

ÍNDICES DE VEGETAÇÃO POR SENSORIAMENTO REMOTO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TAPACURÁ - PE

Leidjane Maria Maciel de Oliveira^{1}; Suzana Maria Gico Lima Montenegro²; Bernardo Barbosa da Silva³; Albert Einstein Spíndola Saraiva de Moura⁴; Ana Claudia Villar e Luna Gusmão⁵ & João Hipólito Paiva de Britto Salgueiro⁶*

Resumo: As propriedades espectrais da vegetação têm sido monitoradas e avaliadas por meio de imagens geradas por sensoriamento remoto. Desse modo, tem sido possível identificar alterações no uso e ocupação do solo, particularmente em bacias hidrográficas. Este trabalho objetivou avaliar alterações na cobertura vegetal na bacia do rio Tapacurá em Pernambuco, por meio dos índices NDVI e NDWI utilizando duas imagens do TM - Landsat 5 de 10/07/1989 e 29/08/2007. O NDVI apresentou valores médios em 1989 e 2007, respectivamente iguais a 0,355 e 0,324. Os maiores valores configuraram feições da superfície terrestre com a presença de vegetação com maior atividade fotossintética, configurando a preservação da biomassa vegetal existente. O NDWI apresentou valores médios em 1989 e 2007, respectivamente iguais a 0,296 e 0,340, onde os maiores valores mostraram que a vegetação possui maior teor de água em sua estrutura interna, evidenciado no entorno da superfície inundável do reservatório do Tapacurá, configurando a mata ciliar em proximidade com os corpos hídricos. O NDVI e NDWI apresentaram dinâmicas espaciais semelhantes nos anos estudados, evidenciando a ampliação das áreas urbanas, bem como a caracterização da dinâmica temporal da superfície terrestre na bacia do rio Tapacurá – PE mediante imagens orbitais TM Landsat5.

Palavras-chave: NDVI, NDWI, precipitação.

VEGETATION INDICES FOR REMOTE SENSING THE RIVER BASIN TAPACURÁ - PE

Abstract. The spectral properties of vegetation have been monitored and evaluated by means of images generated by remote sensing. Thus, it has been possible to identify changes in the use and occupation of land, particularly in watersheds. This study aimed to evaluate changes in vegetation cover in the basin of the river Tapacurá in Pernambuco, through indices NDVI and NDWI using two images of the TM - Landsat 5 of 10/07/1989 and 29/08/2007. The NDVI showed values in 1989 and 2007, respectively equal to 0.355 and 0.324. The highest values configured surface features with the presence of vegetation with higher photosynthetic activity, setting the preservation of existing vegetation biomass. The NDWI showed values in 1989 and 2007, respectively equal to 0.296 and 0.340, which represented the highest values that vegetation has a higher water content in their internal structure, evidenced in the vicinity of the surface of the reservoir flooded Tapacurá, setting the riparian in proximity to water bodies. The NDVI and NDWI showed similar spatial dynamics in the years studied, showing the expansion of urban areas and to characterize the temporal dynamics of the surface in the river basin Tapacurá - PE by TM satellite images Landsat5.

Keywords: NDVI, NDWI, precipitation.

^{1*} Bolsista de Pós-Doutorado da CAPES/FACEPE/APAC em Engenharia Civil na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), e-mail: leidjaneoliveira@hotmail.com

² Professora do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), e-mail: suzanam@ufpe.br

³ Bolsista Pesquisador da FACEPE do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), e-mail: bbdasilva.ufpe@gmail.com

⁴ Bolsista de Pós-Doutorado do CNPQ em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), e-mail: aessmoura@yahoo.com.br

⁵ Doutoranda em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), e-mail: villareluna@yahoo.com.br

⁶ Engenheiro Hidrólogo da CPRM / SGB e Doutorando da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), e-mail: joao.salgueiro@cprm.gov.br

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o sensoriamento remoto (SR) alcança cada vez mais altos índices de utilização, pois com qualidade e agilidade é uma forma efetiva e econômica para coletar dados necessários para monitorar e modelar fenômenos da natureza. De fato, o SR tem se tornado uma importante tecnologia para obtenção de informações climáticas e ambientais, por possibilitar a análise sinóptica ou detalhada do objeto de estudo, pela velocidade no processamento dos dados, praticidade e baixo custo (Novais *et al.*, 2011; Oliveira *et al.*, 2011, 2012). Outro relevante aspecto que deve ser considerado é que suas ferramentas possibilitam o estudo dos dosséis, observando parâmetros espectrais da vegetação e parâmetros biofísicos da paisagem (Chagas *et al.*, 2008), possibilitando observações das variações na paisagem através de mudanças na reflectância, bem como nos índices de vegetação (IV's).

Diversos índices de vegetação têm sido propostos com o objetivo de explorar as propriedades espectrais da vegetação, especialmente nas regiões do visível e do infravermelho próximo (Ponzoni e Shimabukuro, 2010). Estes índices são relacionados a parâmetros biofísicos da cobertura vegetal, como biomassa e índice de área foliar, além de minimizarem os efeitos de iluminação da cena, declividade da superfície e geometria de aquisição que influenciam nos valores de reflectância da vegetação. Todavia, deve-se assinalar que, não é possível unificar todas as propriedades espectrais em um único índice de vegetação; assim vários índices foram criados, gerando em cada índice uma abordagem que lhe é totalmente peculiar, a exemplo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI).

O NDVI, que foi proposto por Rouse *et al.* (1973), permite a detecção de mudanças sazonais e interanuais no desenvolvimento e atividades da vegetação, possibilitando o perfil temporal de crescimento e pico de verde. Diversas pesquisas foram desenvolvidas com o NDVI, como a de Silva *et al.* (2009) que estudaram a dinâmica espaço-temporal da vegetação no semiárido pernambucano com imagens TM - Landsat 5 nos anos de 1994, 1997 e 2001, e detectaram áreas em processo de desertificação na região de estudo. Também, Borges *et al.* (2010) mapearam e quantificaram parâmetros biofísicos em área de algodoeiro irrigado, também com imagens TM Landsat 5. Com a pesquisa, observaram que os valores do NDVI foram compatíveis com outros estudos da mesma cultura. Ainda, Freire *et al.* (2009) geraram imagens do NDVI através de dados do sensor TM - Landsat e compararam com diversos usos e cobertura do solo na bacia do Rio Salitre na Bahia. Os autores detectaram que a maior parte da bacia encontrava-se com NDVI de 0,0 a 0,1 (solo exposto), verificando-se a alta exploração dos recursos ambientais na bacia.

O NDWI foi proposto por Gao (1996) e permite detectar melhor a mudança da biomassa vegetal no que concerne a quantidade de água em culturas agrícolas, pela configuração do estresse hídrico no ambiente, através da relação entre as bandas do infravermelho próximo e do infravermelho médio. Oliveira *et al.* (2010), em pesquisas com análise espaço-temporal do NDWI associado ao albedo na bacia hidrográfica do rio Moxotó em Pernambuco, conseguiram avaliar a mudança de uso e ocupação do solo da região. Ferreira *et al.* (2011) avaliaram os parâmetros biofísicos da vegetação de caatinga e agricultura irrigada do município de Petrolina – PE, e constataram que o NDWI permitiu a visualização de uma maior discriminação da agricultura irrigada com relação à vegetação nativa.

A bacia hidrográfica do rio Tapacurá se destaca pela relevante contribuição ao abastecimento público da Região Metropolitana do Recife. Pesquisas com índices de vegetação vêm a contribuir com o monitoramento do uso e ocupação do solo da bacia. Este trabalho objetivou avaliar os índices de vegetação (NDVI e NDWI) por sensoriamento remoto na bacia do rio Tapacurá – PE.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do rio Tapacurá (Figura 1), integrante da Rede de Hidrologia do Semiárido (REHISA), com área aproximada de 480 km² e uma das mais importantes sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Capibaribe.

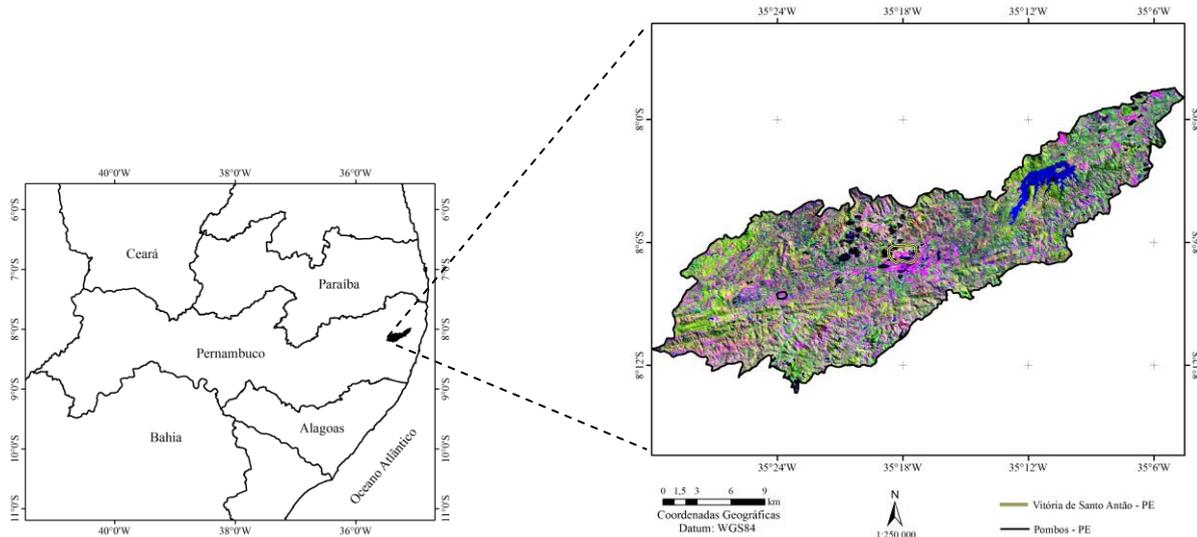


Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do rio Tapacurá - Pernambuco

O relevo da bacia está em sua maior parte constituído por colinas e cristas. A vegetação divide-se em remanescentes da Mata Atlântica em sua maior parte e Caatinga no seu sudoeste. O período chuvoso posiciona-se entre os meses de março a julho, com precipitação média anual de 1.017 mm. A temperatura média mensal oscila entre 23,7 e 27,0 °C (Braga, 2001).

Foram utilizadas duas imagens do Mapeador Temático do satélite Landsat 5, órbita 214, ponto 66, compostas por sete bandas espectrais e disponíveis no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), datadas de 10 de julho de 1989 e 29 de agosto de 2007.

Para obtenção dos índices de vegetação NDVI e NDWI, a primeira etapa foi o cálculo da calibração radiométrica que corresponde à obtenção da radiação espectral de cada banda ($L_{\lambda i}$), com a aplicação da equação de Markham e Baker (1987):

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

em que: “a” e “b” são radiâncias espectrais mínima e máxima ($Wm^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$) obtidas 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.

A reflectância ($\rho_{\lambda i}$) corresponde à razão entre o fluxo de radiação refletida por cada banda e o fluxo de radiação incidente, conforme apresentado na equação (Allen *et al.*, 2002):

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

em que: $L_{\lambda i}$ é a radiância espectral de cada banda; $K_{\lambda i}$ irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($Wm^{-2} \mu m^{-1}$); Z ângulo zenital solar e d_r o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol (r_0) e a distância Terra-Sol (r) em dado dia do ano (DSA).

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) apresenta uma variação entre -1 e +1, pela equação de Rouse *et al.* (1973) sendo que, em superfícies com vegetação verde, os valores variam de 0 a 1 e, na água ou nuvens, os valores predominam menores que zero, sendo obtido por:

$$NDVI = \frac{(\rho_{IV} - \rho_V)}{(\rho_{IV} + \rho_V)} \quad (3)$$

em que: ρ_{IV} e ρ_V correspondem, respectivamente, às reflectâncias das bandas 4 e 3 do TM-Landsat 5. A banda 4 (infravermelho próximo) apresenta medidas de comprimentos de onda na ordem de 0,76 – 0,79 μm e a banda 3 (vermelho) possui comprimentos de onda de 0,63 – 0,69 μm .

O Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI) foi obtido pela relação entre as bandas 4 e 5 do TM - Landsat 5, correspondentes às bandas do infravermelho próximo (ρ_{IV}) com comprimentos de onda entre 0,76 – 0,79 μm , e infravermelho (ρ_{mir}), médio com medida entre 1,55 – 1,75 μm (Gao, 1996):

$$NDWI = \frac{(\rho_{IV} - \rho_{mir})}{(\rho_{IV} + \rho_{mir})} \quad (4)$$

Para identificação dos índices pluviométricos da bacia do rio Tapacurá foram utilizados dados do Instituto Tecnológico do Estado de Pernambuco (ITEP) para os anos de 1989 e 2007 na estação do município de Vitória de Santo Antão – PE. Observa-se que entre os meses de março a setembro dos anos de 1989 e 2007, totalizaram respectivamente, 919,0 e 787,0 mm. O mês de julho apresentou índice pluviométrico com maior magnitude no ano de 1989 (215,9 mm) em relação ao ano de 2007 (85,5 mm). Comportamento oposto foi detectado no mês de agosto de 1989 (81,6 mm) e, em 2007 (115,30 mm).

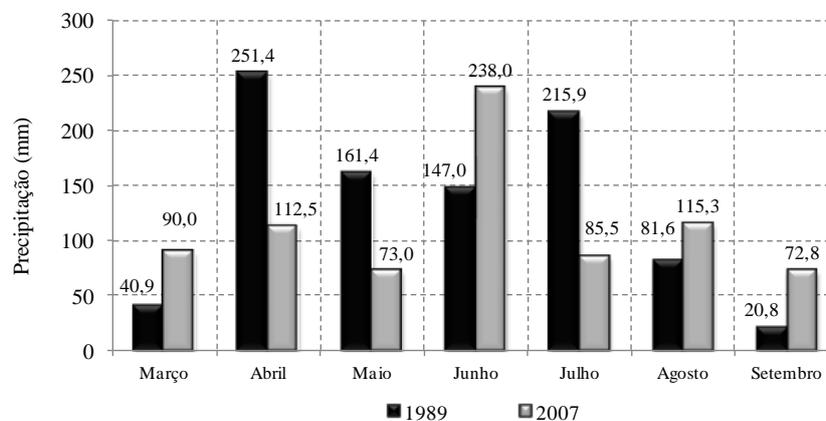


Figura 2. Precipitação mensal na bacia hidrográfica do rio Tapacurá – PE

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O NDVI na bacia do rio Tapacurá apresentou classes com valores menores que 0 (zero) até maiores que 0,81 (Figura 3). Ressalta-se que esses valores configuraram feições da superfície terrestre com a presença de vegetação fotossinteticamente ativa, relacionando a biomassa e o teor de clorofila presente. Comportamento semelhante (NDVI acima de 0,80) foi encontrado por Silva *et al.* (2010) em áreas de vegetação bastante densas nas bacias do rio Mogi-Guaçu em São Paulo.

Observa-se que as classes do NDVI com valores mais baixos (0,00 – 0,20), localizadas nas áreas urbanas de Pombos e Vitória de Santo Antão, configuram vegetação estressada ou área degradada pela ação antrópica, decorrente de escassez hídrica, que tem como consequência a

exposição do solo com o desmatamento e a degradação ambiental. De acordo com Huete e Tucker (1991), o NDVI para os solos expostos são, geralmente, na faixa de 0,05 a 0,30, entretanto, devido às propriedades óticas do solo, não se pode definir uma faixa rigorosa de valores de NDVI para solos com pouca ou nenhuma vegetação.

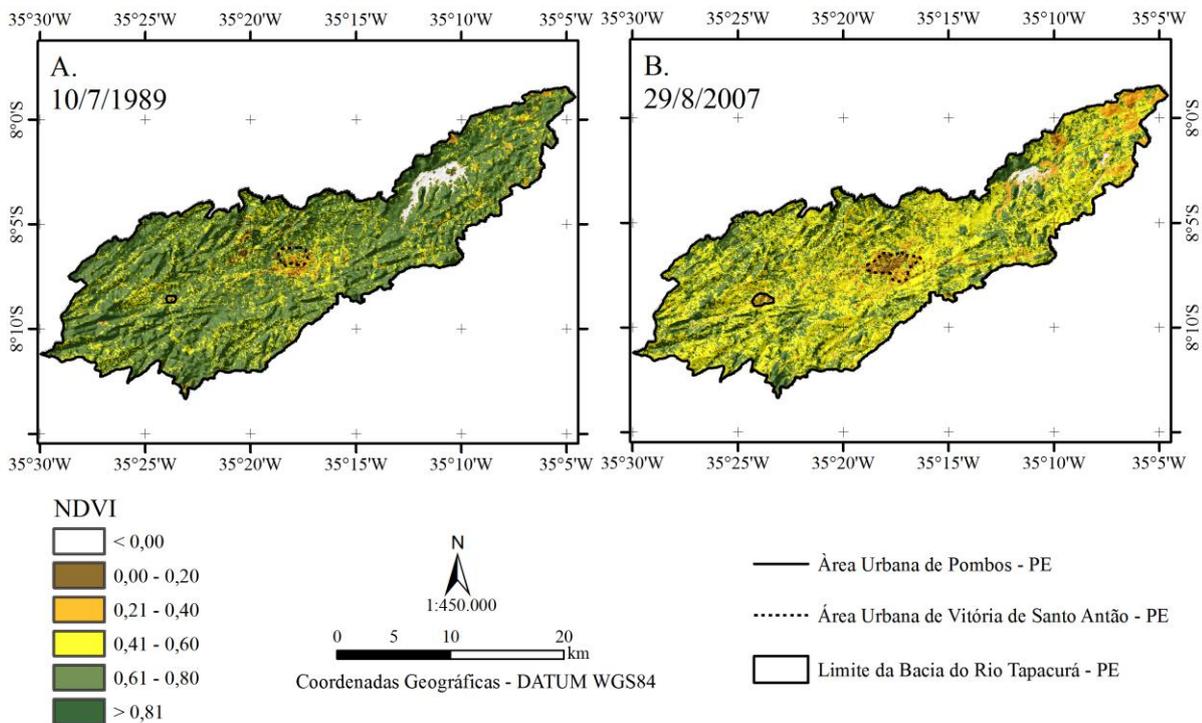


Figura 3. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na bacia do rio Tapacurá – PE

Pelas cartas georreferenciadas do NDVI (Figura 3) ficou evidente um decréscimo de classe ($> 0,81$) em 1989, para classe (0,41 – 0,60) em 2007. Ressalta-se a influência do decréscimo do evento chuvoso nas datas imageadas (Figura 2), influenciando em menor taxa de biomassa da vegetação, onde em julho de 1989 foi registrado 215,9 mm e, em agosto de 2007 o total mensal de 115,3 mm.

A Tabela 1 apresenta os valores estatísticos do NDVI para os dois anos estudados, podendo constatar que no ano de 2007 o valor médio foi inferior ao ano de 1989.

Tabela 1. Valores estatísticos do NDVI para os dias estudados

Imagem	Valores estatísticos do NDVI				
	mínimo	médio	máximo	moda	desvio padrão
10/07/1989	-0,999	0,355	0,846	0,197	0,228
29/08/2007	-0,999	0,324	0,810	0,195	0,186

Os resultados do NDVI foram condizentes com Silva *et al.* (2009) que obtiveram valores médios de 0,373 (1994); 0,295 (1997) e 0,261 (2001) em área de vegetação conservada no semiárido pernambucano. Borges *et al.* (2010), em algodoeiro irrigado no Ceará, registraram NDVI menores que 0,2 até maiores que 0,75. Novais *et al.* (2011), em pesquisas na área de preservação

ambiental de São Desidério – BA, encontraram valores de NDVI entre 0 e 0,7. Estes mesmos autores detectaram que os menores valores de NDVI estavam associados às áreas cuja vegetação encontrava-se em estágio de degradação pela ação antrópica e, os maiores valores, correspondem à vegetação sadia com maior densidade de biomassa verde. Em estudo mais detalhado, realizado por Morais *et al.* (2011), no município de Floresta – PE com TM Landsat5, constataram-se as variações: vegetação aberta com porte mais arbustivo (NDVI = 0,289 - 0,441); vegetação de transição com espaçamentos entre os dosséis (NDVI = 0,442 - 0,594) e; vegetação densa de caráter arbóreo com menor distância entre as espécies (NDVI = 0,595 a 0,803).

O NDWI na bacia do rio Tapacurá apresentou classes com valores menores que 0 (zero) até maiores que 0,81 (Figura 4).

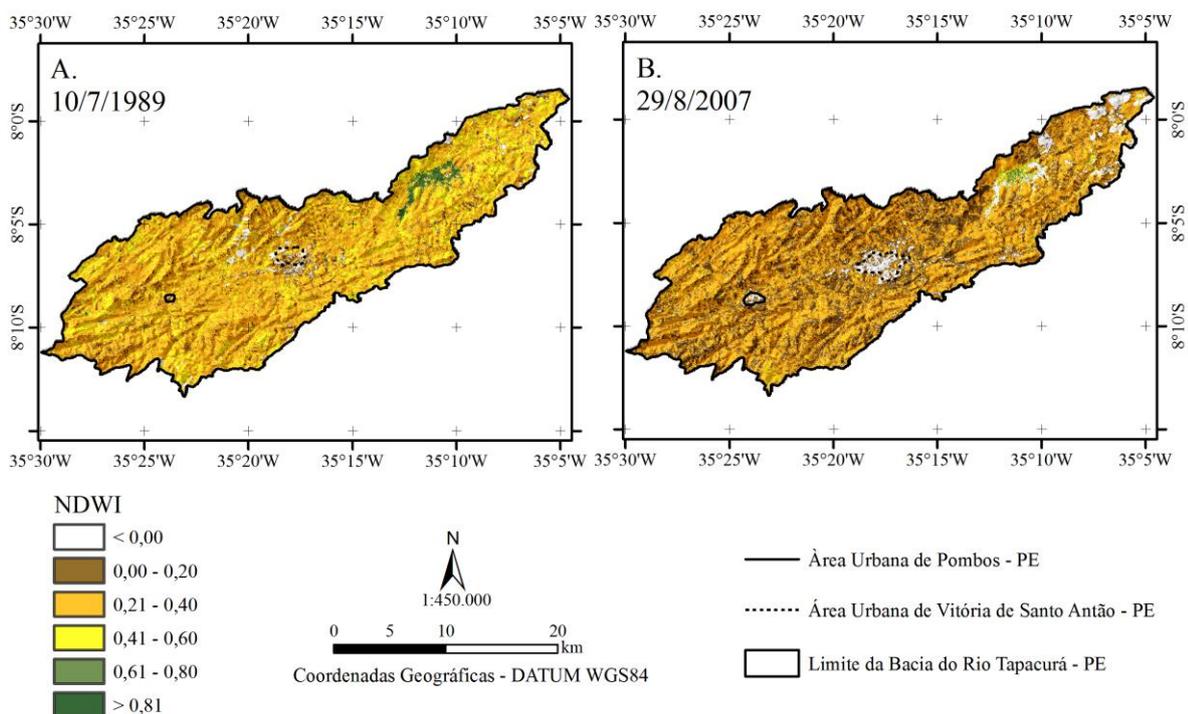


Figura 4. Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI) na bacia do rio Tapacurá – PE

Pelas cartas georreferenciadas do NDWI (Figura 4), semelhante ao constatado no NDVI, pode-se verificar um decréscimo da classe (0,41 – 0,60) em 1989, para classe (0,00 – 0,20) em 2007, tal decréscimo recebeu também influência do evento chuvoso que ocorreu na área de estudo (Figura 2). De maneira mais específica, constata-se que os valores mais elevados de NDWI representam que a vegetação possui maior teor de água em sua estrutura interna. Em contrapartida, os menores valores são indicativos de que a vegetação contém a menor quantidade de água. Observa-se também esta afirmativa nos valores médios da Tabela 2 bem como em Gao (1996) quando este autor detalhou que valores inferiores a zero, representam áreas com vegetação seca, enquanto valores positivos representam vegetação verde, pois o NDWI relaciona a quantidade de água por unidade de área na vegetação.

Percebe-se que em 2007 a bacia encontrava-se em estresse hídrico, constatado na predominância de baixos valores de NDWI. Novais *et al.* (2011) observaram também este mesmo comportamento de estresse hídrico em sua área de estudo, pois os maiores valores encontrados pelos autores foram inferiores a 0,35.

Tabela 2. Valores estatísticos do NDWI para os dias estudados

Imagem	Valores estatísticos do NDWI				
	mínimo	médio	máximo	moda	desvio padrão
10/07/1989	-0,999	0,296	0,999	0,663	0,485
29/08/2007	-0,999	0,340	0,999	0,664	0,430

Nas áreas urbanas de Pombos e Vitória de Santo Antão, o NDWI apresentou feições com valores negativos, evidenciando a expressiva ausência de umidade no solo decorrente das atividades antrópicas e expansão territorial entre 1989 e 2007.

Ferreira *et al.* (2011) encontraram valores de NDWI no município de Petrolina – PE variando de 0,00 a 0,29 em vegetação verde e, em alguns casos, onde a vegetação apresentava-se seca, valores inferiores a zero. As classes do NDWI desta pesquisa foram diferentes daquelas obtidas por Oliveira *et al.* (2010) quando estudaram a bacia do rio Moxotó – PE com imagens orbitais de 1987 até 2010, e obtiveram NDWI variando de valores menores que zero e maiores que 0,351.

Ao comparar o NDVI e o NDWI de 1989 para 2007 detectam-se que, ambos os índices, apresentaram decréscimos de classes que configuraram as feições da superfície terrestre, em especial ao vigor da vegetação. As regiões com menores valores indicam a vegetação em estresse hídrico ou pouco fotossinteticamente ativo. Opostamente, os maiores valores expressos de ambos os índices indicam maior teor de umidade, bem como pigmentos clorofilados.

Ainda na análise comparativa entre os dois índices (Figuras 3 e 4), percebe-se que os valores mais elevados, como esperado, apresentaram-se no entorno da superfície inundável do reservatório do Tapacurá, mais nitidamente percebido nas coordenadas (8°02' de latitude Sul e 35°11' de longitude Oeste – Figura 3A). Esses altos valores localizados na mata ciliar são representados tanto no NDVI quanto no NDWI, pois além de fotossinteticamente ativa, apresenta também alta taxa de umidade devido a proximidade dos corpos hídricos.

4. CONCLUSÕES

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Água por diferença Normalizada (NDWI) apresentaram dinâmicas espaciais semelhantes nos anos estudados, evidenciando a ampliação das áreas urbanas, bem como a caracterização da dinâmica temporal da superfície terrestre na bacia do rio Tapacurá – PE mediante imagens orbitais TM Landsat5.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES); ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE); à Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC); ao Instituto Tecnológico de Pernambuco (ITEP); ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e à Rede de Hidrologia do Semiárido (REHISA).

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G., TREZZA, R. & TASUMI M. (2002) Surface energy balance algorithms for land. Advance training and user's manual, version 1.0, 98 p.
- BORGES, V. P.; OLIVEIRA, A. S.; SILVA, B. B. da. (2010). Mapeamento e quantificação de parâmetros biofísicos e radiação líquida em área de algodoeiro irrigado. *Ciência Agrotécnica*, v.3, n. 2, pp.485 - 493.
- BRAGA, R. A. P. (2001). Gestão ambiental da bacia do rio Tapacurá – Plano de ação. UFPE/CTG/DECIVIL/GRH, apoio FINEP e FACEPE, Recife, 101 p.

- CHAGAS, M. das G. S. das; GALVÍNCIO, J. D.; PIMENTEL, R. M. de M. (2008). Avaliação da dinâmica espectral da vegetação de caatinga em Arcoverde, Pernambuco. *Revista de Geografia*, v. 25, nº 2, pp. 45 – 60.
- CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; BARSÍ, J. A. (2007) Revised Landsat-5 thematic mapper radiometric calibration. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, v.4, n.3, p. 490 - 494.
- FERREIRA, H. S.; SILVA, H. A. da.; OLIVEIRA, T. H. de; NETO, R. X. de M.; GALVÍNCIO, J. D.; PIMENTEL, R. M. de M. (2011). Avaliação dos parâmetros biofísicos da vegetação de caatinga e agricultura irrigada do município de Petrolina – PE através do NDVI, NDWI e Temperatura da Superfície. In: *Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)*, São José dos Campos, INPE, 201, pp. 1843 – 1840.
- FREIRA, M. S.; RAMOS, R. R. D.; LOPES, H. L.; SOBRAL, M. do C.; ACCIOLY, L. J. de O. Análise espacial temporal da vegetação na bacia do rio Salitre – Bahia. (2009). In: *Anais do Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (SBRH)*, Campo Grande – MS, Nov. 2009.
- GAO, B.C. (1996) NDWI – A Normalized Difference Water Index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote sensing of Environment*, v.58, p. 257 - 266.
- HUETE, A.R.; TUCKER, C.J. (1991). Investigation of soil influence in AVHRR red and near infrared vegetation index imagery. *International Journal of Remote Sensing*, v.12, p. 1223 - 1242.
- MARKHAM, B. L.; BARKER, L. L. (1987). Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances. *International Journal of Remote Sensing*, v.8, n.3, p. 517 - 523.
- MORAIS, Y. C. B.; SANTOS, B. O.; LAURENTINO, M. L. S.; SILVA, J. C. B., GALVÍNCIO, J. D. (2011) Análise da vegetação da Área de Preservação Ambiental de São Desidério - BA, a partir do NDVI e NDWI. In: *Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)*, São José dos Campos, INPE, pp. 2126 – 2434.
- NOVAIS, L. R.; LIMA, A. da C.; RODRIGUES, J. A.; COSTA, A. M. dos S.; BORGES, E. F.; ANJOS, C. S. de. (2011) Análise da vegetação da Área de Preservação Ambiental de São Desidério - BA, a partir do □NDVI e □NDWI. In: *Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)*, São José do Campos, INPE, pp. 1888 – 1894.
- OLIVEIRA, L. M. M., MONTENEGRO, S. M. G. L., ANTONINO, A. C. D.; SILVA, B. B. da; MACHADO, C. C. C.; GALVÍNCIO, J. D. (2012). Análise quantitativa de parâmetros biofísicos de bacia hidrográfica obtidos por sensoriamento remoto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.47, n.9, pp.1209 - 1217.
- OLIVEIRA, L. M. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANTONINO, A. C. D.; MACHADO, C. C. C.; OLIVEIRA, T. H.; SILVA, B. B. da; GALVÍNCIO, J. D. Diagnóstico do albedo de superfície e índice de área foliar na bacia hidrográfica do rio Tapacurá – PE. (2011). In: *Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)*, São José dos Campos, INPE, pp. 1888 – 1894.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. (2010) Sensoriamento remoto no estudo da vegetação. *S. J. Campos*, 135 p.
- ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. (1973) Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. *Prog. Rep. RSC 1978-1*. Remote Sensing Cent., Texas A&M Univ., College Station.
- SILVA, A. P. N da; MOURA, G. B. de A.; GIONGO, P. R.; SILVA, A. O da. (2009) Dinâmica espaço-temporal da vegetação no semiárido de PE. *Revista Caatinga*, v.22, n.4, p. 195 – 205.
- SILVA, B. B. da; SILVA, S. T. A.; GOMES, H. B. (2010). Alterações climáticas decorrentes de mudanças no uso da terra mediante sensoriamento remoto. *Revista Mercator*, v.9, n. 1, pp. 91 - 106.