

CONDICIONAMENTO DA LITOLOGIA NA COBERTURA E USO DA TERRA POR MEIO DE ÍNDICE ESPECTRAL (NDVI) DERIVADO DE SENSORES ORBITAIS

CONDITIONING LITHOLOGY ON LAND COVER AND LAND USE BY MEANS OF A SPECTRAL INDEX (NDVI) DERIVED FROM ORBITAL SENSORS

Suellen Faustino de JESUS¹, Pablo Santana SANTOS¹, Olga Maria Fragueiro OTERO¹, Pedro Alves VIEIRA²

¹Universidade Federal da Bahia, Avenida Milton Santos, s/nº - Ondina, Salvador – BA.

E-mails: geo.suellenfaustino@gmail.com; pablo.srgeo@gmail.com; olgaotero@ufba.br

²Universidade Estadual de Goiás, Rua Mucuri, s/n - Conde dos Arcos, Aparecida de Goiânia – GO.

E-mail: gelpedrovieira@gmail.com

Introdução

Áreas de estudo

Área de estudo 1 – Caatinga

Área de estudo 2 – Cerrado

Área de estudo 3 – Mata Atlântica

Materiais e métodos

Aquisição das cenas

Correção atmosférica

Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

Aquisição do Mapa de Geologia da Bahia

Correlação dos dados de NDVI e litologia

Resultados e discussões

Área de estudo 1 – Caatinga

Estatísticas Zonais da região de alto NDVI

Estatísticas Zonais da região de médio NDVI

Estatísticas Zonais da região de baixo NDVI

Estatísticas Gerais e Perfil Topográfico

Área de estudo 2 – Cerrado

Estatísticas Zonais da região de alto NDVI

Estatísticas Zonais da região de médio NDVI

Estatísticas Zonais da região de baixo NDVI

Estatísticas Gerais e Perfil Topográfico

Área de estudo 3 – Mata Atlântica

Estatísticas Zonais da região de alto NDVI

Estatísticas Zonais da região de baixo NDVI

Estatísticas Gerais e Perfil Topográfico

Considerações finais

Referências

RESUMO - Apesar da notável correlação da vegetação com a geologia, pouco se quantifica esta relação, sendo apenas um conhecimento empírico. Este trabalho apresenta uma correlação entre o vigor vegetativo dos três biomas presentes na Bahia com o tipo de litologia do substrato. O vigor vegetativo é medido por meio do *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), que foi correlacionado com a litologia através de análises visuais e estatísticas, calculadas por média, mínimos e máximos. Para tanto, foram definidas áreas de 100x100 km, uma sobre cada bioma. Os objetos de estudo foram imagens do sensor Operational Land Imager (OLI) do satélite Landsat-8 e dados do mapeamento geológico do Brasil. Como resultado tem-se que a relação entre vegetação e geologia foi mais bem definida no bioma Cerrado, onde a vegetação apresenta maior vigor sobre conglomerados e arenitos, depósitos sedimentares laterítico-ferruginosos e folhelho, com NDVI em média de 0,61; 0,58 e 0,55 respectivamente. Na Caatinga, o vigor vegetativo foi mais expressivo sobre arenito arcoseano, com NDVI em média de 0,79; calcário estromatolítico e metarenitos com conglomerado polimítico, ambos com NDVI em média 0,65. Na Mata Atlântica, o destaque ficou sobre rochas metamórficas em geral, onde o NDVI teve médias em torno de 0,72.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto. NDVI. Biomas baianos. Geologia.

ABSTRACT - Although the remarkable correlation between vegetation and geology, this relationship is not quantified, being only empirical knowledge. This paper presents a correlation between the vegetative vigor of the three Bahia's biome and the type of lithology where the vegetation develops. Vegetative vigor is measured using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). NDVI was correlated with lithology through visual analysis and statistics mean, minimums and maximums. For that, three areas, of 100x100 km, one over each biome in Bahia were defined. The objects of study were images from the Operational Land Imager (OLI) sensor of the Landsat-8 satellite and data from the geological mapping of Brazil. As a result, the relationship between vegetation and geology has been better defined in the Cerrado biome, where vegetation has greater vigor over conglomerates and sandstones, lateritic-ferruginous sedimentary deposits and shale, with NDVI's mean 0.61, 0.58 and 0.55, respectively. In the Caatinga, the vegetative vigor was more expressive on arcosean sandstone (with NDVI' mean 0.79), stromatolitic limestone and metarenites with polymitic conglomerate, both with NDVI's mean 0.65. In the Mata Atlântica, the focus was on metamorphic rocks, where NDVI's means was around 0.72.

Keywords: Remote Sensing. NDVI. Bahia's biome. Geology.

INTRODUÇÃO

O território brasileiro é formado por seis biomas, sendo três deles presentes no Estado da Bahia: A Caatinga, o Cerrado e a Mata Atlântica (IBGE, 2019). Cada bioma possui suas características e estas têm relação direta com o clima, tipo de solo e a geomorfologia que, juntos, condicionam a fauna e a flora locais (IBGE, 2012). O que ainda não há publicado é como a litologia influencia na densidade vegetativa dentro de um mesmo bioma e quais litologias mais cooperam no vigor vegetativo.

A proposta deste artigo é mostrar a relação entre a densidade vegetativa e o substrato rochoso dentro dos biomas presente no Estado da Bahia. Para isso, o vigor vegetativo é calculado utilizando o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), uma técnica não destrutiva, aplicada em dados obtidos por meio do Sensoriamento Remoto, que se baseia na medição da concentração da clorofila de uma determinada vegetação (Kawabata et al., 2001; Robinson et al., 2017).

Os índices de vegetação, como o NDVI, são medidas radiométricas e sem dimensão que indicam a abundância e atividade relativa da vegetação verde. Consiste nas transformações lineares de bandas espectrais, principalmente as bandas do vermelho e do infravermelho próximo do espectro eletromagnético (Epiphany et al., 1996).

Por definição, o Sensoriamento Remoto analisa e compreende a composição da superfície

terrestre de forma espacial, sem contato direto. A análise é permitida graças à interação da energia eletromagnética, ou seja, comprimentos de ondas que se repetem no tempo com oscilação harmônica entre os campos elétricos e magnéticos, que é emitida pelos sensores remotos ou pelo Sol e é, em parte, refletida pelos seus alvos (Moraes, 2012; Prasad et al., 2011). A energia devolvida à atmosfera é recebida pelos satélites como uma informação (Figueiredo, 2005). Essa diferença de energia, que é diferente em cada tipo de matéria, é o que caracteriza a curva espectral de cada alvo, visto que toda matéria acima do zero absoluto emite uma energia eletromagnética (Jensen, 2014; Jong & Meer, 2005; Lorenzetti, 2015).

As informações coletadas pelos satélites tornam possível o cálculo do NDVI, que utiliza os dados de interação da REM com as regiões do visível e do infravermelho próximo, levando em consideração que uma vegetação saudável e vigorosa apresenta alta reflectância das ondas do infravermelho próximo por absorver bem a luz na região do visível (Meneses-Tovar, 2011; Ponzoni, 2002; Ponzoni & Shimabukuro, 2010). A diferença entre os valores obtidos nas bandas do vermelho e do infravermelho próximo é um forte indicador da quantidade de biomassa verde fotossintetizante (Tucker, 1979).

A curva padrão da interação da REM com uma vegetação saudável é representada pela Figura 1, ilustrada por Jensen (2015).

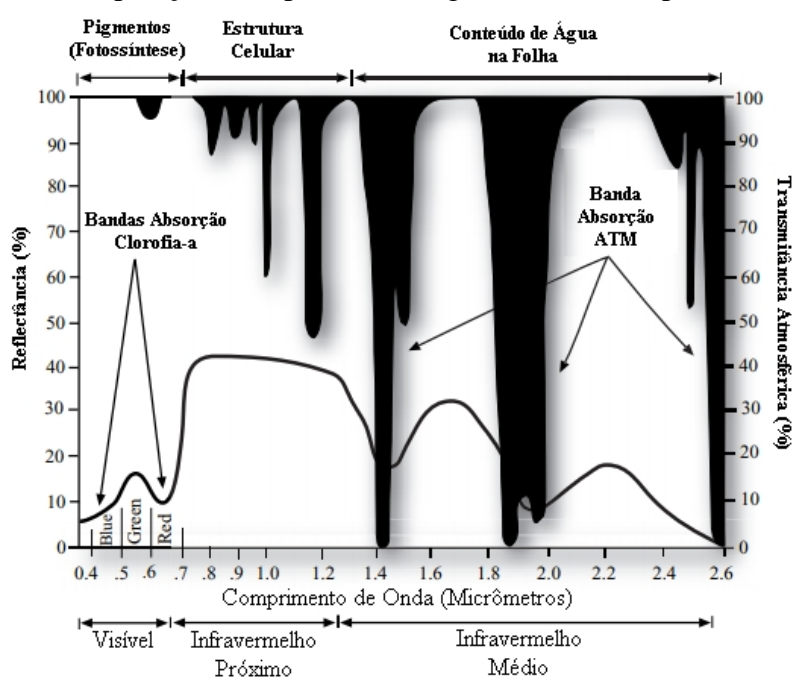


Figura 1: Interação da energia eletromagnética com uma vegetação sadia. (Adaptado de Jensen, 2015).

Os maiores valores de reflectância na região do visível é associado à vegetação campestre por haver perda de pigmentos fotossintetizantes ocasionada pela deficiência hídrica. A baixa quantidade de pigmentos fotossintetizantes resulta em uma baixa absorção da REM na região do visível, o que faz com que a reflectância seja alta. As vegetações savânica e florestal apresentam menores valores de reflectância na região do visível graças à maior absorção de energia pelos pigmentos fotossintetizantes (Meneses et al., 2019).

Portanto, quanto maior o valor de NDVI encontrado na cobertura vegetal saudável, maior

será o vigor vegetativo da cobertura vegetal, consequentemente, maior será a densidade dessa vegetação sadia (Salazar et al., 2008). O desenvolvimento da vegetação também pode está condicionado a algum efeito de *background*, os mais comuns são: material de origem/geologia, considerando normalidade na oferta hídrica (Raina et al., 1994). Desta forma, este artigo tem o objetivo central de identificar o condicionamento da geologia no desenvolvimento da cobertura vegetal, a partir do vigor vegetativo encontrando no NDVI, em três áreas de 10.000km² no Estado da Bahia, uma em cada bioma.

ÁREAS DE ESTUDO

Para este trabalho foi definida uma área de estudo em cada um dos biomas da Bahia, resultando em três áreas de estudo. A dimensão dessas áreas é de 100x100km, definidas sobre locais onde a atividade antrópica é a menor possível. O critério utilizado para a escolha das áreas foi onde, visualmente em imagem de satélite, a variação da geologia refletia diretamente da mudança vegetativa. A área 1 está

sobre as coordenadas de Latitude de 12°46'49.87"S a 12°47'11.46"S e Longitude de 41°56'8.14"O a 41°56'46.37"O. A área 2, na Latitude de 13°19'42.42"S a 13°18'51.94"S e Longitude de 45° 7'50.28"O a 45° 7'31.65"O, e a área 3, sobre as Latitudes de 14°49'32.80"S a 14°49'18.92"S e Longitudes de 40°23'35.43"O a 40°23'18.04"O. A Figura 2 traz um mapa que mostra a localização dessas áreas.

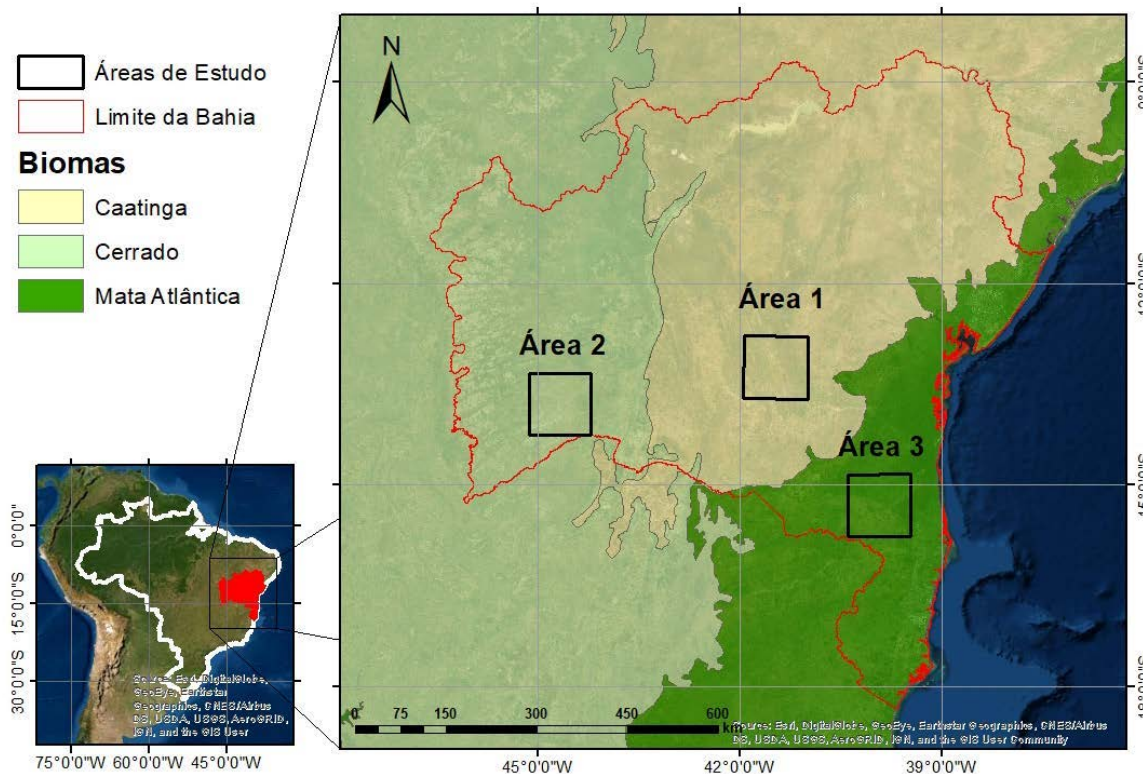


Figura 2: Mapa de localização das três áreas de estudo. Coordenadas Geográficas: SIRGAS 2000 [Adaptado de IBGE (2019) e Google Earth (2020)].

Área de estudo 1 – Caatinga

A área sobre a Caatinga fica no Centro-Sul baiano, abrangendo os municípios de Boninal, Nova Redenção, Boa Vista do Tupim, Anaraí, Piatã, Érico Cardoso, Abaíra, Itaeté, Mucugê,

Ibicoara, Iramaia, Barra da Estiva, Jussiapé, Rio de Contas, Livramento de Nossa Senhora, Dom Basílio e Ituaçu. O acesso se dá por várias estradas federais e estaduais, como mostrado no mapa da Figura 3.

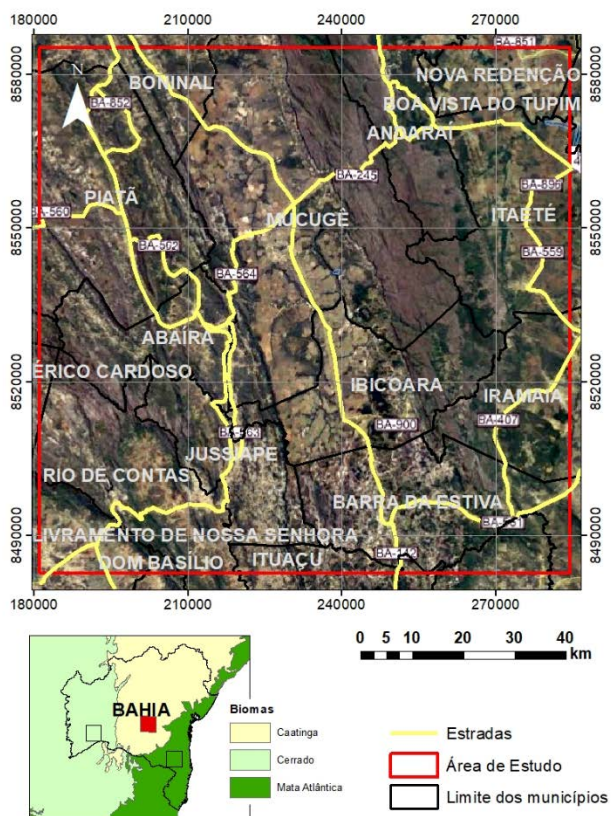


Figura 3: Mapa de situação da Área de estudo 1 – Caatinga. Coordenadas Projetadas: SIRGAS 2000 UTM Zona 24S [Adaptado de IBGE (2016), IBGE (2019) e Google Earth (2020)].

Em relação à vegetação e uso do solo, a Área 1 é composta, em grande parte, por vegetação do tipo Formação Savânica, acompanhada por outras vegetações do tipo Formação Florestal, Formação Campestre, agricultura e pastagem, como mostra o mapa da Figura 4.

Segundo o MapBiomias (2020), na Caatinga, a Formação Savânica é referente aos tipos de vegetação onde as espécies com dossel semi-contínuo é dominante, como a Savana-Estépica Arborizada e a Savana Arborizada. A Formação Florestal apresenta vegetação com predomínio de dossel contínuo, como a Savana-Estépica Florestada, Floresta Estacional Semi-Decidual e Decidual. Já a Formação Campestre na Caatinga é formada por vegetações com predomínio de espécies herbáceas como a Savana-Estépica Parque, Savana-Estépica Gramíneo-Lenhosa, Savana Parque e Savana Gramíneo-Lenhosa, além de áreas inundáveis e depressões com acúmulo de água.

Área de estudo 2 - Cerrado

A área 2, referente ao Bioma Cerrado, está situada no extremo oeste do estado da Bahia, abrangendo os municípios de Correntina, Jaborandi, Cocos, Santa Maria da Vitória,

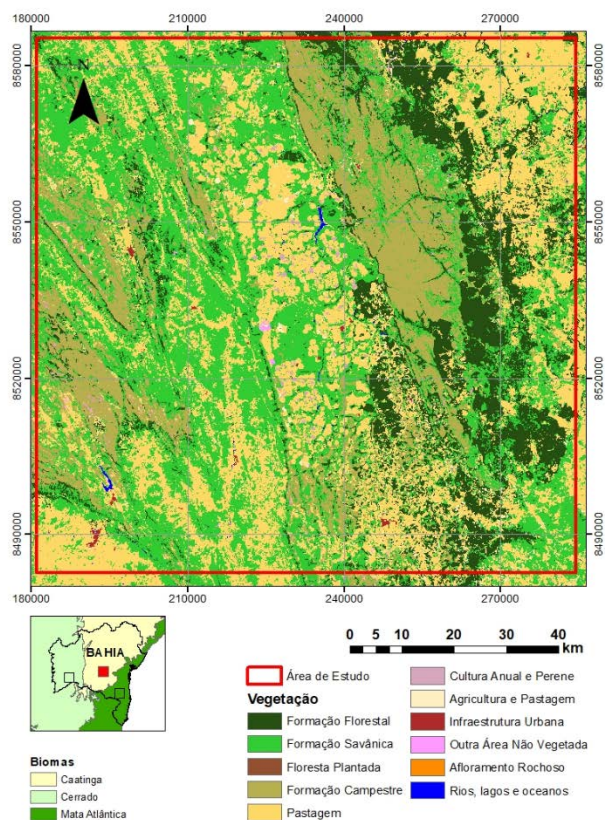


Figura 4: Mapa de vegetação e uso do solo da Área de estudo 1 – Caatinga. Coordenadas Projetadas: SIRGAS 2000 UTM Zona 24S. [Adaptado de IBGE (2019) e MapBiomias (2018)].

Coribe, São Félix do Coribe e Feira da Mata. Sua área possui acesso limitados as estradas BA-583, BA-601, BA594 e as BR-349 e BR-135, como no mapa da Figura 5. Quanto à vegetação, a área é principalmente ocupada pelas Formações Savânica, Campestre e Florestal, com pequenas culturas anuais e perenes.

Como descrito no Mapbiomas (2020), a Formação Savânica no Cerrado é composta por vegetações com estratos arbóreo e arbustivo-herbáceos, como o Cerrado denso, Cerrado típico, Cerrado ralo e Cerrado rupestre.

A Formação Campestre é representada por vegetação com predominância de estrato herbáceo, como o Campo Sujo, Campo Limpo e Campo Rupestre, além da presença de Parque de Cerrado e Cerrado Rupestre. A Formação Florestal é marcada pelo predomínio de espécies arbóreas que apresentam dossel contínuo, como Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão.

A área também possui várias redes de drenagens e diversas atividades antrópicas, como pastagem, áreas de cultura anual e perene, como mostra o mapa da Figura 6.

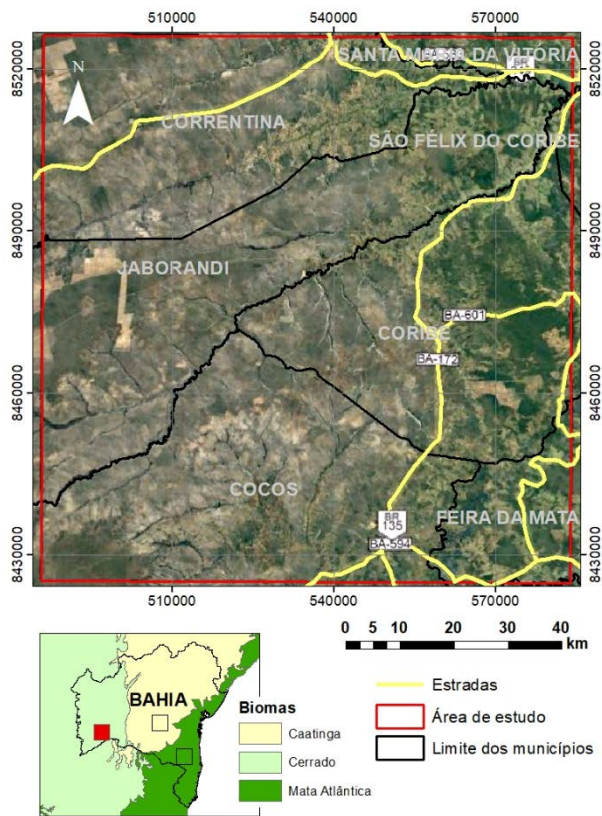


Figura 5: Mapa de situação da Área de estudo 2 – Cerrado. Coordenadas Projetadas: SIRGAS 2000 UTM Zona 23S. [Adaptado de IBGE (2016), IBGE (2019) e Google Earth (2020)].

Área de estudo 3 - Mata Atlântica

A área 3, referente a Mata Atlântica, foi definida entre as regiões sul e centro-sul, abrangendo os municípios de Nova Canãa, Itambé, Itapetinga, Macarani, Potiguará, Itapebi, Santa

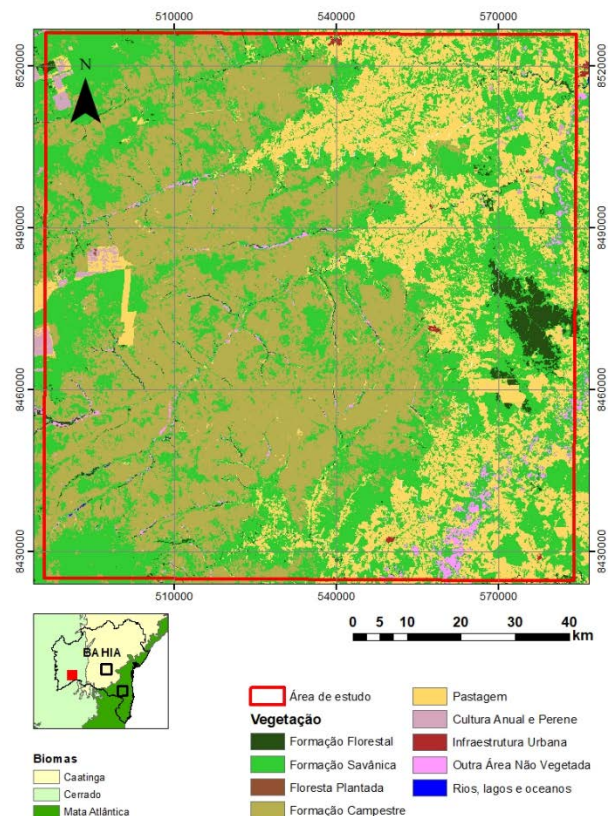


Figura 6: Mapa de vegetação e uso do solo da Área de estudo 2 – Cerrado. Coordenadas Projetadas: SIRGAS 2000 UTM Zona 23S [Adaptado de IBGE (2019) e MapBiomias (2018)].

Luzia, Santa Cruz da Vitória, Itaju do Colônia, entre outros municípios. O acesso dá-se pelas várias estradas estaduais que cortam a área. O mapa da Figura 7 mostra a localização da área e os municípios abrangidos.

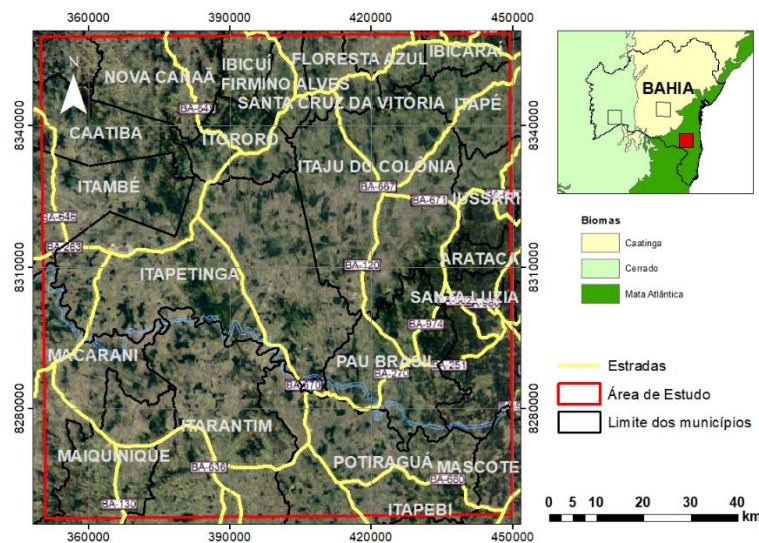


Figura 7: Mapa de situação da Área de estudo 3 – Mata Atlântica. Coordenadas Projetadas: SIRGAS 2000 UTM Zona 24S [Adaptado de IBGE (2016), IBGE (2019) e Google Earth (2020)].

A região tem uma grande área de pastagem, seguida da vegetação de Formação Florestal. A Formação Florestal da Mata Atlântica é composta pelas Florestas Ombrófila Densa, Aberta e Mista,

Floresta Estacional Semi-Decidual, Floresta Estacional Decidual e Formação Pioneira Arbórea (MapBiomias, 2020). O mapa da Figura 8 mostra os aspectos da vegetação e uso do solo na área.

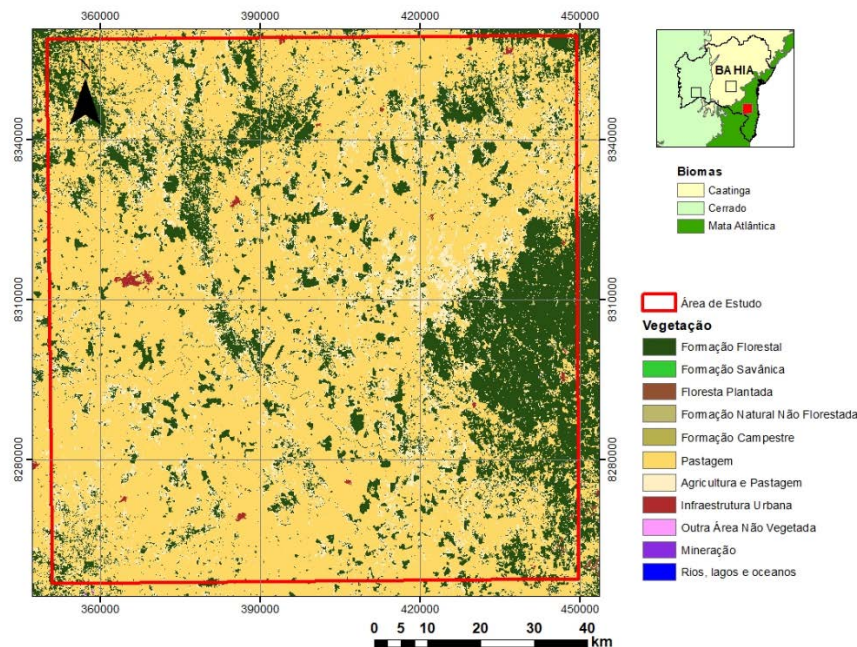


Figura 8: Mapa de vegetação e uso do solo da Área de estudo 3 – Mata Atlântica. Coordenadas Projetadas: SIRGAS 2000 UTM Zona 24S [Adaptado de IBGE (2019) e MapBiomias (2018)].

MATERIAIS E MÉTODOS

Aquisição das cenas

As cenas escolhidas para este artigo foram geradas pelo sensor *OLI/Landsat-8*, adquiridas gratuitamente no portal *Earth Explorer* da *United States Geological Survey* – Serviço Geológico dos Estados Unidos, já com correção geométrica. Para cobrir todas as áreas, foram necessárias 5 (cinco) cenas das órbitas/pontos 217/69 para a área 1, 219/69 e 219/70 para a área 2 e 216/70 e 216/71 para a área 3, como representado na Figura 9.



Figura 9: Imagem com destaque para as cenas Landsat obtidas para cada área. **Legenda:** Área 1: Central. Área 2: Esquerda. Área 3: Direita [Adaptado de Grade Landsat para a América do Sul (INPE, s.d.)].

Correção Atmosférica

As bandas espectrais utilizadas neste trabalho foram do vermelho (Banda 4) e infravermelho-próximo (Banda 5), referentes ao sensor *OLI/Landsat-8*, passaram por correção atmosférica

com a finalidade de atenuar os efeitos atmosféricos provenientes do processo de aquisição. A correção atmosférica foi realizada no software gratuito *QGIS* versão 3.14π“pi”, na extensão *SCP Plugin*, pelo método teórico *DOS1*. Informações como ângulo de elevação solar, coeficientes de calibração, entre outros parâmetros necessários para a correção atmosférica foram obtidos no arquivo de metadados anexado a cada cena, em formato *MTL*.

Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

O *NDVI* é um dos índices de vegetação mais utilizados. Este índice possui relação com a biomassa, com o índice de área foliar, com a produtividade primária, com a radiação fotossintética, com o dióxido de carbono e com os parâmetros meteorológicos e ecológicos. (Teillet et al. 1997)

Para o cálculo do *NDVI* são utilizadas as bandas do vermelho (*V*), referente ao espectro do visível onde a clorofila mais absorve para a fotossíntese, causando assim a baixa reflectância nessa região, correspondente ao comprimento de onda de 0,63 a 0,69 μm , e a do infravermelho próximo (*IVP*), onde a vegetação tem alta reflectância, correspondente ao comprimento de onda de 0,76 a 0,90 μm . (Guyot et al., 1989). Para as imagens do *OLI/Landsat-8*, essas bandas são correspondentes às bandas 4 (vermelho) e 5 (infravermelho próximo). Sendo assim, para o *OLI/*

Landsat-8 a equação para o NDVI corresponde a:

$$NDVI = \frac{IVP - V}{IVP + V} = \frac{B5 - B4}{B5 + B4}$$

Os resultados para o cálculo de NDVI variam de -1 a +1 onde a vegetação saudável resulta em valores positivos altos. Alvos como solo nu, água, gelo e nuvens tem valores de zero ou valores negativos próximo de zero. Valores positivos próximo de zero são relacionados à vegetação não saudável, sob estresse ou com pequena área foliar. (Mkhabela et al., 2005)

O *software* utilizado para o cálculo do NDVI foi o QGIS versão 3.14π“pi”. O *software* é de domínio livre o NDVI foi calculado por meio da ferramenta “Calculadora de Raster”, onde foi inserida a equação sobre as bandas de reflectância citadas.

Aquisição do Mapa de Geologia da Bahia

Os dados da Geologia da Bahia foram obtidos por meio da aquisição do Mapa de Geodiversidade do Estado da Bahia em formato *shapefile*. O arquivo é fornecido gratuitamente no site da CPRM – Serviço Geológico do Brasil.

O arquivo foi elaborado pela CPRM no ano de 2010, em escala 1:1.000.000 onde foram acrescentadas novas informações nos seguintes mapas bases: Mapa de Geodiversidade do Brasil, elaborado pela CPRM no ano de 2006, em escala 1:2.500.000 e o Mapa Geológico do Estado da Bahia também elaborado pela CPRM, na escala 1:1.000.000 no ano de 2002.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Área 1 – Caatinga

Na área da Caatinga, a geologia é bastante diversificada e é possível notar que há influência da formação geológica no desenvolvimento da cobertura vegetal. A geologia abrange as formações Rio dos Remédios, Açuruá, Ouricuri do Ouro, Barreto Dantas e Jurema, Tombador, Mangabeira Morro do Chapéu, Caboclo e Bebedouro e as unidades Gavião, Lagoa de Dentro, Abaíra, Nova América e Sete Voltas, além das Coberturas Cenozoicas.

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada variou, em média, de -0,86 a 0,91 com média de 0,55 onde os valores negativos são associados à presença de solos nus e rocha exposta. As médias entre 0,79 e 0,48 são referentes às vegetações naturais, na ordem de vigor vegetativo: Formação Florestal, Serrana e Savânica. As médias abaixo de 0,48 são referentes às atividades antrópicas de agricultura e pastagem. A figura 10 traz um quadro que mostra a imagem resultante

Dentre os vários temas que compõe o Mapa de Geodiversidade do Estado, o utilizado foi o de Litologia, que compõe a base geológico-ambiental.

Correlação dos dados de NDVI e Litologia

A correlação entre o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada e a Geologia das áreas foi feita observando o padrão da geologia e o padrão dos intervalos de NDVI com o auxílio da falsacolor distribuída por quartil no mapa. Para esta análise foi utilizado o *software* QGIS versão 3.14π“pi”.

A fim de quantificar a correlação, foi utilizada a função “Estatísticas Zonais” para extrair os valores de mínimo, máximo e médias do NDVI por classe litológica. Feito isso, os valores calculados pelo QGIS3.14π“pi” foram exportados para uma planilha Excel, onde foram gerados os gráficos com os valores médios de NDVI para cada litologia e a média geral em cada intervalo de classe.

Por fim, com o auxílio da ferramenta “Terrain profile”, ainda no QGIS3.14π“pi” foram exportadas, em formato .SVG, as linhas de variação de NDVI, sobre uma determinada linha da área, combinada com um perfil topográfico gerado pela mesma ferramenta sobre uma imagem SRTM- *Shuttle Radar Topography Mission*. As linhas de NDVI e perfil topográfico foram importadas no *software* de domínio livre *Inkscape* 10.1.0 onde foram correlacionados.

da operação de bandas com o cálculo de NDVI e, abaixo, as litologias desta mesma área.

Para melhor entendimento das estatísticas dentro da região da Caatinga, tabelas detalhadas de estatísticas zonais foram confeccionadas divididas em alto, médio e baixo valor de NDVI.

Estatísticas Zonais da Região de Alto NDVI

Na Caatinga, o NDVI variou de -0,86 a 0,91, com média de 0,63 em sessenta e cinco corpos rochosos e suas configurações estão descritas na tabela 1 ao lado. Para entender melhor como cada litologia influenciou no vigor vegetativo, foi feita a tabela 2, com estatísticas por litologia em ordem decrescente de média.

Tabela 1: Estatísticas zonais da região de alto NDVI na Caatinga.

NDVI			Nº corpos	Área (km²)
Média	Mínimo	Máximo		
0,63	-0,86	0,91	65	4266,8

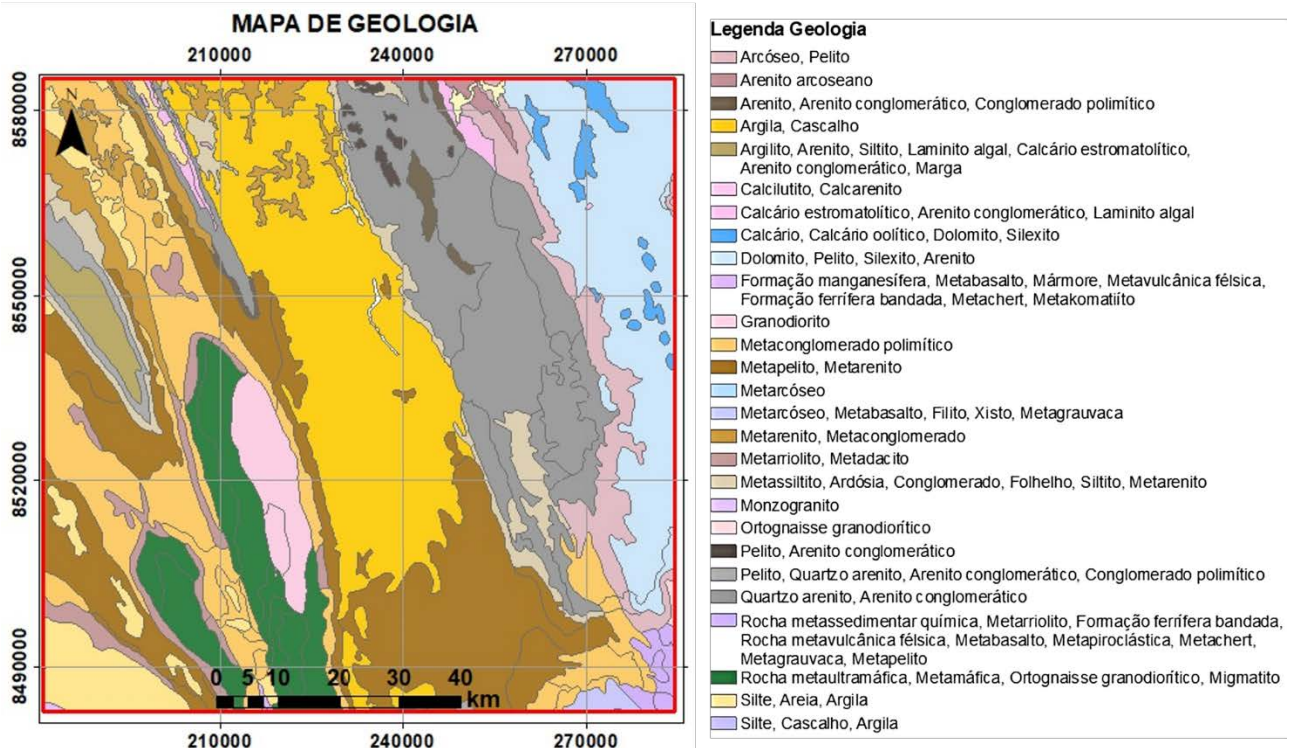
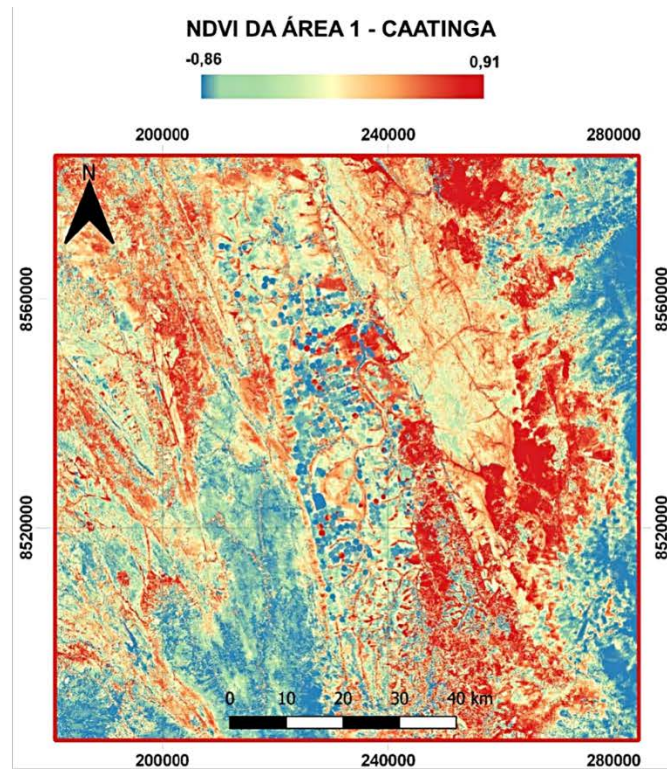


Figura 10. Quadro de imagens com mapa de NDVI e de Geologia da área 1 – Caatinga

Como é possível notar na descrição das rochas nos intervalos de NDVI, várias litologias se repetem entre os intervalos, demonstrando que a influência no vigor vegetativo não é tão expressiva comparado à influência das rochas que não se repetem. Para melhor análise das influências, estatísticas zonais das principais rochas da área estão destacadas em negrito nas

planilhas, levando em consideração somente as rochas que demonstraram heterogeneidade nos valores.

Sendo assim, o arenito arcoseano é a litologia que mais influencia no vigor vegetativo da área, com média de 0,79, bem acima da média geral da Caatinga que é de 0,55. Por se tratar da Caatinga, bioma que tem forte relação com terrenos

Tabela 2: Estatísticas zonais da região de alto NDVI no Caatinga, separadas por litologia, em ordem decrescente de média.

Litologia	NDVI			Nº corpos	Área (km ²)
	Média	Mínimo	Máximo		
Arenito arcoseano	0,79	-0,11	0,90	2	28,4
Calcário, Calcário oolítico, Dolomito, Silixito	0,72	0,17	0,88	2	16,2
Metassiltito, Ardósia, Conglomerado, Folhelho, Siltito, Metarenito	0,69	-0,30	0,90	6	182,6
Silte, Cascalho, Argila	0,67	-0,71	0,91	1	17,0
Calcário estromatolítico, Arenito conglomerático, Laminito algal	0,65	0,08	0,88	8	67,8
Metarenitos, Metaconglomerado, Metaconglomerado polimítico	0,65	-0,14	0,91	15	583,3
Quartzo arenito, Arenitos conglomeráticos e polimíticos	0,63	-0,19	0,89	15	1607,1
Arcóseo, Pelito	0,63	-0,17	0,89	3	339,2
Metarriolito, Metadacito	0,62	-0,15	0,89	4	106,9
Silte, Areia, Argila	0,62	-0,86	0,89	2	90,3
Metapelito, Metarenito	0,61	-0,30	0,91	7	1227,5

arenosos, o arenito arcoseano se destaca por ser uma rocha quartzosa que apresenta, em sua matriz, o mineral k-feldspato, composto por Potássio, um macronutriente importante para o desenvolvimento da vegetação.

Em seguida, estão os sedimentos de silte, cascalho e argila dos Depósitos Aluvionares, local onde a presença de umidade juntamente com as partículas finas do solo, podem ser os responsáveis pelo vigor vegetativo. O calcário estromatolítico com arenito conglomerático e lamito algal vem em terceiro podendo ser associada à sua alcalinidade, que fornece ao solo uma correção de pH, muito importante para a absorção de nutrientes pelas plantas.

Por fim, as outras rochas quartzosas como os metarenitos e metaconglomerados foram quem mais influenciaram o alto NDVI desta região com média de 0,63 a 0,65.

Estatísticas Zonais da Região de Médio NDVI

Na região de médio NDVI, os índices variaram de -0,86 a 0,91 com média de 0,56 em cinquenta e nove corpos rochosos. As informações sobre esta região estão descritas na tabela 3.

Tabela 3: Estatísticas zonais da região de médio NDVI na Caatinga.

NDVI			Nº corpos	Área (km ²)
Média	Mínimo	Máximo		
0,56	-0,86	0,91	59	3719,3

As litologias que apresentaram médio NDVI também foram separadas com destaque para aquelas que não se repetiram em outras faixas de NDVI e a influência de cada uma delas está detalhada na tabela 4.

Para o médio NDVI, a litologia que mais influenciou foi o pelito com arenitos e conglomerado polimítico juntamente com rochas máficas

e granitóides. O vigor médio sobre estas rochas pode estar ligado às finas partículas do pelito e à presença de minerais ferro-magnesianos das rochas máficas em região de escarpa, ambos relacionáveis à uma vegetação saudável. É importante lembrar que sobre estas rochas estão vegetações das Formações Savânicas e Serranas, que se estabelecem sobre rochas mais duras e apresentam NDVI levemente mais baixos do que a vegetação da Formação Florestal.

Em seguida, rochas calcárias com intercalações de rochas sedimentares, definidos como argilito, arenito e outras rochas de granulometria fina fica em terceiro lugar com média de 0,55.

Com uma grande extensão de área, a argila, cascalho e silte de depósitos superficiais detrito-lateríticas com concreções ferruginosas é uma litologia propícia à uma forte influência ao vigor vegetativo, porém, sobre ela, há a maior parte de atividades ligadas à agricultura, o que pode ter causado o declínio do NDVI nesta litologia.

Por fim, em último lugar, com média já abaixo da média geral de 0,55, estão as litologias de metarcóseo, metabasalto, filito e outros.

Estatísticas Zonais da Região de Baixo NDVI

Os mais baixos índices na Caatinga tiveram médias de 0,44, oscilando entre -0,86 a 0,89 em quarenta e oito corpos rochosos. As configurações desta região estão descritas na tabela 5.

Tabela 4: Estatísticas zonais da região de baixo NDVI na Caatinga.

NDVI			Nº corpos	Área (km ²)
Média	Mínimo	Máximo		
0,44	-0,86	0,89	48	2575,1

Os dados separando as estatísticas por litologia são apresentados na tabela 6.

Tabela 5: Estatísticas zonais da região de baixo NDVI na Caatinga, separadas por litologia, em ordem decrescente de média

Litologia	NDVI			Nº corpos	Área (km²)
	Média	Mínimo	Máximo		
Dolomito, Pelito, Silexito, Arenito	0,47	-0,83	0,89	4	1098,7
Metarriolito, Metadacito	0,45	0,11	0,83	3	33,3
Granodiorito	0,44	-0,86	0,87	2	248,4
Metaconglomerado polimítico	0,43	-0,82	0,87	6	147,7
(Serras) Rocha metaultramáfica, Metamáfica, Ortognaisse granodiorítico, Migmatito	0,42	-0,86	0,88	6	598,0
Calcário, Calcário oolítico, Dolomito, Silexito	0,41	0,07	0,89	10	57,2
Silte, Areia, Argila	0,41	-0,86	0,89	5	262,7
Formação manganésifera, Metabasalto, Mármore, Metavulcânica félsica, Formação ferrífera bandada, Metachert, Metakomatíto	0,36	0,04	0,78	2	5,2
Rocha metassedimentar química, Metarriolito, Formação ferrífera bandada, Rocha metavulcânica félsica, Metabasalto, Metapiroclástica, Metachert, Metagrauvaca, Metapelito	0,35	-0,51	0,84	4	74,0
Monzogranito	0,35	0,17	0,69	1	3,7
Arcóseo, Pelito	0,34	-0,02	0,76	4	38,5
Ortognaisse granodiorítico	0,31	0,12	0,64	1	7,4

As litologias em destaque para a região de médias baixas são dolomito, pelito, silexito e arenito; serras de rochas máficas e gnáissicas; rochas metamórficas e graníticas.

Estatísticas Gerais e Perfil Topográfico

A área total da Caatinga teve uma média NDVI geral de 0,55. O gráfico da Figura 11 mostra a relação das principais litologias e suas respectivas médias NDVI.

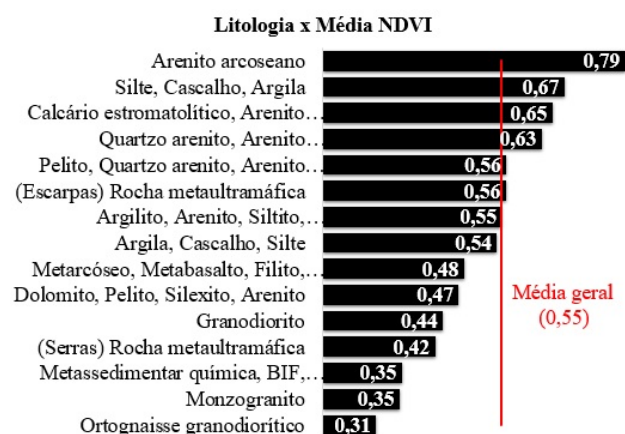


Figura 10: Gráfico de litologia versus média NDVI da área da Caatinga. Média geral = Média da área de estudo 1 inteira sobre a Caatinga.

Em ordem decrescente de contribuição no vigor vegetativo da Caatinga, a litologia de maior influência foi o arenito arcoseano seguido dos sedimentos dos depósitos Aluvionares e as rochas calcárias intercaladas com sedimentares. A Figura 12 traz o perfil esquemático mostrando a oscilação do NDVI em relação à litologia.

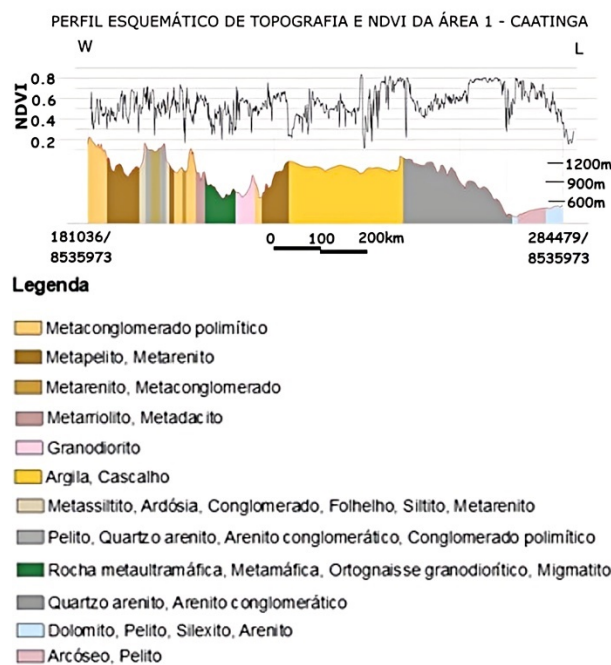


Figura 11: Perfil topográfico e de curva do NDVI da área 1.

Área 2 – Cerrado

Na área do Cerrado, a densidade vegetacional está fortemente ligada à geomorfologia, principalmente a do Grupo Urucuia. A geologia abrange o Grupo Urucuia, a Unidade Correntina, a fácies Sete Lagoas, além das Coberturas detrito-lateríticas ferruginosas, Depósitos Aluvionares e granitóides. O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada variou de -0,61 a 0,94 nesta região, onde os valores negativos estão relacionados a presença de poças de água e os valores de 0,00 a 0,45 são referentes aos alvos de solo exposto

onde há agricultura e pastagem. Os valores acima de 0,45 são referentes à vegetação natural e saudável. A Figura 13 traz um quadro que mostra

a imagem resultante da operação de bandas com o cálculo de NDVI do Cerrado e, abaixo, as litologias desta mesma área.

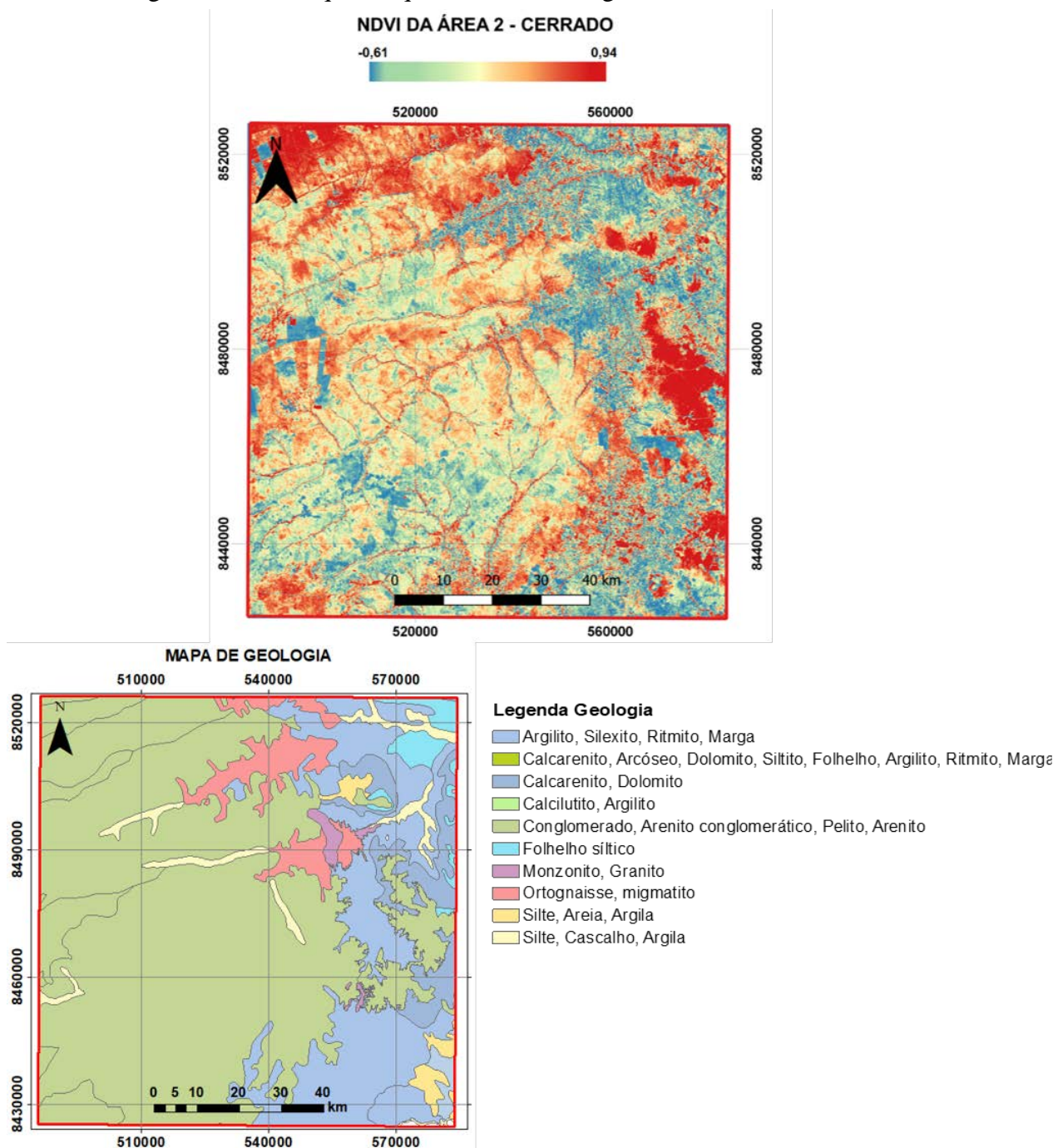


Figura 12: Quadro de imagens com mapa de NDVI e de Geologia da área 2 – Cerrado

A vegetação natural da área que apresenta valores mais altos para o NDVI está relacionada às Chapadas e Platôs onde se instalam a vegetação da Formação Florestal e parte da vegetação da Formação Savânica, além da vegetação que segue os cursos d'água. Em seguida está o restante da vegetação da Formação Savânica que se instala nas áreas de acumulação das serras do Urucuia. Por último, as Colinas e Vales encaixados onde se instala a vegetação da Formação Serrana.

Estadísticas Zonais da Região de Alto NDVI

Os altos índices na área do Cerrado tiveram a média NDVI de 0,60 nos doze corpos rochosos que sustentam este índice. Os parâmetros estatísticos estão descritos na tabela 7.

Tabela 6: Estadísticas zonais da região de alto NDVI no Cerrado.

NDVI			Nº corpos	Área (km ²)
Média	Mínimo	Máximo		
0,60	-0,08	0,90	12	913,9

As estatísticas zonais de alto índice foram separadas por litologia para verificar a contribuição

de cada uma delas no vigor vegetativo. O resultado está apresentado na tabela 8.

Tabela 7: Estatísticas zonais da região de alto NDVI no Cerrado, separadas por litologia, em ordem decrescente de média

Litologia	NDVI			N° corpos	Área (km ²)
	Média	Mínimo	Máximo		
Conglomerado, Arenito conglomerático, Pelito, Arenito	0,61	0,00	0,88	5	690,6
Silte, Areia, Argila	0,58	0,00	0,85	4	124,0
Folhelho siltico	0,55	-0,08	0,90	3	99,2

As litologias que mais contribuíram para o vigor vegetativo na zona de alto índice foram os conglomerados dos topos planos da Formação Urucuia, com média de 0,61. Em seguida, os sedimentos de silte areia e argila e por último, o folhelho siltico. A pedogênese sobre estas litologias resultou em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico.

A contribuição destas litologias para o vigor vegetativo pode estar ligada à capacidade de troca catiônica do solo, fornecida pelos sedimentos pelíticos presentes nos conglomerados da Formação Urucuia que podem estar sendo agregados ao solo graças à sua geomorfologia que não permite a sua lixiviação para zonas de acumulação, além da presença de ferro e alumínio nos sedimentos detriticos lateríticos-ferruginosos (silte, areia e argila) e as partículas finas dos folhelhos.

Estatísticas Zonais da Região de Médio NDVI

Os médios índices na área do Cerrado tiveram a média NDVI de 0,52 nos doze corpos rochosos que sustentam este índice. Os parâmetros estatísticos estão descritos na tabela 9.

Tabela 9: Estatísticas zonais da região de médio NDVI no Cerrado, separadas por litologia, em ordem decrescente de média.

Litologia	NDVI			N° corpos	Área (km ²)
	Média	Mínimo	Máximo		
Silte, Cascalho, Argila	0,53	-1,00	0,93	6	257,5
Conglomerado, Arenito conglomerático, Pelito, Arenito	0,52	-1,00	0,94	4	5679,6
Calcarenito, Arcóseo, Dolomito, Siltito, Folhelho, Argilito, Ritmito, Marga	0,50	-0,40	0,90	2	535,7

Estatísticas Zonais da Região de Baixo NDVI

Os baixos índices na área do Cerrado tiveram a média NDVI de 0,48 nos dezessete corpos rochosos que sustentam este índice. Os parâmetros estatísticos estão descritos na tabela 11.

Tabela 8: Estatísticas zonais da região de médio NDVI no Cerrado.

Média	NDVI		N° corpos	Área (km ²)
	Mínimo	Máximo		
0,52	-1,00	0,94	12	6473,0

No médio índice, a contribuição de cada litologia para o vigor vegetativo está descrita na tabela 10.

Analisando as médias estatísticas, é observado que os sedimentos de depósitos Aluvionares possui a maior contribuição para o vigor vegetativo na região de médio índice seguido dos conglomerados dos vales encaixados e colinas dissecadas da Formação Urucuia. Porém, a média sobre estas litologias pode estar ligada à presença de água nas redes de drenagem, o que favorece o aparecimento das vegetações de vereda, importante na manutenção dos recursos hídricos.

Por fim, a área apresenta rochas calcáreas. As rochas calcáreas são bastante úteis no vigor vegetativo por corrigir a acidez do solo, o que ajuda na absorção dos nutrientes essenciais para a vegetação.

Tabela 10: Estatísticas zonais da região de baixo NDVI no Cerrado.

Média	NDVI		N° corpos	Área (km ²)
	Mínimo	Máximo		
0,48	-0,65	0,93	17	2278,8

A contribuição de cada litologia dentro da região de baixo índice foram calculados e estão descritos na tabela 12.

As litologias que menos cooperaram para o vigor vegetativo no Cerrado foram as rochas da

Fácies Sete Lagoas, que são os argilitos, sillexito, ritmito e marga e as rochas duras como ortognaisses, migmatitos, monzonito e granito. Os solos sobre estas litologias são em geral Argissolos e Latossolos.

Tabela 11: Estatísticas zonais da região de baixo NDVI no Cerrado, separadas por litologia, em ordem decrescente de média.

Litologia	NDVI				Área (km ²)
	Média	Mínimo	Máximo	Nº corpos	
Argilito, Sillexito, Ritmito, Marga	0,49	-0,65	0,93	7	1790,0
Ortognaisse, Migmatito	0,48	-0,53	0,93	3	422,3
Monzonito, Granito	0,45	-0,26	0,86	5	66,4

Estatísticas Gerais e Perfil Topográfico

Em uma visão mais geral da área do Cerrado, a área total teve uma média NDVI total de 0,51. O gráfico da Figura 14 mostra a relação de todas as litologias e suas respectivas médias NDVI. Como os conglomerados do Urucuiá tem uma forte presença na região, esta litologia foi dividida em relação à sua geomorfologia que tem grande importância neste caso.

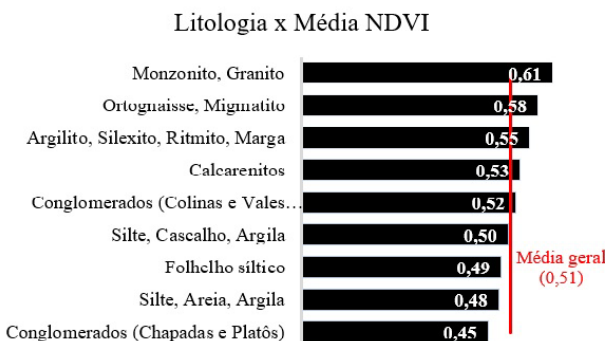


Figura 13: Gráfico de litologia versus média NDVI da área do Cerrado. Média geral = Média da área de estudo 2 inteira sobre o Cerrado.

Em ordem decrescente de contribuição no vigor vegetativo do Cerrado temos os conglomerados, seguido de silte, areia e argila dos sedimentos detríticos lateríticos-ferruginosos e por fim, o folhelho siltico.

A Figura 15 traz a relação da topografia com o NDVI. Note que, para os conglomerados, essa variável é muito importante.

Área 3 – Mata Atlântica

Na Mata Atlântica, a densidade vegetacional mostrou-se de forma heterogênea devido à sua ocupação por pastagem, com médias altas e baixas abrangendo todas as litologias. Por conta disso, o NDVI neste bioma será definido como alto, para índices acima da média geral na Mata Atlântica, e baixo os que foram abaixo da média geral.

O quadro da Figura 16 traz as características litológicas e o NDVI da área.

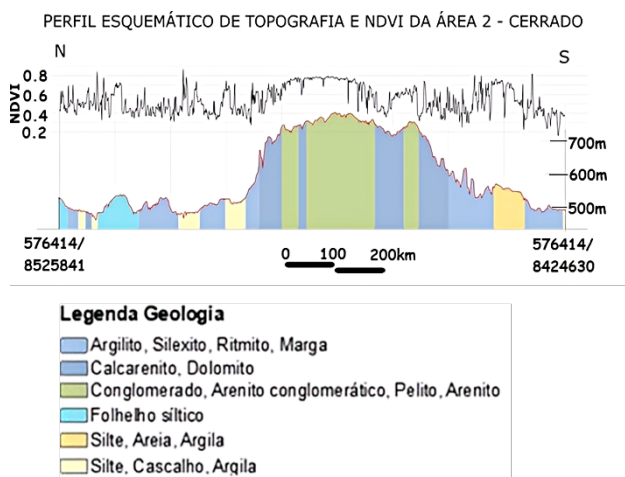


Figura 14: Perfil esquemático da topografia e curva do NDVI da área 2.

As médias NDVI variaram de -0,68 a 0,81 com média geral de 0,66 onde os valores mais altos estão relacionados à vegetação da Formação Florestal, os valores mais baixos estão relacionados às atividades antrópicas. Valores negativos estão relacionados à presença de nuvens.

A área abrange, em maior parte, a geologia das Formações Ribeirão da Folha, Serra do Paraíso e Água Preta, Unidade Ibicaraí e Complexos Itabuna, Almandina, Ibicuí-Ipiauí e Itapetinga, e Grupo Macaúbas.

Estatísticas Zonais da Região de Alto NDVI

A região de alto NDVI na Mata Atlântica teve média de 0,72 em cento e um corpos rochosos que sustentam este índice. Os outros parâmetros da região estão descritos na tabela 13.

Tabela 12: Estatísticas zonais da região de alto NDVI na Mata Atlântica.

NDVI			Nº corpos	Área (km ²)
Média	Mínimo	Máximo		
0,72	-0,69	0,92	101	5939,2

A tabela 14 mostra a contribuição de cada litologia para a média NDVI

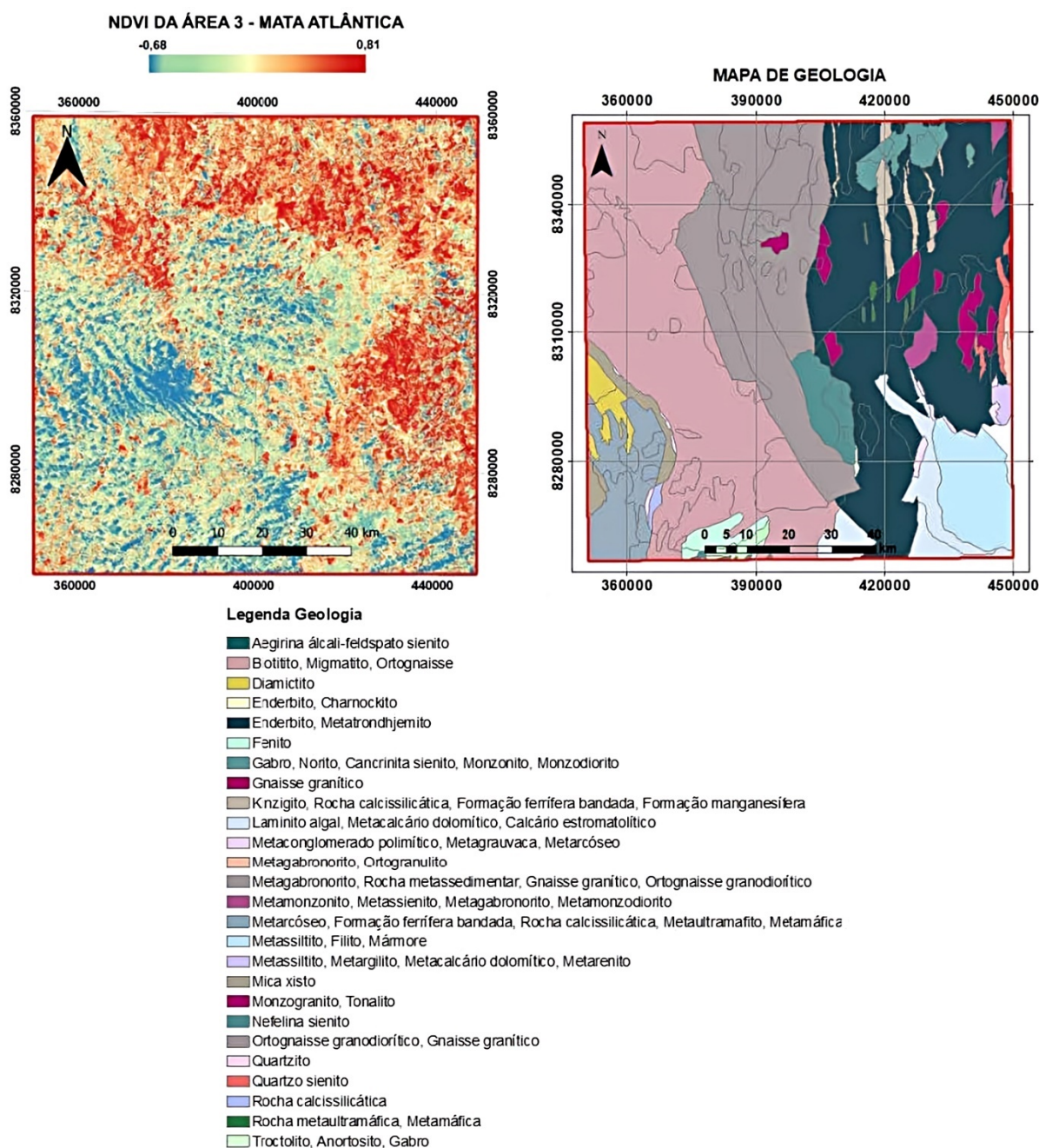


Figura 15: Quadro de imagens com mapa de NDVI e de Geologia da área 3 – Mata Atlântica

Tabela 13: Estatísticas zonais da região de alto NDVI na Mata Atlântica, separadas por litologia, em ordem decrescente de média.

Litologia	NDVI				Nº corpos	Área (km ²)
	Média	Mínimo	Máximo			
Metamonzonito, Metassienito, Metagabronorito, Metamonzodiorito	0,81	0,00	0,92		6	86,9
Knzigito, Rocha calcissilicática, Formação ferrífera bandada, Formação manganésifera	0,77	0,00	0,92		13	128,2
Gabro, Norito, Cancrinita sienito, Monzonito, Monzodiorito	0,77	-0,35	0,88		7	155,3
Metassilito, Metargilito, Metacalcário dolomítico, Metarenito	0,76	-0,11	0,91		1	34,4
Troctolito, Anortosito, Gabro	0,75	0,30	0,88		1	4,6
Monzogranito, Tonalito	0,75	-0,34	0,92		6	152,6
Metaconglomerado polimítico, Metagrauvaca, Metarcóseo	0,74	0,14	0,91		7	37,6
Enderbito, Metatrandhemito	0,73	-0,69	0,93		25	2737,6
Quartzo sienito	0,72	-0,67	0,91		4	53,5
Metagabronorito, Ortogranulito	0,70	0,00	0,92		3	31,5
Ortognaisse granodiorítico, Gnaiss granítico	0,69	-0,69	0,93		12	715,6
Metagabronorito, Rocha metassedimentar, Gnaiss granítico, Ortognaisse granodiorítico	0,68	-0,69	0,92		7	1157,2
Metassilito, Filito, Mármore	0,68	-0,69	0,93		1	426,5
Nefelina sienito	0,68	-0,69	0,91		8	217,0

De modo geral, a vegetação do bioma Mata Atlântica mostra se desenvolver bem em qualquer tipo de rocha, sendo ela de natureza sedimentar, metamórfica ou ígnea. Esse vigor vegetativo sobre qualquer litologia pode estar relacionado com a umidade local ocasionado por grande quantidade de chuva e proximidade com a costa marinha, o que faz com que a pedogênese aja de forma mais rigorosa.

Com média de 0,81, os metamonzonitos, metassienitos, metagabronoritos e metamonzodioritos foram quem mais se destacaram. A variedade de composição rochosa aliada ao forte processo de pedogênese, torna o solo desta região

bastante fértil.

Estatísticas Zonais da Região de Baixo NDVI

A região de baixo NDVI na Mata Atlântica teve média de 0,63 ocupando cinquenta e três corpos rochosos. Os outros parâmetros da região estão descritos na tabela 15.

Tabela 14: Estatísticas zonais da região de baixo NDVI na Mata Atlântica.

NDVI			Nº corpos	Área (km²)
Média	Mínimo	Máximo		
0,63	-0,69	0,92	53	4151,8

A tabela 16 mostra a contribuição de cada litologia para a média NDVI.

Tabela 15: Estatísticas zonais da região de baixo NDVI na Mata Atlântica, separadas por litologia, em ordem decrescente de média.

Litologia	NDVI			Nº corpos	Área (km²)
	Média	Mínimo	Máximo		
Laminito algal, Metacalcário dolomítico, Calcário estromatolítico	0,65	-0,69	0,93	4	366,6
Quartzito	0,65	-0,08	0,89	4	13,3
Rocha metaultramáfica, Metamáfica	0,62	-0,07	0,90		20,1
Biotitito, Migmatito, Ortognaisse	0,62	-0,69	0,93	17	2799,6
Gnaiss granítico	0,61	-0,12	0,90	5	69,8
Metarcóseo, Formação ferrífera bandada, Rocha calcissilicática, Metaultramafito, Metamáfica	0,60	-0,69	0,91	8	478,0
Rocha calcissilicática	0,60	0,05	0,89	1	17,5
Fenito	0,59	-0,84	0,90	5	95,7
Diamictito	0,58	-0,52	0,92	4	111,8
Mica xisto	0,56	0,00	0,91	3	134,6
Aegirina álcali-feldspato sienito	0,54	-0,69	0,91	2	47,4

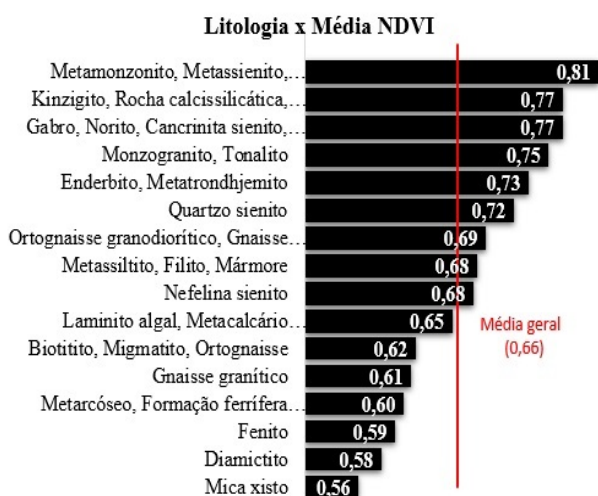


Figura 16: Gráfico de litologia versus média NDVI da área da Mata Atlântica. Média geral = Média da área de estudo 3 inteira sobre a Mata Atlântica.

As litologias que apresentaram NDVI abaixo da média também foram as mais diversas, como observado na tabela acima. Porém, os índices na Mata Atlântica podem refletir a ocupação e uso do solo que, nesta área, é em maior quantidade.

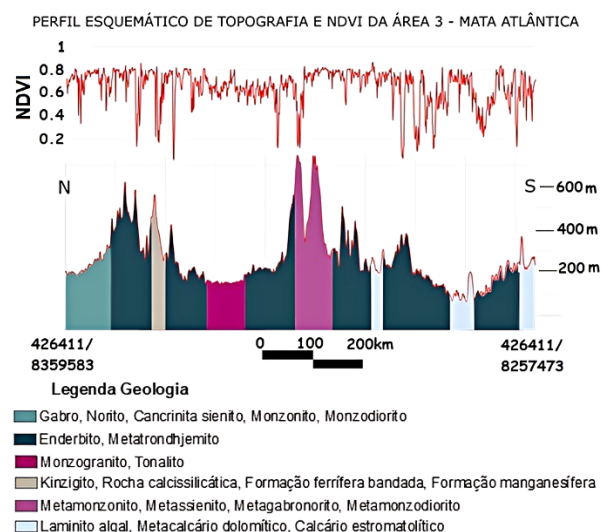


Figura 17: Perfil esquemático de topografia e curva do NDVI da área 3

Estatísticas Gerais e Perfil Topográfico

Em uma visão mais geral da área da Mata Atlântica, a área total teve uma média NDVI total de 0,66. A Figura 17 mostra a relação das principais litologias e suas respectivas médias NDVI.

Em ordem decrescente de contribuição no vigor vegetativo da Mata Atlântica, tem-se os corpos máficos-ultramáficos de metamonzonito, metassienito e outros, seguidos dos kinzigitos, rocha calcissi-

licáticas e tipo BIF. Em terceiro lugar a suíte intrusiva de gabro, norito, cancrinita sienito e outros. A Figura 18 apresenta um perfil esquemático que mostra a relação do NDVI com as respectivas litologias.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos dados apresentados, conclui-se que além da geomorfologia, do clima e outros fatores já conhecidos, a geologia também possui influência no vigor vegetativo. Conclui-se ainda que essa relação é mais bem notada no bioma Cerrado.

Nota-se que o tipo de Formação vegetal por si só, não define a linearidade com o NDVI, visto que no bioma Caatinga, a Formação Serrana apresenta NDVI maiores do que a Formação Savânica enquanto no bioma Cerrado, o inverso acontece.

De maneira geral, o vigor vegetativo foi maior sobre as rochas de arenito arcoseano, calcário estromatolítico e metarenitos/metaconglomerado polimítico, além de depósitos Aluvionares no bioma Caatinga, com médias de NDVI entre 0,79 e 0,65. No Cerrado, a vegetação de maior vigor se desen-

volve sobre conglomerados/arenito, depósitos sedimentares lateríticos-ferruginosos e folhelho síltico, com médias de 0,61; 0,58 e 0,55, respectivamente.

Por fim, a Mata Atlântica, onde a pedogênese age de forma mais intensa, a relação tem menos clareza em relação aos outros biomas. Rochas de todas as naturezas, com destaque para as metamórficas, podem apresentar altos índices. As intercalações metamonzonito/ metassienito/ metagabronorito/ metamonzodiorito foram quem mais se destacaram, com média de 0,81, seguidas de kinzigito com formações ferríferas e manganíferas e, por fim, rocha gabróica, ambos com média de 0,77. A variedade de composição rochosa aliada ao forte processo de pedogênese, torna o solo desta região bastante fértil.

REFERÊNCIAS

- EPIPHANIO, J.C.N.; GLERIANI, J.M.; FORMAGGIO, A.R.; RUDORFF, B.F.T. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 31, n. 6, p. 445-454, 1996.
- FIGUEIREDO, D. *Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto*. São Paulo: s.n. 2005.
- GUYOT, G.; GUYON, D.; RIOM, J. Factors affecting the spectral response of forest canopies: a review. *Geocarto International*, v. 4, n. 3, p. 3-18, 1989.
- IBGE. *Manual Técnico da Vegetação Brasileira*. Rio de Janeiro: s.n. 2012.
- IBGE. *Biomás e Sistema Costeiro-Marinho do Brasil*. Rio de Janeiro: s.n. 2019.
- INPE. *Divisão de Geração de Imagens*. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/documentacao/grades>>. Acesso em: 29 de março de 2021.
- JENSEN, J.R. *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. 4ª ed. University of South Carolina: Pearson series in geographic information science. 2015.
- JENSEN, J.R. *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*. Pearson New International Edition, 2th Edition, 2014.
- JONG, S.M.; MEER, F.D.V.D. *Remote Sensing Image Analysis: Including the Spatial Domain*. Springer Science and Business Media, 5th Edition, 2005.
- KAWABATA, A.; ICHII, K.; YAMAGUCHI, Y. Global monitoring of interannual changes in vegetation activities using NDVI and its relationships to temperature and precipitation. *International journal of remote sensing*, v. 22, n. 7, p. 1377-1382, 2001.
- LORENZZETTI, J.A. *Princípios Físicos de Sensoriamento Remoto*. São Paulo: Blucher. 2015.
- MAPBIOMAS. Projeto Mapbiomas. *Coleção 4.1 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil*. Disponível em: <<https://plataforma.mapbiomas.org/>>. Acesso em 09 mar. 2021.
- MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. D.; BAPTISTA, G. M. D. M. *Reflectância dos materiais terrestres: análise e interpretação*. São Paulo: Oficina de Textos. 2019.
- MENESES-TOVAR, C. L. NDVI as indicator of degradation. *Unasyuva*, v. 62, n. 238, p. 39-46, 2011.
- MKHABELA, M. S.; MKHABELA, M. S.; MASHININI, N. N. Early maize yield forecasting in the four agro-ecological regions of Swaziland using NDVI data derived from NOAA's-AVHRR. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 129, n. 1-2, p. 1-9, 2005.
- MORAES, E.C.D. *Fundamentos de Sensoriamento Remoto*. São José dos Campos: s.n. 2012.
- PONZONI, F.J. *Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação: Diagnosticando a mata atlântica*. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). 2002.
- PONZONI, F. J. & SHIMABUKURO, Y. E. *Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação*. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). 2010.
- PRASAD, S.; BRUCE, L. M.; CHANUSSOT, J. *Optical remote sensing. Advances in Signal Processing and Exploitation Techniques*. Springer: Berlin, Germany, 2011.
- RAINA, A. K.; PHARASI, S. C.; PRASAD, K. G. Inter-relationship between geology, soil and vegetation of Kanasar Range in Chakrata Division of Uttar Pradesh. *Indian Forester*, v. 120, n. 12, p. 1095-1103, 1994.
- ROBINSON, N. P.; ALLRED, B. W.; JONES, M. O.; MORENO, A.; KIMBALL, J. S.; NAUGLE, D. E.; ERICKSON, T. A.; RICHARDSON, A. D. A dynamic Landsat derived normalized difference vegetation index (NDVI) product for the conterminous United States. *Remote Sensing*, v. 9, n. 8, p. 863, 2017.
- SALAZAR, L.; KOGAN, F.; ROYTMAN, L. Using vegetation health indices and partial least squares method for estimation of corn yield. *International Journal of Remote Sensing*, v. 29, n. 1, p. 175-189, 2008.
- TEILLET, P. M.; STAENZ, K.; WILLIAM, D. J. Effects of spectral, spatial, and radiometric characteristics on remote sensing vegetation indices of forested regions. *Remote Sensing of Environment*, v. 61, n. 1, p. 139-149, 1997.
- TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote sensing of Environment*, v. 8, n. 2, p. 127-150, 1979.

Submetido em 12 de junho de 2021
Aceito para publicação em 25 de fevereiro de 2022