

Estimativa da evapotranspiração real na bacia do rio Pirapama – PE por meio de técnicas de SIG e imagens MODIS/Terra

Jussara Freire de Souza Viana¹
Alzira Gabrielle Soares Saraiva Souza¹
Suzana Maria Gico Lima Montenegro²
Alfredo Ribeiro Neto³

¹ Doutorandas em Engenharia Civil pela UFPE, Recife - Pernambuco, Brasil,
jussarafsouza@yahoo.com.br; saxzira@yahoo.com.br

² Professora Titular do Departamento de Engenharia Civil, CTG/UFPE
suzanam.ufpe@gmail.com

³ Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Civil, CTG/UFPE
Acadêmico Hélio Ramos, 50740-530, Recife – PE, Brasil
ribeiront@gmail.com

Abstract. The objective of this study is to apply a simple method to estimate the actual evapotranspiration at Rio Pirapama basin (Pernambuco State, Brazil), through estimates of reference evapotranspiration and vegetation cover fraction, using images from the MODIS / TERRA sensor (MOD13Q1 product NDVI). The estimation method of actual evapotranspiration through GIS techniques and satellite images makes use of the rate between reference evapotranspiration values and the vegetation cover fraction. To estimate the reference evapotranspiration (ET_o), the methods of Penman-Monteith-FAO, Hargreaves, Camargo, Thornthwaite and Makkink were used, based on daily weather data from three automatic stations from INMET (Brazilian National Meteorological Institute), located around studied basin's area. The results showed that the direct observation for the days analyzed allowed to note that the spatial distribution of the results of ET_r (actual evapotranspiration) is the same, since the maps had the same origin (the map of vegetation cover fraction), differentiating at reference evapotranspiration values used for estimate of actual evapotranspiration. It is noted that the Makkink's method presented an upper limit of evapotranspiration than that estimated by the method of Camargo. This is because the estimation of the reference evapotranspiration was higher by Makkink method than Camargo's.

Palavras-chave: Vegetation cover fraction, reference evapotranspiration, GIS, fração de cobertura vegetal, evapotranspiração de referência, SIG.

1. Introdução

A estimativa das perdas de água por evapotranspiração (ET) é essencial no planejamento de atividades agrícolas e na gestão dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica. Além de ser um importante componente do ciclo hidrológico, a ET desempenha um papel significativo na dinâmica climática global e nos processos de produtividade primária de ecossistemas terrestres, uma vez que encontra-se diretamente ligada aos processos de transferência de energia.

A evapotranspiração pode ser compreendida como a soma total da evaporação do solo e a transpiração das culturas, podendo ser estudada sob as condições de referência e real (BORGES e MENDIONDO, 2007). A estimativa desse parâmetro necessita ser feita com a maior precisão possível. Ao longo dos anos vários métodos diretos e indiretos foram desenvolvidos para estimar essa variável, desde equações empíricas, apoiadas em variáveis meteorológicas, técnicas de medições diretas usando os lisímetros, estimativas do balanço de energia baseadas nas técnicas da razão de Bowen, correlação de turbilhões e perfil aerodinâmico. Contudo, alguns desses métodos apresentam limitações quando o interesse é a obtenção da evapotranspiração em grandes áreas, sobretudo, as áreas com acentuada heterogeneidade (OLIVEIRA et al., 2014).

Nesta perspectiva, o sensoriamento remoto juntamente com ferramentas de geoprocessamento permite a possibilidade da determinação da estimativa regional de evapotranspiração para grandes

áreas de modo a preencher uma lacuna existente quanto a essa estimativa. Na agricultura, por exemplo, o sensoriamento remoto possibilita a geração de séries temporais das cenas estudadas e espacializa as informações coletadas, tornando-as importantes para o planejamento de áreas irrigadas (BASTIAANSEN, 2000).

Neste sentido, métodos que utilizam cálculos para obter a evapotranspiração a partir das imagens de satélite e técnicas de SIG apresentam grande economia de recursos financeiros e de tempo, com custo quase zero e boa precisão, ressaltando apenas limitações em relação à presença de nuvens nas imagens de satélite.

Neste contexto, o objetivo deste estudo é aplicar um método simples para estimar a evapotranspiração real, na bacia hidrográfica do Rio Pirapama, por meio de estimativas da evapotranspiração de referência e da fração de cobertura vegetal, utilizando imagens do sensor MODIS/TERRA.

2. Metodologia de Trabalho

A Bacia do Rio Pirapama situa-se na porção centro-sul da Região Metropolitana do Recife – RMR e da Zona da Mata Pernambucana, entre as latitudes $8^{\circ} 07'29''$ e $8^{\circ} 21'00''$ S e as longitudes $34^{\circ}56'20''$ e $35^{\circ}23'13''$ W. Possui uma área que atinge aproximadamente 600 km^2 com extensão de 80 km, cuja nascente localiza-se no município de Pombos, no Agreste de Pernambuco, a 450 m de altitude. Sua desembocadura localiza-se no rio Jaboatão, entre os municípios de Cabo de Santo Agostinho e Jaboatão dos Guararapes, considerado ponto estratégico para o abastecimento da RMR. Essa bacia abrange a área de seis municípios: Cabo de Santo Agostinho, Jaboatão dos Guararapes, Ipojuca, Moreno, Escada e Pombos (Figura 1).

O clima é tipicamente tropical, quente e úmido, com variação de temperatura na faixa dos 26°C a 28°C . A precipitação e a evaporação médias anuais na região ficam em torno de 1500 mm e 1200 mm, respectivamente (STRETTA, 2000).



Figura 1. Localização da Bacia do Rio Pirapama – PE e dos postos meteorológicos do INMET

2.1 Espacialização da Evapotranspiração Real por técnicas de SIG e imagens de satélite

O método de aquisição da evapotranspiração real por meio de técnicas de SIG e imagens de satélite faz uso da relação entre os valores da evapotranspiração de referência e a fração de cobertura vegetal. Para estimar essa variável, obtém-se a evapotranspiração de referência de um ou mais pontos da área de estudo, e por meio de técnicas de interpolação, espacializa-se esses valores para as demais áreas da região estudada. Em seguida, multiplicam-se os valores interpolados da

evapotranspiração de referência pela fração de cobertura vegetal obtida por imagem de satélite através de técnicas de SIG.

Este método para estimar a evapotranspiração real por meio de técnicas de SIG foi proposto por Brunsell e Gillies (2003). Entretanto, os autores utilizaram imagens do Landsat 5 - TM para extrair o NDVI através das técnicas de SIG, e este trabalho utiliza imagens do MODIS/TERRA, produto MOD13, cujo NDVI já se encontra disponibilizado.

É importante ressaltar que este método para estimar a evapotranspiração real da ETo e da fração de cobertura vegetal é apenas uma aproximação, pois tal procedimento leva em conta apenas as superfícies livres de água.

2.2 Estimativa dos Índices de Vegetação

O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) é um indicador sensível da quantidade e da condição da vegetação verde. Seus valores variam de -1 a +1, e para superfícies com alguma vegetação o NDVI varia de 0 a 1. Para água e nuvens, geralmente, é menor que zero (BASTIAANSEN, 2000). O NDVI é estimado pela seguinte equação:

$$NDVI = (NIR-RED) / (NIR+RED) \quad (1)$$

No qual, NIR representa a energia refletida na região do infravermelho próximo e o RED a energia refletida na região do vermelho do espectro eletromagnético.

As imagens do NDVI foram utilizadas como base para obtenção do NDVI^o (escalar). A expressão utilizada para obter o NDVI escalar é dada por:

$$NDVI^o = (NDVI - NDVI_0) / (NDVI_v - NDVI_0) \quad (2)$$

Em que, NDVI₀ é o valor do NDVI para solo exposto e NDVI_v equivale ao NDVI com superfície 100% vegetada. Os valores de NDVI₀ e NDVI_v correspondem, respectivamente, aos valores mínimo e máximo de NDVI na área analisada (BINGFANG, 2004).

Para aquisição da fração de cobertura vegetal foram utilizadas as informações do NDVI^o (escalar), mediante a expressão (CARLSON, 1997):

$$Fr = NDVI^o^2 \quad (3)$$

Em que, Fr é a fração de cobertura vegetal e NDVI^o é o índice de vegetação por diferença normalizada escalar. Esse método assume que a fração de cobertura vegetal define a fração entre ETo e ETr.

Para obter a evapotranspiração real (ETr) foram utilizadas as informações da fração de cobertura vegetal e os valores da evapotranspiração de referência (ETo) obtidas pelos métodos propostos.

$$ETr = Fr \cdot ETo \quad (4)$$

2.3. Estimativa da Evapotranspiração de Referência

As estimativas da evapotranspiração de referência (ETo) foram realizadas pelos métodos de Penman-Monteith (FAO), Hargreaves, Camargo, Thornthwaite e Makkink para os dias das imagens de satélite, que correspondem a dias do período chuvoso e do período seco na região estudada. Entretanto, a estimativa pelo método de Penman-Monteith foi utilizada apenas como amostra de referência para análise da variação dos demais métodos para os dias estudados. Para interpolação (espacialização da ETo), serão escolhidos os métodos que apresentarem, no geral, maiores e menores erros em relação aos resultados apresentados por Penman-Monteith. Esta análise se torna

favorável a partir do momento em que se supõe que o valor real esteja inserido entre o menor e o maior valor de evapotranspiração de referência.

O método de Penman-Monteith é recomendado pela *Food Agriculture Organization* (FAO) como o mais adequado para estimar a evapotranspiração de referência (ET_o) de uma cultura em escala diária, em virtude da robustez e boa quantidade de informações empregadas na equação (BORGES, 2007). Para a estimativa da ET_o pelo método de Penman-Monteith-FAO utilizou-se a seguinte expressão (ALLEN et al., 1998):

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} \mu_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34\mu_2)} \quad (5)$$

Sendo, ET_o a evapotranspiração de referência (mm/dia); R_n - saldo de radiação (MJ/m² dia⁻¹); G - fluxo de calor no solo (MJ/m² dia⁻¹); T- temperatura média diária do ar (°C); μ₂ - velocidade média diária do vento a 2 m de altura (m/s⁻¹); e_s - pressão de saturação do vapor média diária (kPa); e_a - pressão atual de vapor média diária (kPa); Δ - declividade da curva de pressão de vapor no ponto correspondente a temperatura (kPa/°C); e, γ - constante psicrométrica (kPa/°C).

O método baseado em temperatura de Hargreaves (1985) para estimar a ET_o (mm/dia) leva em consideração variáveis de localização geográfica, temperatura diária máxima, média e mínima, sendo expressa pela seguinte equação:

$$ET_{o(HS)} = 0,0023 \cdot R_T \cdot \sqrt{T_{\max} - T_{\min}} \cdot (T + 17,8) \quad (6)$$

No qual, ET_{o(HS)} é a evapotranspiração de referência estimada pelo método de Hargreaves & Samani (mm/dia); R_T a radiação extraterrestre (mm/dia); T_{máx}, T_{mín} e T- a temperatura máxima, mínima e média (°C), respectivamente.

A equação proposta por Camargo foi baseada na equação de Thornthwaite, dada por (CAMARGO & CAMARGO, 2000):

$$ET_{o(CA)} = R_T \cdot T \cdot k_f \cdot ND \quad (7)$$

Em que, ET_{o(CA)} é a evapotranspiração de referência estimada pelo método de Camargo (mm/dia⁻¹); R_T, a radiação solar extraterrestre, no período considerado (mm/dia⁻¹); ND o número de dias do período analisado; T, a temperatura média (°C); e K_f um fator de ajuste que varia com a temperatura média anual do local (k_f = 0,01 para T < 23°C; k_f = 0,0105, para T = 24°C; k_f = 0,011, para T = 25°C; k_f = 0,0115, para T = 26°C; e k_f = 0,012, para T > 26°C).

O método proposto por Thornthwaite é uma relação exponencial entre a temperatura média mensal e a evapotranspiração (CHOW, 1964). Essa relação é dada pela seguinte equação:

$$ET_{o(Th)} = 16 \left(10 \frac{T_i}{I} \right)^a, \quad 0^\circ\text{C} \leq T_i \leq 26^\circ\text{C} \quad (8)$$

$$ET_{o(Th)} = -415,85 + 32,24T_i - 0,43T_i^2, \quad T_i > 26^\circ\text{C} \quad (9)$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} (0,2T_i)^{1,514}, \quad T \geq 0^\circ\text{C} \quad (10)$$

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 1,7912 \cdot 10^{-2} I + 0,49239 \quad (11)$$

No qual, ET_{o(Th)} é a evapotranspiração obtida pelo método de Thornthwaite (mm/mês⁻¹); T_i é a temperatura média mensal (°C); I é o índice térmico imposto pelo regime climático local. As equações 8 e 9 fornecem a evapotranspiração para a condição padrão de meses com 30 dias e dias

com 12 horas de brilho solar. Para obter a evapotranspiração diária, multiplica-se o valor obtido através das Equações 8 ou 9 pelo fator de correção (Equação 12 e 13) (PEREIRA et al., 1997).

$$C = \frac{N}{12} \cdot \frac{1}{30} \quad (12)$$

$$N = \frac{2}{15} \omega_s \quad (13)$$

Em que, N é o fotoperíodo (h) de um determinado dia, ω_s é o ângulo horário relativo ao nascer ou ao pôr do sol (radianos) (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Também utilizou-se a equação baseada na radiação solar de Makkink, segundo a equação 14 e 15:

$$ET_{o(MK)} = 0,61 \cdot W \cdot R_T - 0,12 \quad (14)$$

$$W = 0,483 + 0,01 \cdot T \quad (15)$$

Sendo, $ET_{o(MK)}$ a evapotranspiração de referência (mm/dia^{-1}) estimada pelo método de Makking (1957), R_T a radiação extraterrestre, W é um fator de ponderação e T a temperatura do ar média (PEREIRA et al., 1997).

2.4 Elaboração de banco de dados espaciais e dados meteorológicos

Para este estudo, foram utilizadas imagens MODIS, produto MOD13Q1 (NDVI), quadrante h14v09, resolução espacial 250 metros, composição de 16 dias, em formato HDF, datadas de 12 de julho de 2011, 17 de novembro de 2011, 12 de julho de 2012 e 17 de novembro de 2012. Depois de obtidas, as imagens do Produto MOD13Q1 disponibilizadas pelo portal de dados do EOS (EDG, *EOS Data Gateway*) foram tratadas no aplicativo MRTTool (*Modis Reprojection Tool*), reprojetaadas para coordenada UTM (*Universal Transversa de Mercator*) e convertidas para o formato GeoTIFF. Posteriormente, as imagens foram recortadas e manipuladas para aquisição do NDVI escalar, da fração de cobertura vegetal e da evapotranspiração real em ambiente SIG.

Para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) foram utilizados dados meteorológicos diários referentes às datas das imagens de satélite, provenientes das estações meteorológicas automáticas, disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET/BDMEP). As estações meteorológicas utilizadas foram as localizadas no entorno da bacia do Rio Pirapama, pois na área interna da bacia não há estação meteorológica instalada. Foram adotadas as estações meteorológicas automáticas do Recife (A301), Surubim (A328) e Palmares (A357), pela proximidade com a área da bacia (Figura 1).

3. Resultados e discussão

As Tabelas 1 e 2 apresentam os resultados dos métodos de obtenção da evapotranspiração de referência para os dias das imagens de satélite, referente ao período chuvoso e seco na região da Bacia do Rio Pirapama. Analisando-se os valores obtidos, verifica-se que em geral o método de Camargo apresentou maior quantidade de estimativas cujo erro absoluto foi menor em relação ao método de Penman-Monteith, e o método de Makkink apresentou valores maiores de evapotranspiração de referência em relação a Penman-Monteith, cujo erro também foi maior.

Dessa forma, optou-se pelos métodos de Camargo e Makkink para espacializar a evapotranspiração de referência (interpolação), pois apresentaram valores extremos em relação à Penman-Monteith (PM).

Tabela 1. Estimativas da ET_o (mm/dia) para os diferentes métodos (período chuvoso) e erro absoluto em relação a Penman-Monteith

Ano	Estação Meteor.	Penman Monteith	Hargreaves		Camargo		Thornthwaite		Makkink	
		ETo	ETo	Erro	ETo	Erro	ETo	Erro	ETo	Erro
12 de julho de 2011	Recife	1,81	2,36	0,55	2,93	1,12	2,29	0,48	5,41	3,6
	Surubim	2,05	2,42	0,37	2,7	0,65	2,18	0,13	5,27	3,22
	Palmares	2,08	2,95	0,87	2,93	0,85	2,28	0,2	5,41	3,33
12 de julho de 2012	Recife	2,91	3,55	0,6	3,28	0,4	2,4	0,5	5,53	2,62
	Surubim	4,01	3,83	0,2	2,9	1,1	2,28	1,7	5,4	1,39
	Palmares	3,04	3,6	0,6	3,49	0,5	2,42	0,6	5,55	2,51

Tabela 2 – Estimativas da ETo (mm/dia) para os diferentes métodos (período seco) e erro em relação a Penman-Monteith

Ano	Estação Meteor.	Penman Monteith	Hargreaves		Camargo		Thornthwaite		Makkink	
		ETo	ETo	Erro	ETo	Erro	ETo	Erro	ETo	Erro
17 de Novembro de 2011	Recife	4,52	4,72	0,2	4,91	0,39	4,73	0,21	6,92	2,4
	Surubim	5,78	5,59	0,19	4,88	0,9	4,65	1,13	6,9	1,12
	Palmares	4,95	5,33	0,38	4,98	0,03	4,85	0,1	6,95	2
17 de novembro de 2012	Recife	5,67	4,9	0,8	5,18	0,5	5,17	0,5	7,05	1,38
	Surubim	6,25	4,44	1,8	4,85	1,4	4,61	1,6	6,88	0,63
	Palmares	5,06	5,67	0,6	4,91	0,1	4,73	0,3	6,92	1,86

Os resultados obtidos foram utilizados na geração de mapas temáticos da evapotranspiração real (ETr), por meio das estimativas da evapotranspiração de referência pelo método de Camargo e Makkink (especializadas) e pela fração de cobertura vegetal obtido pelas imagens de satélite.

A observação direta das Figuras 2 e 3 para os dias analisados permite atentar que a distribuição espacial dos resultados da ETr (evapotranspiração real) é a mesma, uma vez que os mapas tiveram a mesma origem (mapa da fração de cobertura vegetal), diferenciando-se apenas nos valores de evapotranspiração de referência utilizado para estimativa da evapotranspiração real. Verifica-se que o método de Makkink apresentou um limite superior da evapotranspiração real do que a ETr estimada pelo método de Camargo. Isso acontece devido a estimativa da evapotranspiração de referência ter sido maior pelo método de Makkink do que pelo de Camargo.

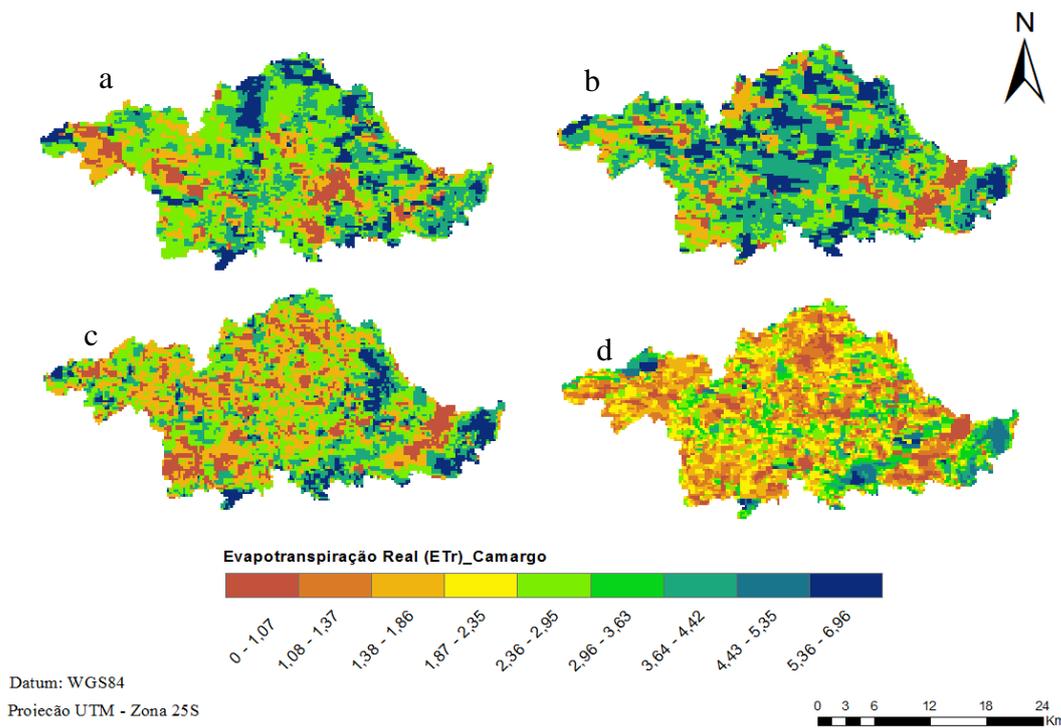


Figura 2. Distribuição espacial da evapotranspiração real na Bacia do Rio Pirapama pelo método de Camargo nos dias 12 de julho de 2011(a); 12 de julho 2012 (b); 17 de novembro de 2011 (c); e 17 de novembro de 2012 (d).

Observando os valores de intervalo da ETr entre as Figuras 2a-b e 3a-b, percebe-se que houve um aumento da evapotranspiração real de 2011 para 2012, onde verifica-se maior proporção de valores máximos da ETr, com variação em torno de 3,64 a 6,96 mm/dia (Figura 2b) e de 5,04 a 9,64 mm/dia (Figura 3b). No entanto, nas Figuras 2c-d e 3c-d, observa-se uma diminuição da ETr em 2012, cuja maior proporção espacializada corresponde aos valores mínimos da ETr, que vão de 0 a 2,95 mm/dia (Figura 2d) e de 0 a 4,05 mm/dia (Figura 3d).

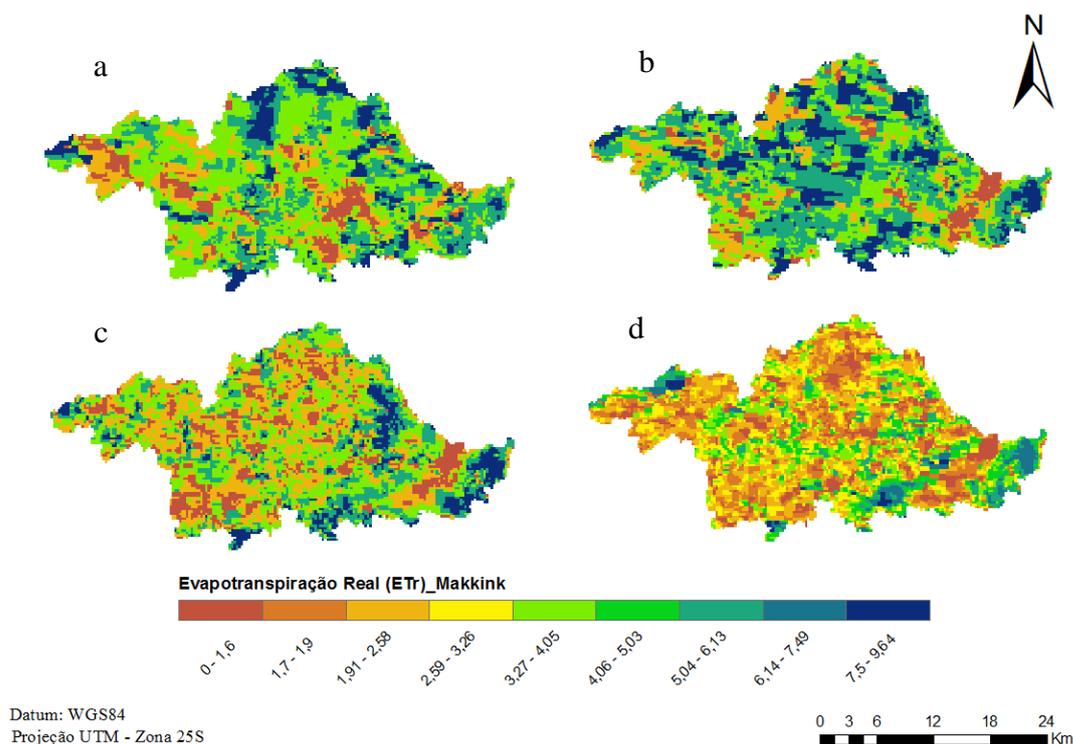


Figura 3. Distribuição espacial da evapotranspiração real na Bacia do Rio Pirapama pelo método de Makkink nos dias 12 de julho de 2011(a); 12 de julho 2012 (b); 17 de novembro de 2011 (c); e 17 de novembro de 2012 (d).

4. Conclusão

Diante dos resultados obtidos, pode-se concluir que a estimativa da ETr pelo método proposto mostrou-se bastante simples e objetiva, cumprindo a proposta do trabalho que visava apresentar o método de aquisição da ETr dentro do ambiente SIG. A obtenção direta do NDVI pelo produto MOD13Q1 (MODIS/Terra) e a disponibilidade na rede virtual das imagens de satélite acelerou o processo de estimativa do NDVI escalar e da fração de cobertura vegetal pela álgebra de mapas. Os valores da evapotranspiração real para os dias analisados foram maiores no dia 12 de julho de 2012, tanto no método de Camargo quanto no de Makkink.

A simplicidade do método e a obtenção de curto prazo de alguns parâmetros exigidos para estimativa da ETr favorecem o uso da metodologia, quando comparado a metodologias mais robustas. No entanto, o método ainda carece de fontes na literatura que venham a embasar sua aplicação de forma mais consistente.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem a FACEPE (Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco) pela concessão da bolsa de doutorado da primeira autora, a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa de Doutorado da segunda autora, ao projeto SUPER (446254/2015), e ao CNPq (convênio 448236/2014-1) pela bolsa PQ (Produtividade e Pesquisa) do terceiro autor.

6. Referências

- 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.htm>>. Acesso em: 01 julho. 2015.
- BASTIAANSEN, W. G. M. “SEBAL-based sensible and latent heat flux in the irrigated Gediz basin, Turkey”, **Journal of Hydrology**, v. 229, pp. 87 – 100, 2000.
- BINGFANG, W.; MIAOMIAO, L.; CHANGZHEN, Y.; WEIFENG, Z. Developing Method of Vegetation Fraction Estimation by Remote Sensing for Soil Loss Equation: a Case in the Upper Basin of Miyun Reservoir. **IEEE**, 2004.
- BORGES, A. C.; MENDIONDO, E. M. Comparação entre equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência na Bacia do Rio Jacupiranga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.3, p.293-300, 2007.
- BRUNSELL, N. A. and R. R. GILLIES. 2003. Length Scale Analysis of Surface Energy Fluxes Derived from Remote Sensing. **Journal of Hydrometeorology**, 4, 1212-1219.
- CARLSON, T. N.; RIZILEY, D. A. (1997). On the Relation between NDVI, Fractional Vegetation Cover, and Leaf Area Index. **Remote Sensing of Environment**, v. 62, p.241-252, 1997.
- CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Artigo de Revisão**. Bragantia (São Paulo, Impresso), v.59, n.2, p.125-137, 2000.
- CHOW, V. T. **Handbook of Applied Hydrology**. Nova York: McGraw-Hill, (1964).
- HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Journal of Applied Engineering in Agriculture**, St Joseph, v.1, n.2, p.96-99, 1985.
- INMET** – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Dados Meteorológicos. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>.
- MAKKINK, G, F. Ekzamento de la formulo de Penman. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, Wageningen, v. 5, p. 290-305, 1957.
- OLIVEIRA, L. M. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, B. B.; ANTONINO, A. C. D.; MOURA, A. E. S. S. Evapotranspiração real em bacia hidrográfica do Nordeste brasileiro por meio do SEBAL e produtos MODIS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.10, p. 1039 – 1046, 2014.
- PENMAM, M. L. Evaporation: an introductory survey. *Neth. Jour. Of Agric. Science*, v. 4, p. 9-29. 1948. PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ. 1997. 183p.
- STRETTA, C. **Hydrodynamic Modelling of the Pirapama Estuarine System after upstream regulation**. Rapport INPT/ENSEEIH, 2000.
- VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Recife: Versão Digital, 2006. 443p.