

Aplicação de técnicas de sensoriamento remoto para monitorar o comportamento da vegetação de Caatinga frente às condições climáticas no município de Petrolina - PE

Henrique dos Santos Ferreira¹
Johnny Mayron Santana Ferreira¹
Hewerton Alves da Silva¹
Pedro dos Santos Ferreira
Viviane Pedrosa Gomes
Josiclêda Domiciano Galvíncio¹

¹ Dept. Ciências Geográficas, Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária - CEP: 50670-901 - Recife – PE, Brasil
henriquehsf86@hotmail.com, johnnymayron@hotmail.com, hewas.ufpe@gmail.com,
pedro_spe@hotmail.com, vivianegomes2406@hotmail.com, josicleda@hotmail.com

Abstract. The Remote Sensing techniques have been used widely for analysis and monitoring of natural resources, representing an important tool for mapping and monitoring of land resources in different temporal and spatial scales. Among the Remote Sensing techniques used, the vegetation indexes like NDVI have played an important role in forestry studies. This study aims to analyze the behavior of savanna vegetation ahead climatic conditions in the city of Petrolina - PE, through remote sensing technique. For such, images from the Thematic Mapper sensor of Landsat 5 satellite were used in this study. The images were obtained in orbit 217 and paragraphs 66 and 67, with dates imaging in 09/08/1998, 04/12/2000, 24/09/2009 and 27/11/2009. The images have undergone processes of geometric correction and then it was calculated the radiance and reflectance for generation of NDVI. In this study it was used also climatic data. The NDVI values varied according to rainfall events in the rainy season, moment when the NDVI measured the highest values of chlorophyll in vegetation areas of savanna. The application of NDVI proved to be satisfactory for monitoring the species in savanna biome.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, índices de vegetação, condições climáticas, remote sensing, index vegetation, climatic conditions

1. Introdução

Um dos fatores mais importantes e determinantes na distribuição espacial dos diferentes tipos de vegetação natural é representado pelas características climática da região (Buriol et al, 2007). A região do semiárido brasileiro possui cerca de 940 mil km² de extensão, ocupando uma área de aproximadamente 86% do nordeste brasileiro. A região é caracterizada por um dos climas mais complexos do mundo, o qual apresenta irregularidades na distribuição espacial e temporal das precipitações pluviométricas, sendo uma região marcada por anomalias (Marengo 2008; Lacerda et al. 2010)

O clima desta região é classificado como BShw', (quente e seco), segundo a classificação de Köppen, com precipitações pluviométricas anuais que variam ente 200 e 800 (mm). Em função dos baixos índices pluviométricos da região, a vegetação predominante é a Caatinga, a qual se adaptou ao estresse hídrico em períodos de estiagem e a elevada radiação solar anual, pois, as espécies da Caatinga possuem como uma de suas características a rápida formação de folhas no período de chuvas e a caducifolia durante a estação seca, fator que diminui a perda de água para o ambiente (Araújo et al. (2009).

O bioma Caatinga, exclusivamente brasileiro, é um dos mais alterados pelas atividades antrópicas nos últimos séculos, Almeida et al. (2009). Este bioma é típico de regiões semiáridas e ocupa a maior parte da região Nordeste do Brasil, considerada uma das mais pobres do país. Em função da ineficiência de políticas socioambientais a população acaba explorando seus recursos de forma insustentável. Os polos produtores de gesso tem grande contribuição na exploração do bioma, que vêm sendo degradado entre outros fatores pela

expansão das fronteiras agropecuárias, bem como pelo crescimento da malha urbana (Silva et al. 2010).

Pesquisadores têm relacionando à precipitação pluviométrica com os valores do Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) que consiste em um índice de vegetação sensível a presença de clorofila Huete, (2002). Barbosa (1998) observou a possibilidade do uso do NDVI como indicador do regime pluviométrico em épocas extremas de seca e chuva no nordeste brasileiro.

Diante de tal situação, as técnicas de sensoriamento remoto surgem como alternativas para a análise ambiental, bem como para o monitoramento e planejamento na utilização dos recursos naturais. A utilização de imagens de satélites com diferentes resoluções espaciais, temporais e radiométricas, têm sido utilizadas como suporte às pesquisas, monitoramento e planejamento socioambiental.

Diante do contexto listado, esta pesquisa tem como objetivo analisar o comportamento da vegetação de caatinga frente às condições climáticas no município de Petrolina – PE, através de técnica de Sensoriamento Remoto.

2. Material e métodos

2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado no município de Petrolina – PE (Figura 1), localizado entre as coordenadas $40^{\circ} 57' 20''$ e $40^{\circ} 12' 37''$ de longitude oeste e $8^{\circ} 35' 13''$ e $9^{\circ} 28' 22''$ de latitude sul. Inserido na região semiárida do estado de Pernambuco, o município integra a mesorregião do Sertão do São Francisco com extensão territorial total de, aproximadamente, 4756,0 km², o que representa, cerca de, 4,8% da extensão territorial do estado de Pernambuco.

O município encontra-se inserido na depressão sertaneja, unidade geoambiental marcada por um relevo suave-ondulado, paisagem típica do semiárido pernambucano. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo BswH – semiárido (quente e seco), com a ocorrência de duas estações bem diferenciadas: estação seca entre os meses de maio e outubro e a estação chuvosa entre os meses de novembro e abril, com precipitação pluviométrica média de 431,8 mm/ano; sendo as chuvas caracterizadas por baixos índices, concentradas em um único período do ano e mal distribuídas espacialmente.

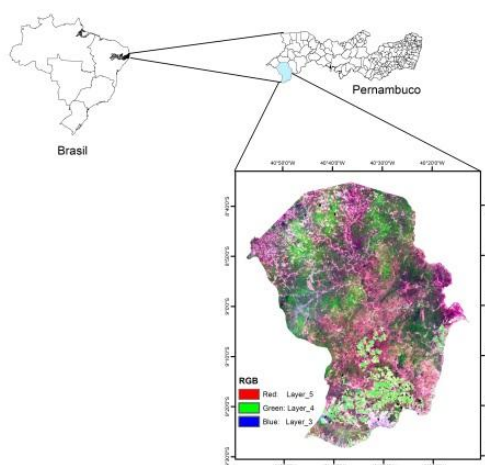


Figura 1. Localização do município de Petrolina - PE.

2.2 Dados pluviométricos e de temperatura do ar

Para gerar os pluviogramas e climogramas analisados neste trabalho, foram utilizados os dados obtidos através do Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC). Os climogramas

foram gerados para os anos estudados e os pluviogramas gerados para os meses antecedentes a data de geração das imagens do período chuvoso.

2.3 Processamento das imagens

As imagens utilizadas neste trabalho foram as do sensor Thematic Mapper (TM) a bordo do satélite Landsat 5. Para este trabalho utilizou-se quatro imagens geradas durante a passagem na órbita 217 e pontos 66 e 67, com datas de passagem em 09/08/1998, 04/12/2000, 24/09/2009 e 27/11/2009. As imagens são compostas por sete bandas, tendo as bandas 1, 2, 3, 4 e 5 resolução espacial de 30m e a banda (6) resolução espacial de 120m. As cenas foram adquiridas através da Divisão de Geração de Imagens (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). As cenas foram submetidas ao processo de correção geométrica, e para isso, o interpolador usado foi o polinomial de 1ª ordem. Após a correção deu-se início ao processamento das mesmas.

2.3.1 Calibração radiométrica

A calibração radiométrica segundo Markham e Baker, (1987), é definida como a conversão do número digital de cada pixel (ND) em radiação espectral monocromática. Sendo obtida a partir da equação 1.

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

2.3.2 Reflectância

A reflectância é definida por Allen et al., (2002) com sendo a razão entre o fluxo de radiação solar refletido pela superfície e o fluxo de radiação solar global incidente, sendo computada a partir da equação 2.

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

2.3.4 Calculo do NDVI

O NDVI foi calculado a partir do método proposto por Rouse et al., (1973) (equação 3). Utilizando-se as bandas do infravermelho próximo e vermelho, que correspondem as bandas 4 (infravermelho próximo) e banda 3 (vermelho) do satélite Landsat 5 sensor TM. O NDVI apresenta uma variação entre -1 a +1. Em superfícies com vegetação verde, os valores variam entre 0 e 1, já para a água e nuvens os valores geralmente são menores que zero.

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

3. Resultados e Discussão

3.1 Distribuição mensal das precipitações pluviométricas durante os anos analisados.

Com base nos climogramas (Figura 2) é possível perceber a variabilidade temporal das precipitações pluviométricas, bem como os períodos de estiagem para a região em estudo, com anos de maior e menor precipitação e períodos de estiagem mais e menos prolongados. Comparando o comportamento das precipitações pluviométricas e temperaturas, nota-se que as temperaturas máximas e mínimas se mantiveram constantes, com média mínima de 22°C e máxima de 30°C.

Em relação ao regime das chuvas, este se mostrou irregular, corroborando com os resultados encontrados por (Souza et al. 1997; Aires e Nascimento 2011). O ano de 1998 foi marcado pela ocorrência do evento El niño de forte intensidade (Quadro 1), sendo o ano de 1998, o que apresentou o período de estiagem mais prolongado, com chuvas concentradas nos meses de janeiro, fevereiro, novembro e dezembro. Os anos de 2000 e 2009 foram os mais chuvosos entre os anos estudados com menor período de estiagem e maior quantidade de meses com chuvas acima de 80 (mm), estando o ano de 2000 influenciado pela La niña de intensidade moderada e 2009 influenciado pelo El niño de intensidade fraca. Conforme

Andreoli e Kaiano (2007) a região Nordeste do Brasil tem suas condições climáticas influenciadas pelas flutuações nos valores de Temperaturas da Superfície do Mar (TSM) sobre o Pacífico Equatorial e sobre o Atlântico Tropical, fatores que correspondem às configurações do El niño, La niña e Dipolos do Atlântico positivos ou negativos.

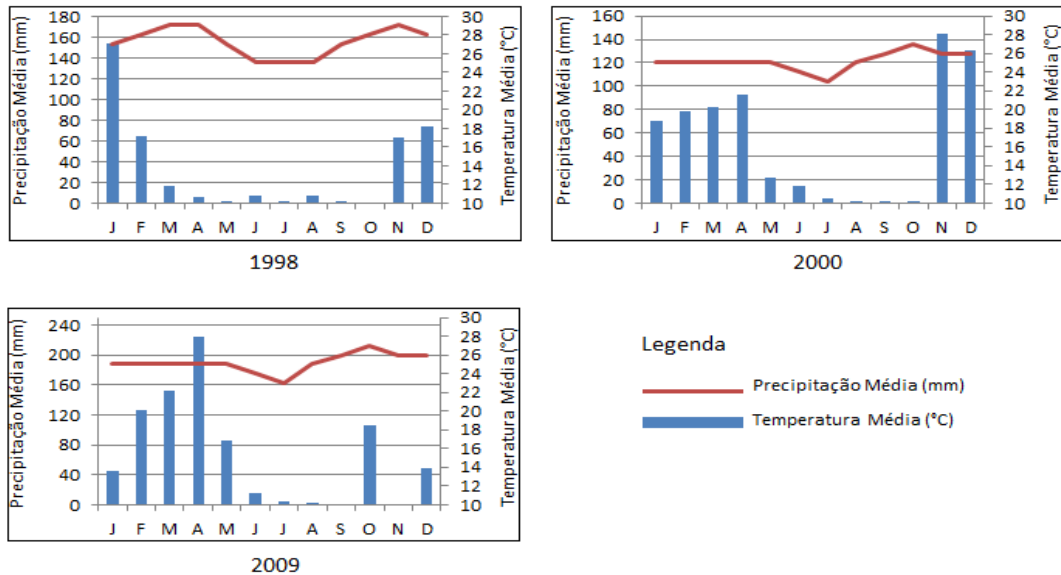


Figura 2. Climogramas dos anos de estudo abordados nesta pesquisa.

Quadro 1. Ocorrências de El niño e La niña e suas intensidades.

El Niño	Intensidade	La Niña	Intensidade
1997 - 1998	Forte	1998 - 2001	Moderada
2009 - 2010	Fraco	-----	-----

Fonte: CPTEC/INPE

Conforme observado por Alves et al. (1998), na maioria dos anos com ocorrência de El niño, as precipitações pluviométricas na porção norte do Nordeste do Brasil estiveram abaixo da média, no entanto, Alves e Repelli, (1992), afirmam que embora os episódios de estiagem na região se relacionem com os anos de El niño, a configuração intraregional é diferenciada, dependendo basicamente dos diferentes sistemas atmosféricos.

3.2 Análise do NDVI

Com base na análise do NDVI obtido a partir das imagens orbitais do período seco (09/08/1998 e 24/09/2009) (Figura 3) nota-se a presença de áreas com baixa atividade fotossintética, possível de ser observado pela predominância de baixos valores de NDVI, o qual é capaz de mensurar o teor de clorofila presente na vegetação (Ponzoni e Shimabukuro, 2010). Para a imagem de 09/08/1998 os valores estiveram nas áreas de Caatinga predominantemente abaixo de 0,4, sendo encontrados valores superiores a 0,4 apenas nas áreas utilizadas para agricultura irrigada, estas concentradas na porção sul do município, diante disso, observa-se que os valores em áreas de Caatinga durante o período de estiagem na região diminuem consideravelmente, fator este que pode ser explicado pelos processos naturais das espécies do bioma, uma vez que, durante o período de estiagem as espécies da Caatinga liberam suas folhas para diminuir a superfície de perda de água para o ambiente através da evapotranspiração e passar pela estação seca da região semiárida do Nordeste brasileiro (Amorim et al. 2009).

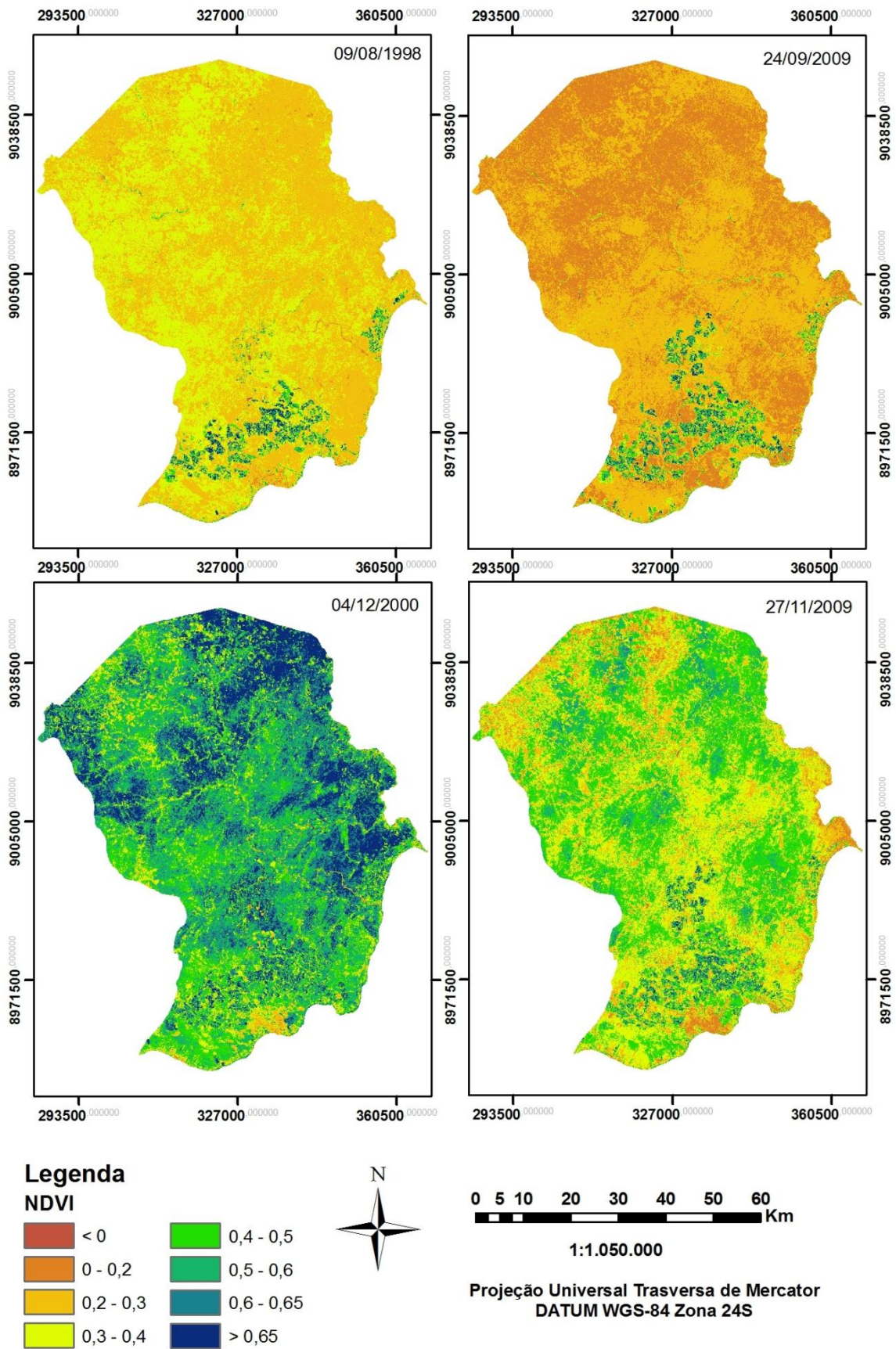


Figura 3. NDVI do período seco (09/08/1998 e 24/09/2009) e chuvoso (04/12/2000 e 27/11/2009).

Observando o climograma do ano de 1998 que dentre os anos analisados apresentou o período de estiagem mais prolongado e relacionando com o NDVI de 09/08/1998, nota-se que no período anterior à obtenção da imagem as precipitações pluviométricas estiveram abaixo dos 20 mm nos 5 meses anteriores, tendo o último mês com valores representativos de precipitações pluviométricas em fevereiro, com precipitação superior a 60 (mm). Essas características quanto ao comportamento da precipitação em ambientes semiáridos favorecem a ocorrência de espécies com diferentes graus de deciduidade reagindo de acordo com os déficits hídricos, com espécies que conseguem manter suas folhas durante uma parte do período seco e outras que liberam logo após o período de chuvas, o que em termos de paisagem, formam verdadeiros mosaicos em regiões semiáridas (Frankie et al. 1974; Justiniano e Fredericsen 2000).

Comparando o NDVI de 24/09/2009 com o NDVI de 08/09/1998, é possível observar que os valores de NDVI em áreas de Caatinga apresentaram prevalência nos intervalos inferiores a 0,3 indicando que a concentração folhas verdes manteve-se menor se comparada ao NDVI de 09/08/1998. Tomando como base o climograma de 2009 (Figura 2), nota-se que as ocorrências de eventos pluviométricos representativos foram registros no intervalo de janeiro a abril, nos três meses anteriores a geração da imagem, as precipitações pluviométricas mantiveram-se abaixo dos 20 (mm). A variação na duração dos períodos de estiagem se tornam importantes para as espécies da Caatinga porque segundo Murphy e Lugo (1986); Mooney et al. (1995), a sazonalidade da fenologia das árvores tropicais é determinada, principalmente, pela duração e intensidade da estação seca, uma vez que, em baixas latitudes as variações anuais da temperatura são pequenas.

Com relação ao NDVI gerado a partir das imagens do período chuvoso (04/12/2000 e 27/11/2009), estes apresentaram valores de NDVI superiores a 0,3, indicando uma maior concentração de folhas verdes, o que favorece o aumento das taxas fotossintéticas. Conforme observado por Oliveira et al., (2009) durante o período úmido ocorre desenvolvimento do mesófilo, aumento da atividade fotossintetizante pelos cloroplastos e aumento do dossel, fatores que facilitam a obtenção dos dados pelo NDVI.

Relacionando a variação do NDVI de 04/12/2000 (Figura 3) com o climograma do ano de 2000 e pluviograma diário dos dois meses anteriores à data da imagem (Figura 4), nota-se que de junho a outubro as precipitações pluviométricas estiveram abaixo dos 20 mm. Já no mês de novembro conforme observado no pluviograma diário dos dois meses anteriores à obtenção da imagem, foram registradas precipitações pluviométricas variando de pouco mais de 10 mm a 50 mm entre os dias 02/11/2000 e 14/11/2000, com pico entre os dias 08/11/2000 e 11/11/2000. Os valores de NDVI para a imagem de 04/12/2000 estiveram predominantemente superiores a 0,4. Ressalta-se que os valores de NDVI elevados também estão relacionados com áreas de agricultura irrigada e agricultura de sequeiro.

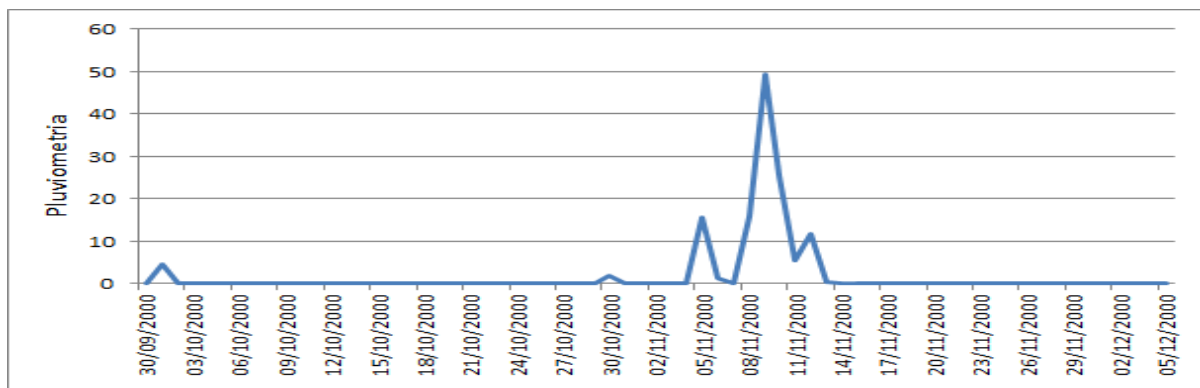


Figura 4. Pluviograma diário dos meses de outubro e novembro de 2000.

Em relação às análises do ano de 2009, este apresenta uma particularidade em relação a outras datas nesta pesquisa, uma vez que, foi possível a obtenção de duas imagens em períodos distintos (seco e chuvoso). Os valores de NDVI de 24/09/2009 estiveram predominantemente inferiores a 0,3, excetuando-se as áreas de agricultura irrigada. Conforme observado no climograma do ano de 2009 na figura 2, nos três meses anteriores a imagem de 27/11/2009 as precipitações pluviométricas estiveram abaixo dos 20mm, já no NDVI, os valores estiveram predominantemente superiores a 0,4 este comportamento do NDVI para a data em questão tem relação entre outros fatores com as precipitações ocorridas nos meses anteriores, com chuvas concentradas entre os dias 25/10/2009 e 29/10/2009, com pico superior a 70 mm no dia 26/10/2009 (Figura 5). Segundo Gurgel et al. (2003) a maior correlação entre o NDVI e a quantidade de precipitação ocorre quando se compara os valores de NDVI com a precipitação do mês anterior.

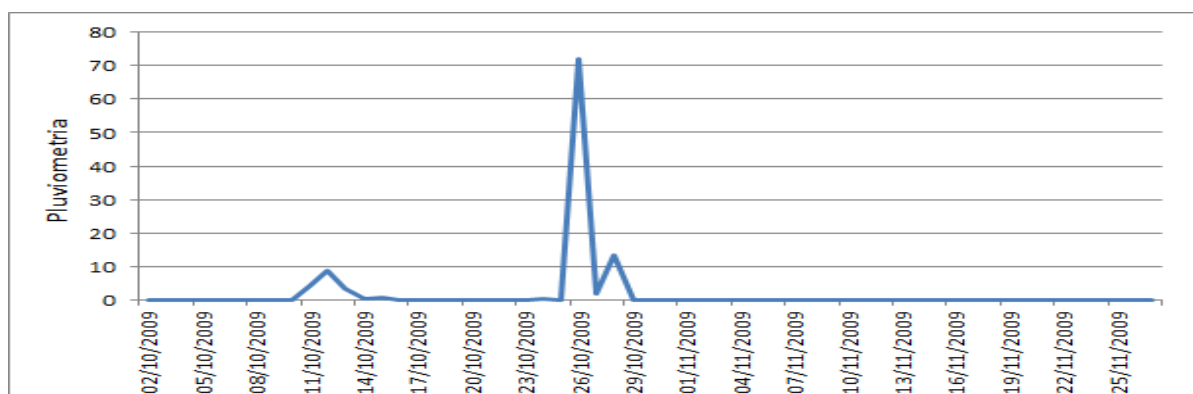


Figura 5. Pluviograma diário dos meses de outubro e novembro de 2009.

4. Conclusões

A aplicação do NDVI permitiu observar que o comportamento da Caatinga acompanhou os eventos de precipitações pluviométricas, nos períodos de estiagem os valores de NDVI mantiveram-se baixos e nos períodos chuvosos os valores mantiveram-se elevados, período que corresponde à renovação das copas das espécies do bioma.

O índice se mostrou sensível para mensurar a presença de folhas verdes no bioma, apresentando potencialidade para ser utilizado no monitoramento da vegetação de Caatinga nos períodos chuvosos.

Agradecimentos

Os autores agradecem a PROACAD - UFPE pela bolsa e auxílio concedidos ao primeiro autor, ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica cedida ao segundo autor, ao ITEP/LAMEP por disponibilizar os dados climáticos utilizados nesta pesquisa, ao SISCOM/IBAMA por ceder as imagens corrigidas, ao INPE por ceder as imagens através do Catálogo de Imagens, ao CNPq pelo financiamento da Rede SerCaatinga, Processo nº 558074/2009-0 e ao SERGEO – UFPE.

Referências

- Aires R.; Nascimento, F. R. Variações pluviométricas em microbacias no vale do Jaguaribe – CE. In: **Revista da Casa de Geografia de Sobral**. n. 1, v. 13, p. 83-97. 2011.
- Allen, R. G.; Tasumi, M.; Trezza, R. **SEBAL Surface Energy Balance Algorithms for Land**. Advance Training and Users Manual – Idaho Implementation, version 1.0, 97p, 2002.
- Almeida, S. A. S.; França, R. S.; Cuellar, M. Z. Uso e ocupação do solo no Bioma Caatinga do Estado do Rio Grande do Norte. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal – RN, Brasil pp. 5555-5561, 25 a 30 de abril de 2009.

- Alves, J. M. B.; Campos, J. N. B.; Souza, E. B.; Repelli, C. A. Produção agrícola de subsistência no estado do Ceará com ênfase aos anos de ocorrência de El Niño e La Nina. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.6, n.2,249-56, 1998.
- Alves, J. M. B.; Repelli, C. A. A variabilidade pluviométrica no setor norte do Nordeste e os eventos El Niño-Oscilação Sul (ENOS). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.7, n. 2, p.583-92, 1992.
- Amorim, I. L.; Sampaio, E. V. S. B.; Araújo, E. L. Fenologia de espécies lenhosas da Caatinga do Seridó, RN. **Revista Árvore**, v. 33, n. 3, p. 491-499, 2009.
- Andreoli, R.V.; Kayano, M. T. A importância relativa do Atlântico Tropical Sul e Pacífico leste na variabilidade de precipitação do nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 1, p. 63-74, 2007.
- Barbosa, A.H. Análise espaço-temporal de índice de vegetação normalizado AVHRR/NOAA e precipitação na região nordeste do Brasil em 1982-1985. Dissertação de mestrado. INPE, 163. 1998.
- Buriol, G. A.; Estefanel, V.; Chagas, A. C.; Eberhardt, D. Clima e vegetação natural do Rio Grande do Sul segundo o diagrama climático de Walter e Lieth. **Revista Ciência Florestal**, v. 17, n. 2, p. 01-100, 2007.
- Frankie, G. W.; Backer, H. G.; Opler, P. A. **Comparative phonological studies of trees in tropical wet and dry forests in the lowlands of Costa Rica**. Journal of Ecology 62: 881-913, 1974.
- Gurgel, H. C.; Ferreira, N. J.; Luiz, A. J. B. Estudo da variabilidade do NDVI 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, 2003.
- Huete A.; Didan K.; Miura, T.; Rodriguez, P.; GAO, X.; Ferreira, L.G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. Remote Sensing of Environment, 83: 195-213.
- Justiniano, M. J.; Federicsen, T. S. **Phenology of tree species in Bolivian dry forests**. Biotropica 32: 276-281, 2002.
- Lacerda, F.F.; Junior, H. D. S.; ASSAD; E.D.; Assis, J.M.O.; Moura, M.S.B. Extremos e variabilidade climática no nordeste brasileiro e em Pernambuco. In: Galvinctio, J.D. (Orga.). **Mudanças climáticas e impactos ambientais**. EDUFPE: Recife, 2010. p. 1-24.
- Marengo, J. A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil. Parcerias Estratégicas. Brasília, DF. N. 27. 2008.
- 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.
- Mooney, H.; A.; Bullock, S.H.; Medina, E. Introduction. pp 1-8 in: BULLOCK, S. H.; Mooney, H. A.; Medina, E. (eds.) **Seasonally dry tropical forests**. Cambridge University Press, Cambridge, 1995.
- Murphy, P. G.; Lugo, A. E. Ecology of tropical dry forest. Annual Review of Ecology and Systematics 17: 67-88,1986.
- NORDESTE sertanejo: a região semi-árida mais povoada d mundo. Estudos Avançados, São Paulo, v. 13, n. 35, p. 60-48, 1999.
- Oliveira, W. M.; Chaves, I. B.; Lima, E. R. V. Índices espectrais de vegetação de caatinga em um Neossolo Litólico do semiárido paraibano. In. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, 2009, p.2103-2110, 2009.
- 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, P. C. G; Mora, M. S. B.; Kiil, L. H. P.; Brito, L. T. L.; Pereira, L. A.; Sá, I. B.; Correia, R. C.; Teixeira, A. H. C.; Cunha, T. J. F.; Filho, C. G. Caracterização do semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. IN. Sá, I. B.; SILVA, P.C.G. (Orgs.). **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina: Embrapa, 2010. P. 18-48.
- Souza, E.B.; Alves, J.M.B. & Repelli, C.A.. **Uma Revisão sobre a Influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico na Variabilidade Pluviométrica do Semi-Árido** Nordestino. Monitor Climático, 11 (122): 7-17, maio de 1997.