

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CARTOGRÁFICA

VANESSA SILVA DE MORAES

**ANÁLISE MULTIFONTE DOS ÍNDICES EVI E NDVI COM IMAGENS DE
REFLECTÂNCIA UTILIZANDO OS SENSORES OLI E MODIS. UM ESTUDO DE
CASO: RESERVA BIOLÓGICA SERRA NEGRA - PE**

VIRTUS IMPAVIDA

Recife

2018

VANESSA SILVA DE MORAES

**ANÁLISE MULTIFONTE DOS ÍNDICES EVI E NDVI COM IMAGENS DE
REFLECTÂNCIA, UTILIZANDO OS SENSORES OLI E MODIS. UM ESTUDO
DE CASO: RESERVA BIOLÓGICA SERRA NEGRA - PE**

Monografia apresentada na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica, do Centro de Tecnologia e Geociências, da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito básico para obtenção do grau de bacharela em Engenharia Cartográfica.

Orientador: Prof. Dr. João Rodrigues Tavares Junior.

Recife

2018

Catalogação na fonte

Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

M827a Moraes, Vanessa Silva de.

Análise multifonte dos índices evi e ndvi com imagens de reflectância, utilizando os sensores oli e modis. Um estudo de caso: Reserva Biológica Serra Negra - PE / Vanessa Silva de Moraes. – 2018.

46 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. João Rodrigues Tavares Junior.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Engenharia Cartográfica, 2018.

Inclui Referências e Anexos.

1. Engenharia Cartográfica. 2. Sensoriamento remoto. 3. Sensor OLI. 4. Sensor MODIS. 5. NDVI. 6. EVI. 7. Reserva Biológica Serra Negra. I. Tavares Junior, João Rodrigues. (Orientador). II. Título.

UFPE

526.1 CDD (22. ed.)

BCTG/2018-460

VANESSA SILVA DE MORAES

**ANÁLISE MULTIFONTE DOS ÍNDICES EVI E NDVI COM IMAGENS DE
REFLECTÂNCIA, UTILIZANDO OS SENSORES OLI E MODIS. UM ESTUDO DE
CASO: RESERVA BIOLÓGICA SERRA NEGRA - PE**

Monografia apresentada na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica, do Centro de Tecnologia e Geociências, da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito básico para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Cartográfica.

Aprovada em: 27/11/2018

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. João Rodrigues Tavares Junior

Universidade Federal de Pernambuco (Orientador)

Profa. Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias

Universidade Federal de Pernambuco

Recife

2018

*Dedico à minha mãe Maria José, por
sempre ter incentivado minha vida
acadêmica.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela força divina que me fez chegar até aqui, sem fé não conseguiria ir longe.

À minha família, meu irmão Victor, e em especial meus pais Maria e José Moraes, por todo apoio e paciência durante minha graduação, assim como em todas as etapas da minha vida acadêmica. Amo vocês!

Ao meu querido companheiro Max Felipe, por todo incentivo e ajuda para este trabalho, assim como também em vários momentos da graduação. Amo você!

Ao meu orientador, Prof. Dr. João Rodrigues, que mesmo bastante ocupado, aceitou me orientar durante a confecção deste trabalho. Gratidão, professor!

Quero agradecer a todas minhas meninas do SPS, em especial: Antônio Júnior, Emilly Lira, Fábio Marley, Laisa Barreto e Raquel Vila Nova. São sim pessoas pesadas, mas tornaram meus dias, dentro e fora da universidade, leve. Obrigada por todos os momentos felizes, sem vocês tudo teria sido mais difícil. Amo todos!

A todos os amigos que convivi na graduação, levarei pra sempre com carinho, especialmente: Carine Cavalcanti, Carlos Fabrício, Joaquim Taborda, Rafael Lima e Yasmim Menezes.

Meu muito obrigada aos professores do Departamento de Engenharia Cartográfica, em especial às professoras que admiro como profissional e pessoal: Ana Lúcia Candeias, Andréa Tenório, Lucilene Antunes e Simone Sato.

Aos meus queridos Zenilton e Judith, por todas as prosas nas horas vagas.

Por fim, agradeço de modo geral a todos que contribuíram de alguma forma para este trabalho, ou em alguma etapa durante o curso.

RESUMO

A utilização de diferentes sensores através de imagens de satélites, incorporado ao âmbito da Engenharia Cartográfica, nos permite realizar mapeamentos com diferentes escalas. Tais mapeamentos são fundamentais para diferentes propósitos na engenharia, uma vez que os sensores possuem distintas resoluções espaciais. O presente trabalho tem como objetivo avaliar os mapeamentos em diferentes escalas na Reserva Biológica Serra Negra, utilizando os sensores OLI e MODIS e seus comportamentos em imagens de reflectância, para os índices de vegetação NDVI e EVI. A área de estudo escolhida é uma unidade de conservação localizada no semiárido pernambucano, uma reserva de Mata Atlântica contornada pelo bioma Caatinga, que se encontra nos municípios de Floresta, Inajá e Tacaratu. As imagens adquiridas para elaboração deste trabalho são imagens do sensor OLI e MODIS, datadas de 10 de janeiro de 2017 e 17 de janeiro de 2017, respectivamente. Foram obtidas em épocas próximas, para uma melhor análise da vegetação no local. As imagens obtidas foram importadas e recortadas em um retângulo envolvente contendo a área de estudo desejada. Por conseguinte, se gerou novas imagens com reflectância para o sensor OLI, uma vez que as imagens MODIS já possuíam valores digitais convertidos. Para isso usou-se a linguagem LEGAL para criar dois programas, um para o cálculo do NDVI e outro para o cálculo do EVI. Fixou-se uma grade de 100 pontos sobre as imagens de interesse, e estabeleceu-se uma leitura de pixels (3x3) em cada coordenada fixada de todas as imagens. Com valores obtidos, permitiu-se construir tabelas no Excel, gerando gráficos para análises dos resultados. De acordo com a estatística dos gráficos, o sensor OLI com índice de vegetação NDVI, apresentou o valor culminante apontado no ponto 55, com valor 0,5521. Já o índice EVI, demonstrou valor máximo no ponto 66, com número de 0,3976. No sensor MODIS, ambos os índices apresentaram valor máximo no ponto 58, sendo 0,5353 para o NDVI e 0,28728 para o EVI. De modo geral, ao observar todos os gráficos de ambos os sensores, os maiores valores estão sobre a Reserva Biológica Serra Negra nas imagens, com algumas variações, o que nos passa a informação de cobertura alta da vegetação, demonstrado através dos índices abordados. Por conseguinte, Serra Negra é um local de interesse ambiental e a utilização de técnicas de Sensoriamento Remoto, se permite monitorar a área realizando mapeamentos em diferentes escalas, através de diferentes sensores com variados índices de vegetação. Para um estudo como este, os sensores atendem bem a um monitoramento da Serra Negra e áreas ao seu redor. Porém, se o estudo se delimitasse exclusivamente dentro do contorno da Unidade de Conservação da Reserva, o sensor MODIS, não apontaria lugares específicos com valores precisos de baixa e alta vegetação, por apresentar uma resolução espacial grande, na qual se pode mapear áreas com escala máxima de até 1:1250000, diferente do OLI que apresenta escala máxima de 1:150000. Ainda com resoluções diferenciadas entre si, os sensores responderam bem aos índices de vegetação abordados, quando foi indicado em que local da imagem a cobertura vegetal se sobressaia.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Sensor OLI. Sensor MODIS. NDVI. EVI. Reserva Biológica Serra Negra.

ABSTRACT

The use of different sensors through satellite images, incorporated into the scope of Cartographic Engineering, allows us to perform mappings with different scales. Such mappings are fundamental for different purposes in engineering, since the sensors have different spatial resolutions. The present work aims to evaluate the mapping in different scales in the Serra Negra Biological Reserve, using the OLI and MODIS sensors and their behaviors in reflectance images, for NDVI and EVI vegetation indexes. The chosen study area is a conservation unit located in the semi-arid Pernambuco, a reserve of Atlantic Forest circumvented by the Caatinga biome, which is found in the municipalities of Floresta, Inajá and Tacaratu. The images acquired for this work are OLI and MODIS sensor images, dated January 10, 2017 and January 17, 2017, respectively. They were obtained in near seasons, for a better analysis of the vegetation in the place. The images obtained were imported and cut into a surrounding rectangle containing the desired study area. After, new images were generated with reflectance for the OLI sensor, since the MODIS images already had converted digital values. For this we used the LEGAL language to create two programs, one for the calculation of the NDVI and another for the calculation of the EVI. A 100-point grid was fixed on the images of interest, and a pixel reading (3x3) was established in each fixed coordinate of all images. With values obtained, it was possible to build tables in Excel, generating graphs for analysis of the results. According to the graphical statistics, OLI sensor with vegetation index NDVI, presented the culminating value indicated in point 55, with value 0.5521. The EVI index showed a maximum value at point 66, with a number of 0.3797. In the MODIS sensor, both indices had a maximum value at point 58, with 0.5353 for NDVI and 0.288728 for EVI. In general, when viewing all the graphs of both sensors, the highest values are on the Serra Negra Biological Reserve in the images, with some variations, which gives us the information of high coverage of the vegetation, demonstrated through the indexes approached. Therefore, Serra Negra is a site of environmental interest and the use of Remote Sensing techniques, it is possible to monitor the area by performing mapping at different scales, through different sensors with varied vegetation indexes. For a study like this, the sensors cater well for a monitoring of the Serra Negra and areas around it. However, if the study were delimited exclusively within the boundary of the Reserve's Conservation Unit, the MODIS sensor would not point to specific places with low and high values of vegetation, because it presents a large spatial resolution, where it is possible to map areas with scale maximum of 1:1250000, different from the OLI that has a maximum scale of 1:150000. Still with differentiated resolutions between them, the sensors responded well to the vegetation indexes approached, when it was indicated in which local of the image the vegetation cover stood out.

Keywords: Remote sensing. OLI Sensor. MODIS Sensor. NDVI. EVI. Serra Negra Biological Reserve.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - LANDSAT 8	16
Figura 2 - Sensores OLI e TIRS montados em espaçonaves. O TIRS é coberto com isolamento multicamada em tons dourados, e o OLI é coberto com isolamento Tedlar branco	16
Figura 3 - Curva espectral típica da reflectância em função do comprimento de onda.	21
Figura 4 - Mapa de Localização	24
Figura 5 - Imagem da área de estudo	25
Figura 6 - Diagrama de Blocos da Metodologia	26
Figura 7 - Grade de pontos fixada sobre a área.	27
Figura 8 - Grade de pontos numerada fixada sobre a área.	27
Figura 9 - Leitura de pixel na imagem NDVI – Sensor OLI.....	28
Figura 10 - Leitura de pixel na imagem NDVI – Sensor MODIS.....	29
Figura 11 - Leitura de pixel na imagem EVI – Sensor OLI	29
Figura 12 - Leitura de pixel na imagem EVI – Sensor MODIS	30
Figura 13 - Gráfico com os valores médios para o NDVI do sensor OLI.....	33
Figura 14 - Gráfico com os valores de desvio padrão para o NDVI do sensor OLI	34
Figura 15 - Gráfico com os valores médios para o EVI do sensor OLI	35
Figura 16 - Gráfico com os valores de desvio padrão para o EVI do sensor OLI.....	36
Figura 17 - Gráfico com os valores médios para o NDVI do sensor MODIS.....	37
Figura 18 - Gráfico com os valores de desvio padrão para o NDVI do sensor MODIS	38
Figura 19 - Gráfico com os valores médios para o EVI do sensor MODIS	39
Figura 20 - Gráfico com os valores de desvio padrão para o EVI do sensor MODIS	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características do Sensor OLI.....	17
Tabela 2 - Característica do Sensor MODIS	18
Tabela 3 - Análise Estatística dos Valores	31

LISTA DE SIGLAS

EVI	Enhanced Vegetation Index
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
LANDSAT	Land Remote Sensing Satellite
LEGAL	Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
ND	Números Digitais
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
LEGAL	Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico
OLI	Operational Land Imager
PE	Pernambuco
RGB	Red, Green and Blue
UC	Unidade de Conservação
USGS	United States Geological Survey

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	14
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
3.1	Sensor OLI	15
3.1.1	Especificações Técnicas	17
3.2	Sensor MODIS	17
3.2.1	Especificações Técnicas	18
3.3	Índices de Vegetação.....	21
3.3.1	NDVI.....	21
3.3.2	EVI.....	22
3.3.3	Reflectância Espectral	23
4	METODOLOGIA	24
4.1	Área de Estudo	24
4.2	Material	25
4.3	Métodos	26
4.3.1	Coleta de dados.....	26
4.3.2	Desenvolvimento.....	26
5	RESULTADOS E ANÁLISES	31
6	CONCLUSÃO	41
	REFERÊNCIAS	42
	ANEXO A - PROGRAMAÇÃO LEGAL PARA O ÍNDICE EVI.....	44
	ANEXO B - PROGRAMAÇÃO LEGAL PARA O ÍNDICE NDVI.....	46

1 INTRODUÇÃO

No campo de Sensoriamento Remoto, existem diversos sensores a bordo de satélites com diferentes aplicabilidades para diversos ramos de estudos. Os sensores remotos permitem a detecção da energia eletromagnética de objetos na superfície terrestre, transformando-a em um sinal elétrico. Segundo Ponzoni et. al (2012), cada sensor, em cada banda espectral, tem seu próprio critério para discretizar os valores de radiância medidos na escala específica de sua resolução radiométrica (8 bits, 10 bits, 16 bits etc). Assim, as imagens resultantes, ainda que obtidas por um mesmo sensor, mas em diferentes bandas, podem apresentar diferentes números digitais (ND), pois são diretamente proporcionais às diferentes respostas espetrais que as bandas possuem.

Dentro desse contexto, os sensores OLI e MODIS são sensores distintos empregados nos satélites LANDSAT 8 e os satélites TERRA e AQUA, respectivamente. O sensor MODIS tem como objetivo de estudo, três diferentes temas: atmosfera, oceano e terra, com bandas de resolução espectral e espacial com cobertura global praticamente diária. Já o Sensor OLI, está a bordo do LANDSAT 8, que faz parte de uma série de lançamentos de satélites, desde a década de 70, com intuito de observações contínuas sobre a superfície terrestre.

Para a comparação entre diferentes sensores, faz-se necessário a realização da calibração radiométrica, que tem como objetivo estabelecer uma relação entre os Números Digitais (ND), presentes nas imagens com os valores físicos, como a radiância ou a reflectância (PINTO et al., 2013).

No intuito de uma melhor visualização de determinados alvos ambientais, com valores fisicamente mais correlacionados, é necessário a transformação de imagens com números digitais, para imagens com reflectância. De acordo com Meneses (2012), Reflectância é a razão entre a quantidade de energia radiante que deixa uma unidade de área no terreno (Radiância) pela quantidade de energia incidente naquela área (Irradiância), medida no mesmo instante de tempo.

Dentro desse contexto, o MODIS é um sensor de resolução espacial grande, contendo bandas de 250 m e 500 m, culminando numa utilização, onde podemos trabalhar facilmente na aplicação de escalas pequenas. Já o sensor OLI tem uma resolução menor, com relação ao MODIS, em que o mesmo tem resolução espacial de trinta metros em suas bandas.

No âmbito da Engenharia Cartográfica, a utilização de múltiplos sensores nos permite realizar diferentes mapeamentos, uma vez que, quando temos imagens com resolução espacial diferente, podemos trabalhar com escalas distintas. É importante abordar que quando existem imagens com resolução espacial grande, utilizamos mapeamentos em escalas pequenas. Nessa análise, atingir-se-á uma escala maior, quando aplicar uma resolução espacial menor.

Localizada no semiárido do Estado de Pernambuco, a Reserva Biológica de Serra Negra, área de estudo, possui características de Floresta Atlântica. Ocupa uma área de 1044 ha (10,44 km²), compreendendo os municípios de Floresta, Inajá e Tacaratu. A unidade de conservação (UC) de proteção integral está sob o gerenciamento do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), sendo a segunda menor da Região Nordeste (FREIRE et al., 2017). Utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto, é possível realizar um monitoramento do local, sendo a Reserva de interesse para a preservação ambiental.

Para análise de imagem, com intuito de estudo da vegetação, trabalhamos com diversos índices em sensoriamento remoto. Neste trabalho, utilizamos os índices NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) – índice da vegetação que realça os corpos verdes na imagem – e o EVI (*Enhanced Vegetation Index*) é o índice melhorado do NDVI, que reduz as influências atmosféricas e do solo.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar os mapeamentos em diferentes escalas na Reserva Biológica de Serra Negra, utilizando os sensores OLI e MODIS e seus comportamentos em imagens de reflectância, para os índices de vegetação NDVI e EVI.

2 OBJETIVOS

Abaixo segue os objetivos geral e específico deste trabalho.

2.1 Objetivo Geral

Analisar a sensibilidade multiescala aplicada na Reserva Biológica Serra Negra, oriundos de leituras de pixels para imagens de reflectância dos sensores MODIS e OLI com os índices de vegetação EVI e NDVI.

2.2 Objetivo Específico

- Calcular o NDVI e EVI com Imagens de Reflectância utilizando linguagem LEGAL;
- Analisar o mapeamento para o sensor MODIS e o sensor OLI na Reserva Biológica Serra Negra.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção são apresentados conceitos e definições para o embasamento teórico deste trabalho, como as apresentações dos sensores OLI e MODIS, as definições dos índices de vegetação NDVI e EVI, e o conceito de Reflectância Espectral.

3.1 Sensor OLI

O sensor OLI possui bandas espectrais para coleta de dados na faixa do visível, infravermelho próximo e infravermelho médio, além de uma banda pancromática. Avanços tecnológicos demostrados por outros sensores experimentais da NASA foram introduzidos no sensor OLI, que passou a ter quantização de 16 bits. A entrada em operação do sensor a bordo do LANDSAT 8, permite a continuidade dos trabalhos em sensoriamento remoto iniciados na década de 1970, com a missão LANDSAT.

Tem como principais aplicabilidades:

- Mapas de uso e cobertura das terras, atualização de mapas e dados cartográficos, mapas de aptidão agrícola das terras, identificação de áreas irrigadas, mudanças climáticas;
- Prospecção geológica, atualização de mapas e cartas, classificação de tipos de rochas, recursos minerais, mapas geomorfológicos;
- Planejamento urbano e regional, infraestrutura, indicadores sociais, etc. (EMBRAPA, 2018).

Figura 1 - LANDSAT 8



Fonte: USGS

Figura 2 - Sensores OLI e TIRS montados em espaçonaves. O TIRS é coberto com isolamento multicamada em tons dourados, e o OLI é coberto com isolamento Tedlar branco



Fonte: USGS

3.1.1 Especificações Técnicas

Tabela 1 - Características do Sensor OLI

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Res. Radiométrica
OLI (Operational Land Imager)	(B1) COSTAL	0.433 - 0.453 µm	30 m	16 dias	185 km	16 bits
	(B2) AZUL	0.450 - 0.515 µm				
	(B3) VERDE	0.525 - 0.600 µm				
	(B4) VERMELHO	0.630 - 0.680 µm				
	(B5) INFRAVERMELHO PRÓXIMO	0.845 - 0.885 µm				
	(B6) INFRAVERMELHO MÉDIO	1.560 - 1.660 µm				
	(B7) INFRAVERMELHO MÉDIO	2.100 - 2.300 µm				
	(B8) PANCRÔMÁTICO	0.500 - 0.680 µm	15 m			
	(B9) Cirrus	1.360 - 1.390 µm	30 m			
s.d. = sem dados/informações						

Fonte: Embrapa (2018)

3.2 Sensor MODIS

O sensor MODIS é um instrumento fundamental a bordo dos satélites TERRA (originalmente conhecidos como EOS AM-1) e AQUA (originalmente conhecidos como EOS PM-1). A órbita do TERRA ao redor do planeta é cronometrada de modo que passe de norte a sul através do equador pela manhã, enquanto que o AQUA passa do sul para o norte sobre o equador à tarde. O TERRA MODIS e o AQUA MODIS estão visualizando toda a superfície terrestre a cada 1 a 2 dias, adquirindo dados em 36 bandas espectrais ou grupos de comprimentos de onda. Esses dados melhoraram nossa compreensão das dinâmicas e processos globais que ocorrem nos continentes, nos oceanos e na baixa atmosfera. O MODIS está desempenhando um papel vital no desenvolvimento de modelos de sistemas terrestres interativos, globais e validados, capazes de prever mudanças globais com precisão suficiente para ajudar os formuladores de políticas a tomar decisões acertadas sobre a proteção de nosso meio ambiente. (NASA, 2018).

3.2.1 Especificações Técnicas

- Órbita: 705 km, 10:30 da manhã, nó descendente (TERRA) ou 1:30 da noite, nó ascendente (AQUA), circular síncrono-solar, quase polar
- Taxa de varredura: 20,3 rpm, faixa cruzada
- Dimensões da faixa: 2330 km (faixa transversal) por 10 km (ao longo do caminho no nadir)
- Telescópio: 17,78 cm de diâmetro fora do eixo, focal (colimado), com parada de campo intermediária
- Tamanho: 1,0 x 1,6 x 1,0 m
- Peso: 228,7 kg
- Potência: 162,5 W (média de órbita única)
- Taxa de dados: 10,6 Mbps (pico durante o dia); 6,1 Mbps (média orbital)
- Quantização: 12 bits
- Resolução Espacial: 250 m (bandas 1-2), 500 m (bandas 3-7), 1000 m (bandas 8-36). (NASA, 2018)

Tabela 2 - Característica do Sensor MODIS

Uso primário	Banda	Largura da banda ¹	Radiância Espectral ²	SNR ³ necessário
Limites de Terra / Nuvem / Aerossóis	1	620 – 670	21,8	128
	2	841 – 876	24,7	201
// Aerossóis nuvem terra Propriedades	3	459 – 479	35,3	243
	4	545 – 565	29,0	228
	5	1230 – 1250	5,4	74
	6	1628 – 1652	7,3	275

	7	2105 – 2155	1,0	110
Cor do Oceano / Fitoplâncton / Biogeoquímica	8	405 – 420	44,9	880
	9	438 – 448	41,9	838
	10	483 – 493	32,1	802
	11	526 – 536	27,9	754
	12	546 – 556	21,0	750
	13	662 – 672	9,5	910
	14	673 – 683	8,7	1087
	15	743 – 753	10,2	586
	16	862 – 877	6,2	516
Vapor de água Atmosférica	17	890 – 920	10,0	167
	18	931 – 941	3,6	57
	19	915 – 965	15,0	250
<hr/>				
Uso primário	Banda	Largura da banda ¹	Espectral Radiance ²	Necessário NE [Δ] T (K) ⁴
Temperatura de superfície / nuvem	20	3,660 - 3,840	0,45 (300K)	0,05
	21	3,929 - 3,989	2,38 (335K)	2,00
	22	3,929 - 3,989	0,67 (300 K)	0,07

	23	4,020 - 4,080	0,79 (300K)	0,07
Temperatura Atmosférica	24	4,433 - 4,498	0,17 (250 mil)	0,25
	25	4,482 - 4,549	0,59 (275K)	0,25
Vapor de água de nuvens cirros	26	1,360 - 1,390	6,00	150 (SNR)
	27	6,535 - 6,895	1,16 (240K)	0,25
	28	7,175 - 7,475	2,18 (250K)	0,25
Propriedades da nuvem	29	8,400 - 8,700	9,58 (300K)	0,05
Ozônio	30	9,580 - 9,880	3,69 (250K)	0,25
Temperatura de superfície / nuvem	31	10,780 - 11,280	9,55 (300K)	0,05
	32	11,770 - 12,270	8,94 (300 K)	0,05
Altitude máxima da nuvem	33	13,185 - 13,485	4,52 (260K)	0,25
	34	13,485 - 13,785	3,76 (250K)	0,25
	35	13,785 - 14,085	3,11 (240K)	0,25
	36	14,085 - 14,385	2,08 (220K)	0,35
<hr/>				
<p>¹ bandas 1 a 19 estão em nm; As bandas 20 a 36 estão em μm</p> <p>² Os valores de Radiance espectral são ($\text{W} / \text{m}^2 \cdot \mu\text{m} \cdot \text{sr}$)</p> <p>³ SNR = Relação sinal-ruído</p> <p>⁴ NE (Δ) T = Diferença de temperatura equivalente a ruído</p> <p>Nota: A meta de desempenho é de 30 a 40% melhor que a exigida</p>				

Fonte: NASA (2018)

3.3 Índices de Vegetação

Ponzoni et. al (2012), comentam que diversos índices de vegetação têm sido propostos na literatura com o objetivo de explorar as propriedades espectrais da vegetação, especialmente nas regiões do visível e do infravermelho próximo. Os mesmos autores ainda afirmam que esses índices são relacionados a parâmetros biofísicos da cobertura vegetal, como biomassa e índice de área foliar, além de minimizarem os efeitos de iluminação da cena, declividade da superfície e geometria de aquisição, que influenciam os valores de reflectância da vegetação.

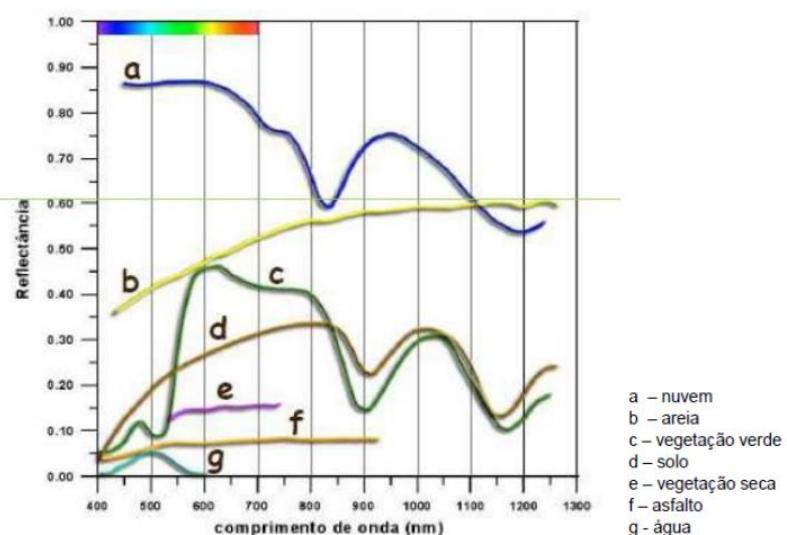
Para este trabalho, será analisado dois índices de vegetação, o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e o EVI (*Enhanced Vegetation Index*).

3.3.1 NDVI

O NDVI é o índice que averigua a vegetação realçando corpos verdes. O índice é sensível a compostos fotossintéticos ativos e é calculado ao longo do tempo para estabelecer condições de crescimento da cobertura vegetal em uma região para um determinado período do ano.

Para melhor compreensão deste índice de vegetação, será exposta uma curva espectral (Figura 3) para alguns materiais, trazendo o cumprimento de onda em função da reflectância do material (FONTANA, 2011).

Figura 3 - Curva espectral típica da reflectância em função do comprimento de onda.



Fonte: FONTANA (2011)

A partir da figura 3 é possível inferir na análise de sinal do NDVI. Como o índice é obtido a partir da reflectância nas bandas do vermelho e do infravermelho próximo, é percebido que para a curva “a” e “g” (nuvem e água) a reflectância no infravermelho é menor que no vermelho, resultando numerador ($\rho_{IVP} - \rho_V$) negativo e consequentemente NDVI negativo. Superfícies em que a reflectância no vermelho e no infravermelho próximo possuem valores semelhantes, curvas “d” e “f” (solo e asfalto), a diferença ($\rho_{IVP} - \rho_V$) é aproximadamente zero, resultado em NDVI em torno de zero. Para superfícies em que a reflectância no vermelho é menor que no infravermelho (curvas “c” e “e”) a diferença ($\rho_{IVP} - \rho_V$) é positiva, gerando NDVI positivo. (RAMOS, 2016)

O NDVI utiliza a refletância de duas bandas do espectro eletromagnético: o vermelho VERM, banda 4 (ρ_{VERM} : 0,63 μm a 0,67 μm) e o infravermelho próximo, banda 5 (ρ_{IVP} : 0,85 μm a 0,87 μm), que está relacionado com a cobertura vegetal, e a adição das referidas bandas (Equação 1).

$$\text{NDVI} = \frac{\rho_{IVP} - \rho_{VERM}}{\rho_{IVP} + \rho_{VERM}} \quad \text{Eq. (1)}$$

3.3.2 EVI

O EVI é uma variação do NDVI, sendo melhorado com relação à redução de influências atmosféricas e do solo. Seu valor vai de 0 a 1, onde os valores mais próximos de 1 apontam um maior acúmulo de biomassa. Assim como o índice NDVI, o EVI reflete os parâmetros biofísicos da vegetação.

De maneira geral, o NDVI é mais sensível à presença de clorofila e outros pigmentos responsáveis pela absorção da radiação solar na banda do vermelho, enquanto que o EVI é mais sensível à variação da estrutura do dossel, incluindo o Índice de Área Foliar (IAF), a fisionomia da planta e a arquitetura do dossel (GAO et al., 2000; HUETE et al., 2002).

Segundo Justice et al. (1998) o EVI é calculado como:

$$\text{EVI} = \frac{G (\rho_{IVP} - \rho_V)}{(L + \rho_{IVP} + C1 \rho_{VERMELHO} + C2 \rho_{AZUL})} \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde:

L = Fator de correção para o solo;

G = Fator de ganho;

$C1$ e $C2$ = Coeficientes de ajuste para o efeito de aerossóis da atmosfera.

De acordo com Heute et al. (1997) e Justice et al. (1998) os coeficientes adotados pelo algoritmo do EVI são: $L = 1$; $C1 = 6$; $C2 = 7,5$ e $G = 2,5$.

3.3.3 Reflectância Espectral

De acordo com Ponzoni et. al (2012), a reflectância espectral característica da vegetação verde sadiça mostra um evidente contraste entre a região do visível e a região do infravermelho próximo. Em geral, pode-se considerar que quanto maior for esse contraste, maior vigor terá a cobertura vegetal imageada.

A fórmula para o cálculo da reflectância é dada a seguir, pela equação 3:

$$\rho\lambda = \frac{M\rho * Q_{cal} + A\rho}{\sin(\theta)} \quad \text{Eq. (3)}$$

Onde:

$\rho\lambda$ = Reflectância do topo da atmosfera.

$M\rho$ = Fator de redimensionamento multiplicativo específico da banda.

$A\rho$ = Fator de redimensionamento aditivo específico da banda.

Q_{cal} = Valores de pixel do produto padrão quantizados e calibrados.

(θ) = Angulo de elevação do Sol. (adaptado de MOREIRA FILHO, 2012).

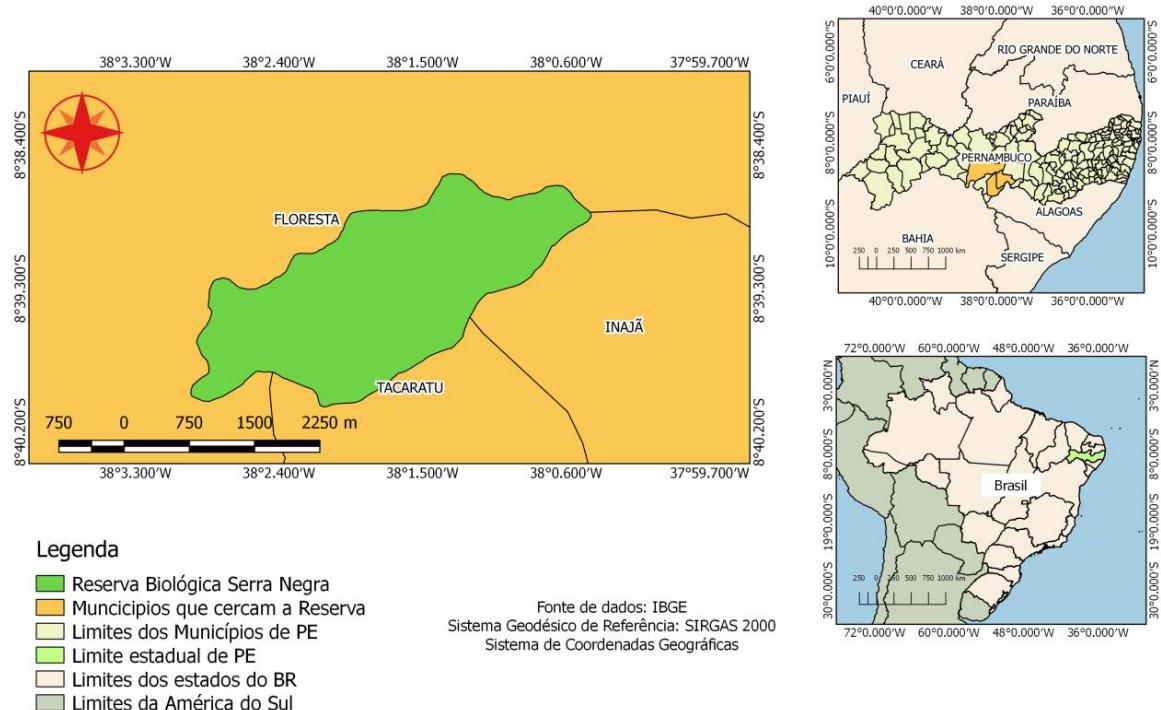
4 METODOLOGIA

4.1 Área de Estudo

A área de estudo é uma unidade de conservação localizada na Região NE do Brasil, dentro do semiárido pernambucano, que se encontra nos municípios de Floresta, Inajá e Tacaratu (Figura 4 e 5).

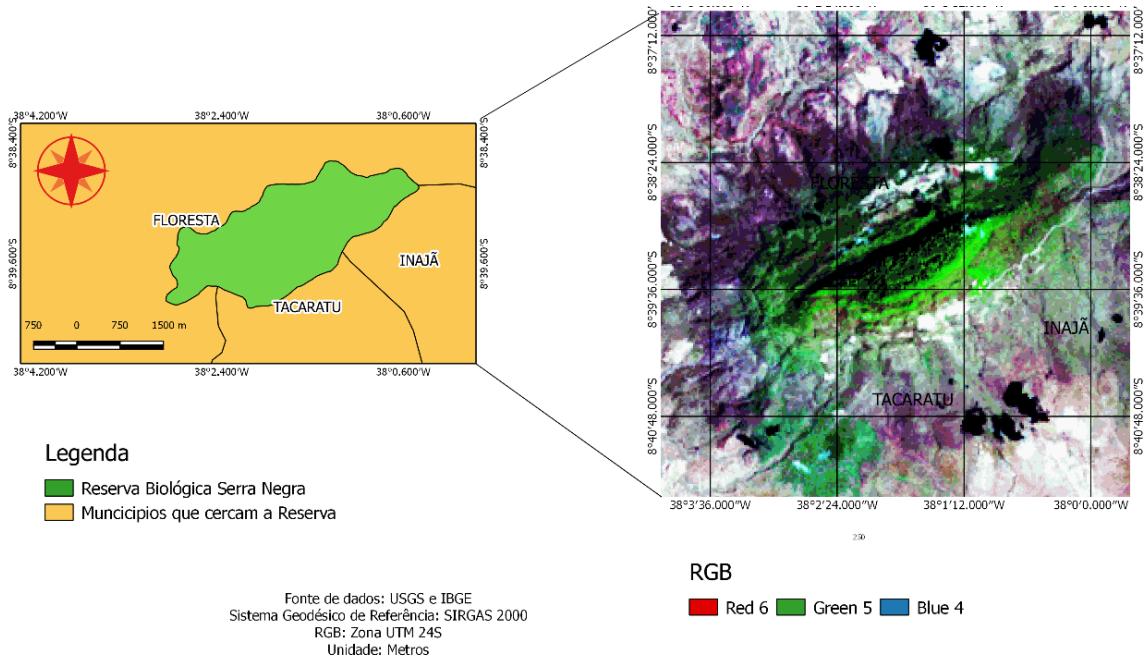
Figura 4 - Mapa de Localização

Localização da Reserva Biológica Serra Negra - PE



Fonte: A Autora, 2018.

Figura 5 - Imagem da área de estudo



Fonte: A Autora, 2018.

Segundo Freire et al. (2017), a área possui um valor singular para a conservação da biodiversidade ao estar localizada em um brejo de altitude com espécies vegetais de mata atlântica, sendo contornada pelo bioma Caatinga. A área é considerada especial quanto à sua formação geoambiental pelas características fisiográficas, mas também pelos aspectos antropológicos, históricos e culturais de ocupação humana nessa região.

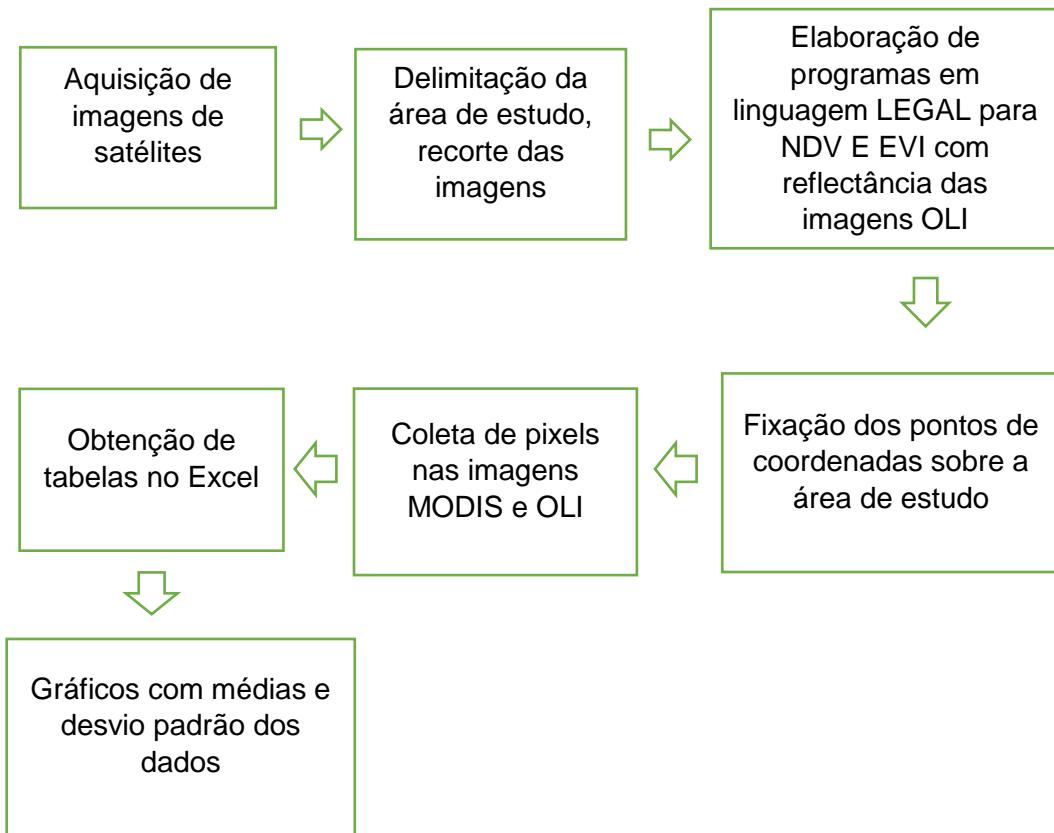
4.2 Material

- *Software Spring 5.2.7*;
- *Software QGIS 3.0*;
- *Software Excel 2010*;
- Imagens LANDSAT 8, sensor OLI, datadas 10 de janeiro de 2017;
- Imagens TERRA, sensor MODIS, datadas 23 de janeiro de 2017;
- Arquivo *shapefile* referentes aos municípios de Pernambuco.
- Arquivo *shapefile* referente aos limites das Unidades de Conservação Federais.

4.3 Métodos

A realização deste trabalho pode ser vista de maneira resumida através do diagrama de blocos abaixo (figura 5).

Figura 6 - Diagrama de Blocos da Metodologia



Fonte: A Autora, 2018.

4.3.1 Coleta de dados

As imagens adquiridas para elaboração deste trabalho são imagens do sensor OLI e MODIS, datadas de 10 de janeiro de 2017 e 17 de janeiro de 2017, respectivamente. Foram obtidas em épocas próximas, para uma melhor análise da vegetação no local.

4.3.2 Desenvolvimento

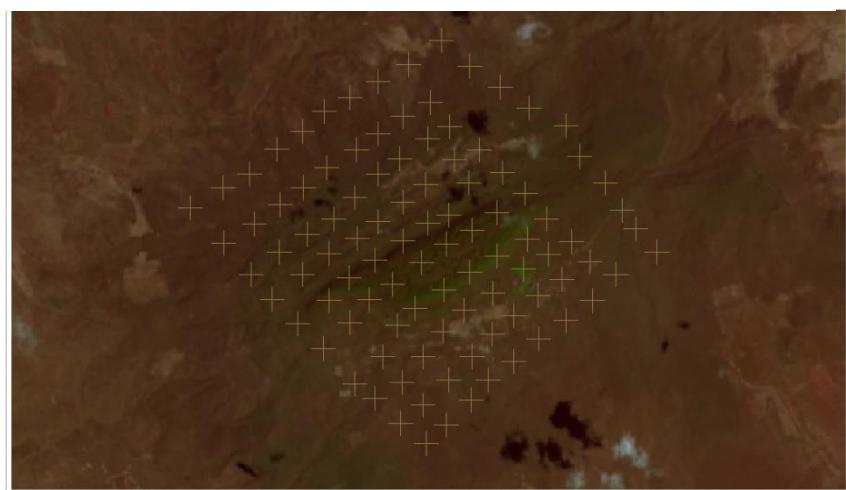
Utilizando o *software* Spring versão 5.2.7, as imagens obtidas foram importadas e recortadas em um retângulo envolvente contendo a área de estudo desejada.

A segunda etapa do desenvolvimento foi gerar novas imagens com reflectância para o sensor OLI, uma vez que as imagens MODIS já possuíam valores digitais convertidos. Para

isso usou-se a linguagem **LEGAL** para criar dois programas, um para o cálculo do NDVI e outro para o cálculo do EVI. Os mesmos programas podem ser encontrados em anexo no final deste trabalho.

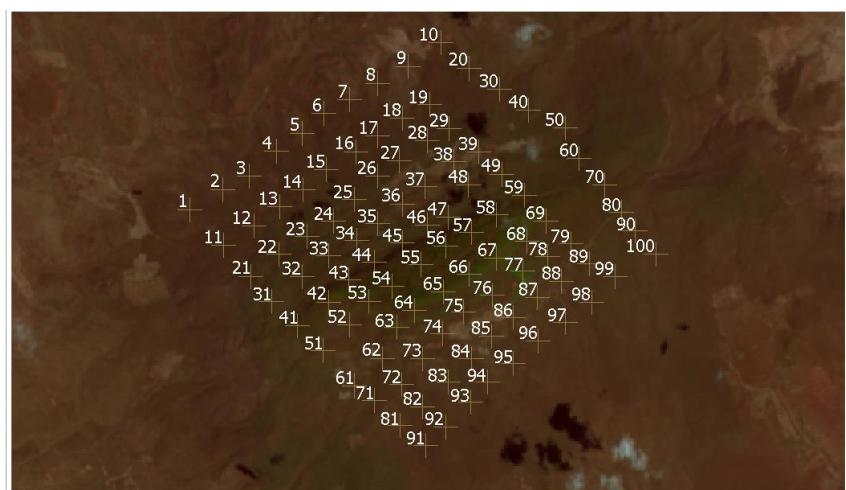
Posteriormente fixou-se uma grade de 100 pontos, em que pudessem ser coletadas as amostras para análise nas diferentes imagens com as mesmas coordenadas. O posicionamento da grade sobre as imagens foi estratégico, visando alocar os pontos tanto fora da Reserva Biológica, como dentro. Vale a ressalva, que algumas nuvens próximas da área foram contornadas para evitar interferência nos resultados. A grade de pontos estabelecida pode ser vista na figura 6 e 7, sem numeração e numerada com as ordens dos pontos sobre a imagem em composição RGB, utilizando as bandas 6,5 e 4.

Figura 7 - Grade de pontos fixada sobre a área.



Fonte: A Autora, 2018.

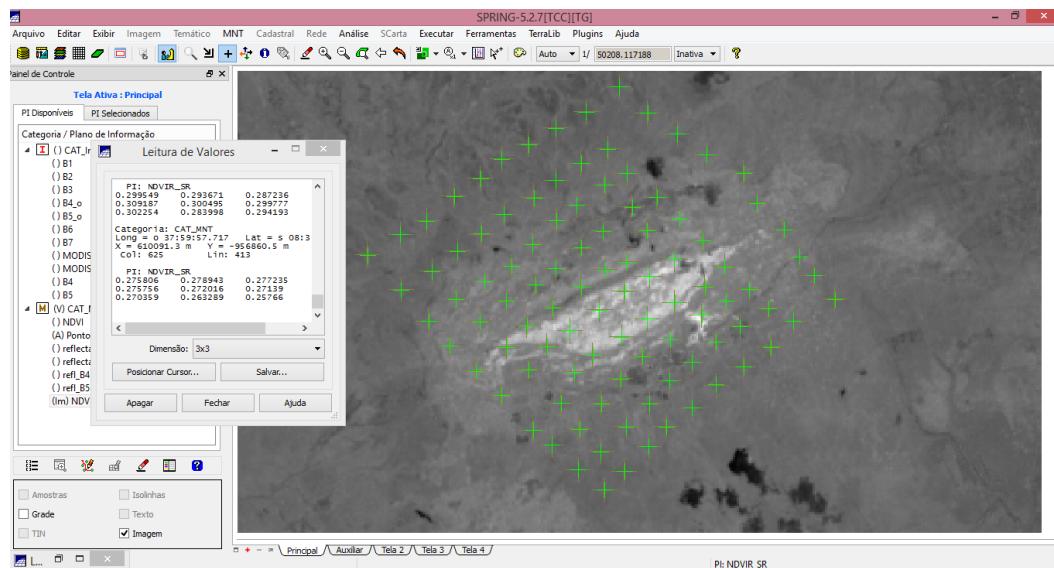
Figura 8 - Grade de pontos numerada fixada sobre a área.



Fonte: A Autora, 2018.

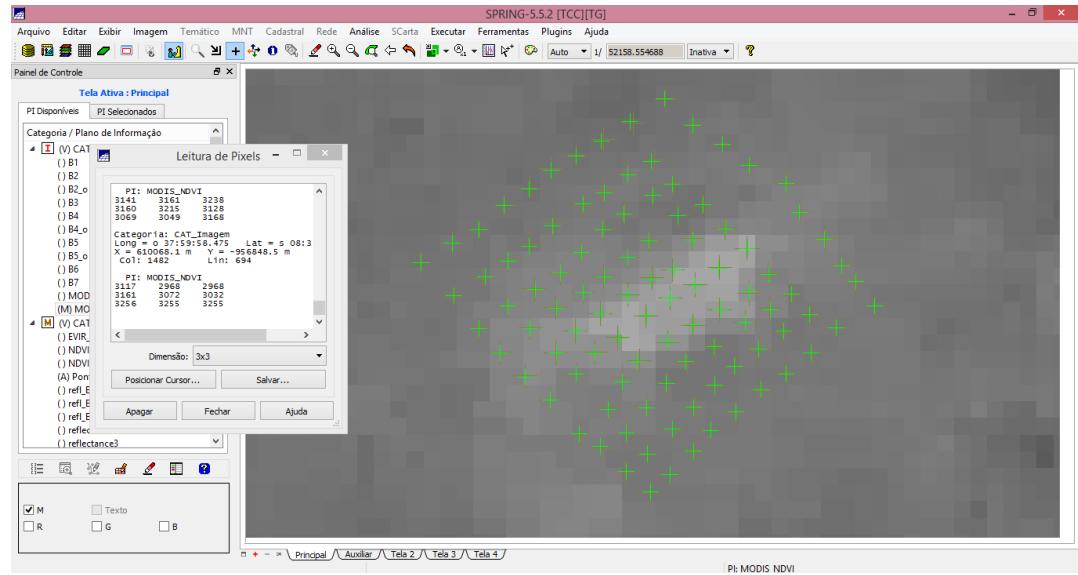
Com os pontos fixos sobre a área, pôde-se iniciar a coleta de dados. Para isso usou-se leitura de pixel (3x3), sobre cada imagem de interesse. Extraiu 100 amostras para o NDVI do sensor OLI (figura 9) e sensor MODIS (figura10), e 100 amostras para o EVI do sensor OLI (figura 11) e sensor MODIS (figura 12).

Figura 9 - Leitura de pixel na imagem NDVI – Sensor OLI



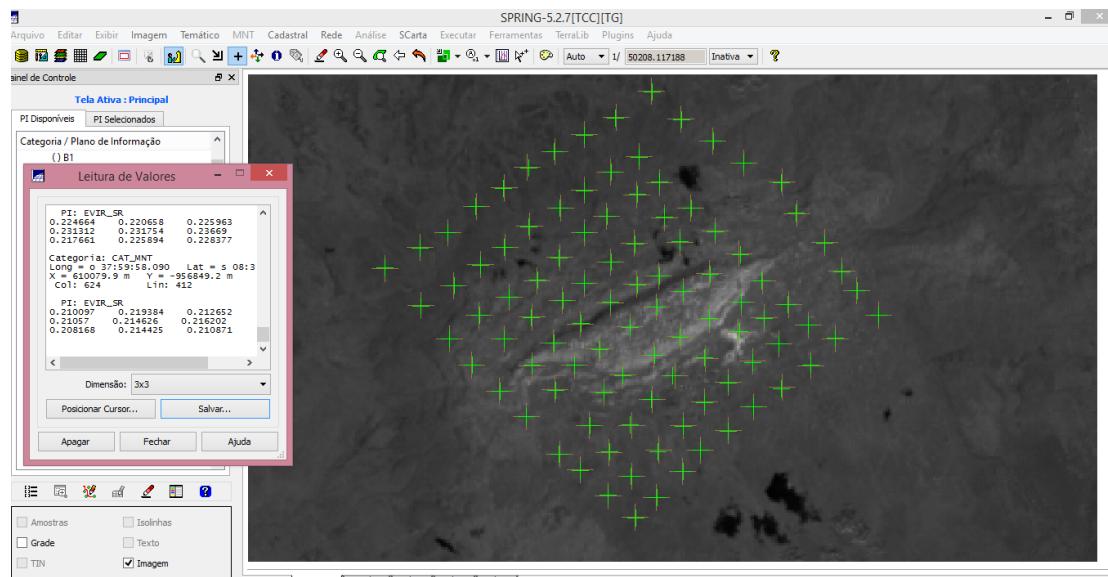
Fonte: A Autora, 2018.

Figura 10 - Leitura de pixel na imagem NDVI – Sensor MODIS



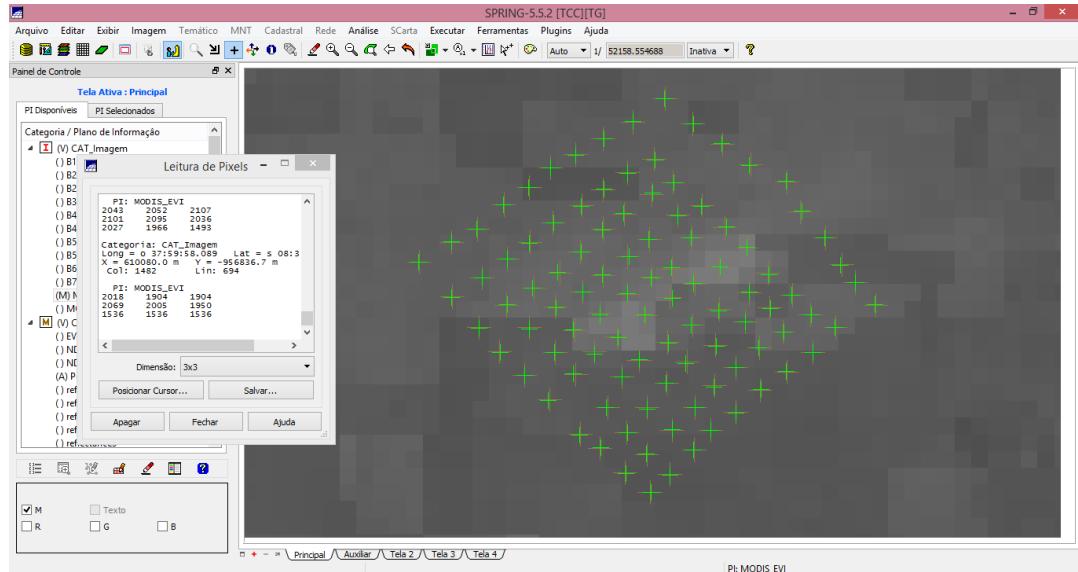
Fonte: A Autora, 2018.

Figura 11 - Leitura de pixel na imagem EVI – Sensor OLI



Fonte: A Autora, 2018.

Figura 12 - Leitura de pixel na imagem EVI – Sensor MODIS



Fonte: A Autora, 2018.

Com valores obtidos através das leituras de pixel realizadas sobre as imagens, permitiu-se construir tabelas no Excel, gerando gráficos para análises dos resultados.

5 RESULTADOS E ANÁLISES

Para os valores coletados a partir dos índices de vegetação, NDVI e EVI do sensor MODIS e OLI geraram-se gráficos com as médias de pontos oriundos das máscaras de pixel, como também gráficos do desvio padrão desses valores, sendo os gráficos vermelhos para valores médios e os gráficos azuis para o desvio padrão desses valores.

A partir dos valores médios procedentes das máscaras de pontos, pôde-se gerar uma análise estatística para cada índice e sensor com valores de média, desvio padrão, máximo, mínimo, variância, mediana e moda. (Tabela 3).

Tabela 3 - Análise Estatística dos Valores

Sensor-índice	Média	Mediana	Desv. Padrão	Mínimo	Máximo	Moda
MODIS-NDVI	0,35449	0,33132	0,0627	0,26112	0,5353	-
MODIS-EVI	0,18679	0,18065	0,0371	0,12820	0,28728	0,21946
OLI-NDVI	0,31279	0,29030	0,0716	0,2277	0,5521	-
OLI-EVI	0,2257	0,21620	0,0494	0,1587	0,3976	-

Fonte: A Autora, 2018.

Analizando metodicamente os valores em cada gráfico, observa-se que no gráfico gerado para valores médios do sensor OLI com índice de vegetação NDVI (figura 13), o valor culminante apontado é o ponto 55, em que possui valor 0,5521, valor máximo identificado na análise estatística (tabela 3). Paralelamente ao encontrar o ponto 55 na grade de pontos estabelecida (figura 8), nota-se que é um ponto alocado sobre a reserva, o que nos transmite ser um local em que a vegetação é mais alta, como indica o NDVI.

Sendo o desvio padrão a dispersão de um conjunto de dados com relação à média, analisando o gráfico do desvio para o sensor OLI com o índice NDVI (figura 14), percebe-se que o valor máximo do NDVI das amostras é o ponto 55, o mesmo onde o desvio padrão encontra-se mais alto. O que confirma que maior é o vigor da cobertura vegetal neste local, uma vez que a média de 0,31279 (tabela 3) tem seu valor influenciado pelas demais amostras, em que pode ser visto no gráfico dos valores médios que existem variações mais discretas até a primeira metade do gráfico e no final do mesmo, o que é compreensível ao notar-se a grade

de pontos, onde estes locais possuem valores baixos, o que nos repassa a informação que é um local de solo exposto que cerca Reserva de Serra Negra.

Seguindo a análise para o sensor OLI, a figura 15 mostra o gráfico para comportamento dos valores médios para o índice EVI. O valor máximo respondido por este gráfico difere do ponto de maior valor do NDVI, sendo para o EVI o ponto 66 de pico no gráfico, com valor de 0,3976 (tabela 3), juntamente com um desvio padrão alto. Conquanto, mesmo apresentado os maiores valores para a vegetação em pontos diferentes, ao observar a grade de pontos (figura 8), assim como o NDVI, o EVI possui seu valor máximo sobre a Reserva, como os demais pontos de valores altos, por conseguinte os valores mais baixos respondem às áreas de baixa cobertura vegetal. Vale a ressalva, que Serra Negra é um refúgio de Mata Atlântica dentro do semiárido pernambucano, ou seja, está rodeada de solo com vegetação escassa.

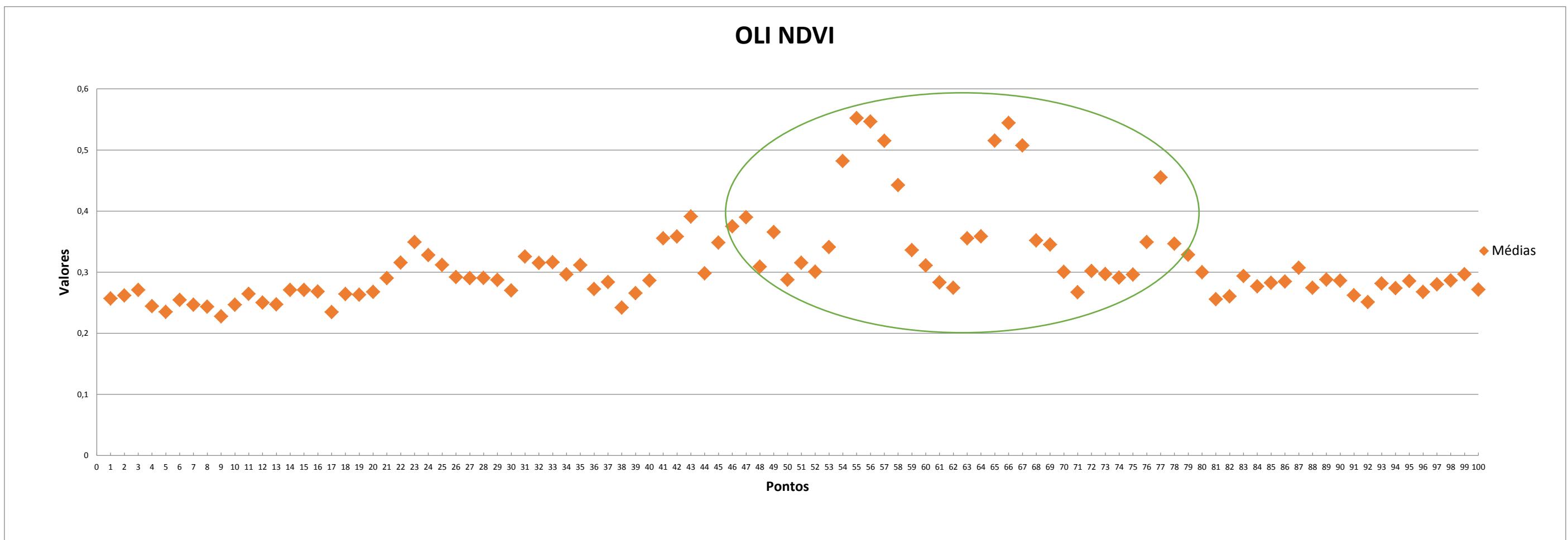
Com respeito ao sensor MODIS, ao estudar o gráfico de valores médios para este sensor com o índice NDVI (figura 17), o ponto de valor mais alto da vegetação encontrado no gráfico é o ponto 58, que é um ponto na grade sobre a reserva, que de acordo com a tabela de análise estatística (tabela 3) possui valor de 0,5353.

Prosseguindo o estudo no sensor MODIS, agora com o índice EVI, ao analisar o gráfico dos valores médios (figura 19) nota-se que o ponto 58 também é o ponto em o gráfico demonstra ser o local de valor mais alto de vegetação, porém como é um índice diferente, o mesmo tem valor distinto do índice NDVI, com número de 0,28728 e um desvio padrão alto.

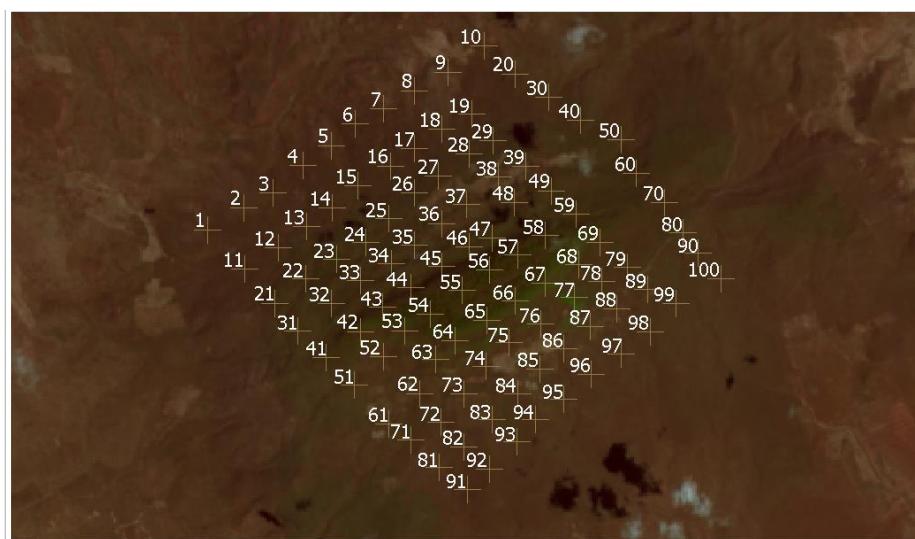
Verificando as escalas dos sensores, sabe-se que para calcular a escala de ambos, é preciso dividir a resolução espacial por 0,0002. Tratando-se do sensor MODIS, o mesmo possui escala máxima de 1:1250000, o que nos permite trabalhar com mapeamentos em escalas menores e ainda assim encontraremos cobertura vegetal numa área pequena como Serra Negra. Já o sensor OLI possui escala máxima de 1:150000, podendo assim utilizar escalas maiores para o mapeamento da vegetação.

De modo geral, ao observar todos os gráficos de ambos os sensores, os maiores valores estão sobre a Reserva Biológica de Serra Negra nas imagens, e os menores valores sobre solo exposto, com algumas variações. O que nos passa a informação de cobertura alta da vegetação, demonstrando através dos índices, uma compatibilidade em diferentes escalas para este estudo.

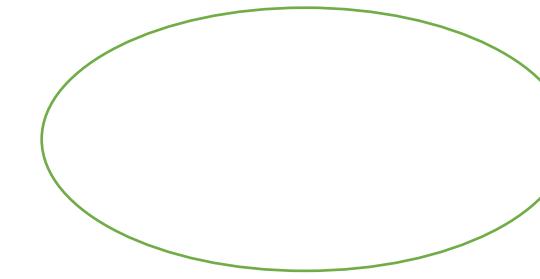
Figura 13 - Gráfico com os valores médios para o NDVI do sensor OLI



Fonte: A Autora, 2018.

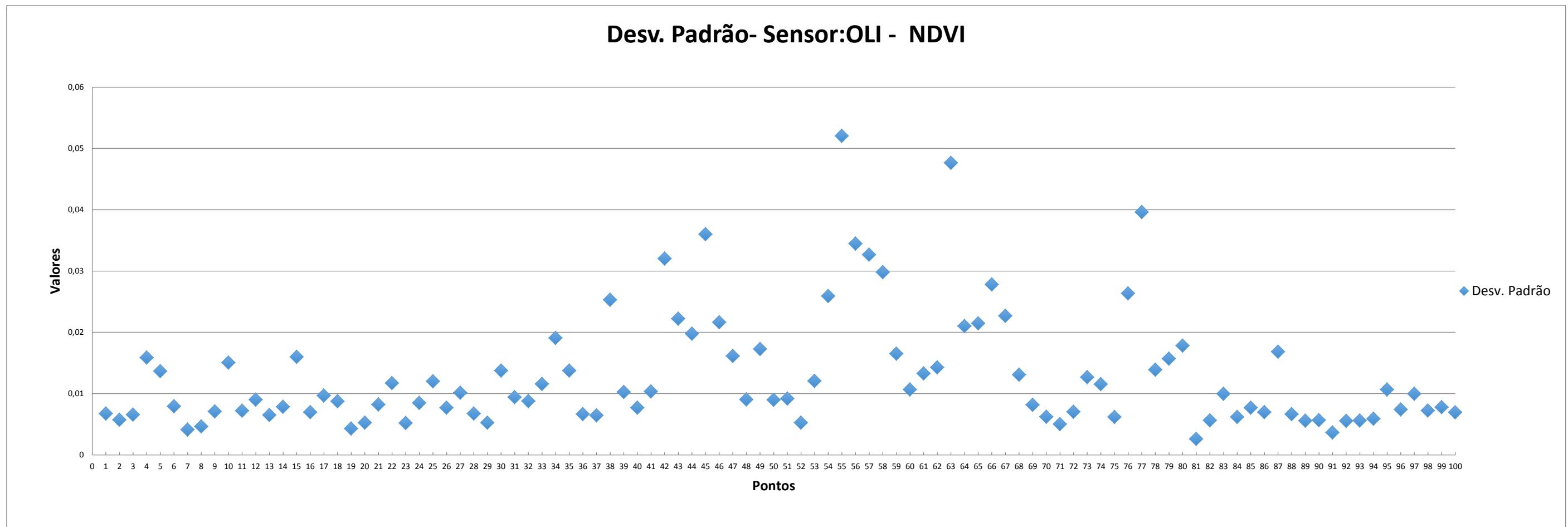


Grade de pontos sobre a área.

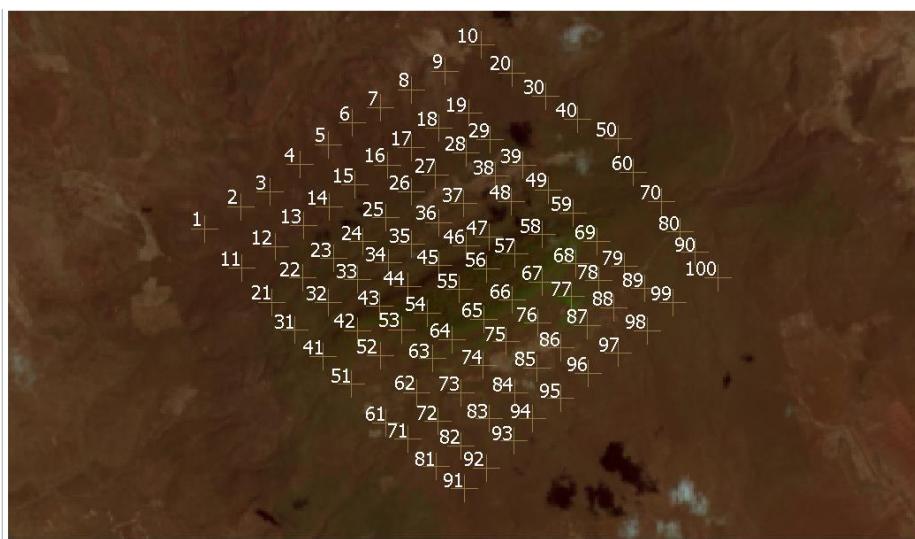


Área de maior vegetação.

Figura 14 - Gráfico com os valores de desvio padrão para o NDVI do sensor OLI

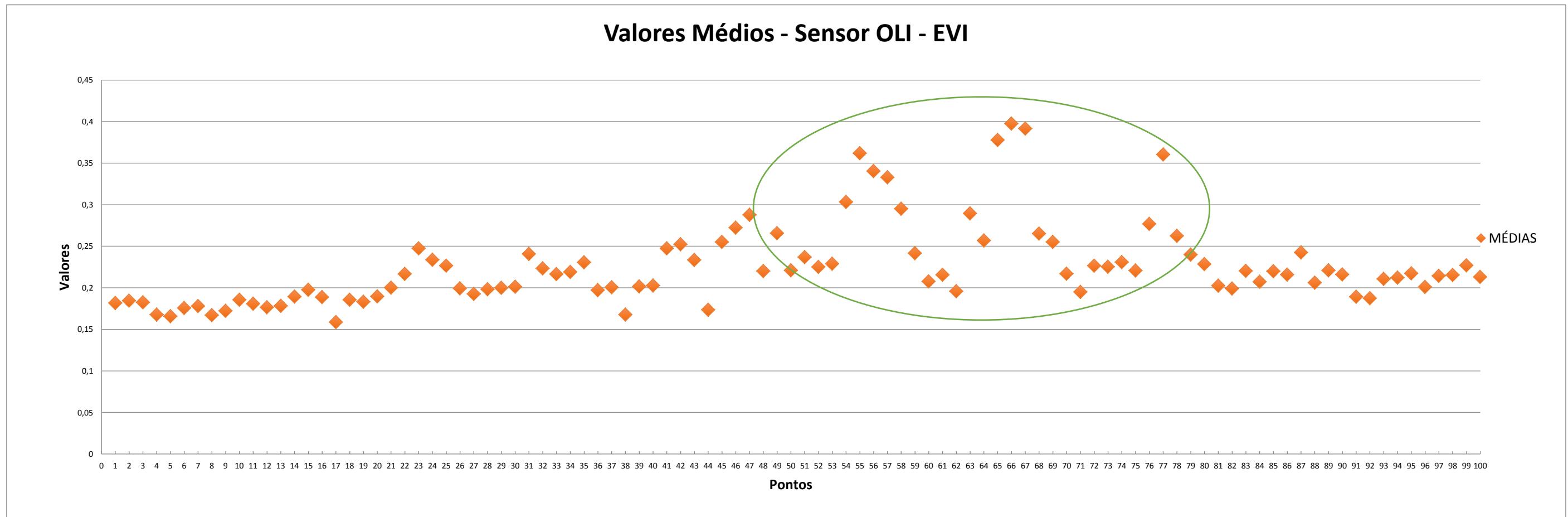


Fonte: A Autora, 2018.

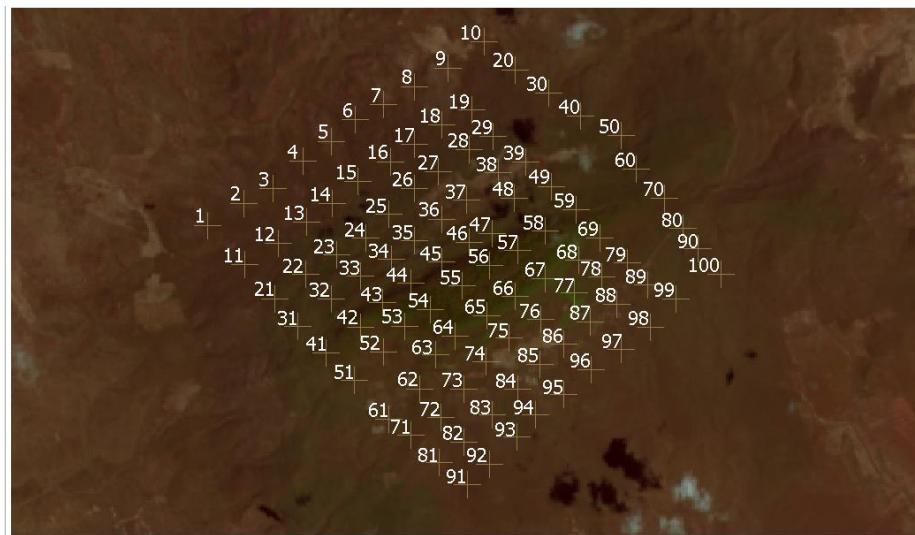


Grade de pontos sobre a área.

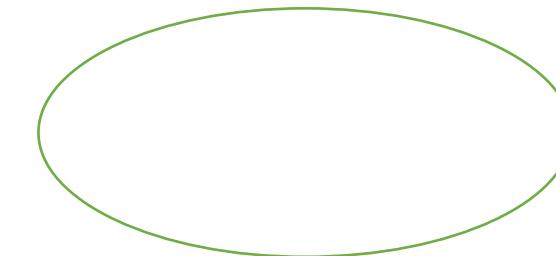
Figura 15 - Gráfico com os valores médios para o EVI do sensor OLI



Fonte: A Autora, 2018.

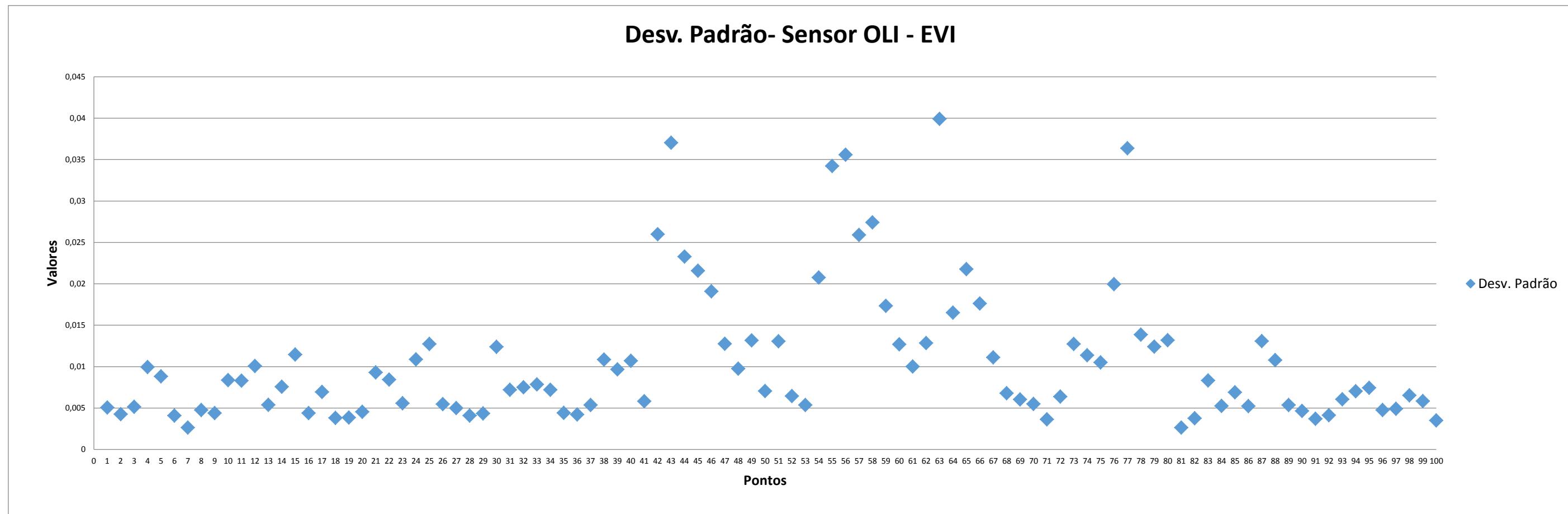


Grade de pontos sobre a área.

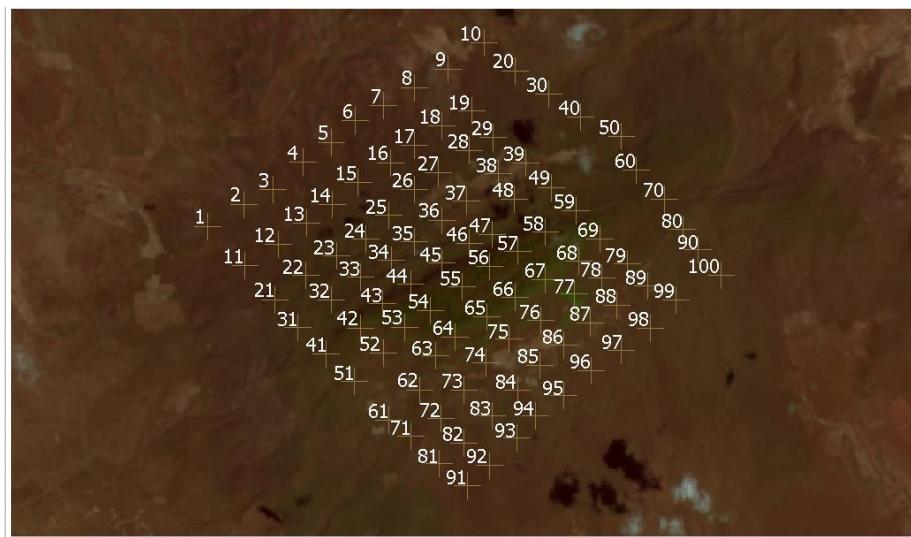


Área de maior vegetação.

Figura 16 - Gráfico com os valores de desvio padrão para o EVI do sensor OLI

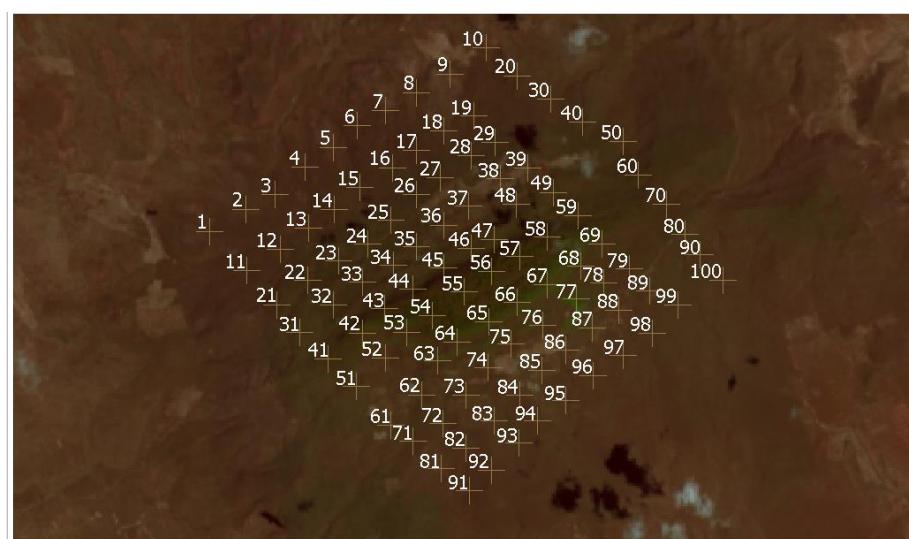
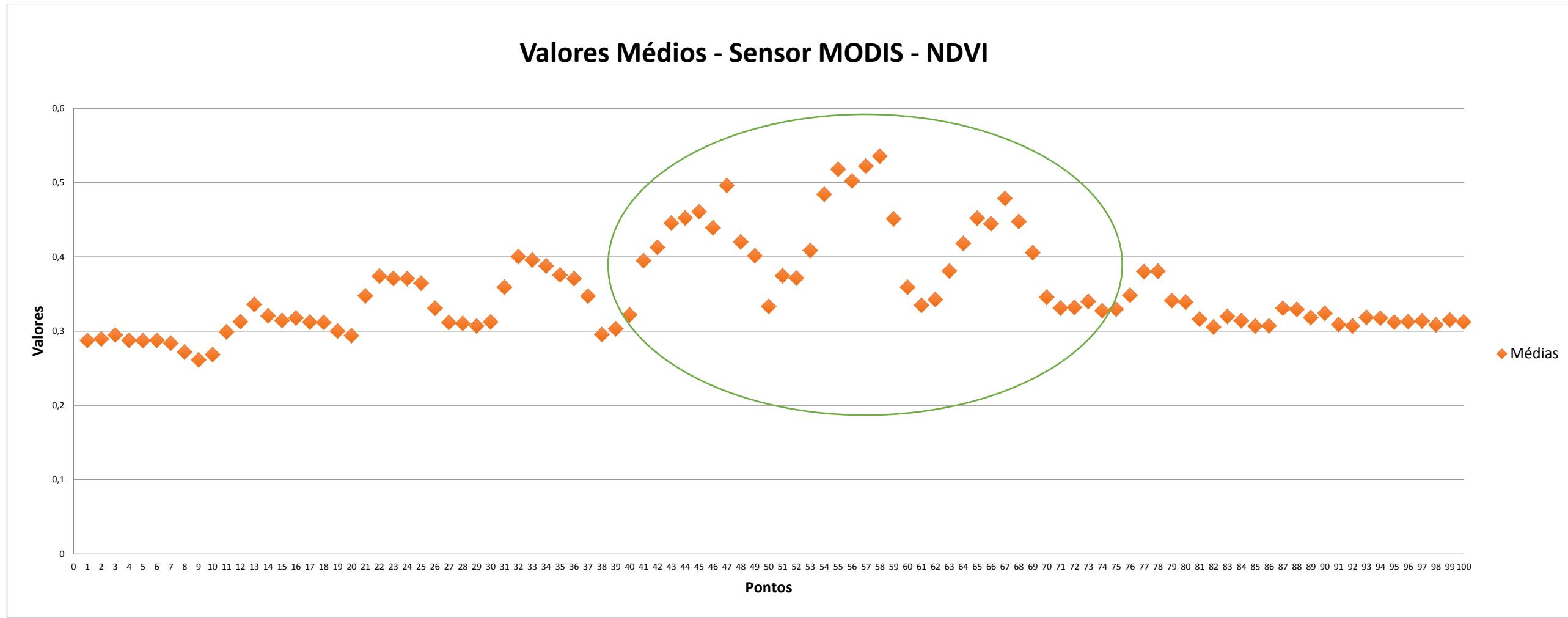


Fonte: A Autora, 2018.

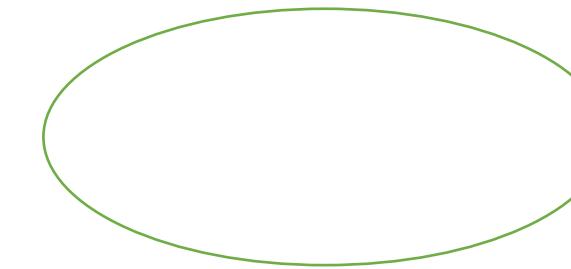


Grade de pontos sobre a área.

Figura 17 - Gráfico com os valores médios para o NDVI do sensor MODIS

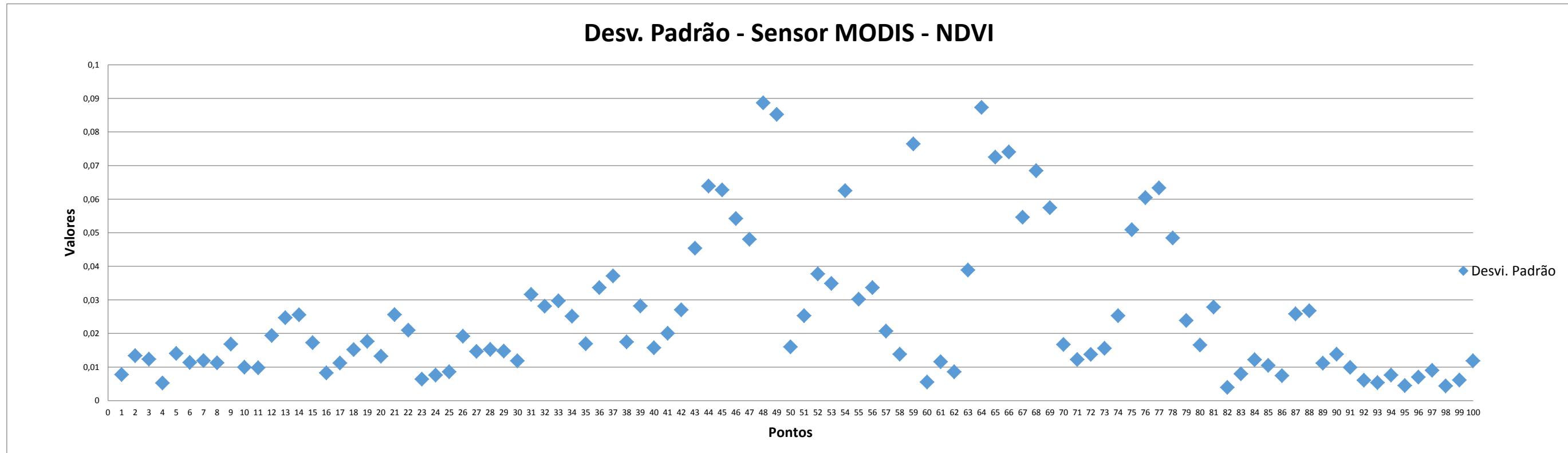


Grade de pontos sobre a área.

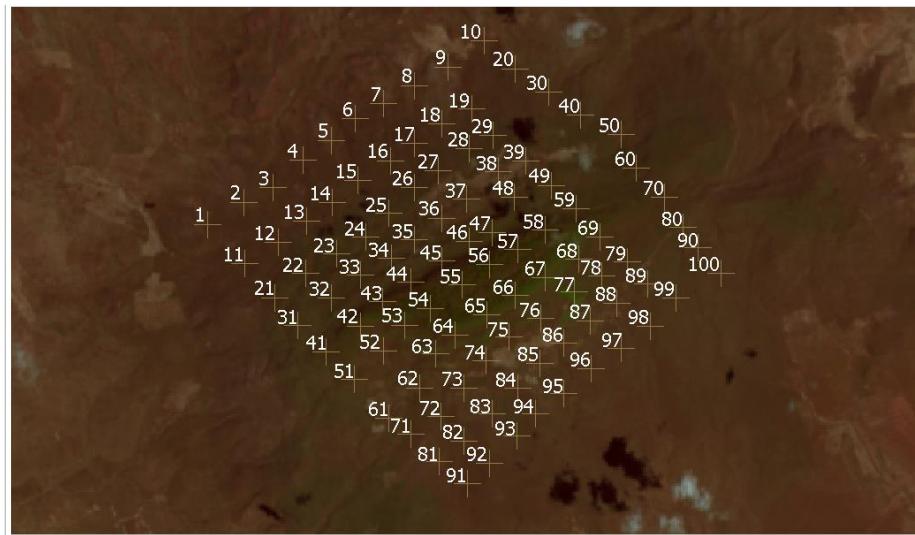


Área de maior vegetação.

Figura 18 - Gráfico com os valores de desvio padrão para o NDVI do sensor MODIS

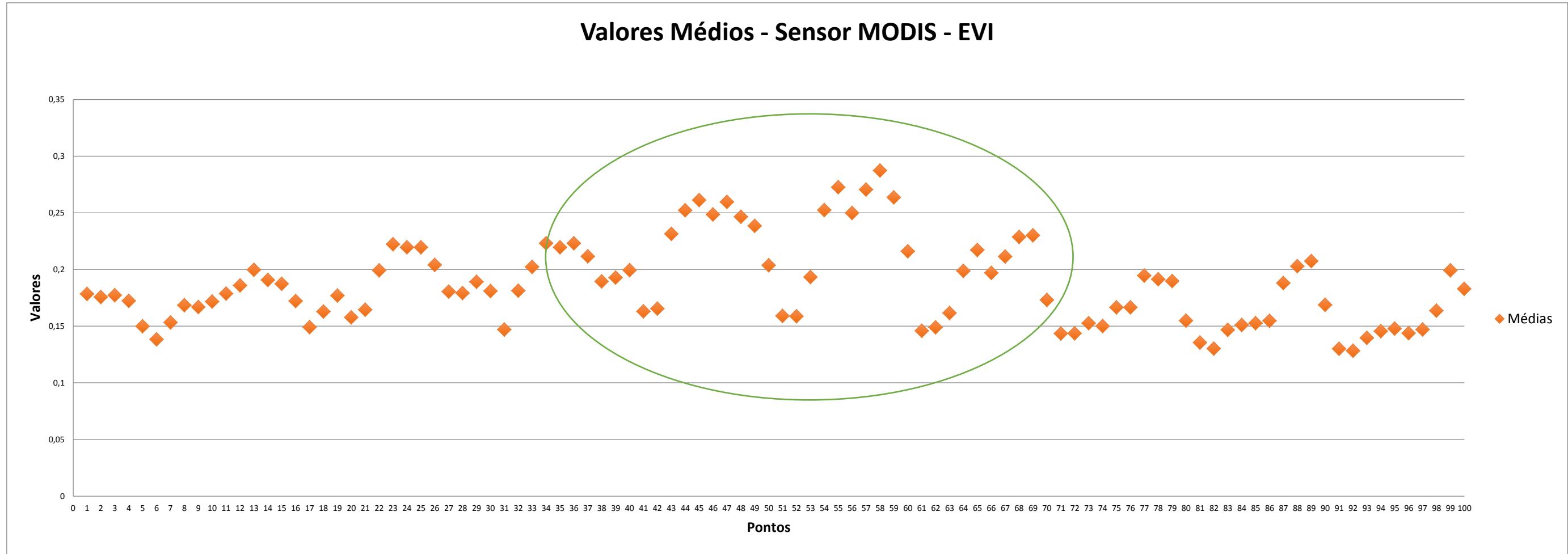


Fonte: A Autora, 2018.

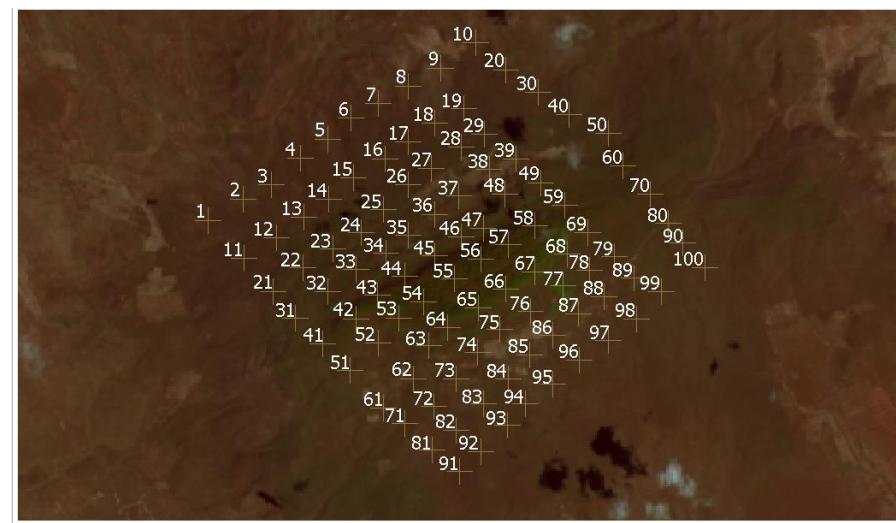


Grade de pontos sobre a área.

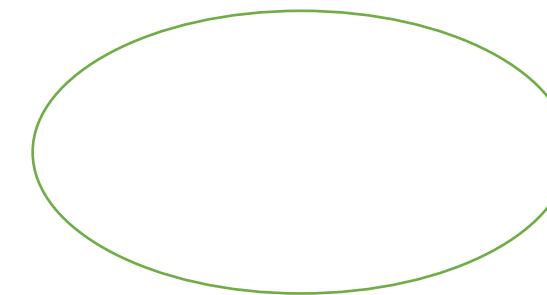
Figura 19 - Gráfico com os valores médios para o EVI do sensor MODIS



Fonte: A Autora, 2018.

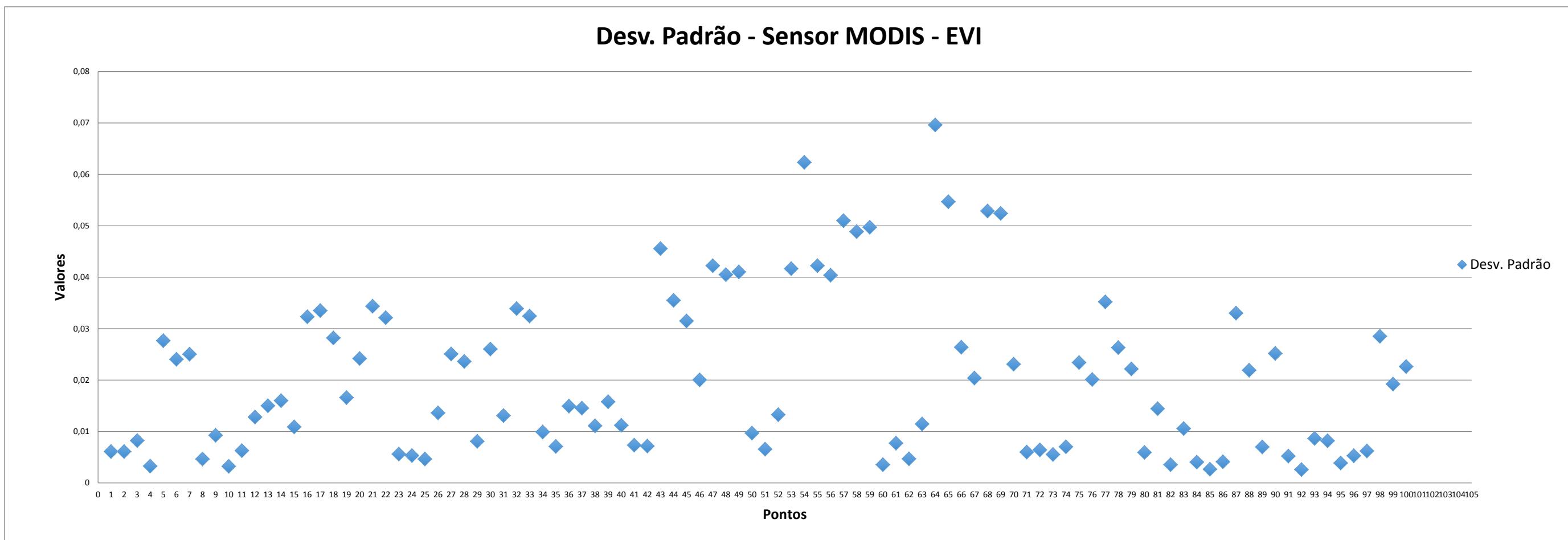


Grade de pontos sobre a área.

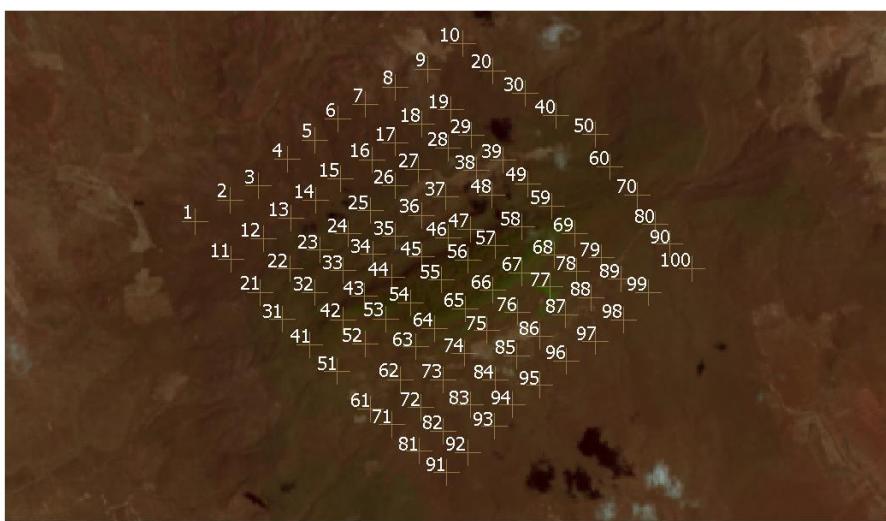


Área de maior vegetação.

Figura 20 - Gráfico com os valores de desvio padrão para o EVI do sensor MODIS



Fonte: A Autora, 2018.



Grade de pontos sobre a área.

6 CONCLUSÃO

Os gráficos produzidos por este trabalho trouxeram respostas com relação aos índices de vegetação NDVI e EVI e seus comportamentos nos diferentes sensores: OLI e MODIS. Com valores distintos de vegetação, todos os gráficos apresentaram números elevados sobre a Reserva Biológica Serra Negra, e valores mais baixos quando apontados para solo exposto na imagem.

É levado em consideração, que os sensores abordados possuem resoluções diferentes, ou seja, apresentam quantidades e tamanho de pixels distintos, o que consequentemente nos permite realizar, no âmbito da Engenharia Cartográfica, mapeamentos em escalas distintas.

Ainda com resoluções diferenciadas entre si, os sensores responderam bem aos índices de vegetação abordados, quando foi indicado em que local da imagem a cobertura vegetal se sobressaia. Porém, é preciso ser levado em consideração, que todos os gráficos obedeceram a um comportamento nos locais em comum da grade de pontos escolhida, quando valores altos sempre estavam sobre Serra Negra e valores baixos sobre solo exposto, mas os mesmos não entraram em comum acordo, com o ponto mais elevado apontado dentro da reserva, com exceção do sensor MODIS, que apresentou tal ponto em comum tanto no índice NDVI, quanto EVI.

Com o que diz respeito aos índices, houve um comportamento similar em todos os gráficos abordados nesta pesquisa. Em relação ao EVI, o mesmo teve valores menores de solo exposto, comparado ao NDVI, tanto no MODIS quanto no OLI, uma vez que ele reduz a influência do solo sobre a imagem.

É necessária a ressalva que o sensor MODIS possui pixel de 250 m, enquanto que o OLI de 30 m. Para um estudo como este, os sensores atendem bem a um monitoramento da Serra Negra e áreas ao seu redor. Todavia, se o estudo se delimitasse exclusivamente dentro do contorno da Unidade de Conservação da Reserva, o sensor MODIS, não apontaria lugares específicos com valores precisos de baixa e alta vegetação, por apresentar uma resolução espacial grande, em qualquer um dos índices trabalhados.

Para o uso na cartografia sistemática, a escala do Sensor MODIS nos permite mapear grandes áreas e ainda, assim, localizar cobertura vegetal, como no caso da Reserva Biológica de Serra Negra, que é a segunda menor reserva da Região Nordeste, o que nos permite utilizar facilmente a generalização cartográfica, quando não entramos em detalhes no estudo para valores de vegetação em áreas específicas dentro da Reserva. Já para trabalhos em uma escala maior, o Sensor OLI é capaz de realizar mapeamentos sobre a vegetação e solo exposto com mais detalhes, trazendo valores mais precisos a partir das imagens de reflectância, e mapeando com mais detalhamento a vegetação na imagem.

Por conseguinte, Serra Negra é um local de interesse ambiental e a utilização de técnicas de Sensoriamento Remoto, se permite monitorar a área realizando mapeamentos em diferentes escalas, através de diferentes sensores com variados índices de vegetação.

REFERÊNCIAS

EMBRAPA. LANDSAT - **Land Remote Sensing Satellite**, 2018. Disponível em: <https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao_landsat.html> Acesso em: 20 de setembro de 2018.

FONTANA, Denise Cybis. **Comportamento espectral da vegetação**. Rio Grande do Sul - UFRGS, 2011. 122 slides, color. Disponível em: www.ufrgs.br/leaa/arquivos/aulas/SERP06/cultivos.pdf. Acesso em: 05 de outubro de 2018.

FREIRE, Neison Cabral Ferreira (Coord.). FUNDAJ – Fundação Joaquim Nabuco. **Relatório Parcial de Pesquisa - Mapeamento e análise espectro-temporal das unidades de conservação de proteção integral da administração federal no bioma caatinga**. Agosto, 2017. Disponível em: <http://www.fundaj.gov.br/images/stories/cieg/CAPITULOS/cap17_rebioserranegra_caatinga_fundaj.compressed.pdf>. Acesso em: 20 de setembro de 2018.

HEUTE, A.; LIU, H.Q.; BATCHILY, K.; VAN LEEUWEN, W. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, 59:440-451, 1997.

JUSTICE, C.O.; VERMOTE, E.; TOWNSHEND, J.R.G.; DEFRIES, R.; ROY, D.P.; HALL, D.K.; SALOMONSON, V.V.; PRIVETTE, J.L.; RIGGS, G.; STRAHLER, A. The moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 36(4): 1228-1249, 1998.

MENEZES, P. R., ALMEIDA, T (Orgs.). **Introdução ao processamento de imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília: Editora Universidade de Brasília – UnB, 2012. 276p.

MOREIRA FILHO, Júlio César Cotrim; TAVARES JUNIOR, João Rodrigues; CANDEIAS, Ana Lúcia Bezerra.; AZEVEDO, J. R. G. de. **Análise espectro-temporal de índices físicos e classificadores de imagens de Sensoriamento Remoto**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação - CTG). Universidade Federal de Pernambuco UFPE.

NASA. National Aeronautics and Space Administration. **NASA-USGS Landsat 8 Satellite Pinpoints Coldest Spots on Earth**. Disponível em: <<http://www.nasa.gov/feature/nasa-usgs-landsat-8-satellite-pinpoints-coldest-spots-on-earth>>

<https://www.nasa.gov/press/2013/december/nasa-usgs-landsat-8-satellite-pins-points-coldest-spots-on-earth/#.W-zSBodKjIU> Acesso em: 1 de novembro de 2018.

PINTO, Cibele Teixeira; PONZONI, Flávio Jorge; CASTRO, Ruy Morgado de. **Calibração Cruzada de Sensores de Observação da Terra.** São José dos Campos , SP, 2013. 32 p. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3EL22DE>> Acesso em: 20 de Setembro de 2018.

PONZONI, Flavio Jorge; SHIMABUKURO, Yosio Edemir. **Sensoriamento remoto da vegetação.** São José dos Campos, SP Parentese, 2012. 127 p. ISBN 9788579750533 (broch.).

RAMOS, Mateus Ferreira. **Estudo da variação temporal do índice de vegetação por diferença normalizada em Juiz de Fora a partir de imagens de satélite.** Juiz de Fora: UFJF, 2016. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/TFC-2-Mateus-Ferreira-Ramos.pdf>>. Acesso em: 05 de setembro de 2018.

USGS. Sciense for changing world. **Fusing MODIS with Landsat 8 data to downscale weekly normalized difference vegetation index estimates for central Great Basin rangelands, USA.** Disponível em: <<https://pubs.er.usgs.gov/publication/70196898>> Acesso em: 20 de setembro de 2018.

ANEXO A - PROGRAMAÇÃO LEGAL PARA O ÍNDICE EVI

{

//Programa para gerar EVI

Imagen B5 ("CAT_Imagen");

Numerico r5 ("CAT_MNT");

Imagen B4 ("CAT_Imagen");

Numerico r4 ("CAT_MNT");

Imagen B2 ("CAT_Imagen");

Numerico r2 ("CAT_MNT");

Numerico EVIR ("CAT_MNT");

B4 = Recupere (Nome= "B4");

B5 = Recupere (Nome="B5");

B2 = Recupere (Nome="B2");

r4 = Novo (Nome = "refl_B4",ResX = 30,ResY = 30,Escala = 100000);

r5 = Novo (Nome = "refl_B5", ResX = 30,ResY = 30, Escala = 100000);

r2 = Novo (Nome = "refl_B2", ResX = 30,ResY = 30, Escala = 100000);

EVIR = Novo (Nome = "EVIR_SR",ResX = 30,ResY=30,Escala = 100000,Min = -1,Max = 1);

mp = 0.00002;

Ap = -0.1;

SunElev = 0.850506419;//Seno da elevação solar

l = 1.0;//evi

g = 2.5;//evi

c1 = 6.0;//evi

c2 = 7.5;//evi

//Operações

```
r2 = Numerico ((mp*B2+Ap)/SunElev);  
r4 = Numerico ((mp*B4+Ap)/SunElev);  
r5 = Numerico ((mp*B5+Ap)/SunElev);
```

```
EVIR= g * ((r5-r4)/(r5+c1*r4-c2*r2+l));
```

```
}
```

ANEXO B - PROGRAMAÇÃO LEGAL PARA O ÍNDICE NDVI

{

 Imagem B5 ("CAT_Imagen");

 Numerico r5("CAT_MNT");

 Imagem B4 ("CAT_Imagen");

 Numerico r4("CAT_MNT");

 Numerico NDVIR("CAT_MNT");

 B4 = Recupere (Nome= "B4");

 B5 = Recupere (Nome="B5");

 r4 = Novo (Nome = "refl_B4",ResX = 30,ResY = 30,Escala = 100000);

 r5 = Novo (Nome = "refl_B5", ResX = 30,ResY = 30, Escala = 100000);

 NDVIR = Novo (Nome = "NDVIR_SR",ResX = 30,ResY=30,Escala = 100000,Min = -1,Max = 1);

 mp = 0.00002;

 Ap = -0.1;

 SunElev = 0.850506419; //Seno da elevação solar

//Operações

 r4 = Numerico ((mp*B4+Ap)/SunElev);

 r5 = Numerico ((mp*B5+Ap)/SunElev);

 NDVIR = ((r5 - r4)/(r5 + r4));

}