



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

**ESTIMATIVA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO PELO
MODELO SEBAL ADAPTADO PARA CULTURA
DO TRIGO NA REGIÃO DO CERRADO**

KELVIN ANDRES REIS

Orientador: Prof^a MARINA ROLIM BILICH NEUMANN

BRASÍLIA, DF
2019

KELVIN ANDRES REIS

**ESTIMATIVA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO PELO
MODELO SEBAL ADAPTADO PARA CULTURA
DO TRIGO NA REGIÃO DO CERRADO**

Monografia apresentada à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, como parte das exigências do curso de Graduação em Agronomia, para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo

**BRASÍLIA, DF
2019**

FICHA CATALOGRÁFICA

Ae Andres Reis, Kelvin
 Estimativa De Evapotranspiração Pelo Modelo SEBAL
Adaptado para Cultura Do Trigo Na Região Do Cerrado /
Kelvin Andres Reis; orientador Marina Rolim Bilich Neumann.
-- Brasília, 2019.
 49 p.

 Monografia (Graduação - Agronomia) -- Universidade de
Brasília, 2019.

 1. Evapotranspiração. 2. Trigo. 3. Geoprocessamento. 4.
Cerrado. 5. SEBAL. I. Rolim Bilich Neumann, Marina, orient.
II. Título.

Cessão de direitos

NOME DO AUTOR: Kelvin Andres Reis

TÍTULO: Estimativa De Evapotranspiração Pelo Modelo SEBAL Adaptado para Cultura Do Trigo Na Região Do Cerrado

ANO: 2019

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desse relatório e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva-se a outros direitos de publicação, e nenhuma parte desse relatório pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

ESTIMATIVA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO PELO MODELO SEBAL
ADAPTADO PARA CULTURA DO TRIGO NA REGIÃO DO CERRADO

KELVIN ANDRES REIS

MATRÍCULA: 13/0012181

MONOGRAFIA SUBMETIDA À FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA
VETERINÁRIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO
GRAU DE BACHAREL EM AGRONOMIA.

APROVADA POR:

MARINA ROLIM BILICH NEUMANN

(Orientadora): E-mail: marinabilich@unb.br

1º ANDRÉ LUIZ FARIAS DE SOUZA

Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Distrito Federal

2º PROF. JOÃO JOSÉ DA SILVA JÚNIOR

Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária

BRASÍLIA, 10 DE JULHO DE 2019.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, detentor de toda ciência e sabedoria.

Em especial aos meus pais Raul Torres dos Reis Neto e a minha mãe Keilla Andres Reis, que através de suas palavras e exemplos, me fizeram crer que posso muito mais do que minha mente acredita poder. Quando muitas vezes minha esperança já havia se esgotado, foi a deles que me fez seguir em frente. Quando a minha fé já não era o bastante, acordava durante a madrugada com os passos leves de minha mãe caminhado para porta do meu quarto, e ouvia a sua oração pedindo a Deus que renovasse minhas forças, e com toda certeza, foram elas que me fizeram chegar até esse momento.

Gostaria de agradecer ao meu irmão Daniel Lucas Andres Reis, homem de poucas palavras, mas de sentimentos fortes, que desde a infância esteve ao meu lado, mesmo calado sempre demonstrando um enorme carinho por mim.

Agradeço também a minha tia Nery Cordeiro, por todo carinho, cuidado e atenção que me proporcionou e aos meus pequenos primos Samuel Cordeiro e Aline Vitória Cordeiro, que contaram os dias, com bastante ansiedade, para a finalização desse trabalho.

A Amanda Nogueira Pereira, uma mulher incrível, agradeço de todo o coração pelas inúmeras correções e horas de sono perdido, e ao toque que só ela poderia ter dado ao trabalho, mesmo em meio a uma rotina turbulenta que uma pedagoga tem. Gostaria também de expressar minha gratidão a Teófilo Custódio e Mirian Nogueira por toda ajuda, planilhas, pizzas e incentivos.

Para minha querida avó Auliria Anderis, gostaria de agradecer em especial, por me enxergar como o ser humano mais especial e inteligente que existe no mundo, e com sua frase “esse Kelvin não existe, ele é de outro planeta!”; sempre acreditou em mim e me impulsionou a ir adiante. Ao meu Tio Wesley Anderis e minhas primas Maria Anderis e Maressa Anderis por todo apoio.

Marina Bilich, agradeço de todo coração pelo incentivo e por toda disposição, e compreensão, me conduzindo pacientemente através dos labirintos metodológicos para dar forma e correção a este trabalho.

RESUMO

O presente estudo teve por objetivo gerar dados de evapotranspiração diária para cultura do trigo pelo algoritmo SEBAL com adaptações, utilizando dados dos satélites Sentinel-2 e Landsat-8. Também foram obtidos dados de evapotranspiração pelo método de Penman-Monteith-FAO 56 para região do PAD-DF. Os valores foram comparados com intuito de verificar a aplicabilidade do algoritmo SEBAL. Os valores obtidos por meio do SEBAL foram superestimados em 4.52mm/dia, 5.72mm/dia e 4.47 mm/dia respectivamente para os pivôs 52,55 e 59 na data 05/05/2018 , em 29/06/2018 o algoritmo subestimou em 0,78 mm/dia para o pivô 52, 1,44 mm/dia para o pivô 55 e 1,54 mm/dia para o pivô 59. Para a data 27/07/2018 os valores foram superiores em 2,08 mm/dia, 1,52 mm/dia e 1,47 mm/dia. Para a data 28/08/2018 apenas o pivô 52 apresentou cultura, o algoritmo superestimou 0.7 mm/dia.

Palavras-chave: Evapotranspiração, Trigo, Geoprocessamento, Cerrado, SEBAL

ABSTRACT

The present study aimed to generate daily evapotranspiration data for wheat cultivation by the SEBAL algorithm with adaptation, using data from the Sentinel-2 and Landsat-8 satellites. Evapotranspiration data were also obtained by the Penman-Monteith-FAO 56 method for the PAD-DF region. The values were compared in order to verify the applicability of the SEBAL algorithm. The values obtained using SEBAL were overestimated at 4.52mm/day, 5.72mm/day and 4.47mm/day respectively for the pivots 52,55 and 59 on the dates: 05/05/2018 and 06/29/2018, and the algorithm was underestimated at 0.78 mm/day for pivot 52; 1.44 mm/day for pivot 55 and 1.54 mm/day for pivot 59. On the date 07/27/2018 the values were higher at 2.08 mm/day, 1.52 mm/day and 1.47 mm/day. On 28/08/2018 only the pivot 52 presented culture, the algorithm overestimated 0.7 mm/day.

Keywords:

Evapotranspiration, Wheat, Geoprocessing, Cerrado, SEBAL

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. HIPÓTESE.....	14
3. OBJETIVOS	14
3.1 Objetivo geral.....	14
3.2 Objetivos específicos.....	14
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
4.1 Uso da Água na Agricultura Irrigada	15
4.2 Agricultura irrigada no Distrito-Federal.....	17
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
5.1 Descrição da área de estudo	21
5.2 Adaptação do modelo SEBAL.....	22
5.3 Comparação das estimativas de evapotranspiração e pelo método Penman Monteith-FAO	31
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
7. CONCLUSÃO	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso vital para a manutenção da vida em todos os aspectos, sendo um recurso finito e não renovável e de distribuição variável ao longo do globo terrestre. O Brasil, por sua vez, foi favorecido na sua distribuição, de modo que, segundo a Agência Nacional de Águas - ANA, possui cerca de 12% da água doce do planeta, tendo uma grande demanda na sua utilização para setores como: agricultura, abastecimento de água potável, saneamento e geração de energia elétrica. (ANA, 2012)

Entretanto, a agricultura é tida como o principal consumidor de água, estima-se que 69% das águas consumidas no mundo seriam dedicadas à agricultura. No Brasil, esse valor chega a 68%. (BICUDO, 2010).

De acordo com Christofidis (1997), o aumento da população mundial e a discussão sobre a utilização dos recursos hídricos tornam-se essenciais. Sendo necessário utilização de técnicas apropriadas para que a água seja utilizada de forma sustentável e que a demanda crescente por alimentos não resulte em contaminação e poluição dos recursos hídricos.

Diante desse cenário, o planejamento e manejo integrados dos recursos hídricos é de suma importância para que seja possível uma utilização sustentável visando a manutenção e durabilidade destes.

De acordo com a ANA (2017), entre os anos de 1960 e 2015, a área irrigada no Brasil aumentou expressivamente, passando de 462 mil hectares para 6,95 milhões de hectares (Mha), podendo ainda expandir mais 45% até 2030, atingindo 10 Mha. Demonstrando assim, que ainda existe um grande potencial de expansão para a atual agricultura irrigada. A média de crescimento estimado corresponde a pouco mais de 200 mil hectares ao ano, enquanto o potencial efetivo de expansão da agricultura irrigada no Brasil é de 11,2 Mha. O potencial de expansão apontado acentua a necessidade de um esforço crescente de planejamento e gestão, a fim de evitar ou minimizar conflitos pelo uso da água, em especial nas bacias hidrográficas que já possuem indicadores de criticidade quantitativa.

É comum a associação da agricultura irrigada com um elevado nível tecnológico, porém, nem sempre a utilização de tecnologia implica em uma prática sustentável dos recursos hídricos. Alguns autores alertam que a agricultura irrigada no Brasil é ainda praticada de forma inadequada, com desperdício de água e práticas agrícolas

incoerentes (MANTOVANI et al., 2006).

Um dos principais componentes do manejo hídrico é a estimativa da evapotranspiração que, segundo Ometto (1981), consiste na perda conjunta de água do solo pela evaporação e da planta por transpiração para a atmosfera. Esta perda por evapotranspiração está relacionada a diversos fatores como o tipo de vegetação, clima, localidade e aos parâmetros agrometeorológicos que são imprescindíveis para quantificar as necessidades hídricas das culturas, tornando-se necessária a análise de métodos e modelos que melhor estimem essa variável. Sendo, assim é importante conhecer a demanda hídrica das culturas é para a compreensão das relações no sistema solo-água-planta-atmosfera (SEDYAMA, 1996). A análise das variantes ambientais permite que a utilização dos recursos hídricos seja feita de forma racional e sustentável.

A cultura do trigo, historicamente, sempre esteve entre os grãos mais cultivados e vendidos no mundo, porém, o Brasil nunca foi capaz de suprir a sua demanda interna, o que sujeitava o país a depender do mercado externo para suprir o seu déficit de produção. Para tanto, a modernização tecnológica se fez algo necessário para produzir o trigo em regiões que não o produziam, tornando o bioma Cerrado um dos principais produtores (HUBNER, 2002).

Caldas (2011) alega que, com a criação do Programa de Financiamento de Irrigação (Profir), a Embrapa Cerrados lançou recomendações técnicas para o cultivo do trigo com irrigação. Para obtenção de financiamento, foi obrigatório o plantio do trigo no sistema de produção irrigada, com intuito de disseminação da irrigação por pivô central, abrindo nova perspectiva à agricultura irrigada e para exploração da cultura do trigo.

De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB, o Distrito Federal, a menor unidade da Federação integrante da Região Centro-Oeste, apresenta o melhor índice de produtividade de trigo por área plantada do país. Essa produtividade só é possível devido a fatores relacionados a estabilidade climática e a presença de dias bem quentes e noites frias. Aliado a isso, as entidades de pesquisa, de extensão e cooperativas desenvolveram tecnologias de ponta para a produção de trigo na região do cerrado brasileiro.

A produtividade média de trigo irrigado no Distrito Federal encontra-se em torno de 5.734 ton/ha, enquanto a média nacional é de 2.472 ton/ha (CONAB, 2017). Observa-se que a produtividade do DF, representa um valor superior ao dobro da

média nacional, mostrando que a região possui elevada importância para a produção dessa cultura.

De acordo com a gradativa evolução do cultivo intensivo, e a exploração agropecuária durante os anos, foi possível perceber o resultado da tecnologia empregada, gerando alta produtividade e desenvolvimento agrícola, porém, a disponibilidade hídrica passou a se tornar foco da atenção, por parte dos órgãos governamentais. De acordo Secretaria de Estado de Comunicação do Distrito Federal (2018), ao longo dos anos, a região vem sofrendo os efeitos da degradação do meio ambiente, desmatamento predatório da vegetação típica do Cerrado, captações clandestinas de água, ocupações irregulares que ocasionaram a impermeabilização do solo e o assoreamento de mananciais e nascentes. Durante os últimos anos, tem-se observado que os índices de precipitação no Distrito Federal mantiveram-se abaixo da média, contribuindo para diminuição dos níveis dos reservatórios, tanto do Descoberto quanto o de Santa Maria e com isso, diminuindo o fornecimento hídrico para setores como o agrícola, sendo necessário um manejo hídrico cada vez mais eficiente para utilizar, de forma sustentável, os recursos disponíveis.

O sensoriamento remoto, é capaz de coletar uma gama de informações da superfície terrestre, tem como objetivo estudar o ambiente através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra em suas mais diversas manifestações (NOVO, 1995). Sendo assim, possível obter valores dos componentes do balanço hídrico, sendo a evapotranspiração um fator importante. Esta é dependente da disponibilidade energética, da demanda atmosférica, da disponibilidade de água do solo e de fatores fisiológicos da planta (SOUZA et al., 2011), podendo, ao utilizar o sensoriamento remoto reduzir o nível de dificuldade do processo (KARIMI, 2015).

Atualmente, a equação combinada de Penman-Monteith, parametrizada pela FAO no Boletim 56 (ALLEN et al., 1998), demonstra as melhores representações dos fatores físicos e fisiológicos que regem a evapotranspiração (BEZERRA et al., 2010). No entanto, para a sua aplicação é necessário obter muitos parâmetros, que geralmente não estão disponíveis nas estações meteorológicas, por ausência de sensores ou pela baixa qualidade dos dados. Para minimizar esses problemas, calibrações locais e regionais, aliadas a avaliações de desempenho estatístico dos modelos, são importantes para avaliar os erros nas estimativas de evapotranspiração de referência e dirigir a escolha dos métodos que melhor se adequem à

disponibilidade local de dados meteorológicos e ao nível de precisão exigido (TAGLIAFERRE et al., 2010).

Bastiaanssen (1995) propôs um algoritmo para a estimativa instantânea das componentes do balanço de energia por sensoriamento remoto, denominado Balanço de Energia para Superfície Continental (Surface Energy Balance Algorithm for Land - SEBAL). O SEBAL é constituído, quase que totalmente, por parametrizações físicas bem estabelecidas e pouco complexas. Essas parametrizações foram confrontadas com dados de campo em diferentes partes do mundo, apresentando resultados promissores. Medina et al. (1998) citam que o SEBAL requer poucos dados de superfície para seu processamento e Mohamed et al. (2004) mencionam que a utilização do SEBAL em bacias hidrográficas pode promover uma otimização no manejo dos recursos hídricos.

Existem outros modelos capazes de estimar a evapotranspiração por sensoriamento remoto como S-SEBI (Simplified Surface Energy Balance Index), o SSEBop (modelo de Balanço Energético Simplificado Operacional), o SEBS (modelo de Sistema de Balanço Energético de Superfície) e o METRIC (Evapotranspiração de Mapeamento em modelo de alta resolução com calibração internalizada). Para o presente trabalho foi escolhido o SEBAL pela simplicidade operacional além da área utilizada apresentar baixas declividades.

2. HIPÓTESE

É possível estimar a evapotranspiração real (ETP) de áreas agrícolas irrigadas, por meio de imagens obtidas por sensoriamento remoto, utilizando modelo de balanço de energia o Surface Energy Balance Algorithms for Land – SEBAL adaptado.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

O objetivo do presente estudo é estimar a evapotranspiração para a cultura do trigo em áreas irrigadas, por meio do Modelo Surface Energy Balance Algorithms for Land - SEBAL adaptado.

3.2 Objetivos específicos

- Comparar valores de evapotranspiração obtidos pelo algoritmo SEBAL e o método Penman-Monteith FAO;
- Verificar a evolução da evapotranspiração ao longo do período analisado;
- Avaliar a qualidade dos dados dos satélites Sentinel-2 e Landsat-8, para estimativa de evapotranspiração para cultura do trigo.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Uso da Água na Agricultura Irrigada

De acordo com a revista Science (2000), “do total da água existente no Planeta Terra, 97,5% são salinas, sendo apenas 2,5% doce”. Ainda, segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura- FAO, 99% de toda a água doce existente está na forma sólida, presa às calotas polares, geleiras ou em reservatórios subterrâneos profundos e de difícil utilização. Dessa forma, apenas 1% do total de água doce existente no mundo é utilizada pelo homem, sendo distribuídos ao longo do globo terrestre. Da quantidade de água propícia para utilização, 12% está em território brasileiro, tornando o país apto a desenvolver a agricultura irrigada em larga escala (ROMANO, 1998).

Apesar da quantidade de água disponível no Brasil, existe uma desigualdade regional na distribuição dos recursos hídricos. Ao se comparar situações como a abundância de água da Bacia Amazônica, que abrange às regiões Norte e Centro-Oeste, com os problemas de escassez no Nordeste e conflitos de uso nas regiões Sul e Sudeste, a situação se agrava. Se a distribuição da quantidade absoluta de água dos recursos hídricos renováveis for dividida pela população que a utiliza, o Brasil deixaria de ser o primeiro em quantidade água por dependente e passaria a vigésimo terceiro no mundo (PROJETO ÁGUA, 1998).

A agricultura irrigada consiste no fornecimento de água de forma mecânica para culturas agrícolas, com intuito de manter o nível de água satisfatório no solo para a cultura específica. Torna-se importante ressaltar que, a agricultura irrigada utiliza cerca de 67,1 % do consumo de água do país, como aponta a Figura 1, sendo capaz de alterar as condições dos recursos hídricos ao longo de sua extração do ambiente. Sabendo que a maior parte dessa água utilizada para agricultura é perdida em forma de evapotranspiração, é possível ressaltar a importância de um manejo adequado dos recursos hídricos.

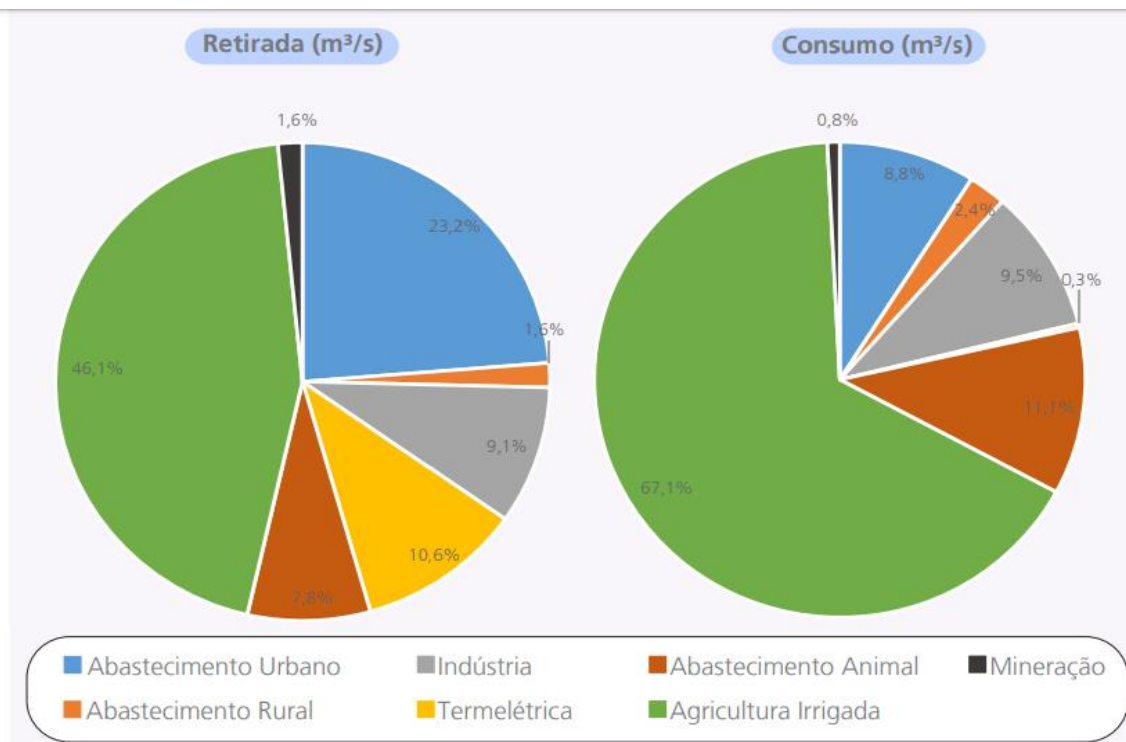


Figura 1: Distribuição dos usos da água no Brasil. Fonte: ANA 2017.

De acordo com a Ana (2017), o país se encontra entre os 10 países com maiores áreas irrigadas distribuídas em todas as regiões territoriais. A região Sudeste apresenta 2,7 milhões de hectares irrigados, enquanto no Sul, são quase 1,7 milhões, no Norte observamos uma parcela menor ao se comparar com outras regiões, com apenas 194 mil hectares. A Região Nordeste dispõe de 1,1 milhões e a Centro-Oeste tem quase 1,2 milhões de hectares irrigados sendo o total de 6,95 milhões, como retrata a Figura.1; a irrigação é responsável pela demanda de 46,1% de toda água utilizada no Brasil, o que equivale a 969 mil litros por segundo (969 m³/s).

Segundo a Fao (1998), a América Latina dispõe de mais de 3 milhões de quilômetros quadrados de terras agrícolas que estão degradadas, além de superfícies de terras áridas correndo o risco de desertificação. Na Argentina e no Chile, 35% das áreas irrigadas estão salinizadas e 30% das terras de regiões costeiras do Peru também apresentam este problema (ALFARO, 1990). No Brasil, principalmente no Nordeste, cerca de 30% das áreas irrigadas pertencentes a projetos públicos estão com problemas de salinização (BERNARDO, 1997).

Ressalta-se a importância de manejo hídrico eficiente com a utilização de métodos apropriados para reduzir o impacto da atividade agrícola, como: construção de sistemas de drenagem no campo, lixiviação de sais em excesso e

outras medidas, para controlar o risco de degradação do solo. De acordo com Cardoso et al. (1998) o manejo adequado da água na agricultura não pode ser considerado uma etapa independente do processo de produção agrícola, devendo ser analisado dentro do contexto de um sistema integrado.

4.2 Agricultura irrigada no Distrito-Federal

O Distrito Federal é uma das 27 unidades federativas do Brasil, se diferenciando das demais por não se tratar de um Estado ou de Município, e sim, de um território autônomo dividido em Regiões Administrativas, situado na Região Centro-Oeste. Tem por limites os estados de Goiás a sul, oeste, norte e leste e Minas Gerais a sudeste. Em seu território está localizada a capital federal do Brasil, Brasília, que sedia os governos federal e distrital (EMATER, 2017).

O DF possui uma área total de 580.200 ha sendo destes, 400 mil hectares de área rural onde vivem aproximadamente 88 mil pessoas (EMATER, 2017).

As atividades do setor agropecuário são desenvolvidas em 3,9 mil estabelecimentos rurais. Desses estabelecimentos, 46,1% são de agricultores familiares. Eles ocupam uma área de 10,8 mil hectares (CODEPLAN, 2013). É possível verificar a distribuição do uso da terra no Distrito Federal por meio da Figura 2.

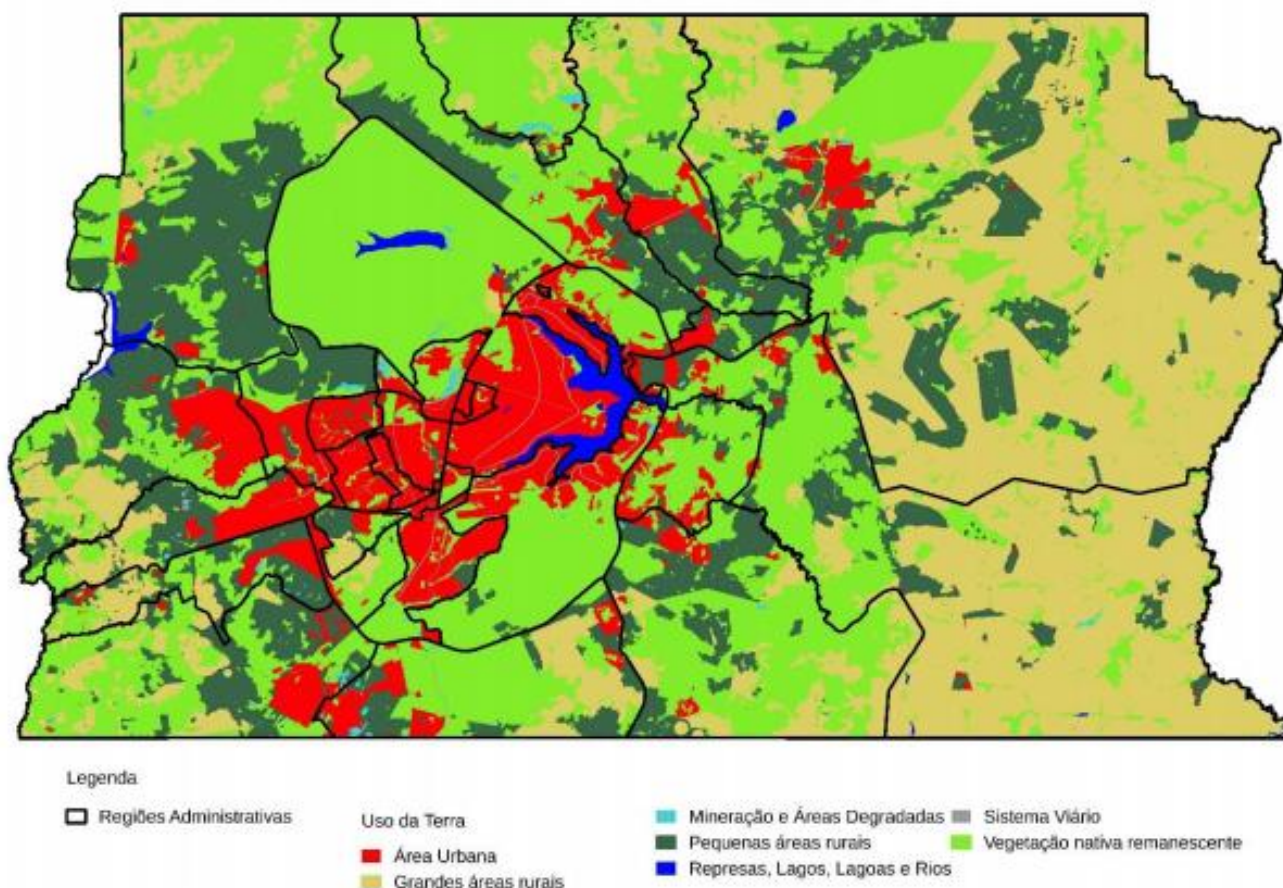


Figura 2: Figura de uso da Terra no Distrito Federal. Fonte: Codeplan, 2015.

Na figura, verifica-se uma relação de grandes áreas rurais convivendo com pequenas, trazendo inúmeros benefícios para a agricultura regional. É possível aliar o cultivo extensivo com a agricultura familiar aumentando o leque de produtos disponíveis.

O espaço rural do DF está distribuído em: 155,44 mil ha destinados às culturas em geral (lavouras, hortaliças e silvicultura); 1,36 mil ha às frutíferas; 144,10 mil ha às pastagens e o restante, às reservas legais e às áreas de preservação, abrangendo respectivamente 90,44 mil ha e 43,29 mil ha (EMATER-DF, 2015). A razão para variedade de produtos hortifrutícolas deve-se ao importante mercado consumidor de alta renda proporcionado pela existência de Brasília (CODEPLAN, 2015).

Destaca-se no DF, principalmente, a estrutura fundiária caracterizada pelo grande número de estabelecimentos com menos de 50 hectares, devido ao planejamento inicial de ocupação do solo, pois os “módulos” rurais tinham áreas de

aproximadamente 50 hectares, como pode ser demonstrado na tabela da Figura 3.

Tabela 1: Percentuais do número e da área dos estabelecimentos agropecuários, segundo grupos de área total do estabelecimento, Brasil e Distrito Federal - 1970 e 2006. Fonte: Codeplan- DF apud IBGE- Censo Agropecuário

Grupos de área total	1970		2006	
	Número de Estabelecimentos	Área Total	Número de Estabelecimentos	Área Total
Brasil				
Menos de 100 ha	90,5%	23,5%	86,0%	21,2%
1000 ha e mais	0,7%	39,5%	0,9%	45,0%
Distrito Federal				
Menos de 100 ha	87,6%	24,3%	87,7%	22,3%
1000 ha e mais	1,0%	34,8%	0,8%	26,0%

É possível verificar que o DF de 1970 ao

ano de 2006 manteve estável o percentual do número de estabelecimentos com menos de 100 há, seguindo o caminho inverso do país, em que nesse mesmo período apresentou uma redução no número de estabelecimentos.

Apesar de possuir uma área relativamente pequena, se comparada aos demais Estados da Federação, o DF contribui com a produção de cereais, leguminosas e oleaginosas com um percentual acima de outros Estados (IBGE, 2014).

Segundo dados da CONAB (2014), a região Centro-Oeste contribui com 40,0% da produção nacional de cereais, leguminosas e oleaginosas com 189,5 milhões de toneladas, nesse contexto o DF participa com 1,2% na produção regional. As principais culturas são soja e milho que, somadas representam 88,7% na estimativa da produção regional. Outro produto que se destaca no DF é o trigo com uma área de 1,8 mil hectares para a safra 2014/15. Na safra anterior (2013/14) o DF ocupou o primeiro lugar no ranking das regiões com maior produtividade de trigo do País; 7,0 toneladas por hectare. A média do Brasil no mesmo período foi de 2,2 toneladas por hectare (CONAB, 2014).

Esses dados mostram que a agricultura do DF é um setor que contribui com a produção de gêneros alimentícios, mesmo com uma área inexpressiva se comparada a outros Estados da Federação. Outro fator de importância é que o Distrito Federal, juntamente com o estado de Goiás, são as unidades da Federação detentora do maior percentual de estabelecimentos rurais com pivôs centrais do Brasil.

De acordo com Christofidis (2005), a área de ocupação da agricultura irrigada no Brasil representa apenas 18% da área cultivada, respondendo por aproximadamente 42% da produção total de alimentos.

Segundo a Secretaria de Estado da Fazenda- SEFAZ (2015), o Distrito Federal apresenta uma área irrigada de 13.519,83 hectares, com 218 equipamentos do tipo pivô central.

A adoção de sistemas de irrigação pode proporcionar um aumento de produtividade para culturas agrícolas. Por outro lado, essa prática utiliza grande volume d'água (SETTI et al., 2001), modifica as fontes e os recursos naturais, sendo necessário um manejo sustentável desses sistemas de irrigação, visando o mínimo impacto.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Descrição da área de estudo

O estudo foi conduzido na região do PAD-DF (Programa de Assentamento Dirigido) Figura 4, no Distrito Federal. Essa região conta com uma área total de 43.777 ha. Região pioneira na produção de trigo cultivado em sistema de irrigação do tipo pivô central no cerrado.

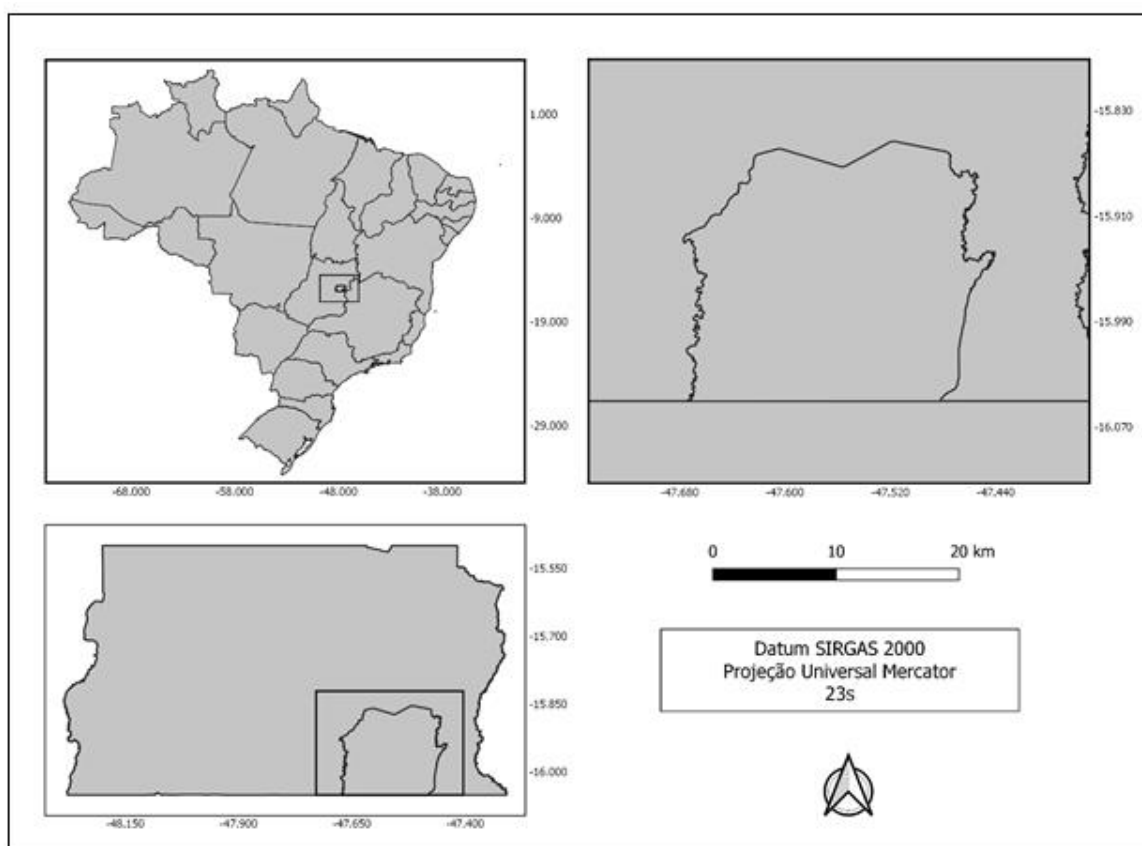


Figura 4: Mapa de localização da área de estudo PAD-DF. Fonte: Autor.

Previamente, através de dados disponibilizados pela Emater-DF, foram selecionados 3 pivôs, que no ano de 2018, no período de maio a agosto, foram cultivados com a cultura do trigo; como pode ser observado na Figura 5.

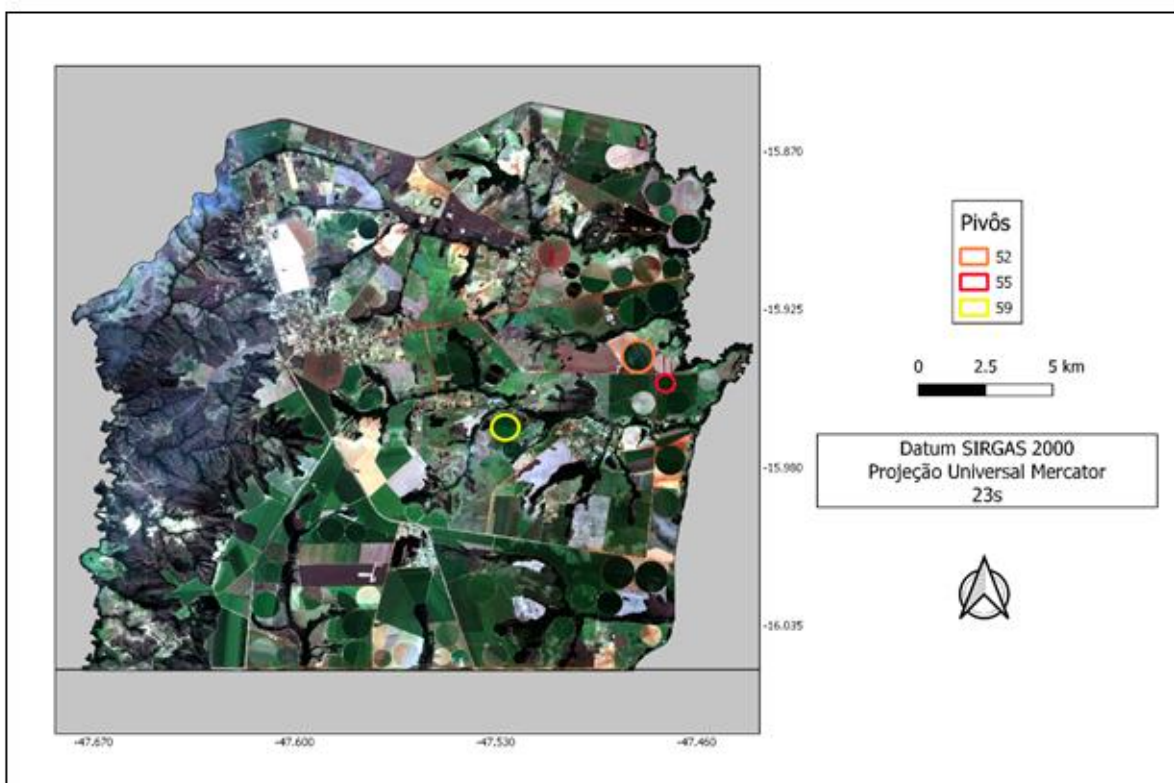


Figura 5: Localização dos pivôs de trigo.

Os números 52, 55 e 59 representam, na Figura 5, a nomenclatura utilizada pela Emater-DF para identificar os pivôs na região. O pivô 52 apresenta uma área de 115 ha, o 55 uma área de 45 ha e o pivô 59 uma área de 47 ha. Todos os pivôs foram plantados com a cultura do trigo entre a primeira e a segunda semana de maio e colhidos entre as duas últimas semanas de julho e a primeira semana do mês de agosto do ano de 2018..

5.2 Adaptação do modelo SEBAL

O modelo Surface Energy Balance Algorithms for Land - SEBAL foi desenvolvido por Bastiaanssen (1995) e é utilizado para a obtenção de evapotranspiração real, que é a quantidade de água transferida para a atmosfera por evaporação e transpiração, nas condições reais apresentadas de fatores atmosféricos e umidade do solo. utilizando dados de imagens provenientes de satélites, dados complementares de superfície e meteorológicos. A vantagem do método é que ele pode ser utilizado em grandes extensões territoriais e não necessita de muitos parâmetros para a obtenção de evapotranspiração real. contudo, apresenta a desvantagem de não ser indicado

para áreas com alta declividade.

A tabela 2 aponta as classes de relevo padronizadas pelo INCRA de acordo com o grau de declividade. As classes variam de 0 a 70 % com seus respectivos graus de inclinação.

Tabela 2: Classe de relevo. Fonte: INCRA 2015

Classe de relevo	Classes de Declividade	
	%	Graus
Plano	0-2	0° a 1°8'45"
Suave ondulado	2-5	1°8'45" a 2°51'45"
Ondulado	5-10	2°51'45" a 5°42'38"
Moderadamente Ondulado	10-15	5°42'38" a 8°31'51"
Forte Ondulado	15-45	8°31'51" a 24°13'40"
Montanhoso	45-70	24°13'40" a 34°59'31"
Escarpado	>70	>34°59'31"

O mapa 6 apresenta as classes de declividade da região classificadas pelo relevo. É possível verificar que as classe de relevo da região varia do plano, ao forte ondulado, porém todos os pivôs estão na classe plana com alguns pontos de classe suavemente ondulado. Sendo assim, possível utilizar o Algoritmo SEBAL nos pivôs analisados.

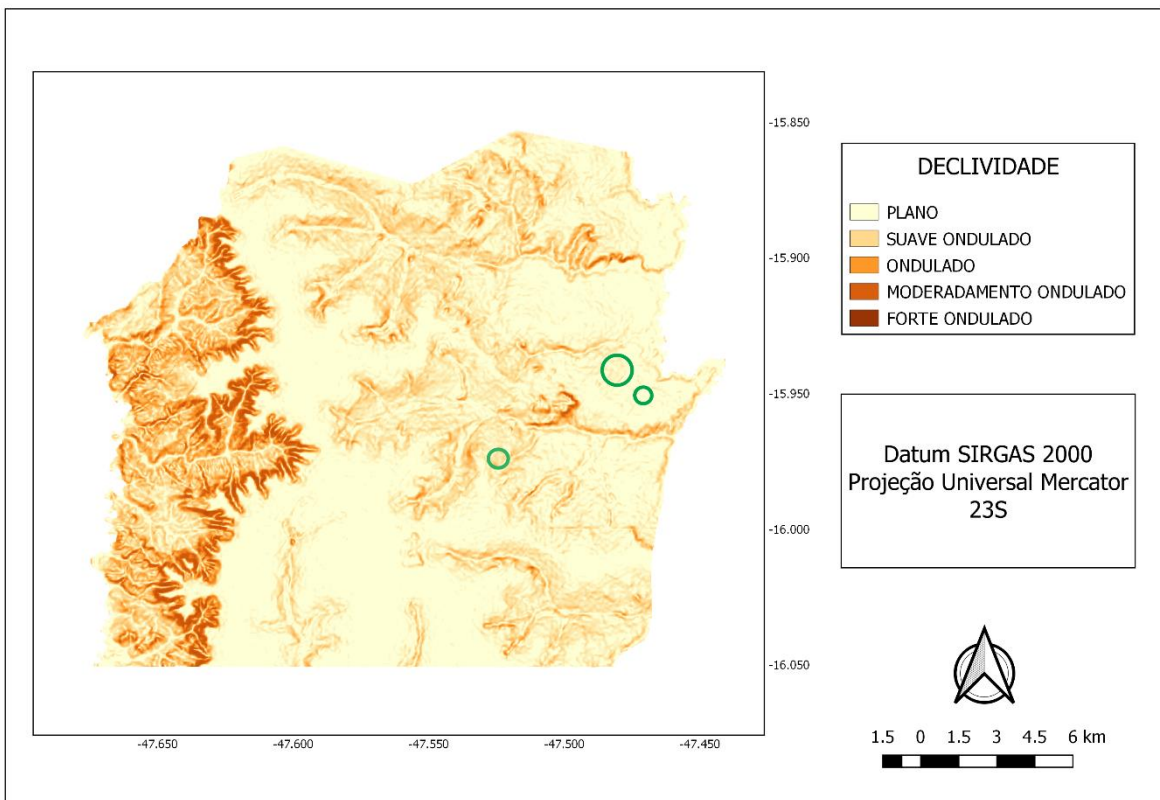


Figura 6: Mapa de declividade por classe de relevo.

Os satélites Sentinel-2 e o Landsat-8 foram utilizados de forma sinérgica com o intuito de se obter maior precisão nos resultados. O Sentinel-2, apresenta imagens de qualidade para estimativa de evapotranspiração, com resolução de pixels superior ao satélite Landsat-8, porém não dispõe de um sistema de sensores efetivos para estimar a temperatura da superfície terrestre. Entretanto o Landsat-8 apresenta um canal em que é possível estimar essa temperatura. Foi aproveitada a sinergia que as combinações dos dados destes dois satélites podem prover, gerando assim dados mais confiáveis.

Para obtenção dos valores de evapotranspiração foram realizadas alterações, propostas por Fernandes (2017) com intuito de simplificar a rotina de cálculos do Algoritmo SEBAL.

As equações de emissividade e albedo utilizadas no cálculo de evapotranspiração foram provenientes de outras fontes e para o cálculo de calor sensível instantâneo (H) foi desprezada a rugosidade da atmosfera, pois culturas anuais de pequeno porte não geram tanto impacto nas correntes de ar, podendo assim, desprezar esta rugosidade. As alterações feitas se mostraram tão eficientes quanto as fórmulas originalmente propostas pelo algoritmo, porém foi possível reduzir o nível de dificuldade do estudo e manter a qualidade dos resultados.

5 grupos de imagens Landsat-8 e Sentinel-2^a foram obtidos, iniciando no mês de maio de 2018 e finalizando no mês de agosto, sendo um grupo de imagens para cada mês. Em cada imagem foi possível identificar por meio de uma tabela fornecida pela EMATER-DF 3 áreas que foram cultivadas com trigo e possuíam irrigação por pivô central. Totalizando em 15 grupos de imagens.

Para a obtenção das imagens dos dois satélites utilizou-se a plataforma da USGS Earth Explorer de forma gratuita. Após a aquisição das imagens, foi necessário convertê-las de irradiância para reflectância. Para realizar a conversão, utilizou-se o plugin Semi-Automatic Classification (SCP) no software Qgis 3.0 que de forma automática é capaz de realizar essa conversão tanto para o satélite Sentinel-2 quanto para o Landsat-8.

Todos os dados meteorológicos e de temperatura do ar foram obtidos de forma gratuita no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). As estações meteorológicas utilizadas para coleta de dados estão localizadas em Brasília e no Paranoá, sendo escolhidas por serem mais próximas da área de estudo, PAD-DF. Foi realizada a média das temperaturas diárias observadas de acordo com a data de cada imagem, além de utilizar uma altitude padrão de 1020m. Essas médias serviram para o cálculo do fluxo de radiação termal da atmosfera de onda longa e de todos os outros parâmetros que dependem desse, além de dados de aerodinâmica.

A tabela 3 retrata as datas utilizadas para cada satélite, altitude e temperaturas médias diárias:

Maio			
Satélite	Data	Altitude (m)	Temperatura média/dia
Landsat-8	24/05/2018	1020	22
sentinel-2 ^a	05/05/2018	1020	21,05
Junho			
Landsat-8	25/06/2018	1020	21,23
sentinel-2 ^a	29/06/2018	1020	18,6
Julho			
Landsat-8	11/07/2018	1020	20,26
sentinel-2 ^a	27/07/2018	1020	18,8
Agosto			
Landsat-8	28/08/2018	1020	21,2
sentinel-2 ^a	28/08/2018	1020	21,2

Tabela 3: Datas das imagens, altitudes e temperaturas médias utilizadas no cálculo deEtr pelo algoritmo SEBAL.

Durante a aquisição das imagens, em alguns casos não foi possível obter datas iguais para ambos os sensores, devido a presença de nuvens, nesses casos houve necessidade de utilizar as datas com o menor intervalo entre os sensores, possuindo percentual de nuvens adequado para utilização. As nuvens formam um anteparo entre os sensores e a superfície da terra, causando alteração nos valores de cada banda utilizada, interferindo no resultado. A data do satélite Sentinel-2 foi adotada como padrão para cálculos, pois é o satélite que contém maior número de bandas inseridas nos cálculos, enquanto o satélite Landsat-8 utiliza apenas a banda 10, no Sentinel-2 utilizou-se as bandas 2, 3,4 e 8.

A evapotranspiração é estimada como um resíduo do balanço de energia. O saldo de radiação à superfície (R_n) e o fluxo de calor no solo (G) são computados considerando relações diretas com os dados espectrais orbitais. Para isso, leva-se em conta, características da superfície, como albedo, temperatura e propriedades da vegetação. Já o fluxo de calor sensível (H) assume uma função linear entre a temperatura da superfície (T_s) e o gradiente de temperatura do ar próximo à superfície

e, juntamente com dados meteorológicos, permite a estimativa desse parâmetro' (PROFETA, 2017)

O cálculo de evapotranspiração se dá pela equação 1:

$$ET = R_n - G - H \quad (1)$$

O valor do saldo de radiação de energia para a superfície (R_n), é obtido utilizando as próprias bandas dos satélites através da fórmula descrita por Andrade et al. (2009):

$$\alpha = 0,160\rho_1 + 0,291\rho_2 + 0,243\rho_3 + 0,116\rho_4 + 0,112\rho_5 + 0,081\rho_7 - 0,0015 \quad (2)$$

ρ_1 , ρ_2 , ρ_3 , ρ_4 , ρ_5 e ρ_7 são dados de refletâncias provenientes das imagens de satélites previamente selecionadas, no estudo para esse cálculo foram utilizadas apenas as bandas número quatro (B04), três (B03), dois (B02) e oito (B08) que possuem resolução de 10m, resultando na seguinte fórmula:

$$\alpha = 0,160B02 + 0,291B03 + 0,243B04 + 0,116B08 \quad (3)$$

Prosseguindo no cálculo do saldo de radiação de energia para a superfície (R_n), é necessário obter valores de emissividade, para este cálculo foi utilizada fórmula proposta por Van de Griend e Owe (1993), que padroniza o índice de vegetação da região e pode ser replicada para diferentes áreas e culturas. A fórmula pode ser demonstrada por:

$$Emissividade = a + b \ln (NDVI)$$

(4)

Sendo: $a = 1,0094$ e $b = 0,04$.

Com o intuito de aprimorar os resultados o NDVI foi substituído pelo EVI, já que este índice é mais sensível quando comparado ao NDVI, pois leva-se em consideração o vermelho e infravermelho assim como o NDVI, mas utiliza, também, a banda do azul com intuito de descontar influências atmosféricas no índice, podendo ser utilizado em áreas que contém mais água, fornecendo mais precisão para áreas irrigadas (Huete et al., 1997). Para calcular o EVI foi utilizada a fórmula:

$$EVI = 2,5 \times \frac{NIR - R}{1 + NIR + 6R - 7,5B}$$

(5)

Em que: NIR significa o espectral de infravermelho próximo, e R e B os espectrais vermelho e azul respectivamente (Huete et al., 1997).

A fórmula adaptada para o modelo utilizando as imagens de satélite foi:

$$EVI = 2,5 \times \frac{B4}{(1 + B8) + (6 * B4) - (7.5 * B2)}$$

(6)

O saldo de radiação de energia para a superfície (R_n) é expresso na equação 7 (Allen et al., 2002):

$$R_n = (1 - \alpha) R_s \downarrow + R_l \downarrow - R_l \uparrow - (1 - \epsilon_0) R_l \downarrow$$

(7)

A radiação de onda curta incidente ($R_{s\downarrow}$) corresponde ao fluxo de radiação solar (direta e difusa) que atinge a superfície terrestre e que para condição de céu claro foi obtida, segundo Allen et al. (2007), a partir da seguinte equação:

$$R_s \downarrow = C_s \times \cos\theta \times d_r \times \tau_{sw}$$

(8)

Sendo C_s a constante solar (1367 W/m^2), a variável dr é o inverso da distância entre a Terra e o sol ao quadrado, τ_{sw} é a transmissividade atmosférica e θ o ângulo de incidência solar que foram calculados utilizando as seguintes fórmulas (Allen et al., 2002):

$$dr = 1 + 0,033 \cos DOY \times 2\pi 365 \quad (9)$$

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2 \times 10^{-5} \times Z \quad (10)$$

$$\theta = \arccos [-\tan(Lat) \times \tan(\delta)] \quad (11)$$

Onde DOY vem do inglês “day of year”, que representa o dia do ano sequencial, ou seja, calcula-se o dia corrido para a data de interesse.

Z é a elevação em relação à altura do mar, em metros;

Lat é a latitude do local em radianos, tratando-se do hemisfério sul, considera negativa essa latitude;

δ representa o ângulo correspondente à declinação solar, que é calculado pela equação 12:

$$\delta = 0,409 \times \text{sen} (2\pi 365 \times DOY - 1,39) \quad (12)$$

É necessário calcular a radiação de onda longa incidente, emitida pela atmosfera na direção da superfície (em W/m^2), esta pode ser obtida através da equação de Stefan-Boltzmann:

$$Rl \downarrow = \varepsilon_a \times \sigma \times T_a^4 \quad (13)$$

σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$) e ε_a é a

emissividade atmosférica, calculada segundo modelo proposto por Bastiaanssen et al. (1998), pela fórmula:

$$\varepsilon_a = 0,85 \times (-\ln \tau_{sw})^{0,09} \quad (14)$$

Ta é a temperatura do ar da superfície próxima (K), e foi obtida das estações meteorológicas da região, disponíveis pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

O valor de emissividade calculado nessa equação não condiz com valores reais, a equação estima uma constante de 85 % e não considera nenhuma condição de campo, que pode impactar de forma diferente em cada situação (Bastiaanssen et al., 1998).

Para obter valores mais adequados de emissividade foi utilizada a fórmula proposta por Van de Griend e Owe (1993), que também não representa com exatidão os valores da emissividade atmosférica, porém, nos fornece resultados mais próximos da realidade que a equação 14.

Por fim, a última variável desta equação é a $Rl \uparrow$, que representa o fluxo de radiação de onda longa emitida pela Terra em direção a atmosfera descrita também pela equação de Stefan-Boltzmann podendo ter resultados variando entre 200-700 W/m²:

$$Rl \uparrow = \varepsilon_0 \times \sigma \times T_s^4 \quad (15)$$

Para dar continuidade ao cálculo de RN é necessário obter valores de $Rl \uparrow$ que indica o fluxo de radiação de onda longa emitida pela Terra em direção a atmosfera. Apresentada pela equação de Stefan-Boltzmann:

$$Rl \uparrow = \varepsilon_0 \times \sigma \times T_s^4 \quad (16)$$

σ é um valor fixo, constante de Stefan-Boltzmann ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$), utilizada também no cálculo de $Rl \downarrow$. T_s é a temperatura da superfície (K) e ε_0 a emissividade da superfície de banda larga que pode ser calculada de acordo com a equação abaixo:

$$\varepsilon_0 = 0,95 + 0,01 \text{ IAF} \quad (17)$$

Onde IAF significa índice de área foliar, é uma estimativa da biomassa de toda a parte vegetativa da planta que é basicamente um índice que representa a quantidade de folhas em uma parcela de área sendo proposto por Allen et al. (2002) na equação 18:

$$\text{IAF} = \ln \frac{(0,69 - \frac{\text{SAVI}}{0,59})}{0,91} \quad (18)$$

Em que SAVI representa o índice de vegetação ajustado do solo e pode ser expresso na equação 19:

$$\text{SAVI} = \frac{(1 + L)(B08 - B04)}{(L + B08 + B04)} \quad (19)$$

O índice SAVI busca reduzir a influência do solo nos índices de vegetação, a partir da inclusão de um fator de correção (L), no caso foi utilizado L=0,5. B08 e B04, representam os valores das bandas oito e quatro do satélite Sentinel-2.

A última variável a ser calculada para o fluxo de radiação de onda longa emitida pela Terra em direção a atmosfera é a temperatura da superfície, processo o qual foi necessário a utilização de sensor termal infravermelho (TIRS) obtido pela banda 10 do satélite Landsat-8, onde imagem infravermelha termal é possível calcular a temperatura da superfície através das seguintes equações (Coelho: Correa, 2013):

$$L_\lambda = Ml \times B10 + A_L \quad (20)$$

$$T_s = \frac{K2}{\ln \left(\frac{K1}{L_\lambda} + 1 \right)} \quad (21)$$

L_λ significa a radiância espectral e deverá estar em Watts (m^2 ; sr; μm). B10 representa a própria banda de número 10 do satélite Landsat-8. Ml é um fator

multiplicativo de redimensionamento da banda 10 (3.3420×10^{-4}) que pode ser obtido pelo metadado do satélite e A_L é um fator de redimensionamento da mesma banda com o valor de 0,1 também obtido por metadados. K2 é um fator de calibração relacionada com a constante K, sendo expressa da seguinte maneira (1.321,08 K) e K1 outra constante também relacionada com K, expressa por (774.89 K). A temperatura da superfície (T_s), nessa equação será obtida na escala Kelvin.

Após finalizar o cálculo de RN é possível dar sequência ao cálculo de evapotranspiração, para isso é necessário obter valores de fluxo instantâneo de calor no solo (G), de acordo com Banstiaanssen (2000) pode ser expressa pela equação 22:

$$G = \frac{T_s}{\alpha} \times (0,0038 \alpha + 0,0074 \alpha^2) \times (1 - 0,98 \times EVI^4) \times Rn \quad (22)$$

Na equação original, no lugar de EVI, se utilizava valores de NDVI, porém, como dito anteriormente, valores de EVI representam com maior precisão áreas irrigadas (Huete et al., 1997).

T_s é igual a temperatura da superfície e diferentemente da equação anterior é necessário que se converta de graus Kelvin para graus Celsius. α representa o albedo instantâneo e Rn o saldo de radiação para superfície, ambos já calculados.

A última variável a ser calculada é o fluxo de calor sensível instantâneo (H) que pode ser calculado pela equação:

$$H = \frac{(\rho \times c_p \times dT)}{r_{ah}} \quad (23)$$

Sendo ρ a densidade do ar úmido em que se utiliza para questão de cálculo um valor de $1,15 \text{ kg/m}^3$, c_p é o calor específico do ar à pressão constante que para questão de cálculo se utiliza o valor de $1004 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \times \text{K}$, dT a diferença de temperatura (K) substituídos pelos dados obtidos através das estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia. r_{ah} é a resistência aerodinâmica para transporte de calor, calculada pela equação 24:

$$r_{ah} = \frac{\ln\left(\frac{z_1}{z_2}\right)}{u \times k} \quad (24)$$

Onde z_1 e z_2 são valores de altura em metros de dois pontos superiores ao plano zero da vegetação. u é a velocidade de fricção em m/s, que pode indicar turbulência na velocidade no ar. k é a constante de Von Karman's igual a 0.41. Utilizou-se a seguinte fórmula para o cálculo de u .

$$u = \frac{ku_x}{\ln\left(\frac{z_x}{z_{om}}\right)} \quad (25)$$

k é a mesma constante de Von Karman's (0.41) utilizada na equação anterior, u_x a velocidade do vento (m/s) na altitude z_x e z_{om} indica o comprimento da rugosidade momentânea (m), sendo uma medida de fricção entre a camada de ar que interage com a superfície.

Após todos os cálculos anteriores foi possível determinar a evapotranspiração para a área desejada.

5.3 Comparação das estimativas de evapotranspiração e pelo método Penman Monteith-FAO

O Método de Penman-Monteith FAO (Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação) é destinado ao cálculo da evapotranspiração de referência ETo em mm.dia^{-1} , sendo a cultura de referência um gramado com 12cm de altura. Para este cálculo se utiliza o valor de albedo de 0,23 e a resistência superficial de 70 s/m. A Comissão Internacional de Drenagem (ICID) juntamente com a FAO, consideram este método como padrão de cálculo de evapotranspiração de referência a partir de dados meteorológicos, pois considera a influência dos estomas à transpiração e a influência da resistência aerodinâmica de uma certa cultura à passagem de massas de ar (Smith et al., 1991). O Boletim nº 56 de Allen et al. (1998) da FAO apresenta o cálculo da evapotranspiração de referência (ETo) conforme a equação abaixo descrita:

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (RN - G) + y \frac{900}{T + 273} u_2 (es - ea)}{\Delta + y(1 + 0.34u_2)}$$

(26)

Em que:

" Δ " é a declividade da curva de pressão de vapor em relação à temperatura (kPa°C⁻¹);

"Rn" é o saldo de radiação diário (MJm⁻² dia⁻¹);

"G" é o fluxo total diário de calor no solo (MJm⁻² dia⁻¹);

" γ " é o coeficiente psicrométrico (kPa°C⁻¹);

"U2" é a velocidade do vento a 2 m de altura (m s⁻¹);

"es" é a pressão de saturação de vapor (kPa);

"ea" é a pressão atual de vapor (kPa);

"T" é a temperatura média do ar (° C).

O valor de " Δ " é calculado pela seguinte expressão:

$$\Delta = \frac{4098 \left[0,6108 \exp \left(\frac{17.27T}{T + 237.3} \right) \right]}{(T + 237.3)^2}$$

(27)

De modo que: "exp" refere-se à base do logaritmo natural "e" (2,71828) elevada ao valor que está entre parêntesis.

O coeficiente "y" é calculado empregando-se a expressão:

$$y = 0.665 \cdot 10^{-3} \cdot Patm$$

(28)

Patm é a pressão atmosférica local que utiliza a altitude (z). como base de cálculo demonstrado pela equação 29.

$$Patm = 101,3 \left(\frac{293 - 0.0065z}{293} \right)^{5.26}$$

(29)

Em que: "z" é a altitude do local (m);

"ea": a pressão de saturação de vapor (kPa);

"es": a pressão atual de vapor (kPa)

Essas variáveis são utilizadas para a obtenção do déficit de saturação, obtido pela diferença entre "es" e "ea", os valores podem ser calculados utilizando-se as seguintes expressões:

$$es = 0.6108 \exp\left(\frac{17.27T}{T + 237.3}\right)$$

(30)

$$ea = \frac{es UR}{100}$$

(31)

Em que UR significa umidade relativa, dado obtido na estação meteorológica.

Caso a estação meteorológica local não possua dados de radiação (Rn), se calcula o valor a partir da radiação extraterrestre (Ra), da radiação solar (Rs), da duração do brilho solar (N), do saldo de radiação de onda curta e do saldo de radiação de onda longa. Tem-se percebido comum o uso de sensores de Rn em estações automáticas, porém, para o caso da região analisada, este sistema ainda não foi implementado, sendo necessário a utilização da equação descrita abaixo:

$$Rn = Rns - Rnl$$

(32)

O cálculo do saldo de radiação de ondas curtas (Rns) se dá pela seguinte equação:

$$Rns = (1 - \alpha)Rs$$

(33)

Onde: "Rs" é a radiação solar incidente ($\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$), medida na estação meteorológica;

" α ": é o coeficiente de reflexão da vegetação (albedo), sendo considerado igual a 0,23 para a cultura de referência (grama).

O saldo de radiação de ondas longas (Rnl) pode ser obtido com a utilização da equação 34:

$$Rnl = \sigma \left[\frac{(Tmax + 273.16)^4 + (Tmin + 273.16)^4}{2} \right] (0.34 - 0.14\sqrt{ea}) \left(1.35 \frac{Rs}{Rso} - 0.35 \right) \quad (34)$$

Em que:

- " σ " é a constante de Stefan-Boltzmann ($4,903 \cdot 10^{-9} \text{ MJm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$);
- "Tmax" e "Tmin" são, respectivamente, a temperatura máxima e mínima do dia ($^{\circ}\text{C}$);
- "Rs" é a radiação solar incidente ($\text{MJm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$);
- "Rso" é a radiação solar incidente e na ausência de nuvens ($\text{MJm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$);
- "ea" é a pressão atual de vapor (kPa), calculado na equação 31.

Para estimar o valor de Rso se utiliza a equação 35:

$$Rso = (0.75 + 2 \cdot 10^{-5}z)Ra \quad (35)$$

De modo que:

"z": é a altitude em metros;

"Ra" é a radiação solar no topo da atmosfera ($\text{MJm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), calculada por:

$$Ra = \frac{118.08}{\pi} dr [\omega_s \text{sen}(\varphi)\text{sen}(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \text{sen}(\omega_s)] \quad (36)$$

A variável " φ " representa a latitude do local, dr representa a distância inversa relativa entre a Terra e o Sol, o ângulo horário ao nascer do sol é representado pela variável " ω_s " e " δ " representa a declinação solar. Estes valores são calculados em radianos pelas equações 37,38 e 39.

$$dr = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{2\pi}{365}J\right) \quad (37)$$

$$\delta = 0,409 \sin\left(\frac{2\pi}{365}J - 1,39\right) \quad (38)$$

$$\omega_s = \frac{\pi}{2} - \arctan\left[\frac{-\tan(\varphi)\tan(\delta)}{X^{0,5}}\right] \quad (39)$$

O valor de x pode ser obtido por meio da expressão de número 40

$$X = (1[-\tan(\varphi)^2 \tan(\delta)^2]) \quad (40)$$

Quando o valor de X for \leq a 0, utiliza-se o valor de 0,00001.

O Fluxo de calor no solo " G ", variável necessária na equação 26 normalmente são registrados em escala diária, e medidos em estações meteorológicas. Este valor pode ser considerado como sendo igual a zero, quando não houver medições disponíveis (ALLEN et al., 1998).

O valor de " R_s " é necessário para a estimativa de " R_n ", último parâmetro a ser calculado. Este valor pode ser obtido por estações meteorológicas convencionais ou automáticas, contudo, nem todas dispõem de registros de " R_s ". No caso do estudo as estações não proviam estes dados, apresentando assim, a necessidade de estimá-la. A estimativa de " R_s " foi realizada utilizando-se os valores de " T_{max} " e " T_{min} " por intermédio da fórmula 41. Em que " K_{R_s} " é um coeficiente empírico igual a 0,16 para regiões continentais e 0,19 para regiões costeiras.

$$R_s = K_{RS} R_a \sqrt{(T_{mas} - T_{min})}$$

(41)

Todos os dados meteorológicos e de temperatura do ar foram obtidos de forma gratuita pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). As estações meteorológicas que foram utilizadas para coleta de dados, estão localizadas em Brasília e no Paranoá, escolhidas pois eram as mais próximas da área de estudo, o PAD-DF. Foram utilizados valores de temperaturas mínimas, máximas e médias para cada data e diferentemente do método anterior, neste foi possível inserir no cálculo a altitude de cada pivô.

Maio					
PIVÔ	Data	Altitude (m)	T° Max	T° Min	T° MED
52	05/05/2018	907	26	16,4	21,2
55	05/05/2018	889	26	16,4	21,2
59	05/05/2018	972	26	16,4	21,2
Junho					
52	29/06/2018	907	24,2	13	18,6
55	29/06/2018	889	24,2	13	18,6
59	29/06/2018	972	24,2	13	18,6
Julho					
52	27/07/2018	907	25,7	11,9	18,8
55	27/07/2018	889	25,7	11,9	18,8
59	27/07/2018	972	25,7	11,9	18,8
Agosto					
52	28/08/2018	907	26	16,4	21,2
55	28/08/2018	889	26	16,4	21,2
59	28/08/2018	972	26	16,4	21,2

Tabela 3: Datas, Altitudes e temperaturas mínimas, médias e máximas utilizadas nos cálculos de Etrc pelo método Penman-Monteith FAO..

Para possibilitar a comparação das estimativas, foram calculados os valores de evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith FAO. Os cálculos de evapotranspiração pelo modelo SEBAL resultam em valores de evapotranspiração real e pela equação de Penman Monteith, resulta em valores de evapotranspiração de referência. Essa referência superestima os valores obtidos sendo necessário corrigi-

los de acordo com a cultura desejada. No experimento foram utilizados valores de Kcs (coeficientes da cultura) para a cultura do trigo, de 0,70 (fase inicial), 1,57 (meio da estação e, ou, alongação e emborrachamento) e 0,60 (final da estação de crescimento) (Guerra et al. 2003).

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As adaptações realizadas ao modelo SEBAL basearam-se na escolha de outras equações para determinação do albedo e emissividade, descrita por Andrade (2009) e Van de Griend e Owe (1993), também foram substituídos valores de NDVI por valores de EVI e se desprezou o valor de calor sensível (H), pois de acordo com Allen et al. (2002), para que se possa calcular o calor sensível (H) é necessário determinar dois tipos de pixels, chamados de pixel “âncoras”, um pixel chamado de “frio” e um de “quente”, onde o pixel “frio” se localizaria ao longo da área analisada em um ponto de maior umidade, e o pixel “quente” abrangeria uma área de solo exposto. Para áreas de pixel “frio” considera-se o valor de calor sensível igual a 0, pois uma parte da energia disponível para superfície é utilizada nos processos de evapotranspiração e desta maneira a maior parte do R_n é constituída do fluxo de calor latente. Como a região analisada é uma área de plantio de trigo, conduzido por sistema de irrigação do tipo pivô central, pode-se considerar que a umidade do local sempre estará em níveis satisfatórios e com isso assume-se que existam apenas o pixel “frio” assumindo assim um calor sensível igual à zero nestas áreas de interesse. Essas alterações se mostraram eficientes, pois além de reduzir a dificuldade dos cálculos garantiu valores próximos aos valores obtidos pelo método de Penman-Monteith FAO 56, para a cultura do trigo. Os gráficos abaixo demonstram os valores mínimos, médios e máximos de evapotranspiração real, em mm dia^{-1} para cada pivô pelo algoritmo SEBAL.

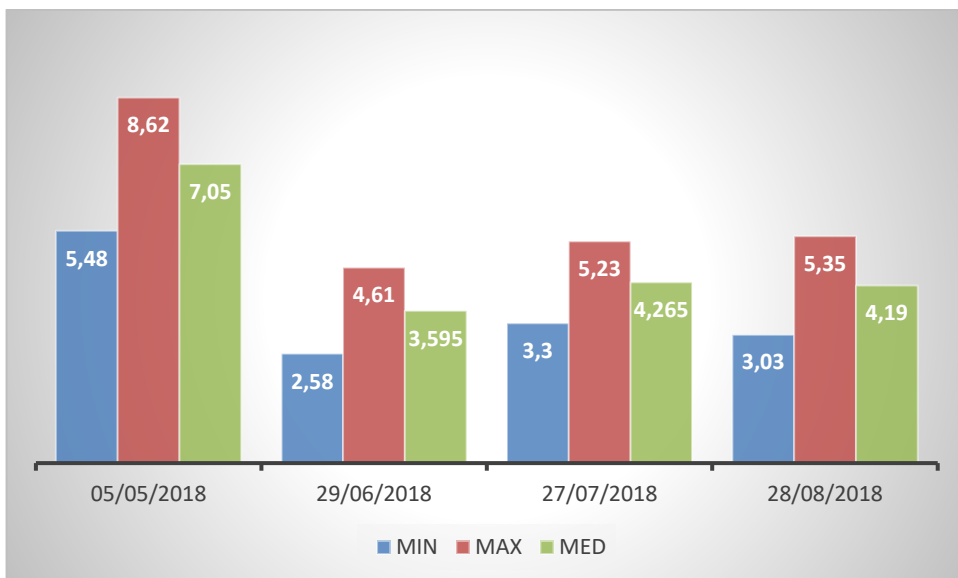


Gráfico 1: Valores de evapotranspiração Mínima, Máxima e Média em mm dia⁻¹ do Pivô 52.

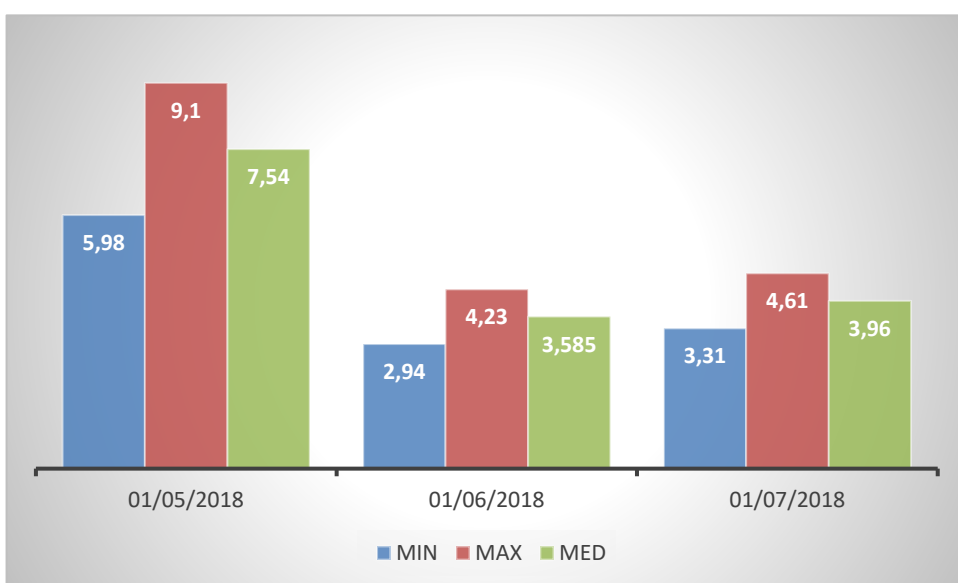


Gráfico 2: Valores de evapotranspiração Mínima, Máxima e Média em mm dia⁻¹ do Pivô 55.

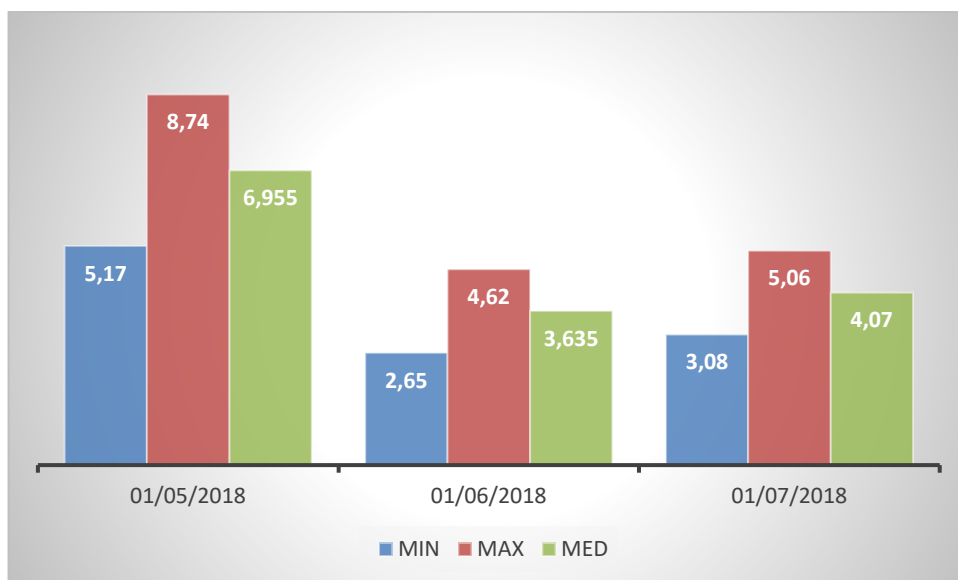


Gráfico 3: Valores de evapotranspiração Mínima, Máxima e Média em mm dia⁻¹ do Pivô 59.

Foi possível verificar que os meses de maio e julho apresentaram os maiores valores de evapotranspiração e que em nenhuma das datas utilizadas foi registrada precipitação, sendo excluída toda a possibilidade de interferência dessa nos resultados.

De acordo com Freitas et al. (2012), a evapotranspiração tende se elevar com o aumento da água disponível no solo, por se tratar de sistemas irrigados é possível obter valores de evapotranspiração elevados.

Os valores estimados estão de acordo com os obtidos por Kobayashi et al. (2011), que quantificou valores de Etrc, que é quantidade de água transferida para a atmosfera por evaporação e transpiração, na unidade de tempo, de uma superfície extensa completamente coberta de vegetação de porte baixo e bem suprida de água e após isso corrigida pelo coeficiente da cultura do trigo (Kc) .cultivado em sistema de pivô central na cidade de Uberaba-MG. Para estimativa de Etrc foram utilizados vários métodos baseados no balanço de água no solo, em que o valor máximo atingido foi de 6,61 mm.dia⁻¹ e o mínimo de 2,54 mm.dia⁻¹.

Ao verificar valores obtidos por Espinoza et al (1980), que avaliou os efeitos da irrigação sobre variedade de trigo nativas (IAS-55, BH-1146, IAC-5) e variedades introduzidas (sonora-63 e Tanori-F-71) que utilizou o método de balanço hídrico descrito por Reichardt (1974) para estimativa de evapotranspiração, durante o período de junho a setembro, no campo experimental do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados - CPAC, situado próximo a Brasília-DF. Sendo essa, a mesma região

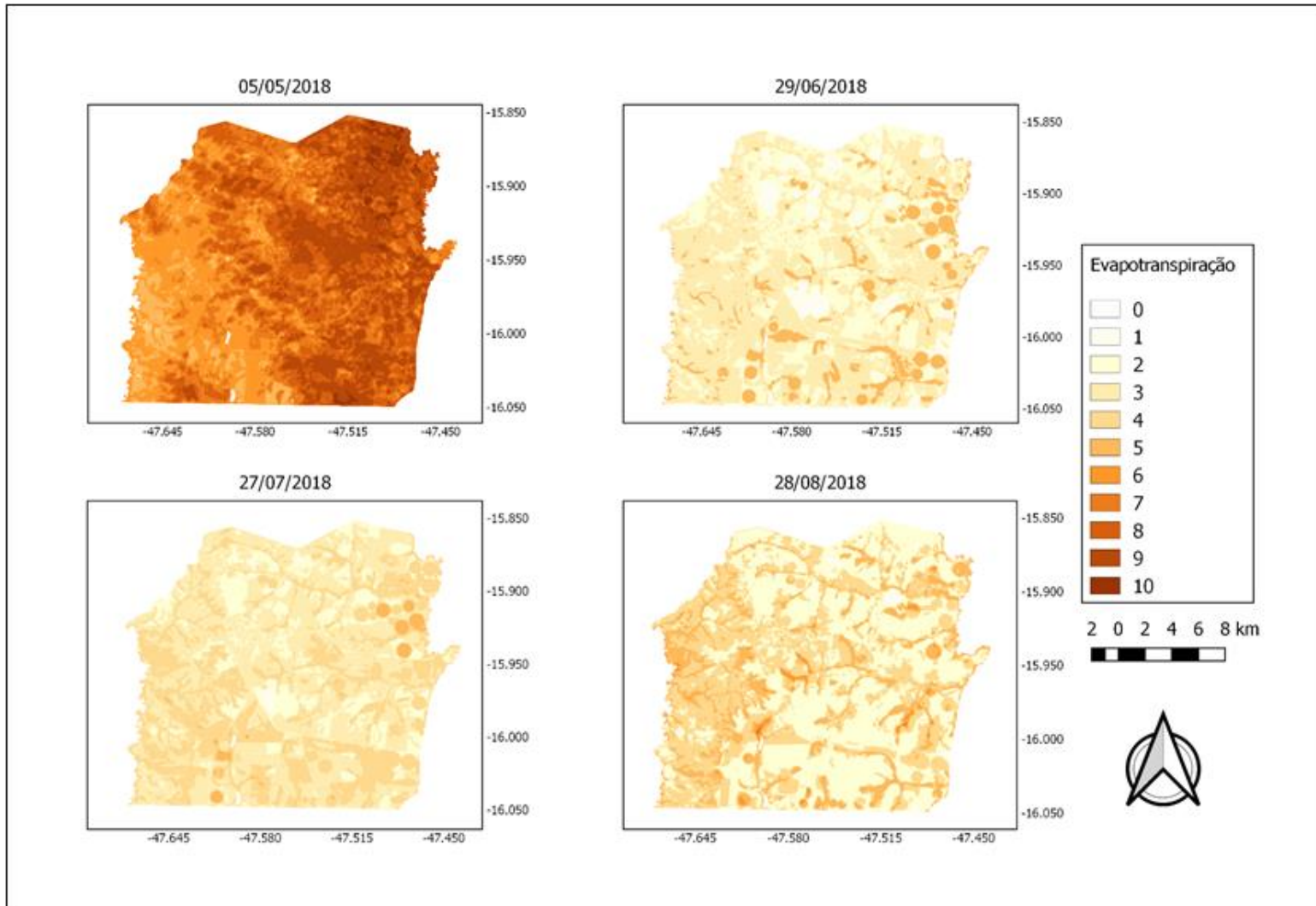
em que o presente estudo foi realizado. O autor obteve valores de evapotranspiração média de 5,6 mm dia⁻¹ para o mês de junho, 5,89 mm dia⁻¹ para o mês de julho, 7,23 mm dia⁻¹ para o mês de agosto e 4,9 mm dia⁻¹ para o mês de setembro.

Garrido et al (1978) para a condição de viçosa MG, determinaram que a evapotranspiração total do ciclo do trigo foi de 378,4 mm ao mês, tendo uma média de 12.1 mm.dia⁻¹, valor bem superior aos obtidos no presente estudo.

Libardi (1997), utilizou três lisímetros com lençol freático constante, através dos quais obteve os valores da evapotranspiração máxima para cultura do trigo. sendo de 347,2 mm ao longo de 115 dias de ciclo ou de um consumo diário médio de aproximadamente 3,02 mm.dia⁻¹.

A Figura 6 representa a evolução da evapotranspiração da região do PADF, incluindo áreas agrícolas e não agrícolas, de forma temporal, ressaltando as cores mais intensas para evapotranspirações maiores e cores menos intensas para evapotranspirações menores.

Figura 6: Mapa de evolução da Evapotranspiração na região do PAD-DF.



Foi possível verificar que o mês de maio apresentou uma alta taxa de evapotranspiração, não sendo possível diferenciar áreas agrícolas irrigadas de áreas não irrigadas devido ao fim do ciclo de culturas de verão e presença de precipitações ao longo do mês que mantiveram o nível de água no solo elevado. Já nos três meses seguintes; junho, julho e agosto, percebe-se que as áreas que possuem maiores taxas de evapotranspiração são culturas de inverno estabelecidas em sistema de irrigação do tipo pivô central, devido à área circular e presença de plantio no período analisado.

Observou-se uma diferença nos valores de evapotranspiração dentro de um mesmo pivô central durante o período. Mesmo se tratando de uma mesma localidade e condições muito parecidas, ocorreu uma variação significativa entre os valores obtidos, como demonstram as figuras 7, 8, 9 e 10.

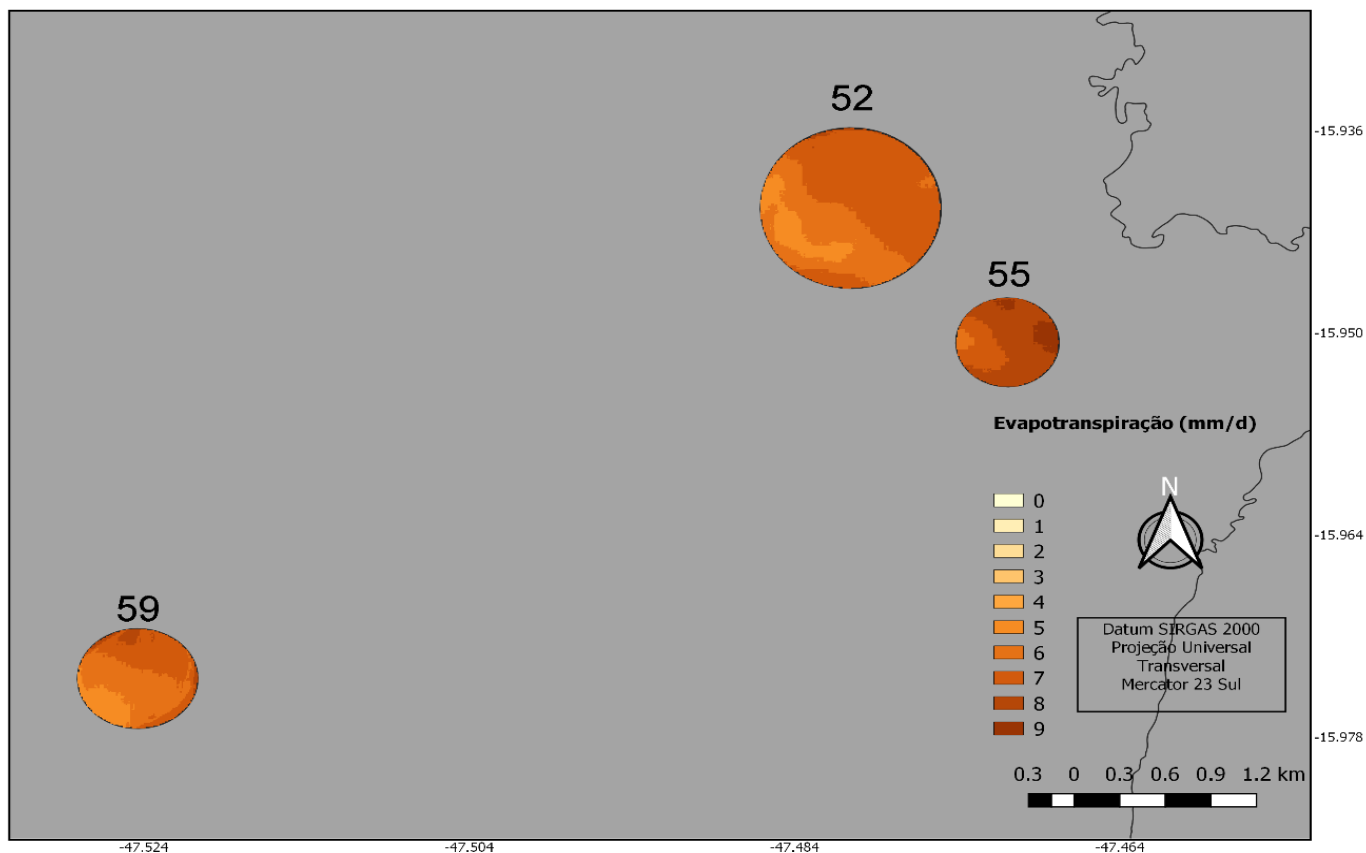


Figura 7: Mapa de evolução da Evapotranspiração na região do PAD-DF no mês de maio.

Durante a data analisada no mês de maio, o pivô 52 apresentou uma evapotranspiração real mínima de $5,48 \text{ mm.dia}^{-1}$ e máxima de $8,62 \text{ mm.dia}^{-1}$ com variação entre mínima e máxima ao longo do dia de $3,14 \text{ mm.dia}^{-1}$. O Pivô 55 apresentou uma mínima de $5,98 \text{ mm.dia}^{-1}$ e uma máxima de $9,1 \text{ mm.dia}^{-1}$ tendo uma variação de $3,12 \text{ mm.dia}^{-1}$. O pivô 59 obteve uma mínima de $5,17 \text{ mm.dia}^{-1}$ e máxima de $8,74 \text{ mm.dia}^{-1}$ com uma diferença de $3,57 \text{ mm.dia}^{-1}$. Essa diferença de evapotranspiração pode ser atribuída a áreas de compactação no solo, influenciando na infiltração da água e no desenvolvimento radicular da cultura, também é possível atribuir essa variação a um desenvolvimento vegetativo desuniforme. Porém, é necessária uma verificação a nível de campo para validar qualquer afirmação.

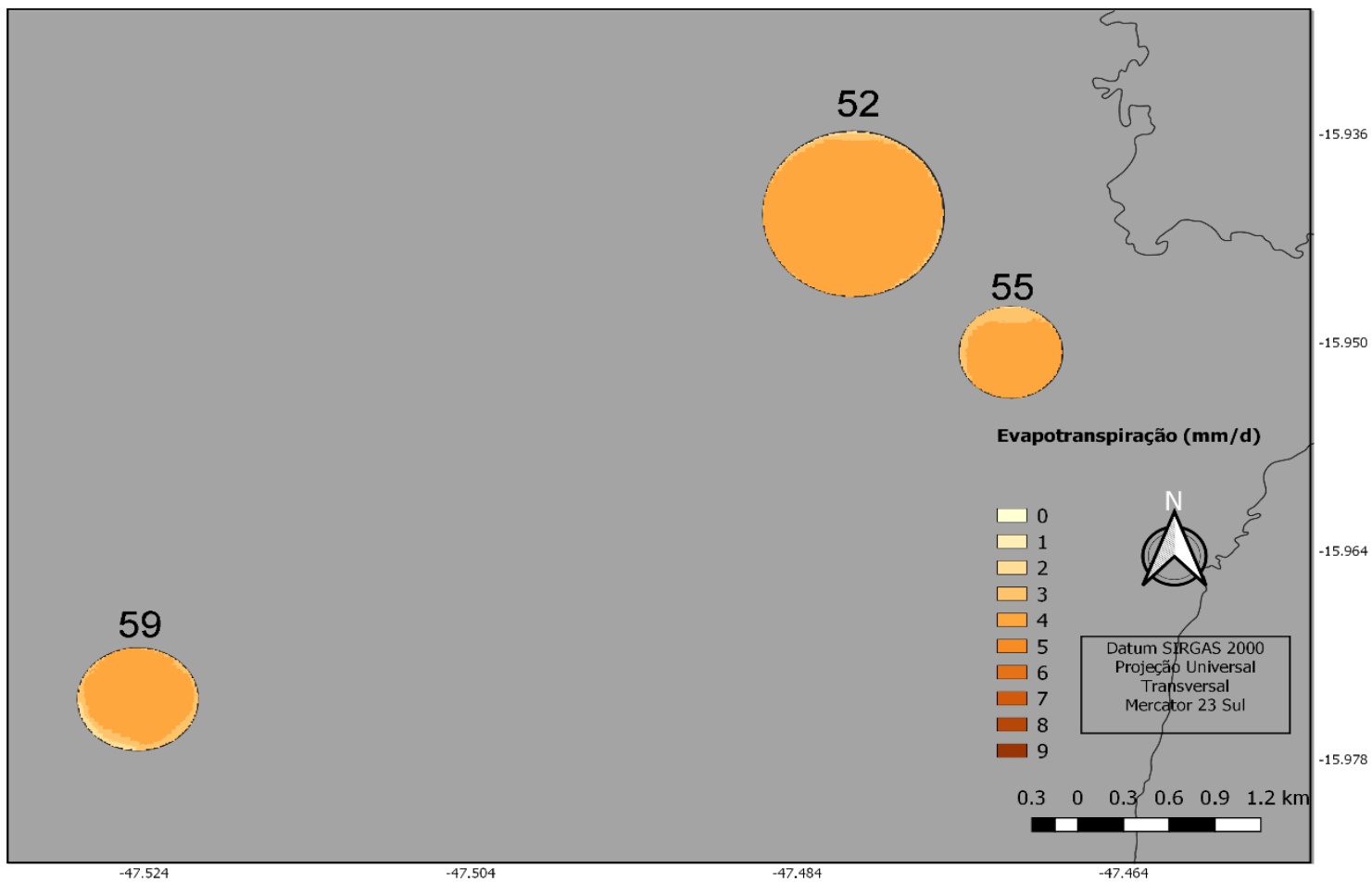


Figura 8: Mapa de evolução da Evapotranspiração na região do PAD-DF no mês de junho.

No dia analisado no mês de junho, conforme a figura 8, os valores obtidos referentes ao pivô 52 foram de: 2,40 mm.dia-1 mínima e máxima de 4,61 mm.dia-1; com diferença de 2,21 mm.dia-1. No pivô 55 teve-se a mínima de 2,94 mm.dia-1 e máxima de 4,23 mm.dia-1, sendo sua diferença de 1,29 mm.dia-1. E o pivô 59, mínima de 2,64 mm.dia-1 e máxima de 3,92 mm.dia-1; diferença de 1,98 mm.dia-1. O mapa demonstra uniformidade nos valores de evapotranspiração ao longo da área, diferentemente do mês anterior, evidenciando uma redução na disponibilidade hídrica para a cultura.

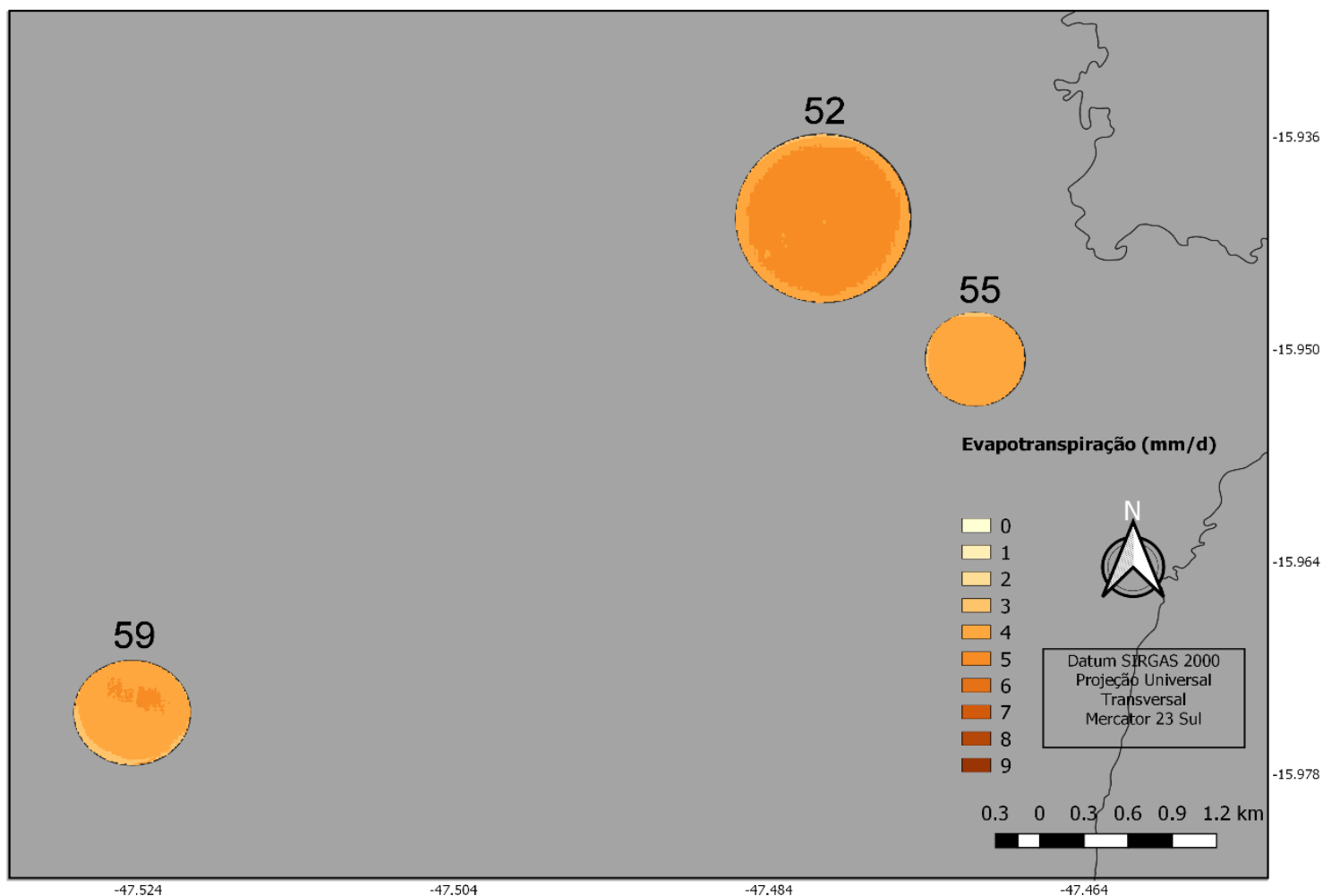
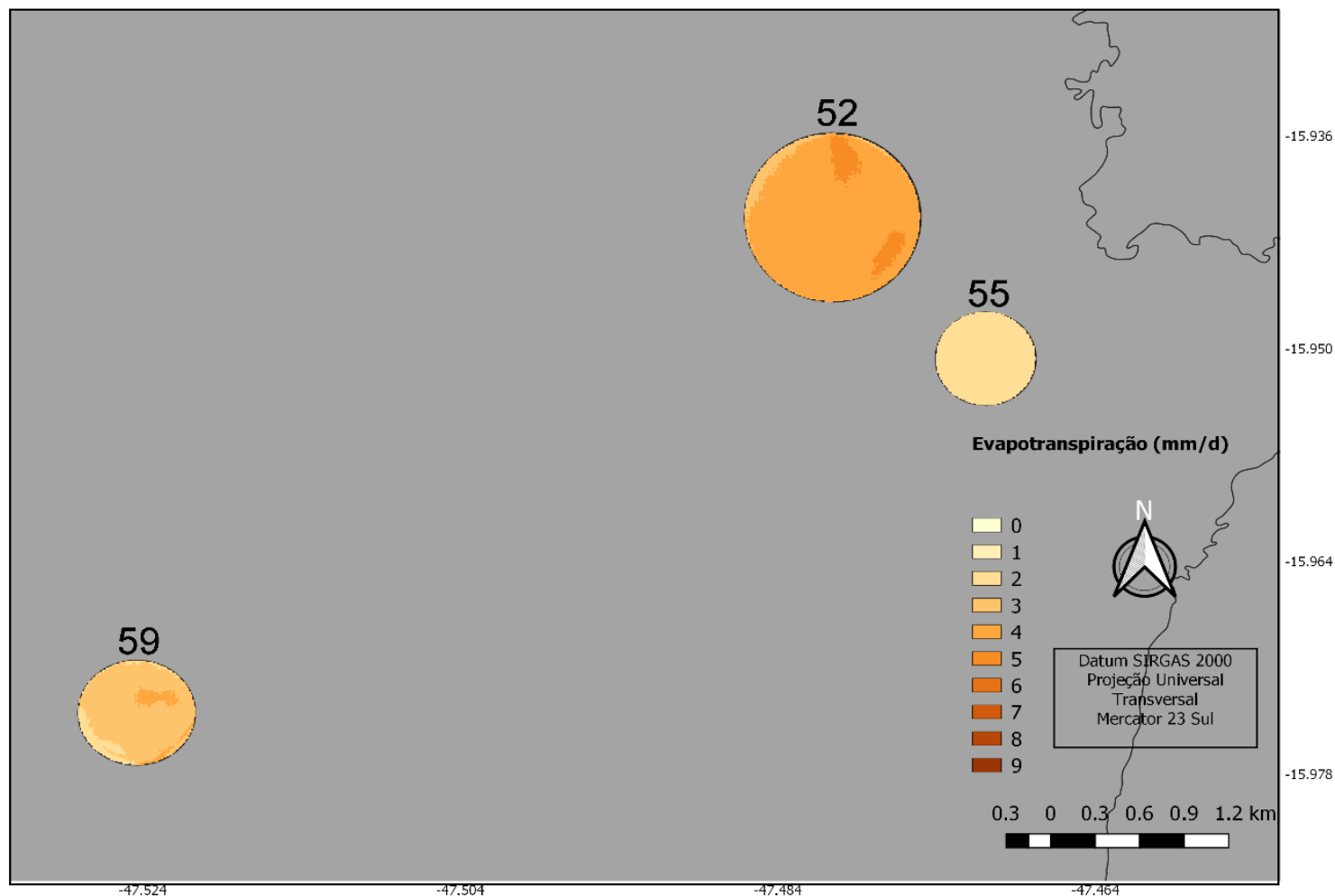


Figura 9: Mapa de evolução da Evapotranspiração na região do PAD-DF no mês de julho.

Para o dia apresentado no mês de julho, os dados obtidos foram de mínima de 3,3 mm.dia⁻¹, e máxima de 5,23 mm.dia⁻¹, no pivô 52, tendo como diferença o valor de 1,93 mm.dia⁻¹. O pivô 55 os valores foram: mínima 3,31 mm.dia⁻¹, e máxima de 4,61 mm.dia⁻¹, diferença de 1,3 mm.dia⁻¹. O pivô 59 demonstrou mínima de 3,08 mm.dia⁻¹, máxima de 5,06 mm.dia⁻¹, sendo sua a diferença de 1,98 mm.dia⁻¹.

Figura 10: Mapa de evolução da Evapotranspiração na região do PAD-DF no mês de agosto.



Por fim, os dados obtidos referente à data do mês de agosto foram de mínima de $9,03 \text{ mm.dia}^{-1}$, e máxima de $5,35 \text{ mm.dia}^{-1}$, variação de $3,67 \text{ mm.dia}^{-1}$ entre os dois valores do pivô 52. Ao realizar uma análise visual na imagem do satélite Sentinel-2 durante a data analisada, verificou-se solo exposto nos pivôs 55, 59.

A variação de valores de evapotranspiração real em uma mesma área de pivô central, possibilita um manejo hídrico eficiente. A velocidade de giro do pivô e a vazão podem ser alteradas de acordo com a evapotranspiração da parcela analisada, parcelas com maiores evapotranspirações necessitarão de maior reposição hídrica e parcelas com menores necessitarão de reposições menores.

Para que fosse possível realizar uma comparação dos valores obtidos pelo algoritmo SEBAL, a evapotranspiração foi calculada pelo método Penman-Monteith FAO 56, obtendo-se assim valores diários de evapotranspiração da cultura do trigo, apresentados no gráfico 4.

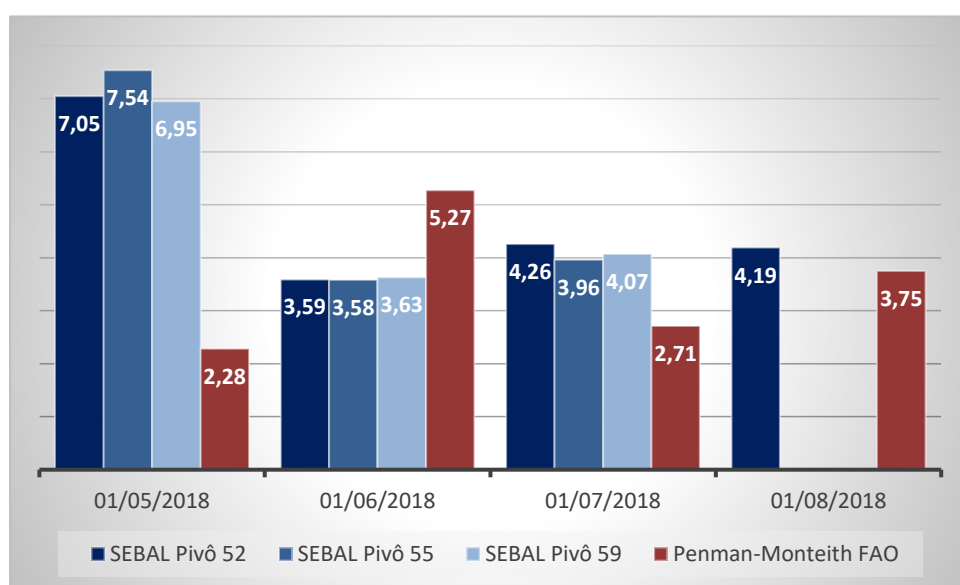


Gráfico 4: Comparação de valores de evapotranspiração da cultura do trigo pelo algoritmo SEBAL e Penman-Monteith FAO. **Fonte:** Autor.

No cálculo de evapotranspiração pelo método de Penman-Monteith FAO foram utilizados dados das estações meteorológicas de Brasília e Paranoá, que estão ambas situadas a mais de 30 quilômetros de distância do local de análise, com isso, não representa de forma fiel a evapotranspiração dos pivôs. Os valores de altitude e latitude utilizados para o cálculo foram obtidos de acordo com o posicionamento central de cada pivô, porém não foi possível observar variação entre os valores de evapotranspiração obtidos para cada área. Para que fosse possível diferir os valores e estimar com precisão a evapotranspiração de cada localidade analisada, seria necessário a instalação de uma estação meteorológica em cada ponto.

Verificou-se que o algoritmo SEBAL obteve valores de evapotranspiração de 7.05; 7.54; 6.95 mm dia⁻¹ para o mês de maio, enquanto Penman-Monteith FAO obteve 2,28 mm dia⁻¹. Para o mês de junho os valores obtidos pelo SEBAL, foram de 3.59; 3.58 e 3.63 mm dia⁻¹, enquanto Penman-Monteith FAO apresentou valores de evapotranspiração de 5,27 mm dia⁻¹. Para o mês de julho o SEBAL apresentou valores de evapotranspiração de 4.26; 3.96 e 4.07 mm dia⁻¹ e Penman-Monteith FAO,

2.21mm dia⁻¹. Para o mês de agora a evapotranspiração calculada pelo SEBAL apresentou o valor de 4.19 mm dia⁻¹, enquanto o Penman-Monteith FAO 3,75 mm dia⁻¹.

Ao se analisar ao se analisar o ciclo inteiro da cultura pode se inferir que o algoritmo SEBAL superestimou os valores de evapotranspiração em relação ao outro método, nos meses de maio e julho, subestimou no mês de junho e obteve valores próximos no mês de agosto. A maior discrepância foi observada no mês de Maio, em que o SEBAL obteve valores de evapotranspiração aproximadamente 5 mm dia⁻¹ superiores ao método Penman-Monteith FAO.

7. CONCLUSÃO

O Distrito federal apresenta um alto grau de tecnificação e utilização de agricultura irrigada sendo capaz de produzir durante todo o ano alternando entre cultivos de verão e de inverno com alto grau de intensidade. O manejo hídrico se faz necessário, para que a atividade da agricultura irrigada não impacte negativamente na disponibilidade hídrica regional tornando o sensoriamento remoto uma alternativa viável para a estimativa de evapotranspiração, parâmetro indispensável para o manejo hídrico da agricultura irrigada.

As alterações realizadas no Algoritmo SEBAL, trouxeram resultados positivos ao processo, simplificando a obtenção dos resultados de evapotranspiração, sem impactar nos resultados.

A sinergia dos satélites Landsat-8 e Sentinel-2 se demonstrou eficiente e precisa para estimar a evapotranspiração, a Banda termal do satélite Landsat-8 é capaz de fornecer dados de temperatura de brilho por cada pixel de imagem utilizada, permitindo assim a obtenção de evapotranspirações diferentes em áreas do mesmo pivô e também entre pivôs, possibilitando realizar um manejo mais precisão do que pelo modelo padronizado pelo FAO, Penman-Monteith FAO, caso o ambiente de estudo não disponha de estações, pois a utilização de dados externos, provenientes de estações meteorológicas torna a estimativa de evapotranspiração mais generalista.

O SEBAL superestimou valores de evapotranspiração na fase de estabelecimento da cultura e manteve valores próximos na fase de floração, espigamento, maturação e colheita se comparado a Penman-Monteith FAO, porém todos os valores obtidos estão coerentes com outros valores obtidos na literatura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Atlas irrigação: Uso da Água na Agricultura Irrigada. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/AtlasIrrigacao-UsodaAguanaAgricaturalIrrigada.pdf>>. Acesso em 11 jun 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Estudo da ANA aponta em 45% potencial de expansão da irrigação no Brasil até 2030. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/noticias/estudo-da-ana-aponta-em-45-potencial-de-expansao-da-irrigacao-no-brasil-ate-2030>>. Acesso em: 01 jul 2019.

ANDRADE, R. G.; SEDYAMA, G. C.; BASTITELLA, M.; VICTORIA, D. C.; PAZ, A. R.; LIMA, E. P.; NOGUEIRA, S.F. **Mapeamento de parâmetros biofísicos e da evapotranspiração no Pantanal usando técnicas de sensoriamento remoto**. 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Corumbá. Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 695-704, 2009. Disponível em: <<http://www.geopantanal2009.cnptia.embrapa.br/cd/pdf/p105.pdf>>. Acesso em: 10 jun 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Relatório ANA, apresenta situação das águas do Brasil no contexto de crise hídrica. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/noticias/relatorio-da-ana-apresenta-situacao-das-aguas-do-brasil-no-contexto-de-crise-hidrica>>. Acesso em: 11 de jun 2019.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. **FAO. Irrigation and Drainage Paper**, 56. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/XO49OE/XO49OEOO>>. Acesso em: 17 de jun 2019.

ALLEN, R. G., TASUMI, M.; TREZZA, R. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC): Model. **Irrig. Drain. Eng.**, v. 133, n. 4, p. 380–406, 2007.

ALLEN, R.G., R. TREZZA, AND M. TASUMI. Surface energy balance algorithms for land: advance training and user's manual. Version 1.0. **Waters Consulting-University of Idaho-WaterWatch** .v.1, 2002, 97p.

BICUDO, Carlos E. de M.; TUNDISI, José Galizia; SCHEUENSTUHL, Marcos C. Barnsley. Águas do Brasil: Análises Estratégicas. Disponível em: <<http://www.abc.org.br>>.

Acesso em: 16 mai 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Mapeamento do uso e cobertura do cerrado: Projeto TerraClass cerrado 2013. Brasília. MMA/SBF, 2015. 69p. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/tccerrado/Metodologia_TCCerrado_2013.pdf. Acesso em 15 jun 2019.

CODLEPLAN, 2015. Agricultura Familiar no Distrito Federal Dimensões e Desafios. Disponível em: < <http://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/02/Agricultura-Familiar-no-DF-Dimens%C3%B5es-e-Desafios.pdf>>. Acesso em 14 jun 2019.

COELHO, A. L.; CORREA, W. Temperatura de superfície celsius do sensor tirs/landsat-8: metodologia e aplicações. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 7, n. 1, p. 31–45, 2013. Disponível em: < <https://revista.ufr.br/index.php/rga/article/viewFile/2996/1733>>. Acesso em: 17 jun 2019.

CONCEIÇÃO, M.A.F. Roteiro de cálculo da evapotranspiração de referência pelo método de Penman Monteith-FAO. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPUV/8815/1/cir065.pdf>> Acesso em: 15 de jun 2019.

CONAB. Acompanhamento de safras brasileiras grãos (2019). Disponível em <conab.gov.br>. Acesso 22 de jun 2019.

CONAB, A. Cultura do Trigo: Análise dos custos de produção e da rentabilidade nos anos-safra 2009 a 2017. Disponível em <conab.gov.br>. Acesso em: 12 jun 2019.

CONAB. A cultura do trigo. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/uploads/arquivos/17_04_25_11_40_00_a_cultura_do_trigo-versao_digital_final.pdf>. Acesso em: 13 jun 2019.

ESPINOZA, W.; Silva E. M.;Souza O. C. Irrigação de trigo em solo de cerrado (1980). **ESQ. AGROPEC. BRAS.** Brasília, 15(1):107-115, jan. 1980.

EUPEAN SPACE AGENCY. Sentinel – 2. Disponível em:< <http://www.esa.int>> Acesso em: 10 jun. 2019.

EMBRAPA. Mapeamento das Áreas Irrigadas por Pivôs Centrais no Estado de Goiás e no Distrito Federal – Brasil. Disponível em <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/94389/1/bol-77.pdf>>. Acesso 22 de jun 2019.

Faria, R. F; Filho; Caixeta S. P; Assunção W. L. Mapeamento do uso da água e do solo aplicado na determinação da área máxima para plantio de cenoura e trigo irrigados no rio Abaeté (MG). **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.8, nº. 6, p.488 - 501, 2014 ISSN 1982-7679 (On-line).

Freitas, J.G. TRIGO: Efeito de três faixas de umidade na evapotranspiração real e na produção de grãos e seus componentes (1985). Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/brag/v44n2/01.pdf>>. Acesso: em 20 de jun.

FERNANDES, Eduardo de Souza. **Sinergia de dados dos satélites Sentinel-2 e Landsat-8 para estimar evapotranspiração na região do cerrado**. 2017. 51 f., il. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2017.: Disponível em: <<http://bdm.unb.br>>. Acesso em: 01 abr 2019.

GOMES, S. A.; SCIVITTARO B. W.; PETRINI A. J.; FERREIRA G. H. L., A água: distribuição, regulamentação e uso na agricultura, com ênfase ao arroz irrigado. Disponível em:

<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/documento_250_000fxizbmhw02wyiv80soht9hixxd8a1.pdf> Acesso em 11 jun. 2019

Hubner.O.Trigo. Disponível em:
<<http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/cultura1.pdf>>. Acesso em 14 de jun 2019.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote sensing of environment, v. 25, n.3, p.295-309, 1988 HUETE, A.; LIU, H.; BATCHILY, K.; VAN LEEUWEN, W. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. Rem. Sens. Environ, v. 59, p. 440–451, 1997.

JUNIOR E. G. C.; Oliveira A. D.; Almeida; B. M.; Sobrinho J. E. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para as condições do semiárido Nordeste. Disponível em < <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/931965/1/S1525.pdf>>. Acesso em 22 de jun 2019.

KARIMI, P.; BASTIAANSEN, W. G. M. Spatial evapotranspiration, rainfall and land use data in water accounting-Part 1: Review of the accuracy of the remote sensing data. Hydrology and Earth System Sciences, v. 19, n. 1, p. 507, 2015.

KOBAYASH et. Al. Estimativa da evapotranspiração da cultura do trigo cultivado em Uberaba MG. Disponível em: < <https://www.researchgate.net/publication/328408025>>. Acesso em: 15 jun 2019.

LIBARD, Virgilio Cesar de Mello; COSTA, Maurice Barcellos da. Consumo d'água da cultura do trigo. Disponível em:< <file:///G:/1962-7141-1-PB.pdf>>. Acesso em: 01 jul 2019.

MARQUELLI, Waldir Aparecido. Manejo da água de irrigação. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br>> Acesso em: 22 mai 2019.

MONTEIRO. José Eduardo B. A. Agrometeorologia dos cultivos: O fator meteorológico na produção agrícola. - Brasília, DF: INMET, 2009. p.279- 292. Disponível em: < https://www.embrapa.br/documents/1355291/26209002/Bases+climatol%C3%B3gicas_G.R.CUNHA_Livro_Agrometeorologia+dos+cultivos.pdf/4e0ce1f2-d8ca-0a7f-aaaf-085053e18372?version=1.0>. Acesso em: 20 mai 2019.

MELLO V. C.; Libardi.; Costa M. B. Consumo d'água da cultura do trigo (*Triticum Aestivum*, L.). **FZVA**. Uruguaiana, v. 4, n. 1, p. 16-23. 1997.

PROFETA, A. L.; Estimativa Da Evapotranspiração Real Em Área De Relevô Acidentado Utilizando O Sebal. Disponível em:
<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/IGCM-AV4MJT/dissertacao_andreluizprofeta.pdf?sequence=1> acesso em 09 jun. 2019

SANTOS C. A. C., NASCIMENTO R. L., ARAÚJO L. A., BEZERRA G.B. Obtenção do saldo de radiação em áreas de pastagem e floresta na Amazônia (estação seca) através do sensor modis. Disponível em:
< <http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v29n3/a10v29n3.pdf>> Acesso em 12 de jun 2019.

SILVA, A. R.; LEITE, J. C.;
MAGALHAES, J. C. A. J; NEUMAIER, N. A cultura do trigo irrigada nos cerrados do Brasil
Central. Disponível em:
<<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/549422>>. Acesso em 22 de jun
2019.

SANO, E. E.; LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E. M. & OLIVEIRA, E. C. Estimativa da variação
na demanda de água para irrigação por pivô-central no distrito federal entre 1992 e 2002.
Engenharia Agrícola, n.2, 2005. 508-515pp.

SILVA F. C. A. Análise da Agricultura Irrigada no Distrito Federal. **Espaço & Geografia**,
Vol.19, No 2 (2016), 375:400