

ANALISE PRELIMINAR DO SALDO DE RADIAÇÃO NA MICRORREGIÃO LESTE DO ESTADO DE ALAGOAS COM IMAGEM TM LANDSAT 5

NYRON FERNANDO SILVA DA COSTA^{1,2}
FREDERICO TEJO DI PACE²
SAMUELSON LOPES CABRAL²

Universidade federal de Alagoas - UFAL/ICAT
Campos A. C. Simões br104-norte km97 – Maceió - AL, Brasil

Nyron301@hotmail.com
Fred@ccen@ufal.br
samuellsoncabral@hotmail.com

Resumo: o saldo de radiação é um importante componente do balanço de energia e tem grande relevância em estudos de áreas irrigadas e bacias hidrográficas. Tendo como objetivo a estimativa do saldo de radiação através de imagens de satélite multiespectrais do mapeador temático *TM Landsat 5* utilizando o algoritmo *SEBAL*. Os cálculos foram realizados para o dia 11/06/1990 e os resultados foram obtidos com a ferramenta *model maker* do *software ERDAS Imagine*, onde é levado em consideração na área de estudo o qual podemos quantificar a cobertura vegetal de forma instantânea com o cômputo dos índices de vegetação e a capacidade de energia disponível dos alvos analisados. Os valores médios obtidos da temperatura da superfície, ficaram em torno de 18°C e os valores do albedo e do saldo de radiação ficaram em torno de 14% e 311w/m² respectivamente. No estudo verificou-se que a utilização da técnica se mostra bastante eficaz para a região por possuir superfícies para a irrigação, das quais possuem uma maior capacidade de armazenamento de energia como: espelhos d'água e florestas nativas. Onde nos alvos que possuem vegetação de cana-de-açúcar foi verificada uma variação do albedo entre 17% e 24% variando de acordo com o desenvolvimento do dossel na região de estudo.

Palavras chaves: Multiespectrais, TM landsat e SEBAL.

Abstract: the radiation balance is an important component of the energy balance and has great relevance in studies of irrigated areas and hydrographic basins. Having as objective the estimate of the balance of radiation through multispectral images of satellite from thematic Mapper TM Landsat 5 using algorithm SEBAL. The calculations had been carried through for day 11/06/1990 and the results had been gotten with the tool *model maker* from *software ERDAS Imagine*. It imagines where it is led in consideration in the study area which we can quantify the vegetal covering of instantaneous form with it I compute of the indices of vegetation and the capacity of available energy of the analyzed targets. The gotten average values of the temperature of the surface had been around 18°C and the values of Albedo and the balance of radiation had been around 14% and 311w/m² respectively. In the study it was verified that the use of the technique if shows sufficiently efficient for the region for possessing surfaces for the irrigation of which they possess a bigger capacity of energy storage as: mirrors of water and native forests. Where in the targets that they possess vegetation of sugar cane-of-sugar was verified a variation of Albedo between 17% and 24% having varied in accordance with the development of the canopy in the study region.

Keywords: multispectral, TM landsat and SEBAL.

1. Introdução

O estudo do saldo de radiação tem uma importante potencialidade em estudos agrometeorológicos devido a sua importância no balanço de energia onde que nos quantifica a capacidade de energia disponível para fotossíntese na cultura e evapotranspiração. Através de dados de superfícies com instrumentos de alta precisão pode-se analisar o saldo de radiação em superfície e a sua variação diária com medidas pontuais em determinados instantes de tempo, no entanto, essas medidas se mostram ideais para pequenas localidades e em áreas homogêneas com pouca variação da cobertura da superfície. Do contrário a analisar o saldo de radiação com imagens de satélite se mostra uma ferramenta bastante viável para grandes áreas com qualquer tipo de cobertura de terreno, no entanto desprovidas de nebulosidades. Já que a nebulosidade interfere diretamente nos resultados de radiação refletida onde não se utiliza correção atmosférica.

Nos últimos anos foram propostos alguns algoritmos para o cálculo do balanço de energia à superfície; o mais destacado é o SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land), pois leva em consideração a variabilidade espacial de muitos elementos micrometeorológicos, através de funções semi-empíricas e pode ser aplicado em diversos agrossistemas (Bastiaanssen et al., 1998); sendo um algoritmo utilizado com enfoque em áreas irrigadas se mostrando um elemento bastante eficaz no cálculo da evapotranspiração.

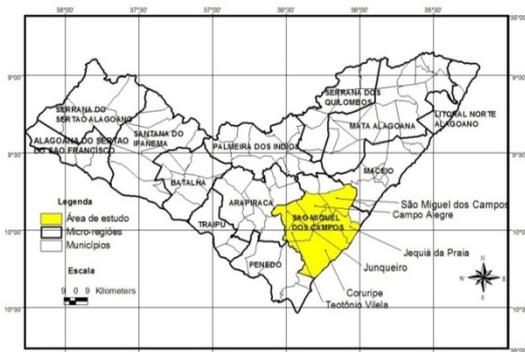


Figura 1: localização da área de estudo

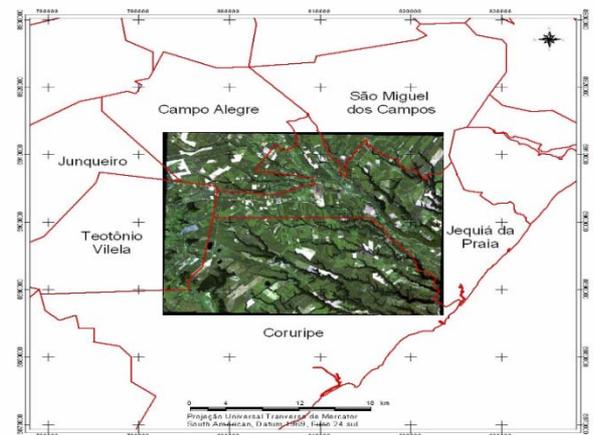


Figura 2: imagem TM landsat com as bandas 1,2 e 3

2. MÉTODOS

Para o processamento das imagens serão desenvolvidos modelos através da ferramenta Model Maker do ERDAS Imagine 8.5. a partir do mini recorte feito nas seguintes coordenadas canto superior esquerdo (longitude $36^{\circ} 19' 39,32''$ Oeste e latitude $9^{\circ} 49' 12,75''$ Sul), canto superior direito (longitude $36^{\circ} 03' 00,42''$ Oeste e latitude $09^{\circ} 49' 22,17''$ Sul), canto inferior esquerdo (longitude $36^{\circ} 19' 48,09''$ Oeste e latitude $10^{\circ} 03' 39,05''$ Sul), canto inferior direito (longitude $36^{\circ} 03' 08,46''$ Oeste e latitude $10^{\circ} 03' 48,70''$ Sul) no dia 6 de junho de 1990 (06/06/1990)..

Calibração radiométrica – Etapa 2.1

Constituiu-se do cômputo da radiância espectral de cada banda (L_{λ_i}), ou seja, efetivação da Calibração Radiométrica, em que o número digital (ND) de cada pixel da imagem é convertido em radiância espectral monocromática. Essas radiâncias representam a energia

solar refletida por cada pixel, por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda, medida no nível do satélite Landsat (705 km), para as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7. Para a banda 6, essa radiância representa a energia emitida por cada pixel. A obtenção da radiância de cada banda é feita segundo a equação de Markham and Baker (1987):

$$L_{\lambda_i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND \quad (2.1)$$

Onde a e b são as radiâncias espectrais mínimas e máximas ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$) conforme Tabela 3.1, ND é a intensidade do pixel (número digital – número inteiro de 0 a 255) e i corresponde as bandas (1, 2, ... e 7) do satélite TM - Landsat 5.

Reflectância monocromática– Etapa 2.2

A Etapa 2 compreende o cômputo da reflectância monocromática de cada banda (ρ_{λ_i}), definida como sendo a razão entre o fluxo de radiação solar refletida e o fluxo de radiação solar incidente que é obtida segundo a equação (Allen et al., 2002):

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda_i}}{k_{\lambda_i} \cdot \cos Z \cdot d_r} \quad (2.2)$$

Onde L_{λ_i} é a radiância espectral de cada banda, k_{λ_i} é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($Wm^{-2}\mu m^{-1}$, Tabela 3.1), Z é o ângulo zenital solar e d_r é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol (em unidade astronômica – UA), dada por (Iqbal, 1983):

Albedo no topo da atmosfera – Etapa 2.3

A Etapa 3 representa o cômputo do albedo no topo da atmosfera (α_{toa}), isto é, o albedo não ajustado a transmissividade atmosférica, que é obtida pela combinação linear das reflectâncias monocromáticas:

$$\alpha_{toa} = 0,293\rho_1 + 0,274\rho_2 + 0,233\rho_3 + 0,157\rho_4 + 0,033\rho_5 + 0,011\rho_7 \quad (2.3)$$

Onde ρ_1 , ρ_2 , ρ_3 , ρ_4 , ρ_5 e ρ_7 são os albedos planetários das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7.

Albedo da Superfície – Etapa 2.4

Na Etapa 4 obtém-se o albedo da superfície (α) ou albedo corrigido para os efeitos atmosféricos pela equação:

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_p}{\tau_{sw}^2} \quad (2.4.1)$$

Onde α_{toa} é o albedo planetário, α_p é a radiação solar refletida pela atmosfera, que varia entre 0,025 e 0,04, mas para o modelo SEBAL é recomendado o uso do valor de 0,03, com base em Bastiaanssen (2000) e τ_{sw} é a transmissividade atmosférica, que para condições de céu claro, pode ser obtida por (Allen et al., 2002):

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2.10^{-5} z \quad (2.4.2)$$

Onde z é a altitude de cada pixel (m).

Índices de Vegetação: IVDN, IVAS e IAF – Etapa 2.5

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) é obtido através da razão entre a diferença das refletividades do Infravermelho próximo (ρ_{IV}) e do vermelho (ρ_V) e a soma das mesmas (Allen et al. 2002):

$$IVDN = \frac{\rho_{IV} - \rho_V}{\rho_{IV} + \rho_V} \quad (2.5.1)$$

Onde ρ_{IV} e ρ_V correspondem, respectivamente, as bandas 4 e 3 do TM - Landsat 5. O IVDN é um indicador sensível da quantidade e da condição da vegetação verde. Seus valores variam de -1 a +1 e para superfícies com alguma vegetação o IVDN varia de 0 a +1, já para a água e nuvens o IVDN geralmente é menor que zero.

Para o cálculo do Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo (IVAS) que é um índice que busca amenizar os efeitos do “background” do solo, foi utilizado a expressão (Huete, 1988):

$$SAVI = \frac{(1+L)(\rho_{IV} - \rho_V)}{(L + \rho_{IV} + \rho_V)} \quad (2.5.2)$$

Onde L é constante, neste estudo, utilizou-se $L = 0,5$, que é o valor mais freqüente na literatura (Accioly et al., 2002; Boegh et al., 2002).

O Índice de Área Foliar (IAF) é definido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação. O IAF é um indicador da biomassa de cada pixel da imagem sendo o mesmo computado pela seguinte equação empírica obtida por Allen et al., (2002):

$$IAF = -\frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (2.5.3)$$

Emissividades – Etapa 2.6

Para a obtenção da temperatura da superfície, foi utilizada a equação de Planck invertida, válida para um corpo negro. Como cada pixel não emite radiação eletromagnética como um corpo negro, há a necessidade de introduzir a emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal ϵ_{NB} . Por sua vez, quando do cômputo da radiação de onda longa emitida por cada pixel, há de ser considerada a emissividade de banda larga ϵ_0 (6 – 14 μm). Segundo Allen et al. (2002), as emissividades ϵ_{NB} e ϵ_0 podem ser obtidas, para $IVDN > 0$ e $IAF < 3$, por:

$$\epsilon_{NB} = 0,97 + 0,00331 IAF \quad (2.6.1)$$

$$\epsilon_0 = 0,95 + 0,01 IAF \quad (2.6.2)$$

Para pixels com $IAF \geq 3$, $\epsilon_{NB} = \epsilon_0 = 0,98$. Para corpos de água ($IVDN < 0$).

Temperatura da Superfície – Etapa 2.7

Para a obtenção da temperatura da superfície (T_o) foram utilizados a radiância espectral da banda termal $L_{\lambda,6}$ e a emissividade ϵ_{NB} obtida na etapa anterior. Dessa forma, obteve-se a temperatura da superfície (K) pela seguinte expressão (Morse et al., 2000; Allen et al., 2002):

$$T_o = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\epsilon_{NB}K_1}{L_{\lambda,6}} + 1\right)} \quad (2.7)$$

Onde K_1 e K_2 são constantes iguais a $607,76 \text{ Wm}^2\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ e $1260,56 \text{ K}$, respectivamente.

Radiação de Onda Longa Emitida – Etapa 2.8

A radiação de onda longa emitida pela superfície $R_{L\uparrow}$ (Wm^{-2}) foi obtida através da equação de Stefan-Boltzman:

$$R_{L\uparrow} = \epsilon_0 \cdot \sigma \cdot T_s^4 \quad (2.8)$$

Onde ϵ_0 é a emissividade de cada pixel; σ é a constante de Stefan-Boltzman ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$) e T_s é a temperatura da superfície (K).

Radiação de onda curta incidente – Etapa 2.9

A radiação de onda curta incidente $R_{s\downarrow}$ (Wm^{-2}) é o fluxo de radiação solar direta e difusa que atinge a superfície terrestre, que para condição de céu claro é dada pela seguinte expressão (Bastiaanssen, 1995; Morse et al., 2000; Allen et al., 2002):

$$R_{s\downarrow} = S \cdot \cos Z \cdot d_r \cdot \tau_{sw} \quad (2.9)$$

Onde S é a constante solar (1367 Wm^{-2}); Z é ângulo zenital solar; d_r é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol e τ_{sw} é a transmissividade atmosférica. $R_{s\downarrow}$ será considerado constante em toda a área de estudo.

Radiação de onda longa incidente – Etapa 2.10

A radiação de onda longa incidente emitida pela atmosfera na direção da superfície $R_{L\downarrow}$ (Wm^{-2}), foi computada pela equação de Stefan-Boltzman:

$$R_{L\downarrow} = \epsilon_a \cdot \sigma \cdot T_a^4 \quad (2.10)$$

Onde ϵ_a é a emissividade atmosférica obtida por: $\epsilon_a = 0,85 \cdot (-\ln\tau_{sw})^{0,09}$ (Bastiaanssen, 1995; Allen et al., 2002), σ é a constante de Stefan-Boltzman e T_a é a temperatura do ar (K).

Saldo de radiação – Etapa 2.11

O saldo de radiação à superfície R_n (Wm^{-2}) será computado utilizando-se a seguinte equação do balanço de radiação à superfície:

$$R_n = R_{s\downarrow} - \alpha R_{s\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \varepsilon_o) R_{L\downarrow} \quad (2.11)$$

Onde $R_{s\downarrow}$ é a radiação de ondas curtas 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.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O albedo instantâneo da superfície apresentou valores médios de 14%, com um mínimo de 2,56% e um máximo de 28,06% com uma variância de 0,164 e desvio padrão de 0,014. Onde existe uma dispersão no histograma que nos mostra a diferença entre os alvos e as suas respectivas capacidades de reflexão da radiação. Visto que, áreas com solo exposto apresentam maior refletividade do que solos com vegetação, em razão da pouca capacidade de retenção de umidade bem como do tipo de solo. A área estudada caracterizada por zona da mata onde se predomina o solo massapé de composição argilosa com grande capacidade de absorção da umidade.

Tabela 1 – Valores estatísticos do albedo da superfície (mínimo, máximo, médio, desvio padrão e variância) para dia 11/06/1990.

	Mínimo(%)	Maximo(%)	Media(%)	Desvio padrão	Variância
Albedo da superfície	2,56	28,06	14,6	0,027	0,0007

Temperatura da superfície

O computo é analisado através das suas respectivas emissividades, mostrando valores também compreendidos entre superfícies secas e úmidas, vegetação e rios e a variada topografia em que nos permite admitir uma altura média de 92,976 metros para a imagem trabalhada.

Analisando os valores estatísticos da temperatura da superfície, os quais representam os valores mínimos, máximos, médios, desvio padrão e variância, aqui representados na Tabela 2 e Figura 2 no dia 11/06/1990 apresentam valor médio de 18,84°C, valores máximo de 24,08°C e mínimos de 17,09°C respectivamente, com amplitude de 6,9°C e desvio padrão de 1,175°C.

Tabela 2 - Valores estatísticos da temperatura da superfície (mínimo, máximo, médio, desvio padrão e variância) para dia 11/06/1990.

	Mínimo (°C)	Maximo (°C)	Media (°C)	Desvio padrão (°C)	Variância (°C)
Temperatura da superfície	17,09	24,08	18,84	1,175	1,38

Radiação de onda longa emitida

A radiação de onda longa é uma variável meteorológica que varia com a temperatura da superfície elevada a quarta potência. Onde no seguinte estudo obtivemos valores compreendidos entre 379,86 w/m² (mínimo) e 426,052 w/m² (máximo) com uma média de 394,683 w/m² mostrados na tabela 3.

Tabela 3 - Valores estatísticos radiação de onda longa emitida (mínimo, máximo, médio, desvio padrão e variância) para dia 11/06/1990.

	Mínimo	Maximo	Media	Desvio padrão	Variância
Radiação de onda longa emitida	379,86 w/m ²	426,052w/m ²	394,683w/m ²	5,645	31,866

Radiação de onda longa incidente

Através da temperatura do ar podemos concluir o balanço de onda longa incidente na atmosfera. Onde utilizamos como um resultado constante para toda a região. A emissividade atmosférica e a temperatura do ar são variáveis utilizadas no cálculo onde não sofre influência da superfície já que admitimos uma altura média para toda a imagem e a tratamos como uma superfície plana na qual admitimos que os valores de radiação de onda longa emitida ficaram em torno de 311,711 w/m².

Radiação de onda curta incidente

A radiação de onda curta incidente totaliza 476,833 w/m² tomando uma altura média de 92,976 metros de altitude com relação ao nível do mar. Onde a variação é dependente dos efeitos orográficos na superfície.

Saldo de radiação

A figura nos mostra classificação em vermelho do saldo de radiação onde as superfícies representam espelhos d'água e regiões de baixas altitudes onde se analisam os valores mais altos devido à capacidade de armazenamento de energia proveniente da radiação solar, Com os valores mínimos em tons azuis escuros e claros estão às superfícies que apresentam complexos urbanos e superfícies desprovidas de vegetação onde ocorre uma maior perda de radiação por emissão. Do amarelo ao verde fluorescente identifica zonas de transição entre os complexos urbanos e a vegetação menos significativa (com baixo crescimento) e onde se analisa a média de todos os valores. Em tons verdes escuro caracterizam as zonas com grande densidade vegetativa (com crescimento elevado) como vestígios de florestas nativas.

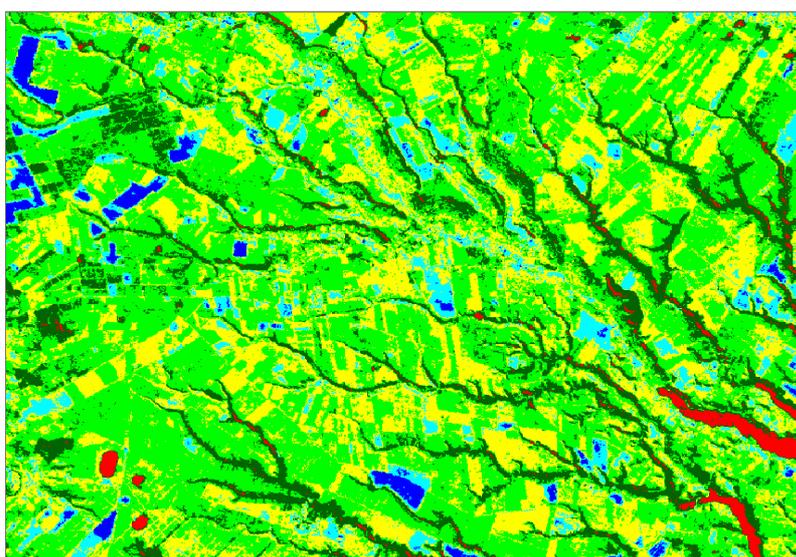
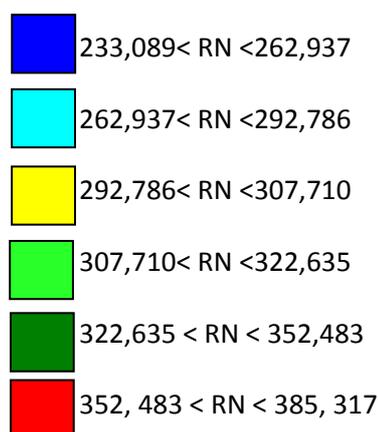


Figura 3: Imagem do Saldo de radiação instantâneo para o dia 11/06/1990.

Tabela 4 - Valores estatísticos de saldo de radiação (mínimo, máximo, médio, desvio padrão e variância) para dia 11/06/1990.

	Mínimo	Maximo	Media	Desvio padrão	Variância
Saldo de radiação	233,09 w/m ²	385,91 w/m ²	311,56 w/m ²	16,307	265,918

4. Conclusões

- 1- A energia disponível em superfícies retentoras de umidade é maior que em superfícies secas devido a sua maior capacidade de armazenamento.
- 2- A região de estudo nos mostra um elevado valor de energia disponível na realização do processo fotossintético.
- 3- Os valores obtidos nos resultados para estimativa do saldo de radiação utilizando imagens de satélite mostraram-se congruentes com relação aos resultados da literatura.
- 4- A técnica se mostra como uma ferramenta bastante eficaz para regiões remotas de dados de superfície como ocorreu na região estudada anteriormente.
- 5- Os valores de albedo em regiões de cultivo de cana-de-açúcar variam entre 17% e 24%.

Referências bibliográficas

- ALLEN, R. G.; TREZZA, R.; TASUMI, M. **Surface energy balance algorithms for land. Advance training and users manual**, version 1.0, 98p, 2002.
- 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, 1998a.
- BASTIAANSEN, W.; BOS, M. G. **Irrigation performance indicators based on remotely sensed data: a review of literature**. *Irrigation and Drainage Systems*. v.13, p.291-311, 1999.
- CURRAN, P. J. **Principles of remote sensing**. London: Longman, 282 p., 1985.
- HUETE, A. R. **Adjusting Vegetation Indices for Soil Influences**. *International Agrophysics*. 4(4): 367-376, 1988.
- IQBAL, M. **An Introduction to Solar Radiation**. Library of Congress Cataloging in Publication data, Academic Press Canadian. 1983.
- MARKHAM, B. L. and BARKER, L. L. **Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances**, *Int. Journal of Remote Sensing*, v. 8, nº. 3 p. 517-523, 1987.
- NOVO, E. M., 1989. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo. Edgard Blucher. 307p.