

## **Estimativa dos índices de vegetação na detecção de mudanças ambientais na bacia hidrográfica do rio Pajeú**

Eberson Pessoa Ribeiro<sup>\*</sup>

Ranyére Silva Nóbrega<sup>\*\*</sup>

Fernando de Oliveira Mota Filho<sup>\*\*\*</sup>

Elvis Bergue Mariz Moreira<sup>\*\*\*\*</sup>

### **Resumo**

O monitoramento ambiental de bacias hidrográficas com o uso de sensoriamento remoto tem sido imprescindível no diagnóstico de alterações antrópicas e/ou naturais na paisagem. As análises espaciais e temporais dos diversos índices de vegetação permitem detectar e avaliar no ambiente os impactos e as degradações decorrentes do uso e ocupação do solo, bem como orientar o estabelecimento de políticas de reversão em um cenário de degradação ambiental. Assim, a presente pesquisa teve por objetivo identificar e analisar a dinâmica espaço-temporal dos índices de vegetação na detecção de transformações ambientais na bacia hidrográfica do rio Pajeú com aplicação de alguns componentes do algoritmo SEBAL. Para a obtenção das estimativas de tais índices foram empregados os produtos MODIS para os anos de 2003, 2005, 2007, 2012, 2013 e 2014. Dessa forma, os resultados obtidos revelaram que a parte sul da bacia hidrográfica do rio Pajeú é a mais

---

\* Professor do IFPE e doutorando do Departamento de Ciências Geográficas da UFPE (eberson\_pessoa@yahoo.com.br).

\*\* Professor do Departamento de Ciências Geográficas da UFPE (ranyere.nobrega@yahoo.com.br).

\*\*\* Professor do Departamento de Ciências Geográficas da UFPE (fmotafilho@gmail.com).

\*\*\*\* Pós-doutorando do Departamento de Ciências Geográficas da UFPE (elvisberg@hotmail.com).

RIBEIRO, E.P. *et al.* Estimativa dos índices de vegetação na detecção de ... degradada, apresentando menores precipitações e predisposição à desertificação. Conclui-se que os índices de vegetação avaliados pelo algoritmo SEBAL são eficazes e eficientes na compreensão da dinâmica dos padrões espaciais, temporais e espectrais de ambientes semiáridos como o do sertão nordestino.

**Palavras-chave:** Degradação ambiental; Caatinga; SEBAL; MODIS; NDVI.

### Vegetation index estimation in the detection of environmental changes in the Pajeú river watershed

#### **Abstract**

The environmental monitoring of watersheds with the use of remote sensing has been essential in the diagnosis of anthropogenic and / or natural changes in the landscape. Spatial and temporal analyses of the various vegetation indexes can detect and evaluate impacts and degradation as a result of soil use and occupation and guide the establishment of reversal policies on a scenario of environmental degradation. Thus, this research aimed to identify and analyze the space-time dynamics of vegetation indexes in the detection of environmental changes in the Pajeú river watershed with application of some components of the SEBAL algorithm. To obtain estimates of these indexes, MODIS products for the years 2003, 2005, 2007, 2012, 2013 and 2014 were used. The results showed that the southern portion of the Pajeú river watershed is the most degraded, with minor rainfall and prone to desertification. It was concluded that the vegetation indexes evaluated by the aforementioned algorithm are effective and efficient in understanding the dynamics of spatial, temporal and spectral patterns of semiarid environments, such as the backlands of northeastern Brazil.

**Key words:** Environmental degradation; Caatinga; SEBAL; MODIS; NDVI.

## **Introdução**

O bioma Caatinga é o único exclusivamente brasileiro e um dos mais extensos com uma área de 734.478km<sup>2</sup>, cerca de 10% do território nacional (SILVA, 2003). A Caatinga possui uma vegetação bastante dinâmica e heterogênea, em função de diferentes padrões de precipitação e solo, além do alto grau de resiliência (capacidade de recuperação após ter sofrido perturbações), apesar de sua suscetibilidade natural.

O regime pluviométrico é o grande responsável pela disponibilidade de biomassa nas áreas secas e por isso correlacionada com a cobertura vegetal. Dessa maneira, as mudanças nesse regime podem interferir diretamente na resposta dessa cobertura. Assim, pode-se afirmar que a análise da cobertura vegetal em ambientes semiáridos é complexa devido a variabilidade interanual da precipitação, tanto porque mudanças ambientais detectadas na superfície podem ser decorrências de uma alteração da precipitação, não estando necessariamente relacionadas com efeitos da ocupação antrópica nessas áreas. (BRADLEY; MUSTARD, 2005; BRINKMANN et al., 2011, CUNHA et al., 2012).

Entretanto, historicamente, o uso e ocupação do solo vêm possibilitando a degradação ambiental no bioma Caatinga com desmatamentos e queimadas, substituição de espécies vegetais nativas por cultivos e pastagens, além do crescimento das pequenas e médias cidades que demanda mais recursos da área. Essas agressões ambientais também são evidentes na bacia hidrográfica do rio Pajeú (SAMPAIO et al., 2002).

De tal modo, o uso do sensoriamento remoto tem se destacado no estudo de ambientes em processo de degradação como uma das alternativas para avaliar e monitorar as mudanças ocorridas ou que venha a ocorrer (CUNHA et al., 2009; LOPES et al., 2010; RAMOS et al., 2011; CUNHA et al.; 2012; BEZERRA et al., 2014; SALLO et al., 2014). Neste contexto, o estudo das estimativas dos parâmetros biofísicos de albedo da superfície, NDVI, EVI, SAVI, IAF, NDWI e Temperatura de superfície têm

RIBEIRO, E.P. *et al.* Estimativa dos índices de vegetação na detecção de ...  
se sobressaído no processo investigativo das mudanças ambientais e monitoramento das áreas degradadas.

Para tanto, utilizou-se de alguns componentes do algoritmo *Surface Energy Balance Algorithm for Land* (SEBAL) proposto por Bastiaanssen (1995), por causa de sua precisão e praticidade na avaliação dos referidos parâmetros no sistema solo-planta-atmosfera, bem como imagens multiespectrais obtidas pelos sensores MODIS dos Satélites TERRA e AQUA. Diante do exposto, a presente pesquisa teve como objetivo identificar e analisar a dinâmica espaço-temporal dos índices de vegetação na detecção de mudanças ambientais na bacia hidrográfica do rio Pajeú com aplicação de alguns componentes do algoritmo SEBAL.

## **Material e Métodos**

### **Imagens do sensor MODIS dos satélites Terra e Aqua**

Para a obtenção das estimativas dos índices de vegetação neste trabalho foram empregados dois produtos MODIS dos satélites Terra (MOD) e Aqua (MYD) para os anos de 2003, 2005, 2007, 2012, 2013 e 2014. Esses produtos foram obtidos gratuitamente no *Global Visualization Viewer* (GLOVIS) da *United States Geological Survey* (USGS) através do *site* <http://glovis.usgs.gov>. O *tile* que a bacia hidrográfica do rio Pajeú está inserida é o h14-v09.

O critério de seleção desses produtos foi o de menor presença de nuvens para o período de transição da distribuição temporal da precipitação (maio, junho e julho), ou seja, entre a quadra chuvosa (janeiro a abril) e os meses mais secos (agosto a dezembro) na bacia hidrográfica estudada (Tabela 1). Ressalta-se que a escolha das imagens para o período de transição justifica-se por permitir uma visualização realçada dos contrastes da cobertura vegetal e das áreas degradadas.

Os produtos MODIS aplicados na construção desta pesquisa foram o MOD11A1 ou MYD11A1 que possuem 12 camadas com resolução espacial de 1 km das quais foram utilizadas a da

RIBEIRO, E.P. *et al.* Estimativa dos índices de vegetação na detecção de ...  
 temperatura da superfície (K), a do horário local e a das emissividades das bandas 31 e 32 de cada *pixel*; e o MOD09GA ou MYD09GA com a camada do ângulo zenital solar – Z (em graus) na resolução espacial de 1 km e as reflectâncias da superfície referentes às bandas de 1 a 7 com resolução espacial de 500 m.

**Tabela 1:** Produtos da superfície terrestre gerados pelo sensor MODIS

<b>Imagem</b>	<b>DSA</b>	<b>Data</b>	<b>Horário de passagem (h)</b>	<b>Satélite</b>
01	174	23/06/2003	10:12	Terra/MOD
02	207	26/07/2005	10:36	Terra/MOD
03	199	18/07/2007	13:18	Aqua/MYD
04	132	12/05/2012	13:18	Aqua/MYD
05	197	16/07/2013	10:36	Terra/MOD
06	154	03/06/2014	10:24	Terra/MOD

Legenda: DSA = Dia Sequencial do Ano.

As imagens do MODIS são disponibilizadas pelo GLOVIS já georreferenciadas e corrigidas aos efeitos atmosféricos no formato *Hierarchical Data Format* (HDF). De tal modo foi necessário à transformação das mesmas de HDF para o formato *Imagine Image* (IMG). Em seguida foram aplicados os fatores de correção (multiplicador e adicional) pertinentes a cada camada utilizada, de maneira que a resultante desta operação reporte o real valor da variável no *pixel* da imagem na bacia hidrográfica investigada.

Com o fator multiplicador 0,1 foi possível verificar os horários de passagem do satélite na captura das cenas do MOD11A1 / MYD11A1 por meio da terceira camada (*Day\_view\_time*). Salienta-se também que foi selecionada a hora de passagem (h) referente ao *pixel* central da bacia hidrográfica do rio Pajeú.

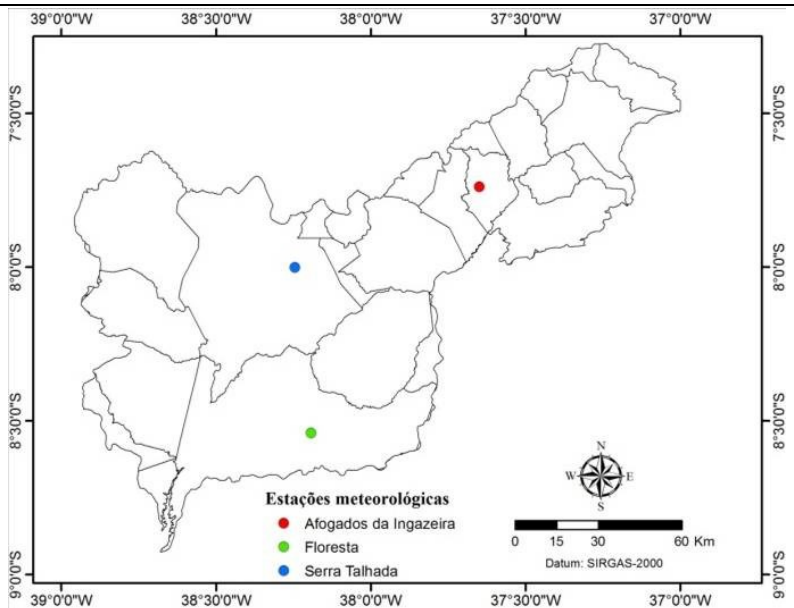
Finalizadas essas etapas foram executados o processamento das imagens com o desenvolvimento de modelos

RIBEIRO, E.P. *et al.* Estimativa dos índices de vegetação na detecção de ... matemáticos por meio da ferramenta *Model Maker* do *software ERDAS Imagine* versão 9.1, bem como a produção das cartas temáticas através do *software ArcGis* 9.3, ambos com licença do Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco (DCG/UFPE), sendo as imagens orbitais projetadas no Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS-2000) e recortadas para a área de estudo.

### **Dados hidrometeorológicos da bacia hidrográfica do rio Pajeú**

Para avaliar as condições hidrometeorológicas da bacia hidrográfica do rio Pajeú foram analisados dados de precipitação média mensal histórica (média das totalidades mensais), mensal (soma dos últimos 30 dias antes da passagem do satélite), semanal (soma dos últimos 7 dias antes da passagem do satélite) e diária. Essas informações foram obtidas das estações de Afogados da ingazeira (00737023), -7°44'20" e -37°38'54"; Airi (Rochedo) no município de Floresta (00838000), -8°32'21" e -38°11'34"; e de Serra Talhada (00838031), -8°00'02" e -38°14'41" através da Agência Nacional das Águas (Ana) por meio do *site* [www.ana.gov.br/hidroweb](http://www.ana.gov.br/hidroweb) referentes às datas das imagens. A distribuição na bacia hidrográfica do rio Pajeú dessas estações meteorológicas está representada na Figura 1.

De posse dessas informações foi possível construir os gráficos de precipitação da mencionada bacia hidrográfica e avaliar as condições hidrometeorológicas, as quais auxiliaram na compreensão dos resultados dos dados obtidos pelas imagens de satélite na detecção de mudanças ambientais, principalmente com os índices de vegetação e umidade. Dessa forma são descritas na seção seguinte as etapas e suas equações no processamento das imagens.



**Figura 1:** Estações meteorológicas nos municípios de Afogados da Ingazeira, Floresta e Serra Talhada.

### Parâmetros biofísicos

A modelagem dos índices de vegetação foi estimada na determinação dos valores de os índices de vegetação avaliados nesta pesquisa foram o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Vegetação Aprimorada (EVI), Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo (SAVI) e Índice de Área Foliar (IAF), com base nas reflectâncias das regiões espectrais do vermelho e do infravermelho próximo.

De acordo com Moreira e Shimabukuro (2004), os índices de vegetação derivam da combinação da radiação eletromagnética refletida pela vegetação, as quais conservam uma relação com a quantidade e o estado da vegetação na área onde foi realizada a medição espectral.

O NDVI é um indicador sensível da quantidade e da condição da vegetação verde que varia entre -1 e +1. Os valores negativos representam corpos hídricos e nuvens e próximo de 0 (zero) solo exposto. Quanto mais alto o NDVI mais representativa é a vegetação. Assim, o NDVI é alcançado pela razão entre a diferença das refletividades das bandas do infravermelho próximo (banda 2) e do vermelho (banda 1) e pela soma das mesmas como expressa a Equação 1 (ALLEN et al., 2002; LIU, 2006):

$$\text{NDVI} = \frac{(\rho_2 - \rho_1)}{(\rho_2 + \rho_1)}$$

em que  $\rho_2$  e  $\rho_1$  são as refletâncias das bandas 2 (0,841 a 0,876 nm) e 1 (0,620 a 0,670 nm) do produto MOD09GA, respectivamente.

O EVI, conforme proposição de Huete et al. (1997), buscou otimizar o sinal da vegetação por meio da intensificação da resposta em áreas com elevadas concentrações de biomassa, procurando reduzir as interferências do solo e atmosféricas nas respostas do sinal de fundo do dossel (JUSTICE et al., 1998; ANDERSON et al., 2003; RODRIGUES et al., 2013). Para tanto se pode calcular o EVI pela Equação 2:

$$\text{EVI} = G \left( \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + C_1 \cdot \rho_1 - C_2 \cdot \rho_3 + L} \right)$$

no qual  $\rho_1$ ,  $\rho_2$  e  $\rho_3$  representam as reflectâncias nas faixas do vermelho (banda 1: 620 – 670 nm), infravermelho próximo (banda 2: 841 – 876 nm) e do azul (banda 3: 459 – 479 nm), respectivamente. O índice EVI ainda é composto pelo fator de ganho G que é igual a 2,5; pelos valores dos coeficientes de ajuste para efeito de aerossóis da atmosfera  $C_1 = 6$  e  $C_2 = 7,5$ ; e o fator de ajuste para o solo  $L = 1$  (HUETE et al., 1997; JUSTICE et al., 1998).



O SAVI desenvolvido por Huete (1988) procura amenizar os efeitos do “background” do solo na resposta espectral da vegetação. Assim, o SAVI é obtido pela Equação 3:

$$SAVI = \frac{(1 + L)(\rho_{b2} - \rho_{b1})}{(L + \rho_{b2} + \rho_{b1})}$$

sendo a constante L um fator de ajuste que depende do tipo de solo, variando de 0 a 1 (HUETE, 1988). Apesar de L = 0,5 ser um valor mais frequente (BOEGH; SOEGAARD; THOMSEM, 2002), aplicou-se neste estudo L = 0,1, conforme recomendado por Tasumi (2003) e Silva et al. (2011).

Já o IAF é um indicador da biomassa de cada pixel da imagem, bem como da resistência do dossel podendo ser calculado de forma empírica como propõe Allen et al. (2002) na Equação 4.

$$IAF = - \frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91}$$

Assim, a determinação desse índice resulta da razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação.

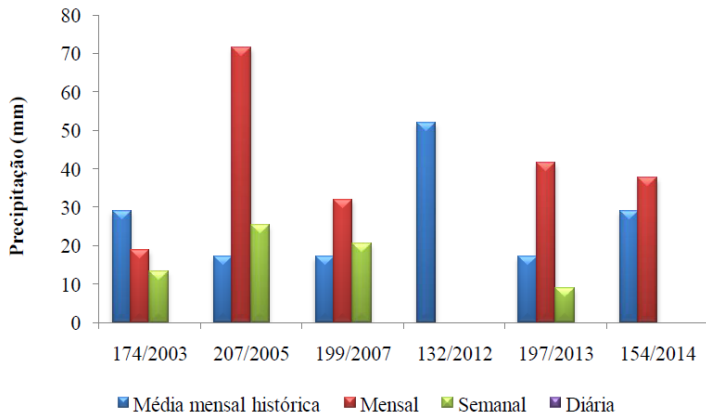
## Resultados e Discussão

### Condições hidrometeorológicas da bacia hidrográfica do rio Pajeú

A compreensão das condições hidrometeorológicas, principalmente pluviométrica, é fundamental para o entendimento das condições vegetacionais da área de estudo, uma vez que a vegetação é bastante resiliente, isto é, capacidade da cobertura vegetal retornar às suas condições originais após ser afetada por condições climáticas adversas, bem como perturbações antrópicas; tanto porque a precipitação nessa região é elemento chave para o desenvolvimento/regeneração da biomassa.

Dessa maneira, buscou-se averiguar a precipitação pluviométrica da bacia hidrográfica do rio Pajeú através da comparação da média mensal histórica com a precipitação mensal, com o intuito de verificar se esse período foi chuvoso ou não, além da precipitação semanal e diária, o que poderia influenciar na obtenção do índice de umidade.

Na estação meteorológica de Afogados da Ingazeira (Figura 2) constatou-se na data 174/2003 que o índice pluviométrico mensal (18,8 mm) ficou abaixo da média mensal histórica (29 mm), sendo a semanal de 13,2 mm e a diária sem ocorrência de chuva. Em 207/2005 a precipitação mensal (71,4 mm) superou a média mensal histórica (17 mm), já semanal ficou em torno de 25 mm, contudo no dia da passagem do satélite a precipitação foi zero.

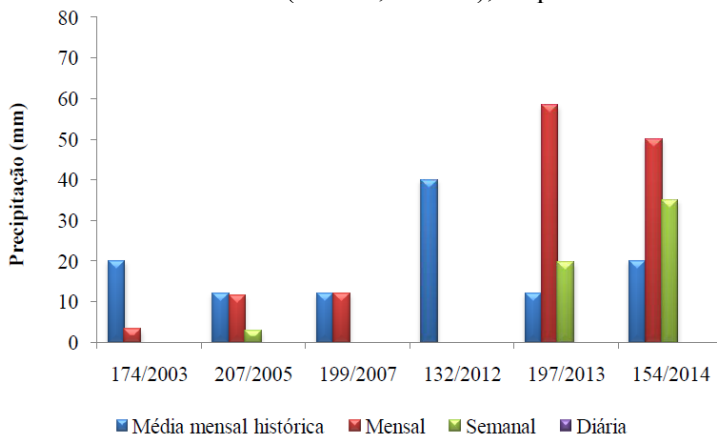


**Figura 2:** Precipitações da média mensal histórica, média mensal, média semanal e diária da estação meteorológica de Afogados da Ingazeira. Fonte dos dados: ANA (2014).

Em 199/2007 a precipitação diária também foi zero, mas a mensal (32 mm) e semanal (20,4 mm) foram maiores do que a média mensal histórica (17 mm). Na data 132/2012, o segundo ano mais seco da série histórica, não teve chuva o mês inteiro, sendo a média mensal histórica de 52 mm. Apesar de ter sido um ano seco, 197/2013

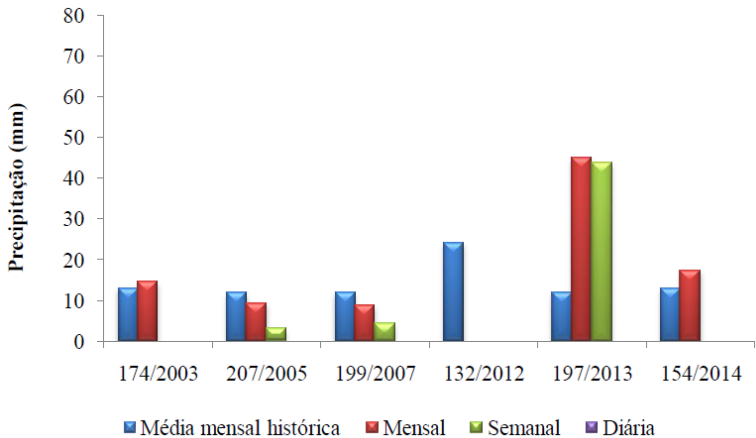
apresentou precipitação mensal (41,4 mm) maior que média mensal histórica (17 mm) e a semanal ficou com 8,8 mm, não tendo ocorrência na diária. Em 154/2014 também não teve chuva no dia e na semana que antecederam a passagem do satélite, apesar disso a pluviosidade mensal chegou a 37,6 mm, maior do que média mensal histórica que foi de 29 mm.

Na estação meteorológica de Serra Talhada (Figura 3) não ocorreu chuva nos dias das passagens do satélite. Na data 174/2003 a precipitação mensal foi de 3,2 mm não ocorrendo na semana antecedente; em 207/2005 a precipitação mensal (11,5 mm) foi quase igual a média mensal histórica (12 mm) e a semanal ficou com 3 mm. A precipitação mensal em 199/2007 ficou igual à média histórica (20 mm), não ocorrendo chuva na semana precedente a da passagem do satélite; e, mais uma vez, na data 132/2012 não teve precipitação nos períodos analisados. Nas datas 197/2013 e 154/2014 as pluviosidades mensais (58,4 mm, 50 mm) e semanais (19,6 mm, 35 mm) foram superiores as médias mensais históricas (12 mm, 20 mm), respectivamente.



**Figura 3:** Precipitações da média mensal histórica, média mensal, média semanal e diária da estação meteorológica de Serra Talhada. Fonte dos dados: ANA (2014).

A Figura 4 representa as precipitações nos períodos analisados da estação meteorológica de Airi (Rochedo) no município de Floresta. Em 174/2003 a precipitação mensal foi de 14,5 mm, superior à média mensal histórica (13 mm), não ocorrendo nos períodos semanal e diário. Já em 207/2005 a precipitação mensal foi de 9,4 mm, sendo inferior a média mensal histórica (12 mm), enquanto a semanal ficou com 3 mm e a diária não apresentou chuva. Na data 199/2007 as pluviosidades mensal e semanal ficaram a abaixo da média mensal histórica (12 mm) com 8,8 e 4,3, respectivamente. Como nas outras estações, 132/2012 não ocorreu precipitação nos períodos avaliados. Na data 197/2013 quase toda a chuva do mês (45 mm) incidiu na semana que antecede a passagem do satélite a qual obteve 43,7 mm.



**Figura 4:** Precipitações da média mensal histórica, média mensal, média semanal e diária da estação meteorológica de Floresta. Fonte dos dados: ANA (2014).

Com a análise temporal e espacial da precipitação e da distribuição das estações meteorológicas pode-se concluir que a fração norte-nordeste da bacia hidrográfica do rio Pajeú é mais chuvosa do que a centro-sul. Ressalta-se também que em todas as

estações não ocorreu precipitação diária nas referidas imagens analisadas, bem como nas precipitações mensais e semanais na data 132/2012. As precipitações mensais 197/2013 e 154/2014 foram os mais chuvosos, entretanto foi em 207/2005 da estação meteorológica de Afogados da Ingazeira que ocorreu a maior soma da precipitação mensal com 71,4 mm.

### **Parâmetros biofísicos da bacia hidrográfica do rio Pajeú**

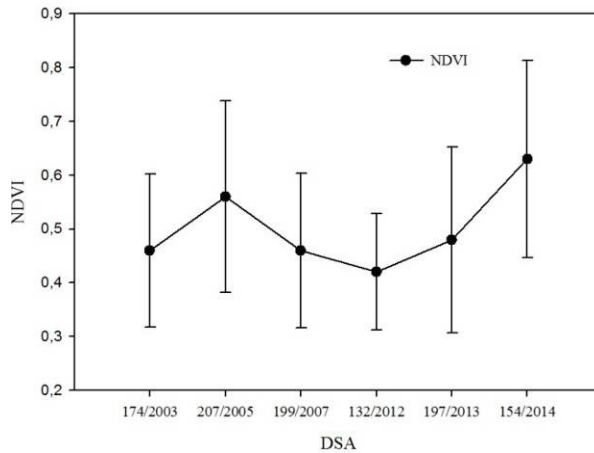
A determinação dos índices de vegetação tem sido empregada em estudos espaciais e temporais na detecção de mudanças ambientais, uma vez que o principal interesse é compreender as mudanças ocorridas na paisagem ao longo do tempo. De tal modo, quantificar e qualificar o grau de degradação por meio de aplicações dos índices de vegetação tem importância vital em áreas de risco à desertificação.

Contudo, em ambientes semiáridos, como o da bacia hidrográfica do rio Pajeú, a análise da cobertura vegetal é complexa face ao alto grau de variabilidade interanual da precipitação pluviométrica o que pode acarretar mudanças no meio, não estando relacionadas diretamente com efeitos de uso e ocupação do solo.

O gráfico dos valores médios e desvio padrão do NDVI (Figura 5) apresentou uma grande variação entre os valores médios das cenas (0,21), destacando 132/2012 com o menor valor (0,42) e 154/2014 com o maior valor (0,63) entre os períodos analisados. O mencionado gráfico ainda revela que o desvio padrão foi alto em todas as cenas, sobressaindo 154/2014 com o maior desvio (0,36), intervalos aproximadamente entre 0,81 e 0,45; e 132/2012 com o menor (0,21), intervalos entre 0,52 e 0,31 aproximadamente.

O maior desvio padrão em 154/2014 se justifica devido o comportamento distinto da precipitação (chove mais no centro norte do que o sul) e da cobertura e uso do solo na bacia hidrográfica. Nas áreas onde há o maior índice de precipitação tem-se altos valores de NDVI, enquanto nas áreas onde a

precipitação apresenta-se reduzida reflete em baixos valores do NDVI e alto desvio padrão. Em 132/2012 foi o segundo ano com menor precipitação (207 mm/ano) da série histórica de 102 anos (1912 – 2012), atingindo um Índice de Anomalia de Chuva negativo em torno de -3,26, segundo Ribeiro; Nóbrega; Mota-Filho (2015), o que proporcionou uma pequena quantidade de biomassa na área.



**Figura 5:** Gráfico dos valores médios e desvio padrão do NDVI em 174/2003, 207/2005, 199/2007, 132/2012, 197/2013 e 154/2014.

A variação espacial do NDVI da bacia hidrográfica pesquisada entre as imagens estudadas (Figura 6) indica que a vegetação é bastante resiliente, uma vez que eventos chuvosos com magnitudes que possibilitaram condições favoráveis apresentou alto potencial de recuperação da vegetação e ao desenvolvimento de biomassa da Caatinga. No que tange a análise do NDVI, observou-se que os valores inferiores a 0,50, simulados nas cores vermelho, laranja e amarelo, representam solo exposto, vegetação rasteira bastante esparsada e áreas cobertas por vegetações caducifólias ralas que não se mantêm verde na estação seca, respectivamente, exceto

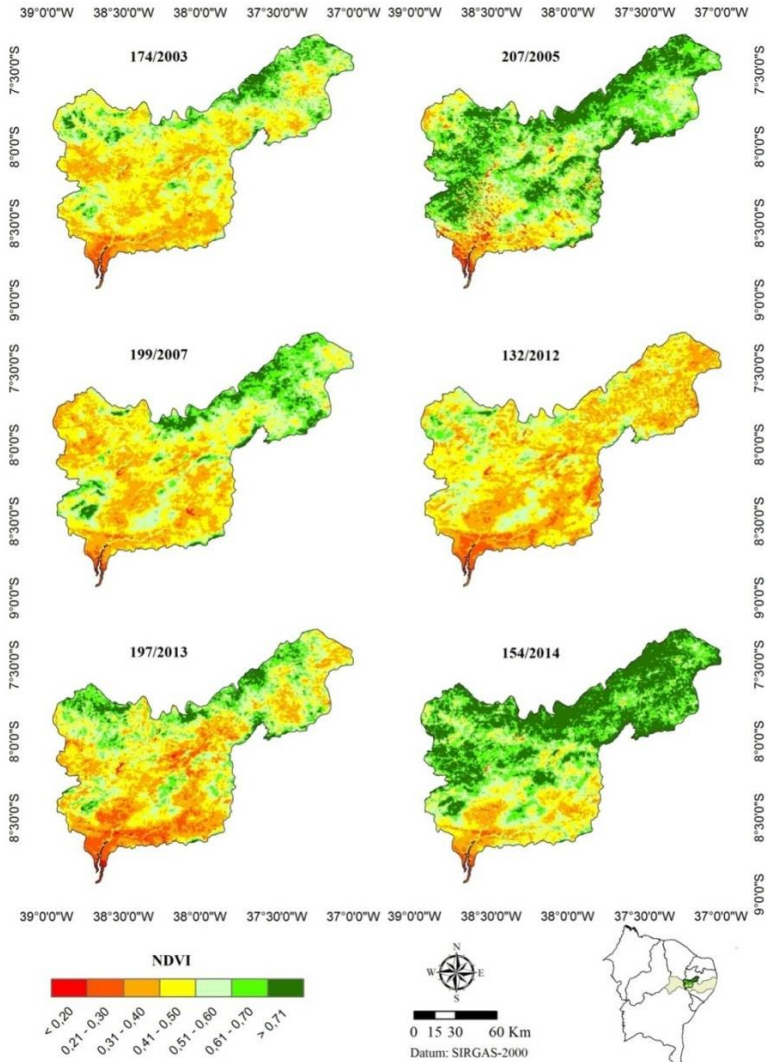
RIBEIRO, E.P. *et al.* Estimativa dos índices de vegetação na detecção de ...

na cena 207/2005 na qual a presença de nuvens na porção sul influenciou o NDVI atingindo índices inferiores a 0,20. Enquanto as tonalidades de cor verde, faixas superiores a 0,51, representam áreas com maior vigor vegetativo, sendo mais pujante à medida que o verde fica mais escuro.

Detectou-se que áreas de solo exposto, vegetação esparsa e caducifólias ralas predominam na bacia hidrográfica nas cenas 174/2003, 199/2007, 132/2012 e 197/2013, e na porção centro-sul em todas as imagens analisadas, possibilitando identificar as áreas submetidas a processo de degradação ambiental. Destaca-se 132/2012 em que perda de cobertura vegetal é devido à escassez das chuvas, enquanto o alto potencial de recuperação da vegetação nas cartas 207/2005 e 154/2014 está relacionada a ocorrência do evento chuvoso.

Os resultados encontrados nesta pesquisa foram condizentes com os valores encontrados na literatura para áreas de Caatinga (BEZERRA *et al.*, 2014; SANTOS *et al.*, 2014; SILVA; SILVA; SILVA, 2014). Além desses autores, destaca-se Albuquerque *et al.* (2014) em suas análises sobre o comportamento do NDVI e NDWI sob diferentes intensidades pluviométricas em Sousa-PB, onde constataram que o NDVI apresentou valores variando entre 0,01 a 0,29 em áreas de solo exposto e vegetação esparsa; enquanto os intervalos entre 0,3 e 0,5 representam vegetação menos densa; e os maiores que 0,5 indicam que a vegetação apresenta um bom estado fenológico, sendo a vegetação densa representada pelo NDVI superior a 0,7.

Rêgo *et al.* (2012) analisaram comparativamente os índices de vegetação NDVI e SAVI em São Domingos do Cariri-PB, onde puderam identificar o crescimento de áreas com nível de degradação muito grave na região norte do mencionado município onde puderam observar a intensificação do processo de desertificação no decorrer dos anos devido alguns agentes como grandes períodos de estiagem e das atividades humanas.

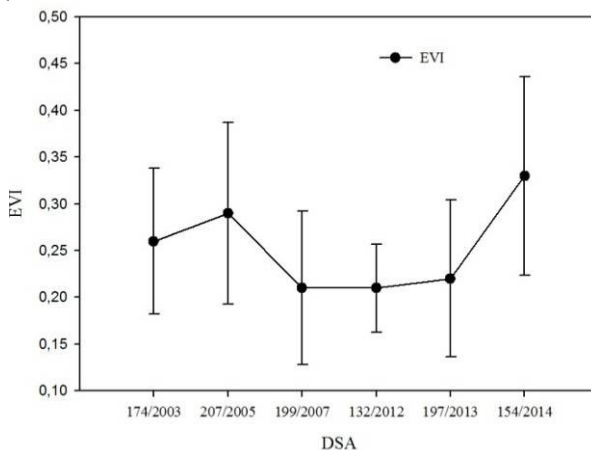


**Figura 6:** Carta temática da distribuição espacial do NDVI nas datas 174/2003, 207/2005, 199/2007, 132/2012, 197/2013 e 154/2014.



A distribuição percentual de pixels em cada classe de NDVI é representada pela Tabela 2, na qual se destaca o intervalo 0,41 – 0,50 com a maior representatividade espacial entre as datas. A maior magnitude entre os intervalos avaliados foi em 132/2012 (34,8%), enquanto nas classes  $< 0,20$  e  $> 0,71$  as maiores grandezas foram 4,3 e 31,9% nas cenas 207/2005 e 154/2014, respectivamente. Nessa última cena (154/2014) foram verificadas as máximas no valor médio (0,63) e no desvio padrão (0,183), enquanto o coeficiente de variação foi maior na data 197/2013 com 0,36 e menor em 132/2012 (0,26), caracterizando-se a forte homogeneidade do NDVI, como pode ser observado na Figura 6.

Na Figura 7 estão representados os valores médios e desvio padrão do EVI foi possível constatar comportamento semelhante com o índice NDVI com uma variação menor entre os valores médios das cenas (0,12), entretanto ainda altos. Da mesma forma que no NDVI, as cenas de destaque no EVI são 132/2012 com o menor valor médio (0,21), no EVI 199/2007 também apresentou 0,21 de valor médio; e 154/2014 com o maior valor médio (0,33) entre os períodos avaliados.



**Figura 7:** Gráfico dos valores médios e desvio padrão do EVI em 174/2003, 207/2005, 199/2007, 132/2012, 197/2013 e 154/2014.

**Tabela 2:** Distribuição percentual das classes de NDVI na bacia hidrográfica do rio Pajeú para as datas em análise

NDVI	174/2003	207/2005	199/2007	132/2012	197/2013	154/2014
Classes	Distribuição percentual					
< 0,20	1,5	4,3	1,1	1,1	2,7	1,1
0,21 – 0,30	6,1	5,3	4,2	9,1	9,3	3,1
0,31 – 0,40	22,6	8,7	23,0	34,8	20,2	7,7
0,41 – 0,50	33,8	18,9	34,3	37,1	23,9	14,5
0,51 – 0,60	21,9	23,3	19,3	15,0	20,9	18,6
0,61 – 0,70	10,6	21,8	10,9	2,7	15,2	23,1
> 0,71	3,5	17,7	7,2	0,2	7,8	31,9
Valor médio	0,46	0,56	0,46	0,42	0,48	0,63
Desvio-padrão	0,142	0,178	0,144	0,108	0,173	0,183
Coefficiente de variação	0,31	0,32	0,31	0,26	0,36	0,29

Em termos relativos às médias também apresentaram alta variação nas cenas, com ênfase as cenas 154/2014 com o maior distanciamento das médias com intervalo entre 0,22 e 0,43; com o menor distanciamento 132/2012 com intervalo entre 0,25 e 0,16, aproximadamente.

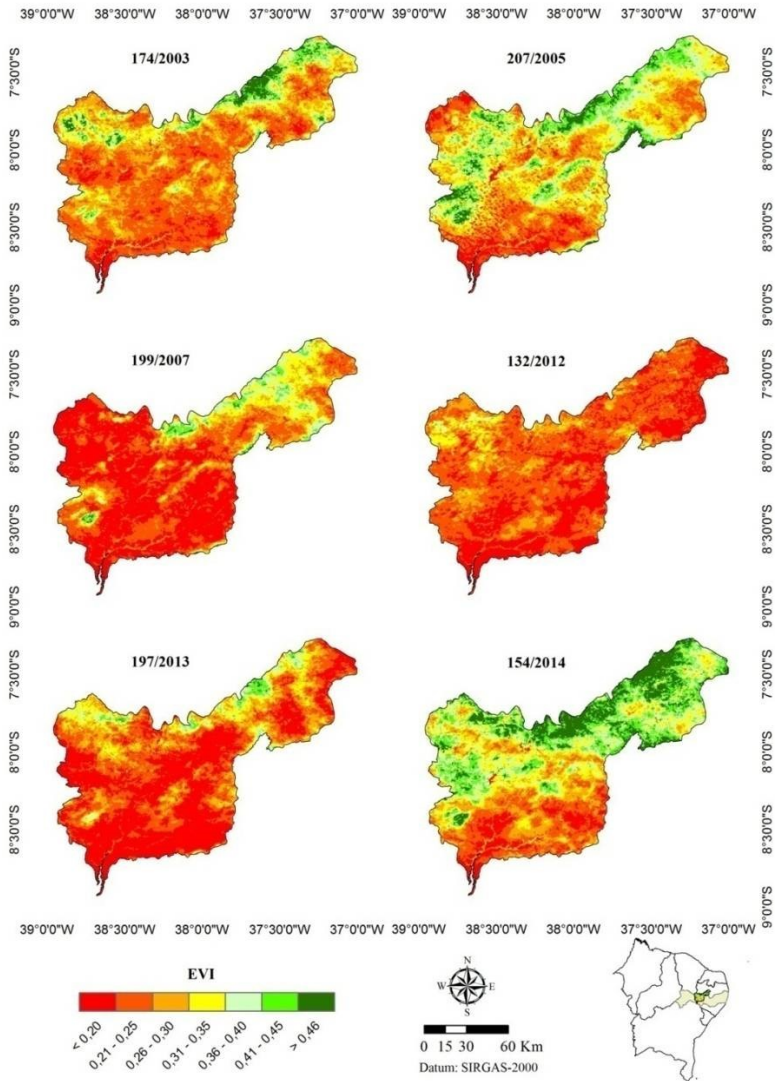
Na Figura 8 as cartas temáticas representam a variação espacial do EVI na bacia do rio Pajeú nas datas 174/2003, 207/2005, 199/2007, 132/2012, 197/2013 e 154/2014. Os resultados apresentados pelo índice de vegetação EVI acompanham a tendência observada pelo NDVI, uma vez que se verifica o predomínio de solo exposto, vegetação rasteira e áreas cobertas por vegetações caducifólias ralas de coloração acinzentada simulados nas cores vermelho (< 0,20), laranja (0,21 – 0,25) e amarelo (0,26 – 0,30), respectivamente. Além do aumento da cobertura vegetal na porção norte e nordeste da cena 154/2014 na área pesquisada, representada pelas tonalidades de cor verde, EVI superior a 0,36, com maior vigor vegetativo no índice acima de 0,46 (verde escuro).

Assim como o NDVI, o EVI apresenta sensibilidade ao regime hídrico, fato identificado pelo sensível aumento desse índice na data 154/2014 para valores maiores e crescentes a partir desta data, exatamente, quando ocorreu uma sequência expressiva de eventos chuvosos. Em contrapartida, em 132/2012, ano de seca severa, o EVI apresentou os menores valores com solo exposto e vegetação rasteira em quase toda bacia hidrográfica.

Cunha *et al.* (2012) estudaram a dinâmica da cobertura vegetal para a sub-bacia hidrográfica de São João do Rio do Peixe, região semiárida do Estado da Paraíba, por meio de uma análise multitemporal de variáveis biofísicas derivadas de imagens do satélite Landsat 5 para o período de 23 anos, utilizando técnicas de processamento digital de imagens, tendo o EVI como um dos parâmetros. Os resultados apontaram para uma recuperação da cobertura vegetal, mais evidente nos trechos mais declivosos da bacia hidrográfica.

Matos; Candeias; Tavares Júnior (2013) avaliaram o comportamento do EVI na bacia hidrográfica do rio Pajeú a partir de uma análise multitemporal, em que foi possível mapear grandes áreas com informações de solo exposto e vegetação rasteira, resultados semelhantes aos obtidos no presente estudo. França *et al.* (2013) analisaram a distribuição espacial da vegetação da Caatinga no município de Ibimirim, Sertão pernambucano, em que na maioria das cenas processadas (1993, 1995, 1998, 2006 e 2010, exceto 1989) prevaleceu solo exposto, EVI inferior a 0,25.

No tocante à distribuição percentual de pixels em cada classe de EVI no período analisado (Tabela 3), a faixa do 0,21 – 0,25 apresentou a maior distribuição espacial, destacando-se o produto 199/2007 com a representação mais expressiva entre os intervalos avaliados, 42,7% (< 0,20). Na cena 154/2014 se sobressaiu a classe > 0,46 (13,2%), além dos mais altos índices no valor médio (0,33) e no desvio padrão (0,106). Já o coeficiente de variação foi mais significativo na data 199/2007 (0,38); e mais homogêneo em 132/2012, assim como no NDVI, apresentando 0,22 de coeficiente de variação.



**Figura 8:** Carta temática da distribuição espacial do EVI nas datas 174/2003, 207/2005, 199/2007, 132/2012, 197/2013 e 154/2014.

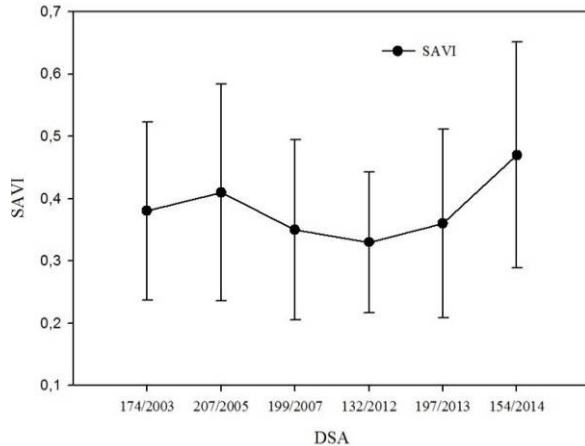
**Tabela 3:** Distribuição percentual das classes de EVI na bacia hidrográfica do rio Pajeú para as datas em análise

EVI Classes	174/2003	207/2005	199/2007	132/2012	197/2013	154/2014
	Distribuição percentual					
< 0,20	13,4	16,8	42,7	40,4	39,7	9,8
0,21 – 0,25	35,1	20,8	27,9	42,3	25,1	16,1
0,26 – 0,30	25,8	20,0	12,2	13,6	17,0	16,2
0,31 – 0,35	13,3	17,1	7,9	3,2	10,0	15,3
0,36 – 0,40	6,9	12,4	4,4	0,5	4,6	15,3
0,41 – 0,45	3,4	7,4	2,6	0,0	1,6	14,1
> 0,46	2,1	5,5	2,3	0,0	1,7	13,2
Valor médio	0,26	0,29	0,21	0,21	0,22	0,33
Desvio-padrão	0,078	0,097	0,082	0,047	0,084	0,106
Coefficiente de variação	0,30	0,34	0,38	0,22	0,37	0,32

O gráfico dos valores médios e desvio padrão do SAVI (Figura 9) apresentou uma pequena variação entre os valores médios das cenas (0,14), em destaque estão as cenas 154/2014, a qual possui o maior valor médio (0,47) entre os períodos analisados e o maior desvio padrão com 0,36, em que os intervalos ficaram entre 0,65 e 0,29; e 132/2012 com o menor valor médio (0,33), além do menor desvio padrão com 0,23 (intervalos entre 0,44 e 0,21, aproximadamente). Ressalta-se que o valor médio e desvio padrão da cena 207/2005 foram significativos com 0,41 e 0,35, respectivamente, isso por causa da irregularidade da quantidade e da distribuição espacial da precipitação.

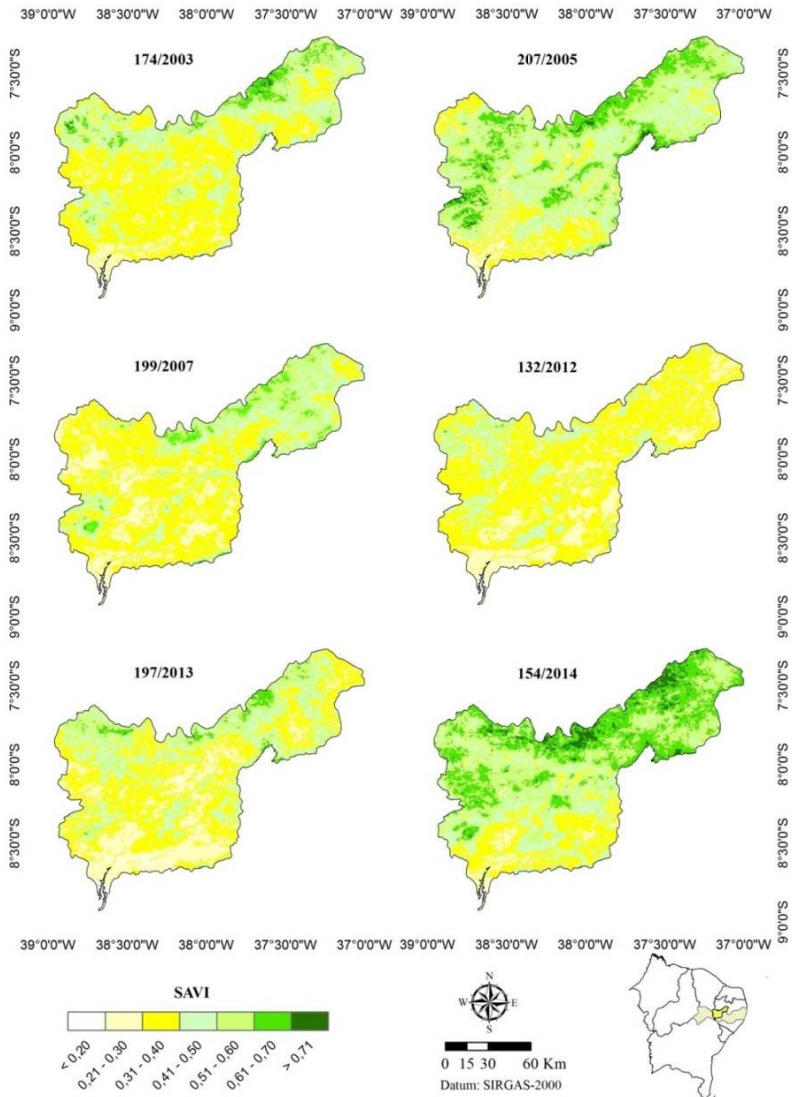
As cartas temáticas do SAVI das datas 174/2003, 207/2005, 199/2007, 132/2012, 197/2013 e 154/2014 da área pesquisada estão representadas Figura 10. Por ser um índice adaptado do NDVI ajustado para amenizar os efeitos do “background” do solo (inserção da constante L), o SAVI exibiu resultados bem similares aos do NDVI. Essas semelhanças se derivam da identificação de áreas de solo exposto e vegetação esparsa na porção centro-sul e nas áreas

RIBEIRO, E.P. *et al.* Estimativa dos índices de vegetação na detecção de ...  
norte e nordeste da bacia hidrográfica com maior vigor vegetativo,  
com exceção da carta 132/2012.



**Figura 9:** Gráfico dos valores médios e desvio padrão do SAVI em 174/2003, 207/2005, 199/2007, 132/2012, 197/2013 e 154/2014.

Nas cenas 174/2003, 199/2007, 132/2012 e 197/2013 prevaleceram a classe 0,31 – 0,40 (cor amarelo de tonalidade mais escura) com 39,9%, 41,5%, 48,9% e 30,1%, respectivamente, sendo o valor médio de 0,38. Nas datas 207/2005 e 154/2014 há o predomínio de solo recoberto pela vegetação de Caatinga com índices de SAVI superiores a 0,41 (tonalidades de cor verde), obtendo valores mais expressivos em 154/2014, em recorrência de períodos chuvosos.



**Figura 10:** Carta temática da distribuição espacial do SAVI nas datas 174/2003, 207/2005, 199/2007, 132/2012, 197/2013 e 154/2014.

Os resultados são compatíveis com a análise comparativa dos índices de vegetação NDVI e SAVI na microrregião do vale do Pajeú – PE realizada por Gomes et al. (2013), na qual os índices apresentaram resultados satisfatórios no que diz respeito a representação da vegetação da região estudada. Na determinação de variáveis biofísicas da bacia hidrográfica do rio Pajeú, Ramos et al. (2011) identificou na porção centro-sul áreas degradadas, com mais gravidade na foz do rio, bem como a existência de solo exposto com valores inferiores a 0,16. No município de São Domingos do Cariri-PB, Rêgo et al. (2012) também encontram valores aproximados de SAVI nas feições (solo exposto e vegetação rasteira) aqui discutidas.

Na investigação sobre o uso dos solos, índices de vegetação e degradação na Área de Proteção Ambiental (APA) das Onças no estado da Paraíba, Monteiro (2013) apresenta as áreas de vegetação de Caatinga com valores entre 0,33 a 0,52; Mata Serrana com 0,52 a 0,61; e acima de 0,61 vegetação de Brejo de Altitude. Esses intervalos, apesar de próximos para as áreas recobertas com vegetação, levam em consideração as especificidades da Apa.

Em análise comparativa da variação nos índices NDVI e SAVI no Sítio PELD – 22, no município de Petrolina – PE, Silva; Galvêncio (2012) destacam a eficiência do SAVI, principalmente em as áreas mais densamente vegetadas, comprovando que este parâmetro possui confiabilidade para os períodos secos do semiárido. Na pesquisa desses autores as imagens de outubro de 2001 e 2005 obtiveram aporte vegetacional na maior parte das cenas, com os valores concentrando-se entre 0,40 e 0,58, compatíveis com os apresentados no norte e nordeste da bacia hidrográfica do rio Pajeú.

A análise percentual de pixels em cada classe do SAVI (Tabela 4) possibilitou constatar que a distribuição entre as classes avaliadas é mais significativa nos intervalos 0,31 – 0,40 em todas as cenas, sendo mais expressiva em 132/2012 (48,9). Destaca-se também a cena 154/2014, a qual obteve maior distribuição na faixa > 0,71 com 2,8%, além do maior valor médio (0,47) e desvio padrão (0,181). Em 207/2005 ficou com o mais alto coeficiente de

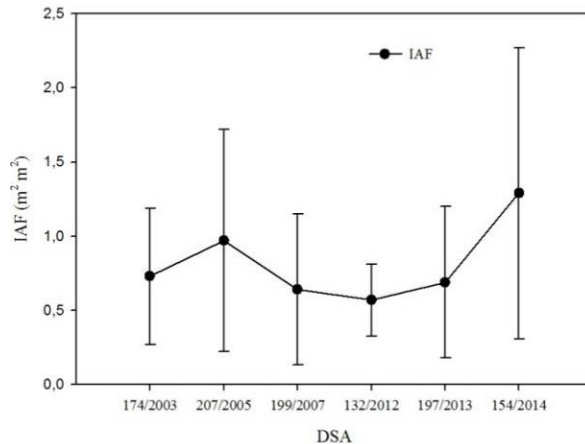


RIBEIRO, E.P. *et al.* Estimativa dos índices de vegetação na detecção de ...  
 variação (0,43). O ano com distribuição mais homogênea foi o de  
 132/2012 por apresentar apenas 0,33 de variação.

**Tabela 4:** Distribuição percentual das classes de SAVI na bacia  
 hidrográfica do rio Pajeú para as datas em análise

SAVI	174/2003	207/2005	199/2007	132/2012	197/2013	154/2014
Classes	Distribuição percentual					
< 0,20	9,3	12,3	9,1	9,2	10,9	8,0
0,21 – 0,30	12,0	8,4	18,2	25,6	20,5	5,6
0,31 – 0,40	39,9	22,5	41,5	48,9	30,1	15,8
0,41 – 0,50	25,8	26,0	17,7	14,8	23,1	21,2
0,51 – 0,60	10,3	20,8	9,2	1,5	11,9	24,5
0,61 – 0,70	2,6	9,2	3,8	0,0	3,0	22,1
> 0,71	0,1	0,8	0,5	0,0	0,5	2,8
Valor médio	0,38	0,41	0,35	0,33	0,36	0,47
Desvio- padrão	0,143	0,174	0,145	0,113	0,151	0,181
Coefficiente de variação	0,38	0,43	0,41	0,34	0,41	0,39

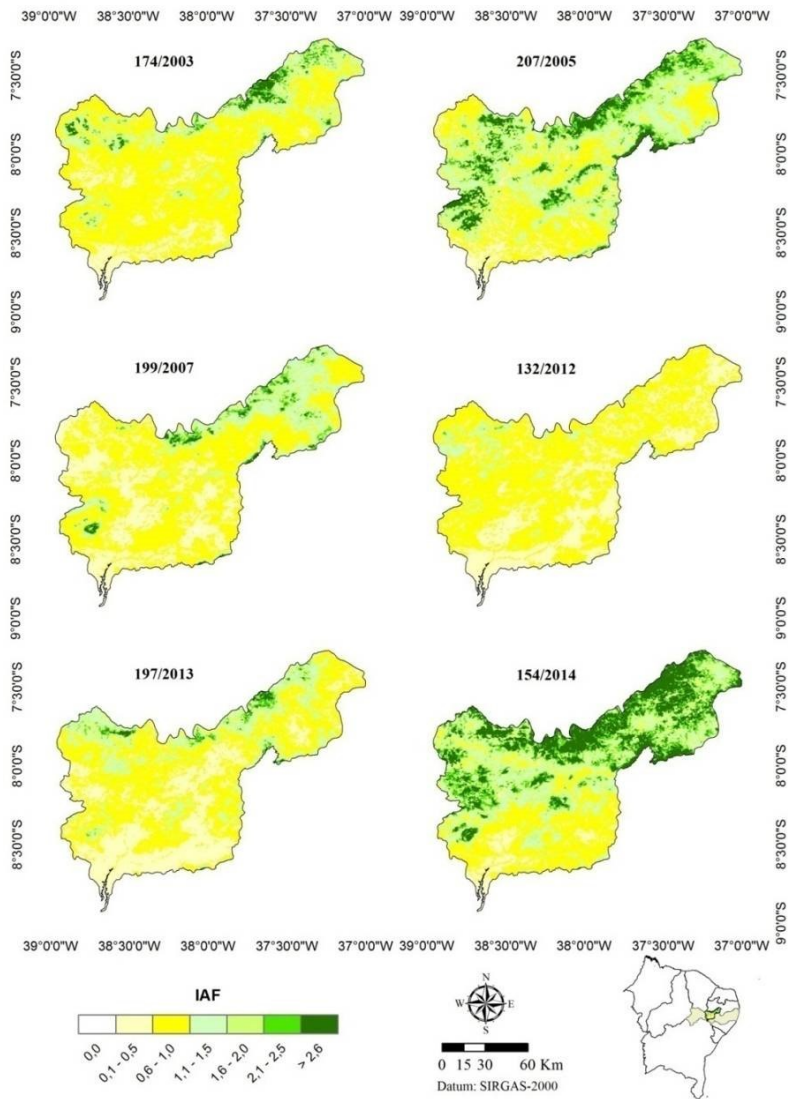
Na Figura 11 estão representados os valores médios e desvio padrão do IAF em que foi verificada uma baixa variação de  $0,72 \text{ m}^2\text{m}^2$  entre os valores médios das cenas. Os maiores valores médios entre os períodos analisados foram 207/2005 e 154/2014 com  $0,97$  e  $1,29 \text{ m}^2\text{m}^2$ , bem como os maiores distanciamentos das médias com intervalos entre  $1,70$  e  $0,22 \text{ m}^2\text{m}^2$  e  $2,26$  e  $0,32 \text{ m}^2\text{m}^2$ , respectivamente, isso devido os índices de precipitações mais elevados.



**Figura 11:** Gráfico dos valores médios e desvio padrão do IAF em 174/2003, 207/2005, 199/2007, 132/2012, 197/2013 e 154/2014.

Marcado por um ano de seca severa, o dia sequencial do ano (DAS) 132/2012 apresentou o menor valor médio de IAF com 0,57 m<sup>2</sup>m<sup>-2</sup>, como também o menor distanciamento da média com intervalo entre 0,8 e 0,3 m<sup>2</sup>m<sup>-2</sup>, aproximadamente, a homogeneidade se dá pela escassez de chuva no referido ano.

Na Figura 12 são representadas as cartas do IAF na bacia do rio Pajeú nas datas 174/2003, 207/2005, 199/2007, 132/2012, 197/2013 e 154/2014. Os resultados obtidos com o IAF revelaram que na maioria das cenas (174/2003, 199/2007, 132/2012, 197/2013) os valores foram inferiores 1,0 m<sup>2</sup>m<sup>-2</sup> (cor branca e tonalidades de amarelo), ou seja, áreas (porção centro-sul da bacia hidrográfica) com pouca área foliar (vegetação aberta); contudo em todas as cenas o intervalo 0,6 a 1,0 m<sup>2</sup>m<sup>-2</sup> foi predominante (tonalidade de amarelo mais realçado).



**Figura 12:** Carta temática da distribuição espacial do IAF nas datas 174/2003, 207/2005, 199/2007, 132/2012, 197/2013 e 154/2014.

As áreas com densidade mais elevada (porção norte e nordeste da bacia hidrográfica) apresentaram IAF superiores a  $1,1 \text{ m}^2\text{m}^2$  (tonalidades de verde), destacando-se as cenas 207/2005 e 154/2014 por apresentarem maior distribuição da vegetação nativa com biomassa mais consistente e por atingirem índices superiores a  $2,6 \text{ m}^2\text{m}^2$ , principalmente nas áreas serranas.

Nos estudos sobre o índice de área foliar (IAF), Ramos *et al.* (2011) evidenciam os baixos valores ao longo da parte central da mencionada bacia hidrográfica na ordem de  $0,10 \text{ m}^2\text{m}^2$ . Afirma ainda que a maior parte dos pixels da bacia hidrográfica oscilou entre  $0,0$  e  $0,50 \text{ m}^2\text{m}^2$ , representando as áreas com solo exposto e vegetação com pouca área foliar (vegetação aberta), isso devido à exploração da vegetação da Caatinga e da escassez de chuva. A vegetação com alta densidade que ocorre em altitudes acima de 600 metros apresentou índice de área foliar acima de  $0,60 \text{ m}^2\text{m}^2$ .

Em áreas de agricultura irrigada o IAF variou de  $0,63$  a  $1,11 \text{ m}^2\text{m}^2$  ao passo que em áreas de Caatinga florestada o índice oscilou entre  $0,84$  a  $1,36 \text{ m}^2\text{m}^2$ , tendo uma maior relação entre área foliar e área de solo. Os resultados encontrados por Cunha; Rufino (2009) na bacia hidrográfica do Rio do Peixe no semiárido da Paraíba, por Cunha *et al.* (2012) na mesma bacia hidrográfica; e Silva; Silva; Silva (2014) na bacia experimental de São João do Cariri, também no semiárido da Paraíba, são condizentes com os encontrados na presente pesquisa.

A distribuição percentual de pixels em cada classe de IAF é representada pela Tabela 5, na qual se destaca o intervalo  $0,6 - 1,0$  das cenas avaliadas, sendo mais expressiva em 132/2012 (49,3), como também na classe  $0,0$  (0,3%). Se evidência também, assim como no SAVI, a cena 154/2014, a qual deteve o maior valor médio (1,29) e desvio padrão (0,982), enquanto que 199/2005 revelou o coeficiente de variação mais alto com 0,79. O ano de 132/2012 apresentou maior homogeneidade na distribuição espacial com variação de 0,42.

**Tabela 5:** Distribuição percentual das classes de IAF na bacia hidrográfica do rio Pajeú para as datas em análise

IAF	174/2003	207/2005	199/2007	132/2012	197/2013	154/2014
Classes	Distribuição percentual					
0,0	0,0	0,1	0,1	0,3	0,0	0,0
0,1 – 0,5	31,0	18,2	35,6	45,4	35,2	10,4
0,6 – 1,0	48,3	36,9	44,4	49,3	39,7	28,6
1,1 – 1,5	13,8	22,9	11,5	4,6	16,3	21,5
1,6 – 2,0	4,3	11,3	4,7	0,4	5,7	15,3
2,1 – 2,5	1,6	5,4	2,1	0,0	2,0	9,8
> 2,6	1,0	5,2	1,6	0,0	1,1	14,4
Valor médio	0,73	0,97	0,64	0,57	0,69	1,29
Desvio-padrão	0,459	0,748	0,508	0,242	0,511	0,982
Coefficiente de variação	0,63	0,77	0,79	0,42	0,74	0,76

### Considerações finais

Os resultados encontrados com a análise da precipitação e com os índices de vegetação, utilizando alguns componentes do algoritmo SEBAL e produtos MODIS – Terra e Aqua, na presente pesquisa possibilitaram conclusões a cerca das condições ambientais da bacia hidrográfica do rio Pajeú. Assim, pode-se afirmar que a distribuição da precipitação diminui da região norte-nordeste em direção ao centro-sul da mencionada bacia hidrográfica.

Nas imagens examinadas, o NDVI expôs a resiliência da Caatinga com o alto potencial de recuperação e desenvolvimento de biomassa em condições favoráveis de precipitação. Contudo, o EVI revelou-se mais adequado do que o NDVI no estudo da Caatinga na área estudada, pois minimiza os efeitos atmosféricos e de solo, representando melhor a resposta espectral da vegetação.

Os índices de vegetação (NDVI, EVI, SAVI e IAF) apresentaram-se harmonia na distribuição espacial das áreas de solo exposto, vegetação esparsa, Caatinga hipoxerófila, Caatinga hipoxerófila e vegetação serrana. Permitiram também inferir que a

RIBEIRO, E.P. *et al.* Estimativa dos índices de vegetação na detecção de ... porção centro-sul da bacia hidrográfica do rio Pajeú está sob graves processos de degradação ambiental com altos riscos de desertificação, principalmente na foz do rio.

Conclui-se também que os referidos índices avaliados pelo algoritmo SEBAL são eficazes e eficientes na compreensão da dinâmica dos padrões espaciais, temporais e espectrais de ambientes semiáridos como o do Sertão nordestino.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE) pelo incentivo a pesquisa acadêmica.

## **Referências bibliográficas**

ALBUQUERQUE, E. M.; *et al.* Análise do comportamento do NDVI e NDWI sob diferentes intensidades pluviométricas no município de Sousa-PB. **Revista Estudos Geoambientais**, Rio Tinto, n. 01, v. 01; Jan-Abr, 2014.

ALLEN, R. G.; *et al.* **Sebal - surface energy balance algorithms for land**. Advance training and users manual – Idaho implementation. Moscow: Idaho Department of Water Resources, 2002. 98p.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Séries Históricas**. Sistema de informações hidrológicas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 19 de dezembro de 2014.

ANDERSON, L. O.; *et al.* **Sensor MODIS: uma abordagem geral**. INPE-10131-RPQ/752, São José dos Campos, SP. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 58p., 2003.

BASTIAANSSEN, W. G. M. **Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain: A**

RIBEIRO, E.P. *et al.* Estimativa dos índices de vegetação na detecção de ...

**remote sensing approach under clear skies in Mediterranean climate.** PhD. Dis., CIP Data Koninklijke Bibliotheek, Den Haag, the Netherlands, 1995, 272 p.

BEZERRA, J. M.; *et al.* Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** v. 18, n. 1, p. 73 – 84, 2014.

BOEGH, E.; SOEGAARD, H.; THOMSEM, A. Evaluating evapotranspiration rates and surface conditions using Landsat TM to estimate atmospheric resistance and surface resistance. **Remote Sensing of Environmental.** v. 79, p. 329 – 343, 2002.

BRADLEY, B. A.; MUSTARD, J. F. Identifying land cover variability distinct from land coverchange: Cheatgrass in the Great Basin. **Remote Sensing of Environment,** v. 94, p. 204 – 213, 2005.

BRINKMANN, K.; *et al.* Quantification of aboveground rangeland productivity and anthropogenic degradation on the Arabian Peninsula using Landsat imagery and field inventory data. **Remote Sensing of Environment,** v. 115, p. 465 – 474, 2011.

CUNHA, A. P. M. A.; *et al.* Impactos dos parâmetros biofísicos da vegetação derivados do sensor MODIS/TERRA nas simulações do balanço de energia em área de caatinga. VI Workshop Brasileiro de Micrometeorologia, **Ciência e Natura Especial, Edição Especial – Micrometeorologia,** p. 109 – 112, 2009.

CUNHA, J. E. B. L.; *et al.* Dinâmica da cobertura vegetal para a Bacia de São João do Rio do Peixe, PB, utilizando-se sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** v. 16, n. 5, p. 539 – 548, 2012.

CUNHA, J. E. B. L.; RUFINO, I. A. A. Identificação das mudanças na cobertura vegetal daBacia de São João do Rio Peixe

RIBEIRO, E.P. *et al.* Estimativa dos índices de vegetação na detecção de ... por meio de imagens do Landsat-5 TM. **Anais... XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Campo Grande – MS, p. 1 – 20, 2009.

FRANÇA, L. M. A.; *et al.* Spatial analysis of caatinga vegetation in the municipality of Ibimirim-PE. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v.03, n.03, 059 – 70, 2013.

GOMES, H. B.; *et al.* Análise comparativa dos índices de vegetação NDVI e SAVI na microrregião do vale do Pajeú-PE. **Anais... I Workshop Internacional Sobre Água no Semiárido Brasileiro**, Campina Grande – PB, p.1 – 5, 2013.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 25, p. 295 – 309, 1988.

HUETE, A. R.; *et al.* A Comparison of Vegetation Indices over a Global Set of TM Images for EOS-MODIS. **Remote Sens. Environ**, n. 59, p.440 – 451, 1997.

JUSTICE, C. O.; *et al.* The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 36, p. 1228 – 1247, 1998.

LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande, Ed. UNIDERP, 2006.

LOPES, H. L.; *et al.* Parâmetros biofísicos na detecção de mudanças na cobertura e uso do solo em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v. 14, n. 11, p. 1210 – 1219, 2010.

MATOS, R. C. M.; CANDEIAS, A. L. B.; TAVARES JUNIOR, J. R. Mapeamento da vegetação, temperatura e albedo da Bacia hidrográfica do Pajeú com imagens Modis. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 65, v. 1, p. 139 – 160, 2013.



- RIBEIRO, E.P. *et al.* Estimativa dos índices de vegetação na detecção de ...
- MOREIRA, M. A.; SHIMABUKURO, Y. E. Cálculo do índice de vegetação a partir do sensor AVHRR Capítulo 4, p. 80 – 101. In: **Aplicações ambientais brasileiras dos satélites NOAA e TIROS-N**. FERREIRA, N. J. (Coord.). São Paulo: Oficina de Textos, 2004.
- OLIVEIRA, L. M. M. **Estimativa da evapotranspiração real por sensoriamento remoto na Bacia do Rio Tapacurá-PE**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências. Recife, 2012.
- RAMOS, R. R. D.; *et al.* Determinação de variáveis biofísicas na bacia do rio Pajeú – Pernambuco, Brasil. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, 2011.
- RÊGO, S. C. A.; *et al.* Análise comparativa dos índices de vegetação NDVI e SAVI no município de São Domingos do Cariri–PB. **Revista Geonorte**, Edição Especial, v.2, n.4, p.1217 – 1229, 2012.
- RIBEIRO, E. P.; NÓBREGA, R. S.; F. O. MOTA FILHO. Spatiotemporal Rainfall Variability in the Pajeu' River Basin, Pernambuco, Brazil, **Journal of Environmental Hydrology**, Vol. 23, Paper 2, 2015.
- RODRIGUES, E. L.; *et al.* Avaliação da cobertura vegetal por meio dos índices de vegetação SR, NDVI, SAVI e EVI na sub-bacia do Vale do Rio Itapeçerica, Alto São Francisco, em Minas Gerais. **Anais... XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**, Foz do Iguaçu–PR, INPE, 2013.
- SALLO, F. S.; *et al.* Estimativa de componentes do balanço de radiação em diferentes tipos de uso e cobertura do solo. **Rev. Ambient. Água**, v. 9 n. 2, Taubaté, 2014.
- SAMPAIO, E. V. S. B. *et al.* (Eds.): **Vegetação e flora da caatinga** - contribuição ao Workshop Avaliação e Identificação de Ações

RIBEIRO, E.P. *et al.* Estimativa dos índices de vegetação na detecção de ...  
Prioritárias para a Conservação, Utilização Sustentável e Repartição  
dos Benefícios da Biodiversidade do Bioma Caatinga, em Petrolina,  
5/2000. Recife: Associação Plantas do Nordeste – APNE/Centro  
Nordestino de Informações sobre Plantas – CNIP, 2002.

SANTOS, J. Y. G.; *et al.* Assessment of land use change on the  
streamflow using GIS, remote sensing and physically-based model.  
**IAHS-AISH Publication**, v. 368, p. 232 – 239, 2014.

SILVA, A. M.; SILVA, R. M.; SILVA, B. B. Estimativa de  
parâmetros biofísicos em diferentes tipos de uso e ocupação do solo  
no semiárido paraibano. XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia, V  
Congresso Brasileiro de Geoprocessamento, XXV Expositiva,  
**Anais...** Gramado, RS, 2014.

SILVA, J. M. C. (Orgs.). **Biodiversidade da caatinga: áreas e ações  
prioritárias para a conservação**. Brasília, DF: Ministério do Meio  
Ambiente: Universidade Federal de Pernambuco, 2003.

SILVA, L. G.; GALVÍNIO, J. D. Análise comparativa da  
variação nos índices NDVI e SAVI no Sítio PELD – 22, em  
Petrolina – PE, na primeira década do século XXI. **Revista  
Brasileira de Geografia Física**, n. 06, p. 1446-1456, 2012.

SILVA, R. M.; *et al.* Estimation of evapotranspiration in Brigida  
river basin (Brazil) by satellite remote sensing. **IAHS-AISH  
Publication**, v. 344, p. 208 – 214, 2011.

TASUMI, M. **Progress in operational estimation of regional  
evapotranspiration using satellite imagery**. Ph.D. Thesis, Dept.  
Biological and Agricultural Engineering, University of Idaho. Idaho,  
2003.

Recebido em outubro de 2015  
Aceito em março de 2016