

UNIR Fundação Universidade Federal de Rondônia - UNIR
 Departamento de Engenharia Ambiental - DEA


EVAPOTRANSPIRAÇÃO

David Junio da Silva Conrado²
 José Torrente da Rocha³

Ji-Paraná
 2017

1. Dados do Artigo

- Título: Evapotranspiração real em bacia hidrográfica do Nordeste brasileiro por meio do SEBAL e produtos MODIS
- Autores: OLIVEIRA, L.M.M., MONTENEGRO, S.M.G.L., SILVA, B.B., ANTONINO, A.C.D., & MOURA, A.E.S.S. (2014)



- Qualis (2015):
 - a) Engenharias I – B1
 - b) Ciências Ambientais – A2
 - c) Geografia – A2
- Fator de Impacto: 0,1625 (últimos 3 anos)

2. Introdução

- A gestão eficaz dos recursos hídricos é de grande relevância social e ambiental e a sua inobservância pode comprometer a sustentabilidade do uso dos recursos naturais de uma bacia hidrográfica;
- A evapotranspiração (ET) é um dos principais indicadores de perda da água da superfície terrestre pela interface solo, planta e atmosfera;
- Evapotranspiração em grandes áreas com acentuada heterogeneidade;
- Neste sentido, os métodos de obtenção da evapotranspiração real diária (ET_r) baseados em técnicas de sensoriamento remoto se apresentam com uma opção de baixo custo e com boa precisão.

2. Introdução

- O Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) é um algoritmo desenvolvido para estimar o balanço de energia à superfície, por meio de imagens de satélite multiespectrais que propiciem a determinação do albedo e a temperatura da superfície complementados com poucos dados meteorológicos de superfície (Bastiaanssen et al., 1998).
- A parametrização do algoritmo é aplicada em imagens digitais de qualquer sensor orbital que efetue medidas de radiança no visível, infravermelho próximo e termal, tais como o Landsat 5 – TM.

(Santos, 2011; Bezerra et al., 2012b); NOAA-AVHRR (Zwart & Bastiaanssen, 2007; Paiva et al., 2011); Terra/MODIS (Andrade et al., 2012; Ruhoff et al., 2012) e Terra/ ASTER (Santos et al., 2010).

2. Introdução

- O sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), dispõe de 36 bandas com cobertura espectral de 0,4 a 14,40 μm, resolução radiométrica de 12 bits, resolução espacial de 250, 500 e 1.000 m e resolução temporal diária.

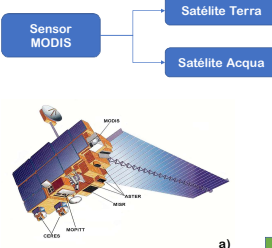


Figura 1 – a) Satélite Terra, b) Satélite Aqua.

2. Introdução

- Outra metodologia bastante utilizada para determinação da evapotranspiração é o método do balanço de energia pela razão de Bowen (BERB). Trata-se de um método micrometeorológico muito prático cujos dados de entrada compreendem medições do saldo de radiação, fluxo de calor no solo e medidas da temperatura e umidade do ar em dois níveis acima da superfície de interesse (Allen et al., 2011).
- Neste contexto esta pesquisa objetivou avaliar a evapotranspiração real diária por meio do SEBAL e comparar os resultados com a ETR obtida com a técnica de razão de Bowen na Bacia Hidrográfica do Rio Tapacurá, estado de Pernambuco.

3. Metodologia

A pesquisa foi realizada na Bacia Hidrográfica do Rio Tapacurá, Sub-Bacia do Rio Capibaribe, Pernambuco, integrante da Rede de Hidrologia do Semiárido (REHISA) com área de drenagem de aproximadamente 480 km² (Oliveira et al., 2012).




Figura 2 – Barragem de Tapacurá (esq.) e Reservatório de Tapacurá (dir.)

3. Metodologia

- Foi instalada uma estação meteorológica experimental (08° 05' 19" S; 35° 14' 56" W; 143 m), totalmente automatizada, com sete sensores para medições de:
 - Temperatura e umidade relativa do ar (dois termohigrômetros, modelo HMP45C da Vaisala Inc, Finlândia, níveis z1 = 0,30 m e z2 = 1,30 m a partir do dossel da vegetação);
 - Velocidade do vento (dois anemômetros modelos 014A da Met One, Estados Unidos, níveis z1 = 0,30 m e z2 = 1,30 m a partir do dossel da vegetação);
 - Saldo de radiação (saldo radiômetro modelo NR-LITE da Kipp & Zonen, Holanda);
 - Radiação solar global (piranômetro modelo CS300 da Kipp & Zonen, Holanda);
 - Precipitação (pluviômetro modelo TB4 da Campbell Scientific, Estados Unidos).

3. Metodologia

Os sensores foram acoplados a dois sistemas de aquisição de dados CR-1000 da Campbell Scientific programados para efetuar leitura dos sensores a cada 5 s e extrair médias a cada 30 min. O local escolhido para implantação da estação meteorológica experimental (Figura 4) apresentou alcance geográfico com significativa área de bordadura na qual se observou extensa escala homogênea de cobertura vegetal com pasto em capim-lucas (*Sporobolus Indicus*).




Figura 3 – Capim-lucas (*Sporobolus Indicus*)

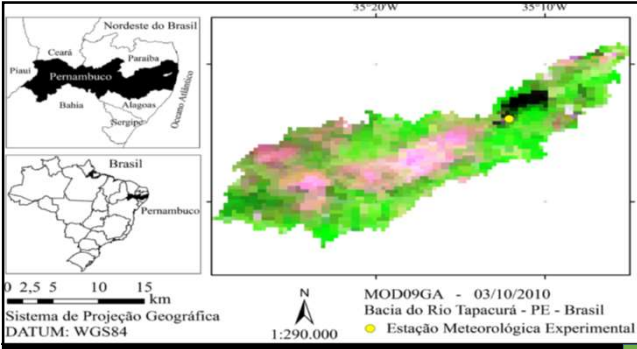


Figura 4 – Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Tapacurá, PE, Brasil

3. Metodologia

No SEBAL a evapotranspiração real diária (ET_r, mm d⁻¹) é obtida por meio de (Bastiaanssen, 2000; Bezerra et al., 2012b):

$$ET_r = 0,035 \left(\frac{LE}{R_n - G} \right) \left[(1 - \alpha) R_{oc,24h} - 110 \tau_{24h} \right] \quad (1)$$

em que:

- LE - fluxo de calor latente, W m⁻²;
- R_n - saldo instantâneo de radiação (obtido com o MOD11A1 e MOD09GA), W m⁻²;
- G - fluxo de calor no solo (Andrade et al., 2012; Silva et al., 2012), W m⁻²;
- α - albedo da superfície (obtido com o produto MOD09GA), adimensional;
- ROC, 24h - radiação solar global diária medida na estação meteorológica experimental, W m⁻²;
- τ, 24h - transmissividade atmosférica média diária;
- 0,035 - fator de conversão de W m⁻² para mm d⁻¹, adimensional.

3. Metodologia

A carta temática do fluxo de calor sensível (H, W m⁻²) é o diferencial do algoritmo SEBAL e os valores, pixel a pixel, foram estimados com base na velocidade do vento e a diferença da temperatura do ar (dT) entre dois níveis próximos da superfície (Z1 = 0,1 m e Z2 = 2 m) conforme (Bastiaanssen et al., 1998; Allen et al., 2007; Anderson et al., 2012; Silva et al., 2012):

$$H = \frac{\rho c_p dT}{r_{ah}} \quad (2)$$

em que:

- ρ - densidade do ar atmosférico, kg m⁻³.
- c_p - calor específico do ar à pressão constante, J kg⁻¹ K⁻¹.
- r_{ah} - resistência aerodinâmica ao transporte de calor sensível, s m⁻¹.
- dT - diferença da temperatura do ar e a temperatura da superfície.

3. Metodologia

• No Balanço de Energia pela Razão de Bowen (BERB) a razão entre os fluxos de calor sensível (H) e de calor latente (LE) é definida como Razão de Bowen - β , que pode ser determinada com medições das diferenças da temperatura do ar e pressão de vapor em dois níveis acima do dossel da vegetação (Hou et al., 2010; Allen et al., 2011; Lima et al., 2011):

$$\beta = \frac{H}{LE} = \gamma \left(\frac{\Delta T}{\Delta e} \right) \quad (3)$$

em que:

- γ - constante psicrométrica = 0,066 kPa °C⁻¹.
- ΔT - diferença de temperatura do ar entre dois níveis, °C.
- Δe - diferença da pressão de vapor entre dois níveis, kPa.

3. Metodologia

• A partir das medições do Rn, G, ΔT e Δe , juntamente com a equação simplificada do balanço de energia ($R_n = LE + G + H$) e se utilizando a razão de Bowen (β) foram calculados os LE e H, respectivamente, por: $LE = (R_n - G)/(1 + \beta)$ e $H = (\beta + 1) \times (R_n - G)$.

• Como o intervalo de tempo dos dados coletados foi de 30 min, calculou-se a evapotranspiração real pelo BERB (ET_{BERB}, mm d⁻¹) no período em que $R_n - G > 0$, por:

$$ET_{BERB} = \frac{1800^{1800}}{L_v} \int LE_i \quad (4)$$

em que:

- 1800 - fator de integração do valor instantâneo para o período de 30 min.
- L_v - calor latente de evaporação da água, 2,45 MJ kg⁻¹.
- n - número de intervalos de tempo semi-horários em que $R_n - G > 0$.

3. Metodologia

• Para a análise comparativa entre a ET_{SEBAL} e ET_{BERB} foram utilizados o Erro Absoluto Médio - EAM (mm d⁻¹) e Erro Relativo Médio - ERM (%) e a Raiz do Erro Quadrático Médio - REQM (mm d⁻¹):

$$EAM = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |X_{est} - X_{obs}| \quad (5)$$

$$ERM = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{X_{est} - X_{obs}}{X_{obs}} \right| \quad (6)$$

$$REQM = \left(\frac{\sum_{i=1}^N (X_{est} - X_{obs})^2}{N} \right)^{1/2} \quad (7)$$

em que:

- X_{est} - valor da ET_{SEBAL}
- X_{obs} - valor da ET_{BERB}
- N - número de pares das variáveis.

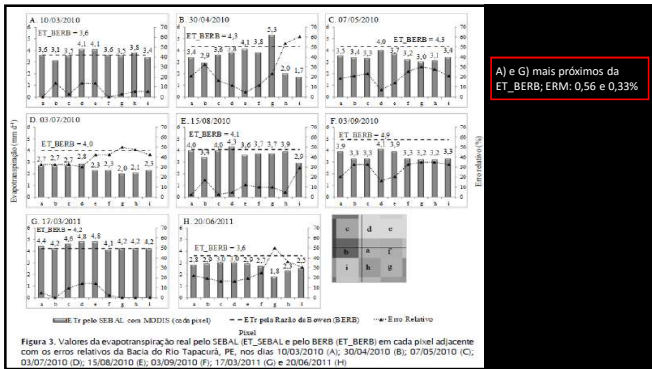
4. Resultados e Discussão

* - de janeiro a agosto

4. Resultados e Discussão

• Tabela 1 – Dados das imagens do MODIS; sistema satélite/sensor; hora de passagem do satélite (h), ângulo zenital do sol (Z, grau); pressão atmosférica (P, kPa); temperatura do ar (T, °C); umidade relativa (UR, %); radiação solar global (R_{oc}, W m⁻²) e transmissividade atmosférica da radiação solar (τ , adimensional)

Data da imagem	Satélite Sensor	Hora (h)	Z (graus)	P (kPa)	T _a (°C)	UR (%)	R _{oc} (W m ⁻²)	τ
10/03/2010	Terra/MOD	10:00	32,3	99,692	32,9	31,9	670,5	0,746
30/04/2010	Terra/MOD	10:30	31,3	99,682	30,9	52,7	820,5	0,730
07/05/2010	Aqua/MYD	13:30	34,4	99,682	31,0	50,6	636,9	0,727
03/07/2010	Aqua/MYD	13:24	36,8	99,670	29,8	44,4	654,1	0,736
15/08/2010	Terra/MOD	10:12	35,4	99,664	27,6	61,9	776,6	0,726
03/09/2010	Aqua/MYD	13:36	29,8	99,669	28,6	43,7	734,2	0,747
17/03/2011	Aqua/MYD	14:06	30,5	99,699	34,3	36,8	699,8	0,738
20/06/2011	Aqua/MYD	13:24	37,4	99,671	28,9	57,3	540,5	0,723



4. Resultados e Discussão

• Tabela 2 – Valores da Evapotranspiração real pelo SEBAL e pela Razão de Bowen em cada meia hora e diária, Erro Relativo (ER, %) e Erro Absoluto (EA, mm.d⁻¹) na localização da estação meteorológica experimental

Data	Evapotranspiração				Diária (mm.d ⁻¹)			
	SEBAL	BERB	ER	EA	SEBAL	BERB	ER	EA
10/03/2010	0.24	0.29	17.24	0.05	3.6	3.6	0.00	0.00
30/04/2010	0.32	0.37	15.31	0.05	4.1	4.1	4.63	0.20
07/05/2010	0.24	0.25	4.00	0.01	4.0	4.3	6.98	0.30
03/07/2010	0.22	0.27	18.54	0.05	4.2	4.0	30.0	1.20
15/08/2010	0.37	0.53	12.12	0.04	4.0	4.1	2.44	0.10
03/09/2010	0.26	0.34	22.53	0.08	4.1	3.9	16.23	0.80
17/03/2011	0.25	0.26	3.85	0.01	4.2	4.2	0.00	0.00
20/06/2011	0.23	0.30	23.33	0.07	3.0	3.6	18.67	0.60

Bezerra et al (2010): 3,8 – 5,9 mm.d⁻¹ (algodão irrigado, Ceará, 2003 e 2005)

Lima et al (2011): 2,2 – 5,8 mm.d⁻¹ (feijão caupi em sequeiro; média de 3,8 mm.d⁻¹)

Nagler et al (2005): 4 – 5 mm.d⁻¹ (Tamarisk, NM, EUA)

4. Resultados e Discussão

• Na análise com os pixels de menores Erros Relativos obviamente os valores da ET_SEBAL se mantiveram mais próximos ainda dos valores da ET_BERB. Foram obtidos o Erro Absoluto Médio – EAM (mm d⁻¹), Erro Relativo Médio – ERM (%) e Raiz do Erro Quadrático Médio – REQM (mm d⁻¹) que foram respectivamente iguais a 0,40 mm d⁻¹, 9,63% e 0,51 mm d⁻¹. Este estudo condiz com o realizado por Santos (2011) na validação do SEBAL com os dados obtidos pelo BERB e obteve erro quadrático médio de 0,4 mm d⁻¹ e erro médio percentual de 9,5%. Este resultado evidenciou a eficiência da aplicação do SEBAL na determinação da evapotranspiração real diária na Bacia do Rio Tapacurá, Pernambuco, Brasil.

5. Conclusão

• A metodologia avaliada propiciou resultados diários da evapotranspiração em área do Nordeste brasileiro com nível de precisão satisfatório e aceitável, apresentando diferenças inferiores a 10%, quando comparadas com estimativas da técnica de razão de Bowen, não obstante a presença significativa da nebulosidade na região.

• O SEBAL compreende uma ferramenta prática, econômica e eficiente na geração de subsídios à adequada gestão dos recursos hídricos.

6. Referências

• 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.

Obrigado !