuário de 2006**. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/51/agro_2006.pdf. Acesso em: 11 jan. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE. **Produção agrícola municipal**: culturas temporárias e permanentes. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. v. 42, p. 1-59. Disponível em: http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/66/pam_2015_v42_br.pdf. Acesso em: 15 dez 2016.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA- IEA. **Banco de dados**: preços médios mensais recebidos pelos agricultores e valor de produção agropecuária. São Paulo: IEA, 2013. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/out/bancodedados.html>. Acesso em: 10 jan. 2013.

IRMAK, S. **Evapotranspiração**. Nebraska: Lincoln, 2010. v. 1, p. 1-5.

INFORZATO, T.; MIYASAKA, S. Sistema radicular do feijoeiro em dois tipos de solo do Estado de São Paulo. **Bragantina**, Campinas, v. 22, n. 38, p. 477-481, 1963.

QUINTELA, E. D. **Manejo integrado de pragas do feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2001. p. 1-28. (Circular Técnica, 46).

JENSEN, J. R. **Introductory digital image processing**: a remote sensing perspective. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 2005. 525 p.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 598 p.

JENSEN, J. R.; BOTCHWAY, K.; BRENNAM-GALVIN, E.; JOHANNSEN, C. J.; JUMA, C.; MABOGUNJE, A.; MILLER, R.; PRICE, K.; REINING, P.; SKOLE, D.; STANCIOFF, A.; TAYLOR, D. R. F. **Down to earth**: geografic information for sustainable development in Africa. Washington: National Academy, 2002. 155 p.

LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, R. S. A; CRISTOFIDIS, D. O uso da Irrigação no Brasil. In: FREITAS, M.A.V. **O Estado das Águas no Brasil**. Brasília-DF: MME, MMA/SRH, OMM, 1999. p. 73-101.

LIMA, S. C. R. V.; SOUZA, F.; FRIZZONE, J. A.; CAMARGO, D. C.; BELTRÃO JÚNIOR, J. A.; NASCIMENTO, A. K. S. Desempenho do sistema de assessoramento ao irrigante - S@I para a gestão da água em áreas irrigadas: benefícios aos irrigantes e ao distrito. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 9, n. 1, p. 1-13, 2015.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação**: princípios e métodos. 3. ed. Viçosa: UFV, 2009. 355 p.

MARIN, F. R., ANGELOCCI, L. R., RIGHI, E. Z., SENTELHAS, P. C. Evapotranspiration and irrigation requirements of a coffee plantation in Southern Brazil. **Exp. Agric.** Campinas, v. 41, n. 2, p. 187-197, 2005.

MARIN, F. R.; ANGELOCCI, L. R.; NASSIF, D. S. P.; COSTA, L. G.; VIANNA, M. S.; CARVALHO, K. S. Crop coefficient changes with reference evapotranspiration for highly canopy-atmosphere coupled crops. **Agricultural Water Management**, Netherlands, v. 163, n. 1, p. 139-145, 2016.

MARQUES, P. A. A.; MARQUES, T. A.; FRIZZONE, J. A. Viabilidade econômica sob condições de risco para a irrigação da cana-de-açúcar na região de Piracicaba- SP. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 2, p. 55-65, 2006.

MASCHIO, R. **Produtividade da água em biomassa e energia para 24 variedades de cana-de-açúcar**. 2011. 87 f. Tese (Mestrado em Irrigação e Drenagem)- Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"- ESALQ, Universidade de São Paulo- USP, Piracicaba, 2011.

MEDEIROS, G. A.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E. Relações entre o coeficiente de cultura e cobertura vegetal do feijoeiro: erros envolvidos e análises para diferentes intervalos de tempo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 26, n. 4, p. 513-519, 2004.

MEDEIROS, R. M.; AZEVEDO, P. V.; SABOYA, L. M. F. Classificação climática e zoneamento agroclimático para o município de Amarante -PI. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 7, n. 2, p. 170 - 180. 2013.

MENDONÇA, E.A. **Estimativa da evapotranspiração de referência no Município de Capim - PB**. 2008 114 f. Dissertação (Mestrado)- Faculdade Federal da Paraíba Campina Grande,2008.

MELO, L. C.; PELOSO, M. J. D.; PEREIRA, H. S.; FARIA, L. C.; COSTA, J. G. C.; DÍAZ, J. L. C.; WENDLAND, A.; CARVALHO, H. W. L.; COSTA, A. F.; ALMEIDA, V. M.; MELO, C. L. P.; VIEIRA JÚNIOR, J. R.; POSSE, S. C. P.; FARIA, J. C.; SOARES, J.; CARGNIN, A.; ABREU, Â. F. B.; MOREIRA, J. A. A.; PEREIRA FILHO, I. A.; MARANGON, M.; GUIMARÃES, C. M.; BASSINELLO, P. Z.; BRONDANI, R. P. V.; BRAZ, A. J. B. P.; MAGALDI, M. C. S. **BRS estilo**: cultivar de grão tipo comercial carioca, com arquitetura de planta ereta associada com alto potencial produtivo. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2009. 4 p. (Comunicado Técnico, 186).

MELO, A. S.; SUASSUNA, J. F.; FERNANDES, P. D.; BRITO, M. E. B.; SUASSUNA, A. F.; AGUIAR NETTO, A. O. Crescimento vegetativo, resistência estomática, eficiência fotossintética e rendimento do fruto da melancia em diferentes níveis de água. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 32, n.1, p. 73-79, 2010.

MIRANDA, J. H.; GONÇALVES, A. C.; CARVALHO, D. F. Água e solo In: MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. M. **Irrigação**. Piracicaba: SBEA, 2001. p. 1-62. (Série Engenharia Agrícola).

MIORINI, T. J. J.; SAAD, J. C.; MENEGALE, M. L. Supressão de água em diferentes fases fenológicas do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 4, p. 360-368, 2011.

MOREIRA, H. M. **A irrigação agrícola e sua fundamental importância mesmo em tempos de crise hídrica**. Jataí: Campos & Negócios, 2015. Disponível em: <http://www.revistacampoenegocios.com.br/a-irrigacao-agricola-e-sua-fundamental-importancia-mesmo-em-tempos-de-crise-hidrica/>. Acesso em: 22 nov 2016.

MOREIRA, J. A. A.; AZEVEDO, J. A.; STONE, L. F.; CAIXETA, T. J. Irrigação. In: ZIMMERMANN, M. J. O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). **Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1998. cap.3, p. 317-340.

MUÑOZ, M. E. G. **Efecto de combinaciones de épocas, frecuencias y duraciones de inundacion sobre el rendimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 1973. 120. f. Tese (Mestrado)- Centro Tropical de Enseñanza e Investigación, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, Turrialba, 1973.

MUNHOZ, F. C.; GARCIA, A. Caracterização da velocidade e direção predominante dos ventos para a localidade de Ituverava - SP. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Santa Maria - RS, v. 23, n. 1, p. 30-34, maio 2007.

NASSIF, D. S. P.; MARIN, F. R.; COSTA, L. G. Evapotranspiration and transpiration coupling to the atmosphere of sugarcane in Southern Brazil: scaling up from leaf to field. **Sugar Tech**. London, v. 16, n. 3, p. 1-5, set 2004.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION- NASA. **Landsat science**. [S.l.]: NASA, 2016. Disponível em: <http://landsat.gsfc.nasa.gov>. Acesso em: 13 jun. 2017.

OLIVEIRA, L. F. C.; NASCIMENTO, J. L.; STONE, L. F. Demanda total de água do feijoeiro nos sistemas de plantio convencional e direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2000, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Pesquisa Agropecuária Tropical, 2001, v. 31, n. 2, p.159-161.

OLIVEIRA, A. S.; PEREIRA, F. A. C.; OLIVEIRA, G. X. S.; BORGES, V. P. Evaporação da água de reservatórios: medição e estimativa por métodos meteorológicos. In: GALVAO, C. O.; MEDEIROS, S. S.; PAZ, V. P. S.; GHEYI, H. R. **Recursos hídricos em regiões semiáridas: estudos e aplicações**. Campina Grande: INSA, 2012 p. 44- 73.

ORTEGA, J. F.; JUAN, J. A.; TARJUELO, J. M. Improving water management: the irrigation advisory service of Castilla: Mancha (Spain). **Agricultural Water Management**, Perth, v. 77, n. 3, p. 37-58, 2005.

ORTEGA-FARIAS, S.; IRMAK, S.; CUENCA, R. Special issue on evapotranspiration measurement and modeling. **Irrigation Science**, New York, v. 28, n. 1, p. 1-3, 2009.

OSCAR AHUMADA NUMEROLÓGICA & GRAFOLOGIA. **Grafologia rosa dos ventos**. Belo Horizonte: Oscar Ahumada, 2016. Disponível em: <http://oscarahumada.com/wp-content/uploads/2016/01/rosa-vento.jpg>. Acesso em: 31 maio 2018.

PAVANI, L. C.; LOPES, A. S.; GALBEIRO, R. B. Manejo da irrigação na cultura do feijoeiro em sistemas plantio direto e convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 12-21, 2008.

PAVINATO, P. S.; CERETTA, C. A. E.; GIROTTO, C. A. E.; MOREIRA, I. C. L. Nitrogênio e potássio em milho irrigado: análise técnica e econômica da fertilização. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 358-364, 2008.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

PEREIRA, L. S.; OEWIS, T.; ZAIRI, A. Irrigation management under water scarcity. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 57, n. 3, p. 175-206, 2002.

PEREIRA, A. L.; MOREIRA, J. A. A.; KLAR, A. E. Efeitos de níveis de cobertura do solo sobre o manejo da irrigação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Irriga**, Botucatu, v. 7, n. 1, p. 42-52, 2002.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Meteorologia agrícola**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"- USP, 2007. 125 p.

PETRY, C. **Adaptação de cultivares de soja a deficiência hídrica no solo**. 1991. 106 f. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal de Santa Maria- UFSM, Santa Maria, Faculdade Federal Santa Maria, 1991.

PRUINTT, E. L. The office of naval research and geography. **Annals Association of American Geographers**, Washington, v. 69, n. 1, p. 106, 1979.

PORTUGAL, J. R.; PERES, A. R.; RODRIGUES, R. A. F. Aspectos climáticos do feijoeiro. In: ARF, O.; LEMOS, L. B.; SORATTO, R. P.; FERRARI, S (Ed.). **Aspectos gerais da cultura do feijão**. Botucatu: FEPAF, 2015. p. 65-75.

QUEIROZ, T. M.; CARVALHO, J. A.; RABELO, G. F.; ANDRADE, M. J. B. Avaliação de sistema alternativo de automação da irrigação do feijoeiro em casa de vegetação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 632-641, 2005.

RESENDE, M.; ALBUQUERQUE, P. E. P. **Métodos e estratégias de manejo de irrigação**. Brasília-DF: Embrapa, 2003. 10 p.

ROLIM, G. S.; CAMARGO, M. B. P.; LANIA, D. L.; MORAES, J. F. L. Classificação climática de Koppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o Estado de São Paulo. **Bragantina**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 711-720, 2007.

ROSA, R. D.; PAREDES, P.; RODRIGUES, G. C.; FERNANDO, R. M.; ALVES, I.; PEREIRA, L. S.; ALLEN, R. G. **Implementação da abordagem coeficiente de cultura duplo em software interativo: 2. teste modelo agric. gerenciar água**. San Salvador: Prisma, 2012. v. 103, p. 62-77.

SANTOS, G. O.;HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M.; FEITOSA, D. G.; LIMA, R. C.; BARBOZA, G. C.; VANZELA, L. S. **Qualidade da água para fins de irrigação na microbacia do córrego do Ipê, município de Ilha Solteira, região Noroeste Paulista**. Fernandópolis: Universita, 2010. v. 6, p. 145-153.

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**, Fortaleza, v. 4, n. 3, p. 142-149, 2009.

SHAPLAND, T. M; SNYDER, R. L.; SMART, D. R.; WILLIAMS, L. E. Estimation of actual evapotranspiration en winegrape vineyards located on Hillside Terrain using Surface Renewal analysis. **Irrigation Science**, New York, v. 30, n. 6, p. 471-484, 2012. Disponível em: <Http://Dx.Doi.Org/10.1007/S00271-012-0377-6>. Acesso em: 12 dez 2016.

SENTELHAS, P. C.; GILLESPIE, T. J.; SANTOS, E. A. Evaluation of FAO Penman-Monteith and alternative methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in Southern Ontario, Canadá. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 97, n. 5, p. 635-644, 2010.

SOJKA, R. E.; BJORNEBERG, D. L.; ENTRY, J. A. Irrigation: an historical perspective. In: LAL, R. (Ed.). **Encyclopedia of soil science**. New York: Marcel Dekker, 2002. p. 745-749.

SPAGNOLO, T. F. O.; COUTO JUNIOR, A. F. Expansão da agricultura irrigada por pivô central no cerrado entre os anos de 1984 e 2008. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO- SBSR, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Foz do Iguaçu: INPE, 2013. Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/rep/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.29.00.55.09>. Acesso em: 28 out 2016.

SILVA, S. C.; RIBEIRO, J. R. Zoneamento agroclimático para o feijão de (2ª safra) nos Estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Bahia. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, F. (Ed.). **Fundamentos para uma agricultura sustentável, com ênfase na cultura do feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2009. cap. 6, p. 97-106.

SILVA JUNIOR, J. F. **Evapotranspiração de referência como base para o manejo sustentável da irrigação no Noroeste Paulista**. 2017. 81 f. Tese (Doutorado)- Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”- UNESP, Botucatu, 2017.

SILVA, W. G. D.; CARVALHO, J. A.; OLIVEIRA, E. C.; REZENDE, F. C.; LIMA JUNIOR, J. A.; RIOS, G. F. A. Manejo de irrigação para o feijão-de-metro, nas fases vegetativa e produtiva, em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 9, p. 978-984, fev. 2012.

SILVA, D. F. S.; NERY, J. T. Variabilidade espacial e temporal da chuva na unidade de gerenciamento do pardo. **Revista Geonorte**, v. 2, n. 4, p. 1079-1089, 2012. Edição Especial.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. **Irrigação do feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2001. p. 230.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. **Manejo da irrigação do feijoeiro: uso do tensiômetro e avaliação de desempenho do pivô central**. Brasília: EMBRAPA- SPI, 1994. p. 46. (Circular técnica, 27)

SNYDER, R. L.; SPANO, D.; DUCE, P.; PAW, U. K. T.; RIVERA, M. Surface renewal estimation of pasture evapotranspiration. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, North Carolina State University, v. 134, n. 6, p. 134, 716-721, 2008.

SOUZA, R.; CAMARGO, F. O. A.; VAHL, L. C. Solos alagados. In: MEURER, E. J. (Ed). **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: Evangraf, 2010. p. 185-211.

SOUZA, J. M. F. **Aplicação do algoritmo SAFER na obtenção da evapotranspiração atual das culturas em condições de cerrado**. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 2016. p. 92.

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

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004, 719 p.

TAIZ, L.; ZEIGER. **Plant physiology**. California: The Benjamim/ Cummings Publishing Company, 1991. p. 651-674.

TAVARES, R.; SANT'ANNA NETO, J. L.; TOMMASELLI, J. T. G. PRESSINOTTI, M. M. N.; SANTORO, J. Análise da variabilidade temporal e espacial das chuvas associada aos movimentos de massa no Litoral Norte Paulista. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. p. 680-696. 1CD-ROM.

TAYLOR, N. J.; MAHOHOMA, W.; VAHRMEIJER, J. T.; GUSH, M. B.; ALLEN, R. G.; ANNANDALE, J. G. Abordagens do coeficiente de cultivo com base em estimativas fixas de resistência foliar não são apropriadas para estimar o uso de água de citros. **Irrigation Science**, New York, v. 33, n. 2, p. 153-166, 2015.

TEIXEIRA, A .H. C.; SCHERER-WARREN, M.; HERNANDEZ, F. B. T; ANDRADE, R. G.; LEIVAS, J. F. Large-scale water productivity assessments with MODIS images in a changing semi-arid environment: a Brazilian case study. **Remote Sensing**, Switzerland, v. 5, p. 5783-5804, 2013.

TEIXEIRA, A. H. C. Modelling evapotranspiration by remote sensing parameters and agro-meteorological stations. In: REMOTE SENSING AND HYDROLOGY, 352., 2012, Wyoming. **Anais...** Wyoming: IAHS, 2012. p. 154-157

TEIXEIRA, A.; HERNANDEZ, F.; LOPES, H. Application of landsat images for quantifying the energy balance under conditions of land use changes in the semi-arid region of Brazil. In: REMOTE SENSING FOR AGRICULTURE, ECOSYSTEMS, AND HYDROLOGY, 14., Edinburgh. **Anais...** Edinburgh: SPIE, 2012, p. 1-9.

TEIXEIRA, A. H. C.; BASTIAANSEN, W. G. M. Five methods to interpret field measurements of energy fluxes over a micro-sprinkler-irrigated mango orchard. **Irrigation Science**, New York, v. 30, n. 1, p. 13-28, 2012.

TEIXEIRA, A. H. C. Determining regional actual evapotranspiration of irrigated crops and natural vegetation in the São Francisco River (Brazil) using remote sensing and Penman-Monteith equation remote sensing, **Remote Sensing**, Switzerland, v. 2, n. 3, p. 1287-1319, 2010.

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.

TEIXEIRA, A. H. C.; HERNANDEZ, F. B. T.; LOPES, H. L.; SCHERER-WARREN, M.; BASSOI, L. H. A comparative study of techniques for modeling the spatiotemporal distribution of heat and moisture fluxes at different agroecosystems in Brazil. In: PETROPOULOS, G. P. (Ed.). **Remote sensing of energy fluxes and soil moisture content**. Boca Raton: CRC, 2013b. p. 65-188.

TEIXEIRA, A. H. C.; FILHO LIMA, J. M. P. Cultivo da mangueira. **Embrapa semi-árido, sistemas de produção**, Brasília-DF, v. 2, n. 1, p. 1-77, 2004. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/111770/1/Cultivo-da-Mangueira-Sistema-de-producao.pdf>. Acesso em: 20 fev 2017.

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: CONGRESSO EARTH OBSERVATION FOR VEGETATION MONITORING AND WATER MANAGEMENT, 75., 2005, Napoli. **Proceedings...** Napoli: AIP, 2005. Disponível em: <http://www.diaat.unina.it/CONGRESS/EOnapoli2005/abstracts/trezza.pdf> . Acesso em: 20 fev 2017.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA- UNESP. **Acesso à base diária**: canal clima. Ilha Solteira: UNESP2018. Disponível em: <http://clima.feis.unesp.br>. Acesso em: 15 maio 2018.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVE - USGS. **LDCM cal/val algorithm description document**. Florida: NASA, 2013. v. 3, 753 p.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n. 14, p. 892-898, 1980.

VIERA, E. H. N.; RAIVA, C. A. **Sementes de feijão**: produção e tecnologia. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e feijão, 2000. 270 p.

VILA NOVA, N. A.; SCARDUA, R. O. **O uso do método climatológico na determinação da irrigação**. Campinas: SBA, 1984. 20 p. (Boletim técnico, 2).

VILHORDO, B. W.; MIKUSINSHI, O. M. F.; BURIN, M. A.; GANDOLFI, V. H. Morfologia. In: ARAÚJO, R. S. (Coord.). **A cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafós, 1996. p. 71-99.

WIDMOSER, P.A. Discussion on and alternative to Penman: Monteith equation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, n. 4, p. 711-721, 2009.

WILLIAMS, D. L.; GOWARD, S.; ARVIDSON, T. Landsat. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Falls Church, v. 72, n. 10, p. 1171-1178, 1 out. 2006.

XING, Z.; CHOW, L.; MENG, F. R.; REES, H. W.; STEVENS, L.; MONTEITH, J. Validating evapotranspiration equations using Bowen Ratio in New Brunswick. Maritime Canada. **Sensors**, Lausanne, v. 8, n. 1. p. 412-428, 2008.