

Uso do algoritmo SAFER para estimativa da evapotranspiração nas sub-bacias do Rio Novo, município de Avaré-SP

Anderson Luiz dos Santos Safre¹
Alberto Mario Arroyo Avilez¹
Iris Romagnoli¹
Leandro Moscôso Araújo¹

¹ Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – FCA Botucatu
Rua José Barbosa de Barros, nº1780 – 18.610-307 – Botucatu – SP, Brasil.
andersonsafre@gmail.com
betomario1494@gmail.com
irisromagnoli@gmail.com
leandro_moscoso@hotmail.com

Abstract. The use of satellite data has recently been adopted in studies for estimating hydrologic parameters, since they had presented efficient results calculating the surface radiation balance. On account of this, combining the set of remote sensing and agrometeorological data, it is possible to estimate evapotranspiration in large areas, based on the energy balance. The model applied in this case is a great tool for monitoring the effects of water withdrawal in the region, alerting and avoiding possible conflicts among users of water resources. Thereby, the present article sought to study the behavior of evapotranspiration in different types of land covers, with a high density of center-pivot irrigation systems through the SAFER (Simple Algorithm for Evapotranspiration Recovery) Algorithm in nine sub watersheds of Rio Novo, located in Avaré County, São Paulo state. The highest rates were found in February and October reaching values of 6,29 mm dia⁻¹ and 7,60 mm dia⁻¹. The center pivot systems and the citrus culture was the biggest water consumers.

Palavras-chave: Evapotranspiration, remote sensing, land use, central pivot, irrigation, SAFER, Evapotranspiração, sensoriamento remoto, uso da terra, pivô-central, irrigação, SAFER.

1. Introdução

A agricultura atualmente é considerada como a atividade econômica com o maior emprego e consumo dos recursos hídricos, uma vez que com um crescimento populacional, sua demanda apresenta-se cada vez maior. Dada esta necessidade, muitas regiões visando abastecer o mercado, fazem do uso da irrigação indiscriminada em suas produções, provocando uma redução na quantidade e qualidade da água dos ecossistemas integrados. Com o dano da qualidade em conjunto com a possível escassez provocada por falta de controle do recurso e erosão excessiva proveniente da falta de manejo, todos os usuários estarão competindo pelo suficiente abastecimento de água de qualidade. Por conta disso, diversos estudos de estimativas da evapotranspiração (ET) têm sido desenvolvidos no Brasil em caráter regional, uma vez que são necessários para auxiliar ações no presente, que garantam o fornecimento hídrico no futuro. Sendo assim, estes dados têm sido frequentemente utilizados nas operações de irrigação, cálculo de balanço hídrico e no zoneamento agroclimático.

Neste contexto, obter informações sobre a ET de uma região é fundamental, pois sendo um dos componentes básicos do ciclo hidrológico, sua ação está intimamente ligada ao rendimento das bacias hidrográficas, a umidade atmosférica e ao regime de chuvas. Obter sua estimativa com maior precisão possibilita uma melhor compreensão sobre o balanço hídrico e por fim um melhor manejo da irrigação, especialmente em áreas com recursos limitados.

Sendo a evapotranspiração o processo em que a água da superfície da Terra passa para a atmosfera em estado de vapor, envolvendo não apenas a água superficial como rios, lagos e oceanos, como também a evaporação da água dos solos e da transpiração da vegetação (fragmentos naturais e culturas agrícolas). Por conta dessa perda de água pelas plantas para a atmosfera, exige-se a reposição do recurso no solo para o desenvolvimento favorável dos

cultivos, seja de forma natural por meio da precipitação ou de forma artificial, com a utilização da irrigação.

Segundo Teixeira et al. (2014 a), há uma grande dificuldade na obtenção de dados da ET em campo quando observada em ecossistemas mistos. Silva (2014) também argumenta que experimentalmente há diversos métodos que possibilitam o cálculo da evapotranspiração, contudo salienta que são limitados, pois geram valores de um local específico apenas. Por conta disso, estudos a partir do sensoriamento remoto por imagens de satélites têm sido frequentemente empregados em diversas regiões climáticas em diferentes resoluções espaciais.

De acordo com Silva (2014), um dos benefícios em utilizar imagens de satélite no cálculo da ET é que as informações são geradas a partir do valor tomado *pixel a pixel*, possibilitando obter valores de ET extrapolados a uma área maior ou até mesmo uma região, o que não acontece com dados locais.

A metodologia escolhida para a determinação da evapotranspiração na área de estudo foi o SAFER (*Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving*) na qual automatiza e simplifica o cálculo da ET de referência diária pelo método *Penman-Monteith*, em que busca auxiliar e padronizar a aquisição das informações para o manejo da irrigação (MARIANO et al., 2011). Destaca-se neste modelo a vantagem da simplicidade de aplicação, ausência de necessidade de classificação de culturas e a possibilidade de utilizar dados meteorológicos diários de estações agrometeorológicas convencionais ou automáticas (TEIXEIRA et al., 2012a).

A partir deste *algoritmo* busca-se validar a determinação da ET atual a partir de culturas irrigadas como também os fragmentos de vegetação natural, procurando assim obter uma maior aproximação da evapotranspiração real. (TEIXEIRA et al., 2012a). Desse modo, o presente estudo teve como objetivo realizar a análise sazonal da evapotranspiração atual em diferentes tipos de uso do solo, com a aplicação do algoritmo SAFER em nove sub bacias do Rio Novo, situadas no município de Avaré, São Paulo.

2. Metodologia de Trabalho

2.1. Área de Estudo e dados meteorológicos

A Sub-bacias do Rio Novo encontram-se localizadas no município de Avaré, Estado de São Paulo, e apresentam uma área de 195,56 km. O Rio Novo é afluente do Rio Pardo uma das principais hidrografias da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema (UGRHI-17). Esse estudo teve como alvo as sub-bacias devido a grande concentração de culturas agrícolas irrigadas desenvolvidas nesta área com destaque para a produção de cana-de-açúcar, soja e milho.

No limite da área de estudo (Figura 1) é possível identificar porções de mata nativa como também determinar diferentes tipos de cultivos como citros, eucalipto, soja, milho e cana-de-açúcar. Grande parte das produções faz do uso da irrigação pelo sistema de Pivôs-Centrais. Por ser um dado de interesse para o estudo, as áreas de pivôs-centrais foram delimitadas e calculadas, resultando num valor de 8,53 km², ou seja, 4% da área de estudo é ocupada por sistemas de irrigação por pivôs.

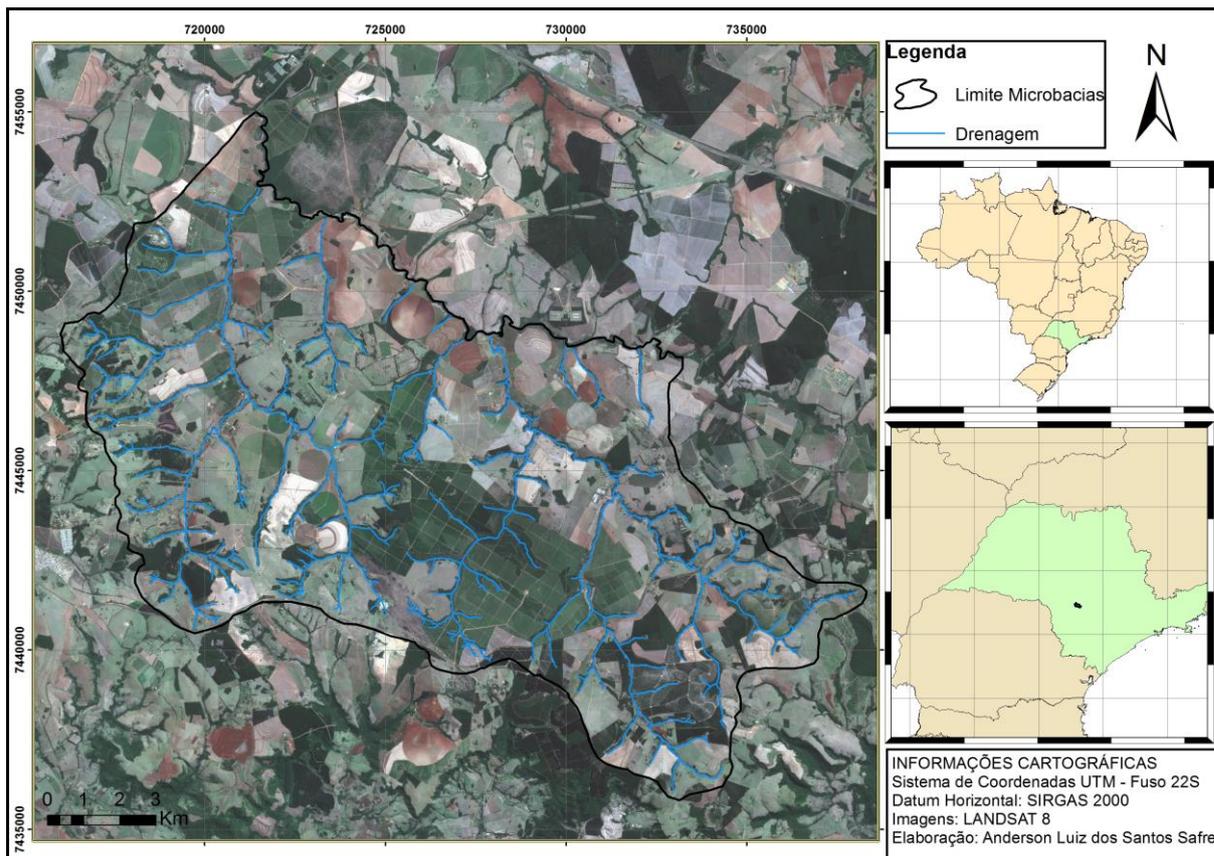


Figura 1. Localização da área de estudo - recorte das Sub-bacias do Rio Novo.

Os dados meteorológicos de radiação global incidente (RS_{\downarrow}), temperatura do ar (T_a) e evapotranspiração (ET) foram calculados a partir da metodologia de *Penman-Monteith* através dos dados obtidos pela estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizada em Avaré-SP, nas coordenadas -23.101749° S e -48.940997° W.

O balanço hídrico da região no ano de 2014, obteve uma precipitação acumulada de 1012,8 mm e a evapotranspiração acumulada de 1579,67 mm. Para a análise escolheram-se quatro imagens do satélite *Landsat – Operational Land Imager 8* em diferentes datas do ano: 06 de fevereiro, 11 de abril, 01 de agosto e 04 de outubro, visando realizar uma análise nas diferentes estações do ano da evapotranspiração no ano de 2014. As imagens utilizadas no estudo foram obtidas gratuitamente no site *Earth Explorer* do serviço geológico dos Estados Unidos. As operações de geoprocessamento foram realizadas no software ArcMap 10.1.

2.2. Estimativa da Evapotranspiração Real

Para o cálculo da evapotranspiração (ET), o algoritmo SAFER foi aplicado na área de estudo considerando a grande ocorrência de áreas irrigadas bem como a presença de vegetação nativa nas margens da hidrografia. A metodologia adotada para o cálculo da evapotranspiração e modelagem dos elementos que compõem o balanço de energia foi a descrita por Teixeira et al. (2013), na qual resultou nos seguintes parâmetros: a reflectância monocromática de cada banda (ρ_{λ}); o albedo planetário (α_b); o albedo de superfície (α_0); o saldo de radiação (R_n); o fluxo de calor latente (λE); o fluxo de calor sensível (H); o fluxo de calor no solo (G); a temperatura de brilho ($T_{b10;11}$) das bandas 10 e 11; a radiação solar

global incidente ($RS\downarrow$); a radiação de onda longa emitida pela superfície terrestre ($RL\uparrow$); a radiação de onda longa emitida pela atmosfera ($RL\downarrow$); a temperatura de superfície (T_0); e o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*). Na preparação do algoritmo SAFER, os parâmetros obtidos por sensoriamento remoto foram introduzidos na Equação 1 para o cálculo da evapotranspiração atual (ET), conforme a equação abaixo (TEIXEIRA, 2010):

$$\frac{ET}{ET_0} = \exp \left[a + b \left[\left(\frac{T_0}{\alpha_0 NDVI} \right) \right] \right] \quad (1)$$

Em que, a e b são coeficientes de regressão, sendo $a = 1$ e $b = -0,008$, tendo como valores de referência o trabalho de Teixeira et al. (2014b).

Para estimar a ET, foi necessário realizar o cálculo da evapotranspiração de referência (ET_0) através da equação proposta por Allen et al. (1998):

$$ET_0 = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \frac{\gamma \cdot 900 \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{t + 273}}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot u_2)} \quad (2)$$

Onde, ET_0 é a evapotranspiração de referência (mm d^{-1}), Δ é a declividade da curva de pressão de vapor ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$), R_n é o saldo de radiação em $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, G é o fluxo de calor no solo dado em $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, γ é a constante psicométrica igual a $0,063 \text{ Kpa } ^\circ\text{C}^{-1}$, u_2 é a velocidade média do vento a 2 m de altura (m s^{-1}), e_s é a pressão de saturação de vapor (kPa), e_a é a pressão atual de vapor (kPa) e t é a temperatura do ar a dois metros de altura ($^\circ\text{C}$).

Assim, através do produto entre a relação ET/ET_0 e a ET_0 , tem-se os valores da ET para a região em estudo.

3. Resultados e discussões

A Figura 2 mostra as variações mensais de $RS\downarrow$, a taxa de ET_0 acumuladas no mês e Precipitação no ano de 2014. Os valores de $RS\downarrow$ representam a principal fonte de energia para os processos evaporativos. Os níveis mais altos ocorreram nos períodos de janeiro a fevereiro e de outubro a dezembro, com uma média de $24,69 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ quando o sol está perto da posição zênite com baixa cobertura de nuvens, e os níveis mais baixos ocorreram de abril a julho com uma média de $14,47 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, no solstício de inverno no Hemisfério Sul.

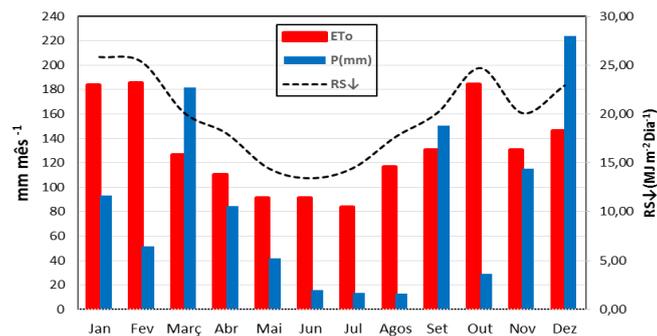


Figura 2. Valores médios mensais da radiação solar global incidente (RS ↓), Evapotranspiração de referência totais mensais (ET0) e precipitação (P).

Embora as maiores taxas de ET0 ocorridas do ano foram nos meses de janeiro, fevereiro e outubro, chegando a mais de 180 mm mês⁻¹, os valores mostraram poucas variações ao longo do ano em comparação com os valores de P. Os únicos meses com ET0 menor que 100 mm mês⁻¹ foram maio, junho e julho, sendo estes últimos junto com agosto e outubro os meses com menor índice de chuva e mostrando altos níveis de déficit hídrico, com taxas acima de 70 mm mês⁻¹ ($P - ET0 < 0$) igual ao apresentado em janeiro e fevereiro. No entanto no mês março e setembro não houve ausência de chuvas e os valores de precipitação acumulada mensal foram superiores em relação a taxa de ET0 ($P > ET0$). É possível observar nas figuras 3, 4, 5 e 6 que os maiores valores de evapotranspiração se concentram nas áreas ocupadas pelos pivôs centrais e pelas culturas de citros.

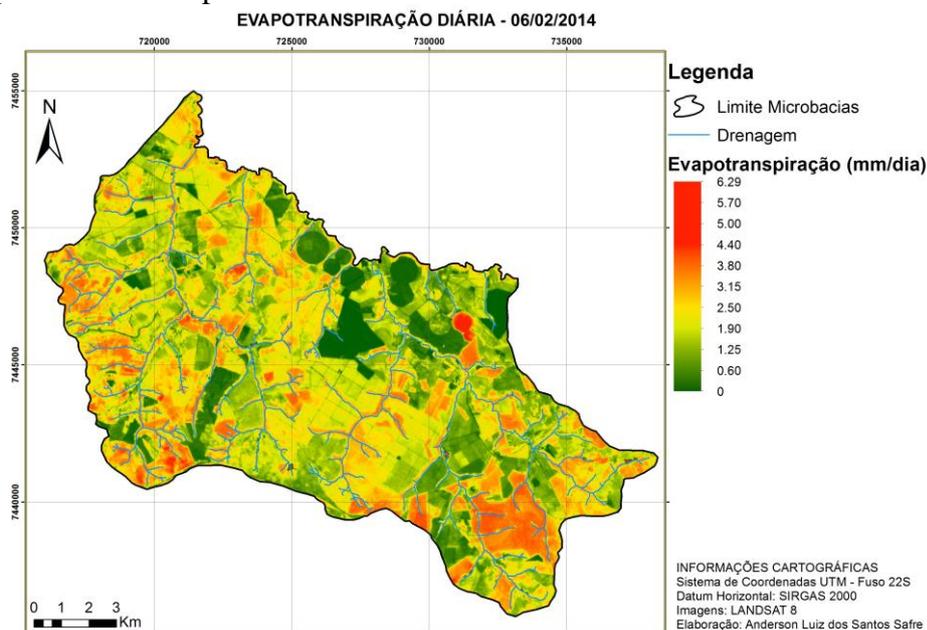


Figura 3. Mapa de Evapotranspiração real no dia 06/02/2014.

Entretanto é notável a variabilidade ao longo do ano, pois os sistemas de irrigação se mantiveram ativos em algumas áreas e foram desativados em outras. Esse fato se deu em função do preparo do solo para replantio, fazendo com que a evapotranspiração nos círculos dos pivôs fosse baixa, porém nos pivôs ativos os valores chegaram próximos de 6,29 mm dia⁻¹ e 5,23mm dia⁻¹ nas imagens de 06 de fevereiro e 01 de agosto.

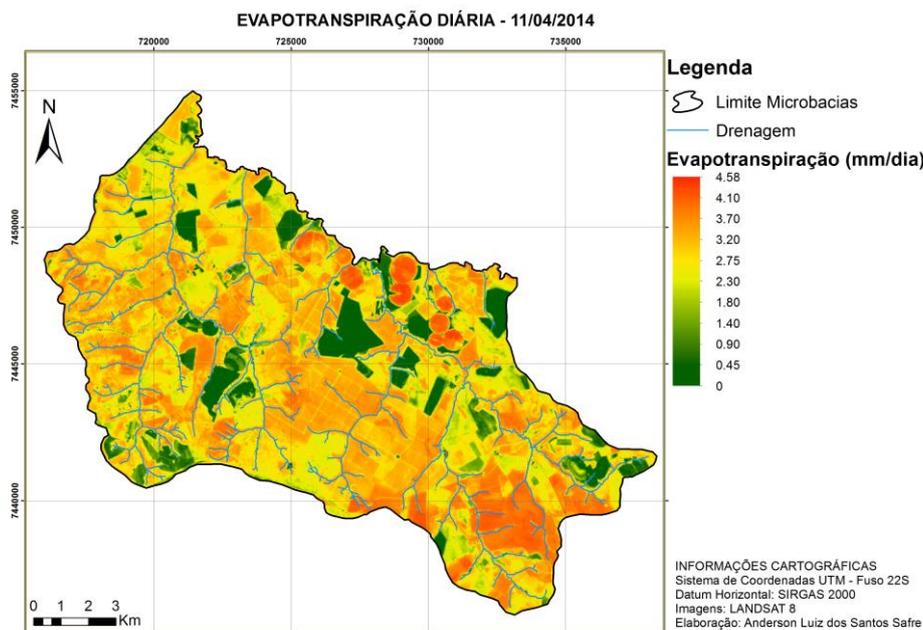


Figura 4. Mapa de Evapotranspiração real no dia 11/04/2014.

Na imagem de 11 de abril é possível notar que os valores médios de evapotranspiração para área de estudo foram altos, ficando entre 3,20 e 4,58 mm dia^{-1} estando a maioria dos pivôs ativos. As áreas ocupadas por citros mantiveram altos valores de evapotranspiração ao longo de todo ano, todavia os menores valores foram encontrados na imagem de fevereiro.

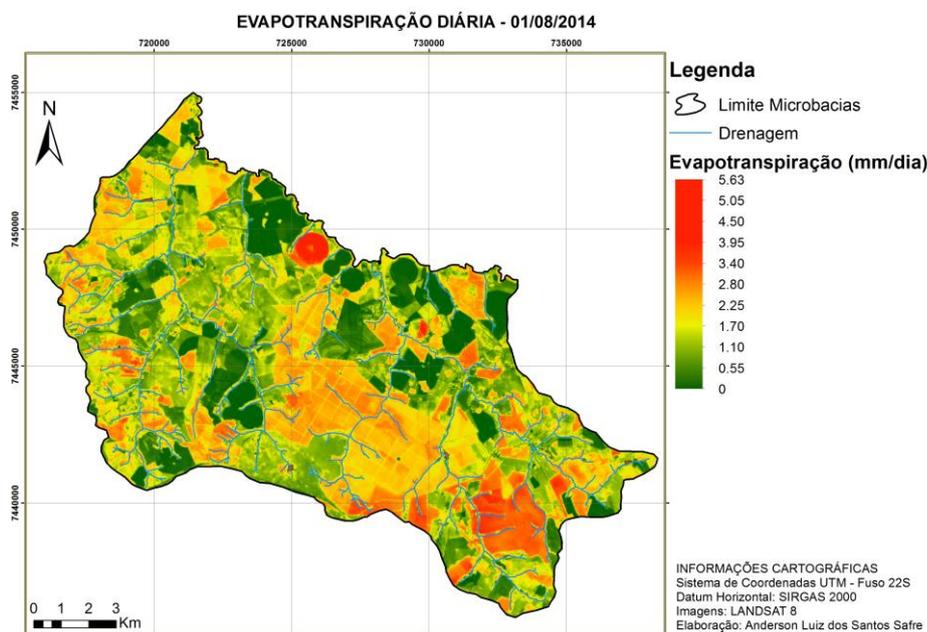


Figura 5. Mapa de Evapotranspiração real do dia 11/04/2014.

A evapotranspiração foi máxima na imagem de 04 de outubro, onde devido a reduzida precipitação quase todos pivôs estavam ativos alcançando valores próximos de 7,6 mm dia^{-1} .

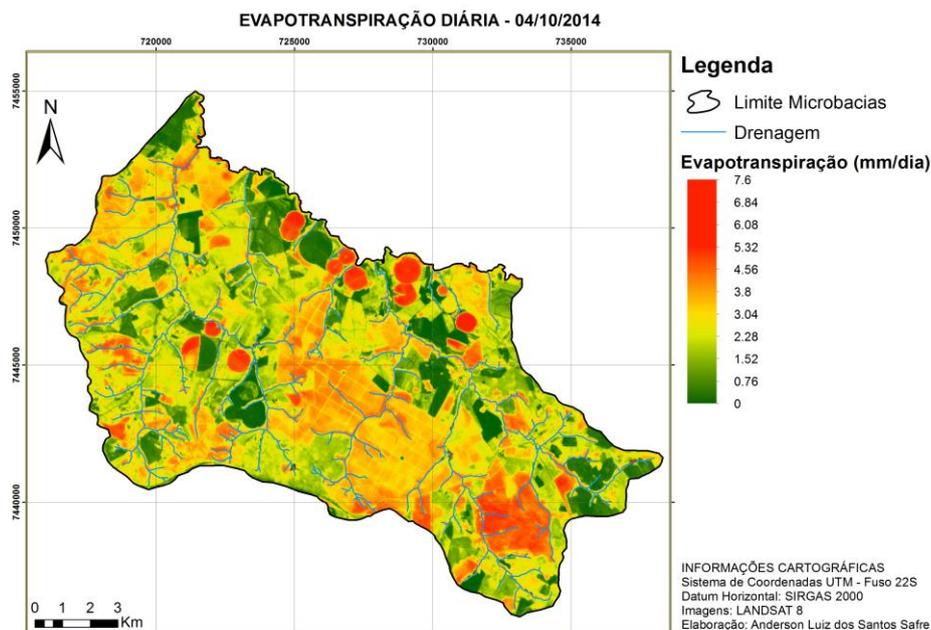


Figura 6. Mapa de Evapotranspiração real do dia 11/04/2014.

As áreas ocupadas por solo exposto e pastagem apresentaram os menores valores de evapotranspiração com mínimo de 0.45 e máximo de 1.52 mm dia⁻¹. É importante salientar que todas as áreas irrigadas estão muito próximas dos afluentes do Rio Novo o que indica que as captações sejam em maioria superficiais, entretanto não foram respeitados os raios de 50 m de APP ao entorno das nascentes. Também é possível identificar que a evapotranspiração observada em todas as imagens é alta nas cabeceiras de drenagem, o que prejudica a vazão de contribuição dos córregos. Esses fatores podem ser um problema ao gerenciamento dos recursos hídricos visto que no ano seguinte o estado de São Paulo enfrentou uma forte estiagem provocando uma queda nos níveis dos rios, sendo os mais afetados aqueles com menor vazão como é o caso das microbacias do Rio Novo.

Esse fato chama atenção para a importância de áreas de recarga ao longo de bacias extensamente ocupadas por sistemas de irrigação, uma vez que essas áreas permitem a exploração sustentável do aquífero sem que haja diminuição no armazenamento do mesmo e redução no fluxo de base que mantém a perenização dos rios e córregos.

4. Conclusões

Através dos resultados foi possível identificar as diferentes interações dos cultivos com a atmosfera por meio da evapotranspiração e observar a sazonalidade da mesma ao longo das diferentes estações do ano. Os valores de evapotranspiração obtidos pelas imagens do Landsat 8, nas sub-bacias do Rio Novo em Avaré – SP, mostraram-se coerentes com os dados do balanço hídrico sendo visível a alta correlação entre os dados obtidos através do algoritmo SAFER e os dados da estação meteorológica.

Os resultados foram bem diferenciados em relação ao uso do solo. Os valores também foram congruentes com os dados citados em literatura, demonstrando que a combinação de sensoriamento remoto com estações agrometeorológicas possibilita avaliar variáveis para determinação de épocas de plantio para uma cultura de sequeiro e também o melhoramento do manejo de água nas áreas irrigadas, auxiliando no gerenciamento dos recursos hídricos de modo a garantir uma produção sustentável. Entretanto um estudo mais

detalhado, com análises a campo se faz necessário para quantificar os valores por classes de uso do solo.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudos concedida e a Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA) da UNESP de Botucatu – SP.

Referências Bibliográficas

MARIANO, J.C.M; HERNANDEZ, F.B.T.; SANTOS, G.O.; TEIXEIRA, A.H.C. Software para cálculo da evapotranspiração de referência diária pelo método de Penman-Monteith. In: CONIRD - Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 21, 2011, Petrolina. **Anais do XXI Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem**. Brasília: ABID, 2011. p.1-6. Disponível em: <http://www.agr.feis.unesp.br/papers.php>. Acesso em: 02 de novembro 2016.

SILVA, Y.F. **Evapotranspiração na cultura de citros no Noroeste Paulista**. 2014.49p. Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2014.

TEIXEIRA, A. H. C. **Determining regional actual evapotranspiration of irrigated and natural vegetation in the São Francisco river basin (Brazil) using remote sensing an Penman-Monteith equation**. Remote Sensing, v. 2, n. 5, p. 1287–1319, 2010.

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

TEIXEIRA, A. H. C. et al. **Modelagem espaço temporal dos componentes dos balanços de energia e de água no Semiárido Brasileiro**. 1. ed. Campinas–SP, 2013.

TEIXEIRA, A. H. de C.; HERNANDEZ, F.B.T.; ANDRADE, R.G. ; LEIVAS, J.F. ; BOLFE, E.L. . Energy balance with Landsat images in irrigated central pivots with corn crop in the São Paulo State, Brazil. **Proceedings of SPIE - International Society for Optical Engineering**, v. 9239, p. 923900-1-923900-10, 2014a

TEIXEIRA, A. H. C. et al. **A Comparative Study of Techniques for Modeling the Spatiotemporal Distribution of Heat and Moisture Fluxes in Different Agroecosystems in Brazil**. In: PETROPOULOS, G. G. (Ed.). Remote Sensing of Energy Fluxes and Soil Moisture Content. 1. ed. Boca Raton, Florida: CRC Group, Taylor and Francis, 2014b. v. 1, cap. 6, p. 169–191.