



## VARIAÇÃO DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO DA CAATINGA NO ALTO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TAPEROÁ

Lucas Suassuna de Albuquerque Wanderley<sup>(a)</sup>, Ranyére Silva Nóbrega<sup>(b)</sup>, Elvis Berg Moreira<sup>(c)</sup>, Joselma de Araújo Lucena<sup>(d)</sup>

<sup>(a)</sup> Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Geografia/PPGEO, Universidade Federal de Pernambuco UFPE, lucassaw.13@gmail.com

<sup>(b)</sup> Doutor em Meteorologia, professor do Programa de Pós-Graduação em Geografia/PPGEO, Universidade Federal de Pernambuco UFPE, ranyere.nobrega@yahoo.com.br

<sup>(c)</sup> Doutor em Geografia, professor da Universidade do Oeste da Bahia UFOB, elvis.moreira@ufob.edu.br

<sup>(d)</sup> Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Geografia/PPGEO, Universidade Federal de Pernambuco UFPE, joselma.geografia@gmail.com

### Eixo: GEOTECNOLOGIAS E MODELAGEM ESPACIAL EM GEOGRAFIA FÍSICA

#### RESUMO

A variação sazonal de biomassa no ambiente semiárido do Nordeste Brasileiro, relacionada à variabilidade pluviométrica, proporciona distintos níveis de equilíbrio nos sistemas ambientais. Tal fluabilidade de massa e energia nos ecossistemas e a variação da cobertura vegetal resultante afetam a intensidade dos processos modeladores da paisagem e impacta as atividades humanas. Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo investigar a variação dos índices de vegetação no alto curso da Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá no intuito de fornecer informações aplicáveis ao planejamento do uso da terra no ambiente das Caatingas. Para esse propósito foram calculados os índices de vegetação da diferença normalizada (NDVI), vegetação ajustada ao solo (SAVI) e área foliar (IAF) para os meses de maio e junho de 2016, a fim de detectar mudanças nesses índices resultantes de variação na disponibilidade hídrica. Como análise complementar foram associados os índices gerados a partir das imagens de satélite Landsat 8 aos aspectos da paisagem, com diferentes usos e coberturas da terra, registrados em fotografias. Os resultados demonstraram variações temporais expressivas dos índices biofísicos, com a mudança da disponibilidade hídrica do ambiente, e variações espaciais resultantes da cobertura e uso da terra. Esses resultados reforçam a importância de análises sazonais dos índices biofísicos gerados por sensoriamento remoto em ambientes de Caatingas, bem como enfatizam a consideração da dinâmica hidroclimática e a necessidade dos estudos de campo nas análises ambientais.

Palavras chave: variabilidade ambiental, Caatinga, índices de vegetação

#### Introdução

A Caatinga, vegetação típica do semiárido do Nordeste brasileiro, apresenta grande capacidade de resiliência e adaptação ao regime pluviométrico de seu ambiente de origem (AB'SABER, 2003). Por esta razão, a distribuição sazonal das chuvas em eventos isoladas, de alta magnitude e baixa recorrência geram modificações expressivas na paisagem.

Os ciclos de chuvas e secas no ambiente das Caatingas proporcionam variações no volume de biomassa, influenciando na disponibilidade de recursos vegetais e nos processos geomorfológicos modeladores da paisagem (RIBEIRO, et al. 2010). Essa variabilidade ambiental natural, quando alterada pelas atividades antrópicas (principalmente através do desmatamento desordenado), pode



resultar em desequilíbrios nos sistemas ambientais e alterações nas trocas de matéria e energia (CHRISTOFOLETTI, 1999). Por sua vez, esses desequilíbrios podem acarretar em perda de fertilidade dos solos e diminuição da capacidade de suporte de determinadas áreas para as atividades agropecuárias.

Inserido nesse contexto em que as atividades antrópicas e a variabilidade natural do ambiente transformam as paisagens, o alto curso da Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá apresenta desafios referentes à adaptação dos manejos da terra aos ciclos físicos ambientais. As diferentes paisagens encontradas na bacia hidrográfica resultantes, principalmente, dos arranjos do relevo, distribuição da precipitação e atividades humanas, apresentam distintas respostas às modificações ambientais.

O monitoramento dos índices biofísicos de vegetação, através de produtos gerados pelo sensoriamento remoto, pode funcionar como uma importante ferramenta de monitoramento de mudanças ambientais. Os índices de vegetação representam o comportamento espectral das espécies vegetais presentes nas imagens, sendo importantes na detecção de variações na distribuição espacial e densidade vegetacional, o que pode indicar usos da terra diferenciados e variabilidades climáticas, especialmente em um ambiente semiárido (FERREIRA, et al. 2012).

A sazonalidade do clima é um dos fatores que mais influencia o comportamento fenológico da vegetação. Durante os períodos úmidos ocorre maior produtividade das plantas e, por esta razão, são verificados os maiores índices de vegetação. Nos períodos secos são registrados os menores índices em virtude da menor produtividade da vegetação. Logo, variações na densidade de vegetação podem estar relacionadas à dinâmica climática, principalmente aos índices pluviométricos do período de obtenção das imagens (HUXUMAN et al. 2004).

Diante de tais premissas, o presente estudo tem como objetivo investigar a variação dos índices biofísicos no alto curso da Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá, diante da variabilidade da disponibilidade hídrica no ambiente das Caatingas.

### **Área de estudo**

O Alto curso da Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá está localizado na porção central do estado da Paraíba, compreendendo os municípios de Desterro, Cacimbas e Teixeira (Figura 01). Apresenta um clima do tipo semiárido quente em que as chuvas concentram-se no verão e início de outono, e são mal distribuídas no tempo e no espaço. A vegetação é do tipo Caatinga, apresentando fisionomias bastante diferenciadas de acordo com os condicionantes geomorfológicos, pedológicos e hídricos das distintas unidades de paisagem.

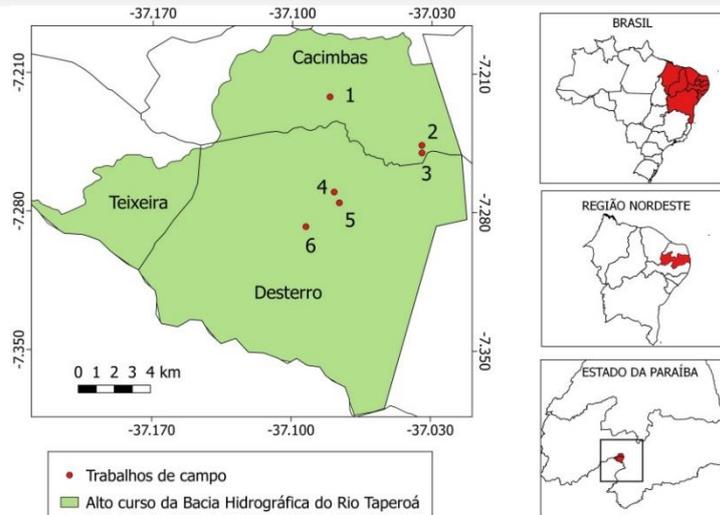


Figura 1: localização da área de estudo.

## Material e Métodos

A primeira etapa do estudo consistiu em selecionar imagens de satélite LANDSAT 8 do ano de 2016 para calcular os índices de vegetação e a carta de temperatura de superfície. Foram escolhidas as imagens do dia 8 de maio (12h34min) e 25 de junho (12h35min), ambas no final do período chuvoso, momento em que inicia a queda das folhas da vegetação da Caatinga para a entrada no estado de latência. Esta escolha considerou a hipótese de que essas imagens possivelmente mostrariam diferenças expressivas entre os índices de vegetação no momento da transição entre o período chuvoso e o seco.

Em um segundo momento, foram analisados os dados referentes às condições climáticas da área da bacia hidrográfica (precipitação e evapotranspiração) ao longo do período selecionado para o estudo. Essa análise teve com o objetivo verificar o efeito da variação dos dados climáticos sobre os índices biofísicos (NDVI, SAVI e IAF).

A terceira etapa, realizada anteriormente ao mapeamento da área, consistiu em trabalhos de campo realizados durante os meses de maio e junho de 2016, onde puderam ser analisadas áreas com distintos usos e ocupação da terra.

## Aquisição dos dados

Para realização do presente estudo foram utilizadas imagens obtidas pelo sensor Operacional Land Imager (OLI), o qual é acoplado ao satélite LANDSAT 8. Essas imagens são disponibilizadas pela United States Geological Survey acessadas em <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Foi utilizada a base cartográfica do IBGE e da AESA, contendo arquivos shapefiles dos limites municipais e os limites das sub-bacias hidrográficas do estado da Paraíba, respectivamente.



Os dados de precipitação foram obtidos no site da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs). Os valores de evapotranspiração foram estimados pelo método de Thornthwaite e Mather (1955) e as temperaturas mensais foram estimadas com a utilização do software Estima-T, da Unidade de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Campina (DCA/UFCG).

## Procedimentos metodológicos

### Parâmetros biofísicos

Para avaliação do comportamento da vegetação no espaço e tempo estabelecidos na pesquisa foram utilizados os índices de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), Vegetação Ajustada aos Efeitos do Solo (SAVI) e o de Área Foliar (IAF).

O NDVI foi proposto por Rouse et al. (1973) e permite fazer análises a respeito da cobertura vegetal, por ser um indicador sensível da densidade de vegetação verde, variando entre -1 e +1. É obtido pela razão entre a diferença das refletividades das bandas do infravermelho próximo (banda 2) e do vermelho (banda 1), dividida pela soma das mesmas:

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

em que  $\rho_2$  e  $\rho_1$  são as refletâncias das bandas 2 (0,841 a 0,876 nm), respectivamente.

O SAVI foi desenvolvido por Huete (1988) e foi elaborado com o objetivo de corrigir algumas limitações do NDVI. O SAVI busca amenizar os efeitos do “background” do solo, e é obtido pela multiplicação de  $1+L$  pela razão entre a diferença da reflectância do infravermelho próximo pela reflectância do vermelho, dividida, respectivamente pela soma das mesmas  $+L$ :

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

onde  $L$  é uma constante a qual representa o fator de ajuste do tipo de solo, variando entre 0 e 1.

O IAF é um indicador de biomassa dos pixels da imagem. É calculado, como propõe Allen et al. (2002) pela razão entre a área foliar da vegetação por unidade de área ocupada pela cobertura vegetal. Pode ser calculada pela seguinte equação:

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

Para analisar o comportamento das variáveis climáticas foram mapeados, com a utilização do software Qgis 2.14 e através de interpolação, os valores de precipitação semestral (janeiro –junho) no interior da área de estudo. Para isso, utilizou-se a técnica estatística espacial do Inverso Ponderado da Distância (Inverse Distance Weighting – IDW) que estima valores para pontos desconhecidos a partir da soma ponderada dos valores de  $N$  pontos conhecidos (LANDIM, 2000).



A disponibilidade de água no solo e os valores de evapotranspiração foram estimados a partir do cálculo do balanço hídrico climático, elaborado pelo método de Thornthwaite e Mather (1955), visando obter os valores de armazenamento, excedente e deficiência hídrica. Para isso considerou-se a capacidade de campo (volume máximo de água armazenado no solo) ou CAD = 100 mm.

## Resultados e discussão

### Condicionantes hidroclimáticos do ano de 2016

A dinâmica das chuvas na área de estudo é um aspecto primordial na análise da distribuição espacial da vegetação. A densidade da cobertura vegetal no dia da passagem do satélite, especialmente por se tratar de uma bacia semiárida, terá bastante influência do regime climático dos meses antecedentes.

A precipitação pluviométrica média no alto curso da Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá foi de 512 mm no primeiro semestre do ano de 2016. Os maiores volumes estiveram concentrados nos meses de janeiro (212 mm) e março (167 mm), representando 74% de toda a chuva acumulada no semestre. Já os meses de fevereiro, abril, maio e junho apresentaram baixos volumes de chuva, com volume total de 133 mm.

Observa-se na figura 02 que a distribuição da precipitação nos primeiros seis meses do ano teve um comportamento bastante irregular. Os valores médios de evapotranspiração superaram os volumes de chuva em quatro meses. O período climatologicamente mais chuvoso (fevereiro –abril) apresentou baixos valores de precipitação, caracterizando o ano como deficitário quanto ao volume total de chuva.

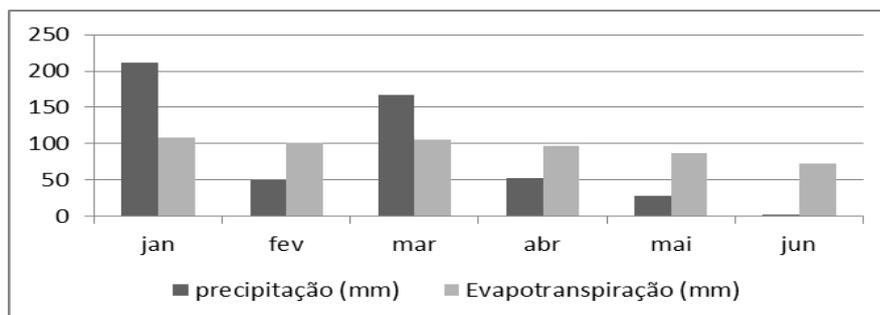


Figura 2: precipitação mensal e evapotranspiração para bacia do Taperoá no ano de 2016

A figura 3 demonstra que os valores de armazenamento hídrico no solo atingiram a capacidade de campo (CAD=100 mm) em janeiro e março, reduzindo-se significativamente durante o mês de fevereiro e a partir de abril. Os valores excedentes, drenados ou percolados, ficaram restritos aos dois meses mais chuvosos e não ultrapassaram os 25 mm. Já as deficiências hídricas foram mais intensas em maio e junho, superando os 50 mm no último mês do semestre.

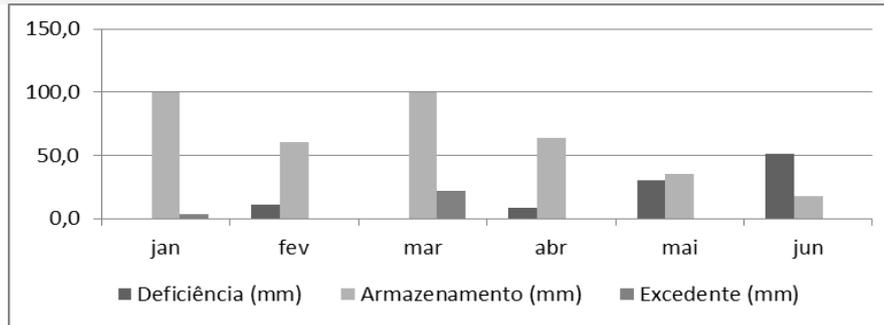


Figura 3: valores mensais da deficiência, armazenamento e excedente hídrico na bacia do Taperoá para o ano de 2016

Além da irregular dinâmica hidroclimática média mensal observada no período estudado, as chuvas também foram mal distribuídas no espaço. Na Figura 4 é possível verificar que os maiores volumes acumulados no semestre estiveram concentrados no centro-oeste da bacia hidrográfica com índices pluviométricos superiores a 500 mm. Já as áreas localizadas no nordeste e extremo leste da área de estudo apresentaram volumes de chuva inferiores a 400 mm.

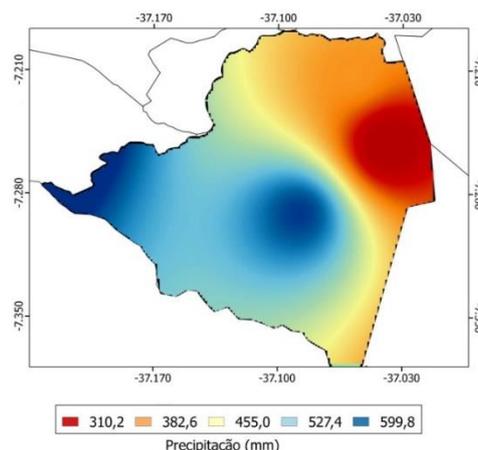


Figura 4: distribuição espacial da precipitação na bacia do Taperoá para o primeiro semestre de 2016

## Parâmetros biofísicos

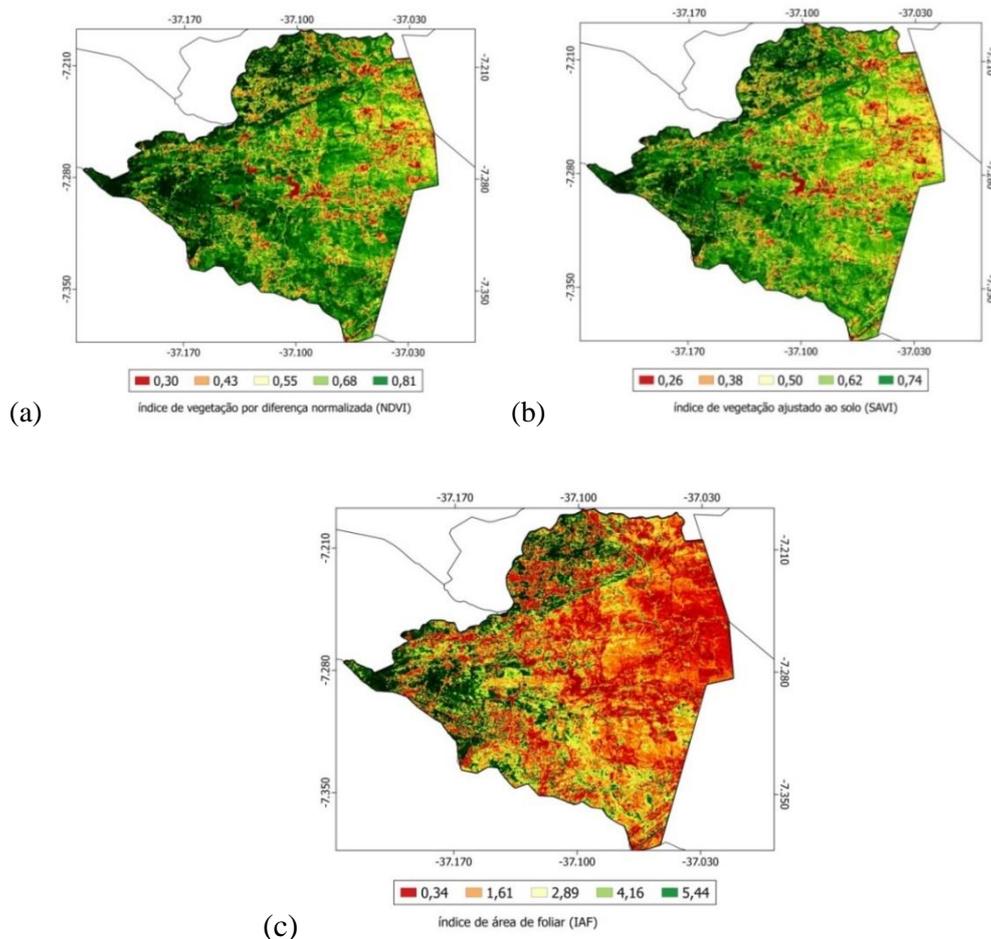
### Mês de maio

As Figuras (5) referentes ao NDVI, SAVI e IAF para o mês de maio indicam maior densidade da vegetação e concentração de biomassa no oeste, norte e sul da bacia hidrográfica. É possível verificar que os valores de NDVI acima de 0,7 se concentram no noroeste e oeste, de maneira semelhante à distribuição dos valores de SAVI acima de 0,6 e os de IAF superiores a 4,0.

Já as áreas em que a vegetação se apresenta menos vigorosa se distribuem predominantemente no centro-leste e nordeste da bacia. Esses setores de vegetação menos abundante, representados nas Figuras em tons vermelhos, são mais densamente povoados, onde se localizam as sedes municipais de Desterro e Cacimbas e os principais reservatórios hídricos. As diferenças de densidade vegetacional



também podem ser associadas à distribuição da precipitação nos meses antecedentes à passagem do satélite, já que as áreas com maior vigor da cobertura vegetal correspondem àquelas com registro de maiores volumes de chuva (>500 mm), especialmente aquelas localizadas no centro-oeste. Os tons vermelhos na imagem localizam-se, de maneira predominante, nos locais onde as chuvas foram mais escassas (<400 mm).



Figuras 5: (a) NDVI, (b) (SAVI) e (c) (IAF) na bacia do Taperoá para o dia 8 de maio de 2016.

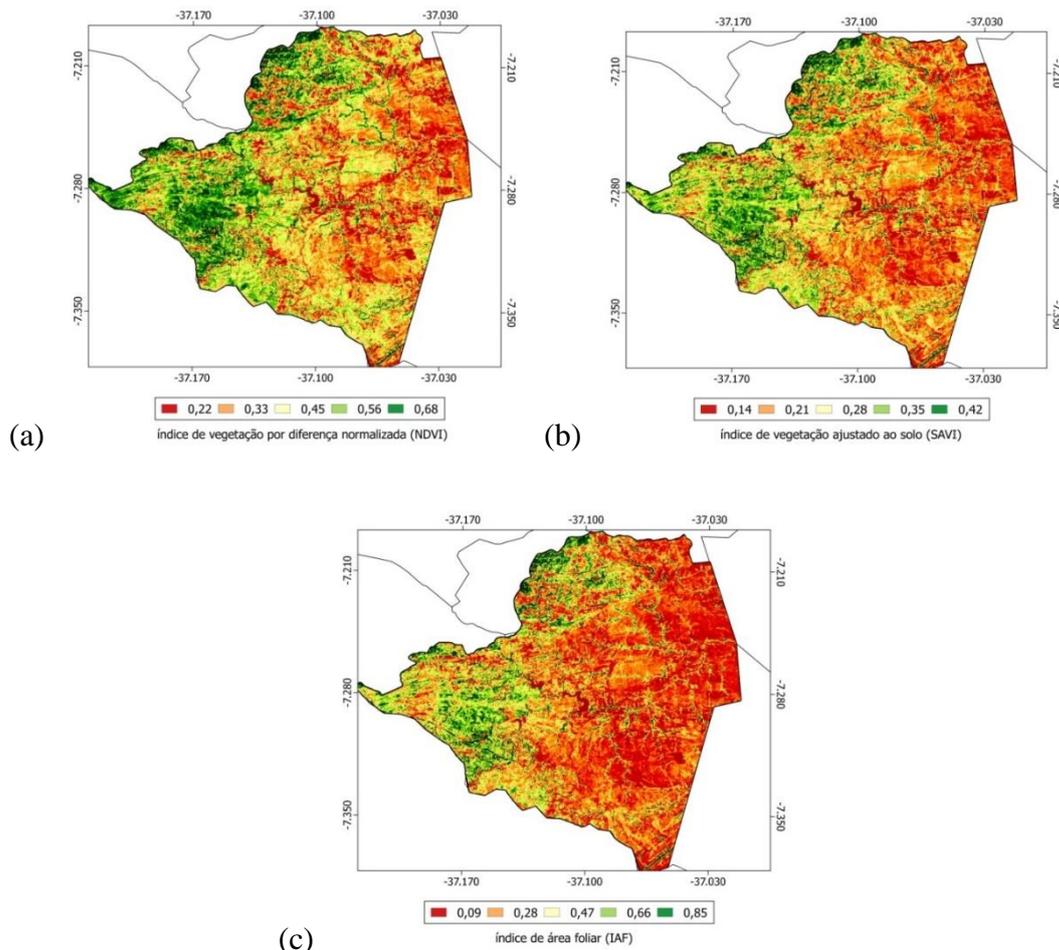
## Mês de junho

As Figuras 6 (a, b e c) referentes aos índices de vegetação para a imagem do mês de junho, quarenta e sete dias após o registro da imagem do mês de maio, mostram uma mudança expressiva na distribuição espacial da densidade da cobertura vegetal sobre a área de estudo. Considerando a escala tempo analisada, pode-se afirmar que a variabilidade observada entre as imagens foi ocasionada por variações climáticas sazonais. O aumento das deficiências hídricas no solo durante o mês de junho diminuiu a reflectância da vegetação verde, pois nos períodos de restrição hídrica a Caatinga tende a perder suas folhas.



Os valores de NDVI para o mês de junho apresentam predominância de classes inferiores a 0,5. As maiores densidades de vegetação ( $>0,6$ ) ficaram restritas as áreas do oeste da bacia. As porções centro-leste e nordeste da bacia apresentaram índices inferiores a 0,4. Os valores correspondentes ao SAVI comportaram-se de maneira semelhante ao NDVI quanto a distribuição espacial. No entanto o intervalo das classes do SAVI teve uma variação menor, com predominância de índices inferiores a 0,3, devido às correções relativas aos efeitos do solo.

A figura referente ao IAF revela que a biomassa da Caatinga representada pela densidade de folhas teve uma queda bastante expressiva em relação à imagem do mês de maio. Enquanto naquele mês os valores máximos desse índice superaram 5,0 nas porções oeste e norte da área de estudo, no mês de junho os valores máximos registrados na serra foram inferiores a 1,0. Portanto, a comparação entre os períodos analisados permite verificar que as restrições hídricas foram determinantes nas variações das respostas espectrais da Caatinga, representadas pelos índices de vegetação, entre maio e junho de 2016.

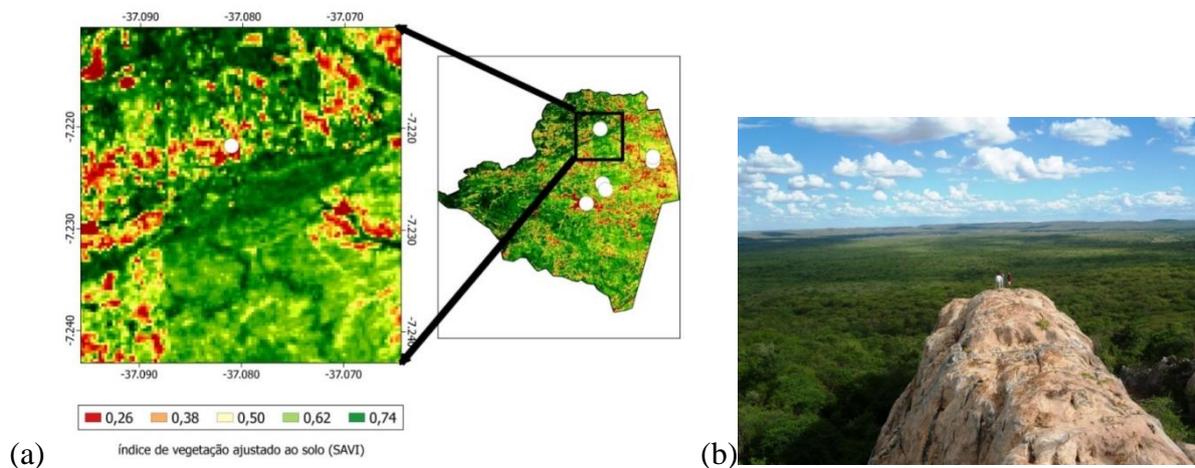


Figuras 6: (a) (NDVI), (b) (SAVI), (c) IAF na bacia do Taperoá para o dia 25 de junho de 2016.



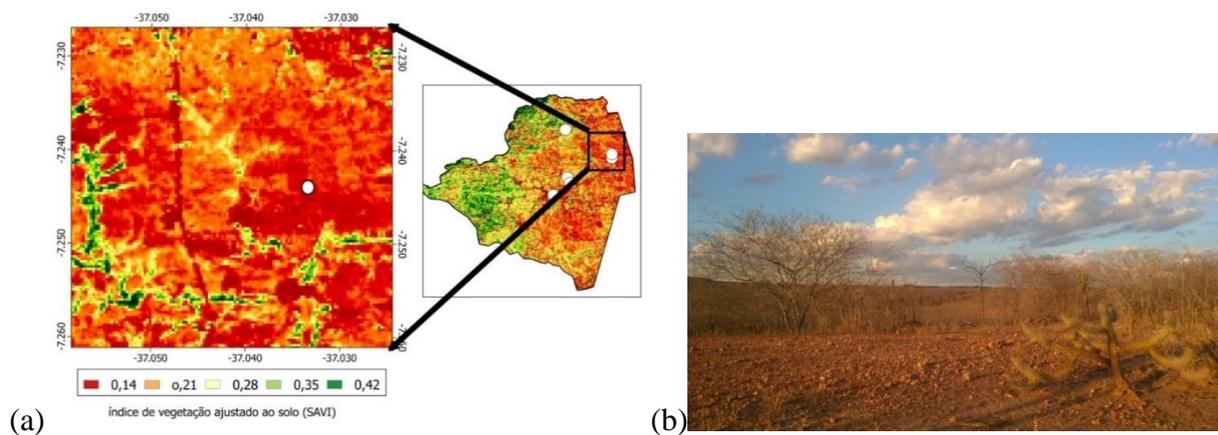
## Abordagens de campo

Os trabalhos de campo ocorreram em seis pontos no intuito de associar o SAVI ao uso da terra correspondente. O ponto 1 localiza-se na escarpa da Serra do Teixeira no norte da área de estudo (Figura 7) e foi visitado no dia 2 de maio. O local de observação corresponde a uma escarpa a qual possui diversos afloramentos rochosos, algumas áreas de solo exposto e vegetação esparsa. Por essa razão os valores do SAVI variam entre 0,26 e 0,38. No entanto a base da encosta, observável do ponto 1, é coberta por uma Caatinga densa e arbórea em que os índices superavam a classe 0,7 no mês de maio.



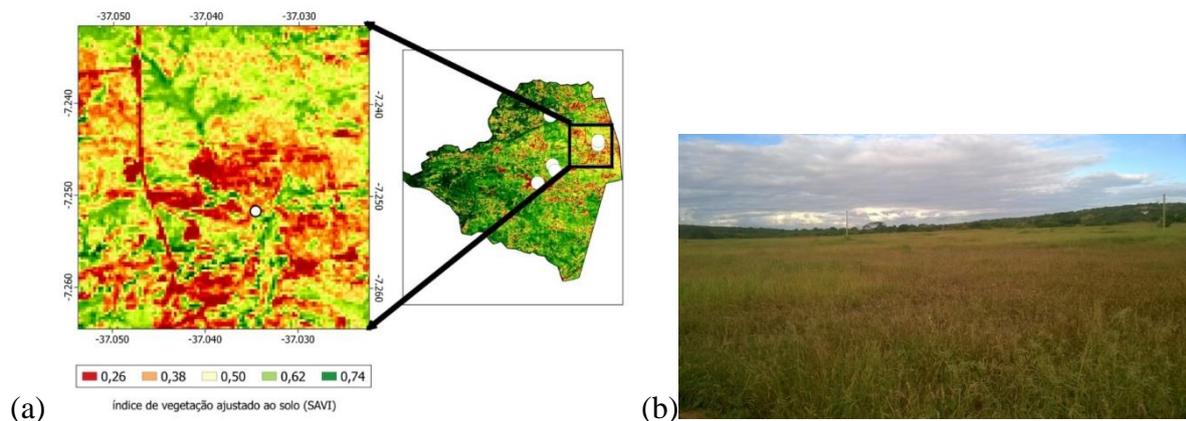
**Figura 7: (a) localização do ponto 1 na carta do SAVI para a bacia do Taperoá em maio de 2016. (b) paisagem observada no ponto 1 em maio de 2016.**

O ponto 2 está localizado na porção leste da bacia (Figura 8), aquela que recebeu os menores volumes de chuva durante o primeiro semestre de 2016. O trabalho de campo nesta localidade ocorreu no dia 21 de junho. A paisagem desse ponto é caracterizada por um relevo ondulado, solos rasos e cascalhentos. A Caatinga esparsa e arbustiva se apresentava em estado de latência, sem cobertura foliar (Figura 8b). Os valores do SAVI para o ponto 2 oscilavam entre 0,14 e 0,21 no dia da passagem do satélite, corroborando as observações de campo.



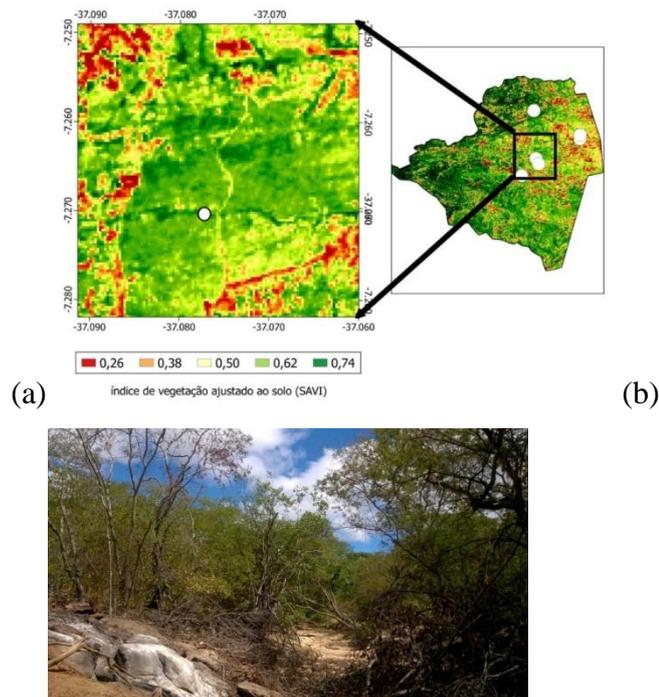
**Figura 8: (a) localização do ponto 2 na carta do SAVI para a bacia do Taperoá em junho de 2016.(b) paisagem observada no ponto 2 em junho de 2016.**

O ponto 3 corresponde a uma área de pastagem localizada no leste bacia, em uma planície no município de Cacimbas (Figura 9a e b). O trabalho de campo ocorreu durante o mês de maio, quando o pasto já apresentava um aspecto ressequido diante das poucas chuvas registradas nesse setor da área de estudo. Por esta razão, os valores do SAVI apresentaram classes predominantes entre 0,26 e 0,38.



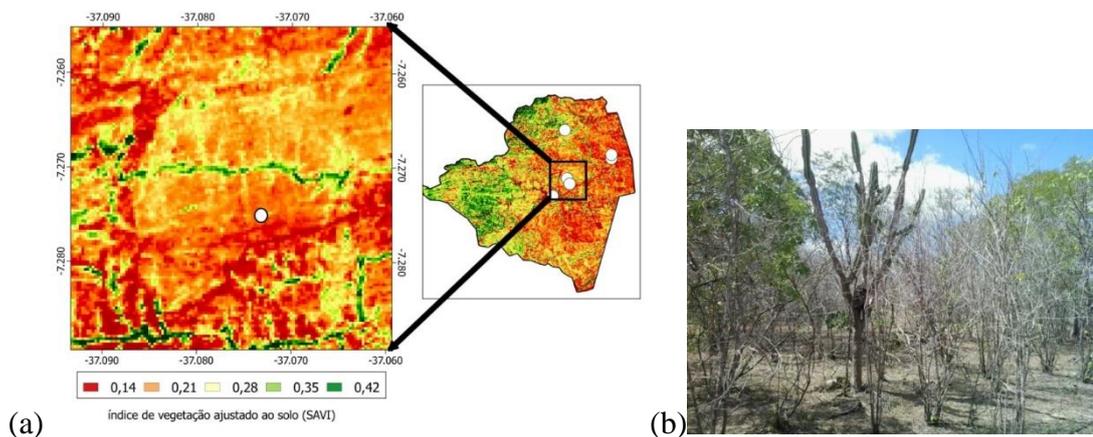
**Figura 9: (a) localização do ponto 3 na carta do SAVI para a bacia do Taperoá em maio de 2016.(b) paisagem observada no ponto 3 em maio de 2016.**

O ponto 4 foi visitado durante o mês de maio, observável na figura 10 (a e b), a vegetação é de mata ciliar é arbórea e densa nas margens do riacho Quixaba, no município de Desterro na região central da bacia. A maior disponibilidade hídrica no ambiente e a boa preservação da área favorece o desenvolvimento de uma vegetação de maior porte. Os valores do SAVI predominaram entre as classes de 0,62 a 0,74 nas margens do riacho, indicando a presença de uma vegetação de alta produtividade fenológica.



**Figura 10: (a) localização do ponto 4 na carta do SAVI para a bacia do Taperoá em maio de 2016. (b) paisagem observada no ponto 4 em maio de 2016.**

O ponto 5 apesar de ser localizado a apenas 500 m do ponto 4 apresenta uma cobertura vegetal de fisionomia bastante diferenciada. A Caatinga arbustiva densa possuía poucas plantas ainda com folhas durante o mês de junho (figura 11b). Os valores do SAVI tiveram classes predominantes entre 0,14 e 0,21, valores esses relacionados a pouca presença do verde na paisagem.



**Figura 11: (a) localização do ponto 5 na carta do SAVI para a bacia do Taperoá em junho de 2016.(b) paisagem observada no ponto 5 em junho de 2016.**

O ponto 6 é representado pela sede municipal de Desterro, e por essa razão as classes predominantes se apresentam muito próximas a valores nulos, com comportamento parecido com as superfícies de solo exposto.



O estudo de campo corroborou as informações fornecidas pelos índices de vegetação e forneceu informações mais precisas acerca dos usos da terra das áreas mapeadas. Os resultados obtidos no relacionamento das classes dos índices com as distintos tipo de cobertura e uso da terra são semelhantes aos obtidos por outros autores (Albuquerque et al. 2014, Rêgo et al.2012, Ribeiro et al. 2015) em áreas semiáridas da Paraíba e de Pernambuco.

## Considerações Finais

A análise do sistema ambiental do alto curso da Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá, através dos índices biofísicos gerados pelo sensoriamento remoto, aponta que o mesmo é regulado pela interação entre as atividades humanas, condicionantes climáticos e geomorfológicos. Diante dessas constatações considera-se que:

1. Em ambientes semiáridos as variações climáticas sazonais provocam variações nos índices de vegetação que podem levar a erros de interpretação, sendo fundamental a análise multitemporal;
2. O estudo dos índices biofísicos voltados para o planejamento deve levar em conta a dinâmica hidroclimática do ambiente;
3. Trabalhos de campo são essenciais como metodologia de investigação da cobertura e uso da terra.
4. Destaca-se a necessidade de investigações sazonais a respeito da variabilidade dos índices biofísicos em ambientes de Caatingas.

## Referências

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., 2002. Sebal - surface energy balance algorithms for land. **Advance training and users manual – Idaho implementation**. Moscow: Idaho Department of Water Resources.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. Edgard Blucher: São Paulo, 1999.

FERREIRA, J.M.S.; FERREIRA, H. S.; SILVA, H.A.; SANTOS, A. M.; GALVÍNCIO, J.D. Análise espaço-temporal da dinâmica da vegetação da caatinga no município de Petrolina –PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**. V.4, p.904-922. (2012).

HUETE, A. R. Adjusting vegetation indices for soil influences. **International Agrophysics**. vl.4, p.367-376. (1988).

LANDIM, P. M. B. **Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas**. Rio Claro: UNESP, 2000. 20 p.



HUXMAN, T. E.; SMITH, M. D.; FAY, P. A.; KNAPP, A. K.; SHAW, R.; LOIK, M. E.; SMITH, S. D.; TISSUE, D. T.; ZAK, J. C.; WELTZIN, J. F.; POCKMAN, W. T.; SALA, O. E.; HADDAD, B. M.; HARTE, J.; KOCH, G. W.; SCHWINNING, S.; SMALL, E. E.; WILLIAMS, D. G. Convergence across biomes to a common rain-use efficiency. **Nature**. v. 429, n. 6992, p. 651-654 (2004).

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, S.C.; MARÇAL, M.S.; CORREA, A.C.B. Geomorfologia de áreas semiáridas: uma contribuição ao estudo dos Sertões Nordestinos. **Revista de Geografia**. Recife-UFPE. V.27, p.120-137. (2010).

RIBEIRO, E.P.; NÓBREGA, R.S.; MOTA FILHO, F.O.; MOREIRA, E.B. Parâmetros biofísicos na detecção de mudanças ambientais na Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú. **Revista de Geografia**, Recife-UFPE. V. 32, p.221-246. (2015).

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. **Earth Resources Technology Satellite**. v.1, p. 309-317. (1973).