

ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POR SENSORIAMENTO REMOTO UTILIZANDO O ALGORITMO SEBAL EM UMA ÁREA COM DISTINTOS USOS DO SOLO NO PARAGUAI

Frederico Carlos Martins de Menezes Filho¹; Margarita M. Pereira Pessoa²; F. A. Monte Domecq³; Adriano Marlisom Leão de Sousa⁴ & Walter Collischonn⁵

RESUMO --- O objetivo deste trabalho foi determinar a evapotranspiração real instantânea e diária por meio do algoritmo SEBAL utilizando imagens do sensor TERRA/MODIS. A área de estudo compreendeu a região do Paraguai incluindo paisagens com distintos usos do solo. Foram utilizados dados de estações automáticas localizadas em duas cidades diferentes da região para confrontar os resultados. Definiram-se duas datas referentes ao período seco e úmido. Os resultados mostraram-se satisfatórios com o delineamento da evapotranspiração para diferentes usos do solo presentes na área de estudo e também na diferenciação dos períodos em análise.

ABSTRACT--- The objective of this study was to determine the instantaneous and daily evapotranspiration through SEBAL algorithm using images from the TERRA/MODIS sensor. The study area covered a region of Paraguay including landscapes with different types of land uses. Data from both stations located in two different cities were used to perform the calculations and to compare the results. Set up two dates for the dry and wet season. The results showed to be satisfactory with the design of evapotranspiration for different land uses present in the study area and also in the differentiation of the periods of analysis.

Palavras-Chave: Sensoriamento Remoto, Balanço de Energia, TERRA/MODIS.

-
- 1) Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, IPH – UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500. Porto Alegre. E-mail: menezesfilho.frederico@gmail.com
 - 2) Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, IPH – UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500. Porto Alegre. E-mail: mmepereira@gmail.com
 - 3) Biólogo, Pesquisador Projeto SINERGIA. E-mail: federimonte@gmail.com
 - 4) Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, IPH – UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500. Porto Alegre. E-mail: marlisoms@yahoo.com.br
 - 5) Professor Adjunto do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, IPH – UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500. Porto Alegre. E-mail: collischonn@iph.ufrgs.br

1. INTRODUÇÃO

A evapotranspiração corresponde a aproximadamente três quartos da precipitação que ocorre sobre os continentes (Andrade, 2008) e sua importância reside no ciclo hidrológico como aporte de água futura. A evolução dos estudos demonstra a grande aplicação da estimativa para regiões agrícolas que dependem do suprimento de água na previsão de plantio e colheita para safras. Entretanto, a ausência de dados meteorológicos bem como a pontualidade dos mesmos evidencia uma ineficiência quando é necessário estimar valores para extensas áreas.

Diferentemente dos equipamentos existentes para determinação da evapotranspiração como lisímetros e métodos indiretos, como por exemplo, o da FAO 56 – Método de Penman-Monteith (Allen, et al., 1998), o sensoriamento remoto juntamente com ferramentas de geoprocessamento permite a possibilidade da determinação da estimativa regional de evapotranspiração para grandes áreas vindo a preencher uma lacuna existente quanto a esta estimativa. Essa determinação se dá pela união de algoritmos que representam através de processos físicos o balanço de energia na superfície terrestre e a radiação. Andrade (2008) descreve a evolução destes algoritmos incluindo um dos mais utilizados mundialmente e também na América Latina, o SEBAL – Surface Energy Balance Algorithms for Land desenvolvido por Bastiaanssen (1995) que busca estimar a evapotranspiração para grandes áreas. Necessita basicamente de dados da estação da área que se busca estudar como velocidade do vento e a temperatura. Aliado a esses dados utiliza-se imagens de sensores orbitais tais como: LANDSAT-TM bem como o TERRA/MODIS que contém bandas dentro da faixa do infra-vermelho, infravermelho próximo e termal. Outra aplicação possível é a do sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) descrita por Giacomoni & Mendes (2008) na determinação da estimativa da evapotranspiração regional. Para o processamento das imagens, a nível nacional destaca-se a ferramenta de geoprocessamento SPRING (Câmara et al., 1996), desenvolvida pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e que foi utilizada neste trabalho. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi estimar a evapotranspiração real instantânea e diária através da equação do balanço de energia por meio do algoritmo SEBAL utilizando imagens do sensor TERRA/MODIS.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1- Área de estudo

A área de estudo escolhida se encontra no Paraguai, compreendendo de norte a sul as regiões seguintes: parte sul do chaco paraguaio, a capital Assunção e na região sul os departamentos:

Central, Cordillera, Paraguari e Ñeembucu (Figura 1). Nesta área se encontram mais de 40 % da população do país e sobre a mesma região se encontram duas bacias de muita importância. Uma delas é a bacia do Lago Ypacarai com extensão de 1100 km² contemplando 3 departamentos do país e a outra uma bacia de água subterrânea, o Aquífero Patiño, que abastece de água a grande parte da população sobre ele concentrada.

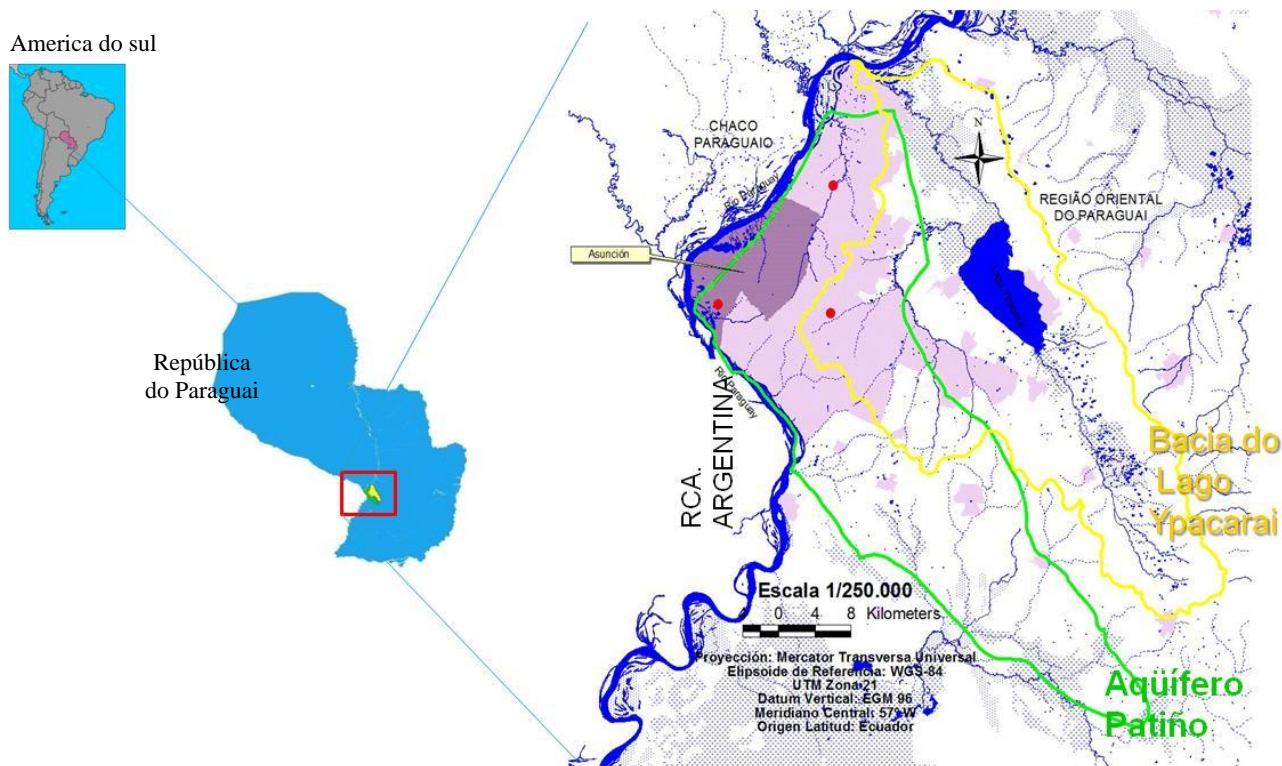


Figura 1 – Área de Estudo

2.2- Dados

Foram obtidas as imagens do sensor TERRA/MODIS para as duas datas referentes ao período seco, dia Juliano 169 (17/06/2008) e período úmido dia Juliano 341 (06/12/2008) e dados da estação automática localizada na região de Assunção-Paraguai para estimativa da evapotranspiração real. As imagens dos produtos MODIS foram escolhidas atendendo a necessidade de que as mesmas devem conter quantidade mínima ou nula de nuvens nas datas de estudo. Os produtos MODIS utilizados para a estimativa da evapotranspiração são descritos a seguir consoante (Sousa, 2008).

2.2.1- MOD09 – Reflectância da superfície

A reflectância da superfície tem resolução espacial de 250m do sensor MODIS. O MOD09 é uma estimativa da reflectância espectral da superfície terrestre, para cada banda, que seria medida

próximo ao solo, ou seja, desprezando os efeitos atmosféricos. O produto reflectância da superfície L2G 250m do MODIS/Terra (MOD09) é processado para todo globo diariamente usando o nível 2G 250m Pointer Files (MODPTQKM), localizando a reflectância nível 2 da superfície (MOD09) em uma grade geográfica.

2.2.2- MOD11 – Temperatura da superfície terrestre

O produto MOD11 utiliza, como dados de entrada, a radiância (MOD021KM), a geolocalização (MOD03), a máscara de nuvens (MOD35_L2), a qualidade da cobertura do terreno (MOD12Q1) e a neve (MOD10_L2). O arquivo de saída utilizados são a temperatura da superfície, as emissividades das bandas 31 e 32, e os ângulos zenitais, com resolução espacial de 1km.

2.2.3- MOD13 – Índice de vegetação

O produto MOD13, de nível 3 na hierarquia de processamento, contém, entre outros dados as imagens NDVI em composições de 16 dias com resolução espacial de 500m, utilizadas nos cálculos da estimativa de evapotranspiração neste trabalho.

2.3- Dados Meteorológicos

Os dados de temperatura do ar e velocidade do vento, necessários para o cálculo, foram obtidos da estação meteorológica automática da Universidade Nacional de Assunção localizada na latitude 25° 20' S e longitude 57° 30'W dentro da região de estudo. Esta estação meteorológica é capaz de prover os seguintes parâmetros com frequência de dez minutos: temperatura do ar, temperatura do solo, umidade relativa, temperatura de orvalho, pressão atmosférica, direção e velocidade do vento, precipitação, saldo de radiação e radiação global, porém, não fornece dados de evapotranspiração necessários para a adequada comparação. Então na hora de encontrar valores de referência de evapotranspiração para comparação e avaliação, utilizou-se valores de evapotranspiração dados pela equação de Penman-Monteith, utilizando essa vez dados da Estação Meteorológica Automática da Universidade Católica de Assunção localizada em latitude 25° 19' 28.22''S e longitude 57° 38' 14.70''W.

2.4- Cálculo do Saldo de Radiação (Rn) e do Calor Sensível (H)

As figuras 2 e 3 abaixo representam os fluxogramas de cálculos do Saldo de Radiação e do Calor Sensível e o indicativo dos parâmetros obtidos da estação e também dos produtos obtidos do sensor MODIS e a implementação no SPRING 4.3 em linguagem legal.

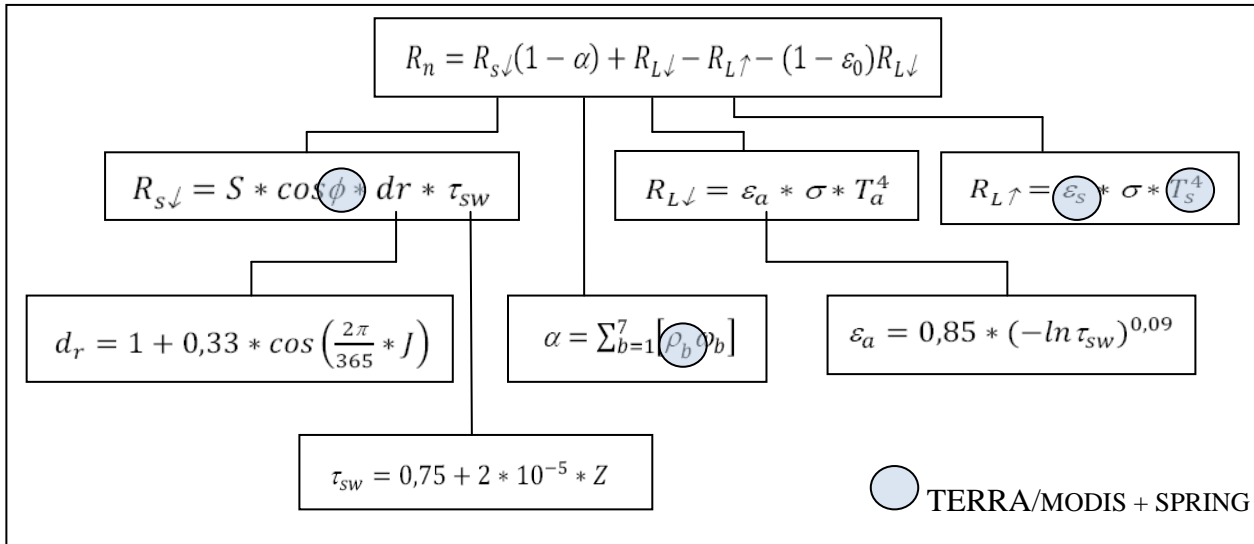


Figura 2 – Esquema representativo do cálculo do saldo de radiação pelo SEBAL

2.5- Cálculo do fluxo de calor no solo (G)

O cálculo do fluxo de calor no solo é estabelecido segundo Bastiaanssen (1995) por meio de uma relação empírica dada pela Equação 1:

$$\frac{G}{R_n} = \left[\frac{T_s}{\alpha} (0,0038\alpha + 0,0074\alpha^2)(1 - 0,98NDVI^4) \right] \quad (1)$$

onde:

G: fluxo de calor no solo;

Rn: Saldo de radiação;

Ts: temperatura da superfície, obtida através do produto MODIS 09;

α : albedo, calculado anteriormente utilizando o produto MODIS 09;

NDVI : índice de vegetação também obtido do produto MODIS 13.

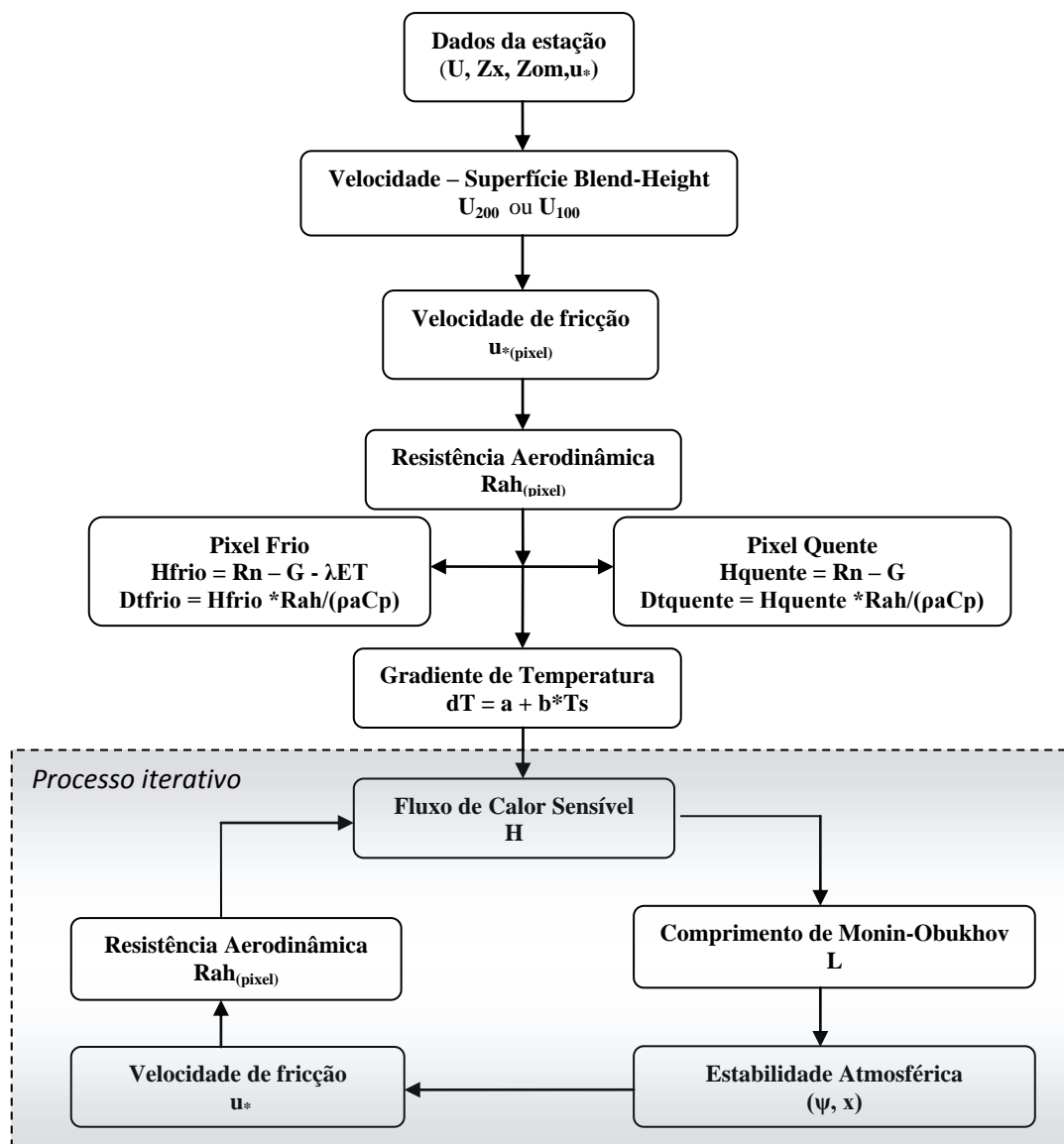


Figura 3 – Fluxograma do cálculo do calor sensível e o processo iterativo utilizado

2.6- Estimativa da evapotranspiração instantânea diária

Após a determinação dos elementos do balanço de energia determinou-se a evapotranspiração real instantânea e fração evaporativa (Λ) constante em dias blue sky através das Equações 2 e 3:

$$ET_{inst} = \frac{3600LE}{\lambda} \quad (2)$$

$$\Lambda = \frac{\lambda ET}{Rn - G} \quad (3)$$

onde:

λ : calor latente de vaporização da água.

De posse do saldo de radiação e da fração evaporativa determinou-se a evapotranspiração real diária e o saldo médio de radiação diária (Rn_{24h}) segundo Bisht et al. (2005) apud Ruhoff (2008) (Equações 4 e 5).

$$Et_{24} = \frac{86400 \Lambda Rn_{24h}}{\lambda} \quad (4)$$

$$Rn_{24h} = \frac{2Rn}{\pi \text{sen} \left[\left(\frac{t_{\text{overpass}} - t_{\text{rise}}}{t_{\text{set}} - t_{\text{rise}}} \right) \pi \right]} \quad (5)$$

onde:

t_{overpass} : instante referente a passagem do sensor MODIS (h);

t_{set} : instante do por do sol no dia de aquisição da imagem (h);

t_{rise} : instante do nascer do sol no dia de aquisição da imagem (h);

3. RESULTADOS

Após a implementação do algoritmo SEBAL no Sistema de Informação Geográfica (SIG) SPRING em análise legal geraram-se os produtos descritos na Figura 2 como: albedo, radiação de onda curta, NDVI, saldo de radiação, fluxo de calor no solo e correções (fluxo de calor sensível e resistência aerodinâmica). Foram necessárias 5 iterações para a convergência do calor sensível (H) e da resistência aerodinâmica (Rh) no processo iterativo descrito na Figura 3.

Detectaram-se para algumas áreas referentes à presença de água no período úmido valores negativos para o saldo de radiação, atribuídos muitas vezes a erros acumulados nos produtos antecedentes por falta de informação na imagem devido à possível presença de nuvens. Assim, obtiveram-se mapas para a evapotranspiração real horária e diária para as duas datas em estudo referentes ao período seco e úmido. Tais mapas foram carregados no software IDRISI para melhor visualização (Figuras 4, 5 e 6). Não foi possível comparar os valores de evapotranspiração para a data 169, referente ao período seco, visto que a estação não dispunha dos mesmos. Os valores fornecidos para a data 341 referem-se à evapotranspiração potencial com o valor de 0,44 mm/hora (valor instantâneo para a hora da passagem do satélite) e de 7,32 mm/dia, valores bem superiores aos encontrados que se referem à estimativa da evapotranspiração real de 0,44 mm/hora (Figura 5) e 2,05 mm/dia (Figura 6). Obtiveram-se valores máximos para o local da estação de 5,89 mm em relação à evapotranspiração diária e de 0,74 mm/h para a evapotranspiração instantânea para a data 341 (Figuras 5 e 6).

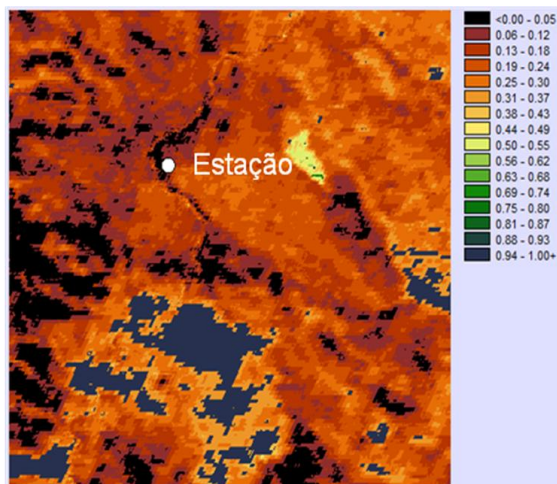


Figura 4 – Mapa da evapotranspiração real instantânea para a data 169 (período seco - sem dados).

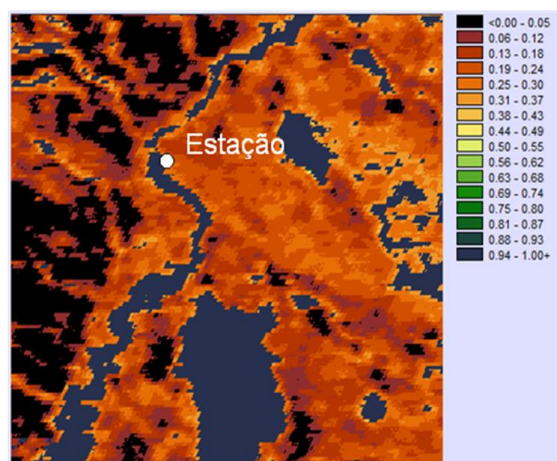


Figura 5 – Mapa da evapotranspiração real instantânea para a data 341 (período úmido).

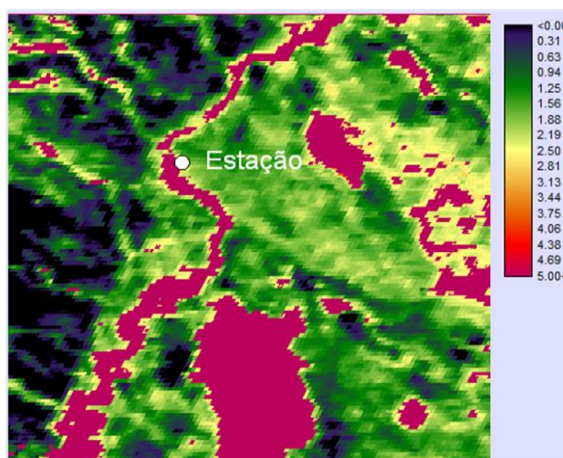


Figura 6 – Mapa da evapotranspiração real diária para a data 341 (período úmido).

Depois de obter o resultado de evapotranspiração real diária e horária para toda a imagem e para as duas datas escolhidas, foram selecionados 30 pixels em cada região bem diferenciada dentro da imagem para aferir a variação em média da evapotranspiração entre o período úmido e seco nas diferentes regiões selecionadas. Utilizou-se também um recorte do mapa de uso e mudança do solo do AVHRR_1 Km Global que está disponível no site <http://glcf.umiacs.umd.edu/data/landcover/data.shtml>. As áreas selecionadas são enumeradas na Figura 7 e descritas a seguir.

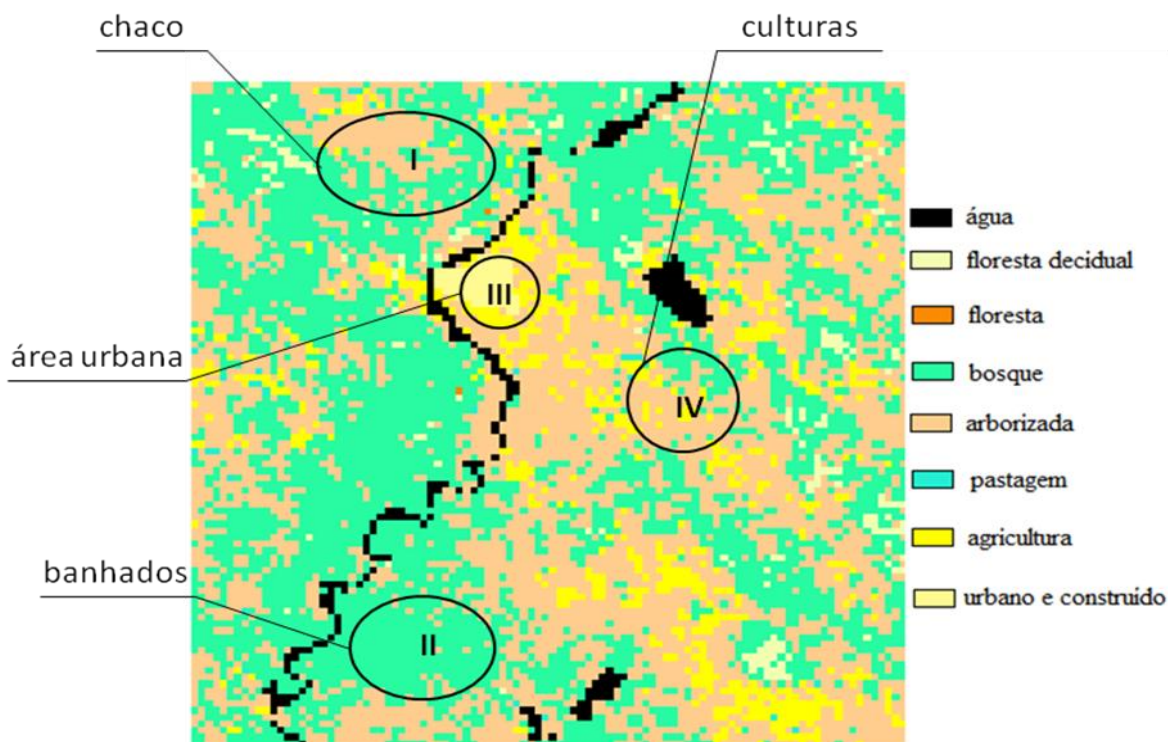


Figura 7 – Classificação do uso do solo na área de estudo

I. Região Sul do Chaco Paraguuaio: região chamada de Chaco Úmido com precipitação média anual de entre 1000 e 1200mm. O International Institute for Environment and Development (1985) descreve o chaco úmido como um complexo de savanas aboladas submetidas a inundações periódicas, com formações de palmas karanda'y (*Copernicia sp.*). Com pouca precipitação durante a maior parte do ano, concentra o seu período chuvoso nos meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro (Grassi et al, 2005). Esta região possui grande semelhança com as características do chaco argentino localizado nas outras margens do rio Paraguai e Pilcomayo nas proximidades da mesma latitude.

II. Região de Banhados e áreas alagáveis próxima ao rio Paraguai conformando um sistema de banhados e de lagos como o Ypoá, localizada na região sudoeste do Paraguai entre os

Departamentos de Central e Ñeembucú. A precipitação média anual oscila entre os valores de 1400 e 1600 mm e o período mais chuvoso ocorre entre os meses de novembro e janeiro (Grassi et al, 2005).

III. Área metropolitana de Assunção: área predominantemente urbana com vegetação alterada, precipitação média anual de 1400 a 1600mm, contornada pelo Rio Paraguai compreende toda a capital e parte do departamento central.

IV. Área de cultura: granjas com cultura de hortaliças y pastos de granjas leiteiras. Localizado ao sul do Lago Ypacaraí, entre os Departamentos de Central e Paraguari. Área de precipitação media anual de 1400 a 1600mm, com o período de maior precipitação começando a fines de outubro até fines de janeiro (Grassi et al, 2005).

A seguir estão as figuras resultantes da comparação entre a evapotranspiração real média para as datas nos períodos úmido e seco e para os usos de solo em análise.

Para a área do Chaco se obteve um resultado inverso com relação às outras áreas. A média da evapotranspiração para o período seco foi maior que a do período úmido. Acreditamos que este fato deve-se à ocorrência de precipitação na região nos dias ou no dia anterior à data de cálculo do período seco ou ainda ao atraso do início neste ano do período úmido no chaco Paraguai em relação às outras regiões do país. A hipótese de ocorrência de chuva nos dias anteriores à data escolhida para o período seco, não foi possível de avaliar com precisão por não haver uma estação meteorológica na região do chaco selecionada. A média de evapotranspiração obtida para o período seco foi de 0,17 mm/h e a do período úmido foi de 0.13mm/hora (Figura 8).

Para os banhados as médias foram um pouco menores tendo para o período úmido o valor em média de 0,16mm/h e para o período seco 0,15 mm/hora (Figura 9).

Tanto para a área urbana quanto para a área de banhados a média de evapotranspiração para o período úmido foi maior que para o período seco o que é razoável. Para a área urbana no período úmido o valor em média de evapotranspiração horária para essa área foi de 0,18mm/h, e para o período seco foi de 0,152mm/h (Figura 10).

Para a área de cultura as médias de evapotranspiração tanto para o período seco quanto para o úmido foram maiores com relação às áreas anteriores. Os valores obtidos foram: 0,22mm/h para o úmido e 0,20mm/h para o seco (Figura 11).

Variação das médias de Evapotranspiração para período Úmido e Seco - Chaco -

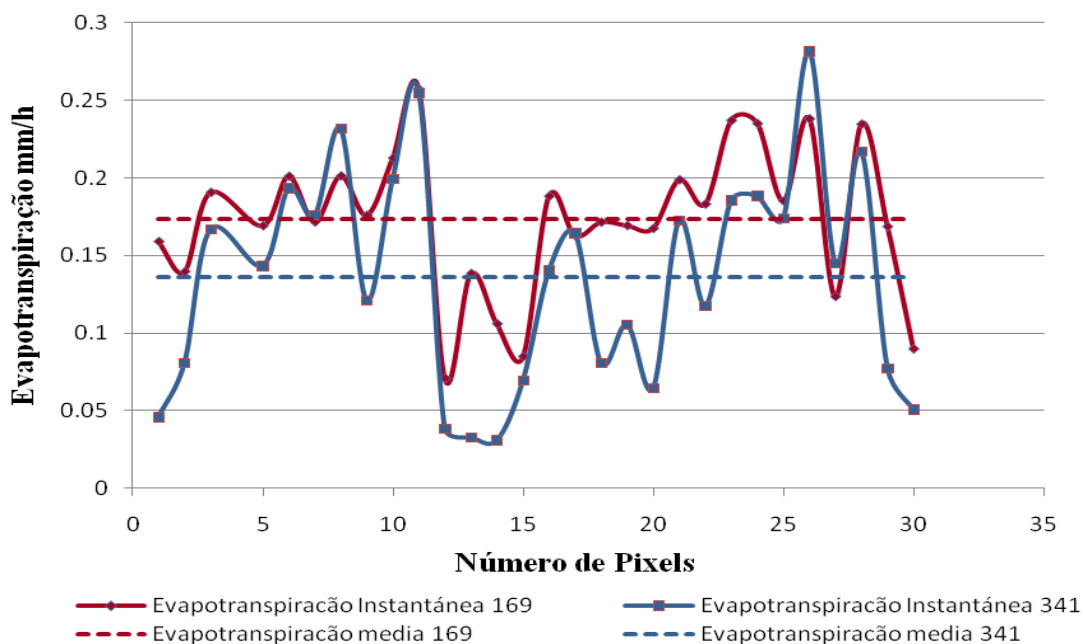


Figura 8 – Comparação da evapotranspiração instantânea para os períodos úmido e seco - chaco

Variação das medias de Evapotranspiração para período Úmido e Seco - Banhados -

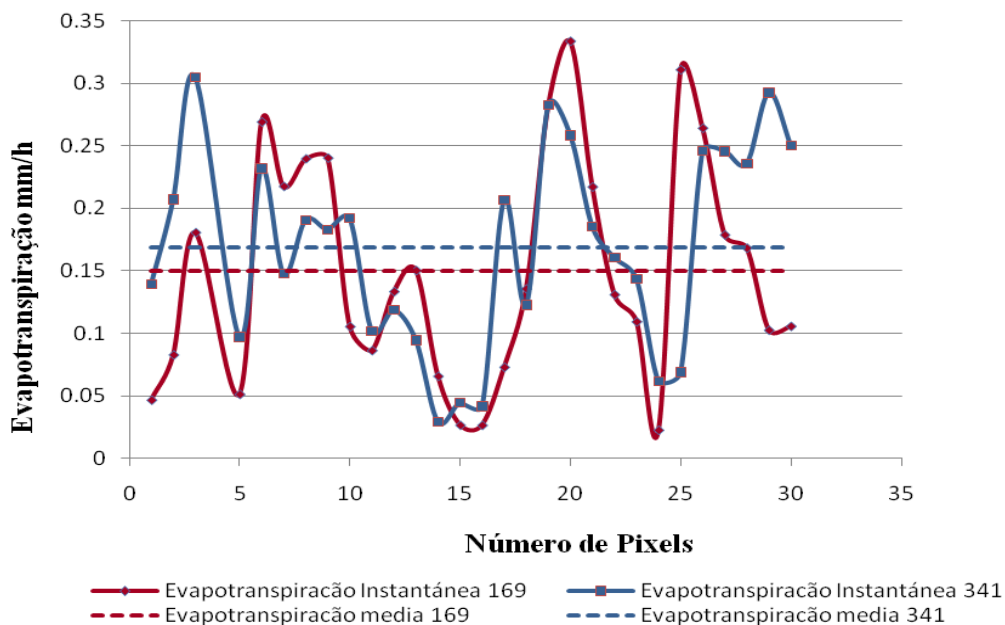


Figura 9 – Comparação da evapotranspiração instantânea para os períodos úmido e seco - banhados

**Varição das médias de Evapotranspiração para período Úmido e Seco
- Área Urbana -**

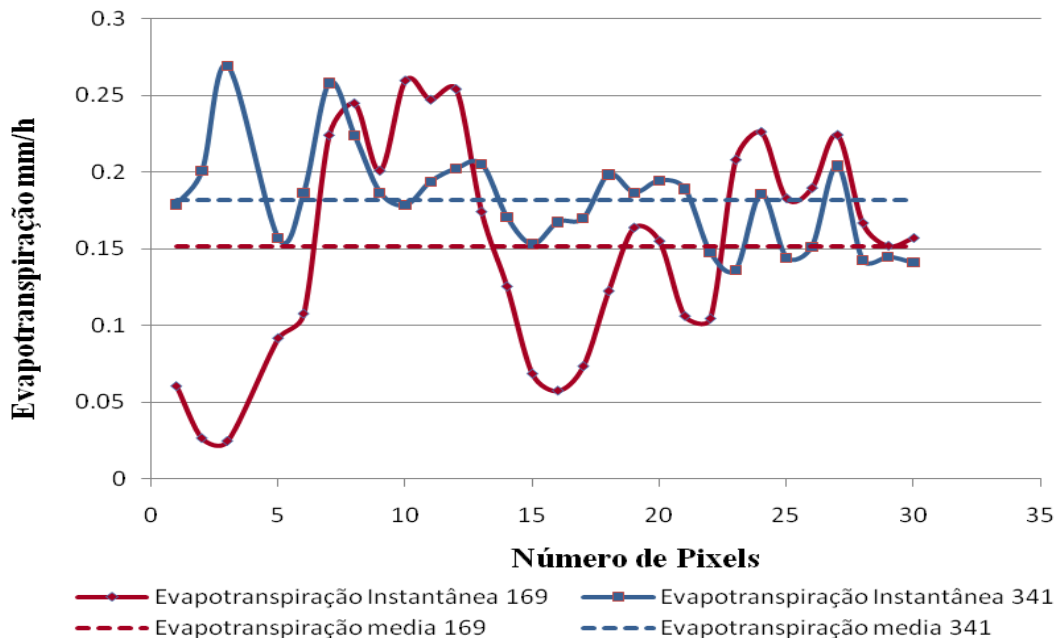


Figura 10 – Comparação da evapotranspiração instantânea para os períodos úmido e seco - área urbana

**Varição das médias de Evapotranspiração para período Úmido e Seco
- Cultura -**

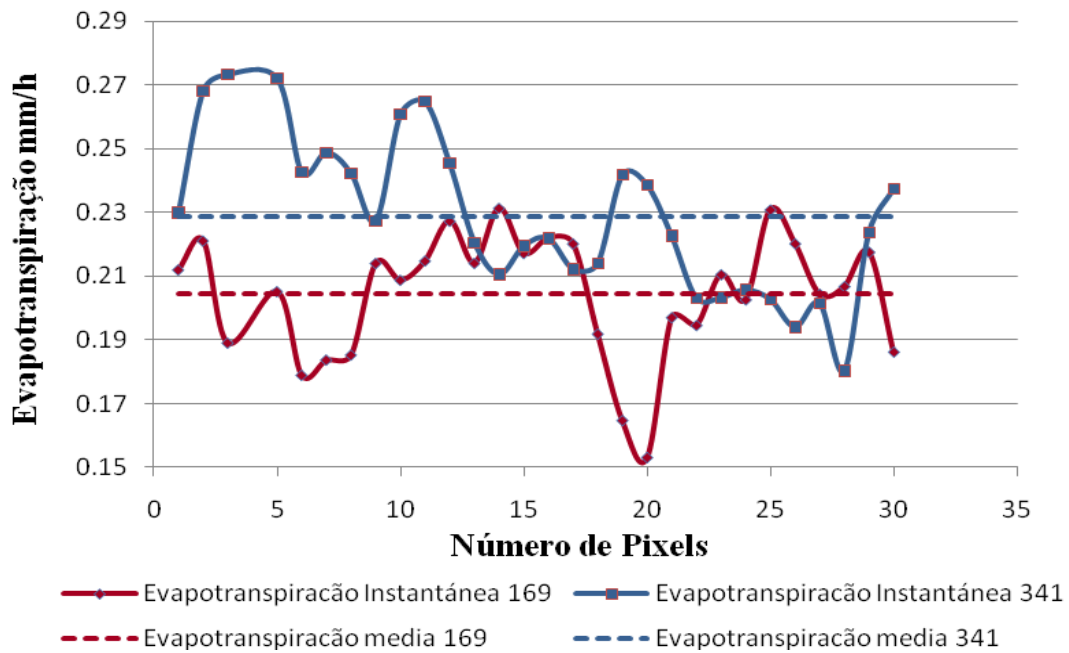


Figura 11 – Comparação da evapotranspiração instantânea para os períodos úmido e seco - área de cultura

4. CONCLUSÕES

A utilização do modelo SEBAL utilizando imagens do sensor TERRA/MODIS possibilitou delinear a ordem de grandeza da variação da evapotranspiração real instantânea e diária para uma área sem informações de evapotranspiração, demonstrando seu grande potencial não só para áreas irrigadas, condição de sua concepção, mas para outros tipos de uso de solo como abordados neste trabalho. A grande dificuldade para verificação dos resultados foi à ausência de dados estimados em campo, neste caso a evapotranspiração real. Agregam-se a esse fator a dificuldade de conseguir imagens “blue sky” para períodos em análise bem como da ausência de trabalhos que levam em conta a sensibilidade de parâmetros utilizados no modelo como a altura média da vegetação. No entanto, os produtos gerados como albedo, radiação de onda curta seguiram os valores encontrados na literatura para outras regiões similares. Abre-se um leque de possibilidades para estudos na região do Paraguai tanto por inexistirem trabalhos como este, como para explorar de forma mais concisa os dados muitas vezes pulverizados.

BIBLIOGRAFIA

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. (1998). Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements – FAO. Irrigation and drainage, paper 56. Rome, Italy, 318p.

ANDRADE, R. G. (2008). Aplicação do algoritmo SEBAL na estimativa da evapotranspiração e da biomassa acumulada da cana-de-açúcar. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola. UFV. 124f.

BASTIAANSSEN, W. G. M. (1995). Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain. Tese Ph. D. Wageningen Agricultural University, Holanda, 273p.

BISHT, G. VENTURINI, V. ISLAM, S. JIANG. L. (2005). Estimation of the net radiation using MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) data for clear sky days. Remote Sensing of Environment, 97, p. 52-67.

CÂMARA, G.; SOUZA, R.C.M; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. C. P. (1996). SPRING: Integrating remote sensing and GIS with object-oriented data modelling. J. Computers and Graphics, v. 20, n. 3, pp. 395-403.

GIACOMONI, M. H; MENDES, C. A. B. (2008). 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, 33-42.

GRASSI, B.; PASTEN, A. M; ARMOA J. (2005). Un análisis del comportamiento de la precipitación en el Paraguay. Facultad Politécnica. Universidad Nacional de Asunción. Diciembre.

PARAGUAY, SECRETARIA DEL AMBIENTE; PNUD; GEF (2004). Estrategia Nacional y Plan de Acción de Biodiversidad. Resumen ejecutivo ENPAB/ ENPAB executive summary - Proyecto PAR98/G32 "ENPAB". Secretaría del Ambiente/ Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo/ Global Environment Facility . Asunción. Paraguay.

INTERNATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. (1985) Environmental Profile of Paraguay. United States Agency for International Development (USAID). Washington D.C. U.S.A.

RUHOFF, A. L. COLLISCHONN, W. (2008). Sensoriamento remoto aplicado a estimativa de evapotranspiração: Algumas aproximações. II Simp. Sul e Sudeste de Recursos Hídricos, Rio de Janeiro, (in press, CD).

SOUSA, A. M. L.; COLLISCHONN, W.; SILVA, R. B. C. (2008). Estimativa da evapotranspiração real derivada do sensor MODIS: aplicação no leste da Amazônia. II Simp. Sul e Sudeste de Recursos Hídricos, Rio de Janeiro, (in press, CD).