



SENSORIAMENTO REMOTO NA DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO NA BACIA DO RIACHO JARDIM/CE.

Maria Jorgiana Ferreira Dantas¹, Francisco Dirceu Duarte Arraes², Juliano Boeck Santos³ & Célia Regina Lopes Zimback⁴

RESUMO: O sensoriamento remoto tem assumido um papel importante no monitoramento e na estimativa dos diversos fenômenos meteorológicos e ambientais servindo de suporte para compreender, de forma mais precisa em uma escala regional, os fenômenos meteorológicos e as mudanças climáticas. No semiárido brasileiro, devido ao clima semiárido, o monitoramento do uso da água, com técnicas de sensoriamento remoto, tem sido um tópico de interesse para o manejo sustentável, sendo de fundamental importância conhecer a evapotranspiração (ET) que é um importante componente do balanço hídrico. Por meio do algoritmo SEBAL - *Surface Energy Balance Algorithm for Land* – que utiliza imagens de satélites e possibilita a obtenção dos fluxos de energia à superfície. O presente estudo objetivou determinar a evapotranspiração real diária na bacia hidrográfica do riacho Jardim-CE localizada no semiárido cearense. Utilizou-se 08 (oito) imagens do satélite LANDSAT 5 TM correspondente aos anos de 1992, 1994, 1999, 2001, 2005, 2008, 2009 e 2011. A Evapotranspiração real diária foi maior em áreas bem vegetadas e menor em áreas de solo exposto. O SEBAL é um algoritmo que apresentou bom desempenho na determinação da evapotranspiração real em escala regional apenas com a utilização de técnicas de sensoriamento remoto em áreas com limitada disponibilidade de dados meteorológicos.

PALAVRAS-CHAVE: SEBAL, bacia hidrográfica, planejamento ambiental.

REMOTE SENSING IN THE DETERMINATION OF EVAPOTRANSPIRATION WARTESHED RIACHO JARDIM / CE

ABSTRACT: The remote sensing has been an important tool in monitoring and estimation of various meteorological and environmental phenom serving as support to understanding, more accurately on a regional scale, meteorological phenomena and climate changes. At the Brazilian semiarid region, due to semiarid climate, monitoring the water use, with remote sensing techniques has been a topic of interest for their sustainable management, being of fundamental importance the knowledge of evapotranspiration (ET), which is a relevant component of the water balance. The algorithm SEBAL - Surface Energy Balance Algorithm for Land - uses satellite images and enables the achievement of the energy flux to the surface and determination of ET, along the lack of studies that allow the determination of evapotranspiration in Brazilian semiarid basins, highlights the need employment of remote sensing techniques. This study aimed to determine the evapotranspiration through the SEBAL algorithm at Riacho Jardim Watershed in Ceará State, located in the Brazilian semiarid region. Was used eight (08) satellite images Landsat 5 TM corresponding to the years 1992, 1994, 1999, 2001, 2005, 2008, 2009 and 2011. The daily actual evapotranspiration was higher in well-vegetated areas and lower in areas of exposed soil. The SEBAL is an algorithm that performed well in determination of actual evapotranspiration on a regional scale even just with the use of remote sensing techniques in areas with limited availability of meteorological data.

KEYWORDS: SEBAL, watershed, environmental planning.

1 INTRODUÇÃO

O manejo ambiental que melhor se adapta ao desenvolvimento sustentável é a abordagem do gerenciamento ambiental da bacia hidrográfica, que implica numa visão integrada ou ecossistêmica de manejo dos recursos naturais, a qual abrange interesses multidisciplinares (MENDES e CIRILO, 2001).

Para acompanhar as transformações em escala regional tem-se utilizado a integração de Sensoriamento Remoto (SR) e Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Estas ferramentas auxiliam na caracterização e localização das áreas devastadas. Mas, o maior propósito para o seu uso conjugado, está em fornecer subsídios para a gestão dos processos antropogênicos

¹ Professora Doutora na UNIVERSIDADE DE FORTALEZA-UNIFOR Avenida Washington Soares, 1321, Edson Queiroz, CEP: 60811-905, FORTALEZA-CE. E-mail: jorgianaferreira@hotmail.com;

² Professor do Instituto Federal Educação, Ciência e Tecnologia Sertão Pernambucano (IFSERTÃO) - campus Salgueiro. E-mail: dirceutid@hotmail.com

³ Doutorando em Irrigação e drenagem UNESP/FCA.

⁴ Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu. Fazenda Experimental Lageado - Rua José Barbosa de Barros, nº1780 Lageado CEP:18610-307 - Botucatu, SP – Brasil.

que podem provocar degradação do meio ambiente (NOVO, 1989).

O sensoriamento remoto tem assumido papel importante no monitoramento e estimativa dos diversos fenômenos meteorológicos e ambientais servindo de suporte para compreender, de forma mais precisa em uma escala regional, os fenômenos meteorológicos e as mudanças climáticas, possibilitando a tomada de decisão para preservação ambiental (MENESES, 2012).

O emprego de imagens de satélite passou a representar uma das maneiras mais adequadas de monitoramento ambiental, quer em escala local ou global. Este recurso permite obter resultados satisfatórios sobre análises em diversas áreas da ciência, em escala regional (NOGUCHI, 2004; CAMPOS, 2005; NICÁCIO, 2008; TEIXEIRA et al., 2009).

Medidas de sensoriamento orbital podem proporcionar informação regular sobre as condições hidrológicas e agrícolas da superfície da terra para vastas áreas. Para se estimar os diferentes componentes do balanço de energia à superfície com o uso de imagens de satélites, alguns algoritmos têm sido formulados e com isso a capacidade do sensoriamento remoto de identificar e monitorar o crescimento vegetativo e outros parâmetros biofísicos relacionados tem experimentado um grande avanço nos últimos anos (SILVA et al., 2005; GOMES, 2009).

No Nordeste do Brasil, devido ao clima semiárido, o monitoramento do uso da água com técnicas de sensoriamento remoto tem sido um tópico de interesse para o seu manejo sustentável, destacando-se por ter a capacidade de cobrir extensas áreas além de constituir elemento indispensável ao planejamento dos recursos hídricos (SILVA, 2009).

A Evapotranspiração ET - fenômeno físico que transfere grande volume de água para a atmosfera através da evaporação da água do solo e do processo de transpiração vegetativa - é um importante componente do balanço hídrico para bacias hidrográficas localizadas nas regiões áridas e semiáridas, por isso, é fundamental

conhecer a sua demanda evapotranspirométrica regional, devido a escassez hídrica nessas regiões (DANTAS, 2013).

Nos últimos anos diferentes algoritmos que possibilitam a estimativa da evapotranspiração em escala regional baseada em imagens orbitais têm sido desenvolvidos, dentre os quais se destaca o Surface Energy Balance Algorithm for Land - SEBAL. O mesmo utiliza imagens de satélites que possibilitam a obtenção dos fluxos de energia à superfície, a determinação da ET e a estimativa de parâmetros biofísicos (KUSTAS et al., 1990; MORAN et al., 1994; BASTIAANSEN, 1995; BASTIAANSEN et al., 1998; ALLEN et al., 1998; MEDINA et al., 1998; OLIOSSO, 1999; BASTIAANSEN, 2000; CUNHA et al., 2002; LOPES, 2003; SILVA et al., 2005; BASTIAANSEN et al., 2005; TEIXEIRA et al., 2007)

Tendo em vista ser a evapotranspiração um elemento importante do ciclo hidrológico, a gestão sustentável de uma bacia hidrográfica requer o seu monitoramento, particularmente, em regiões áridas e semiáridas. Portanto, a carência de estudos que possibilitem a determinação da evapotranspiração nas bacias do semiárido brasileiro evidencia a necessidade desse estudo, que tem como objetivo obter a evapotranspiração real em escala regional com a utilização de técnicas de sensoriamento remoto e do algoritmo SEBAL, nos anos de 1992, 1994, 1999, 2001, 2005, 2008, 2009 e 2011.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo corresponde à bacia hidrográfica do Riacho Jardim, localizada no sul do Estado do Ceará divisa com o estado de Pernambuco, entre as coordenadas UTM 9131500 m e 9197800 m N; 421000 m e 510000 m E, zona 24 S, DATUM WGS 84 (Figura 1), com uma área de 1398,73 km².

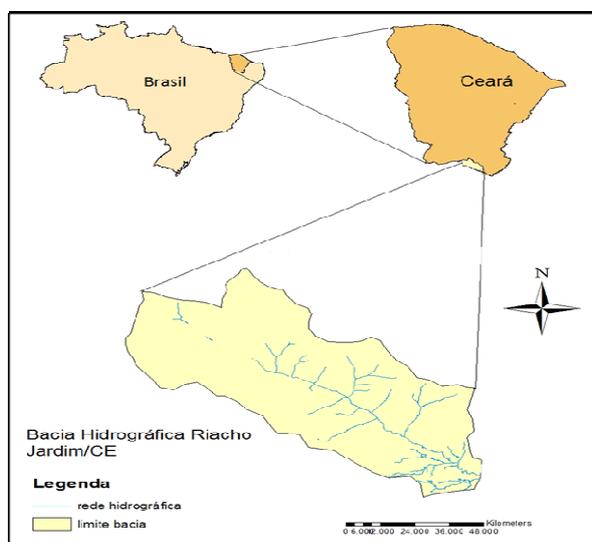


Figura 1 - Mapa de localização da Sub-bacia hidrográfica do Riacho Jardim/CE.

A Sub-bacia hidrográfica do Riacho Jardim está situada em grande parte sobre a Chapada do Araripe, uma região de recarga das águas subterrâneas da bacia sedimentar do Araripe. Abrange parte dos municípios de Santana do Cariri, Crato, Barbalha, Missão Velha, Jardim, Jati e Penaforte no Estado do Ceará e uma porção dos municípios de Serrita, Exu e Moreilândia no Estado de Pernambuco.

O Riacho Jardim tem sua nascente localizada no município do Crato e deságua no Riacho dos Porcos, o qual afluente do rio Salgado integrante da bacia hidrográfica do Rio Jaguaribe.

A cobertura vegetativa na área em estudo é bastante heterogênea composta por: Floresta Nacional do Araripe, áreas de cultivos agrícolas, centros urbanos, vegetação

nativa do semiárido (caatinga) de densidade variada e povoados.

O clima da região estudada é bastante heterogêneo sendo classificado como do tipo “Tropical quente subúmido”, na encosta da chapada, “Tropical Chuvoso” na parte central da Chapada e “Tropical quente semiárido brando” na depressão sertaneja.

O período chuvoso se concentra de janeiro a maio, em média, por ano, chove entre 300 mm e 500 mm, mas nas áreas de maior altitude tende a chover mais – a média pode chegar a 1.200 mm/ano. A temperatura é sempre elevada: 25°C a 30°C, em média (IPECE, 2014).

Na Figura 2 estão representadas as precipitações pluviométricas médias anuais nos anos analisados nas estações inseridas na área de estudo

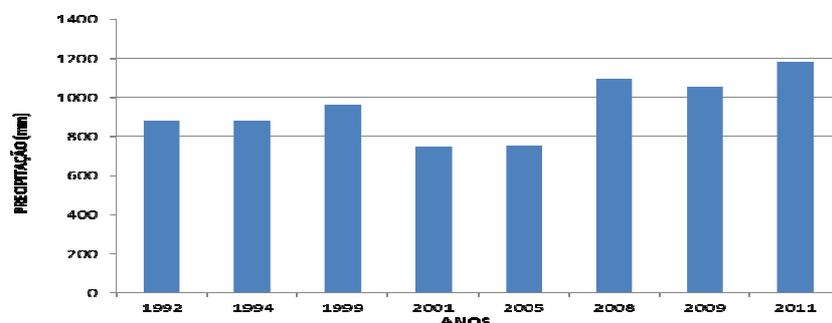


Figura 2 - Precipitações pluviométricas médias anuais nos anos analisados nas estações inseridas na área de estudo.

Segundo Jacomine (1996); Alves (2007), no setor oriental da Chapada encontram-se: a floresta úmida semiperenifolia, caracterizada pela alta densidade e elevado porte das árvores, sem gramíneas no sub-bosque; o cerradão, caracterizado pela redução na densidade arbórea e no porte das árvores, com gramíneas no sub-bosque; o cerrado, com árvores esgalhadas, retorcidas e distantes umas das outras; e as áreas antropizadas.

A construção de uma base cartográfica da área de estudo foi realizada através do programa ARCGIS 10.1. Para isso foram utilizados dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), com resolução espacial de 90 metros, fornecidos gratuitamente pela EMBRAPA BRASIL RELEVIO. Para tratamento e análise dos dados, foi realizado o delineamento da bacia na área abrangida pelo mapa do Modelo Digital de Elevação (DEM) e obtenção do mapa de declividade (Figura 3).

Originalmente, o SEBAL foi elaborado para aplicação em áreas planas, mas alguns trabalhos têm procurado inserir as oscilações do relevo para o cálculo do saldo de radiação (DI PACE, 2004) e dos componentes do balanço de energia (TASUMI, 2003).

Para a realização do estudo foram obtidas oito imagens do LANDSAT 5 TM em dias de céu claro, na órbita

217/65 correspondente aos dias 24/08/1992, 02/11/1994, 12/08/1999, 01/08/2001, 15/10/2005, 21/09/2008, 27/11/2009, 29/08/2011, tendo seu horário de passagem ocorrido às 09 h e 30 min, horário local. As imagens são compostas por sete bandas espectrais, cujas características estão representadas na Tabela 1.

A aquisição das imagens foi a partir do site de geração de imagens do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) em formato geotiff com projeção/datum WGS/1984. O satélite Landsat 5 possui uma resolução espacial de 30 x 30 metros exceto a banda 6, com 120x120 metros cobrindo cada pixel uma área de 900m², resolução temporal de 16 dias e radiométrica de oito bits.

Antes do processo de tratamento digital de imagens propriamente dito, foi realizado um pré-processamento, que consistiu no empilhamento das sete bandas, registro das imagens empregando a correção geométrica com polinomial de 1ª ordem através da utilização de uma imagem de referência ortorretificada obtida no site <http://www.landsat.org>. Em seguida foi feito o processo de recorte de acordo com o limite da bacia estudada.

Para manuseio e processos entre as bandas, recorte, classificação, realce e outras tarefas, fez-se necessário a utilização do software Erdas IMAGINE 11 por meio de seu módulo *model maker*, no Laboratório de

Climatologia desde Satélites (www.nimbus.uv.es) do Departamento de Física de la tierra y Termodinámica,

Facultad de Física, Universidad de Valencia/Espanha.

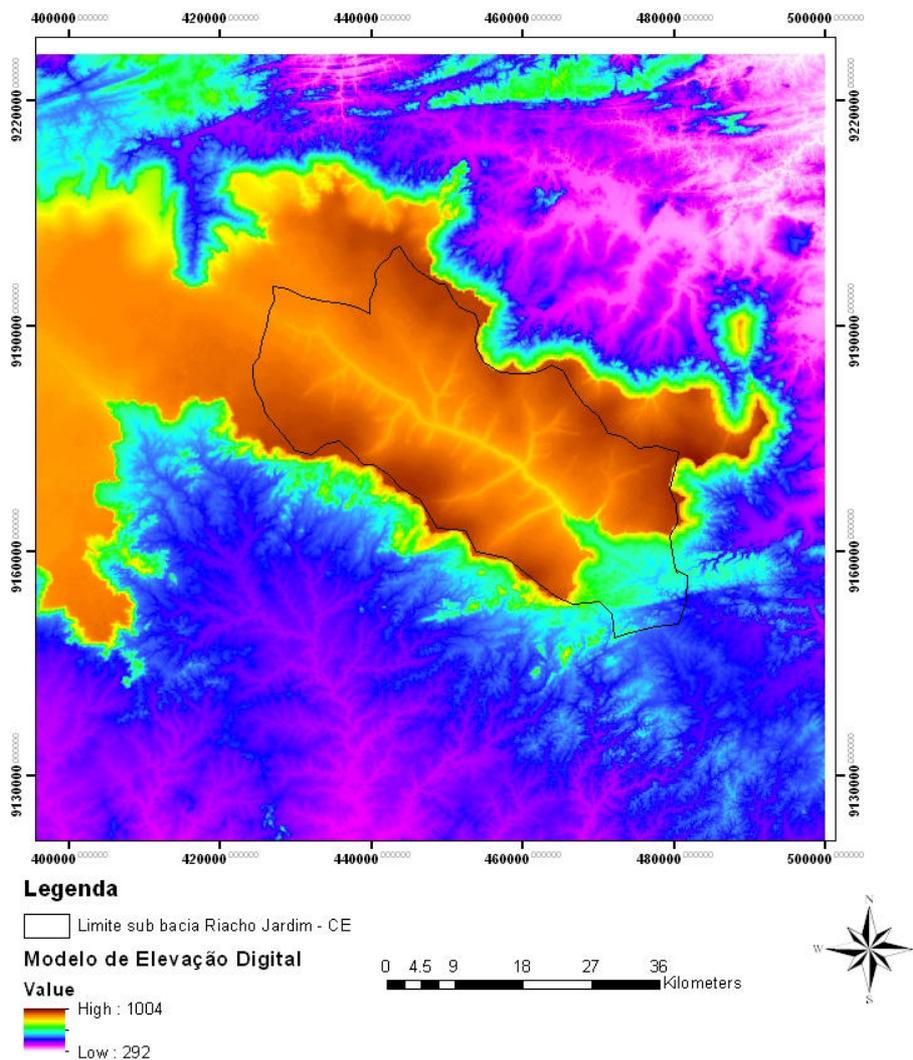


Figura 3: Modelo Digital de Elevação para área de estudo.

Tabela 1 - Descrição das bandas do Mapeador Temático (TM) do Landsat 5, com os correspondentes intervalos de comprimentos de onda, coeficientes de calibração (radiância mínima – a e máxima – b) e irradiância solar espectral no topo da atmosfera (k_{λ}).

Descrição dos canais	Comprimento de onda (μm)	Coeficientes de Calibração ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{st}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$)				$k_{\lambda}(\lambda_i)$ ($\text{W m}^2 \mu\text{m}^{-1}$)
		a*	b*	a**	b**	
Banda 1	0,45 – 0,52	-1,5200	152,100	-1,5200	193,00	1957
Banda 2	0,53 – 0,61	-2,8400	296,810	-2,8400	365,00	1840
Banda 3	0,62 – 0,69	-1,1700	204,300	-1,1700	264,00	1551
Banda 4	0,78 – 0,90	-1,5100	206,200	-1,5100	221,00	1044
Banda 5	1,57 – 1,78	-0,3700	27,190	-0,3700	30,200	255,70
Banda 6	10,40 – 12,5	1,2378	15,303	1,2378	15,303	-
Banda 7	2,10 – 2,35	-0,1500	14,380	-0,1500	16,500	82,07

Fonte: Chander e Markhan (2003)

*Para imagens anteriores a 4 de maio de 2003;

**Para imagens posteriores a 5 de maio de 2003.

Para se estimar os diferentes componentes do balanço de energia da superfície com imagens de satélites foi utilizado o algoritmo SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land), proposto por Bastiaanssen et al. (1998), sendo depois modificado por Allen et al. (2002).

O saldo de radiação à superfície foi estimado empregando-se a equação de balanço de radiação à superfície, conforme procedimentos descritos por Bastiaanssen et al. (1998) e Allen et al. (2002).

$$R_n = (1 - \alpha)R_{s\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \varepsilon_o)R_{L\downarrow} \quad (1)$$

em que: $R_{s\downarrow}$ é a radiação de onda curta incidente, α é o albedo corrigido de cada pixel, $R_{L\downarrow}$ é a radiação de onda longa emitida pela atmosfera na direção de cada pixel, $R_{L\uparrow}$ é a radiação de onda longa emitida por cada pixel e ε_o é a emissividade de cada pixel.

O fluxo de energia no solo G ($W m^2$), foi obtido a partir da equação empírica desenvolvida por Bastiaanssen et al. (2000).

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

em que: T_s é a temperatura da superfície ($^{\circ}C$); α o albedo corrigido do pixel; NDVI o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada e R_n o Saldo de Radiação.

Para a correção de valores do fluxo de energia no solo para corpos d'água ($NDVI < 0$), considerou-se $G = 0,3R_n$ (Silva e Bezerra, 2006).

O fluxo de energia sensível (H) é a etapa mais complexa do SEBAL, e é obtido através de processo iterativo. Para iniciar o mesmo, considera-se a atmosfera em equilíbrio neutro, sendo na sequência identificada a condição de estabilidade e então, são promovidas as correções necessárias. Inicialmente, H é estimado com base na velocidade do vento e temperatura da superfície usando a calibração interna da diferença de temperatura próxima à superfície segundo Bastiaanssen et al. (1998):

$$H = \frac{\rho \cdot c_p dT}{r_{ah}} \quad (3)$$

em que: ρ é a massa específica do ar úmido ($1,15 \text{ kg m}^{-3}$), c_p é o calor específico do ar ($1005 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$), dT é a diferença de temperatura próximo à superfície ($^{\circ}K$) e r_{ah} é a resistência aerodinâmica ao transporte de calor ($s m^{-1}$).

O procedimento detalhado de determinação de dT e da correção da estabilidade atmosférica encontra-se em Allen et al. (2002).

O fluxo de energia latente LE ($W m^{-2}$) foi obtido pela simples diferença entre o saldo de radiação, o fluxo de energia no solo e o fluxo de energia sensível:

$$LE = R_n - G - H \quad (3)$$

em que: LE é o valor do fluxo de energia latente instantâneo, ou seja, seu valor no momento da passagem do satélite.

Evapotranspiração real horária

O fluxo de calor latente pode ser facilmente convertido em evapotranspiração real horária – ET_h (mm) integrando ao longo de uma hora (TASUMI, 2003; ALLEN; TASUMI; TREZZA, 2007; NICÁCIO, 2008), O valor 3600 é a conversão de segundos para hora. Segundo a equação:

$$ET_h = 3600 \lambda ET / \lambda \quad (4)$$

Em que: λET é o fluxo de calor latente ($W m^{-2}$); λ é o calor latente de vaporização da água ($J. \text{kg}^{-1}$), que representa a energia necessária para evaporar uma unidade de massa de água, dado pela equação (HARISON, 1963):

$$\lambda = [2,501 - 0,00236(T_s - 273,16)] 10^6 \quad (5)$$

Sendo T_s a temperatura da superfície ($^{\circ} K$).

Evapotranspiração real diária

Após o cálculo da evapotranspiração horária, é possível a obtenção da evapotranspiração real diária. O conceito de evapotranspiração real diária é relacionado à fração evaporativa, que é uma razão entre o fluxo de calor latente e a diferença entre o saldo de radiação e o fluxo de calor no solo, considerada um indicador simples e direto das condições de umidade do solo (BASTIAANSEN, 2000). Segundo Bastiaanssen (2003), os valores da fração evaporativa variam entre 0 e 1, sob condições não advectivas.

$$\Gamma = \frac{\lambda ET}{R_n - G} \quad (6)$$

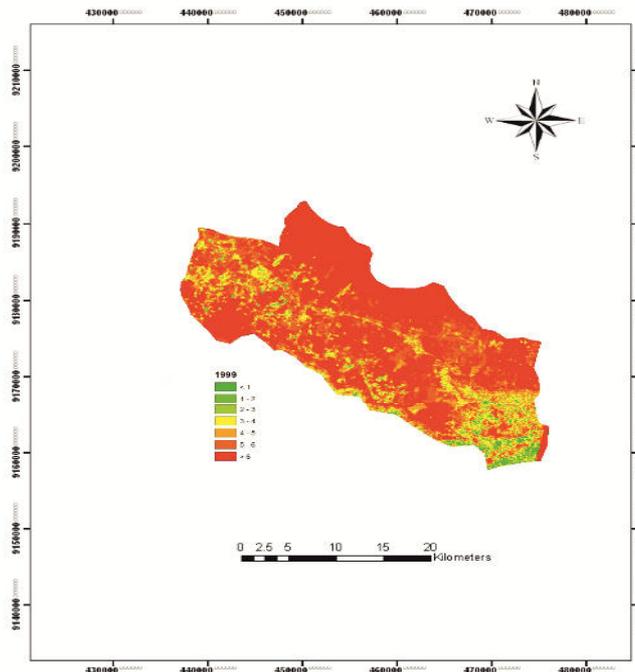
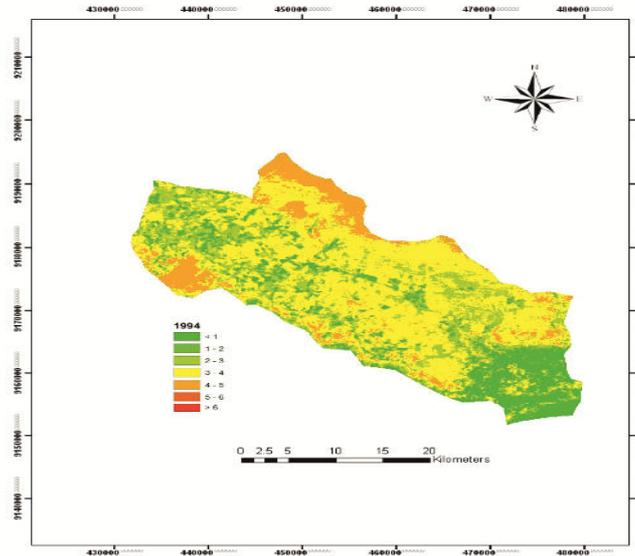
Em que Γ é a fração evaporativa no instante da passagem do satélite.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os mapas de ET_{24h} foram obtidos em função da evapotranspiração real horária e da evapotranspiração real diária. A evapotranspiração real diária na bacia do Riacho Jardim/CE teve uma grande variação, tanto entre as datas quanto na distribuição espacial dentro da bacia. Pelas imagens (Figura 4) verifica-se que os maiores valores de ET foram registrados nas imagens dos anos 1999, 2001 e 2005 sendo que o ano de 1999 apresentou maior percentual de evapotranspiração acima de 6 mm.dia^{-1} , corroborando com Meirelles (2007) que encontrou valores de evapotranspiração de referência diária variando de $5,12 \text{ mm.dia}^{-1}$ (final de setembro) a $6,24 \text{ mm.dia}^{-1}$ em meados de setembro. Já Bezerra (2006) encontrou valores de ET_{24h} $6,0 \text{ mm.dia}^{-1}$, para

áreas com vegetação nativa densa, na região do Cariri-CE. Em pesquisa desenvolvida por Nicácio (2008) os valores de evapotranspiração real diária para áreas de fruticultura irrigada, estiveram especialmente entre 5,5 e 7,5 mm.dia⁻¹. Os valores de evapotranspiração para as

imagens nesse estudo foram semelhantes às obtidas por Bezerra *et al.* (2008) que obtiveram ET diária da ordem de 7,0 mm dia⁻¹ em áreas de vegetação na reserva florestal do araripe,CE aplicando o SEBAL nas imagens TM – Landsat 5.



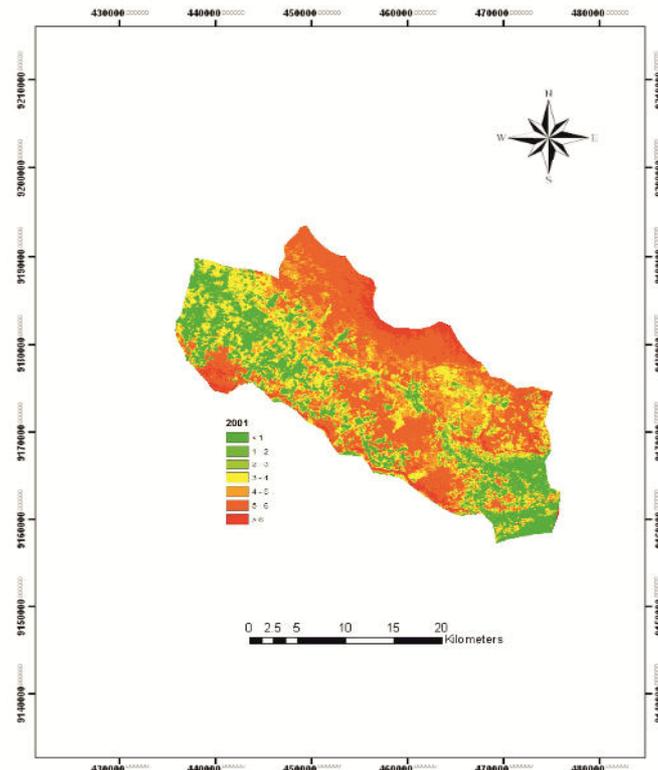
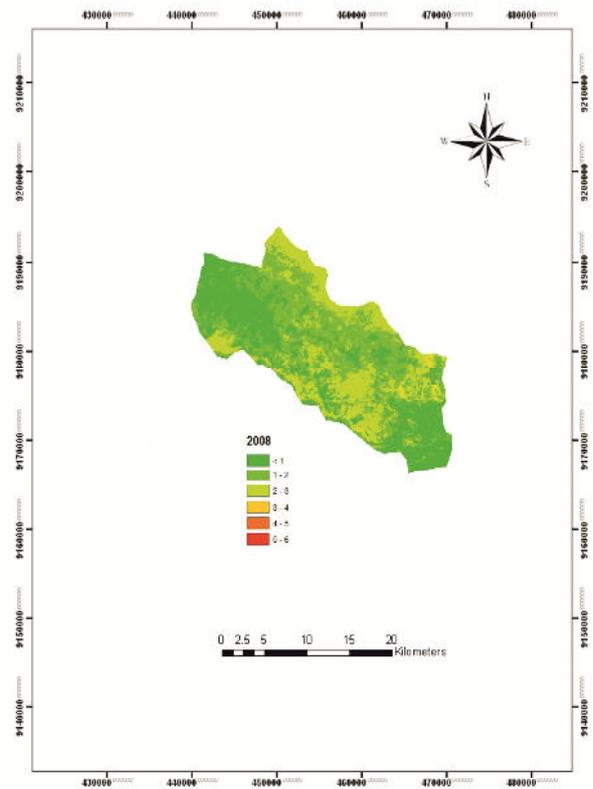
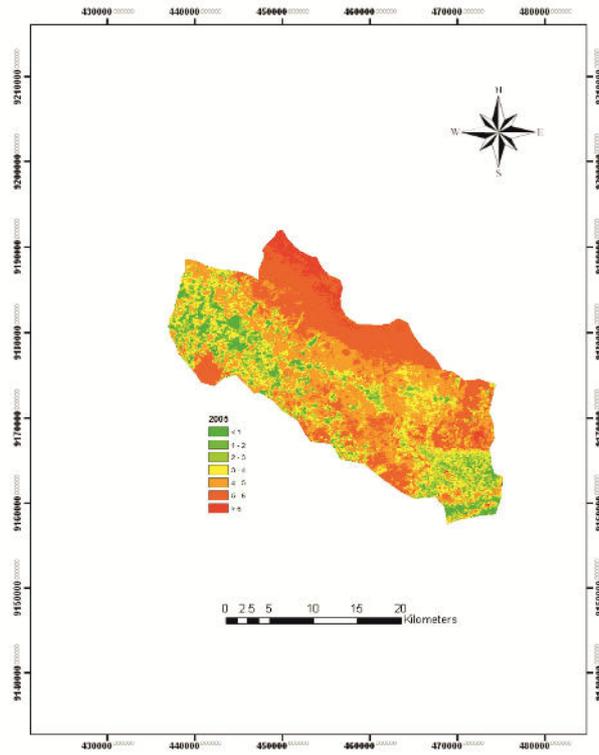


Figura 4 - Mapas com valores da evapotranspiração real diária na Sub-bacia do Riacho Jardim/CE, nos anos de 1992, 1994, 1999 e 2001.

As áreas representadas pela cor verde nos mapas (Figuras 4 e 5) apresentaram $ET_{24h} < 1,0 \text{ mm.dia}^{-1}$. Esses valores de evapotranspiração foram observados em áreas de solo aberto, regiões antropizadas e áreas de vegetação nativa rala, como já era previsto, apresentaram os menores valores de ET, com média oscilando entre $0,39 \text{ mm.dia}^{-1}$ a $1,59 \text{ mm.dia}^{-1}$. Verifica-se nos mapas que os pontos da área variam de acordo com o ano analisado. A vegetação nativa densa (floresta), por sua vez, apresentou valores próximos a $4,0 \text{ mm.dia}^{-1}$ corroborando com Ayenew (2003) que por sua vez, obteve valores de ET entre $3,2 \text{ mm.dia}^{-1}$ e $4,0 \text{ mm.dia}^{-1}$ para uma floresta completamente densa na época da desfolha. As regiões ocupadas por caatinga densa apresentaram valores de ET real diária especialmente entre $1,0$ e $3,0 \text{ mm.dia}^{-1}$ (verde claro). Por outro lado, as áreas com vegetação nativa menos densa (caatinga menos densa) foram, sobretudo, representadas pela cor amarelo, indicando Evapotranspiração em 24 horas variando entre $3,0$ e $4,0 \text{ mm.dia}^{-1}$. Bezerra et al. (2008) evidenciaram ET diária da ordem de 3 mm.dia^{-1} nas

áreas correspondentes à Vegetação Nativa do Semiárido (caatinga). Em estudos semelhantes ao estudo realizado na Sub-bacia do Riacho Jardim/CE com imagens de satélite, Moreira (2007) encontrou variabilidade significativa em três regiões, atribuindo isso às condições de solo, clima e vegetação, que apresentaram grandes variações, resultando assim em grandes diferenças nos valores de ET diária nas regiões estudadas em área de diferentes densidades de caatinga.

Alguns pesquisadores como Mendonça (2007) observou grande variação anual de ET, encontrando valores entre $2,0$ e $7,0 \text{ mm.dia}^{-1}$ ao estudar a evapotranspiração em áreas com diferentes coberturas vegetais isso mostra a variação da evapotranspiração em diferentes culturas e em diferentes tipos de ocupação do solo. Na área da bacia do Riacho Jardim - CE observou-se também essa grande variação sazonal da evapotranspiração, além de ser uma região montanhosa onde a ET pode variar muito, independentemente do tipo de cobertura, pois a mesma é influenciada por vários outros fatores.



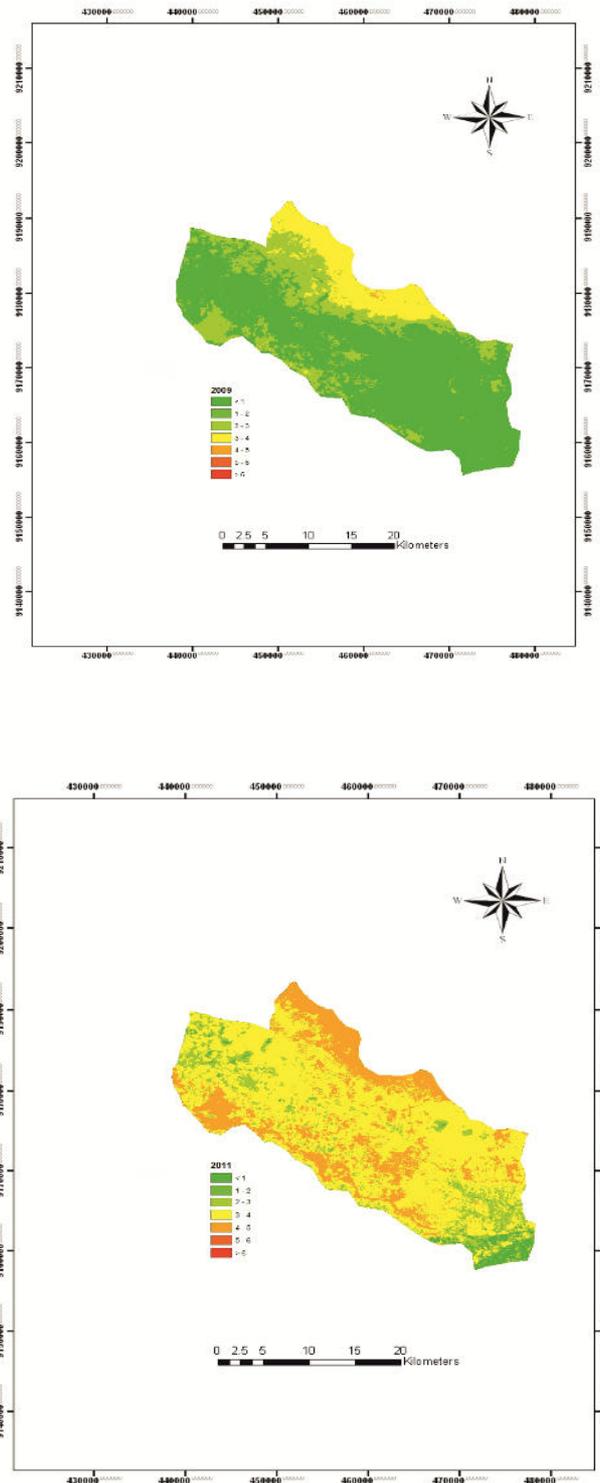


Figura 5: Mapas com valores da evapotranspiração real diária na Sub-bacia do Riacho Jardim/CE, nos anos de 2005, 2008, 2009 e 2011.

4 CONCLUSÃO

A Evapotranspiração real diária foi maior em áreas bem vegetadas e menor em áreas de solo exposto, o que já era esperado de acordo com resultados encontrados, com respaldo na literatura.

Os resultados obtidos demonstraram que o SEBAL é um algoritmo que apresenta bom desempenho na estimativa dos fluxos de energia e determinação da evapotranspiração real em escala regional MESMO apenas com a utilização de técnicas de sensoriamento remoto em áreas com limitada disponibilidade de dados meteorológicos.

5 REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO **irrigation and drainage paper** 56, 1998, 300 p.
- ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R.; WATERS, R.; BASTIAANSEN, W. G. M. Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) – **Advanced training and Users Manual**, Idaho, 2002. 98 p.
- ALLEN, R. G., TASUMI M., MORSE, A., TREZZA, R.. A Landsat-based energy balance and evapotranspiration model in Western US rights regulation and planning. **Irrigation and Drainage Systems**, v.19, p.251-268, 2005.
- 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**, p.380-394, 2007.
- AYENEW, T. Evapotranspiration estimation using thematic mapper spectral satellite data in the Ethiopian rift and adjacent highland. **Journal of Hidrology**, v. 279, p 83-93, 2003.
- ALVES, J. A. A. Geocologia da caatinga no semi-árido do Nordeste brasileiro. **Climatologia e Estudos da Paisagem**, v. 2, n. 1, p. 58-71, 2007.
- BASTIAANSEN, W. G. M. **Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain: A remote sensing approach under clear skies in Mediterranean climate**. 1995. 272 p. PhD. Dis., CIP Data Koninklijke Bibliotheek, Den Haag, the Netherlands. 1995.
- BASTIAANSEN, W. G. M.; MENENTI, M.; FEDDES, R. A.; HOLTSLAG, A. A. M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 1. Formulation. **Journal of Hydrology**, v. 212/213, p.198–212. 1998.
- BASTIAANSEN, W. G. M. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. **Journal of Hidrology**. V. 229, p. 87-100. 2000.
- BASTIAANSEN, W. G. M.; CHANDRAPALA, L. Water balance variability across Sri Lanka for assessing agricultural and environmental water use. **Agricultural Water Management**. V. 58 p.171-192, 2003.
- BASTIAANSEN, W. G. M.; NOORDMAN, E. J. M.; PELGRUN, H.; DAVIDS, G.; THORESON, B. P.; ALLEN, R. G. SEBAL Model with Remotely Sensed Data to Improve Water-Resources Management under Actual Field Conditions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, ASCE, p. 85-93, 2005.
- BEZERRA, B. G. **Balço de energia e evapotranspiração em áreas com diferentes tipos de cobertura de solo no Cariri cearense através do algoritmo SEBAL**. 2006. 147 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, Brasil. 2006.
- BEZERRA, B. G.; SILVA, B. B.; FERREIRA, N. J. Estimativa da evapotranspiração real diária utilizando-se imagens digitais TM - Landsat 5. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.3, 305-317, 2008.
- CAMPOS, M. A. A. **Padrão e dinâmica de floresta tropical, através de classificação orientada a objeto e da análise da paisagem com imagens LANDSAT**. 2005. 122 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2005.
- CHANDER, G.; MARKHAM, B. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 41. n. 11. 2003.
- CUNHA, A. R. da.; ESCOBEDO, J. F.; KIOSOWSKI, E. S. Estimativa do fluxo de calor latente pelo balanço de energia em cultivo protegido de pimentão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília. V. 37, n. 6. p. 735-743. jun. 2002.
- DANTAS, M. J. F. **Evapotranspiração na Sub-Bacia do Riacho Jardim – CE, por Sensoriamento Remoto**. 2013. 107 f. Tese de Doutorado (Doutorado em Agronomia: Energia na Agricultura), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Faculdade de Ciências Agrônomicas - Câmpus de Botucatu. Botucatu – SP. Março – 2013.
- DI PACE, F. T.; SILVA, B. B.; SILVA, V. P. R.; SILVA, S. T. A. Mapeamento do saldo de radiação com imagens Landsat 5 e modelo de elevação digital. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.4, p.385–392, 2008.
- GOMES, H. B. **Balço de radiação e energia em áreas de cultivo de cana-de-açúcar e cerrado no Estado de São Paulo mediante imagens orbitais**. 2009. 274 p. Tese (Doutorado em Meteorologia), Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, PB. 2009.
- HARISON, L. P., 1963, Fundamental concepts and definitions relating to humidity. In Wexler, A. (ed). Humidity and Moisture. V. 3. **Reinhold Publishing Company**. New York, EUA.
- IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Perfil Básico Municipal. 2014. Disponível em: <<http://www.ipece.ce.gov.br>>. Acesso: 30 de maio de 2014.
- JACOMINE, P. K. T. Distribuição geográfica, característica e classificação dos solos coesos dos

- Tabuleiros Costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Cruz das Almas, 1996. **Anais...** Aracaju, EMBRAPA-CPATC & CNPMF / EAUFBA / IGUFBA, 1996. p.13-26.
- KUSTAS, W. P.; MORAN, M. S.; JACKSON, R. D.; GAY, L. W.; DUELL, L. F. W.; KUNKEL, K. E. MATTHAIS, A. D. Instantaneous and daily values of the surface energy balance over agricultural fields using remote sensing and reference field in an arid environment. **Remote Sensing Environmental**. N. 32, p. 125-141. 1990.
- LOPES, G. M. Balanço de Radiação em Áreas Irrigadas Utilizando Imagens Landsat 5 - TM. **Dissertação de Mestrado**, Campina Grande-PB: DCA/CCT/UFCG, 2003.
- MEIRELES, M. **Estimativa da evapotranspiração real pelo emprego do algoritmo SEBAL e imagem Landsat 5 - TM na bacia do Acaraú – CE**. Fortaleza, CE. 2007. 88 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza/CE. 2007.
- MEDINA, J. L.; CAMACHO, E.; RECA, J.; LOPEZ, R.; ROLDAN, J. Determination and Analysis of Regional Evapotranspiration in Southern Spain Based on Remote Sensing and Gis. **Physics and Chemistry of the Earth**. v. 23, n. 4, p.427-432. 1998.
- MENDONÇA, J. C. **Estimação da evapotranspiração regional utilizando imagens digitais orbitais na região Norte Fluminense - RJ**. 2007. Tese de Doutorado - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil. 2007.
- MENESES, P. R. **Definição de Sensoriamento Remoto**. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T (Org.). Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. Brasília: CNPQ, UNB, 2012. Cap. 1, p. 11-33.
- MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 2001. cap. 2, p. 57-111.
- MORAN, M. S., CLARKE, T. R., INOUE, Y. Estimating crop water deficit using the relation between surface-air temperature and spectral vegetation index. **Remote Sensing Environment**, v. 49, pp. 246 – 263. 1994.
- MOREIRA, L. C. J. **Estimativa da evapotranspiração horária usando o algoritmo SEBAL e imagens Landsat 5-TM**. 2007. 91 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, 2007.
- NICÁCIO, R. M. **Evapotranspiração real e umidade do solo usando dados de sensores orbitais e a metodologia SEBAL na bacia do Rio São Francisco**. 2008. 320 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2008.
- NOGUCHI, M. T. G. **Um sistema baseado em regras fuzzy para classificação supervisionada de imagens multiespectrais de alta resolução**. 2004. 150 f. Dissertação (Mestrado em Informática), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.
- NOVO, E. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher. 307p. 1989.
- OLIOSO, A.; CHAUKI, H.; COURAULT, D.; WIGNERON, J. Estimation of evapotranspiration and photosynthesis by assimilation of remote sensing into SVAT models. **Remote Sensing of Environment**, v. 68, n. 3, p. 341-356, 1999.
- PAIVA, C. M. **Estimativa do Balanço de Energia e da Temperatura da Superfície via Satélite NOAA-AVHRR**. 2005. 248 f. Tese de Doutorado: Ciências em Engenharia Civil - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ. 2005.
- SILVA, B. B. da; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. Determinação do Albedo em áreas irrigadas com base em imagens Landsat 5-TM, **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 13, n. 2, p. 201-211, 2005.
- SILVA, B. B.; BEZERRA, M. V. C. Determinação dos fluxos de calor sensível e latente na superfície utilizando imagens TM-Landsat 5. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 14, n. 2, p. 174-186, 2006.
- SILVA, S. T. A. **Mapeamento da Evapotranspiração na Bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe usando Técnicas de Sensoriamento Remoto**. 2009. 135 f. Tese de Doutorado: (Doutorado em Meteorologia). Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande – PB. Abril – 2009.
- TASUMI, M. **Progress in operational estimation of regional evapotranspiration using satellite imagery**. PhD thesis, Dept. Biological and Agricultural Engineering, University of Idaho. Idaho, 2003.
- TEIXEIRA, A. H. C.; BASTIAANSEN, W. G. M.; BASSOI, L. H. Crop water parameters of irrigated wine and table grapes to support water productivity analysis in the Sao Francisco river basin, Brazil. **Agricultural Water Management**, v. 94, p. 31-42, 2007.
- TEIXEIRA, A. H. C.; BASTIAANSEN, W.G.M.; AHMAD, M.D.; BOS, M.G. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle São Francisco River basin, Brazil Part A: Calibration and validation. **Agricultural and Forest Meteorology**. v.149, p. 462 – 476, 2009.
- TREZZA, R. **Evapotranspiration using a satellite-based Surface energy balance with Standardized**

ground control. 247 f. Thesis (Doctor of Philosophy in Biological and Agricultural Engineering). Utah State University. Logan, Utah, 2002.

WANG, J.; SAMMIS, C. A.; MEIER, L.; SIMMONS, D. R.; SAMANI, Z. A Modified Sebal Model for Spatially Estimating Pecan Consumptive Water Use for Las Cruces, New Mexico. Disponível em: <http://ams.cofex.com/ams/pdfpapers/92012.pdf>. Acesso em: 07 de Julho de 2013.