

Eficiência no uso da água da vegetação na microbacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida

Daniel Noe Coaguila Nuñez^{1,2}

Fernando Braz Tangerino Hernandez¹

Antonio Heriberto de Castro Teixeira³

¹Doutorando, Universidade Estatual Paulista - UNESP, Ilha Solteira
{tuheraldo}@gmail.com

¹Professor, Universidade Estatual Paulista - UNESP, Ilha Solteira
{fbthtang}@agr.feis.unesp.br

²Instituto Regional de Ciencias Ambientales - UNSA, Peru

³Embrapa - Monitoramento por Satélite
{heriberto.teixeira}@embrapa.br

Abstract. Water is one of the most important renewable resources for the development of life, which is not always used properly. The use of water by plants through evapotranspirative processes generates a specific biomass for each species or group of species, and not all species have optimum productivity of water. The productivity of water shows the intrinsic efficiency of the different species, high production of biomass with a minimum amount of water, due to evolutionary and adaptive processes, efficiency that is important to evaluate watershed scale. The water of Cabeceira Comprida watershed of municipality Santa Fé do Sul, located in northwest São Paulo state, is required by the population and agriculture, there already is a conflict between the stakeholders. This study aimed to estimate evapotranspiration (ET), biomass (BIO) and water productivity (WP), using remote sensing techniques, which were applied to the images obtained from Landsat TM-5. The evapotranspiration for perennial crops, forest relict and invasive species were 1.6, 1.5 and 1.2 mm d⁻¹, respectively. Evapotranspiration which accumulated 53.8 kg ha⁻¹ d⁻¹ of biomass for perennial crops, 52.3 and 30.8 kg ha⁻¹ d⁻¹ for the forest relict and invasive species, respectively. The efficient use of water expressed in productivity that was 3.9, 3.4 and 2.7 kg m⁻³ for perennial crops, forest relict and invasive species, respectively. Clearly showed the low efficiency in the use of water of invasive species, being the most important *Typha* sp.

Palavras-chave: biomass, evapotranspiration, Lansat TM-5, water productivity, remote sensing. biomassa, evapotranspiração, Lansat TM-5, sensoriamento remoto, produtividade da agua.

1. Introdução

A água é considerada um recurso renovável, não entanto, o indiscriminado aumento da demanda de água tem resultado numa qualidade reduzida e, às vezes, mudanças em sua distribuição temporal e espacial (Tarjuelo et al., 2010). Os seres humanos têm aumentado o uso da água, assim como sua dependência por este recurso. A agricultura consome 70% de toda a água doce do mundo, com uma grande diferença entre os países e, até mesmo, dentro de diferentes regiões de um mesmo país (Santa Olalla e Juan, 2000; Molden, 2007).

A disponibilidade de água é o principal fator limitante da produção agropecuária em todos os tipos de ambientes e que se confirmadas as previsões de mudança climática global realizadas por organizações internacionais, trará um impacto ainda maior nos próximos anos. O mais recente relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) confirma o aumento nas emissões de CO₂ e traça cenários ainda mais impactantes e apela para que governantes adotem de fato providências para mitigar estes efeitos sobre toda a população (IPCC, 2014). Neste cenário, a utilização eficiente dos recursos hídricos deve ser uma política pública transversal, deve ser abordada a partir de diferentes pontos de vista e uma das questões-chave a considerar, é a eficiência com que as plantas usam a água (Medrano et al., 2007) através dos processos evapotranspirativos.

As perdas de água são geralmente por evapotranspiração, processo simultâneo de transferência de água para a atmosfera, por meio da evaporação da água do solo e da

vegetação úmida, e pela transpiração das plantas. A evapotranspiração é um importante componente da estimativa hidrológica, porque reflete a troca de massa e energia entre o sistema solo-água-planta e a atmosfera. A dependência da evapotranspiração em cobertura e umidade do solo, e sua direta relação com a assimilação de CO₂ em plantas, a faz um importante variável para o monitoramento da seca (Bastiaanssen et al., 2005), produtividade e biomassa.

A evapotranspiração, biomassa e a produtividade da água podem ser difíceis de estimar com precisão, especialmente em grandes escalas espaciais, por esta razão, diferentes técnicas de modelagem hidrológicas foram desenvolvidas para estimar a evapotranspiração através do sensoriamento remoto. Em geral, as técnicas de modelagem hidrológica da evapotranspiração podem ser agrupadas em duas classes amplas que incluem modelos com base no balanço de energia da superfície (Bastiaanssen et al., 1998; Su et al., 2005; Allen et al., 2007; Anderson et al., 2007) e baseados no balanço hídrico (Senay et al., 2007). Os modelos baseados no balanço de energia por sensoriamento remoto utilizam a temperatura da superfície terrestre como uma restrição primária em particionamento da energia radiante, disponível na superfície entre os fluxos de calor e água (Senay et al., 2012).

Nas regiões com condições semiáridas as precipitações pluviométricas são irregulares e heterogeneamente distribuídas. Já em regiões com precipitações anuais elevadas, quando mal distribuídas, resulta em déficits hídricos sucessivos, fazendo com que a atividade agropecuária seja carregada também de incertezas, cenário encontrado na região noroeste do Estado de São Paulo que registra até oito meses de déficit hídrico no solo (Hernandez et al., 2003; Santos et al., 2010) e que se caracteriza como uma área tipicamente agrícola, o que faz com que o uso eficiente da água seja necessário para assegurar a produtividade. Em microbacias hidrográficas frágeis na oferta e uso conflitivo da água é de extrema importância a determinação da evapotranspiração, biomassa e a produtividade da água, podendo ser determinada com precisão a partir de métodos diretos (Bezerra et al., 2012) e indiretos. Os métodos indiretos estão baseados em medidas radiométricas obtidas a partir de sensores remotos (por exemplo, os sensores a bordo de satélites) e estes métodos tem sido testado em diferentes ecossistemas e regiões do planeta, como nos Estados Unidos (Bastiaanssen et al., 2005; Allen et al., 2007), China (Li et al., 2008), Brasil (Bezerra et al., 2008), entre outros.

No município de Santa Fé do Sul, particularmente na microbacia do córrego Cabeceira Comprida, a água, além de ser requerida para o uso da população, é requerida também pela agropecuária, existindo desde já um conflito das partes comprometidas. Este cenário sensível vem sendo crítico em estiagens prolongadas, comprometendo a agricultura, abastecimento de água potável da cidade e à saúde pública, como se observou em 2014, quando o racionamento da água foi imposto à população no segundo semestre.

Assim, este trabalho teve por objetivo estimar a evapotranspiração, a biomassa e a produtividade da água da microbacia do córrego Cabeceira Comprida que sofreu mudança espaço-temporal no uso do solo e nos diferentes agrupamentos de espécies presentes, especialmente na área definida como de preservação permanente.

2. Metodologia de trabalho

2.1. Área de estudo

A microbacia do córrego Cabeceira Comprida (Figura 1) está localizada no município de Santa Fé do Sul nas coordenadas geográficas 20°11' S e 50°55' W com 370 m de altitude, com uma área de 3206 hectares, 31,94 quilômetros de perímetro e uma hidrografia de 20,16 quilômetros. A água do córrego é utilizada para irrigação, é represada para abastecimento da população do município e também tem que ser utilizada como diluente do esgoto da cidade. Na microbacia do córrego Cabeceira Comprida em toda sua extensão encontram-se

heterogênea no uso do solo, estando presentes poucos fragmentos de mata remanescente, culturas perenes (citros e seringueira), pastagem e *Typha* sp. ao longo do córrego e das nascentes.

O clima da região, segundo classificação de Köppen, é do tipo Aw, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno, temperatura média anual de 24,5 °C e precipitação pluvial média anual de 1.232 mm, com umidade média anual de 64,8% (Hernandez et al., 1995). O solo pertence à classe taxonômica Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico (Oliveira et al., 1999).

2.2. Aquisição de imagens e variáveis agrometeorológicas

As imagens do *Landsat Thematic Mapper TM-5* (Landsat-5) com órbita 222 e ponto 74, foram adquiridas do *U.S. Geological Survey* (www.usgs.gov) com data 17 de setembro de 2011. Já as variáveis agrometeorológicas foram adquiridas da Rede Agrometeorológica do Noroeste Paulista, constituída por oito estações beneficiando uma área aproximadamente 7465 km² (<http://clima.feis.unesp.br>). A Rede forneceu as variáveis meteorológicas de evapotranspiração de referência, calculada pelo método FAO Penman-Monteith (Allen et al, 1998), a radiação global e temperatura média do ar, que interpoladas pelo método *Inverse Distance Weighting* (IDW), possibilitaram o cálculo da evapotranspiração atual, da biomassa e da produtividade da água.

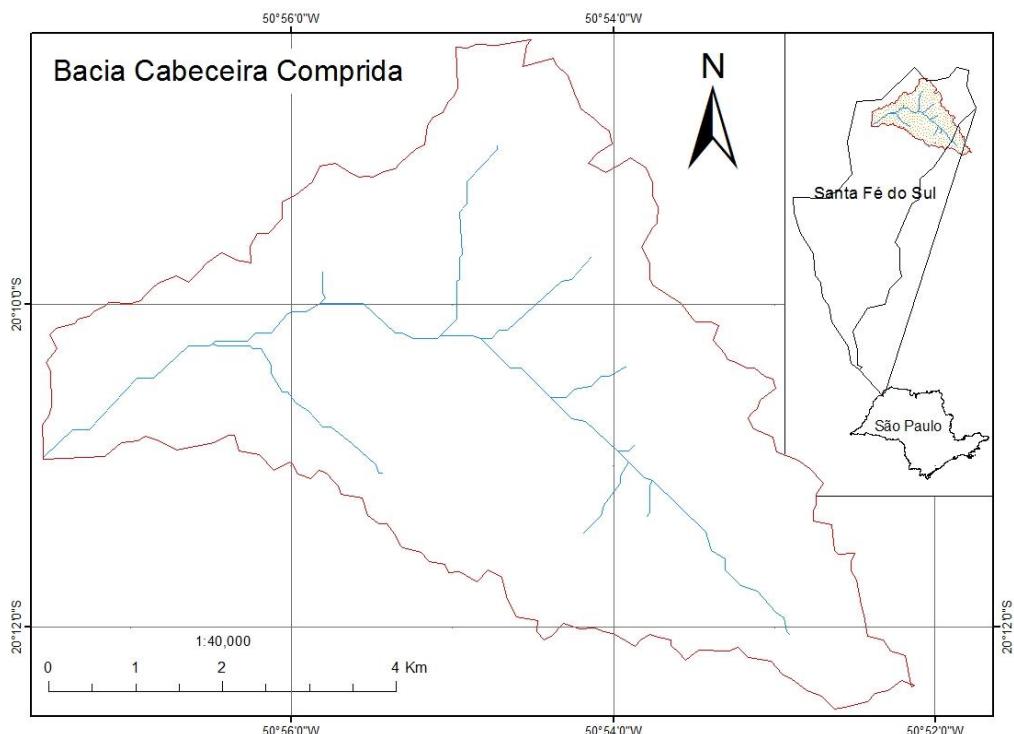


Figura 1. Área de estudo, microbacia do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP

2.3. Processamento

Antes da obtenção da estimativa da evapotranspiração atual, biomassa e produtividade da água via sensoriamento remoto, as imagens foram processadas com correções geométricas, calibrações radiométricas, calibrações atmosféricas e informações biofísicas. O processamento das imagens do satélite foi realizado segundo a metodologia de Chander et al. (2009) para as calibrações radiométricas e atmosféricas e a de Teixeira (2010), Teixeira et al. (2012), Teixeira et al. (2013), Hernandez et al. (2014) e Vanhellemont e Ruddick (2014) para

a modelagem da evapotranspiração atual pelo algoritmo *Simple Algorithm for Retrieving Evapotranspiration* (SAFER), cálculo da biomassa e produtividade da água (Figura 2).

Para o geoprocessamento das informações foi utilizado o software ArcGIS® 10.0 (ArcMap™) do ESRI que na função *model builder* possibilitou os cálculos dos dados no formato matricial (raster).

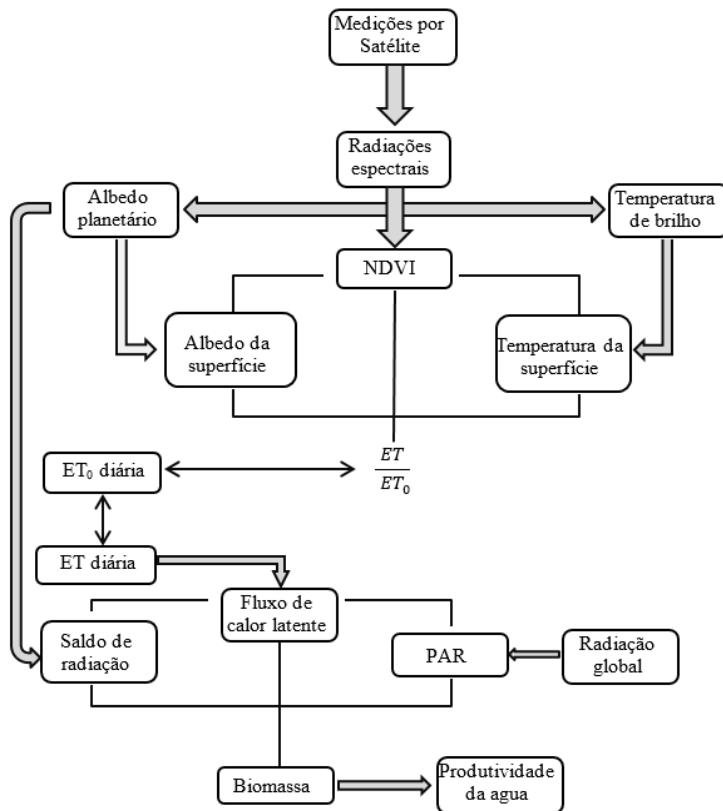


Figura 2. Fluxograma para a modelagem da evapotranspiração atual, biomassa e produtividade da água na microbacia do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP.

3. Resultados e Discussão

3.1. Evapotranspiração atual (ET)

A microbacia em estudo tem em média uma baixa evapotranspiração atual ($0,17 \text{ mm d}^{-1}$), provavelmente devido à pouca cobertura vegetal própria da estação seca e ao período seco intrínseco da região nesta época do ano (Figura 3). Resultados próximos foram apresentados na região em 1996 (Franco et al., 2014) quando pastagens ocupavam a maior área das microbacias estudadas. As altas variabilidades da média evapotranspirativa da microbacia corrobora que o sistema é altamente heterogêneo, produto da exploração da atividade humana desde metade do século passado (IBGE, 2010).

A evapotranspiração atual no entorno e do próprio leito, produto de macrófitas (*Typha* sp.) e outras associações de espécies invasoras de ambientes degradados (Yeo, 1964; Houlahan and Findlay, 2004) quando comparado com a evapotranspiração média da mata remanescente são próximas, $1,2$ e $1,5 \text{ mm d}^{-1}$ para as espécies invasoras e mata remanescente, respectivamente. E a das culturas perenes teve uma média de $1,6 \text{ mm d}^{-1}$. A evapotranspiração das espécies invasoras (principalmente *Typha* sp.) de $1,2 \text{ mm d}^{-1}$ já foram apresentados aproximadamente há 30 anos (Snyder e Boyd, 1986; Dubbe et al., 1988) e confirmados por Goulden et al. (2007).

Como bem se sabe dos serviços ecossistêmicos fornecidos pelos remanescentes florestais (Amacher et al., 2014), tais como interceptação foliar e a recarga do lençol freático

(Krishnaswamy et al., 2013), ciclagem de nutrientes (González et al., 2014), dentre muitos outros benefícios para o ecossistema local, no entanto, estes benefícios são escassamente proporcionados pelas macrófitas (*Typha* sp.) (Shih e Finkelstein, 2008; Lins e Homan, 2011) que já desde começos do século passado foi reportada como prejudicial (Pammel, 1911). Esta espécie predominantemente encontrada ao longo da área de preservação permanente é considerada uma “Espécie-problema” ou espécie-competidora, definida como uma espécie nativa ou exótica que forme populações fora de seu sistema de ocorrência natural ou que excede o tamanho populacional desejável, interferindo negativamente no desenvolvimento da recuperação florestal (São Paulo, 2008).

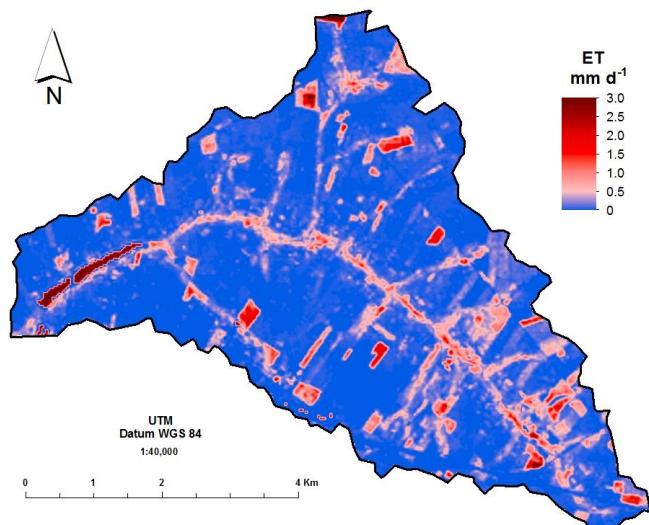


Figura 3. Evapotranspiração atual na microbacia do córrego Cabeceira Comprida.

3.2. Biomassa (BIO)

A microbacia do córrego Cabeceira Comprida teve uma média de $3,86 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ de biomassa e com uma máxima de $129,09 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ (Figura 4), a heterogeneidade espacial de produção de biomassa se vê representada nas culturas perenes com $53,8 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$, na mata remanescente que produziu $52,3 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ e nas espécies invasoras com $30,8 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$. Podendo destacar-se a eficiência da evapotranspiração e consequentemente a produção de biomassa da mata remanescente ($1,5 \text{ mm d}^{-1}$, $52,3 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$), não sendo o caso das espécies invasoras ($1,2 \text{ mm d}^{-1}$, $30,8 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$). Ebrahem et al. (2012) registrou para *Typha dominguensis* uma biomassa máxima de $6,3 \text{ Kg m}^{-2}$ de peso seco no Egito.

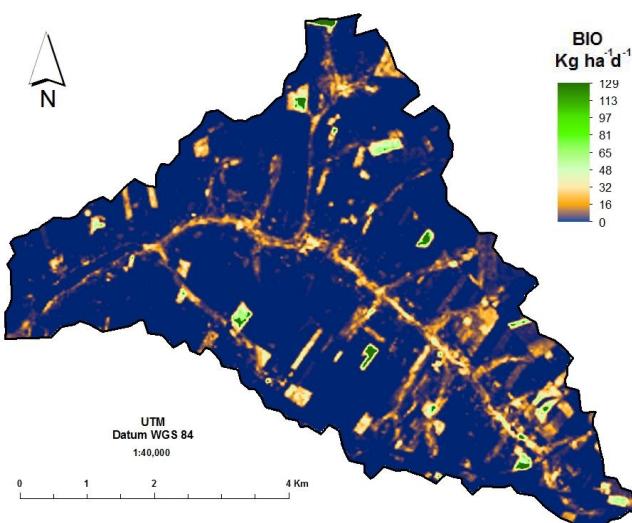


Figura 4. Biomassa da microbacia do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP.

A biomassa é um importante indicador chave de qualquer ecossistema (Adak et al., 2013) e do estado fenológico (Inoue et al., 2014), que indiretamente relaciona-se com uma adequada recarga do lençol freático (Krishnaswamy et al., 2013).

3.3. Produtividade da água (WP)

Diferentes produtividades da água têm sido encontradas entre diferentes espécies de plantas (Ponton et al., 2006; Emmerich, 2007; Yu et al., 2008). Neste estudo a produtividade da água dos diferentes usos do solo na ordem decrescente foi: culturas perenes > mata remanescente > espécies invasoras, com médias de $1,13 \text{ Kg m}^{-3}$ para toda a microbacia, $3,4 \text{ Kg m}^{-3}$ para a mata remanescente, $3,9 \text{ Kg m}^{-3}$ para as culturas perenes e $2,7 \text{ Kg m}^{-3}$ para as espécies invasoras. Franco et al. (2014) descreveu produtividades médias na vegetação natural de $2,3 - 3,4 \text{ Kg m}^{-3}$ na região do noroeste paulista.

A baixa produtividade da água na microbacia em estudo das espécies invasoras (principalmente *Typha* sp.), atendem à baixa biomassa produzida pelas mesmas. Requerem muita agua, quando comparado com a mata remanescente, para produzir biomassa, mostrando a pouca eficiência no uso da agua destas espécies. *Typha* sp. em latitudes boreais apresentou produtividades de $22.400 \text{ Kg ha}^{-1}$ nas folhas (Dubbe et al., 1988).

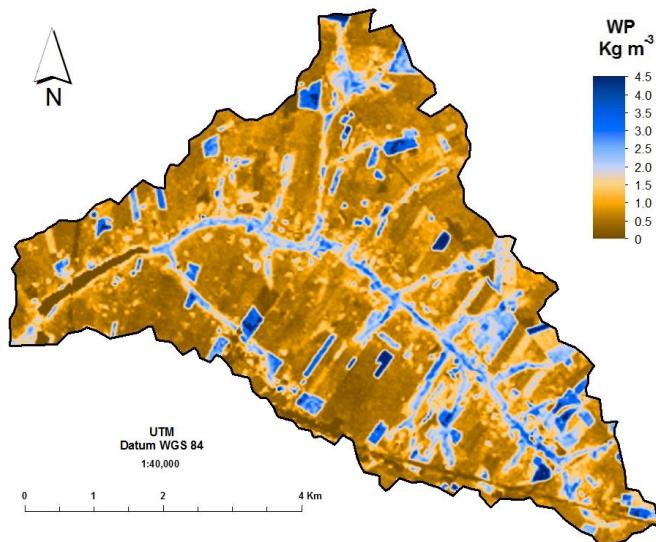


Figura 5. Produtividade da água na microbacia do córrego Cabeceira Comprida.

4. Conclusões

A microbacia do córrego Cabeceira Comprida apresentou alta heterogeneidade de evapotranspiração atual, biomassa e produtividade da água em função dos diferentes usos do solo com maiores valores de evapotranspiração, biomassa e produtividade da água para as culturas perenes, mata remanescente e espécies invasoras (*Typha* sp.).

A mata remanescente e as espécies invasoras, apesar de apresentarem taxas de evapotranspiração atual próximas, seus valores de biomassa e produtividade da água demonstram que as espécies invasoras são pouco eficientes no uso da água e ocupam o espaço que deveria legalmente e idealmente estar ocupado por mata ciliar.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Apoio a Estudantes de Doutorado do Exterior (PAEDEX) da Universidade Estadual Paulista (UNESP), a Associação Universitária Iberoamericana de Pós-graduação (AUIP) que concederam a bolsa de estudo de doutorado ao autor principal e a FAPESP (Processo 2.009/52.467-4) pelos equipamentos utilizados.

6. Referências Bibliográficas

- Adak, T.; Kumar, G.; Chakravarty, N.V.K.; Katiyar, R.K.; Deshmukh, P.S.; Joshi, H.C. Biomass and biomass water use efficiency in oilseed crop (*Brassica juncea* L.) under semi-arid microenvironments. **Biomass and Bioenergy**, v. 51, p. 154-162, 2013. doi:10.1016/j.biombioe.2013.01.021
- Allen, R.G. et al. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) - Applications. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 133, n. 4, p. 395-405, 2007
- Amacher, G.S.; Ollikainen, M.; Uusivuori, J. Forests and Ecosystem Services: Outlines For New Policy Options. **Forest Policy and Economics**, v. 47, p. 1-3, 2014.
- Anderson, M.C.; Norman, J.M.; Mecikalski, J.R.; Otkin, J.A.; Kustas, W.P. A climatological study of evapotranspiration and moisture stress across the continental United States based on thermal remote sensing: 1. Model formulation. **Journal of Geophysical Research**, v. 112, n. D10117, 2007
- Bastiaanssen, W.G.M. et al. SEBAL model with remotely sensed data to improve water-resources management under actual field conditions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 131, n. 1, p. 85-92, 2005
- Bastiaanssen, W.G.M.; Pelgrum, H.; Wang, J.; Ma, Y.; Moreno, J.; Roerink, G.J.; Van Der Wal, T. 1998. The surface energy balance algorithm for land (SEBAL): part 2 validation. **Journal of Hydrology**, v. 212-213, p. 213-229, 1998.
- Bezerra, B.G.; Silva, B.B. da; Ferreira, N.J. Estimativa da evapotranspiração real diária utilizando-se imagens digitais TM - Landsat 5. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 3, p. 305-317, 2008.
- Bezerra, M.V.; da Silva, B.B.; Bezerra, B.G.; Borges, V.P.; de Oliveira, A.S. Evapotranspiração e coeficiente de cultura do algodoeiro irrigado a partir de imagens de sensores orbitais. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 1, p. 64-71, 2012.
- Chander, G.; Markham, B.; Helder, D. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, p. 893-903, 2009.
- Dubbe, D.R.; Garver, E.G.; Pratt, D.C. Production of Cattail (*Typha* spp.) Biomass in Minnesota, USA. **Biomass**, v. 17, p. 79-104, 1988.
- Ebrahem, M.; Kamal, H.; Takashi, A. Modeling growth dynamics of *Typha domingensis* (Pers.) Poir. ex Steud. in Lake Burullus, Egypt. **Ecological Modelling**, v. 243, p. 63-72, 2012.
- Emmerich, W.E. Ecosystem water use efficiency in a semiarid shrubland and grassland community. **Rangeland Ecology & Management**, v. 60, p. 464-470, 2007.
- Franco, R.M.; Hernandez, F.B.T. Teixeira, A.H.C. Water productivity of different land uses in watersheds assessed from satellite imagery Landsat 5 Thematic Mapper In: SPIE Remote Sensing Symposium, 2014, Amsterdam. **Anais... Proceedings of Spie**, v. 9239-86.
- González, G.; Lodge, D.J.; Richardson, B.A.; Richardson, M.J. Canopy Trimming Experiment in Puerto Rico: the response of litter decomposition and nutrient release to canopy opening and debris deposition in a subtropical wet forest. **Forest Ecology and Management**, *in press*, 2014.
- Goulden, M.L.; Litvak, M.; Miller, S.D. Factors that control *Typha* marsh evapotranspiration. **Aquatic Botany**, v. 86, p. 97-106, 2007.
- Hernandez, F.B.T.; de Souza, S.A.V.; Zocoler, J.L.; Frizzone, J.A. Simulação e efeito de veranicos em culturas desenvolvidas na região de Palmeira d'Oeste, Estado de São Paulo. **Engenharia Agrícola**, v. 23, p. 21-30, 2003.
- Hernandez, F.B.T.; Lemos Filho, M.A.F.; Buzetti, S. Software HIDRISA e o Balanço Hídrico de Ilha Solteira. UNESP/FEIS/Área de Hidráulica e Irrigação, Ilha Solteira, **Série Irrigação**, n. 1, 45 p., 1995.
- Hernandez, F.B.T.; Neale, C.M.U.; Teixeira, A.H.; Taghvaeian, S. Determining large scale actual evapotranspiration using agro-meteorological and remote sensing data in the northwest of Sao Paulo State, Brazil. **Acta Horticulturae**, v. 1038, p. 263-270, 2014.
- Houlahan, J. E.; Findlay, S. C. Effect of invasive plant species on temperate wetland plant diversity. **Conservation Biology**, v. 18, n. 4, p. 1132-1148, 2004.
- Inoue, T.; Nagai, S.; Kobayashi, H.; Koizumi, H. Utilization of ground-based digital photography for the evaluation of seasonal changes in the aboveground green biomass and foliage phenology in a grassland ecosystem. **Ecological Informatics**, *in press*, 2014.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Censo demográfico 2010**. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 12.set.2014.
- Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC. **Climate Change 2014 Synthesis Report**. Copenhagen, 2014. 114p
- Krishnaswamy, J.; Bonell, M.; Venkatesh, B.; Purandara, B.; Rakesh, K.; Lele, S.; Kiran, M.; Reddy, V.; Badiger, S. The groundwater recharge response and hydrologic services of tropical humid forest ecosystems to use and reforestation: support for the “infiltration-evapotranspiration trade-off hypothesis”. **Journal of Hydrology**, v. 498, p. 191-209, 2013.

- Li, H.; Zheng, L.; Lei, Y.; Li, C.; Liu, Z.; Zhang, S. Estimation of water consumption and crop productivity of winter wheat in North China Plain using remote sensing technology. **Agricultural Water Management**, v. 95, n. 11, p. 1271-1278, 2008.
- Lins, G. M., Homan, H. J. Use of glyphosate for managing invasive cattail (*Typha* spp.) to disperse blackbird (Icteridae) roosts. **Crop Protection**, v. 30, p. 98-104, 2011.
- Medrano, H.; Bota, J.; Cifre, J.; Flexas, J.; Rivas-Carbó, M.; Gulías, J. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. **Investigaciones geográficas**, v. 43, p. 63-84, 2007.
- Molden, D. **Water for food. Water for life. A comprehensive assessment of water management in agriculture.** London: Earthscan, e Colombo; International Water Management Institute, 2007. 40 p.
- Oliveira, J.B.; Camargo, M.N.; Rossi, M.; Calderano Filho, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida.** Campinas: Instituto Agronômico, 1999. 64p.
- Pammel, L.H. **A manual of poisonous plants.** Iowa: The Torch Press, Cedar Rapids, 1911. 977p.
- Ponton, S.; Flanagan, L.B.; Alstad, K.P.; Johnson, B.G.; Morgenstern, K.; Kljun, N.; Black, T.A.; Barr, A.G. Comparison of ecosystem water-use efficiency among Douglas-fir forest, aspen forest and grassland using eddy covariance and carbon isotope techniques. **Global Change Biology**, v. 12, p. 294-310, 2006.
- Santa Olalla, F.M. de; Juan, J.A de. La utilización del agua por el hombre. In: Santa Olalla, F.M. de (Org.). **Agricultura y desertificación.** Madrid: Mundi-Prensa-Univ Castilla-La Mancha, 2000. p. 133-161.
- Santos, G.O.; Hernandez, F.B.T.; Rossetti, J.C. Balanço hídrico como ferramenta ao planejamento agropecuário para a região de Marinópolis, noroeste do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 4, p. 142-149, 2010.
- São Paulo - Secretaria de Meio Ambiente. Resolução SMA - 8, de 31-1-2008. Fixa a orientação para o reflorestamento heterogêneo de áreas degradadas e dá providências correlatas. Disponível em:<http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/legislacao/estadual/resolucoes/2008_Res_SMA_08.pdf>. Acesso em: 06.nov.2014.
- Senay, G.B. Budde, M.; Verdin, J.P.; Melesse, A.M. A Coupled Remote Sensing and Simplified Surface Energy Balance Approach to Estimate Actual Evapotranspiration From Irrigated Fields. **Sensors**, v. 7, n. 6, p. 979-1000, 2007.
- Senay, G.B.; Bohms, S.; Verdin, J.P. Remote sensing of evapotranspiration for operational drought monitoring using principles of water and energy balance. In: Wardlow, B.D.; Anderson M.C.; Verdin, J.P (Org.). **Remote Sensing of Drought Innovative Monitoring Approaches.** New York: CRC Press, 2012. p. 123-144.
- Shih, J.G., Finkelstein, S.A. Range dynamics and invasive tendencies in *Typha latifolia* and *Typha angustifolia* in eastern North America derived from herbarium and pollen records. **Wetlands**, v. 28, n. 1, p. 1-16, 2008.
- Snyder, R.L., Boyd, C. Evapotranspiration by *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms and *Typha latifolia* L. **Aquatic Botany**, v. 27, p. 217-227, 1987.
- Su, H.; McCabe, M.F.; Wood, E.F.; SU, Z.; Prueger, J. Modeling evapotranspiration during SMACEX: comparing two approaches for local and regional scale prediction. **Journal of Hydrometeorology**, v. 6, n. 6, p. 910-922, 2005.
- Tarjuelo J.M.; de-Juan, J.A.; Moreno, M.A.; Ortega J.F. Review. Water resources deficit and water engineering. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 8, n. s2, p. s102-s121, 2010.
- 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, 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 land use changes in the semi-arid region of Brazil. In: SPIE Remote Sensing Symposium, 2012, Edimburgo. **Anais...** Proceedings of Spie, v. 8531, p. 85310P-1-85310P-9.
- Teixeira, A.H.C.; Hernandez, F.B.T.; Lopes, H.L.; Scherer-Warren, M.; Bassoi, L.H. A Comparative Study of Techniques for Modeling the Spatiotemporal Distribution of Heat and Moisture Fluxes in Different Agroecosystems in Brazil. In: Petropoulos, G.P. (Org.). **Remote Sensing of Energy Fluxes and Soil Moisture Content.** Florida: CRC Group, Taylor and Francis, 2013. p. 165-187.
- USGS - Geological Survey / Serviço de Levantamento Geológico Americano (2014). Aquisição de imagens orbitais digitais gratuitas do satélite Landsat-5: data de passagem 17/09/2011 EUA. Disponível em: <<http://landsat.usgs.gov>>. Acesso em: 10.abr.2014.
- Vanhellemont, Q.; Ruddick, K. Turbid wakes associated with offshore wind turbines observed with Landsat 8. **Remote Sensing of Environment**, v. 145, p. 105-115, 2014.
- Yeo, R. R. Life history of common cattail. **Weeds**, v. 12, p. 284-288, 1964.
- Yu, G.R.; Song, X.; Wang, Q.F.; Liu, Y.F.; Guan, D.X.; Yan, J.H.; Sun, X.M.; Zhang, L.M.; Wen, X.F. Water-use efficiency of forest ecosystems in eastern China and its relations to climatic variables. **New Phytologist**, v. 177, p. 927-937, 2008.