

Diagnóstico do albedo de superfície e índice de área foliar na bacia hidrográfica do rio Tapacurá - PE

Leidjane Maria Maciel de Oliveira¹
Suzana Maria Gico Lima Montenegro¹
Antônio Celso Dantas Antonino¹
Célia Cristina Clemente Machado¹
Tiago Henrique de Oliveira¹
Bernardo Barbosa da Silva²
Josiclêda Domiciano Galvêncio¹

¹ Universidade Federal de Pernambuco – UFPE/DECIV/DEN/DCG
Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, 50.741–530, Cidade Universitária - Recife – PE, Brasil
leidjaneoliveira@hotmail.com; suzanam@ufpe.br; acda@ufpe.br;
celiamachado.machado@gmail.com; thdoliveira5@gmail.com; josicleda@pq.cnpq.br

² Universidade Federal de Campina Grande - UFCG
Av. Aprígio Veloso, 882, 58.109-970, Bodocongó – Campina Grande – PB, Brasil
bernardo@dca.ufcg.edu.br

Abstract. Due to water shortage in amount and quality in several areas in Brazil and of the world, the water resources management, a scarce good of high economical and social value, has become imperious. Beside the technical and financial difficulties to manage the water resources, remote sensing presents itself as an efficient and practical option. This work aims to compute the Surface Albedo and the Leaf Area Index in Tapacurá river basin (Pernambuco), using the Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL). Two images from TM-Landsat 5 satellite dating from 10th July 1989 and 29th August 2007 were used. Those images were stacked, registered and clipped according to the Tapacurá river basin limit. The images pre-processing, the surface albedo and LAI computation and the final layouts were accomplished using the Erdas Imagine 9.3 and ArcGis 9.3 software. The surface albedo and LAI were classified and the relative percentage of each class was calculated. It was observed that the surface albedo mean value increased from 0,139 to 0,16 between 1989 and 2007, while the LAI reduced from 1,750 to 1,22. The increase of anthropogenic activities, such as farming and urban area growth, and the high amount of precipitation verified in July 1989 are two possible explanations for the verified results. The territorial expansion of Pombos and Vitória de Santo Antão cities was clear in both albedo and LAI.

Palavras-chave: remote sensing, SEBAL, IAF, sensoriamento remoto, SEBAL, IAF.

1. Introdução

À medida que as regiões se desenvolvem, mais intenso é o uso dos recursos hídricos e maiores são os potenciais de conflitos entre usos e os riscos de degradação ambiental gerada pelas atividades antrópicas. Devido à escassez da água em quantidade e qualidade em muitas regiões do Brasil e do mundo, não apenas aquelas caracterizadas como semiáridas e áridas, torna-se imperiosa a gestão dos recursos hídricos, um bem escasso e de alto valor econômico e social (Mendes e Cirilo, 2001).

Os dispositivos hidrometeorológicos utilizados para o monitoramento dos recursos hídricos, usualmente em regiões de difícil acesso e com necessidades de coletas de dados frequentes (semanais e/ou quinzenais) por longos períodos de tempo, exigem altos investimentos de recursos econômicos que muitas vezes não estão disponíveis. Desta forma, a comunidade científica busca aproveitar novas tecnologias, como sensoriamento remoto, para implantação de pesquisas na obtenção de resultados eficazes e práticos.

O sensoriamento remoto é definido como sendo uma tecnologia que permite aquisição de informações sobre objetos sem manter contato físico com eles. De acordo com Novo (2008), sensoriamento remoto é a utilização conjunta de sensores, equipamentos de transmissão de dados, entre outros, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem

na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações.

Por meio de imagens de satélites e algoritmos pode-se estimar elementos da superfície terrestre tais como albedo, índices de vegetação, temperatura da superfície, emissividades, evapotranspiração, entre outros. Dentre os algoritmos existentes, o SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*), proposto por Bastiaanssen (1995), proporciona a obtenção dos diferentes componentes dos balanços de radiação e energia.

Silva et al. (2008) afirmaram que o albedo da superfície é um parâmetro muito importante, pois o seu monitoramento global possibilita detectar alterações que venham a ocorrer em diversos biomas do nosso planeta, resultantes de processos naturais e/ou antropogênicos. Soares et al. (2001) ressaltaram que técnicas de sensoriamento remoto podem ser usadas para estimar o Índice de Área Foliar (IAF) em escala regional com razoável precisão. Estudos por meio de imagens de satélites e SEBAL para estimativa do albedo foram desenvolvidos por Silva et al. (2008), Oliveira e Galvêncio (2008) e Silva et al. (2005). Já na estimativa de IAF foram desenvolvidos estudos por Santiago et al. (2009) e Silva et al. (2009).

Diante do exposto, este trabalho objetivou diagnosticar o albedo de superfície e índice de área foliar na bacia hidrográfica do rio Tapacurá – PE, por meio do sensoriamento remoto.

2. Material e Métodos

2.1 – Área de Estudo

O estudo foi realizado na bacia Hidrográfica do Rio Tapacurá (Figura 1), integrante da Rede de Hidrologia do Semi-Árido (REHISA), com área total de 471,3380 km² e composta por doze sub-bacias sendo as principais formadas pelos riachos Itapessirica, Natuba, Gameleira e Várzea do Una. Abrange seis municípios: Vitória de Santo Antão, Pombos, São Lourenço da Mata, Gravatá, Moreno e Chã Grande. O relevo da bacia está em sua maior parte constituído por colinas e cristas. Apresenta áreas tanto da zona da mata úmida como do agreste sub-úmido. É constituída por remanescentes da mata atlântica e alguns remanescentes de caatinga na parte sudoeste da bacia (Duarte et al., 2007; REHISA, 2004; Braga, 2001).

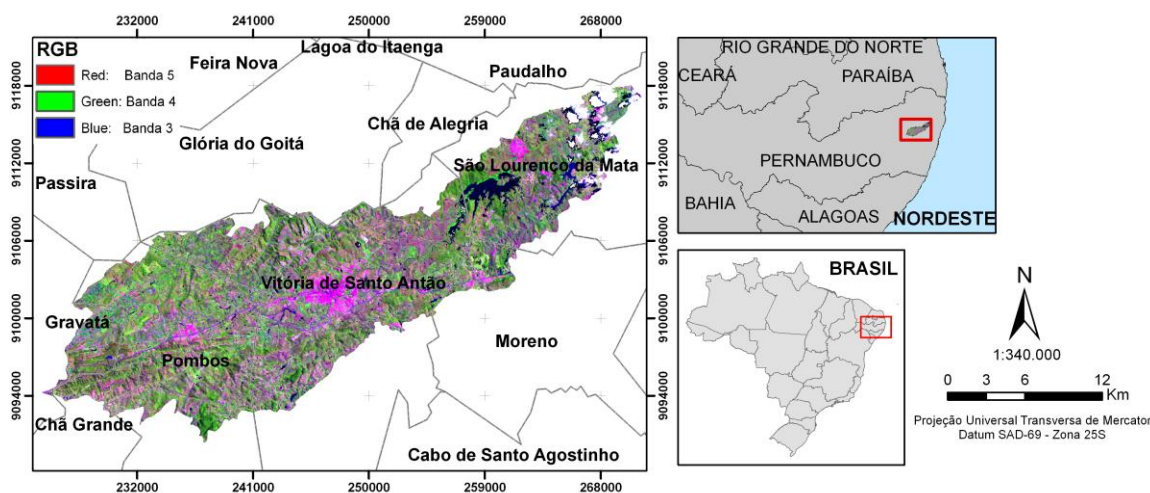


Figura 1. Localização da Bacia Hidrográfica do rio Tapacurá – PE.

Foram utilizadas duas imagens do Mapeador Temático do satélite Landsat 5-TM, órbita 214, ponto 66, compostas por sete bandas espectrais e adquiridas junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). As passagens do Landsat 5-TM ocorreram (1) dia 10 de julho de 1989 às 11h56min (GMT) e (2) dia 29 de agosto de 2007 às 12h22min (GMT). As referidas imagens foram empilhadas e registradas empregando a correção geométrica com

polinomial de 1ª ordem e utilizando uma imagem de referência ortorretificada obtida no site <http://www.landsat.org>. Posteriormente, procedeu-se o recorte das imagens de acordo com o limite da bacia do Rio Tapacurá.

O pré-processamento das imagens de satélite, o cômputo do albedo, IAF e a montagem final dos layouts foram realizadas utilizando os softwares Erdas Imagine 9.3 e ArcGis 3, licença do Departamento de Ciências Geográficas da UFPE.

O modelo digital de elevação (MDE) foi obtido a partir das cenas SB25YC e SB25VA, dados de radar da missão SRTM, através do acesso a página da web da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). As mesmas foram empilhadas, mosaicadas, reamostradas para 30x30 m e recortada de acordo com a área em estudo.

2.2 – Processamento das imagens pela aplicação do SEBAL no software ERDAS

2.2.1 – Calibração Radiométrica (L_{λ_i})

Corresponde a obtenção da radiação espectral de cada banda (L_{λ_i}), com a aplicação da equação de Markham e Baker (1987), conforme abaixo:

$$L_{\lambda_i} = a_i + \frac{b_i + a_i}{255} ND \quad 1$$

em que: “a” e “b” são radiâncias espectrais mínimas e máximas ($Wm^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$) obtidos em Chander e Markham (2007); ND é a intensidade do pixel (número inteiro entre 0 e 255) e; “i” cada banda do satélite Landsat 5.

2.2.2 – Reflectância (ρ_{λ_i})

Corresponde a razão entre o fluxo de radiação refletida por cada banda e o fluxo de radiação incidente, conforme apresentado na equação de Allen et al. (2002) a seguir:

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda_i}}{k_{\lambda_i} \cdot \cos Z \cdot d_r} \quad 2$$

em que: 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 k_{λ_i} ($Wm^{-2} \mu m^{-1}$) obtidos em Allen et al. (2002); Z é o ângulo zenital solar e d_r é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol (r_o) e a distância Terra-Sol (r) em dado dia do ano (DSA).

2.2.3 – Albedo planetário (α_{toa})

O cálculo do albedo planetário para cada banda, isto é, o albedo não ajustado a transmissividade atmosférica, é obtido através de combinação linear entre as reflectâncias monocromáticas, pela equação abaixo, obtidos em Allen et al. (2002):

$$\alpha_{toa} = 0.293\rho_1 + 0.274\rho_2 + 0.233\rho_3 + 0.155\rho_4 + 0.032\rho_5 + 0.012\rho_7 \quad 3$$

em que: $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4, \rho_5, \rho_7$ são os albedos planetários das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7.

2.2.4 – Transmissividade atmosférica (τ_{sw})

Definida por Allen et al. (2002) e considerada em dias de céu claro a seguinte equação:

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2,10^{-5} Z \quad 4$$

em que: Z corresponde a altitude de cada pixel representado no modelo digital de elevação do terreno (MDT).

2.2.5 – Albedo da superfície ou albedo corrigido (α)

O albedo da superfície corresponde a correção pelos valores do efeito atmosférico sendo obtido pela equação abaixo:

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_{path_radiance}}{\tau_{sw}^2} \quad 5$$

em que: α_{toa} é o albedo planetário; $\alpha_{path_radiance}$ é a porção da radiação solar refletida pela atmosfera, considerado nesta pesquisa o valor de 0,03 conforme Bastiaanssen (2000) e τ_{sw} é a transmissividade atmosférica.

2.2.6 – Índice de vegetação ajustado para os efeitos do solo (SAVI)

Huete (1988) propôs um índice de vegetação ajustado por solo (SAVI) introduzindo um fator no NDVI para incorporar o efeito da presença do solo, mantendo-se o valor de NDVI dentro de -1 a +1. O SAVI é calculado pela equação abaixo:

$$SAVI = \frac{(1+L) \cdot (\rho_{IV} - \rho_V)}{(L + \rho_{IV} + \rho_V)} \quad 6$$

em que: ρ_{IV} é a banda do infravermelho próximo; ρ_V é a banda do vermelho e L é constante com valor igual a 0,50.

2.2.7 – Índice de área foliar (IAF)

O IAF é um indicador da biomassa de cada pixel, pois resulta da razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação, sendo calculado conforme Allen et al. (2002):

$$IAF = - \frac{\ln \frac{0,69 - SAVI}{0,59}}{0,91} \quad 7$$

2.2.8 – Precipitação da área em estudo

A Figura 2 apresenta o total mensal precipitado nos anos de 1989 e 2007 na estação do município de Vitória de Santo Antão - PE, sendo os dados obtidos no site do Laboratório de Meteorologia do Estado de Pernambuco (ITEP/LAMEPE). O total precipitado para o ano de 1989 foi de 1.152,30 mm e, para o ano de 2007 foi de 1.133,75 mm. O mês de julho apresentou índice pluviométrico com maior intensidade no ano de 1989 (215,90 mm) em relação ao ano de 2007 (106,90 mm), desta forma a vegetação em 1989 encontrava-se em maior conforto hídrico que em agosto 2007.

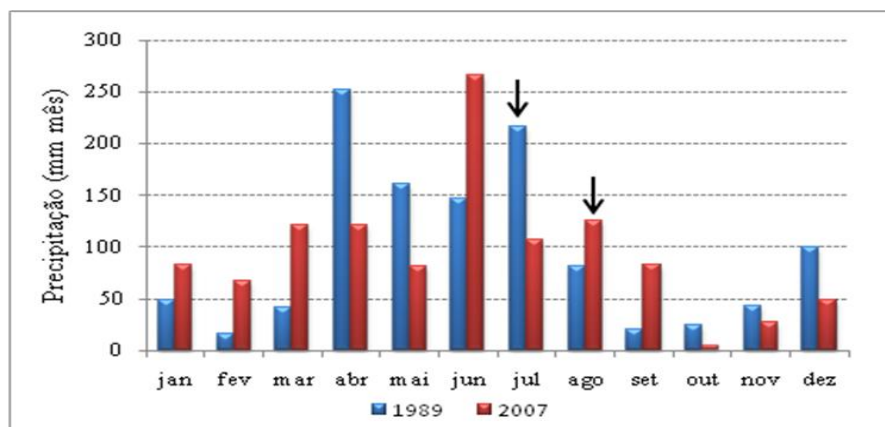


Figura 2. Precipitação mensal dos anos de 1989 e 2007 do posto de Vitória de Santo Antão - PE, com setas representativas dos meses imageados.

3. Resultados e Discussão

A Tabela 1 apresenta os valores estatísticos do albedo de superfície para os dois anos estudados, podendo constatar que no ano de 2007 os valores máximo e médio foram superiores aos de 1989. Tal fato pode ser explicado de duas formas: (1) aumento das atividades antrópicas como expansão urbana e atividades agropecuárias e, (2) maior precipitação observada em julho de 1989. Na pesquisa realizada por Braga (2001) a bacia do rio Tapacurá se encontrava bastante antropizada, com a policultura e a horticultura ocupando 37 %, a pecuária 30,2% e a cana-de-açúcar 12,45% da área da bacia. Em menor proporção, as granjas e chácaras ocupam 7,8%, a cobertura vegetal, está dividida em mata, caatinga, capoeira e áreas de reflorestamento, ocupa 6,4%, e as áreas urbanas ocupam 5,6 % da bacia.

Ainda na Tabela 1, o coeficiente de variação (CV) compara, em termos relativos, o grau de concentração em torno da média, observa-se que a imagem do ano de 1989 apresentou-se mais homogênea quando comparada ao ano de 2007.

Tabela 1. Valores estatísticos do albedo de superfície para os dias estudados.

Imagem	Valores estatísticos do albedo				
	Máximo	Mínimo	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (CV)
10/07/1989	0,313	0,014	0,139	0,023	16,54 %
29/08/2007	0,585	0,004	0,160	0,029	18,12 %

Na Figura 3 é perceptível a grande variação espaço-temporal do albedo para a bacia. Evidencia-se que as áreas urbanas de Vitória de Santo Antão e Pombos apresentaram valores de albedo superiores a 0,21 em 2007. Silva et al. (2006), em estudo realizado no município de Petrolina, na região Nordeste do Brasil, observaram que áreas com presença de solo exposto e área urbana apresentaram valores de albedo superiores a 0,35.

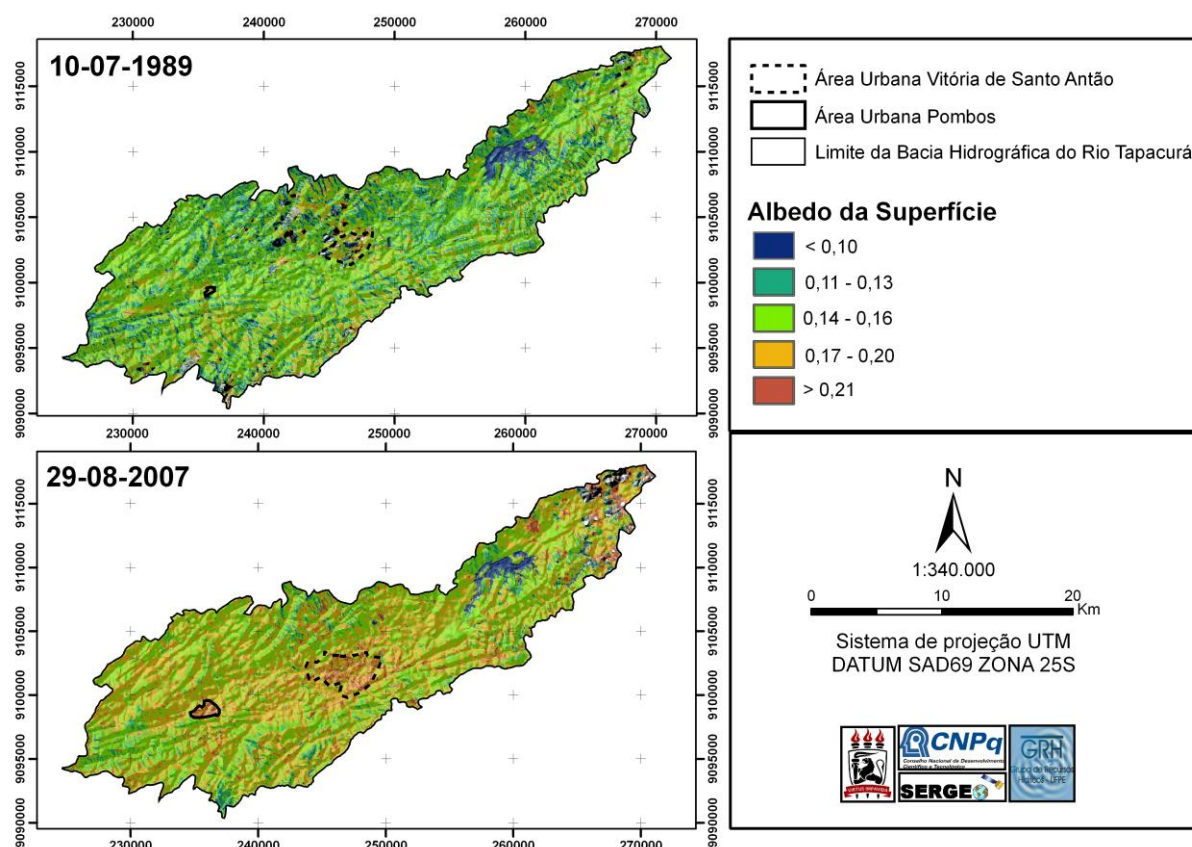


Figura 3. Albedo da bacia do Rio Tapacurá – PE.

Na Tabela 2, onde se observa a porcentagem de pixels em cada classe de albedo, evidencia-se que a classe $17 < \alpha < 20$ apresentou um aumento considerável em 26,87 %.

Tabela 2. Distribuição percentual das classes de albedo na Bacia do Rio Tapacurá – PE.

Classe de albedo (%)	10/07/1989	29/08/2007	Diferença entre classes
$\alpha < 10$	5,19 %	2,24 %	2,95 %
$11 < \alpha < 13$	26,00 %	6,65 %	19,35 %
$14 < \alpha < 16$	54,85 %	45,84 %	9,01 %
$17 < \alpha < 20$	13,02 %	39,89 %	26,87 %
$\alpha > 21$	0,94 %	5,38 %	4,44 %

A Figura 4 apresenta o histograma de frequência do albedo, correspondendo a uma representação gráfica do observado na Tabela 2. É perceptível que o ano de 2007 apresenta maior quantidade de pixels com valores superiores a 0,20.

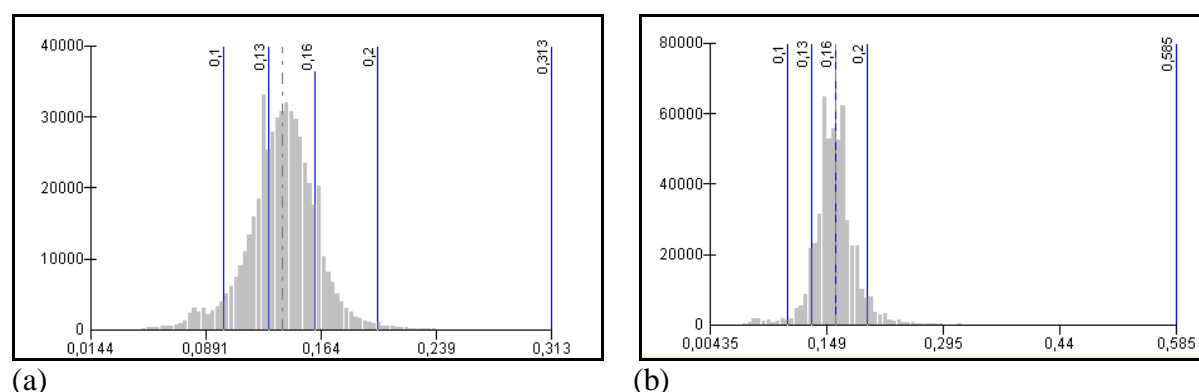


Figura 4. Histograma de frequência do albedo para dos dias: (a) 10/07/1989 e (b) 29/08/2007.

A Tabela 3 apresenta os valores estatísticos do IAF, onde se observa que, para os anos 1989 e 2007, a diferença dos valores médio e máximo foi pouco significativa. O coeficiente de variação (CV) define que toda a bacia apresentou alta dispersão.

Tabela 3. Valores estatísticos do IAF para os dias estudados.

Imagem	Valores estatísticos do IAF				
	Máximo	Mínimo	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (CV)
10/07/1989	6,790	8×10^{-5}	1,750	0,894	0,510 %
29/08/2007	6,950	2×10^{-4}	1,220	0,525	0,430 %

Na Tabela 4, pode-se observar a distribuição percentual dos pixels de toda área, onde é evidente que a classe $0,71 < \text{IAF} < 1,25$ apresentou um aumento de pixels considerável (23,57 %).

Tabela 4. Distribuição percentual das classes IAF na Bacia do Rio Tapacurá – PE.

Classe de IAF (%)	10/07/1989	29/08/2007	Diferença entre classes
$\text{IAF} < 0,70$	5,91 %	13,49 %	7,58 %
$0,71 < \text{IAF} < 1,25$	19,25 %	42,82 %	23,57 %
$1,26 < \text{IAF} < 1,78$	35,00 %	30,73 %	4,27 %
$1,79 < \text{IAF} < 2,65$	29,64 %	12,17 %	17,47 %
$\text{IAF} > 2,66$	10,20 %	0,79 %	9,41 %

Conforme a Figura 5 o IAF variou com valores menores que 0,70 até valores maiores a 2,66, evidenciando a expansão territorial das cidades de Vitória de Santo Antão e Pombos, como também observado no albedo (Figura 3). Entre os anos de 1989 e 2007 fica visível a variação do IAF, principalmente no contorno da bacia bem como próximo ao reservatório de Tapacurá.

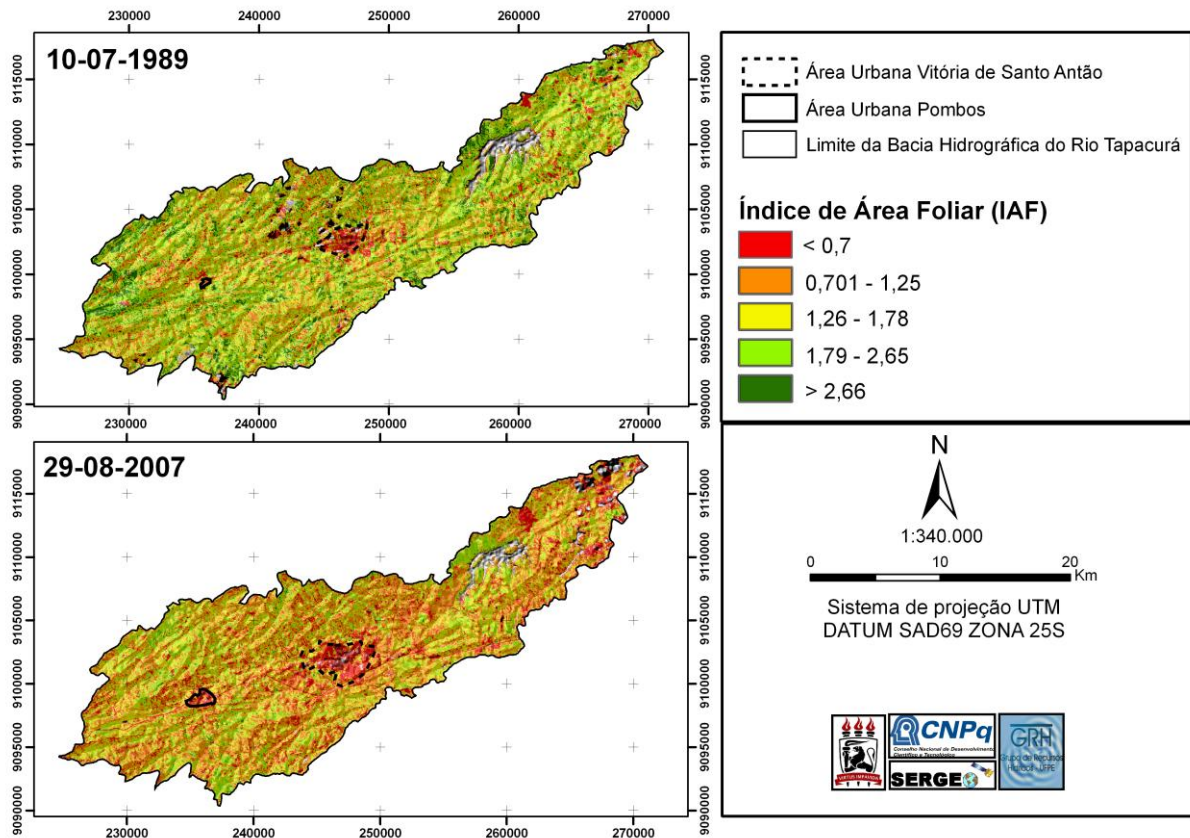


Figura 5. IAF da bacia do Rio Tapacurá – PE.

A Figura 6 apresenta o histograma de frequência do IAF, onde se observa que o ano de 1989 apresentou maior quantidade de pixels com valores superiores a 2,65, fato este não constatado em 2007.

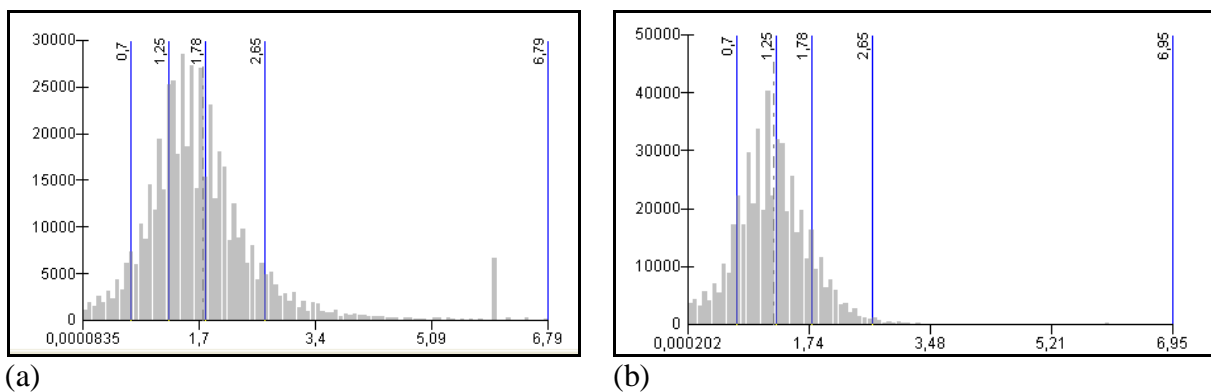


Figura 6. Histograma de frequência do IAF para dos dias: (a) 10/07/1989 e (b) 29/08/2007.

4. Conclusões

Diante dos resultados obtidos na bacia hidrográfica do Rio Tapacurá - PE, destacam-se as seguintes conclusões: (1) um aumento nos valores do albedo e uma diminuição nos valores do IAF entre 1989 e 2007; (2) os dois índices comprovaram a expansão urbana dos municípios de Vitória de Santo Antão e Pombos; (3) o evento chuvoso em julho de 1989 influenciou no albedo, tendo em vista o maior conforto hídrico em que a vegetação encontrava-se submetida.

Agradecimentos

Os autores agradecem a FINEP, CNPq, ITEP/LAMEPE, INPE e REHISA.

Referências Bibliográficas

- Allen, R. G., Trezza, R. & Tasumi M. **Surface energy balance algorithms for land. Advance training and user's manual**, version 1.0, 2002, 98p.
- BASTIAANSEN, W.G.M. 1995. **Regionalization of Surface Flux Densities and Moisture Indicators in Composite Terrain. A Remote Sensing Approach Under Clear Skies in Mediterranean Climates**. Tese, Wageningen Agricultural University, The Netherlands, 1995, 273p.
- BASTIAANSEN, W. G. M. **SEBAL - Based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey**. Journal of Hydrology, v. 229, 2000, p. 87-100.
- BRAGA, R. A. P. **Gestão ambiental da bacia do rio Tapacurá – Plano de ação**. UFPE/CTG/DECIVIL/GRH, apoio FINEP e FACEPE, Recife, 2001, 101 p.
- Chander, G.; Markham, B. L.; Barsi, J. A. **Revised Landsat-5 thematic mapper radiometric calibration**. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, v.4, n.3, p.490-494, july, 2007.
- Duarte, C. C.; Galvêncio, J. D.; Corrêa, A. C. B.; Araújo, M. S. B. **Análise Fisiográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Tapacurá**. Revista de Geografia, v. 24, n. 2, p. 50-64, mai/ago, 2007.
- HUETE, A.R. **A Soil-Adjusted Vegetation Index**. Remote Sensing of Environment.v. 25, p.295-309, 1988
- Markham, B. L.; Barker, L. L. Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances. International Journal of Remote Sensing, v.8, n.3, p.517-523, 1987.
- Mendes, C. A. B.; Cirilo, J. A. **Geoprocessamento em Recursos Hídricos – Princípios, Integração e Aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 2001. 536 p.
- Novo, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto – Princípios e Aplicações**. São Paulo: Blucher, 2008. 363 p.
- Oliveira, T. H.; Galvêncio, J. D. **Caracterização ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó usando sensoriamento remoto termal**. Revista Brasileira de Geografia Física. V. 1, n.2, p. 30-49. set/dez 2008.
- REHISA. **Relatório Final da Caracterização das bacias exp. do semi-árido, IBESA – Implantação de bacias exp. do semi-árido para o desenvolvimento de metodologias de avaliação dos balanços hídricos e energéticos em diferentes escalas temporais e espaciais**. Projeto integrado UFRN-UFC-UFPB-UFCG-UFRPE-UFPE-UFBA, 2004, 143 p.
- Santiago, M. M.; Silva, H. A.; Galvêncio, J. D., Oliveira, T. H. **Análise da cobertura vegetal através dos índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) no encontro da barragem do botafogo – PE**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 04, Natal – RN, 2009.
- SILVA, B.B.; LOPES, G.M.; AZEVEDO, P.V. **Determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens Landsat 5-TM**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v. 13, n. 2, 2005, p. 11-21.
- SILVA, B. B. da; BEZERRA, M. V. C.; BRAGA, A. C.; SILVA, S. T. A. **Obtenção de albedo de áreas irrigadas de vegetação nativa em Petrolina e vizinhanças com imagens Landsat 7 - ETM+**. Anais. III Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, Aracaju/SE, 2006.
- Silva, B.B.; Mendonça, R. R. O.; Silva, S. T. A.; Ferreira, R. C. **Mapeamento do albedo de áreas heterogêneas do Estado do Ceará com imagens TM - Landsat 5**. Revista de Geografia, v. 25, n. 2, p. 24-41, mai/ago, 2008.
- Silva, C. A. V.; Silva, H. A.; oliveira, T. H.; Galvêncio, J. D. **Uso de sensoriamento remoto através de índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na microrregião de Itamaracá - PE**. In: SBSR, 04, Natal - RN. 2009.
- SOARES, J. V.; XAVIER, A. C.; ALMEIDA, A. C. **Balanço de água em Eucaliptos com a caracterização do dossel por técnicas de Sensoriamento Remoto**. In: SBRH, Anais. Foz do Iguaçu, PR, p. 139-147, 2001.