

AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO SAZONAL DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA NA REGIÃO CÁRSTICA DA BACIA UNA-UTINGA – BAHIA

Silas Alexandria Costa¹, Danilo Heitor Caires Tinoco Bisneto Melo², Pablo Santana Santos³, Renilda Fátima Gonçalves de Lima³

¹Graduando em Geologia, UFBA, Salvador-BA, sac_sf@geologist.com

²Geógrafo, Professor do Depto. Geofísica, UFBA, Salvador-BA, danilo.melo@ufba.br

³Engº Agrônomo, Professor do Depto. Oceanografia, UFBA, Salvador-BA, pablosantos@ufba.br

⁴Geóloga, Professora do Depto. Geologia, UFBA, Salvador-BA, renildagoncalves@gmail.com

RESUMO: Este trabalho apresenta uma avaliação do comportamento e da distribuição das formações vegetacionais de zonas cársticas da bacia Una-Utinga, no Estado da Bahia, baseando-se nas influências provocadas por variações sazonais sobre as classes fitofisionômicas da região. A metodologia consiste em fases de processamento digital de imagens, incluindo alguns procedimentos corretivos e a aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em dados orbitais matriciais oferecidos pelo satélite Landsat 8. Considerando o contexto climático e as condições geológicas, a discrepância dos valores do NDVI para períodos de chuva e de estiagem exibe um contraste bem elevado. A partir de uma associação entre os resultados obtidos, é possível observar o desempenho do índice NDVI e definir de maneira simplificada a magnitude da correlação entre os fatores climáticos e o desenvolvimento da cobertura vegetal neste ambiente cárstico em particular.

PALAVRAS-CHAVE: NDVI, Landsat 8, ambiente cárstico.

INTRODUÇÃO: As técnicas de processamento digital em imagens orbitais permitem que se estabeleça uma série de análises de relacionamento entre localização espacial de alvos do meio ambiente. Segundo Holben et al. (1980) e Baret e Guyot (1991), os índices de vegetação são utilizados na estimativa de diversos parâmetros da vegetação, como expressão do vigor vegetativo, magnitude da cobertura vegetal, índice de área foliar, biomassa, atividade fotossintética, cobertura dos dosséis e porcentagem de cobertura do solo. De acordo com Okin (2007); Rizzi e Fonseca (2001), os índices de vegetação ainda podem ser utilizados na avaliação de estimativas de tais parâmetros. Dentre os vários índices utilizados no geoprocessamento, há um notável destaque para o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), cuja proposta foi sugerida por Rouse et al. (1973). Este índice permite avaliar os estágios sucessionais de determinada vegetação e identificar o nível do vigor vegetativo ou mesmo a ausência de vegetação de áreas em estudo. A avaliação desses estágios a partir deste índice pode permitir uma análise do estado de integridade desses sistemas e os mecanismos de regeneração de uma vegetação submetida a queimadas, por exemplo. De acordo com Gurgel et al. (2003), este índice poder ser aplicado para uma série de atividades de monitoramento além de estudos globais de balanços de água e energia. Segundo Liu (2007), os cientistas desenvolveram os índices de vegetação para monitorar e quantificar as condições e distribuições espaciais das vegetações, usando os dados digitais de reflectâncias espectrais da radiação eletromagnética. Nesse contexto, definir a reflectância é o passo inicial para a determinação dos índices de vegetação, que surgem como importantes indicadores da qualidade ambiental. Santos e Negri (1997) sugerem que é importante destacar que as variações climáticas, principalmente de precipitação e temperatura, influenciam na fenologia da vegetação; sendo que períodos chuvosos e de estiagem estão relacionados, respectivamente, a maiores e menores níveis de desenvolvimento do vigor vegetativo. O presente trabalho tem por objetivo desenvolver um mapeamento da vegetação englobada no domínio cárstico da Bacia Una-Utinga, Bahia, para fins de análise da correlação entre geologia, cobertura vegetal e variações climáticas.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA: A área de estudo compreende a região da bacia Una-Utinga, que é uma zona de domínio cárstico localizada na mesorregião do Centro Norte da Bahia, situada entre as coordenadas 11° 50' e 13° 36' Sul e 40° 53' e 41°20' Oeste, como apresentado na Figura 1.

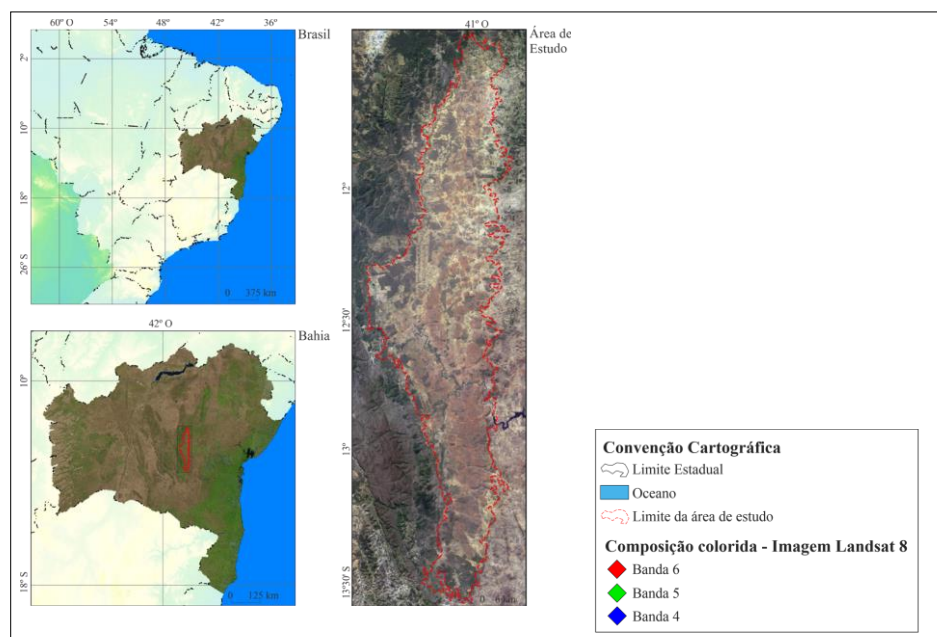


Figura 1 – Mapas de situação e localização da área de estudo.

A área apresenta um clima do tipo seco a subúmido e apresenta maiores e menores índices pluviométricos, respectivamente, nos meses de março e setembro, de acordo com dados da Estação Climatológica do INMET (INMET, 2016), do município de Lençóis, como consta na Figura 2.

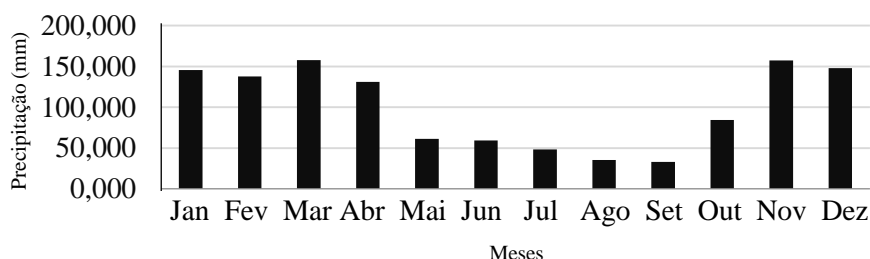


Figura 2 – Média mensal da precipitação no período entre 1961 a 2015. Fonte: INMET (2016).

A região de estudo está alojada num contexto cárstico, no qual, Silva (2002), ressalta que este cenário é caracteristicamente apresentado em função, sobretudo, de diversos fatores geológicos que conferem determinada heterogeneidade nas texturas e estruturas dos litotipos. A tipologia do modelado cárstico se desenvolve sobre áreas constituídas por rochas calcárias e dolomíticas que possuem como característica principal a fácil dissolução quando posta em contato com a água (FURRIER; VITAL, 2011). Em termos gerais, a região possui altas taxas de infiltração, principalmente por conta da grande quantidade de dolinas estabelecidas na bacia.

MATERIAL E MÉTODOS: Neste trabalho foram adquiridas imagens orbitais do satélite Landsat 8, obtidas gratuitamente a partir da base de dados do *EarthExplorer* (USGS, 2015). Foram selecionadas as imagens de órbita 217 e pontos 68 e 69 das datas 07/09/2014 e 14/12/2015, por corresponderem respectivamente aos períodos de estiagem e de chuvas e por não apresentarem uma incidência significativa de nuvens. As imagens foram georreferenciadas com auxílio da base cartográfica digital elaborada pela SEI (2008). Para a transformação dos valores de níveis de cinza para radiância no topo da atmosfera, utilizou-se o coeficiente radiométrico descrito no arquivo de metadados da imagem, a partir da equação:

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

onde L_λ corresponde ao valor de radiância espectral no topo da atmosfera (medidos em valores de Watts/m²s*rad*µm); M_L e A_L são os fatores multiplicativo e aditivo de reescalonamento de cada banda; Q_{CAL} refere-se ao valor de nível de cinza do pixel. Para a conversão em valores de reflectância foi utilizado o *Fast Line-of-Sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercube* (FLAASH), baseado no modelo *Moderate Resolution Atmospheric Transmission - MODTRAN-4* sugerido por Adler-Golden et al. (1999). Após a etapa de correção atmosférica, foi aplicado o NDVI. Tal índice é determinado pela seguinte equação:

$$NDVI = \frac{(IVP - V)}{(IVP + V)} \quad (2)$$

onde *IVP* e *V* correspondem respectivamente aos valores de reflectância das bandas do infravermelho próximo e do vermelho. O NDVI foi gerado a partir das bandas 5 e 4 do sensor OLI (*Operational Land Imager*). Levou-se em conta que tal índice deve ser calculado somente a partir dos valores de reflectância, o que implica na execução necessária de correções atmosféricas e topográficas anteriores ao procedimento de cálculo do NDVI (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010). A partir desta disposição, a combinação dessas duas bandas espectrais realça as áreas de vegetação nas imagens. Para realizar o processamento digital das imagens e álgebra de mapas (NDVI) foi utilizado o *software* ENVI 5.3 (HARRIS, 2015); e para os procedimentos de análise espacial foi utilizado o *software* ArcGIS 10.4 (ESRI, 2016). Por fim, para verificar a diferença entre as imagens, foi realizada uma análise estatística com base na amostragem aleatória, com a exclusão de amostras alocadas em porções influenciadas por nuvens ou suas respectivas sombras. Desta forma, foram coletadas 260 amostras para cada período e posteriormente foi aplicado o teste de homogeneidade, com um nível de significância de 1%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Os resultados exibiram tendências distintas do NDVI: no período chuvoso, o índice tende a aumentar, enquanto que no período seco tende a diminuir, como já era previsto. A Figura 3 mostra tal contraste sazonal quantificado em um perfil A-B, numa área de vegetação do tipo Savana Estépica, conforme classificação do mapeamento realizado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2004).

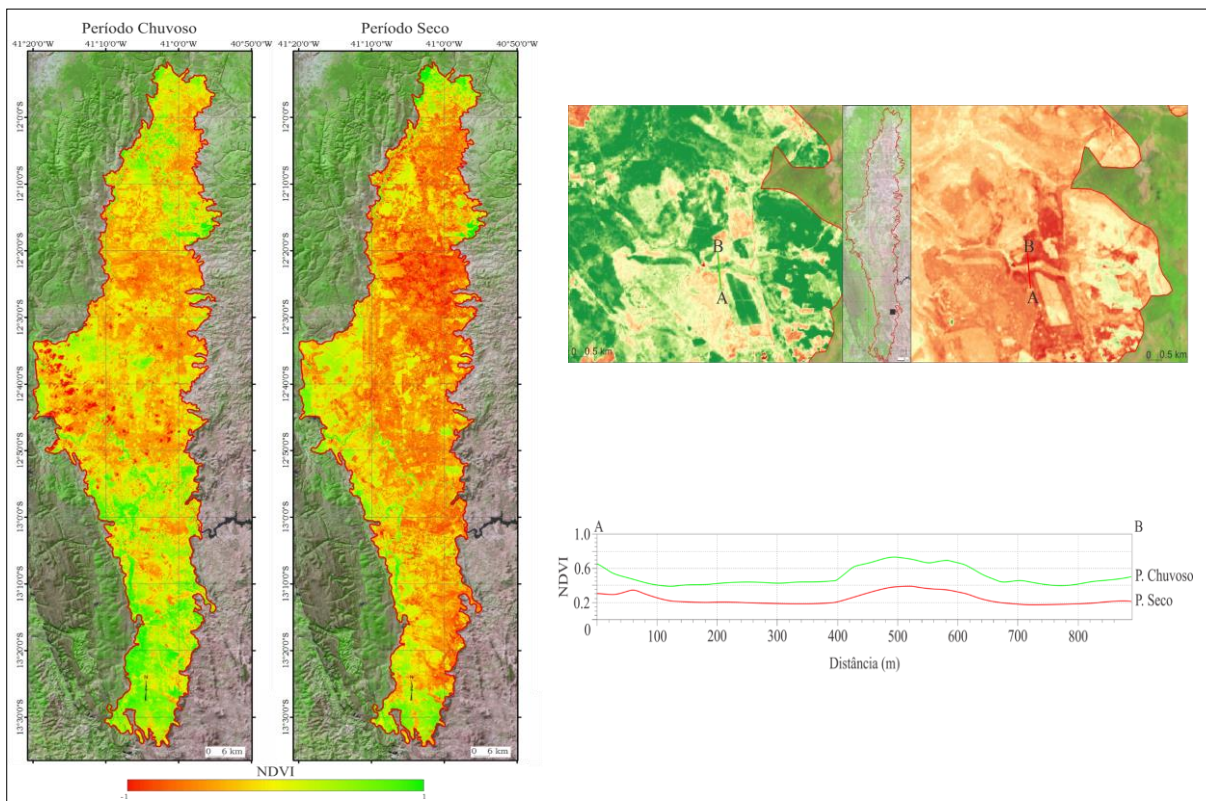


Figura 3 – Na esquerda, a comparação do NDVI considerando a sazonalidade na zona cárstica em estudo, delimitada pelo contorno vermelho; na direita, recorte em detalhe de uma porção ao sul da área e uma seção A-B mostrando a diferença quantificada dos valores de NDVI do período chuvoso e seco.

Muito embora o NDVI aplicado à área de estudo não reflita integralmente as respostas da complexidade do sistema cárstico e de suas características espaciais subterrâneas, sugere-se que a presença de feições geomorfológicas como dolinas e sumidouros tendem a influenciar na ação de um mecanismo de rápida infiltração no período chuvoso, podendo armazenar água por longos períodos e auxiliar na manutenção das espécies vegetacionais locais por algum período. A Figura 4 exhibe os resultados da análise estatística que foi baseada na amostragem aleatória. Todas as 260 amostras foram consideradas para ambos os regimes climáticos: seco e chuvoso. O teste de homogeneidade com um nível de significância de 1% demonstra que os resultados foram precisos ao considerar os resultados dos p-valores.

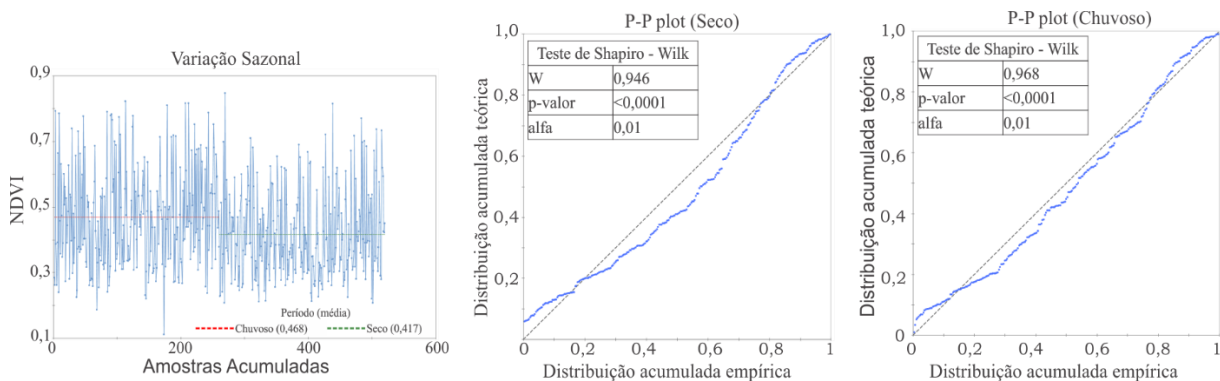


Figura 4 – Teste de homogeneidade e normalidade.

CONCLUSÕES: A bacia Una-Utinga está localizada numa região onde há níveis pluviométricos muito baixos e o curto período de chuvas mais intensas pode permitir que a vegetação se desenvolva e seja mantida por determinado período por conta das características litológicas da região. A partir do pré-processamento e da aplicação completa dos procedimentos da metodologia utilizada neste trabalho, os resultados alcançados demonstraram de maneira satisfatória que há uma dependência da intensidade do vigor vegetativo, no que diz respeito às condições de precipitação na região de estudo.

REFERÊNCIAS:

- ADLER-GOLDEN, S.M.; et al. **Atmospheric correction for short-wave spectral imagery based on MODTRAN-4**. SPIE Proceedings on Imaging Spectrometry, Baltimore, v. 3753, pp. 61-69, 1999.
- BARET, F.; GUYOT, G. Potential and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. **Remote Sensing of Environment**, Toulouse, v. 35, n. 2-3, p. 161-173, feb.-mar., 1991.
- ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (ESRI). **ArcGIS for Desktop, versão 10.4**. Redlands: ESRI, 2016.
- FURRIER, M.; VITAL, S. R. O. A Formação de Dolinas em Áreas Urbanas: o Caso do Bairro de Cruz das Armas em João Pessoa-PB. **Revista Brasileira de Geografia Física**. p. 161-173, fev., 2011.
- GURGEL, H. C; FERREIRA, N. J. LUIZ, A. J. B. Estudo da variabilidade do NDVI sobre o Brasil, utilizando-se a análise de agrupamentos. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 85-90, jan.-apr., 2003.
- HARRIS GEOSPATIAL SOLUTIONS. **ENVI: Environment for Visualizing Images, versão 5.3**. Builder: Harris, 2015.
- HOLBEN, B. H.; TUCKER, C. J.; FAN, C. Spectral assessment of soybean leaf area and leaf biomass. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Bethesda, v. 46, n. 5, p. 651-656, may, 1980.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Total da precipitação mensal**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/html/clima.php#>>. Acesso em: 08 abril de 2016.
- LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Oficina de Textos, 2ª Edição, 2015. p. 217.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **PROBIO: mapeamento dos biomas brasileiros.**

Brasília: MMA, 2004. Disponível em:
<<http://mapas.mma.gov.br/mapas/aplic/probio/datadownload.htm?caatinga/index.html>>. Acesso em:
15 set. 2016.

OKIN, G. S. Relative Spectral Mixture Analysis – A new multitemporal index of total vegetation Cover. **Remote Sensing of Environment**, Toulouse, v. 106, n. 4, p. 467-479, feb., 2007.

PEREIRA, J. L. G.; BATISTA, G. T.; ROBERTS, D. Reflectância de Coberturas Vegetais na Amazônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8, 1996, Salvador. **Anais...** São José dos Campos, SP: INPE, 1996. p. 551-556.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação.** São José dos Campos: Parêntese, 2010.

RIZZI, R.; FONSECA, E. L. Análise da variação espacial e temporal do NDVI no Estado do Rio Grande do Sul através de imagens AVHRR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2001. p.1735-1737.

ROUSE, J.W.; et al. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In **EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE 1 SYMPOSIUM**, 3, 1973. **Proceedings...** Washington, 1973, v.1, Sec. A, p. 309317.

SANTOS, P.; NEGRI, A. J. A comparison of the normalized difference vegetation index and rainfall for the Amazon and northeastern Brazil. **Journal of applied meteorology**, Washington, v. 36, nº 7, 1997, p. 958-965.

SILVA, A.B. **Hidrogeologia de Meios Cársticos.** Belo Horizonte: UFMG, 2002. SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA (SEI). **Base Cartográfica Digital.** Salvador: SEI, 2008. CD-ROM.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **Landsat 8.** Reston: USGS, 2015. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 31 dez. 2015.