

# Análise espaço-temporal da desertificação no semiárido do Nordeste do Brasil através de imagens de satélite LANDSAT 5

*Antonio Carlos Lima Pereira<sup>1</sup>*

*Savio Samri Luna Paschoal<sup>2</sup>*

*Paulo César de Araujo<sup>3</sup>*

## **Resumo**

O semiárido no Nordeste do Brasil, onde os volumes precipitados anualmente são os menores, apresentam um potencial natural à desertificação. O objetivo da pesquisa é analisar indicativos geográficos das mudanças na superfície da região de Caicó/RN, a partir da quantificação e evolução de um indicador de processo de desertificação, o albedo. A partir de imagens de satélite, calculou-se o parâmetro e apresentado sob a forma de mapas, além de histograma de frequência de pixels. Em seguida, geraram-se mapas da imagem-diferença para o parâmetro citado, evidenciando sua evolução espaço-temporal. O resultado mostrou um aumento nos seus campos. Embora o estudo tenha sido em um município, sugere-se que a técnica seja aplicada em todo o semiárido.

**Palavras-chave:** Desertificação; Landsat; Albedo.

## ***Analysis of space-time desertification in northeast of brazil through satellite images LANDSAT 5***

## **Abstract**

The semiarid Northeast of Brazil, where volumes annually precipitates are smaller, have a natural potential to desertification. The objective of the research is to analyze geographic indicative of changes in the surface region of Caicó/RN from the quantification and evolution of an indicator of desertification processes, the albedo. From satellite images, the parameter was calculated and presented in the form of maps, and frequency histogram of pixels. Then maps were generated image-difference parameter for cited, showing their spatiotemporal evolution. The result showed an increase in their fields. Although the study had been in a municipality, it is suggested that the technique is applied throughout the semi-arid region.

**Key words:** Desertification; Landsat; Albedo.

<sup>1</sup> Aluno do cursos de Especialização em Geoprocessamento e Cartografia Digital - DGEO/UFRN.

<sup>2</sup> Aluno do cursos de Especialização em Geoprocessamento e Cartografia Digital - DGEO/UFRN.

<sup>3</sup> Docente do Curso de Especialização em Geoprocessamento e Cartografia Digital - DGEO/UFRN.

## Introdução

O semiárido no Nordeste do Brasil, e mais especificamente as mesorregiões dos Cariris Velhos e Curimataú na Paraíba, além do Seridó no Rio Grande do Norte, formam um núcleo onde os volumes precipitados anualmente, entre 400 e 500mm, respectivamente, são os menores do Brasil. Esse contexto climático torna esse núcleo com potencial natural à desertificação, associado a vulnerabilidade edáfica do ecossistema da região.

As precipitações são geralmente de origem convectivas, isto é, ocorrem devido à fluxos de calor verticais intensos oriundos da superfície do solo e apresentam uma variabilidade espaço-temporal muito elevada. Elas são de curta duração e alta intensidade, o que prejudica mais ainda o ecossistema local, provocando muitas vezes erosão dos solos.

A vegetação é formada predominantemente por xerófilas e defende-se com mecanismos próprios para amenizar os efeitos das altas temperaturas e da falta de precipitações nos longos períodos secos, que podem durar mais de seis meses. Os solos geralmente rasos da região são predominantemente Luvisso solo crômico. A vegetação, assim como o solo, apresenta um papel importante na repartição da energia solar em fluxo de calor sensível e fluxo de calor latente de evapotranspiração, assim como na proteção do solo contra a erosão e fixação da umidade, o que sobrepõe o fenômeno da desertificação.

A desertificação é um dos principais problemas ambientais do mundo, principalmente por ocorrer com maior frequência e intensidade em países/regiões pobres do planeta. Seu principal sintoma é a degradação dos solos, provocando a sua erosão ou contribuindo no processo de diminuição da capacidade produtiva do mesmo.

Suas causas são essencialmente duas: alterações no clima e a atividade humana, este último, servindo muitas vezes como um agente sinérgico no processo. Como fenômeno, é antigo, segundo estudos, algumas regiões atualmente áridas abrigaram uma rica vegetação no passado, mas, à medida que aumentam os fatores que causam a aridez, os desertos avançam.

Os desertos ocorrem de forma natural, ou seja, mesmo sem a interferência humana no local, as condições ambientais, principalmente as climáticas, favorecem ao surgimento de dos mesmos, porém, a forma como o homem faz uso indiscriminado dos recursos do solo, contribui para o surgimento de regiões desérticas (com características semelhantes a desertos).

Como objetivo principal, este trabalho tem como finalidade contribuir para os estudos da desertificação no semiárido brasileiro, a partir de indicadores geográficos, em particular no município de Caicó/RN, utilizando-se para isso avaliação quantitativa e evolução espaço-temporal do parâmetro físico albedo de superfície, obtidos com o auxílio de imagens de sensoriamento remoto.

Para o critério da definição das áreas suscetíveis a desertificação no mundo inteiro, a Organização das Nações Unidas, leva em consideração a classificação climática proposta por Thornthwaite (1941), conhecida como índice de aridez, sendo função da precipitação (P) e da evapotranspiração potencial (ETP) da região, variando entre zero (0) e um (1).

Com base no valor obtido no índice de aridez classifica-se então o clima, conforme a tabela 01 a seguir:

**Tabela 01: Classificação climática a partir do índice de aridez, proposto por Thornthwaite (1941), e adotado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, para a identificação e quantificação das áreas com riscos a desertificação.**

Índice de Aridez	Clima
< 0,05	Hiper-árido
0,05 – 0,20	Árido
0,21 – 0,50	semiárido
0,51 – 0,65	Sub-úmido seco
> 0,65	Sub-úmido e úmido

Fonte: UNESCO (2003).

Assim, as áreas ameaçadas ou afetadas por processos de desertificação, são aquelas enquadradas com índices entre 0,05 e 0,65, ou seja, as áreas com clima árido, semiárido e sub-úmido seco (com exceção das áreas polares e subpolares).

## Material e método

Para os estudos deste trabalho foram utilizadas um total de 02 imagens do satélite Landsat 5, sensor TM (*Thematic Mapper*), cada uma delas compostas por 07 bandas espectrais, ver tabela 02. As cenas utilizadas para o estudo são todas da órbita 215, e pontos 64 e 65.

Propositadamente as imagens escolhidas para o trabalho foram obtidas no período seco da região, uma vez que há uma grande irregularidade nas precipitações pluviométricas durante o período chuvoso entre vários anos consecutivos, podendo ocorrer anos normais (precipitação dentro da média histórica), anos de *El Niño*

(precipitação abaixo da média histórica) ou anos de *La Niña* (precipitação acima da média histórica); o que poderia dificultar os estudos, principalmente porque a água interfere consideravelmente nas características do solo e da vegetação, e conseqüentemente, nos resultados do parâmetro físico abordado neste estudo.

Para os cálculos do parâmetro estudado foram utilizadas os mosaicos de duas cenas, o primeiro mosaico é da data de 13/08/1987, e o segundo de 12/10/2003, todas as imagens encontram-se disponíveis no sítio virtual do INPE (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR>) e possuem pouca cobertura de nuvens. Fez-se uso também de uma imagem *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), disponível no sítio virtual <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>, para a obtenção da transmitância atmosférica, parâmetro importante para a correção dos valores de albedo de superfície.

Para o cálculo do albedo de superfície foi adotado o procedimento proposto pelo SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithms for Land*), um algoritmo eficaz e com resultados precisos para diferentes regiões do planeta (BASTIAANSEN *et al.*, 1998; BASTIAANSEN e BOSS, 1999; AYENEW, 2003).

**Tabela 02: Bandas espectrais do sensor TM, satélite Landsat 5, e seus respectivos valores de radiância mínima ( $L_{min\lambda}$ ) e máxima ( $L_{max\lambda}$ ) para diferentes datas.**

Spectral Radiances , LMIN $\lambda$ and LMAX $\lambda$ in W/(m <sup>2</sup> .sr.μm)								
Processing Data	From March 1, 1984				After May 5, 2003			
	To May 4, 2003							
Band	LMIN $\lambda$	LMAX $\lambda$	G rescale	B rescale	LMIN $\lambda$	LMAX $\lambda$	G rescale	B rescale
1	-1,52	152,10	0,602431	-1,52	-1,52	193,0	0,762824	-1,52
2	-2,84	296,81	1,175100	-2,84	-2,84	365,0	1,442510	-2,84
E	-1,17	204,30	0,805765	-1,17	-1,17	264,0	1,039880	-1,17
4	-1,51	206,20	0,814549	-1,51	-1,51	221,0	0,872588	-1,51
5	-0,37	27,19	0,108078	-0,37	-0,37	30,2	0,119882	-0,37
6	1,237 8	15,303	0,055158	1,2378	1,237 8	15,303	0,055158	1,2378
7	-0,15	14,38	0,056980	-0,15	-0,15	16,5	0,065294	-0,15

Fonte: Chander e Markham (2003).

Para uma maior precisão dos dados, foram realizados ajustes para minimizar os efeitos de distorções espaciais advindas do próprio satélite (variações da plataforma do satélite) ou da própria geometria da superfície imageada, com o intuito de fazer coincidir os *pixels* de cada imagem nos dois anos analisados.

Primeiramente todas as bandas isoladas de cada cena foram compiladas em um só arquivo, em seguida, as cenas de cada ano foram mosaicadas, e por último, foram georreferenciadas com base numa imagem GeoCover disponível no sítio virtual (<https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid>), o método utilizado para o georreferenciamento foi o Polinômio de 1ª Ordem, com técnica de reamostragem do vizinho mais próximo, caracterizado por preservar o valor original do *Digital Number* (DN) de cada *pixel*.

Segundo Monteith e Unsworth (1990), o albedo é definido como a fração da energia recebida no intervalo do espectro solar entre 0,3 e 3,0  $\mu\text{m}$  que é refletida por uma superfície. O albedo é uma medida adimensional, sendo expresso geralmente por valores entre 0,0 e 1,0, ou sob a forma de porcentagem. A tabela 03 exhibe alguns valores de albedo para diversas superfícies:

**Tabela 03: Valores típicos de albedo para diversas superfícies.**

Superfície	Valor de albedo	Superfície	Valor de albedo
Neve recente	0,80 - 0,85	Pasto	0,15 - 0,25
Neve antiga ou gelo	0,30 - 0,70	Milharal	0,14 - 0,22
Solos escuros	0,08 - 0,14	Arrozal	0,17 - 0,22
Argila	0,16 - 0,23	Floresta de coníferas	0,10 - 0,15
Areia branca-amarelada	0,34 - 0,40	Floresta decidual	0,15 - 0,20
Areia acinzentada	0,18 - 0,23	Água	0,025 - 0,348

Fonte: Allen *et al.* (2002).

De posse das imagens previamente georreferenciadas, o primeiro procedimento realizado foi o de conversão do DN para os valores de radiância espectral para cada banda, conforme a equação 01, disponível em Chander e Markham (2003):

$$L_{\lambda} = \left( \frac{L_{\text{máx}\lambda} - L_{\text{mín}\lambda}}{255} \right) \cdot Q_{\text{cal}} + L_{\text{mín}\lambda}$$

Onde:

$L_{\lambda}$  é a radiância espectral de cada banda do sensor ( $\text{W m}^{-2} \text{st}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ );

$L_{\text{máx}\lambda}$  é a radiância máxima de cada banda do sensor ( $\text{W m}^{-2} \text{st}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ );

$L_{\text{mín}\lambda}$  é a radiância mínima de cada banda do sensor ( $\text{W m}^{-2} \text{st}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ );

$Q_{\text{cal}}$  é o número digital (ND) de cada *pixel* na imagem.

A partir dos valores de radiância, a segunda etapa foi a conversão para os valores de refletâncias, a partir da equação 02, disponível em Bastiaanssen (1995):

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda}}{E_{\text{sun}\lambda} \cdot \cos \theta_s \cdot d_r}$$

Onde:

$\rho\lambda$  é a refletância espectral de cada banda;

$L\lambda$  é a radiância espectral de cada banda do sensor ( $W\ m^{-2}\ st^{-1}\mu m^{-1}$ );

$d_r$  é o inverso do quadrado da distância Terra-Sol;

$E_{sun\lambda}$  é a irradiância espectral de cada banda no topo da atmosfera ( $W\ m^{-2}\ \mu m^{-1}$ );

$\theta_s$  é o ângulo zenital solar ( $^\circ$ ).

Para o cálculo do inverso do quadrado da distância Terra-Sol, foi adotada a equação 03, disponível em Allen *et al.* (2002):

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

Onde:

$DDA$  é o dia do ano.

Com os valores de refletância espectral de cada banda ( $\rho\lambda$ ), adotou-se a soma ponderada de todas as bandas (da 1 a 5 e 7), o peso para cada banda é calculado com base na irradiância espectral de cada banda (tabela 04) dividido pelo somatório das irradiâncias espectrais das bandas 1 a 5 e 7, conforme a equação 04 abaixo:

$$X = \frac{E_{sun\lambda}}{\sum E_{sun\lambda}}$$

Tabela 04: Irradiâncias espectrais do topo da atmosfera para satélites Landsat 4 e 5.

Units: ESUN = W/(m<sup>2</sup> . μm)

Model:		
Chance Spectrum CHKURBand	Landsat 4	
Landsat 51	1957	1957
2	1825	1826
3	1557	1554
4	1033	1036
5	214,9	215
7	80,72	80,67

Fonte: Chander e Markham (2003).

Assim, para a obtenção do valor de albedo do topo da atmosfera, o resultado é expresso pela equação 05 abaixo:

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

Onde:

$\alpha_{toa}$  é o albedo no topo da atmosfera;

$\rho_1 \dots \rho_7$  é a refletância espectral de cada banda (de 1 a 5 e 7).

Para a remoção do efeito da atmosfera no valor do albedo da superfície, diversos autores (BASTIAANSSEN, 1995; ALLEN *et al.*, 2002; SILVA *et al.*, 2004, SILVA *et al.*, 2005) utilizam a equação 06 abaixo:

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

Onde:

$\alpha$  é o albedo da superfície;

$\alpha_{toa}$  é o albedo no topo da atmosfera;

$\alpha_p$  é o albedo atmosférico;

$\tau_{sw}^2$  é o quadrado da transmissividade atmosférica.

O albedo atmosférico varia entre 0,025 e 0,04, porém foi adotado o valor de 0,03, esse valor é amplamente utilizado em outros estudos (MORSE *et al.*, 2001; ALLEN *et al.*, 2002; SILVA *et al.*, 2002 e SILVA *et al.*, 2005). Como pode ser observado, para o cálculo do albedo da superfície, é necessária a obtenção do valor da transmissividade atmosférica, que, segundo Allen *et al.* (2002), pode ser encontrado a partir da equação 07, a seguir:

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

Onde:

$\tau_{sw}$  é a transmissividade atmosférica;

$z$  é o valor da altitude (em metros) de cada *pixel*, obtido a partir da imagem SRTM.



Para áreas com pouca ou nenhuma variação talvez essa aproximação seja válida, porém, em áreas com variações mais acentuadas (como o município de Caicó, que possui uma variação altimétrica entre 137 e 689 m) o resultado poderia ficar comprometido.

Ao contrário de alguns estudos, como (BASTIAANSEN, 1995; MORSE *et al.*, 2001; ALLEN *et al.*, 2002; SILVA *et al.*, 2002 e MEIRELES, 2007), que realizam essa correção a partir de um valor arbitrário, um valor médio da altitude da região, por exemplo 300 metros, para o nosso caso, com o intuito de preservar melhor a característica do albedo de cada *pixel*, optou-se por adotar a correção a partir dos valores de altitude contidos na imagem SRTM.

## Resultados e discussões

A figura 01 exibe o comportamento do albedo de superfície para o ano de 1987, nela, é possível observar que os menores valores de albedo estão associados aos corpos de água da região, enquanto que os maiores valores estão relacionados aos sedimentos aluvionares ou no extremo sul da área. Para os sedimentos aluvionares esses valores são compreensíveis, uma vez que, no período de seca, os rios da região secam completamente, deixando exposto o sedimento do fundo do canal, que, geralmente são sedimentos arenosos com coloração branco-amarelada.

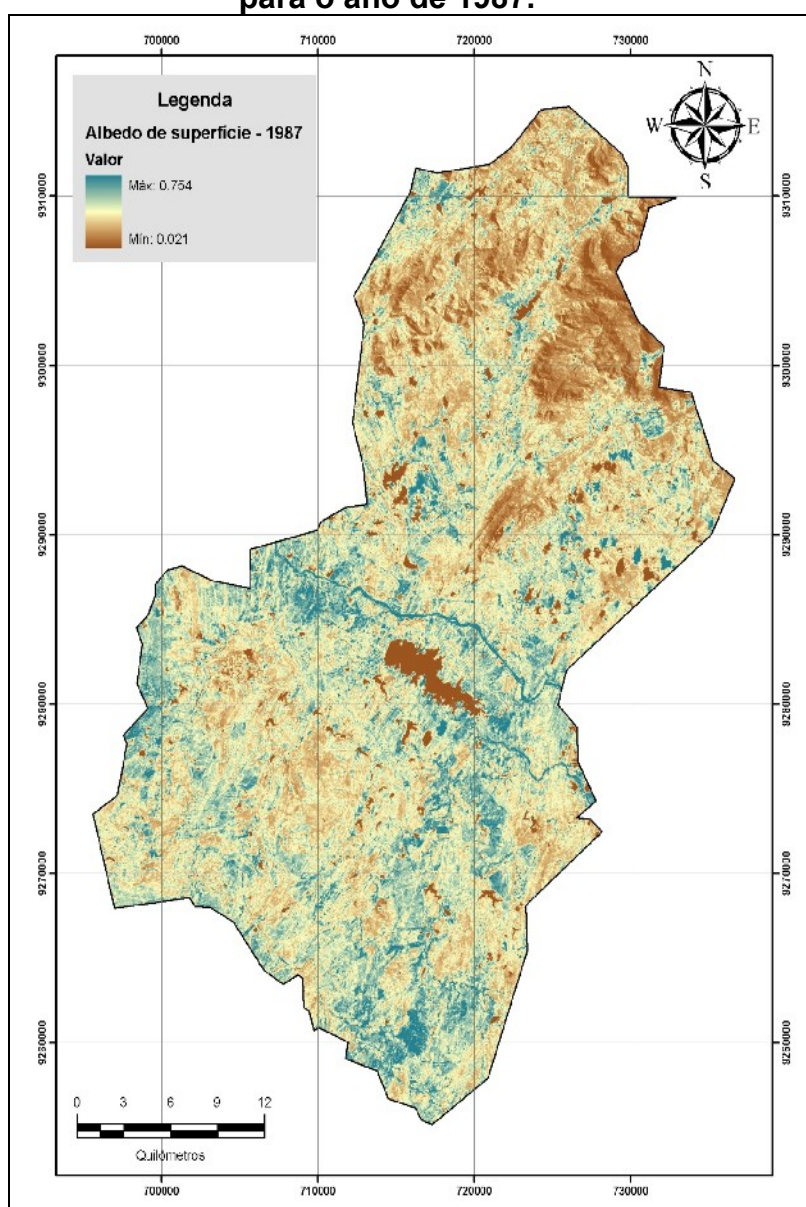
Já para os valores elevados de albedo no sul da área, estes não estão relacionados a corpos hídricos intermitentes, nessa área, na época, provavelmente havia alguma atividade antrópica (condicionada pelas características da superfície) que favoreceu o surgimento de valores de albedo tão elevados, um dos fatores pode ter sido a retirada da vegetação para a produção de lenha. Nas regiões mais elevadas do município, nas serras, onde o cultivo de qualquer cultura agrícola é desfavorecido, os valores de albedo são baixos, provavelmente porque os solos nessas áreas possuem uma cobertura vegetal mais densa e preservada, o que contribui para os baixos valores de albedo. A cidade de Caicó, localizada a oeste do Açude Itans, também exibe altos valores de albedo, isso é comum para regiões urbanas, uma vez que o concreto e demais materiais utilizados nas construções, além das reflexões de canto aumentam os valores do albedo.

A figura 02 exibe o comportamento do albedo de superfície para o ano de 2003, a exemplo da figura anterior, os baixos valores de albedo estão relacionados aos corpos de água, ao passo que os valores elevados são encontrados dos vales 'secos' dos rios

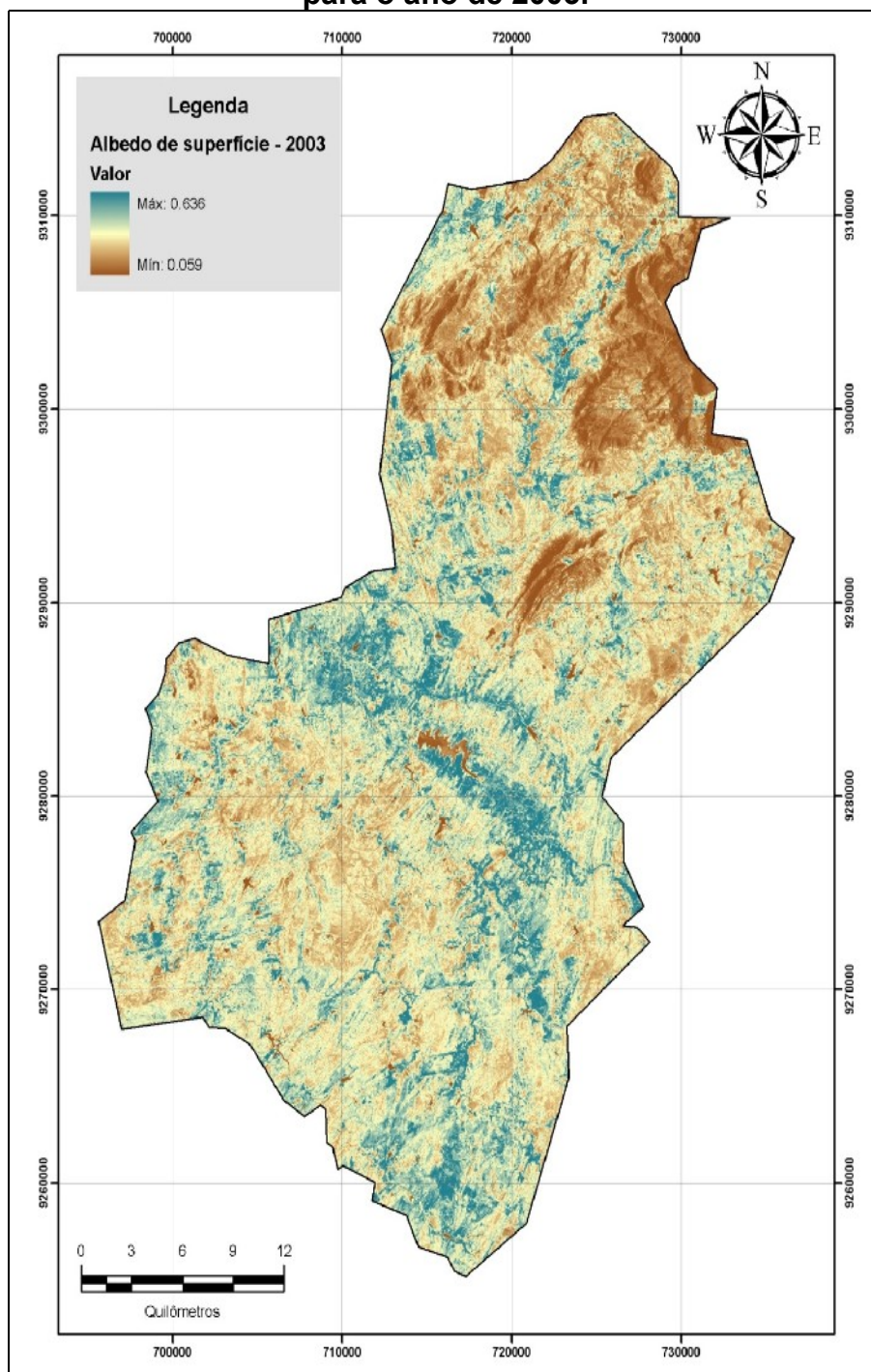


principais. Para o ano de 2003, comparado com 1987, é notável a retração do volume de água do Açude Itans, nessas áreas de retração do volume de água, os valores de albedo são sempre altos. Outra característica comum para a região do semiárido é a cultura de sequeiro, que consiste em cultivar lavouras de ciclo curto as margens dos corpos de água (açudes, rios e/ou riachos) nos períodos de chuva, quando chega então a época da seca, essas culturas já não existem mais, deixando o solo exposto, esse fenômeno é perceptível em toda a área do município, e, sendo mais acentuado ao redor dos corpos de água principais, como nas margens do açude Itans, nas margens do Rio Seridó, e em açudes menores, como na porção norte do município.

**Figura 01: Mapa do albedo de superfície do município de Caicó-RN para o ano de 1987.**



**Figura 02: Mapa do albedo de superfície do município de Caicó-RN para o ano de 2003.**

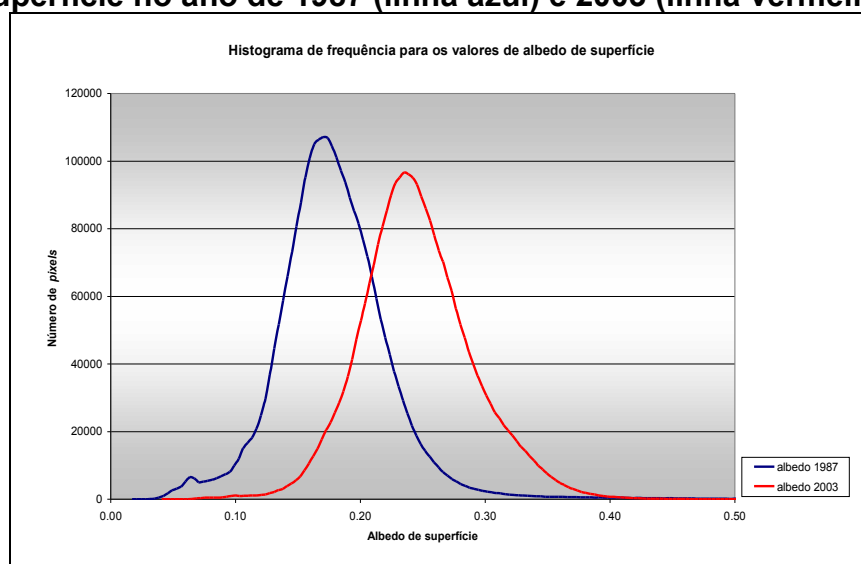


A figura 03 mostra o histograma de frequência de *pixels* do albedo de superfície para os anos de 1987 (linha azul) e 2003 (linha vermelha), o comportamento das duas curvas é semelhante e possui uma forma leptocúrtica, para o ano de 1987, há um pequeno pico para valores de albedo abaixo de 0,10, esse pico está relacionado aos *pixels* encontrados nos corpos de água, e o pico maior, com aproximadamente 100.000

*pixels* ocorre próximo ao valor de 0,17. Para o ano de 2003, devido a pouca quantidade de água encontrada nos corpos de água, não ocorre um pico para valores baixos. O pico dos valores de albedo também é próximo dos 100.000 *pixels*, porém, agora os valores se encontram próximos a 0,25. Comparativamente, é fácil perceber a variação (deslocamento) dos valores de albedo de superfície para a direita, o que significa, generalizando, um aumento do albedo da superfície para o intervalo de tempo estudado.

A tabela 05 apresenta a estatística descritiva dos dados, com uma amplitude maior ocorrida no ano de 1987, e médias diferentes, 0,176 para o ano de 1987 e 0,243 para o ano de 2003. As médias não são representativas para a população, uma vez que os desvios-padrões para ambos os anos são altos, 0,041 para 1987 e 0,044 para 2003. Assim, os mapas de albedo podem representar diferentes tipos de cobertura do solo.

**Figura 03: Histograma de frequência de pixels para os valores de albedo de superfície no ano de 1987 (linha azul) e 2003 (linha vermelha).**



**Tabela 05: Valores mínimo, médio, máximo, de moda e desvio padrão do albedo de superfície para os anos de 1987 e 2003.**

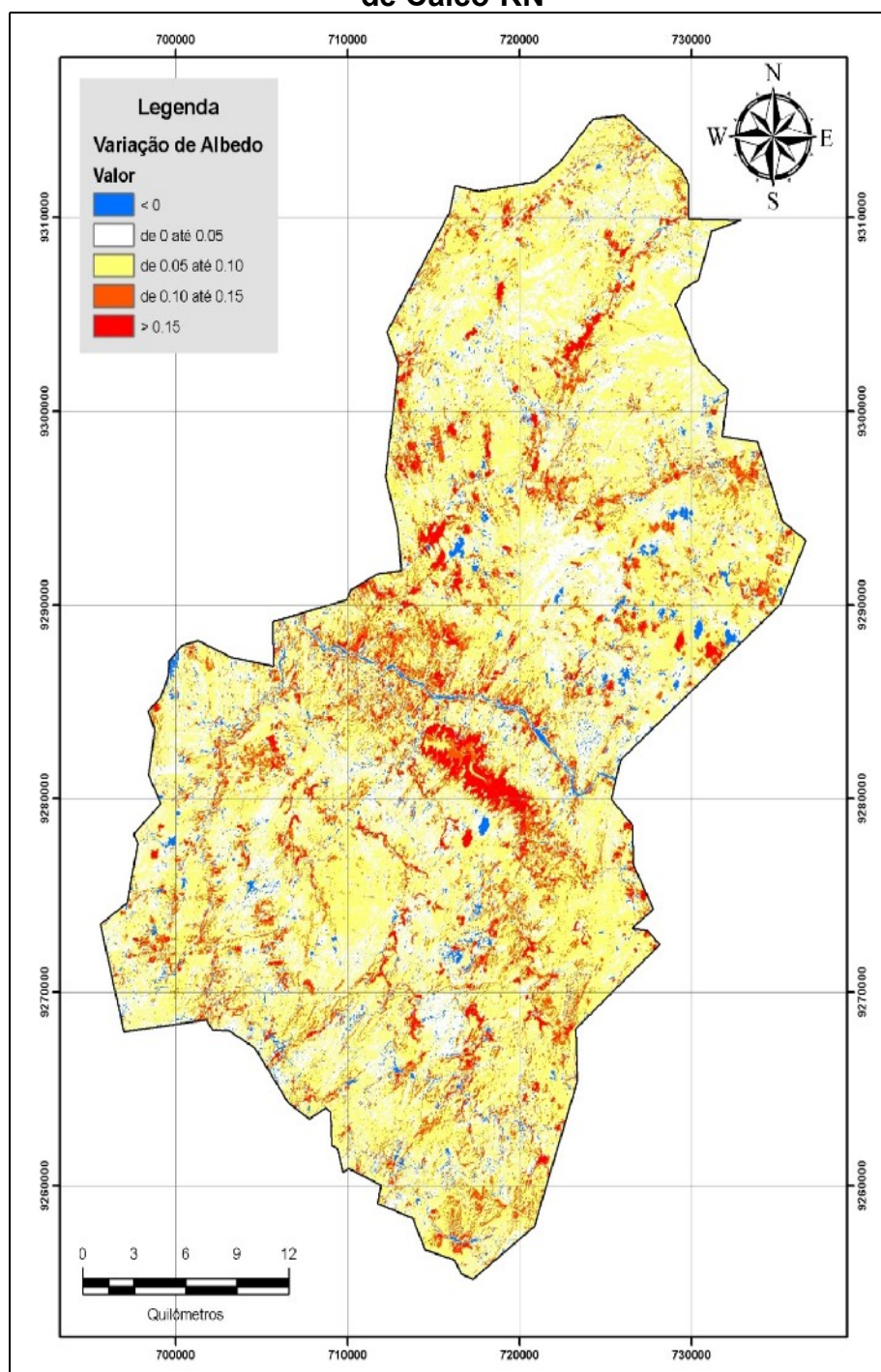
Ano	Albedo				
	Valor				
	Mínimo	Médio	Máximo	Moda	Des. Padrão
1987	0,021	0,176	0,754	0,170	0,041
2003	0,059	0,243	0,636	0,234	0,044

A figura 04 representa a imagem-diferença do albedo de superfície, os valores negativos (representados em azul), ou seja, onde o valor de albedo em 1987 era maior em relação a 2003, ocorrem em pequena proporção, e, alguns desses valores negativos estão relacionados a presença de nuvens, que, coincidentemente provoca o surgimento de valores positivos ( $> 0,15$ , representados em vermelho) imediatamente próximos devido ao efeito de sombra, isso é fácil de ser percebido na região centro-leste do município. Já alguns outros valores negativos na imagem-diferença de albedo, representados por pequenas áreas que ocorrem principalmente na região sul do município estão relacionadas ao surgimento de novos corpos de água represados. O Rio Seridó, ao longo de toda a sua extensão também apresenta valores abaixo de zero.

Os valores positivos maiores do que 0,15, para a região de estudo, representa a variação espacial das áreas dos corpos hídricos, o maior contraste é percebido para o Açude Itans que teve uma forte redução em sua área, assim como os demais corpos de água do município. Os valores com pouca ou nenhuma variação (de 0 até 0,05), representados em branco, ocorrem por toda a área, e podem estar relacionados a locais em que: não houve alteração em relação ao uso solo ou houve alteração no uso do solo, mas essa alteração não provocou mudanças significativas nos valores de albedo de superfície. A variação de 0,05 até 0,10 (representado em amarelo) é a mais abrangente, ocorrendo por toda a área, desde as regiões baixas e planas no sul do município até as regiões de serras no norte do município.



Figura 04: Mapa da imagem-diferença dos albedos de superfície para o município de Caicó-RN



## Considerações finais

Considerando que as questões relacionadas à desertificação é um problema ambiental grave e que ocorre em diferentes níveis no Nordeste brasileiro, e que o estado do Rio Grande do Norte é um dos estados que praticamente todo o seu território está inserido na Área Suscetível a desertificação. Aliado ao fato de que o recorte espacial da problemática da desertificação é praticamente idêntico ao recorte espacial do Bioma Caatinga, sendo este bioma, dentre os vários existentes no país, o único totalmente inserido no território nacional, e constituído de várias espécies endêmicas ameaçadas de extinção.

Dentre as várias técnicas de detecção do problema da desertificação, constata-se que o sensoriamento remoto é uma ferramenta que possui capacidade de detectar e mensurar as mudanças ocorridas na superfície terrestre, sendo assim, aliada a outras técnicas e metodologias, pode complementar os estudos de desertificação e mitigar os seus efeitos.

A escala espacial e temporal aqui escolhida, aliada ao parâmetro selecionado e ao tipo de satélite/sensor, mostrou-se eficiente na detecção das mudanças ocorridas na superfície do município de Caicó/RN.

Foi constatado que o parâmetro de albedo de superfície, houve aumento dos valores de média e de moda, o que representa um agravamento da situação, devido às condições da época do ano, ou até mesmo das condições meteorológicas no momento da passagem do satélite sobre a área.

Visualmente, o mapa de imagem-diferença bem como o histograma de frequência de *pixels* dá uma ideia da variação existente na área. Para o caso da imagem-diferença, a mesma facilita na identificação de áreas onde o parâmetro indicador do processo de desertificação se agrava.

Embora o estudo aqui tenha se limitado ao recorte espacial de um município, sugeríamos que a mesma técnica seja utilizada para uma área maior, por exemplo, uma micro-região, uma meso-região ou uma bacia hidrográfica qualquer; para uma área menor talvez os resultados possam ficar comprometidos devido às limitações do satélite/sensor, para o nosso caso, a resolução espacial do *pixel* é de 30 metros. Alternativamente, pode-se utilizar outro conjunto de satélite/sensor, preferencialmente com resolução do *pixel* melhor, como por exemplo, o satélite CBERS-2B, que possui uma resolução do *pixel* de 20 metros para o sensor *Couple Charged Device* (CCD).

Para o nosso estudo, avaliou-se o comportamento de um parâmetro para o período seco da região, outro estudo pode ser realizado em períodos chuvosos, assim como, avaliar a situação do(s) parâmetro(s) ao longo de um ou dois anos consecutivos, e identificar qual o seu comportamento ao longo do ano. Ou até mesmo realizar estudos na mesma área com outros parâmetros e realizar análises comparativas dos dados.

Como esse estudo foi elaborado totalmente a partir do sensoriamento remoto, o mesmo pode, e deve servir de auxílio para trabalhos de campo, ou trabalhos com modelos matemáticos mais complexos.

Além disso, o parâmetro aqui calculado deverá ser incorporado a modelos ambientais e/ou de circulação da atmosfera, especificamente na avaliação do saldo de radiação (Rn), radiação de ondas longas (ROL), cálculo da biomassa da vegetação, bem como no cômputo do balanço hidrológico. A partir de índices de vegetação, como por exemplo, NDVI, SAVI e IAF pode-se correlacioná-los com o uso da terra para servir como referencial para a análise do processo de desertificação.

## Referências

ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land) **Advanced Training and User's Manual** – Idaho Implementation, version 1.0, 97 p., 2002.

AYENEW, T. **Evapotranspiration estimation using thematic mapper spectral satellite data in the Ethiopian rift and adjacent highlands**. Journal of Hydrology, v. 279, p. 83-93, 2003.

BASTIAANSEN, W. G. M. **Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain**. Ph.D. Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, Netherlands, 273p, 1995.

BASTIAANSEN, W. G. M.; BOS, M. G., **Irrigation performance indicators based on remotely sensed data: a review of literature**. Irrigation and Drainage Systems, v. 13, n. 4, Springer Netherlands, ISSN 0168-6291 (Print), p. 291-311, dezembro, 1999.

BASTIAANSEN, 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.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. **Revised Landsat 5 TM radiometric calibration procedures and post-calibration dynamic ranges**. 2003.



MEIRELES, M. **Estimativa da evapotranspiração real pelo emprego do algoritmo Sebal e imagem de Landsat 5 – TM na Bacia do Acaraú – CE**. Fortaleza, 2007. Dissertação – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará.

MONTEITH, J. L.; UNSWORTH, M. H. **Principles of Environmental Physics**. New York, Chapman and Hall, Inc, 1990.

MORSE, A.; ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; KTAMBER, W. J.; TREZZA, R.; WRIGHT, J. **Application of the SEBAL Methodology for estimating evapotranspiration and consumptive use of water through remote sensing**. Final Report, 220 p, 2001.

SILVA, B. B. da; FEITOSA, J. R.; MOURA, S. B.; GALVÍNCIO, J. D.; COSTA, F. J. F. **Balço de radiação no Perímetro irrigado Senador Nilo Coelho utilizando técnicas de sensoriamento remoto e imagens Landsat 5-TM**. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA XII, 2002 Foz do Iguaçu. Anais..., Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2002, CD-ROM.

SILVA, B. B. da; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. **Determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens Landsat 5 – TM**. Revista Brasileira de Agrometeorologia. Aceito para publicação, 2004.

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

THORNTHWAITE, C. W.; HOLZMAN, B. **Evaporation and transpiration**. In: **Climate and Man: Yearbook of Agriculture**. Washington: U.S. Department of Agriculture, 1941, p.545-550.

UNESCO. **Desertificação**. SCHENKEL, C.S.; MATALLO JUNIOR, H (Orgs.). 2. ed. Brasília: UNESCO, 2003. 80 p.

**Recebido em maio de 2014.**

Publicado em junho de 2014.