



<sup>1</sup> Eng. Agrônomo, Mestrando em Irrigação e Drenagem, bolsista do CNPq, Departamento de Engenharia Agrícola, CCA/UFC. E-mail: Cleniojario@gmail.com

<sup>2</sup> Eng. Naval, Mestre em Mecânica dos Fluidos, Doutorando em Recursos Hídricos, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, DEMET - Departamento de Meteorologia. Email: bruno@funceme.br

<sup>3</sup> Eng. Agrônomo, Ph.D., Professor do Departamento de Engenharia Agrícola, CCA/UFC. E-mail: adunias@ufc.br

<sup>4</sup> Eng. Agrônoma, Ph.D., Professora do Departamento de Engenharia Agrícola, CCA/UFC. E-mail: eandrade@ufc.br

<sup>5</sup> Eng. Agrônomo, Mestrando em Irrigação e Drenagem, bolsista do CNPq, Departamento de Engenharia Agrícola, CCA/UFC. E-mail: wilson\_agronomia@hotmail.com

**RESUMO:** O objetivo desse trabalho foi aplicar o algoritmo SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithms for Land*) a imagens do satélite Landsat 5 TM cobrindo três regiões no Estado do Ceará (Acará, Chapada do Apodi e Chapada do Araripe) para obter o albedo desses três regiões. O processo segue a seguinte sequência: Calibração Radiométrica, Reflectância, albedo no topo da atmosfera, albedo da superfície. Após estimar albedo, cada região foi dividida em 16 quadrantes onde se constituiu nos tratamentos e de cada tratamento foi retirado 4 repetições. A região do Acaraú foi a que apresentou a menor média de albedo com um valor da ordem de 0,1425 tendo também uma maior uniformidade na distribuição dos valores médios. A chapada do Araripe foi a região que apresentou uma maior média de albedo com um valor de 0,1504, a elevada presença de nuvens justifica essa média elevada do albedo.

**PALAVRAS CHAVES:** Albedo, SEBAL, Variabilidade.

## VARIABILITY OF ALBEDO IN THREE REGIONS OF THE STATE OF CEARÁ

**ABSTRACT:** The aim of this work was to apply the SEBAL algorithm (*Surface Energy Balance Algorithms for Land*) to three Landsat 5 TM images over Ceará State (Acará, Apodi and Araripe) in order to obtain the surface albedo in these regions. The algorithm includes the following steps: radiometric calibration, reflectance, albedo at the top of the atmosphere and surface albedo. After calculating the surface albedo, the Tukey statistical test was applied dividing each region in 16 areas. The Acaraú region was the region with the lowest albedo mean value (around 14.25%), showing a strong uniformity between the sub-regions. In the Araripe region, the forest area presented low albedo values, but the mean was the highest of the three regions (15.04%), because the calculation of the mean included the very high albedo values of the clouds pixels.

**KEYWORDS:** Albedo, SEBAL, Variability.

**INTRODUÇÃO:** A radiação solar que atinge a superfície da Terra é um parâmetro de fundamental importância para os diversos processos que ocorrem no sistema solo-planta-atmosfera. Do total de radiação que chega à superfície, parte é imediatamente refletida, parte é transmitida e outra é absorvida pelas plantas de forma diferenciada, dentro do espectro solar. Segundo Gates (1965) a razão entre as radiações refletidas e incidentes é denominada coeficiente de reflexão ou albedo, um parâmetro fundamental na determinação do balanço de radiação à superfície.

Componentes do balanço de radiação como o albedo vem sendo empregado em estudos ambientais por pesquisadores como Nair et al., 2005; Silva et al., 2005; uma vez que o mesmo permite a identificação e caracterização das alterações da superfície. Muitos algoritmos para estimativa dos componentes do balanço de energia na superfície com base em imagens de satélites foram desenvolvidos nos últimos anos. Entre eles pode-se citar o SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land), o qual foi desenvolvido por Bastiaanssen (Bastiaanssen et al., 2000).

Em termos de relevo o Ceará abriga em seu território regiões de baixa, média e alta altitude. Essas variações, associadas à posição no relevo, que ocasiona chuvas de convecção forçada e diminuição da temperatura com a altitude, possibilitam a ocorrência de diferentes tipos de vegetação nas regiões (IPECE, 2008).

Dentro dessa perspectiva, este estudo tem como objetivo estimar o albedo na da superfície e avaliar a variabilidade local e regional em três regiões do Estado (Região do Baixo Acaraú, Região da Chapada do Apodi e Região da Chapada do Araripe) usando o algoritmo SEBAL e imagens do LANDSAT 5-TM.

**MATERIAL E MÉTODOS:** A Figura 1 apresenta as três áreas de estudo no estado do Ceará em uma composição RGB: a primeira a parte baixa da bacia hidrográfica do Acaraú (DJ 218), a segunda a Chapada do Apodi (DJ 220) e a última área de estudo na Chapada do Araripe (DJ 355).

A obtenção do albedo foi através do algoritmo SEBAL e imagens do Landsat-5 TM. A primeira Etapa computacional do algoritmo é a obtenção da radiância espectral ( $L_{\lambda i}$ ) calculada pela seguinte equação:

$$L_{\lambda i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} \times ND$$

(1)

Onde:  $L_{\lambda i}$  é a radiância espectral ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ );  $a_i$  e  $b_i$  são coeficientes de calibração de cada banda ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ ) e ND é o número digital de cada pixel na imagem. A segunda etapa é reflectância monocromática ( $\rho_{\lambda}$ ). O seu calculo é obtido pela equação (ALLEN et al., 2002):

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda i}}{k_{\lambda i} \cdot \cos Z \cdot d_r}$$

(2)

Onde:  $L_{\lambda i}$  é a radiância espectral, calculados na 1ª Etapa;  $k_{\lambda i}$  é a constante solar monocromática associada a cada;  $Z$  é o ângulo zenital do Sol; e  $d_r$  é o inverso do quadrado da distância Terra-Sol, que é obtida pela Equação:

$$d_r = 1 + 0,033 \cos \left( DJ \frac{2\pi}{365} \right)$$

(3)

Onde: DJ é o dia do ano que foram obtidos os dados radiométricos. A etapa seguinte é a obtenção do albedo não corrigido no topo da com a Equação:

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

(4)

Onde:  $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4, \rho_5$  e  $\rho_7$  são as reflectâncias monocromáticas.

De acordo com Bastiaanssen (1995), a correção aos processos de absorção e espalhamento na atmosfera se faz usando a seguinte equação:

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_p}{\tau_{sw}^2}$$

(5)

Onde:  $\alpha_{toa}$ : albedo no topo da atmosfera;  $\alpha_p$  é a radiação solar refletida para o SEBAL é usado 0,03 segundo Bastiaanssen (2000);  $\tau_{sw}$  a transmissividade atmosférica. Para céu claro e condições relativamente secas a transmissividade atmosférica ( $\tau_{sw}$ ), pode ser obtida segundo (ALLEN et al., 2002):

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2 \times 10^{-5} z$$

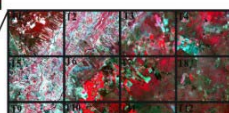
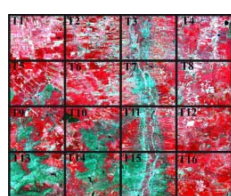
(6)

Para se fazer uma análise estatística cada região foi dividida em 16 quadrantes como pode ser observado na Figura 1, onde se constitui os tratamentos. Cada tratamento foi dividido em mais quatro quadrantes onde no qual eram compostos de 22.500 pixes e suas médias de albedo constitui-se nas repetições. Os dados foram avaliados pelo SAEG (Sistema para Análise Estatística) versão 9.1 onde foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de comparação.

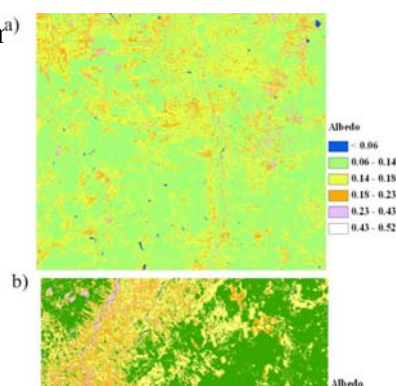
**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Analisando-se a Figura 2 representando o albedo da superfície para cada região estudada percebe-se que em Acaraú, Figura 2 (a), o albedo da superfície atinge valores altos ficando na faixa de 29 a 52% em áreas de solo arenosos no curso do rio Acaraú e nas áreas de solo descobertos no Distrito de Irrigação.

Na Chapada do Apodi Figura 2 (b), observam-se baixos valores de albedos nas áreas irrigadas do Distrito de Irrigação Jaguaribe Apodi (DIJA) variando de 13 a 16% que ocupam 30% da área em estudo. Silva et al. (2005) estudando o balanço de radiação no Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho em Pernambuco, obtiveram para áreas irrigadas albedo de 20%. O albedo máximo encontrado foi próximo a 87% um valor exorbitante mais explicável já que nessa área está presente uma empresa mineradora de calcário (Carbomil).

A Figura 2 (c) o albedo na chapada do Araripe. De acordo com Allen et al. (2002), No mesmo estudo os autores comentam que o albedo em superfícies muito brancas assim como neve e gelo, encontra-se no intervalo de 30 a 85%. Na chapada do Araripe foi encontrado um albedo máximo variando de 43 a 95%, esses valores sendo todos registrados em nuvens presentes na região. A vegetação nativa apresentou um albedo variando de 14 a 18%, estando essa faixa presente em<sup>a)</sup>



9





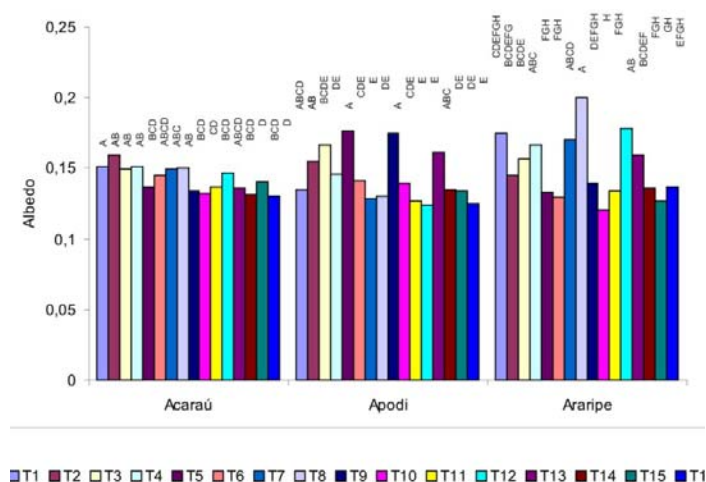
**Figura 1-** Localização das três áreas de estudo no estado do Ceará, em uma composição RGB e a análise estatística.

**Figura 2:** Albedo nas três regiões de estudo: (a) Acaraú, (b) Apodi e (c) Araripe.

A Figura 3 apresenta uma análise estatística relacionando ao albedo para os tratamentos em análise nas três regiões. Como se pode observar, houve diferença estatística nas médias ao nível de 5% segundo o teste de Tukey. Os tratamentos 2, 3, 7 e 15 que ficam sua maior parte sobre o rio Acaraú com valores médios de 0,1499; 0,1509; 0,1493; e 0,1403 respectivamente, tiveram médias elevadas de albedo já que a mata ciliar se apresenta em baixa concentração ao longo do rio ficando muita areia exposta.

Na Região da Chapada do Apodi observa-se que os tratamentos 4, 8, 16, 12 não apresentaram diferenças estatísticas. Como podem ser observados na Figura 1 esses tratamentos estão localizados sobre a Chapada do Apodi onde há uma maior presença de vegetação. Os tratamentos 2, 3, 5, 9 e 13 que estão sobre o Rio Jaguaribe e apresentaram as maiores médias de albedo com valores da ordem de 0,1669; 0,1460; 0,1763; 0,1744; e 0,1614 respectivamente.

Na Chapada do Araripe os tratamentos em que foram obtidos as menores médias de albedo são 5, 6, 9 e 10 com as respectivas médias 0,1332; 0,1292; 0,1393; e 0,1205. Nesses tratamentos está boa parte da reserva florestal da chapada do Apodi. O tratamento 8 foi um tratamento que apresentou a maior média de albedo das três regiões por ser um tratamento que está sobre a caatinga rala e existir sobre ele a presença de muitas nuvens.



<sup>1</sup>Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

**Figura 3 -** Médias de albedo em todos os tratamentos nas Regiões do Acaraú, Chapada do Apodi e Chapada do Araripe.

Na tabela 2 podemos observar que a região da chapada do Araripe apresentou a maior média de albedo com um valor da ordem de 0,1504, justamente por ter uma elevada presença de nuvens. A região da Chapada do Apodi foi a região de média intermediária não diferindo estatisticamente das outras regiões. A região que teve os blocos com valores médios mais uniformes e de menores valores foi a Região do Baixo Acaraú.

TABELA 1 – Média de Albedo nas três regiões em estudo.

Região	Médias	Comparações 5%
Araripe	0.1504	A
Apodi	0.1438	AB
Acaraú	0.1425	B

**CONCLUSÕES:** A aplicação do algoritmo SEBAL permite à constatação de áreas antropizadas e em processo de degradação como as observadas ao longo dos leitos dos Rios Jaguaribe e Acaraú onde é observada uma baixa mata ciliar e conseqüentemente um alto albedo. Pode observar-se que existe uma variabilidade local e regional no albedo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; TREZZA, R.; TASUMI M.; **Surface energy balance algorithms for land - Advance training and users manual**, version 1.0, p. 98, 2002.

BASTIAANSSEN, W. G. M., SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey, *Journal of Hydrology*, n. 229, p. 87-100, 2000.

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

BATISTA, G. T; ALMEIDA, S. E. Índice de vegetação versus precipitação na Amazônia. IX Simpósio Brasileiro de sensoramento remoto. Santos-SP, setembro. 1998. Anais. São José dos Campos, INPE, (CD-ROM).

IPECE <http://www.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/12.htm>, acessado em:12/02/2008

NAIR, U.S.; RAY, D. K.; WELCH, R. M.; PIELKE, R. A.; CHRISTOPHER, S. A. Use of MODIS derived broadband albedo in the RAMS. In: Conference on Hydrology, 19., 2005, San Diego. **Abstract...** San Diego: CA, USA, 2005, p.85

SILVA, B. B. da.; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. de.; Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5 . TM. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 2, p. 243-252, 2005.

WELIGEPOLAGE, K., **Estimation of spatial and temporal distribution of**



**evaporatranspiration by satellite remote sensing – A case study in Hupselse Beek**, The Netherland, Tese de Mestrado, International Institute for Geo-information Science and Earth Observation, 114f, 2005.