

ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DA COBERTURA VEGETAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IPANEMA

Heliofábio Barros Gomes¹, Samuelson Lopes Cabral², Sandro Correia de Holanda³, Maurilio Neemias dos Santos¹, Rosiberto Salustiano da Silva Junior¹
heliofabio@icat.ufal.br

¹ Instituto de Ciências Atmosféricas – ICAT/UFAL

² Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN)

³ Centro de Ciências Agrárias – CECA/UFAL

RESUMO

Ações antrópicas e efeitos climáticos afetam diretamente as características físicas e biológicas de uma bacia hidrográfica, afetando em escala locais e/ou regionais o ciclo hidrológico, causando grandes impactos ambientais. Através dos modelos, torna-se possível a estimativa de parâmetros essenciais ao monitoramento da degradação ambiental, como o Índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN). A quantificação do IVDN tem sido conduzida empregando técnicas de sensoriamento remoto com auxílio de diversos modelos. Sendo assim presente estudo tem como objetivo analisar a variabilidade espacial e temporal da cobertura vegetal através do IVDN e do albedo na região do semiárido do nordeste brasileiro, mais especificamente na bacia hidrográfica do rio Ipanema, entre os Estado de Alagoas e Pernambuco, através de uma serie temporal de imagens multiespectrais do Landsat 5 - TM compostas por sete bandas espectrais, referentes aos dias 08/08/1991, 06/10/2001 e 23/09/2008, utilizando o algoritmo Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) que, permitiu a geração de cartas do índice de vegetação da diferença normalizada e albedo para cada pixel da imagem. Os resultados apresentam um aumento espaço temporal da cobertura vegetal em toda bacia, com valores médios de IVDN na ordem de 0,24, 0,27 e 0,30 para os anos de 1991, 2001 e 2008 respectivamente.

Palavras Chave: Bacia hidrográfica, IVDN, SEBAL.

ABSTRACT

Anthropogenic and climatic effects directly affect the physical and biological characteristics of a watershed, affecting local scale and / or regional hydrological cycle, causing major environmental impacts. Through the model it becomes possible to estimate parameters essential to the monitoring of environmental degradation, as the index of normalized difference vegetation (IVDN). The quantification of the IVDN has been done using remote sensing techniques with the aid of various models. Therefore this study aims to analyze the spatial and temporal variability of vegetation cover by IVDN and albedo of the semiarid region of northeastern Brazil, specifically in Ipanema river basin, between the State of Alagoas and Pernambuco through a time series of multispectral Landsat 5 - TM with seven spectral bands, referring to the days 08/08/1991, 06/10/2001 and 23/09/2008, using the Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) algorithm that allowed the generation of letters of vegetation index normalized difference and albedo for each image pixel. The results show an increase Timeline of vegetation throughout the basin, with average values of IVDN in the order of 0.24, 0.27 and 0.30 for the years 1991, 2001 and 2008 respectively.

Keywords: Watershed, IVDN, SEBAL.

1. INTRODUÇÃO

A região nordeste do Brasil apresenta uma característica marcante no tocante da variabilidade inter e intra-anual da precipitação pluviométrica, tendo essa, passado ao longo do tempo por vários episódios de secas, que associados à intervenção antrópica, tem culminado em frequentes processos de degradação.

A distribuição irregular das precipitações ao longo do ano, somada à baixa capacidade de armazenamento e consequentemente umidade dos solos e às altas taxas de evapotranspiração contribui para acelerar os processos de degradação ambiental desta região.

Essas ações do clima e do homem influenciam de maneira expressiva as condições de cobertura vegetal de uma região, que quando removida, pode trazer uma série de outros problemas como, perda da estrutura e fertilidade dos solos, sedimentação, redução da diversidade das espécies presentes no bioma, e até degradação completa de uma região, dependendo de sua intensidade (Li, et al. 2004).

A conscientização desses problemas cresceu, e os estudos sobre mudanças globais e seus impactos têm sido destacados no campo das ciências da natureza. Dentro desse campo, a variável biofísica, ou seja, o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) tem dado importante contribuição no entendimento das modificações que ocorrem sobre um ecossistema (Gurgel, et al. 2003).

Nos últimos anos a utilização do sensoriamento remoto e das técnicas de geoprocessamento vem sendo usado em diversas áreas da pesquisa, principalmente no monitoramento ambiental do Brasil. Por sua grande extensão territorial, a aplicação destas ferramentas é de grande importância no país, haja vista que se pode assim realizar diagnósticos de áreas de difícil acesso.

Na literatura são encontrados mais de cinquenta índices de vegetação sendo quase todos obtidos de medidas da reflectância nas faixas espectrais do vermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético. No entanto, o mais comumente utilizado é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN). Séries temporais e espaciais do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) têm sido utilizadas em todo o mundo para identificação e classificação da vegetação, para a caracterização da dinâmica da vegetação, para resposta da vegetação à precipitação pluvial e para alerta de secas e é uma importante ferramenta para análise do albedo.

O objetivo desse trabalho é analisar a dinâmica espaço temporal da vegetação no semiárido de Alagoas e Pernambuco, com ênfase na bacia hidrográfica do Rio Ipanema, quantificando através de imagens multiespectrais do satélite Landsat 5, a cobertura vegetal para auxílio na gestão da bacia.

2. METODOLOGIA

2.1 Área de Estudo

A bacia hidrográfica do Rio Ipanema (Figura 1) está localizada em sua maior parte no Estado de Pernambuco, com sua porção sul no Estado de Alagoas, onde se estende até o rio São Francisco. Sua área total é de cerca de 8.800 Km² com uma população de 754 mil habitantes. A precipitação média anual da bacia é de 750 mm/ano, variando de níveis menores que 400 mm/ano na porção sudoeste, até 1100 mm/ano na porção noroeste.

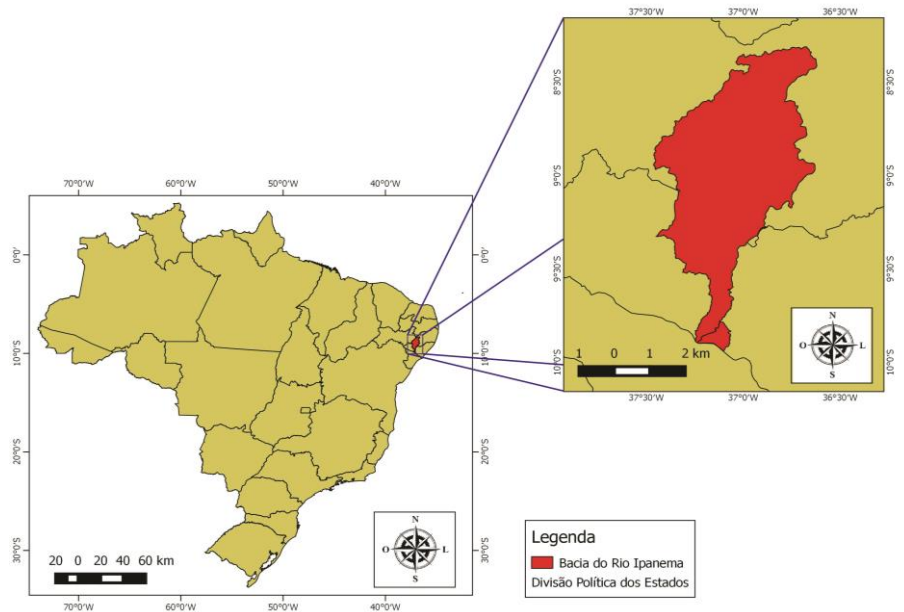
2.2 Dados pluviométricos

Foram utilizados dados do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) da Agência Nacional de Águas (ANA). Os postos escolhidos foram o de Santana do Ipanema (Lat: -9° 22' e Lon: -37° 14') em Alagoas e Águas Belas em Pernambuco (Lat: -9° 06' e Lon: -37° 07').

2.3 Imagens de Satélites

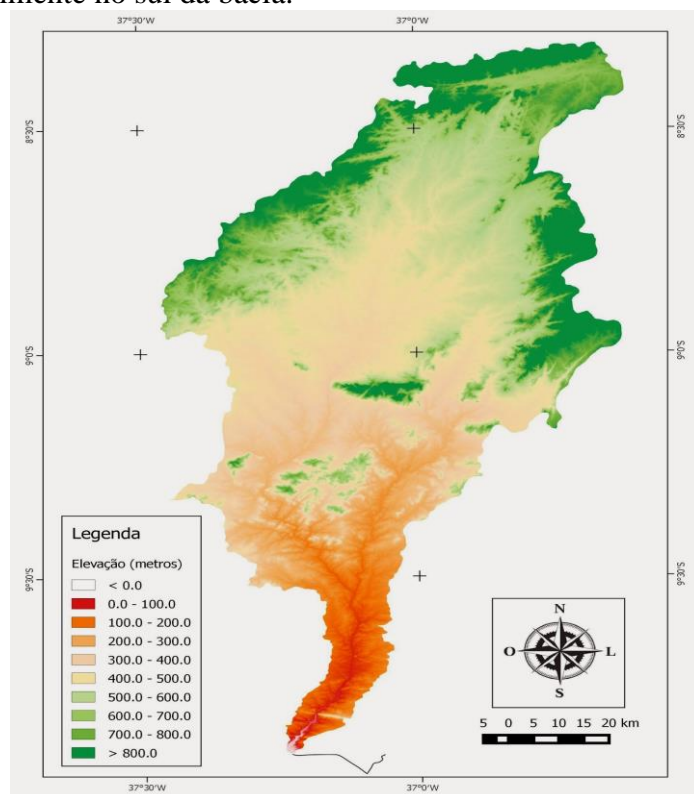
Nesse estudo foi utilizado imagens multiespectrais do sensor Thematic Mapper (TM) do Landsat 5, disponibilizadas pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). Para o mesmo, foram

selecionadas imagens dos dias 08/08/1991, 06/10/2001 e 23/09/2008, correspondendo à passagem do satélite pelos quadrantes 215/66 e 215/67 às 9h30min, cobrindo toda área de estudo.



2.4 Modelo de Elevação Digital (MED)

É utilizado o modelo de elevação digital de terreno (MED), do produto TOPODATA, do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), esse modelo foi escolhido por ter a mesma resolução espacial das imagens do satélite LANDSAT, com uma resolução espacial de 30X30 metros cada pixel. Foram utilizados os quadrantes 08 375ZN e 09 375ZN que cobre a área de estudo. A Figura 2 mostra o MED da bacia do rio Ipanema, com altitudes variando de 0 a 1.221m, com os maiores valores localizados no extremo norte, e parte nordeste e sudoeste da bacia. Os valores mais baixos encontram-se principalmente no sul da bacia.



2.5 Seleção dos Alvos

Para uma análise mais detalhada da variação do IVDN e do albedo da superfície da bacia do rio Ipanema, foram selecionados alvos, em alguns tipos de cobertura vegetal da região, tais como: vegetação nativa (A1), solo exposto (A2) e área agrícola (A3), conforme a Tabela 1.

Tabela 1- Coordenadas dos “Pixels” preestabelecidos das seguintes áreas: vegetação nativa, solo exposto e área agrícola, representadas por A1, A2 e A3 respectivamente, através das quais se efetuaram os cálculos inerentes ao estudo.

Alvos	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Vegetação Nativa (A1)	9° 12'16" S	36° 54'17" W	342
Solo Exposto (A2)	9° 00'30" S	37° 02'22" W	437
Área Agrícola (A3)	9° 20'40" S	37° 06'44" W	274

Os alvos foram identificados com o auxílio de mapas de uso e cobertura do solo, para isso foi realizado uma classificação não supervisionada na bacia do rio Ipanema para todos os anos do trabalho, com a finalidade de identificar os tipos de usos tal como, áreas com vegetação nativa, áreas agrícolas e áreas degradadas.

2.6 Processamento das imagens

Para obtenção do índice de vegetação da diferença normalizada e do albedo da superfície foi utilizada o algoritmo Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL), metodologia desenvolvida por Bastiaanssen et al. (1998a) e Allen et al. (2002), amplamente utilizada por diversos autores. Suas etapas são mostradas no diagrama abaixo (Figura 3).



Figura 3 - Diagrama de etapas do Processamento do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) e do albedo da superfície.

2.6.1 Radiância Espectral

A radiância espectral de cada banda (L_{λ_i}) representa a energia solar refletida por cada pixel, por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda, medida ao nível do satélite LANDSAT (aproximadamente 705 km de altura), para as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7. Para a banda 6, essa radiância representa a energia emitida por cada pixel e pode ser obtida pela equação (Markham and Barker, 1987):

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

em que a_i e b_i são as radiâncias espectrais mínima e máxima ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$), ND é a intensidade do pixel (número inteiro de 0 a 255) e $i = 1, 2, \dots, 7$, corresponde às bandas 1, 2, ..., 7, do TM Landsat 5.

Os coeficientes de calibração utilizados para as imagens TM são os propostos por Chander & Markham (2003).

2.6.2 Reflectância Monocromática

A reflectância monocromática de cada banda (ρ_{λ_i}), definida como sendo a razão entre o fluxo de radiação solar refletido e o fluxo de radiação solar incidente, foi obtida segundo a equação (Allen et al., 2002; Silva et al., 2005):

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

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 ($Wm^{-2} \mu m^{-1}$), Z é o ângulo zenital solar e d_r é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol, dada por (Iqbal, 1983):

$$d_R = 1 + 0.333 \cos\left(\frac{DSA \cdot 2\pi}{365}\right) \quad (3)$$

Em que o argumento da função cosseno esta em radianos. O valor médio anual de d_R é igual a 1,00 e o mesmo varia entre 0,97 e 1,03, aproximadamente. Quando a área de estudo tem pequena, ou declividade nula, o cosseno do angulo de incidência da radiação solar e simplesmente obtido a partir do angulo de elevação do Sol (E), que se encontra no cabeçalho da imagem, ou seja:

$$\cos Z = \cos\left(\frac{\pi}{2} - E\right) \quad (4)$$

2.6.3 Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN)

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

$$IVDN = \frac{(\rho_{IV} - \rho_V)}{(\rho_{IV} + \rho_V)} \quad (5)$$

Onde: ρ_{IV} e ρ_V correspondem, respectivamente, as bandas 4 e 3 do TM LANDSAT 5.

2.6.4 Albedo no topo da atmosfera e da superfície

O albedo no topo da atmosfera (α_{toa}), isto é o albedo não-corrigido (Eq. 6), expresso pela combinação linear das reflectâncias monocromáticas, e do albedo da superfície (α), corrigido pelos efeitos atmosféricos (Eq.7), foram obtidos pelas seguintes equações:

$$\alpha_{toa} = 0.293\rho_1 + 0.274\rho_2 + 0.233\rho_3 + 0.157\rho_4 + 0.033\rho_5 + 0.011\rho_7 \quad (6)$$

$$\alpha = \alpha_{toa} - \alpha_p / \tau_{sw}^2 \quad (7)$$

em que $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4, \rho_5$ e ρ_7 são os albedos planetários das bandas 1, 2, 3, 4, 5, e 7, e α_{toa} é o albedo planetário, α_p é a radiação solar refletida pala atmosfera, que varia entre 0,025 e 0,04. No SEBAL esse valor é geralmente considerado igual a 0,03 (Bastiaanssen, 2000) e τ_{sw} é a transmissividade atmosférica, obtida para condições de céu claro em função da altitude de cada pixel, por equação proposta por Allen et al.(2002).

$$\tau_{sw} = 0.75 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot Z \quad (8)$$

em que Z representa a altitude de cada pixel.

3 RESULTADOS E DISCURSÕES

Conforme constatações de Gurgel et al. (2003), sabe-se que o IVDN é uma variável significativamente influenciada pelo regime de precipitação pluviométrica de uma região. A Figura 4 mostra a precipitação pluviométrica mensal nos anos de 1991, 2001 e 2008 para as estações de Santana do Ipanema em Alagoas e Águas Belas no Estado de Pernambuco.

Observa-se que o ano de 1991 apresentou menor intensidade pluviométrica nos dois postos estudados, Santana do Ipanema e Águas Belas, com precipitação média anual de aproximadamente 358 mm e 519 mm, respectivamente, sendo que os meses de abril a julho concentraram o maior volume de chuva em ambos os postos. Já em 2001 tiveram-se altos índices de precipitação comparados com o ano de 1991, tendo os meses de junho e julho com precipitações mais intensas (155 mm em Santana do Ipanema e 138 mm em Águas Belas), com um total anual de 552 mm na estação de Santana do Ipanema e de 476 em Águas Belas. Por fim o regime pluviométrico no ano de 2008, também foi acima da média com índices anuais de 993 mm e 543 mm, para ambos os postos.

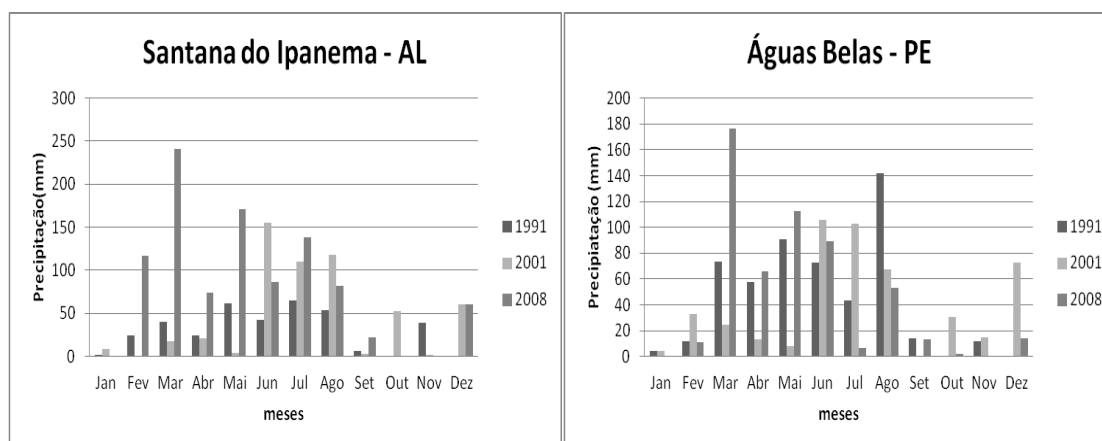


Figura 4 – Variabilidade da precipitação na bacia hidrográfica do rio Ipanema.

Os meses das imagens TM utilizadas apresentaram total pluviométrico médio de 97,3 mm, 40,0 mm e 18,0 mm, para agosto de 1991, outubro de 2001 e setembro de 2008 respectivamente.

3.1 Análise dos Alvos

Analisando o IVDN e o albedo pontual obtido nos três alvos selecionados. Observa-se que a variação temporal do IVDN para o alvo vegetação nativa (A1), verificou-se valores de 0,469 (08/08/1991), 0,285 (06/10/2001) e por fim 0,319 (23/09/2008), com os seguintes albedos, 18%, 29% e 26% respectivamente. Para o alvo solo exposto (A2), teve-se a seguinte variação, valores de IVDN de 0,080 (08/08/1991), 0,197 (06/10/2001) e 0,153 (23/09/2008), resultando os albedos na ordem de 40%, 32% e 36% para os alvos estudados. E por fim na área agrícola (A3), a estimativa foi de valores de IVDN de 0,405 (08/08/1991), com albedo de 13%, IVDN de 0,606 (06/10/2001) com albedo de 22% e IVDN de 0,721 (23/09/2008) com um albedo de 19%.

Em todos os casos percebe-se a correlação entre IVDN *versus* albedo, ou seja, áreas sem cobertura vegetal apresentam um potencial maior para refletir com mais intensidade, e áreas com maior cobertura vegetal refletem menos radiação.

Para avaliar a relação entre o IVDN e o albedo da superfície sobre a bacia do rio Ipanema, foram calculadas as correlações de Pearson para o dia de 08/08/1991 (Figura 5a), 06/10/2001 (Figura 5b) e 23/09/2008 (Figura 5c). Para o cálculo deste coeficiente de correlação considerou-se uma amostra contendo 100 pixel da imagem do sensor TM. Como já era esperado, observa-se uma relação linear inversamente proporcional para as amostras de IVDN e albedo da superfície, apontando para um decréscimo de albedo da superfície com um aumento do IVDN, impulsionado principalmente pelo aumento na intensidade pluviométrica. Os valores de correlação foram de - 0,70, - 0,61 e - 0,43, para os respectivos dias 08/08/1991, 06/10/2001 e 23/09/2008.

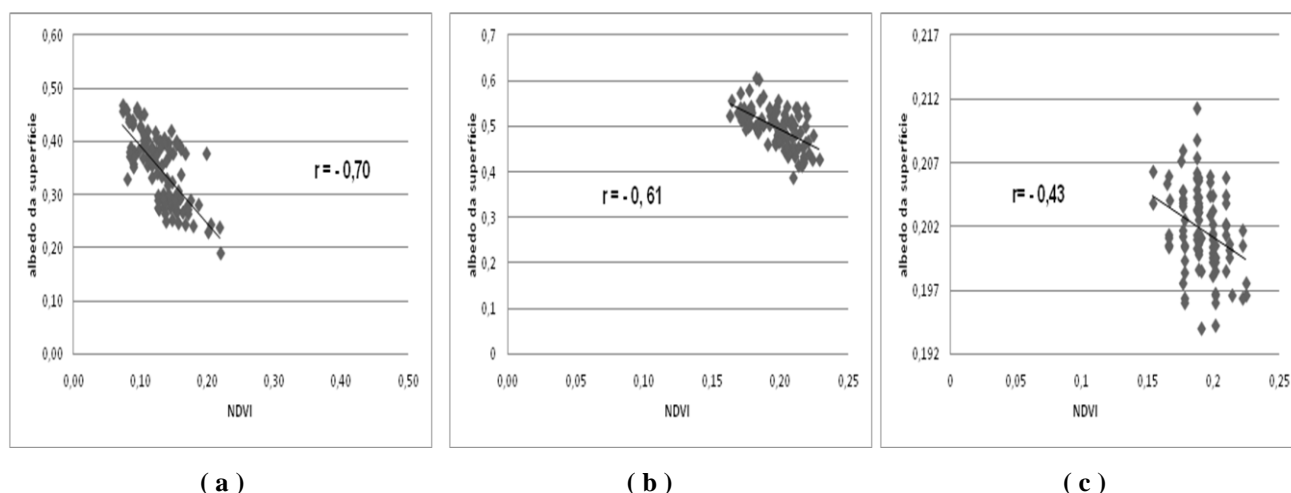


Figura 5 – Correlação de Pearson entre o IVDN e o albedo da superfície em (a) 08/08/1991, (b) 06/10/2001 e (c) 23/09/2008, na bacia do rio Ipanema.

3.2 Análise espaço-temporal do IVDN

A Tabela 2 apresenta os valores estatísticos referentes ao IVDN, para os dias do estudo. Observa-se que os valores médios do IVDN, aumentaram na escala temporal e os maiores valores é observado no dia de 23/09/2008, possivelmente relacionado à melhor gestão da bacia.

Tabela 2 - Valores estatísticos do IVDN (mínimo, máximo, média, desvio padrão e coeficiente de variação) para os dias 08/08/1991, 06/10/2001 e 23/09/2008 da área total do estudo.

Data	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão (σ)	Coeficiente de Variação (cv)
08/08/1991	-0,22	0,706	0,24	$\pm 0,09$	0,37
06/10/2001	-0,97	0,833	0,27	$\pm 0,11$	0,40
23/09/2008	-0,99	1,000	0,30	$\pm 0,14$	0,46

A Figura 6 mostra a variação espacial do IVDN para a bacia do rio Ipanema nos dias 08/08/1991, 06/10/2001 e 23/09/2008, respectivamente. Em agosto de 1991, os maiores valores de IVDN encontrados estão associados à cobertura de vegetação mais densa localizados no extremo norte e centro sul da bacia. Podem ser observados valores negativos de IVDN sobre a água e em áreas úmidas, nas três datas avaliadas, em concordância com o encontrado na literatura.

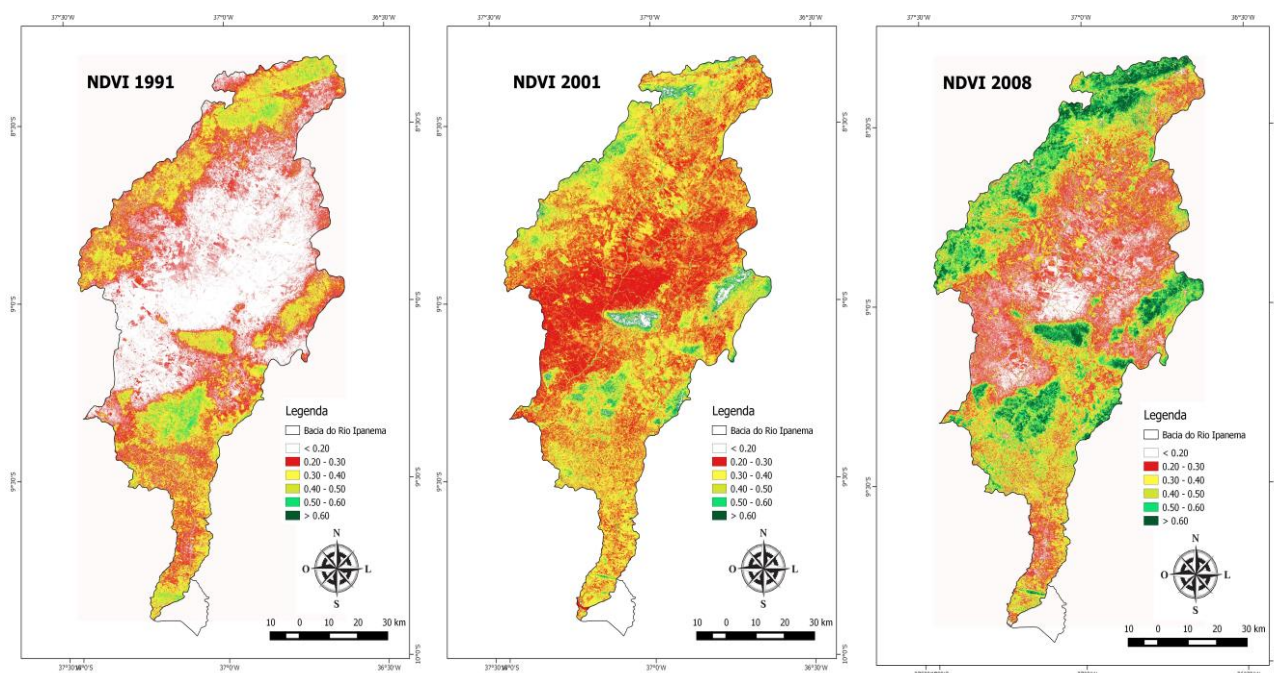


Figura 6 - Distribuição espacial do IVDN na bacia do rio Ipanema nos dias 08/08/1991, 06/10/2001 e 23/09/2008.

Observa-se que espacialmente as áreas mais vegetadas estão localizadas no extremo norte da bacia localizada em áreas com altitudes mais elevadas, e no centro sul da bacia. Os diferentes regimes pluviométricos nas três datas influenciaram diretamente na espacialização do IVDN na bacia, onde se pode observar que no ano de 1991 teve-se uma variação de valores no intervalo de -0,229 a 0,7062, para a imagem do ano 2001 a variação foi de -0,9749 a 0,8338 e por fim a imagem referente ao ano de 2008 variou de -0,998 a 1. Analisando-se cronologicamente a evolução da variabilidade do IVDN ao longo dos anos, identifica-se uma tendência cíclica de aumento e redução dessa variável ao longo do tempo, sendo fortemente influenciada pela precipitação daquele ano, mesmo estando essas concentradas nos meses de março a julho. Essa variabilidade foi também observada por Li et al. (2004), que atribuíram o efeito da precipitação pluviométrica, como a principal fonte indutora.

3.3 Análise espaço-temporal do Albedo da Superfície

A Tabela 3 apresenta os valores estatísticos referentes ao albedo da superfície, para os anos do estudo.

Tabela 3 - Valores estatísticos do albedo da superfície (mínimo, máximo, média, desvio padrão e coeficiente de variação) para os dias 08/08/1991, 06/10/2001 e 23/09/2008 da área total do estudo.

Data	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão (σ)	Coefficiente de Variação (cv)
08/08/1991	1	59	0,10	$\pm 0,14$	1,4
06/10/2001	0,5	53	0,08	$\pm 0,12$	1,5
23/09/2008	1	44	0,05	$\pm 0,10$	2,0

Analisando-se a Figura 7 representando a variação espaço temporal do albedo da superfície na bacia do rio Ipanema nos dias 08/08/1991, 06/10/2001 e 23/09/2008, respectivamente percebe-se

que, em geral, os valores mais elevados (até 59%) encontram-se no centro da bacia, corroborando com os valores de IVDN, já as áreas mais claras são áreas com menor valor de albedo da superfície.

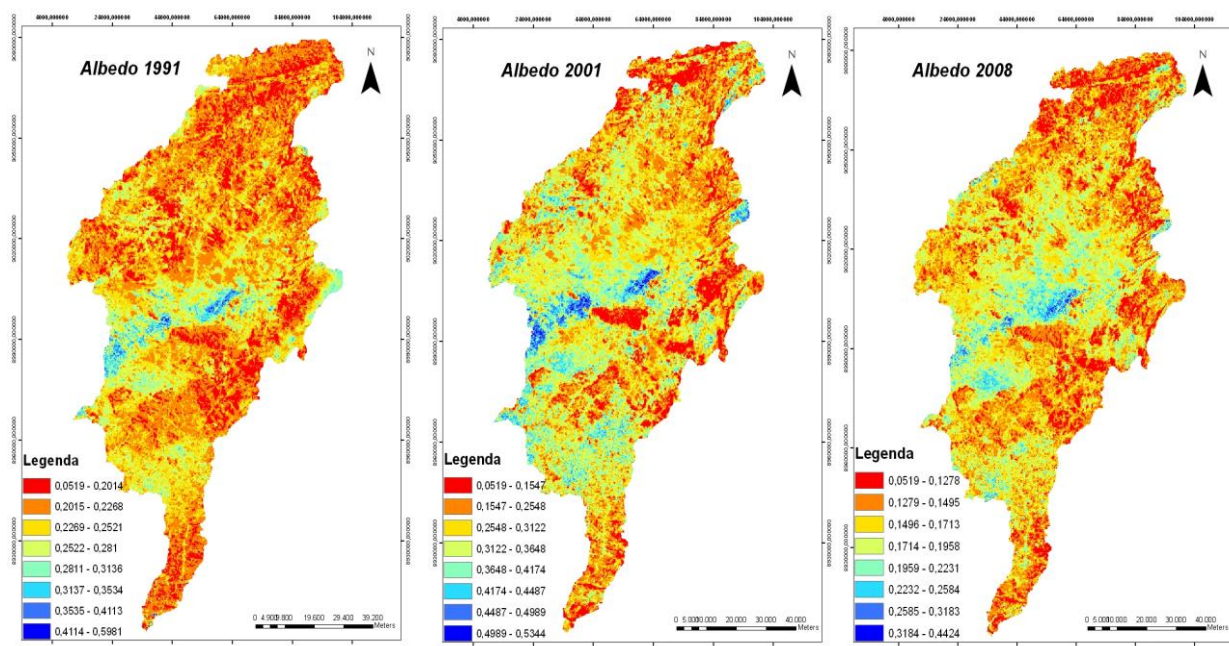


Figura 7 - Distribuição espacial do albedo na bacia do rio Ipanema.

Na espacialização do albedo na bacia, onde se observa que no dia 06/10/1991 teve-se uma variação de valores no intervalo de, ~1% a 59%, para a imagem do ano 2001 a variação entre, ~0,5% a 53% e por fim a imagem referente ao dia 23/09/2008 variou de, ~1% a 44%.

Esses resultados estão de acordo com os encontrados por Tasumi et al. (2005), que observaram valores entre 16 e 24% para regiões agricultáveis em Idaho – EUA. Os maiores valores de albedo encontrados estão ligados a superfícies com maior poder de reflexão, como solos com pouca vegetação ou expostos, como observado na literatura. Meireles (2007), em estudo na bacia do Acaraú - CE, encontrou valores entre 3 e 10% para corpos de água um pouco superiores aos encontrados nesta pesquisa. Já Silva et al. (2005) mostraram que corpos de água, tais como o lago de Sobradinho e pequenos açudes do perímetro irrigado Nilo Coelho, apresentaram valores entre 9 e 12%. Silva et al (2006), em estudo realizado no município de Petrolina, na região nordeste do Brasil, observou que áreas com presença de solo exposto e área urbana apresentaram valores de albedo superiores a 35%. Já áreas com vegetação nativa e áreas de agricultura irrigada o albedo variou entre 10% e 25%, o que também foi verificado em estudo realizado por Novas (2008), em área do estado de Alagoas e Bastiaanssen (2000) na bacia do Rio Gediz, na Turquia.

4 CONCLUSÕES

Concluiu-se que tanto o IVDN como o albedo da superfície, apresentou uma caracterização satisfatória, para a dinâmica espaço-temporal da bacia do Rio Ipanema. A distribuição da cobertura vegetal da bacia do rio Ipanema, aumentou tanto na escala espacial, como na escala temporal, fator esse ligado diretamente as precipitações na bacia. O albedo da superfície, respondeu de forma inversamente proporcional, ao mapa de IVDN. As análises dos alvos pré-selecionados, ratifica a correlação satisfatória entre os parâmetros de IVDN e o albedo da superfície na bacia do rio Ipanema. O algoritmo SEBAL se apresenta como uma ferramenta importante para a obtenção da distribuição espaço-temporal no cômputo da cobertura vegetal. Evidenciando que o mesmo pode ser aplicado de forma operacional, para grandes áreas, utilizando imagens de baixa resolução.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório SENSORGEO-ICAT/UFAL. Aos organizadores do CONGREGMET XII.

REFERÊNCIAS

Allen, R.G. et al. (2002). (Surface Energy Balance Algorithms for Land), Advanced training and users manual. Idaho: Implementation, v.1.0.

Bastiaanssen, W. G. M.; Menenti, M.; Feddes, R. A. & Holtslag, A. A. M. A. (1998a). Remote Sensing Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) 1. Formulation. Journal of Hydrology, v. 212- 213, p. 198-212.

Bastiaanssen, W.G.M. (2000). SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. Journal of Hydrology, Amsterdam, v.229, n.1, p.87-100.

Chander; G.; Markham; B. (2003). Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and post calibration dynamic ranges. Idée transactions on geosciences and remote sensing. v.41, n.11, p.2674- 2677.

Gurgel, H.C.; Ferreira, N.J.; Luiz, A.J.B. (2003). Estudo da variabilidade do IVDN sobre o Brasil utilizando-se a análise de agrupamento. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.7, n.1, p.85-90.

Iqbal, M. (1983). An Introduction to Solar Radiation. New York: Academic Press. 212p.

Li, J.; Lewis, J.; Rowland, J.; Tappan, G.; Tieszen, L. L.(2004). Evolution of land performance in Senegal using multi-temporal IVDN and rainfall series. Journal of Arid Environments, v. 59, p. 463-480.

Markham, B.L.; Barker, J.L. (1987). Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances. International. Journal of Remote Sensing, v.8, n.3, p.517-523.

Meireles, M. (2007). Estimativa da evapotranspiração real pelo emprego do algoritmo sebal e imagem Landsat 5 - TM na bacia do Acaraú – CE. Dissertação de Mestrado em Irrigação e Drenagem, UFC.

Novas, M. F. B. (2008). Mapeamento das estimativas de saldo de radiação e índices de vegetação em área do estado de Alagoas com base em sensores remotos. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. UFAL.

Ponzoni, F.J.; Shimabukuro, Y.E.. 2007. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação. São José dos Campos, SP, Ed. Parêntese, 127p.

Silva, B.B.; Lopes, G.M.; Azevedo, P.V. (2005). Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5 - TM. Revista Brasileira de Meteorologia, v.20, n.2, p.243-252.

Silva, B. B. da; Bezerra, M. V. C.; Braga, A. C.; Silva, S. T. A. da. (2006). Obtenção de albedo de áreas irrigadas e de vegetação nativa em Petrolina e vizinhanças com imagens Landsat 7 - ETM+. Anais... III Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, Aracaju/SE.

Tasumi, M.; Trezza, R.; Allen, R. G.; Wright, J. L. (2005). Operational aspects of satellite-based energy balance models for irrigated crops in the semi-arid U.S. Irrigation and Drainage Systems, v.19, p.355- 376.