

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CARLOS ROBERTO WASSOLOKI

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO  
NO ESTADO DO MATO GROSSO DO SUL  
POR SENSORIAMENTO REMOTO**

CHAPADÃO DO SUL – MS

2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CARLOS ROBERTO WASSOLOWSKI

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO NO ESTADO DO MATO GROSSO DE SUL  
POR SENSORIAMENTO REMOTO**

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Gava

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como requisito para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração: Produção Vegetal.

CHAPADÃO DO SUL – MS

2020



Serviço Público Federal  
Ministério da Educação

Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



## PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

### CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**DISCENTE:** Carlos Roberto Wassolowski

**ORIENTADOR:** Dr. Ricardo Gava

**TÍTULO:** Análise da evapotranspiração no Estado de Mato Grosso do Sul através do produto MODIS

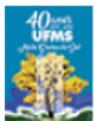
#### **AVALIADORES:**

Prof. Dr. Presidente Ricardo Gava

Prof. Dr. Fabio Henrique Rojo Baio

Prof. Dr. Ivo Zution Gonçalves

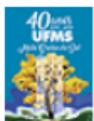
Chapadão do Sul, 04 de dezembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Fabio Henrique Rojo Baio, Professor do Magisterio Superior**, em 04/12/2020, às 10:16, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ricardo Gava, Professor do Magisterio Superior**, em 04/12/2020, às 10:23, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ivo Zution Gonçalves, Usuário Externo**, em 04/12/2020, às 10:25, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pag.</b>
Figura 1. Localização, bacias hidrográficas ottocodificadas e altimetria do Estado do Mato Grosso do Sul. ....	6
Figura 2. Evapotranspiração atual média de janeiro e julho, de 2002 a 2019. ....	9
Figura 3. A) Evapotranspiração Média de 2002 e 2019 das sub bacias nível otto 4 do Matogrosso do Sul, para janeiro, março, maio, julho, setembro e novembro. B) Coeficiente de Desvio Relativo (%) entre cada mês e janeiro .....	10
Figura 4. Mann-Kendall (MK), Pettitt (PT) e ano indicado como ponto da mudança de ETA média nas Bacias Hidrográficas Ottocodificadas nível 4 (BHO4) para os meses estudados de 2002 a 2019.....	11
Figura 5. Médias de Altitude (A) e Evapotranspiração média (B) entre 2002 e 2019 para as partes do Mato Grosso do Sul das Bacias Hidrográficas do Paraguai e Paraná. Médias seguidas de mesma letra diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade .....	12
Figura 6. Correlação entre ET real média entre 2002 e 2019 e Altitude média, para as sub bacias hidrográficas no Mato Grosso do Sul.....	12

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>2</b>
<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>4</b>
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>8</b>
<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>13</b>
<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>13</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>14</b>

## **EVAPOTRANSPIRAÇÃO NO ESTADO DO MATO GROSSO DE SUL POR SENSORIAMENTO REMOTO**

**RESUMO:** O estado do Mato Grosso do Sul está entre os maiores produtores de alimentos sua produção vem crescendo nas últimas décadas e junto com isso há mudança na cobertura e uso do solo. O conhecimento da evapotranspiração (ET) em uma região continua sendo uma variável importante para as pesquisas em hidrologia, recursos hídricos e agricultura. É um fator relevante para produção de modelos climatológicos que permitam visualizar cenários futuros a fim de buscar a sustentabilidade dos sistemas de produção e da segurança alimentar. Este trabalho buscou avaliar o espacial e temporal da evapotranspiração no estado do Mato Grosso do Sul utilizando sensoriamento remoto. Para isso foram utilizados produtos do sensor MODIS do satélite TERRA através da plataforma web GEE (*Google Earth Engine*). Foram obtidas imagens de altimetria e evapotranspiração atual médias de janeiro, março, maio, julho, setembro e novembro, entre 2002 e 2019. Os dados foram submetidos a testes estatísticos para avaliar a variação temporal e espacial. A evapotranspiração em julho é em torno de 30% menor que em janeiro. A ET atual média é ligeiramente maior na região da bacia hidrográfica do rio Paraná em relação à bacia hidrográfica do rio Paraguai. Os níveis de evapotranspiração reduzem conforme se reduz a altitude. Conclui-se que a ETa difere entre bacias hidrográficas nível otto 2 no estado do Mato Grosso do Sul. A evapotranspiração é maior em bacias hidrográficas com maior altitude média. Há tendência de incremento de evapotranspiração no Estado a partir de 2008 para a série temporal estudada.

**Palavras-chave:** MOD16A2, Imagem orbital, Bacias hidrográficas.

## **EVAPOTRANSPIRATION IN THE STATE OF MATO GROSSO DO SUL BY REMOTE SENSING**

**ABSTRACT:** The state of Mato Grosso do Sul is among the largest food producers, its production has grown in recent decades and along with this there is a change in coverage and land use. Knowledge of evapotranspiration (ET) in a region remains an important variable for research in hydrology, water resources and agriculture. It is a relevant factor for the production of climatological models that allow visualizing future scenarios to achieve

sustainability of production systems and food security. This work sought to evaluate the spatial and temporal evapotranspiration in the state of Mato Grosso do Sul using remote sensing. For this, products from the MODIS sensor of the TERRA satellite were used through the GEE (Google Earth Engine) web platform. Average altimetry and current evapotranspiration images for January, March, May, July, September and November, between 2002 and 2019 were obtained. The data were subjected to statistical tests to assess the temporal and spatial variation. Evapotranspiration in July is around 30% less than in January. The current average ET is slightly higher in the region of the Paraná River watershed compared to the Paraguay River watershed. Evapotranspiration levels decrease as the altitude decreases. It is concluded that ETa differs between two level hydrographic basins in the state of Mato Grosso do Sul. Evapotranspiration is higher in hydrographic basins with higher average altitude. There is a tendency to increase evapotranspiration in the State from 2008 onwards for the studied time series.

**Keywords:** MOD16A2, Orbital image, watershed.

## INTRODUÇÃO

A evapotranspiração é resultado da evaporação direta do solo e a transpiração das plantas. A cobertura é a interface entre o solo e a atmosfera. Um solo descoberto, com cultura anual, floresta natural, pastagem natural ou plantada resulta em diferentes intensidades de evapotranspiração. O processo de evapotranspiração inerente a diferentes superfícies terrestres precisa ser entendido e quantificado, de forma que se alcance um desenvolvimento sustentável de nossos recursos hídricos (Silva et al., 2012).

Os principais fatores que afetam a evapotranspiração são a temperatura do ar, a intensidade o vento, umidade do ar e a radiação solar (Allen et al., 1998). Estes variam ao longo do ano devido a variação do ângulo do eixo da terra e da distancia da terra ao sol. O principal efeito da variação da radiação é a mudança das características climáticas em cada época do ano. Associado a outros fatores como altitude e a latitude resultam em um clima recorrente característico para cada região.

O Mato Grosso do Sul está situado no centro oeste brasileiro, na região central da plataforma continental, tem altitudes que variam entre 80 m à jusante da bacia hidrográfica Nabimeleque, na região do Pantanal sulmatogrossense, e 800 m à montante da bacia

hidrográfica Sucuriú, região nordeste do Estado. Além da variação na altitude é um dos poucos estados que apresenta três biomas diferentes no seu território, pantanal, cerrado e mata atlântica, o que influencia naturalmente a evapotranspiração da região.

Medições acuradas de atributos meteorológicos ou a realização de balanço hídrico do solo em lisímetros são meios amplamente difundidos para determinação da evapotranspiração. Porém, esses métodos podem não ser tão adequados para medidas direcionadas ao monitoramento e gestão dos recursos hídricos de grandes áreas. Isso devido a características operacionais, como a necessidade da mão de obra qualificada para operação, custo de instalação e manutenção dos sensores nas estações meteorológicas. Bem como a dificuldade destes métodos em avaliar coberturas vegetais de grande porte como floretas naturais. (Mohamed et al., 2004).

A aplicação de técnicas de sensoriamento remoto permite a determinação espacialmente distribuída da evapotranspiração de maneira confiável. As principais vantagens da obtenção de dados via sensoriamento remoto orbital são a possibilidade de coleta de informações detalhadas para uma extensa área em tempo relativamente curto e a quantificação das variáveis físicas da superfície terrestre com fluxo quase contínuo de dados, com alta resolução temporal e espacial. O balanço de energia descreve as interações físicas na interface superfície-atmosfera resultando em valores de evapotranspiração em acordo com as metodologias consagradas nesta área de estudo (Paiva et al., 2011).

Atualmente modelos como *mapping evapotranspiration at high resolution with internalized calibration* (METRIC) são capazes de produzir mapas precisos de evapotranspiração. Uma das principais vantagens deste modelo em relação aos métodos convencionais é que não é preciso conhecer a cultura ou a fase fenológica para se determinar a evapotranspiração. Além disso o modelo é sensível a variação da evapotranspiração em função da disponibilidade hídrica (Allen et al., 2007). O produto Evapotranspiração Global Terrestre (MOD16A2) é o resultado da aplicação do modelo METRIC aos dados do sensor MODIS embarcado no satélite TERRA. Ele combina dados de reanálise meteorológica, dados de satélite e outros produtos do sensor MODIS para chegar a evapotranspiração atual para cada pixel do mapa (RUNNING et al., 2017).

Bacias hidrográficas são regiões que apresentam aspectos semelhantes que geralmente estão relacionados a variações no relevo. De forma que são determinadas justamente por contribuem para um leito de drenagem comum (FINKLER, 2012). Entre os fatores ligados as características das bacias hidrográficas que podem influenciar a evapotranspiração estão a altitude e a cobertura e uso do solo. A variação da altitude afeta quanto da radiação solar

chega a superfície e a pressão atmosférica, e conseqüentemente a evapotranspiração. Além disso as coberturas da superfície apresentam características relacionadas tanto os atributos ambientais quanto antropológicos o que também afeta a evapotranspiração (Allen et al., 1998).

O sensoriamento remoto torna possível uma avaliação macro sobre o comportamento da evapotranspiração regional e como ela varia entre as bacias e sub bacias hidrográficas ao longo do tempo. Dessa forma este estudo teve como objetivo avaliar a evapotranspiração atual média no território do Mato Grosso do Sul entre 2002 e 2018.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

A área de escopo do estudo foi o Estado do Mato Grosso do Sul. Este apresenta altitudes em que variam de 80 a 830 m aproximadamente. Em geral o clima da região é do tipo tropical úmido, Aw conforme chave de classificação de Koppen, com estação chuvosa de outubro a abril e seca de maio a setembro. A precipitação média anual está em cerca de 1.400 mm e a temperatura média anual de aproximadamente 23 °C (IVASKO JÚNIOR et al., 2020).

A obtenção das imagens orbitais foi realizada na plataforma *Google Earth Engine* (GEE). O GEE é um serviço de geoprocessamento desenvolvido com a tecnologia do *Google Cloud Platform*. Com o GEE, é possível realizar processamento de informações especializadas em escala global, O objetivo do Earth Engine é: Fornecer uma plataforma interativa para o desenvolvimento de algoritmos geoespaciais em escala (GORELICK et al., 2017).

O GEE possui em seu repositório imagens orbitais de diversos satélites e diversos tipos de sensores. Entre eles o sensor Espectrorradiômetro de Resolução Moderada (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer - MODIS*), presente nos satélites Terra e Aqua da Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (*National Aeronautics and Space Administration - NASA*) que se tornaram uma alternativa para a pesquisa ambiental nos últimos anos. O produto Evapotranspiração Global Terrestre MODIS (MOD16A2) é baseado na equação de Penman-Monteith para estimar a evapotranspiração (ET). Este produto combina dados de reanálise meteorológica, dados de satélite e outros produtos do sensor MODIS (RUNNING et al., 2017). Foram utilizados mapas da evapotranspiração atual (ETa) MOD16A2 coleção 6 com resolução temporal de oito dias, resolução espacial de 500 m e fator de correção 0,1.

O MOD16A2 produz uma imagem a cada oito dias, até quatro imagens a cada mês. A ET atual média mensal foi calculada pixel a pixel a partir da média dos valores válidos disponíveis para os meses de janeiro, março, maio, julho, setembro e novembro, entre 2002 e 2019 para o estado do Mato Grosso do Sul. A evapotranspiração atual média diária (ETa) foi obtida pela equação 1.

$$ETa = ( 0,1 ETaMOD16A2 ) / 8 \quad (\text{Equação 1})$$

Em que: ETa é a evapotranspiração atual média diária (mm dia<sup>-1</sup>); 0,1 fator de correção; ETaMOD16A2 é a evapotranspiração acumulada estimada pelo produto MOD16A2 (mm 8dia<sup>-1</sup>); 8 é número de dias acumulados no produto MOD16A2.

O processamento das imagens foi realizado no software de sistema de informações geográficas ARCGIS 10.5. Foi criada uma grade amostral regular de 5 por 5 km totalizando 14.183 pontos. Utilizando os pontos amostrais foram extraídos o valor da ETa das imagens do produto MOD16A2. Estes foram transformados em mm dia<sup>-1</sup> (Equação 1). As amostras foram utilizadas para determinar a evapotranspiração média, bem como avaliar a variação temporal da evapotranspiração para cada ponto.

A altitude de cada ponto foi adquirida da imagem do modelo digital de altitude (*Digital Elevation Model* - DEM). Imagens DEM são geradas a partir da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) em um esforço de pesquisa internacional que obteve modelos de elevação digital em uma escala global (FARR et al., 2007). O produto SRTM V3 (SRTM Plus) foi fornecido pela NASA com uma resolução de 30 m e está disponível no GEE.

A determinação da bacia hidrográfica a qual cada ponto pertencia foi realizada com base nos mapas das bacias hidrográficas otocodificadas (BHO) da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) (Figura 1). A BHO é gerada a partir da cartografia digital da hidrografia e organizada de modo a gerar informações hidrologicamente consistentes. Os pontos amostrais foram agrupados em BHO por estas formarem áreas de contribuição para leitos de drenagem em comum.

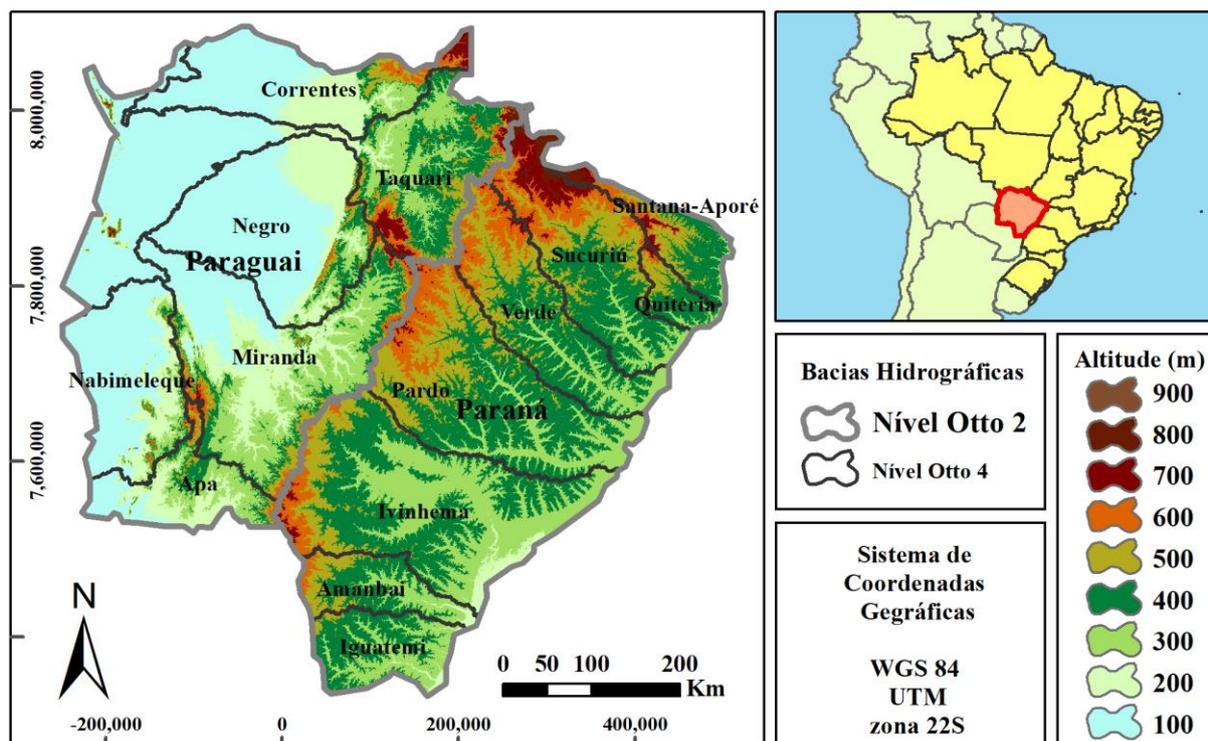


Figura 1. Localização, bacias hidrográficas ottocodificadas e altimetria do Estado do Mato Grosso do Sul.

A BHO representa a rede hidrográfica em trechos entre pontos de confluência dos cursos d'água. Cada trecho é associado a uma superfície de drenagem denominada ottobacia, à qual é atribuída a codificação de bacias de Otto Pfafstetter. Uma característica importante dessa representação é ser topologicamente consistente (ANA, 2012). Após a extração das amostras de evapotranspiração e altitude, os dados foram exportados no formato de tabela.

Para determinação da ETa média confiável para cada subbacia hidrográfica, os dados foram submetidos a análise exploratória para determinar a presença de valores discrepantes ou *outliers*. Foi adotado o método de Tukey (1977). O método de Tukey ou boxplot, como é conhecido, define limites inferior (eq. 2) e superior (eq. 3) a partir da amplitude interquartil e dos quartis primeiro e terceiro respectivamente.

$$L_{inf} = Q1 - (1.5 * AIQ) \quad \text{(Equação 2)}$$

$$L_{sup} = Q3 + (1.5 * AIQ) \quad \text{(Equação 3)}$$

Em que: Q1 é o valor do primeiro quartil; Q3 o valor do terceiro quartil; AIQ é a amplitude interquartil, obtida da diferença entre Q3 e Q1;  $L_{inf}$  e  $L_{sup}$  são os limites inferior e superior, respectivamente, na mesma dimensão dos dados analisados.

Valores abaixo do limite inferior e acima do limite superior foram considerados outliers. A exclusão dos outliers gerou uma distribuição mais adequada dos dados com menor assimetria e curtose mesocúrtica, corroborando com Bento e Santos (2018) que ao avaliar métodos de remoção de outliers e seus impactos observaram que mesmo métodos com baixo desempenho na remoção de outliers são capazes de melhorar a distribuição dos dados evitando que informações sejam interpretados de forma equivocada.

Os dados foram filtrados com finalidade de remover outliers que possam estar discrepantes em relação a normalidade dos dados. Com os dados filtrados foi feito o cálculo do coeficiente de desvio relativo, usado para mensurar a similaridade entre os mapas. Os dados foram tabulados submetidos a análise de variância e comparação de médias pelo teste de Tukey. Foi feita a regressão para avaliar a correlação entre altura e evapotranspiração.

Para avaliar a variação mensal da ETa foram utilizados a ETa média de 18 anos, 2002 a 2019, de cada ponto amostral para os meses de janeiro, março, maio, julho, setembro e novembro. A similaridade entre os períodos foi avaliada por meio do parâmetro estatístico coeficiente de desvio relativo (CDR, %). O CDR expressa a diferença média, em módulo, dos valores em cada período e considera a ETa média de janeiro como referência (padrão). Quanto menor for o percentual encontrado, maior será a similaridade entre os mapas. O cálculo é dado pela equação 4 conforme demonstrado por Cherubin et al. (2015).

$$CDR = \sum | (ET_{aij} - ET_{a\text{ref}}) / ET_{a\text{ref}} | \times (100/n) \quad (\text{Equação 4})$$

Em que: n é o número de amostras (n = 13.546);  $ET_{a\text{ref}}$  é a ETa de referência (janeiro) no ponto i; e  $ET_{aij}$  é a ETa no ponto i para os outros meses j (j1, março; j2, maio; j3, julho; j4, setembro e j5, novembro)

Para analisar a tendência na série temporal de ETa obtida por sensoriamento remoto foi utilizada a metodologia de Mann-Kendall. Foram utilizadas as ETa médias para cada bacia hidrográfica nível otto 4 (BHO4). O valor de Z indica se médias apresentam tendência de acréscimo ( $Z > 0$ ) ou decréscimo ( $Z < 0$ ). O nível de significância  $\alpha$  adotado foi de 5%. Se a probabilidade p for menor do que o nível  $\alpha$ , existe uma tendência estatisticamente

significativa, do contrário a tendência não é significativa. O valor de Z se aproxima de zero quando os dados não apresentarem tendência (MANN, 1945; KENDALL, 1975).

Os dados da série temporal de ETa de cada BHO4 foram submetidos ao teste de Pettitt. Este teste foi realizado por meio da estatística  $U_t$ , T, onde é contabilizado o número de vezes que um elemento de uma amostra é maior que os elementos de outras amostras. Essa estatística determina o momento que ocorre uma mudança na média de uma série temporal (PETTITT, 1979). A ETa média das bacias hidrográficas foi submetida à análise de variância (teste F), sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o software Rbio versão 118.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os mapas de evapotranspiração atual de janeiro e julho para o Mato Grosso do Sul, entre 2002 e 2019 são representados na figura 2. É possível verificar a evapotranspiração mais elevada em janeiro, em geral, acima de  $3 \text{ mm dia}^{-1}$ , quando comparadas a julho. É natural que ocorra período de menor evapotranspiração em meados de julho. O estado tem como característica climática inverno seco. Apesar de maior intensidade dos ventos a baixa umidade e temperatura colaboram para valores menores de ETa, próximos a  $1 \text{ mm dia}^{-1}$ . Em alguns anos a presença de nuvens é intensa no estado, como é possível observar na Figura 2, janeiro de 2007. Ainda assim é possível verificar a ocorrência de elevada ETa. A série temporal de imagens demonstra a coerência da evapotranspiração em cada período ao longo dos anos.

Quanto a sazonalidade da ETa, com base nos resultados apresentados na Figura 3A, constatou-se que, em janeiro, início do verão, a ETa média no estado é maior e reduz conforme o período avança para o julho, início do inverno, período quando é menor a radiação solar, a temperatura e a umidade, fatores correlacionados a variação da evapotranspiração. A maior amplitude de ETa ocorreu em janeiro, estação chuvosa e a menor amplitude ocorreu em julho, estação seca corroborando com as observações de TITO et al. (2020).

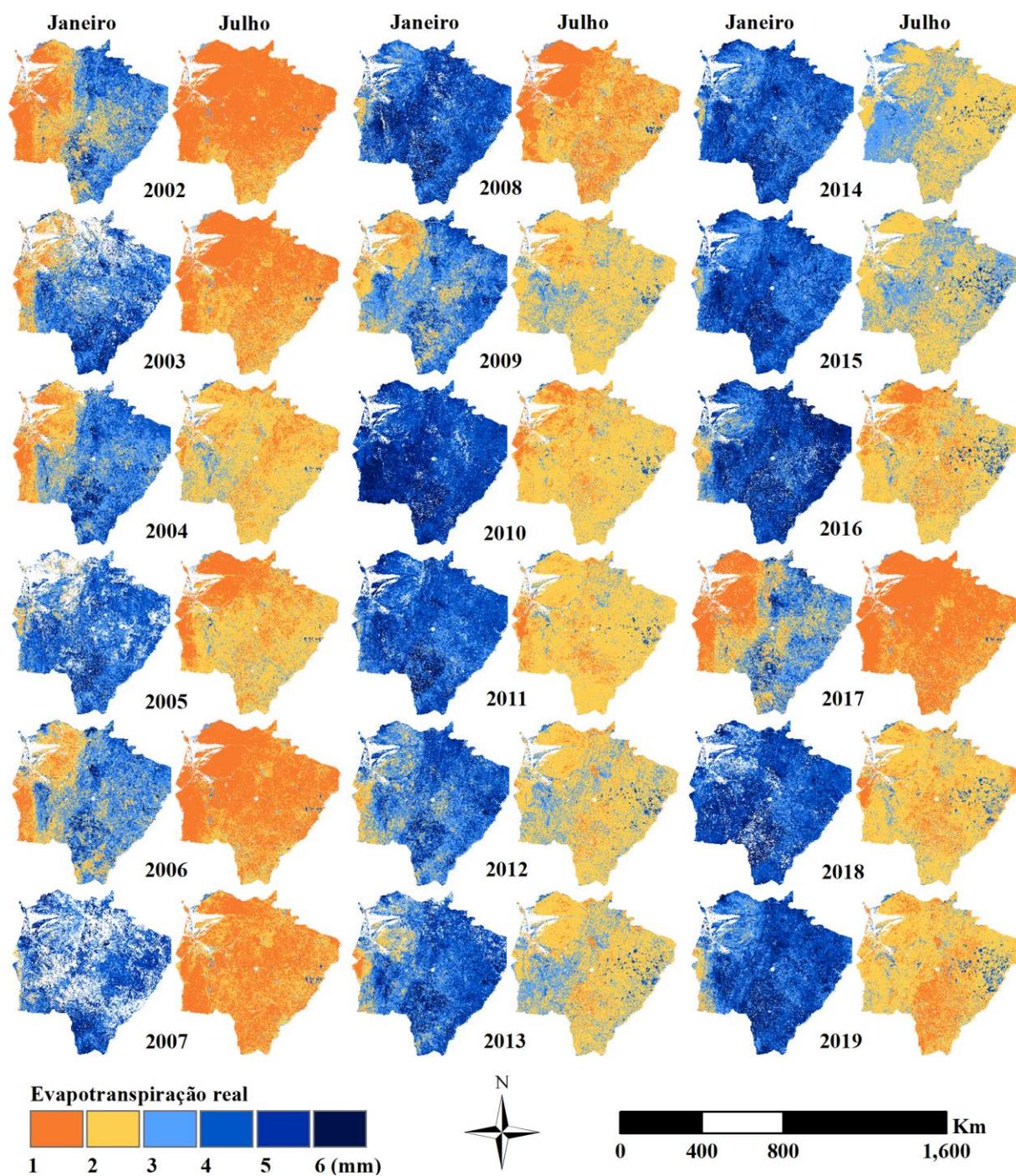


Figura 2. Evapotranspiração atual média de janeiro e julho, de 2002 a 2019.

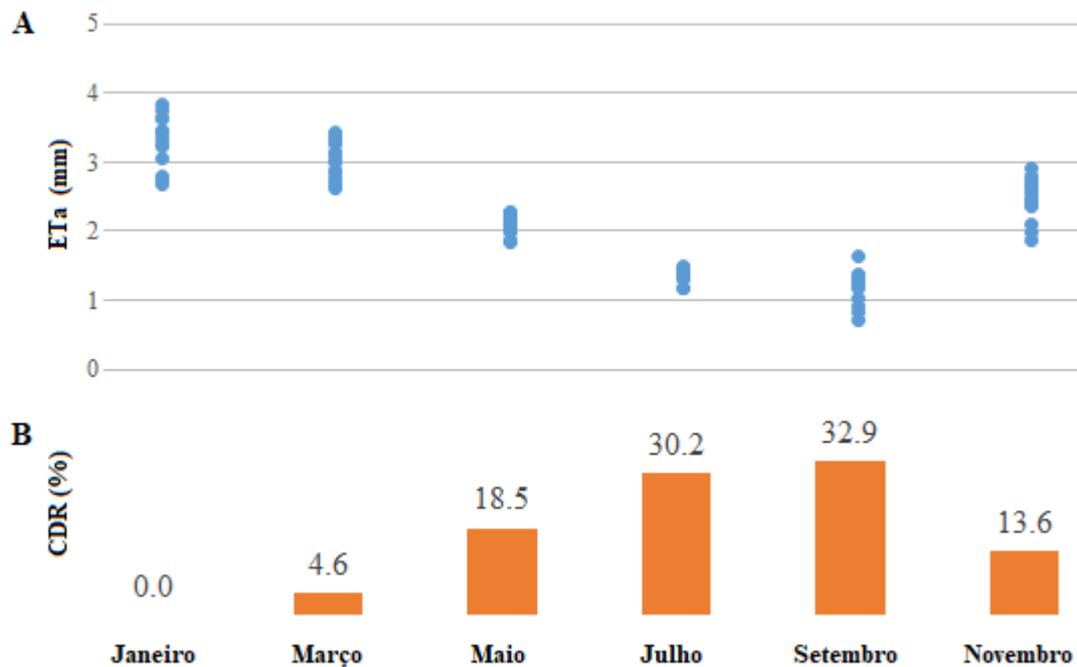


Figura 3. **A)** Evapotranspiração de 2002 e 2019 das sub bacias nível otto 4. **B)** Coeficiente de Desvio Relativo (%) entre cada mês e janeiro.

Houve aumento da dissimilaridade dos mapas, em relação ao mapa da ETa de janeiro, período estabelecido como referência. O mapa temático que apresentou maior dissimilaridade com janeiro, foi setembro, com CDR médio de 32,9 % (Figura 3B). A variação do CDR ao longo do ano condiz com a variação da ETa média no estado. Esses resultados são indicativos de que o CDR foi um parâmetro eficiente para avaliar a similaridade dos mapas temáticos de ETa e que apresenta potencial de uso para na estudos sobre mudanças climáticas. Resultados condicentes aos encontrados neste trabalho foram observados anteriormente para ETa (Lima et al., 2001).

Os resultados encontrados pelo teste de Mann-Kendall e Pettitt (Figura 4) indicam incremento na ETa média em quase todas as BHO em quase todos os períodos exceto janeiro, possivelmente por se tratar do período que apresentam ETa mais elevada. No mês de março BHO4 Ivinhema, Amanbai e Iguatemi, ao sul da BHO2 Paraná tiveram tiveram comportamento semelhante a todas as BHO4 presentes na BHO2 Paraguai, quando em torno de 2008 passaram a apresentar maiores ETa.

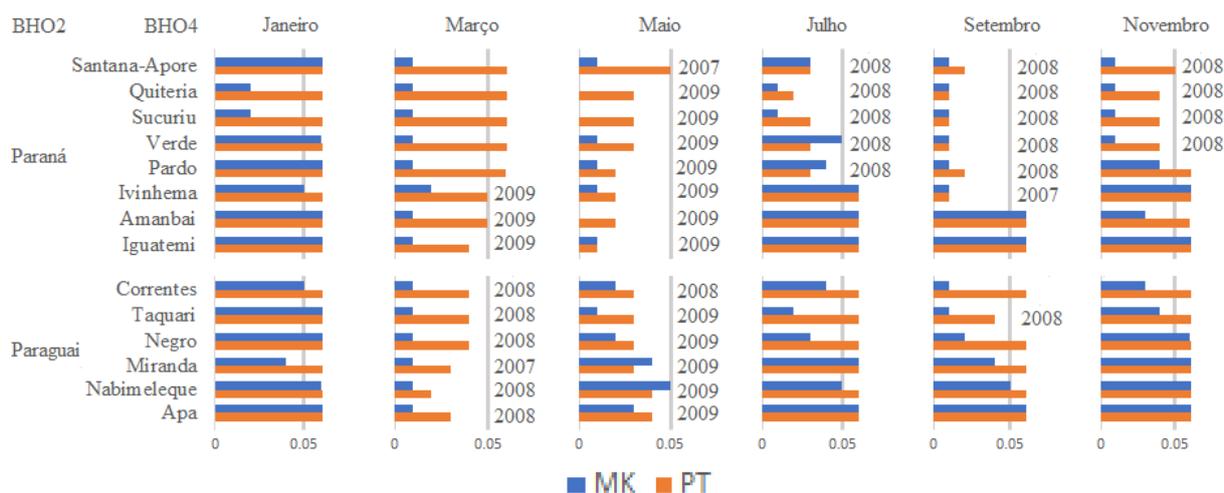


Figura 4. Mann-Kendall (MK), Pettitt (PT) e ano indicado como ponto da mudança de ETa média nas Bacias Hidrográficas Ottocodificadas nível 2 (BHO2) e 4 (BHO4) para os meses estudados de 2002 a 2019.

No mês de maio, fim do período chuvoso, quando as temperaturas começam a cair, todas as BHO apresentaram tendência de incremento da ETa a partir de 2009, o que pode ser reflexo de ocorrência de maiores temperaturas no período que antecede o inverno a partir daquele ano. Os meses de julho, setembro e novembro apresentaram tendência de incrementos de ETa apenas para as BHO4 Santana-Aporé, Quiteria, Sucuriú, Verde e Pardo, bem como Ivinhema em setembro. Essas sub bacias hidrográficas estão localizadas de leste à nordeste do Estado e fazem parte da BHO2 Paraná.

D'Andrea et al. (2019) comentaram sobre a importância das pesquisas acerca de tendências de alteração da evapotranspiração regional. Enfatizaram que esta informação é relevante para o desenvolvimento de modelos climáticos e construção de cenários futuros que podem afetar de sobremaneira a segurança alimentar.

O território sulmatogrossense está inserido em duas BHO, do Rio Paraná e do Rio Paraguai (Figura 1). A altitude média observada foi de 435 e 232 m e a ET atual média foi de 2,38 e 2,08 respectivamente (Figura 5). O teste de Tukey indicou que há diferença significativa entre as BHO2, tanto para altitude quanto para evapotranspiração. Isso pode ser explicado pela relação entre a altitude e a ET, de modo que em maiores altitudes a radiação solar que chega ao topo da atmosfera sofre menos perdas chegando a superfície com maior intensidade o que resulta em maior potencial de evapotranspiração. Além disso a altitude também influencia a pressão atmosférica (Patm), em maiores altitudes a coluna de ar sobre a superfície é menor, resultando em menor Patm e com isso maior potencial de evapotranspiração (ALLEN et al., 1998).

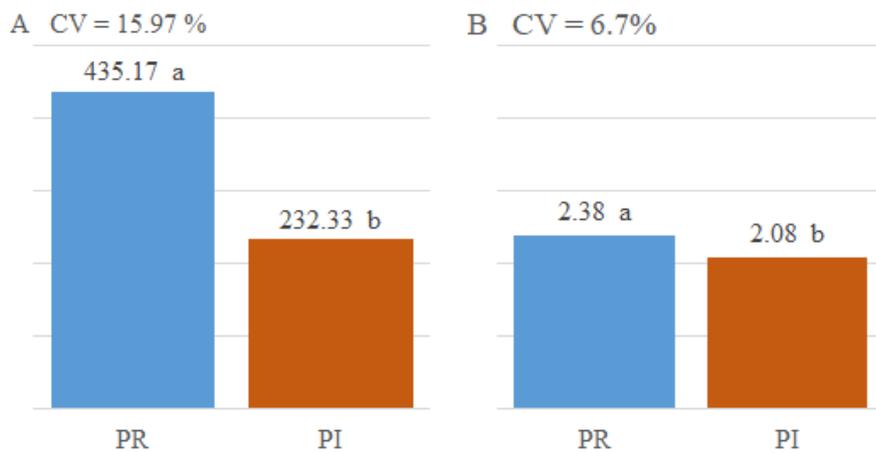


Figura 5. Médias de Altitude (A) e Evapotranspiração média (B) entre 2002 e 2019 para as partes do Mato Grosso do Sul das Bacias Hidrográficas do Paraguai (PI) e Paraná (PR). Médias seguidas de mesma letra diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na Figura 6 é possível observar o incremento na ET atual média conforme aumenta a altitude. A regressão entre ET atual média e altitude apresentou um coeficiente de determinação de 85.9%.

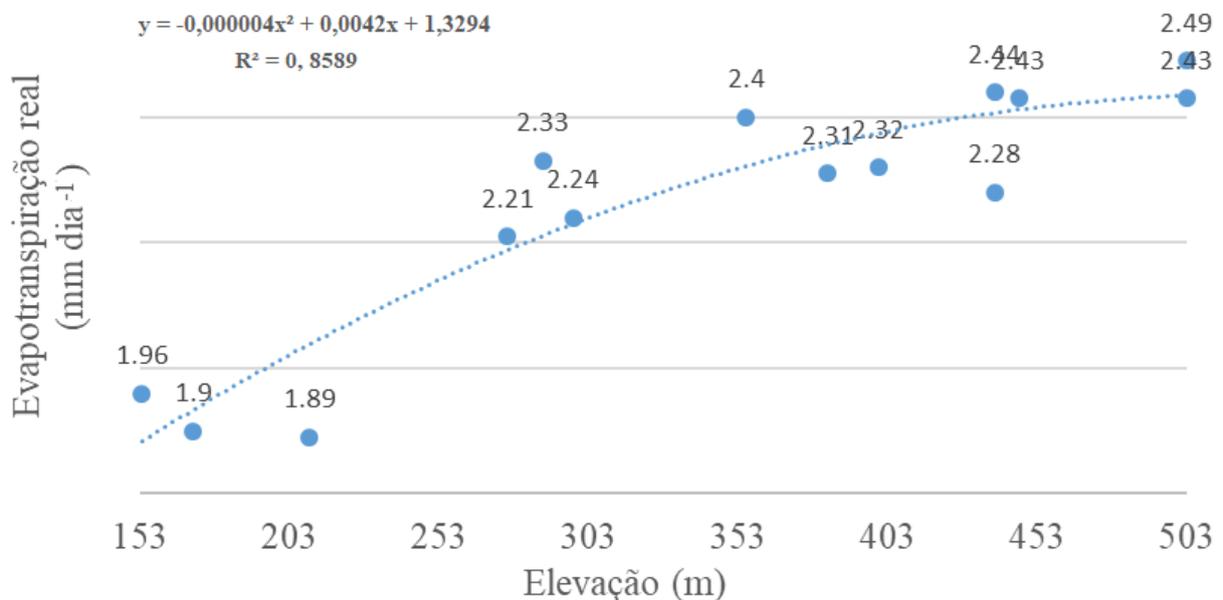


Figura 6. Correlação entre ET atual média entre 2002 e 2019 e Altitude média, para as sub bacias hidrográficas no Mato Grosso do Sul.

Souza et al. (2020) ao avaliarem a evolução da cobertura e uso do solo no Brasil no projeto MapBiomas, demonstram que para o Estado Do Mato Grosso Do Sul as maiores alterações na cobertura do solo ocorrem até 2001 quando ocorrem incremento de áreas destinadas a agropecuária em detrimento a áreas de florestas naturais. E que a partir de 2002 não ocorrem mudanças significativas da cobertura do solo no Estado, período que coincide com a série temporal avaliada no presente estudo. Isso ajuda a explicar o porquê de a ETa média não reduzir entre 2002 e 2019. Ao contrário disso, foi observado aumento de ETa média no período, deste modo são necessários estudos mais aprofundados relacionados aos fatores climáticos que podem ter afetado a ETa média da região no período estudado.

## **CONCLUSÕES**

A evapotranspiração atual (ETa) média no estado do Mato Grosso do Sul entre os meses de janeiro e julho diferem, sendo aproximadamente 30% menor no inverno. Quanto a serie temporal de ETa dos meses estudados, a análise não paramétrica aponta para tendência de acréscimo em todos os períodos a partir de 2008/09 em todas as sub bacias hidrográficas. A ETa média é ligeiramente maior na região da bacia hidrográfica otto 2 do rio Paraná quando comparada à bacia hidrográfica otto 2 do rio Paraguai.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa. Ao meu orientador Professor Dr. Ricardo Gava, ao coordenador do mestrado em produção vegetal, Professor Dr Paulo Eduardo Teodoro e ao Professor Dr Fabio Henrique Rojo Baio pelas colaborações relevantes para execução desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D. et al. Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements. pp. 50. **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) - Irrigation and drainage paper 56**, Rome, 1998.

ALLEN, R.G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) – model. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**. v.133, p.380-394, 2007.

TEIXEIRA, A. DE A. **Agência Nacional de Águas**. Bacias Hidrográficas Ottocodificadas. Brasil. 2012.

BENTO, G. M., SANTOS, R.T. Avaliação de métodos de remoção de outliers e seus impactos na precisão dos métodos de interpolação. 1º simpósio mato-grossense de mecanização agrícola e agricultura de precisão. **UFMT**, Sinop. 2018.

CHERUBIN, M. R., SANTI, A. L., EITELWEIN, M. T., AMADO, T. J. C., SIMON, D. H., DAMIAN, J. M. Dimensão da malha amostral para caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio em Latossolo Vermelho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 50. 2015.

D'ANDREA, M. F., ROUSSEAU, A. N., BIGAH, Y., GATTINONI, N. N., & BRODEUR, J. C. Trends in reference evapotranspiration and associated climate variables over the last 30 years (1984–2014) in the Pampa region of Argentina. **Theoretical and Applied Climatology**, 136. 2019.

DOS ANJOS, A. W., DELGADO, R. C., LYRA, G. B., DE SOUZA, L. P., & SUHETT, E. R. Evapotranspiração a partir de produtos orbitais para o estado do Rio de Janeiro. **Irriga**, 126–140. 2016.

FARR, T.G., ROSEN, P.A., CARO, E., CRIPPEN, R., DUREN, R., HENSLEY, S., KOBRICK, M., PALLER, M., RODRIGUEZ, E., ROTH, L., SEAL, D., SHAFFER, S., SHIMADA, J., UMLAND, J., WERNER, M., OSKIN, M., BURBANK, D., AND

ALSDORF, D.E. The shuttle radar topography mission. **Reviews of Geophysics**, v. 45, no. 2. 2007.

FINKLER, R. Planejamento, manejo e gestão de bacias. **Ministério Público do Paraná**. Disponível em: <[https://planejamento.mppr.mp.br/arquivos/File/bacias\\_hidrograficas/planejamento\\_manejo\\_e\\_gestao\\_unidade\\_1.pdf](https://planejamento.mppr.mp.br/arquivos/File/bacias_hidrograficas/planejamento_manejo_e_gestao_unidade_1.pdf)>. 2012. Acesso em: 20 de julho de 2020.

GIACOMONI, M. H., MENDES, C. A. B. Estimativa da Evapotranspiração Regional por meio de Técnicas de Sensoriamento Remoto Integradas a Modelo de Balanço de Energia. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. V. 13 n.4. 2008.

GORELICK, N., HANCHER, M., DIXON, M., ILYUSHCHENKO, S., THAU, D., MOORE, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**. 2017.

IVASKO JÚNIOR, S., MASTELLA, A. D. F., TRES, A., TETTO, A. F., WENDLING, W. T., SOARES, R. V. Classificação do estado de mato grosso do sul segundo sistema de zonas de vida de holdridge. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26. 2020.

KENDALL, K. (1975) Thin-film peeling-the elastic term. **Journal of Physics D: Applied Physics** 8(13), 1449-1452

LIAQAT, U. W.; CHOI, M. Accuracy comparison of remotely sensed evapotranspiration products and their associated water stress footprints under different land cover types in Korean peninsula. **Journal of Cleaner Production**. v. 155, pp. 93-104, July 2017.

LIMA, Jorge E.F.W.; SILVA, Cícero L. da; OLIVEIRA, Carlos A. da S.. Comparação da evapotranspiração real simulada e observada em uma bacia hidrográfica em condições naturais de cerrado. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 33-41. 2001.

MANN, H. B. (1945). Non-parametric tests against trend. *Econometrica*. **Journal of the Econometric Society**, 245–259

MOHAMED, Y.A.; W.G.M. BASTIAANSSEN; H.H.G. SAVENIJE. Spatial variability of evaporation and moisture storage in the swamps of the upper Nile studied by remote sensing techniques. **Journal of Hydrology**, v. 289, p. 145-164. 2004.

PAIVA, C. M., TSUKAHARA, R. Y., FRANÇA, G. B., NICACIO, M. Estimativa da evapotranspiração via sensoriamento remoto para fins de manejo de irrigação. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, **INPE**, Curitiba, PR, Brasil. 2011.

RUNNING, S., MU, Q., ZHAO, M. MOD16A2 MODIS/Terra Net Evapotranspiration 8-Day L4 Global 500m SIN Grid V006 [Data set]. **NASA EOSDIS Land Processes DAAC**. 2017.

SILVA, B. B. DA, BRAGA, A. C., BRAGA, C. C., OLIVEIRA, L. M. M. DE, GALVÍNCIO, J. D. & MONTENEGRO, S. M. G. L. Evapotranspiração e estimativa da água consumida em perímetro irrigado do Semiárido brasileiro por sensoriamento remoto. **Pesquisa agropecuária brasbrasileira.**, Brasília, v. 47, n. 9, p. 1218-1226. 2012.

SOUZA JR, C. M. et al. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. *Remote Sensing*, Volume 12. 2020

TITO, T. M., DELGADO, R. C., DE CARVALHO, D. C., TEODORO, P. E., DE ALMEIDA, C. T., DA SILVA JUNIOR, C. A., ... DA SILVA JÚNIOR, L. A. S. Assessment of evapotranspiration estimates based on surface and satellite data and its relationship with El Niño–Southern Oscillation in the Rio de Janeiro State. **Environmental Monitoring and Assessment**, 192(7). 2020.

TUKEY, JOHN WILDER. *Exploratory Data Analysis*. **Addison-Wesley**. 1977.

TREZZA, RICARDO. Evapotranspiration using a satellite based Surface energy balance with Standardized ground control. 247f. Thesis (Doctor of Philosophy in Biological and Agricultural Engineering). **Utah State University**. Logan, Utah, 2002.