

# Uso do SEBAL na variação temporal do albedo de superfície na bacia do Forquilha, Ceará, baseado em imagens LANDSAT 5-TM

Luiz Carlos Guerreiro Chaves<sup>1</sup>  
Joseilson Oliveira Rodrigues<sup>2</sup>  
Eunice Maia de Andrade<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME  
Av. Rui Barbosa 1246, Aldeota, CEP 60115-221, Fortaleza - CE, Brasil  
luizcarlos@funceme.br

<sup>2</sup> Universidade Federal do Ceará - UFC  
Caixa Postal 96 - 13416-000 - Fortaleza - CE, Brasil  
wilson\_agronomia@hotmail.com; eandrade@pq.cnpq.br

**Abstract.** The main objective of this study was the determination of the surface albedo to Forquilha Basin in Ceará, Brazil. It was used four images of the Landsat 5 – Thematic Mapper satellite, obtained in September, 1985, 1996, 1997 and 2004. The determination of the surface albedo was done according to procedures of algorithm SEBAL (Surface Energy Balances Algorithm for Land), which is based on the radiance of Landsat 5-TM channels (1, 2, 3, 4, 5 and 7). Results showed that the albedo has decreased in a long period of time. The highest values observed of albedo was in the vegetation located on the margins of rivers.

**Palavras-chave:** image processing, Erdas Imagine, albedo; processamento de imagens, Erdas Imagine, albedo

## 1. Introdução

As imagens de sensoriamento remoto vêm se tornando cada vez mais parte do nosso dia-a-dia. A previsão meteorológica é ilustrada nos jornais e na televisão por imagens de satélites meteorológicos, regiões de conflitos internacionais são mostradas na mídia através de imagens obtidas do espaço, da mesma forma que imagens de satélite passam cada vez mais a ilustrar livros, catálogos, calendários, posters e muitas outras formas de comunicação visual (Crósta, 1992).

No campo tecnológico, imagens de sensoriamento remoto vêm servindo de fontes de dados para estudos e levantamentos geológicos, ambientais agrícolas, cartográficos, florestais, urbanos, oceanográficos, entre outros.

Existem vários algoritmos destinados ao cômputo dos parâmetros climáticos a partir de medições realizadas nas bandas espectrais dos diferentes canais das imagens de satélite. Para o cálculo do albedo de superfície tem sido utilizado com acurácia o algoritmo SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) que foi desenvolvido em 1995 por Bastiaanssen (Bastiaanssen et al., 1998; Bastiaanssen, 2000) e validado em vários ecossistemas mundiais, como Egito, Espanha, Portugal, França, Itália, Argentina, China, Índia, Paquistão, Nigéria, Zâmbia, Etiópia, Estados Unidos, Novo México, etc. (Tasumi, 2003).

Este estudo objetivou a análise da variação temporal do albedo de superfície na bacia hidrográfica do Forquilha, Ceará, com base em imagens do satélite Landsat 5 – TM.

## 2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo compreende a bacia do Forquilha, localizada a sudeste da bacia do Rio Acaraú, no município de Forquilha e está geograficamente situada nas seguintes coordenadas 3°48'27" S a 3°50'63" S e 40°11'20" W a 40°13'15" W (Figura 1). A bacia do Forquilha compreende uma superfície territorial de 189,2 km<sup>2</sup>.

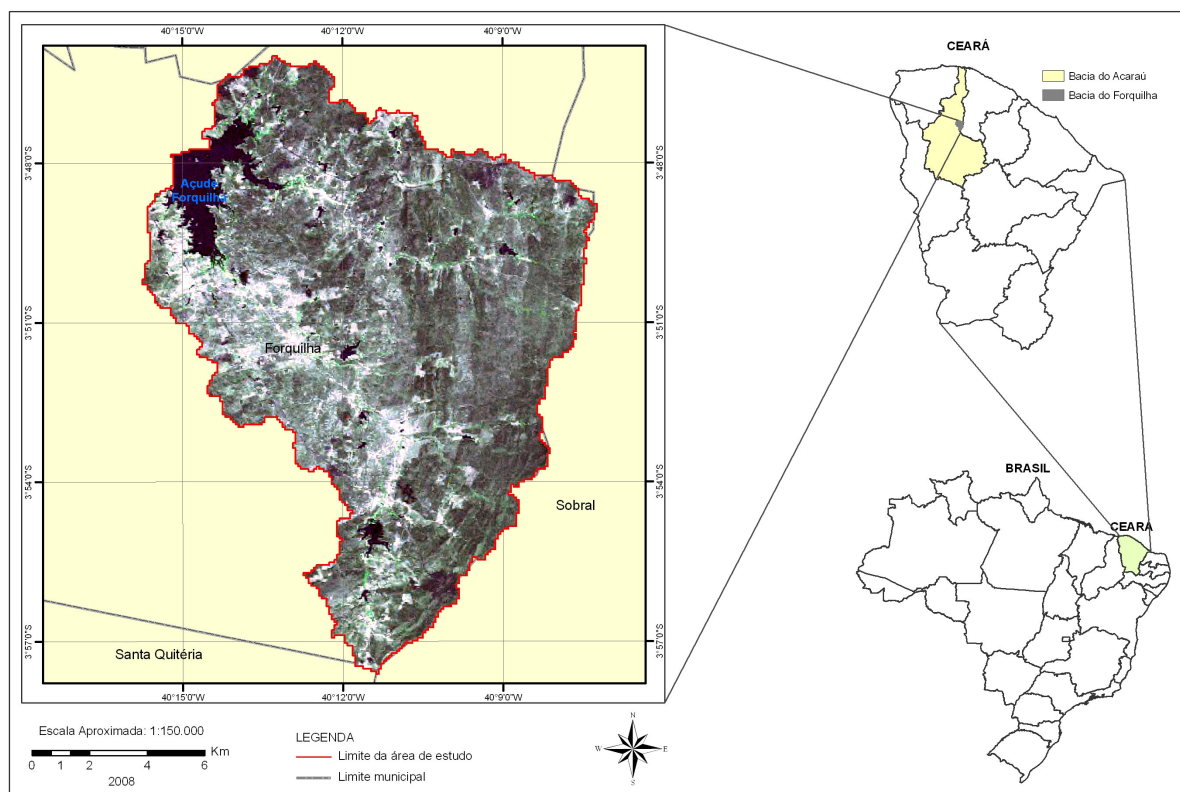


Figura 1. Localização da bacia do Forquilha, na porção norte do Estado do Ceará.

O clima é do tipo BSw'h', semi-árido com precipitação pluviométrica média anual de 500 a 800 mm. Os solos predominantes são os Argissolos apresentando horizonte B textural imediatamente abaixo do A ou E, com argila de atividade alta, além de uma faixa de Luvisolos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B textural e alta atividade de argila e saturação por bases com relevo suave ondulado e ondulado (Embrapa, 2006). A vegetação predominante é do tipo caatinga hoperxerófila.

Para a realização deste estudo, as fontes de dados foram as imagens multiespectrais do satélite Landsat 5 TM (*Thematic Mapper*), bandas 1 (0,45 – 0,52  $\mu\text{m}$ ), 2 (0,53 – 0,61  $\mu\text{m}$ ), 3 (0,63 – 0,69  $\mu\text{m}$ ), 4 (0,76 – 0,90  $\mu\text{m}$ ), 5 (1,55 – 1,75  $\mu\text{m}$ ), e 7 (2,08 – 2,35  $\mu\text{m}$ ), do mês de setembro dos anos de 1985, 1996, 1997 e 2004. A imagem é identificação pela órbita/ponto 218/063 e foram adquiridas através da Divisão de Geração de Imagens do INPE.

Como um dos fatores climáticos que exerce grande influência sobre o albedo de superfície é a precipitação pluviométrica os dados pluviométricos da região, para o período estudado, foram observados. Os mesmos foram coletados através do Posto de Forquilha e disponibilizados pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – Funceme, conforme a Figura 2 a seguir.

Para a visualização e realização das operações matemáticas entre as bandas foram realizadas tarefas classificadas como pré-processamento de imagem. Para tanto foi utilizado o software Erdas Imagine 9.0. De início, realizou-se a reamostragem da banda 6 da imagem de forma que a mesma passasse de uma resolução de 60x60 m para 30x30 m, conforme estavam as demais bandas.

Esse procedimento foi realizado através da função *Create Surface* do Software. Em seguida, fez-se o empilhamento de todas as bandas na composição RGB 234 de forma que obtivesse a imagem na cor verdadeira.

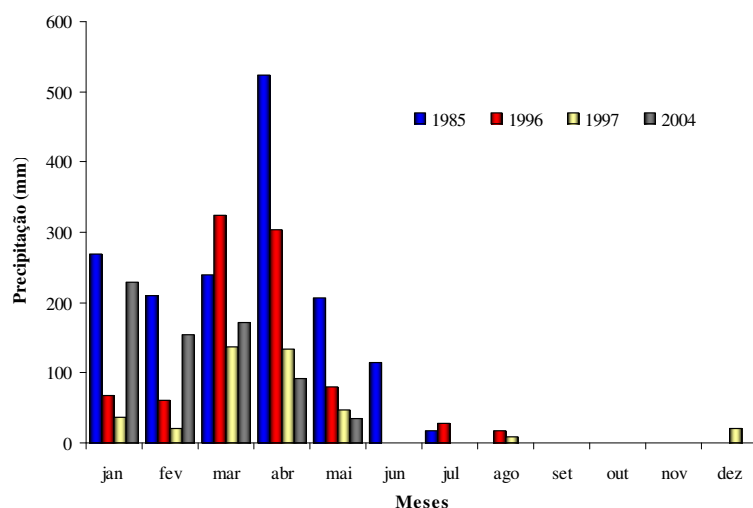


Figura 2. Precipitação pluviométrica registrada no posto de Forquilha para os anos de 1985, 1996, 1997 e 2004.

Vale ressaltar que até ao procedimento anterior utilizou-se a imagem completa, porem para efeito de otimização dos trabalhos de processamento que ainda estavam por vir retirou-se da imagem apenas a área de interesse. Isso foi feito utilizando o limite em *shapefile* da bacia (já digitalizado sobre a imagem) e a função AOI do Erdas Imagine, para recorte de imagens *raster* com base em um vetor. Todos esses procedimentos foram efetuados para as quatro imagens estudadas (1985, 1996, 1997 e 2004).

De posse das imagens pré-processadas procedeu-se às etapas descritas a seguir para obtenção do albedo de superfície utilizando a ferramenta *Model Maker* do software Erdas Imagine 9.0.

A etapa inicial constou do cálculo da *Calibração radiométrica* que trata da conversão do *número digital (ND)* ou intensidade de cada pixel da imagem, em radiância espectral monocromática ( $L_{\lambda_i}$ ). Para as bandas reflectivas do Landsat 5 - TM (1, 2, 3, 4, 5 e 7) foi calculada a radiância monocromática de cada uma das bandas segundo a relação proposta por Markham e Baker (1987), conforme a Equação 1.

$$L_{\lambda_i} = a_i + \frac{b_i - \alpha_i}{255} \times ND \quad (1)$$

onde:  $L_{\lambda_i}$  é a radiância espectral de cada banda ( $\text{W.m}^{-2}\text{st}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ );  $a_i$  o coeficiente de calibração (radiância mínima) de cada banda ( $\text{W.m}^{-2}\text{st}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ );  $b_i$  o coeficiente de calibração (radiância máxima) de cada banda ( $\text{W.m}^{-2}\text{st}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ );  $a_i$  e  $b_i$  estão presentes na Tabela 1,  $ND$  é o número digital do pixel (número inteiro de 0 a 255) e  $i$  corresponde às bandas 1, 2, ..., 7, do Landsat 5 - TM.

Através da Equação 2 (Bastiaanssen, 1995), dos mapas de radiância espectral de cada banda, das informações sobre o co-seno do ângulo zenital do Sol ( $\cos Z$ ) e do fluxo direcional espectral no topo da atmosfera ( $K_{\lambda_i}$ ) de cada banda, estimou-se a reflectância espectral planetária ( $\rho_{\lambda_i}$ ).

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi \times L_{\lambda_i}}{K_{\lambda_i} \times \cos Z \times d_r} \quad (2)$$

onde:  $L_{\lambda_i}$  é a radiância espectral de cada banda ( $\text{W.m}^{-2}\text{st}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ );  $K_{\lambda_i}$  é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ( $\text{W.m}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$ , Tabela 1);  $Z$  é o ângulo zenital

solar (retirado diretamente do cabeçalho das imagens obtidas para o estudo) e  $d_r$  é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol em unidades astronômicas e  $\pi$  é uma constante, resultante da integração hemisférica da radiância espectral.

Tabela 1. Descrição dos canais TM do Landsat 5, intervalos espectrais, coeficientes de calibração e fluxo direcional ( $K_{\lambda_i}$ ), correspondentes, segundo Markham & Baker (1987).

Descrição dos Canais	Comprimento de onda ( $\mu\text{m}$ )	Coeficientes de Calibração ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\text{st}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ )		$K_{\lambda_i}$ ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$ )
		a	b	
1 (azul)	0,45 – 0,52	-1,500	152,100	1957
2 (verde)	0,53 – 0,61	-2,800	296,800	1829
3 (vermelho)	0,62 – 0,69	-1,200	204,300	1557
4 (infra-vermelho próximo)	0,78 – 0,90	-1,500	206,200	1047
5 (infra-vermelho médio)	1,57 – 1,78	-0,370	27,190	219,3
6 (infra-vermelho termal)	10,4 – 12,5	1,238	15,600	-
4 (infra-vermelho médio)	2,10 – 2,35	-0,150	14,380	74,52

Em seguida, procedeu-se ao cálculo do albedo planetário ( $\rho_{toa}$ ) através da Equação 3.

$$\rho_{toa} = 0,293 \rho_1 + 0,294 \rho_2 + 0,233 \rho_3 + 0,157 \rho_4 + 0,033 \rho_5 + 0,011 \rho_7 \quad (3)$$

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

Do albedo planetário passou-se ao albedo de superfície  $\alpha$  ou albedo corrigido das imagens, utilizando o SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*). De acordo com Meireles (2007) como a atmosfera terrestre produz interferência na radiação solar e na radiação refletida o albedo refletido no topo da atmosfera necessita de correções devidas aos processos de absorção e espalhamento. Essas correções são obtidas através da Equação 4 (Bastianssen, 1995; Morse et al., 2000; Allen, 2002) para os dias de céu claro:

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_p}{\tau_{sw}^2} \quad (4)$$

em que  $\alpha_{toa}$  representa o albedo no topo da atmosfera;  $\alpha_p$  é a radiação solar refletida pela atmosfera que varia de 0,025 a 0,04 mas para o SEBAL foi tomado o valor de 0,03, por ser esse um valor comumente utilizado em outras pesquisas e que é admitido como um valor médio (Morse et al., 2000; Allen et al., 2002; Silva et al., 2002).  $\tau_{sw}$  é a transmissividade atmosférica que foi obtida segundo equação simplificada proposta por Allen et al. (2002) em função da altitude de cada pixel ( $z$ ) (Equação 5).

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

Para o nosso cálculo utilizou-se um valor de  $z$  de 140 m, enquanto Silva et al. (2005) trabalhando no Projeto Nilo Coelho escolheu a altitude de Petrolina (376 m).

Após os cálculos do albedo mostrado anteriormente para cada imagem, passou-se à tabulação dos dados de pixels para definição dos percentuais e classes de albedo, bem como organizou-se as imagens em mapas conforme pode-se observar nas Figuras 3 (a), (b), (c) e 4 (a), (b) e (c).

### 3. Resultados e Discussão

Os resultados das imagens com os valores instantâneos do albedo de superfície para os anos de 1985 e 2004 podem ser observados nas Figuras 3a e 3b, a Figura 3c representa a diferença entre as duas cartas expressando a variabilidade, decorridos 20 anos entre as observações.

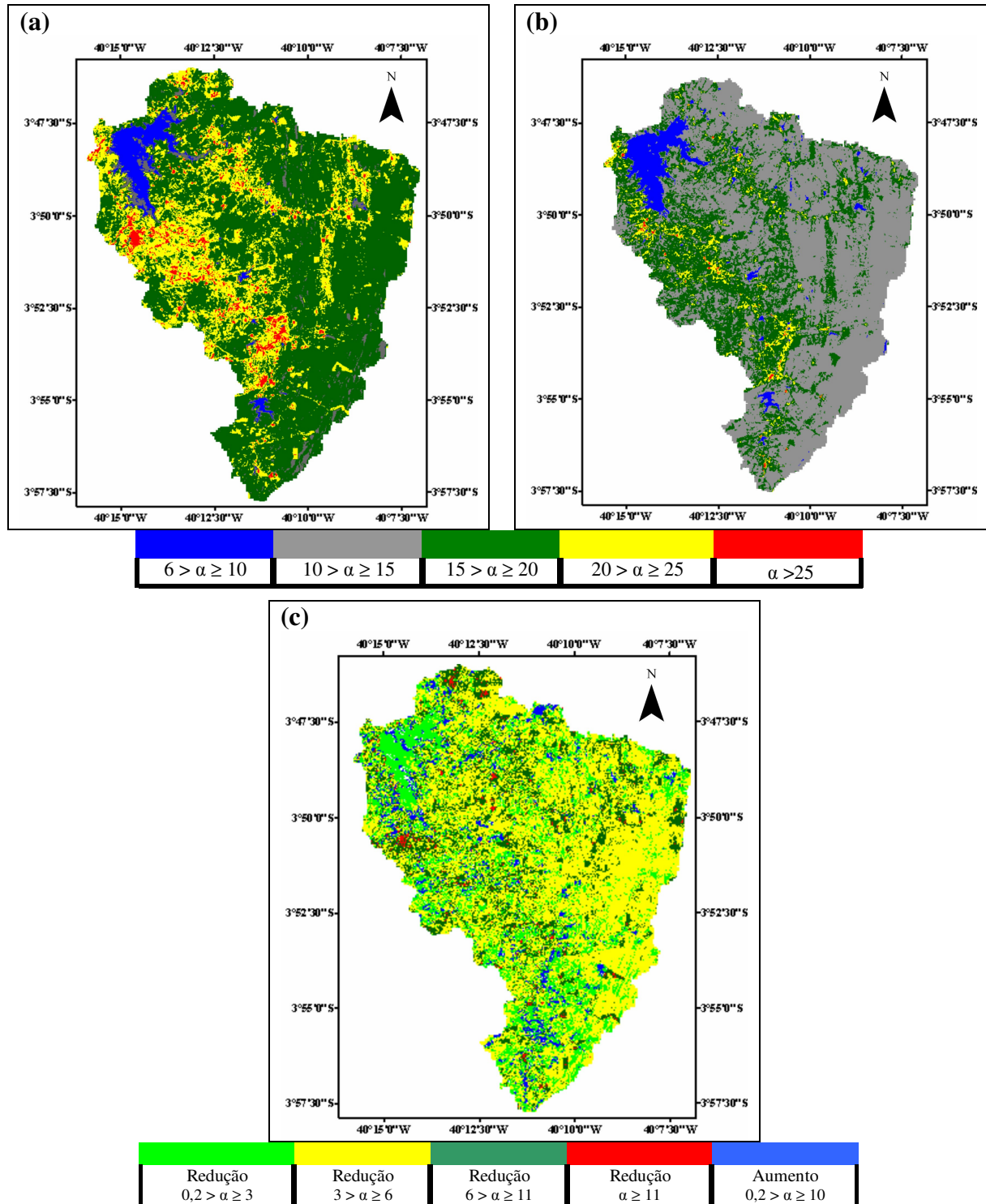


Figura 3. Mapas de percentual de albedo da superfície do solo para a bacia hidrográfica Forquilha para o período de 1985 (a) e 2004 (b) e mapa algébrico (c).

A cor azul nas Figuras 3a e 3b identificam os corpos que refletem entre 6 e 10% da energia incidente sobre eles. Estes corpos representam os reservatórios hídricos, em quase sua totalidade, artificiais, os quais representam 4,24% da área estudada em 1985 e 4,70. Os pixels destacados de cor amarela nas Figuras 3a e 3b, apresentaram albedo entre 20 e 25% e foram registrados na área com solos sem cobertura vegetal e as areias expostas nos leitos dos rios. Esses valores caracterizam a ação antropica no desmatamento das faixas marginais dos rios para uso do solo, principalmente pela agricultura.

Como ocorreu um decréscimo dos valores de albedo entre os dois anos estudados, pode-se supor que ocorreram poucas modificações na paisagem natural da bacia estudada, sugerindo um processo de recuperação da mesma. Mesmo com uma precipitação pluviométrica maior em 1985 do que em 2004 (Figura 2) não foi suficiente para promover aumento da cobertura vegetal e conseqüentemente decrescer os valores de albedo. Esse fato pode ser atribuído ao acúmulo da precipitação dos anos subseqüentes a 1985 tendo efeito no aumento da área verde para o ano 2004. Assim, supõe-se um possível processo de recuperação da bacia para longo intervalo de tempo (20 anos). Na Figura 2c obteve-se uma representação algébrica (subtração) entre as imagens 2a e b explicitando os processos de alteração para o intervalo de 20 anos entre as duas imagens analisadas. Constata-se na mesma uma predominância das cores amarela (53,92% da área) e verde (22,60%) o que confirma o processo de redução do albedo de superfície entre o período avaliado. Entretanto, verifica-se um aumento do albedo na classe de 0,2 a 10% (cor azul) em somente 5,51% da bacia o que remete a um importante resultado do ponto de vista ambiental, uma vez que trata-se de um bioma de alta fragilidade (Barbosa, 2006).

Os valores de albedo entre os anos 1996 e 1997, estão explicitados nas Figuras 4a e 4b. A Figura 4c expressa as alterações ocorridas na bacia, decorrido apenas um ano entre monitoramentos. Tentou-se pela análise dessas figuras, mostrar as mudanças nas condições de albedo da bacia hidrográfica do Forquilha para curtos períodos de tempo. Constatou-se maiores valores para o ano de 1997 (Figura 4b) onde 59,12% da área encontra-se com albedo entre de 20%, principalmente na área próxima ao leito do rio onde o albedo atingiu valores maiores que 25%. Grandes aumentos de albedo estão associados às características inerentes da vegetação de caatinga, a qual deixa cair sua folhagem no período seco do ano, diminuindo conseqüentemente a sua área verde, influenciado pela variação da precipitação pluviométrica entre os anos estudados em que observa-se um decréscimo de 119% entre o total precipitado em 1996 e 1997.

Por tratar-se um curto período de tempo a variação de albedo pode ser explicada pela variação climática da região, principalmente das condições de precipitação em que observa-se uma maior volume para o ano de 1996 em relação a 1997. Variações nos valores de albedo em decorrência das chuvas também foram observadas por Wang & Davidson (2007) estudando o efeito de variações climáticas sobre essa variável no nordeste do Canadá.

Quanto à diferença entre albedo para a área estudada no período de um ano (Figura 4c) pode-se observar que houve uma predominância dos pixels localizados entre 3 e 6%, mostrando que realmente aconteceu uma elevação do albedo entre 1996 e 1997, sendo que esses valores foram presenciados em 62% da área estudada. 19,05 da bacia apresentou albedo entre 6 e 11% e 2,33% teve albedo superior a 25%, evidenciando a presença da Caatinga do semi-árido nordestino, cujo albedo situa-se entre 20 e 30% (Silva et al, 2005).

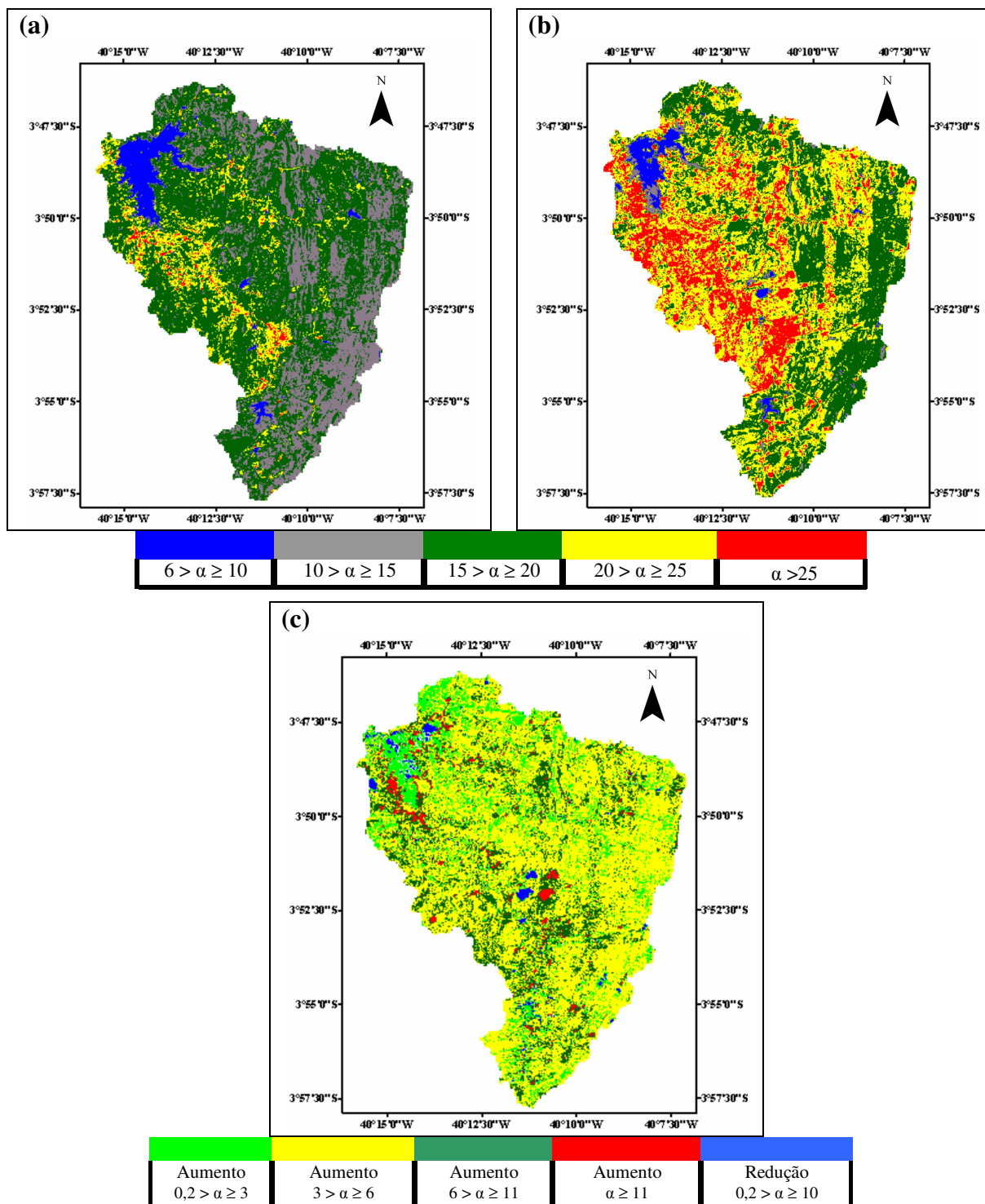


Figura 4. Mapas de percentual de albedo da superfície do solo para a bacia hidrográfica Forquilha para o período de 1996 (a) e 1997 (b) e mapa algébrico (c).

#### 4. Conclusões

Diante dos resultados obtidos, em consonância com a metodologia empregada, pôde-se concluir que para um período de 20 anos ocorreu decréscimo no albedo da bacia do Forquilha, sugerindo portanto, processos de recuperação natural na sua paisagem. Já para período curto (1 ano) o albedo aumentou consideravelmente, caracterizando o bioma Caatinga predominante na região. Em todos os períodos analisados, os maiores valores de albedo foram registrados às margens dos rios, sugerindo problemas referentes ao desmatamento das faixas

ribeirinhas que freqüentemente ocorrem nessas áreas, principalmente pela ação antrópica. Vale destacar ainda o uso das imagens Landsat 5-TM uma vez que a mesma supriu as exigências requeridas pelos usuários para esse tipo de trabalho.

### **Referências Bibliográficas**

Allen, R. G.; Trezza, R.; Tasumi, M. **Surface energy balance algorithms for land - Advance training and users manual**. v.1.0, p. 98, 2002.

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

Barbosa, H. A.; Hueti, A. R.; Baethgen, W. E. A. 20 – year study of NDVI variability over the Northeast Region of Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 67, p. 288-307, 2006.

Bastiaanssen, W. G. M.; Menenti, M.; Feddes, R. A.; Holtslag, A. A. M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 1, Validation. **Journal of Hydrology**, n. 212-213, p. 213-229, 1998.

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.

Crósta, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. São Paulo: IG/UNICAMP, 1992. 170p.

Embrapa. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006, 306p.

Markham, B. L., Barker, J. L. Thematic mapper band pass solar exoatmospherical irradiances. **International Journal of Remote Sensing**, v. 8, n. 3, p.517-523, 1987.

Meireles, M. **Estimativa da evaporação real pelo emprego do algoritmo SEBAL e imagem landsat 5-TM na Bacia do Acaraú – CE**. 2007. 89p. (UFC). Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2007.

Morse, A.; Tasumi, M.; Allen, R. G.; Kramber, W. J., **Application of the SEBAL Methodology for Estimating Consumptive Use of Water and Streamflow Depletion in the Bear River Basin of Idaho through Remote Sensing – Final Report**. Idaho Department of Water Resources, University of Idaho, 2000.

Silva, B. B.; Lopes, G. M.; Azevedo, P. A. determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens LANDSAT 5-TM. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.13, n.2, p.201-211, 2005.

Tasumi, M., **Use of Remote Sensing of Evapotranspiration for Large Regions**. International Workshop, Montpellier, France, 2003.

Wang, S.; Davidson, A. Impact of climate variations on surface albedo of a temperature grassland. **Agricultural and Forest Meteorology**. v. 142, p.133-142, 2007.