

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

**ESTUDO DA VARIAÇÃO TEMPORAL DO  
ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA  
NORMALIZADA EM JUIZ DE FORA A  
PARTIR DE IMAGENS DE SATÉLITE**

**Mateus Ferreira Ramos**

Juiz de Fora

2016

**ESTUDO DA VARIAÇÃO TEMPORAL DO  
ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA  
NORMALIZADA EM JUIZ DE FORA A  
PARTIR DE IMAGENS DE SATÉLITE**

**Mateus Ferreira Ramos**

**Mateus Ferreira Ramos**

**ESTUDO DA VARIAÇÃO TEMPORAL DO  
ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA  
NORMALIZADA EM JUIZ DE FORA A  
PARTIR DE IMAGENS DE SATÉLITE**

Trabalho Final do Curso apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito Parcial á obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Orientador: Celso Bandeira de Melo Ribeiro

Juiz de Fora  
Faculdade de Engenharia da UFJF  
2016

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela vida, pela família, pelos pais, pela esposa, pela oportunidade de cursar um curso superior e por tudo que ele tem feito na minha vida. Aos pais agradeço à criação, o cuidado, a educação, a motivação e as orações a meu favor. Da esposa agradeço o companheirismo, a ajuda, por me fazer bem, por me motivar e cuidar de mim. Aos amigos do curso agradeço os momentos juntos que ficarão para sempre em minha lembrança, as horas de estudo juntos, as dificuldades que passamos e superamos reunindo nossos esforços buscando o conhecimento. Aos professores agradeço o conhecimento adquirido com as disciplinas e a preparação para a vida, mais que ensinar é preparar o aluno para as dificuldades e para assumir responsabilidades, vejo isso em meu curso. Agradeço ao coordenador do curso professor Otávio, pelos esforços em ajudar os alunos do nosso curso, pela dedicação e ser a pessoa que ele é. Ao meu orientador neste trabalho professor Celso, pelo conhecimento adquirido com as matérias que fizemos e por este trabalho que sem dúvida foi de grande valia sua ajuda para o desenvolvimento do mesmo.

## RESUMO

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI) é uma ferramenta muito conhecida e utilizada em estudos sobre a vegetação. Neste estudo, buscou-se aplicar esse índice de vegetação para o município de Juiz de Fora no período entre os anos de 2000 e 2015 com frequência mensal e analisar através de gráfico o que representam os valores encontrados. Devido ao aumento populacional e os empreendimentos como condomínios e novas construções observados recentemente, entende-se que o valor do NDVI do município será reduzido. Foi utilizado como fonte de coleta das imagens o site americano do *glovis*, inserindo como critério de busca as coordenadas geográficas do município (Latitude: -21.7642 e Longitude: -43.3496), selecionando o tipo de imagem desejado (no caso Landsat 5 e 8) e o mês e o ano desejado. Não foi possível a coleta de todas as 192 imagens disponíveis devido às limitações referentes ao procedimento de *download* e pela presença de nuvens (total ou parcial) causando uma “perda de informação” tornando a imagem não representativa com a realidade para o cálculo do NDVI. O NDVI de cada imagem foi calculado com auxílio do programa Envi 4.7, após as imagens terem sido cortadas no limite do município de Juiz de Fora, com o auxílio do *shape* do município e analisada a interferência pelas nuvens. Das 192 imagens disponíveis, foram obtidas apenas 41. Foi construído um gráfico para representação dos valores médios mensais de NDVI no período do estudo. Os resultados evidenciam maiores valores de NDVI nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março, visto que, nesses meses há melhores condições para o desenvolvimento da vegetação. O maior valor de NDVI encontrado em todo o período de estudo foi no mês de Janeiro do ano de 2002 com valor de 0.54 e o menor valor de NDVI encontrado em todo o período de estudo foi no mês de Setembro do ano de 2006 com valor de 0.26. Como o NDVI varia de zero a um para vegetação, sendo zero uma área sem vegetação e um representando uma área totalmente coberta com vegetação densa, entende-se através do NDVI que o município está com boa parte vegetada. Porém, é percebida uma tendência de diminuição dos valores médios NDVI ao longo do período analisado.

## ABSTRACT

The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) is known as one of the most commonly used vegetation indices. In the present study, we applied the NDVI for the municipality of Juiz de Fora -- MG - Brazil on a monthly basis from 2000 - 2015 using the values found to generate graphics and analyzing them. Due to population growth and new projects as buildings and housing development recently occurred, it is understood that the NDVI in the municipality will be reduced. In this study was used images collected from the American website Glovis with search's criteria the town's geographic coordinates (Latitude: -21.7642 and Longitude: -43.3496) selecting the desired image type (Landsat 5 and 8) and the month and year studied. It was not possible to collect all 192 images available due to limitations of download procedure and the cloudiness on satellite images making unrepresentative image with the reality to calculate the NDVI. The NDVI of each image was calculated using the software Envi 4.7 after the images were cut in the limit of the town using the municipality's shape then analyzed the cloudiness interference. From 192 available images, only 41 could be used then built a graph representing the monthly average NDVI values for the studied period. For the months of December, January, February and March the results show higher NDVI values since in these months we have better conditions for vegetation development. The highest NDVI value found throughout the study was in January 2002 with 0.536414 and the lowest was in September 2006 0.257569. As the NDVI ranges from zero to one for vegetation, with zero an area without vegetation and one with dense, it is understood through the NDVI that the municipality is highly vegetated. But over the analyzed period there is a tendency to decrease of the average NDVI values.

## SUMÁRIO

1 Introdução.....	8
2 Objetivo.....	9
3 Revisão de Literatura.....	9
3.1. Sensoriamento Remoto no Brasil.....	10
3.2. Índices de Vegetação.....	11
3.2.1 Índice de Vegetação da Razão Simples – SR.....	12
3.2.2 Índice de Vegetação Perpendicular – PVI.....	12
3.2.3 Índice de Vegetação Ajustado para o Solo – SAVI.....	13
3.2.4 Índice de Vegetação Resistente a Atmosfera – ARVI.....	14
3.2.5 Índice Global de Monitoramento Ambiental – GEMI.....	15
3.2.6 Índice de Vegetação Melhorado – EVI.....	15
3.3. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NVDI).....	16
4 Materiais e Métodos.....	19
4.1. Localização da Área do Estudo.....	23
5 Resultados e Discussões.....	24
6 Conclusão.....	28
Referências Bibliográficas.....	29
Apêndice A.....	33
Apêndice B.....	35

# 1 INTRODUÇÃO

As áreas verdes são fundamentais para o equilíbrio do ambiente urbano atuando na manutenção de um clima ameno e na melhoria da qualidade do ar através do consumo de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) e produção de Oxigênio (O<sub>2</sub>), além de propiciarem o equilíbrio da biodiversidade entre espécies.

Porém, com a crescente urbanização e o aumento populacional, as cidades tendem a se expandir cada vez mais, levando ao desmatamento e a ocupação de áreas verdes. Neste processo, a substituição da vegetação pela área urbanizada (impermeável) causa mudanças irreversíveis no ambiente, como: alterações no micro clima (podendo gerar ilhas de calor), diminuição da biodiversidade, além da diminuição da infiltração e o respectivo aumento do escoamento superficial de água.

No ano de 2000 a população de Juiz de Fora era de 456.796 habitantes (IBGE, 2010), e atualmente (2015) é estimada uma população de 555.284 habitantes (IBGE, 2014), evidenciando um aumento de 98.488 habitantes. Esse crescimento populacional foi acompanhado de uma necessidade de expansão da malha urbana e, conseqüentemente, de uma interferência nas áreas verdes do município.

Atualmente, com o desenvolvimento da informática e dos algoritmos de processamento de imagens, em conjunto com as técnicas de sensoriamento remoto, torna-se viável analisar temporalmente as alterações ocorridas na superfície do solo.

Uma técnica bastante empregada para analisar a vegetação é a análise de índices de vegetação. Neste sentido, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NVDI) tem sido bastante empregado em estudos de sensoriamento remoto.

Diante deste cenário, este estudo analisa as alterações ocorridas na vegetação do município no decorrer do período de 2000 a 2015 através de técnicas de sensoriamento remoto. É esperado obter uma curva representativa do NDVI do município afim de melhor compreender como esse índice varia com o passar do tempo.



## **2 OBJETIVO**

O objetivo desse estudo é avaliar a variação temporal das áreas verdes no município de Juiz de Fora, utilizando o Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), no período anual de 2000 a 2015 com frequência mensal. Posteriormente apresentar uma curva, para representar o NDVI médio mensal, de todo o município.

## **3 REVISÃO DE LITERATURA**

Segundo Branquinho e Felzenzwalb (2007) o NDVI apresenta de forma simples e rápida a identificação de áreas vegetadas, e é o mais utilizado índice de vegetação. Um dos primeiros estudos realizados utilizando este índice de vegetação foi feito pelo Dr. John Rouse (ROUSE, 1973) que foi diretor do Centro de Sensoriamento Remoto do Texas A & M University, no estudo conhecido como *Great Plains*.

Este índice de vegetação é utilizado em diversos estudos e pode ser utilizado na construção de perfis sazonal e temporal das atividades relacionadas à vegetação, permitindo comparações periódicas desses perfis. O perfil temporal do NDVI pode ser utilizado na detecção de atividades como na duração do período de crescimento de determinada cultura, identificação do pico de verde, observações de mudanças fisiológicas das folhas e períodos de sanescência, sendo muito utilizado em estudos agrícolas auxiliando alguns empreendedores deste setor (PONZONI, SHIMABUKURO, 2010).

Há estudos como o de Santos (2015), que buscou avaliar os valores de NDVI médios de áreas cafeeiras relacionando com a pluviosidade no ano de 2008 na região de Três Pontas, MG e obteve como resultado que é possível relacionar índices de vegetação com a quantidade pluviométrica, monitorando tanto o vigor vegetativo quanto o déficit hídrico de cafeeiros.

Outro estudo em que se observa o uso do NDVI é o de Ramos *et al.* (2010), que visa a avaliação de áreas degradadas e potenciais para unidades de conservação através da avaliação do uso e ocupação do solo e condições biológicas a partir de imagens

LANDSAT 5 TM, medições de campo e modelos digitais, realizados na área proposta do Parque Nacional Boqueirão da Onça, localizado no sub-médio da bacia hidrográfica do Rio São Francisco, na Bahia. Foi observada uma crescente prática de agropecuária no interior do parque, fato que altera significativamente a cobertura vegetal do local, refletindo na crescente degradação e escassez de recursos naturais na Caatinga. O NDVI foi empregado com o intuito de se analisar o grau de degradação sofrido no parque entre 2000 e 2010.

Brandão, Bezerra e Silva (2007), utilizaram o NDVI para estimar o acúmulo da biomassa na Região de Barbalha, CE. A partir do NDVI, foram utilizados alguns modelos que juntamente com dados de superfície tornam possível a estimativa da biomassa acumulada.

Lima *et al.* (2015), buscou monitorar as alterações da cobertura vegetal no município de Garanhuns, PB, através de imagem de satélite LANDSAT 5 TM, utilizando o NDVI, nos anos de 2000 e 2010. O autor buscou classificar, através de porcentagem, a vegetação rasteira, vegetação espaça, vegetação densa e ausência de vegetação. Dentre outras informações, o autor concluiu que a vegetação densa que em 2000 era de 5%, em 2010 ficou em 0%, evidenciando um decréscimo que em área representa aproximadamente 22 Km<sup>2</sup>.

### **3.1. Sensoriamento Remoto no Brasil**

O sensoriamento remoto está relacionado com a busca pela informação e entendimento de parâmetros físicos através de suas técnicas de extração de informações da superfície terrestre sem contato direto. Para a superfície terrestre, o sensoriamento remoto tem por objetivo o monitoramento e a busca pelo conhecimento de questões relacionadas aos recursos naturais como a água, o solo e rochas e a vegetação. Os primeiros registros da aplicação das técnicas de sensoriamento remoto no Brasil ocorreram na década de 40 a partir de imagens fotográficas aéreas, em que se destaca o projeto RADAMBRASIL que buscou a representação espacial das classes fisionômicas da cobertura vegetal de todo o território nacional, inclusive gerando conhecimento para estudos sobre o meio ambiente e recursos naturais como geologia, geomorfologia e solos. As imagens nesse projeto foram obtidas através de um radar aerotransportado e serve como referência para

iniciativas de mapeamento no país atualmente. Na década de 80, buscou-se o mapeamento específico de determinadas classes da cobertura vegetal brasileira, como culturas agrícolas de grande importância econômica como a cana-de-açúcar e o feijão e estudos nos quais se buscava a quantificação das superfícies vegetadas e das remanescentes florestais da Mata Atlântica. Essas técnicas de sensoriamento remoto foram aprimoradas e suas aplicações se tornaram diversificadas permitindo sua utilização na previsão de safras e em políticas nacionais de preservação do meio ambiente. A partir da década de 90 os estudos de sensoriamento remoto ganharam uma ênfase mais quantitativa analisando não somente a identificação e realizando o mapeamento das classes vegetais, mais também buscando relações entre parâmetros biofísicos e geofísicos como o Índice de Área Foliar (IAF) e a biomassa através de dados radiométricos de imagens orbitais. As técnicas de monitoramento atualmente exploram maior diversidade conceitual, surgiram modelos e os estudos de sensoriamento remoto vêm se desenvolvendo até então (PONZONI, SHIMABUKURO, 2010).

O Instituto nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), sendo um órgão do Ministério da Ciência e Tecnologia do Brasil, vem desenvolvendo atividades de sensoriamento remoto no país há mais de 40 anos. Entre as principais atribuições destaca-se a transferência de tecnologia nas áreas de sua competência, para usuários brasileiros e do exterior e a organização de treinamentos e programas nos níveis de mestrado e doutorado (INPE, 2008).

### **3.2. Índices de Vegetação**

Os Índices de Vegetação foram desenvolvidos com o objetivo de melhor explicar as propriedades espectrais da vegetação, utilizando principalmente as regiões do visível e do infravermelho próximo. Esses índices estão relacionados a parâmetros biofísicos da cobertura vegetal e podem caracterizar parâmetros como o índice de área foliar e a biomassa, radiação fotossinteticamente ativa absorvida, produtividade de determinada cultura, além de minimizarem efeitos da iluminação da cena e declividade da superfície que influenciam na reflectância da vegetação. Os índices têm por objetivo realçar o contraste espectral entre a vegetação e o solo e os dados podem ser obtidos através de

imagens de satélite e por equipamentos próximos ao alvo de interesse, como o espectrorradiômetro (SANTOS, 2015; PONZONI, SHIMABUKURO, 2010).

### 3.2.1 Índice de Vegetação da Razão Simples – SR

Este índice de vegetação foi o primeiro índice a ser usado (JORDAN, 1969), e é obtido pela razão entre a reflectância no infravermelho próximo e a reflectância na região do vermelho, calculado como:

$$SR = \frac{IVP}{V} \quad (3.1)$$

Onde: IVP = Valor da reflectância no infravermelho próximo;

V = Valor da reflectância no vermelho.

Segundo Fontana (2011), os valores de SR estão associados da seguinte forma:

- a) SR próximos a zero: Refletância maior no vermelho (visível) do que no infravermelho, está associado a nuvens, água e neve;
- b) SR próximos a unidade: Refletância similar nos comprimento de onda no vermelho e no infravermelho, associando-se a rochas e solo descoberto;
- c) SR entre 3 e 15: Refletância maior no infravermelho que no vermelho está associado a vegetação, sendo que, valores altos (mais próximos a 15) representam altas densidades de vegetação saudável.

### 3.2.2 Índice de Vegetação Perpendicular – PVI

Este índice foi proposto por Richardson e Wiegand (1977), tomando por base a refletância nas bandas do vermelho e do infravermelho próximo do sensor MSS (antigo Landsat). Este índice pode ser calculado como:

$$PVI = \alpha IVP - \beta V \quad (3.2)$$

Onde: IVP = Valor da reflectância no infravermelho próximo;

V = Valor da reflectância no vermelho;

$\alpha$  e  $\beta$  = Parâmetros da linha do solo.

A linha do solo (linha originada através dos pontos onde o solo está totalmente exposto, IAF = zero) é obtida plotando-se os valores de reflectância de superfície originados das imagens nas bandas do vermelho e do infravermelho próximo, para cada pixel da imagem de satélite.

### 3.2.3 Índice de Vegetação Ajustado para o Solo – SAVI

Este índice de vegetação foi proposto por Heute *et al.* (1988), o qual constatou que o brilho do solo (principalmente em tons escuros) aumenta o valor dos índices de vegetação, principalmente para dosséis com nível de cobertura vegetal com aproximadamente 50% de cobertura verde. No cálculo do SAVI, é inserida uma constante “L”, cujo objetivo é minimizar o efeito do solo no resultado final do índice e produzir isolinhas de vegetação mais independentes do solo, que foi estimado a partir de considerações feitas pelo propositore, calculado para as bandas do infravermelho próximo e do vermelho, para as culturas agrícolas de algodão e pastagem (FONTANA, 2011; PONZONI, SHIMABUKURO, 2010).

$$SAVI = \left[ \left( \frac{IVP - V}{IVP + V + L} \right) \right] (1 + L) \quad (3.3)$$

Onde: L = Constante que minimiza o efeito do solo e pode variar entre 0 e 1.

Segundo o Propositor do método, os valores ótimos para L são:

L = 1 (baixas densidades de vegetação)

L = 0,5 (densidades médias de vegetação)

L = 0,25 (densidades altas de vegetação)

Geralmente, para o fator L = 0,5, é obtido um índice espectral superior ao NDVI e PVI para uma variabilidade de condições de vegetação, porém tem como limitação a

necessidade de ser analisado para diferentes biomas e situações agrícolas (PONZONI, SHIMABUKURO, 2010).

Segundo Fontana (2011), L varia de zero a infinito como função da densidade do dossel, sendo que para  $L = 0$ , o SAVI se torna equivalente ao NDVI e para L tendendo ao infinito, o SAVI se torna equivalente ao PVI.

### 3.2.4 Índice de Vegetação Resistente a Atmosfera – ARVI

Desenvolvido por Kaufman e Tanré (1992), este índice de vegetação é aplicado para o sensor “*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*”, com o intuito de reduzir a dependência do NDVI das condições atmosféricas. Na utilização deste índice são utilizadas as bandas do azul ( $A^*$ ), vermelho ( $V^*$ ) e do infravermelho próximo (IVP\*) e segundo os desenvolvedores, a reflectância na região do vermelho é menor que na faixa do infravermelho, sendo mais sensível aos efeitos atmosféricos. Como isso, busca-se reduzir o efeito da atmosfera na região do vermelho. Neste índice, ao invés do uso da radiância na região do vermelho (como utilizado no NDVI), utiliza-se a radiância na região do vermelho-azul ( $VA^*$ ), que é mais resistente aos efeitos atmosféricos. (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010).

$$ARVI = \frac{(IVP^* - VA^*)}{(IVP^* + VA^*)} \quad (3.4)$$

$$\text{Onde: } VA^* = V^* - \gamma(A^* - V^*) \quad (3.5)$$

$\gamma$  = Depende do tipo de aerossol e tem como objetivo reduzir o efeito atmosférico.

Este índice de vegetação é em média quatro vezes menos sensível aos fatores atmosféricos que o NDVI, sendo ideal para casos em que os efeitos atmosféricos são mais influentes que os fatores do solo, como é o caso de uma superfície totalmente coberta por vegetação. Este índice é mais contundente para partículas de tamanho pequeno ou médio (“*smoke*” urbano, continental), do que para partículas maiores (aerossol marítimo, poeira) (PONZONI, SHIMABUKURO, 2010).

### 3.2.5 Índice Global de Monitoramento Ambiental – GEMI

Este índice de vegetação foi criado a partir de estudos sobre a influência da atmosfera em índices de vegetação como SR e o NDVI realizado por Pinty e Verstraete (1992). Este índice busca minimizar a influência dos efeitos atmosféricos no valor final do índice e para isso o autor conceitua transmissão como sendo a razão do índice de vegetação no topo da atmosfera e o seu valor máximo na superfície terrestre (perto de 1), devendo seguir os requisitos:

- 1) A “transmissão” deve ter a menor sensibilidade possível em relação aos diferentes valores do índice;
- 2) A “transmissão” deve ter a menor sensibilidade possível em relação às variações da espessura óptica da atmosfera;
- 3) Deve-se ter uma ampla faixa de variação;
- 4) Deve ser comparável ao SR e ao NDVI, sendo empiricamente representativo da cobertura vegetal.

Assim:

$$GEMI = \eta (1 - 0,25\eta) \frac{V - 0,125}{1 - V} \quad (3.6)$$

$$\text{Onde } \eta = \frac{2 (IVP^2 - V^2) + 1,5IVP + 0,5V}{IVP + V + 0,5} \quad (3.7)$$

Este índice varia entre 0 e +1 para áreas continentais. (PINTY, VERSTRAETE, 1992; PONZONI, SHIMABUKURO, 2010).

### 3.2.6 Índice de Vegetação Melhorado – EVI

Com este índice buscou-se aperfeiçoar o sinal da vegetação, reduzindo a influência do sinal do solo e da atmosfera sobre a resposta do dossel através da detecção em regiões com maiores densidades de biomassa (PONZONI, SHIMABUKURO, 2010).

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

$$EVI = \frac{G (IVP - V)}{(L + IVP + C1 \text{ vermelho} - C2 \text{ azul})} \quad (3.8)$$

Onde: L = Fator de correção para o solo

G = Fator de ganho

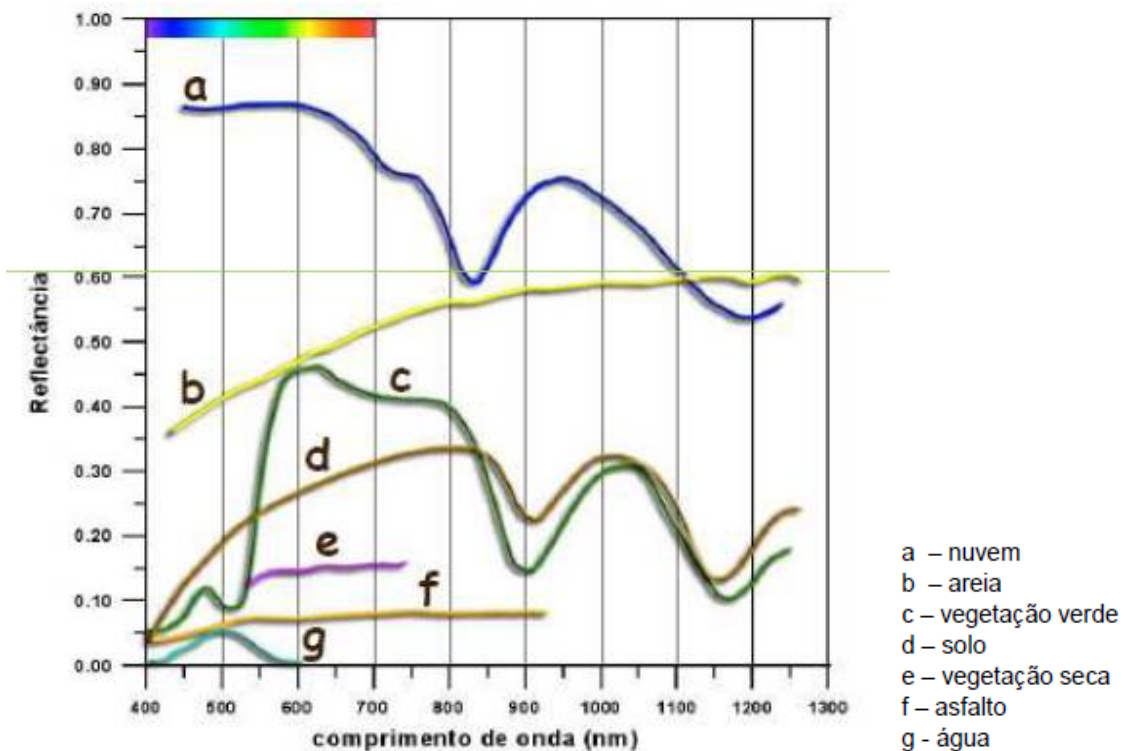
C1 e C2 = Coeficientes de ajuste para o efeito de aerossóis da atmosfera.

Segundo 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. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NVDI)

Para melhor compreensão deste índice de vegetação, será exposta uma curva espectral (Figura: 3.1) para alguns materiais, trazendo o comprimento de onda em função do reflectância do material (FONTANA, 2011).

Figura 3.1: Curva espectral típica da reflectância em função do comprimento de onda.



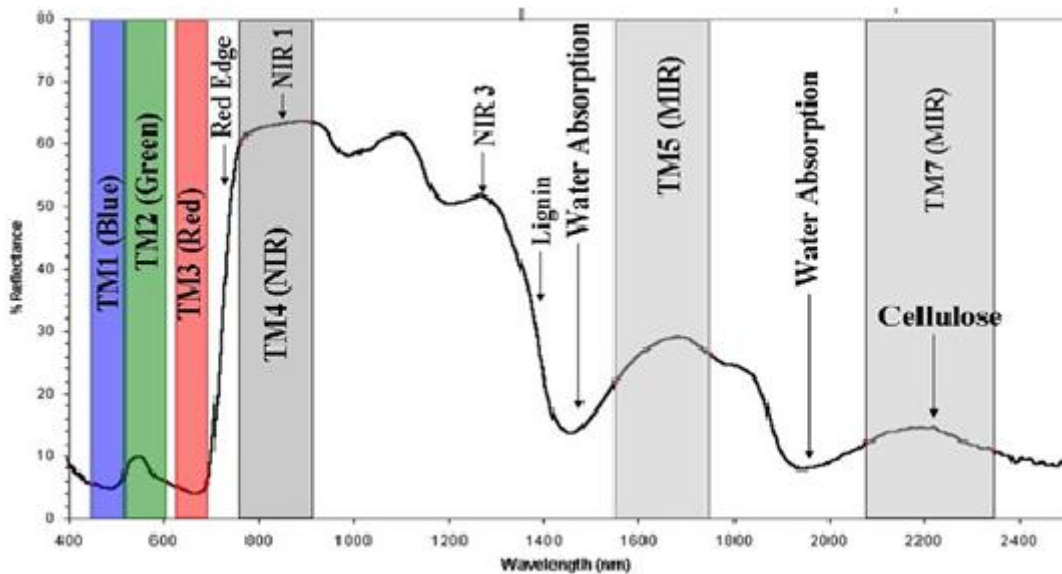
Fonte: (FONTANA, 2011).



Através da figura 3.1 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 (IVP – 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 (IVP – 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 (IVP – V) é positiva, gerando NDVI positivo.

A figura 3.2 apresenta a curva espectral da vegetação e as bandas do sensor landsat com suas faixas de leitura.

Figura 3.3.2: Curva espectral da vegetação com as bandas de leitura do comprimento de onda.



Fonte: (INGEMMET, 2015)

Como o NDVI é calculado utilizando as bandas TM3 (vermelho) com intervalo de comprimento de onda entre 0,63 e 0,69  $\mu\text{m}$  e TM4 (infra-vermelho) com intervalo de comprimento de onda entre 0,76 e 0,90  $\mu\text{m}$  (Landsat 5 e 7), e em virtude de sua formulação de cálculo, é observado que para a vegetação este índice está associado a valores positivos, pois a reflectância no comprimento de onda referente a banda TM4 é maior que a reflectância na banda TM3 (FONTANA, 2011).

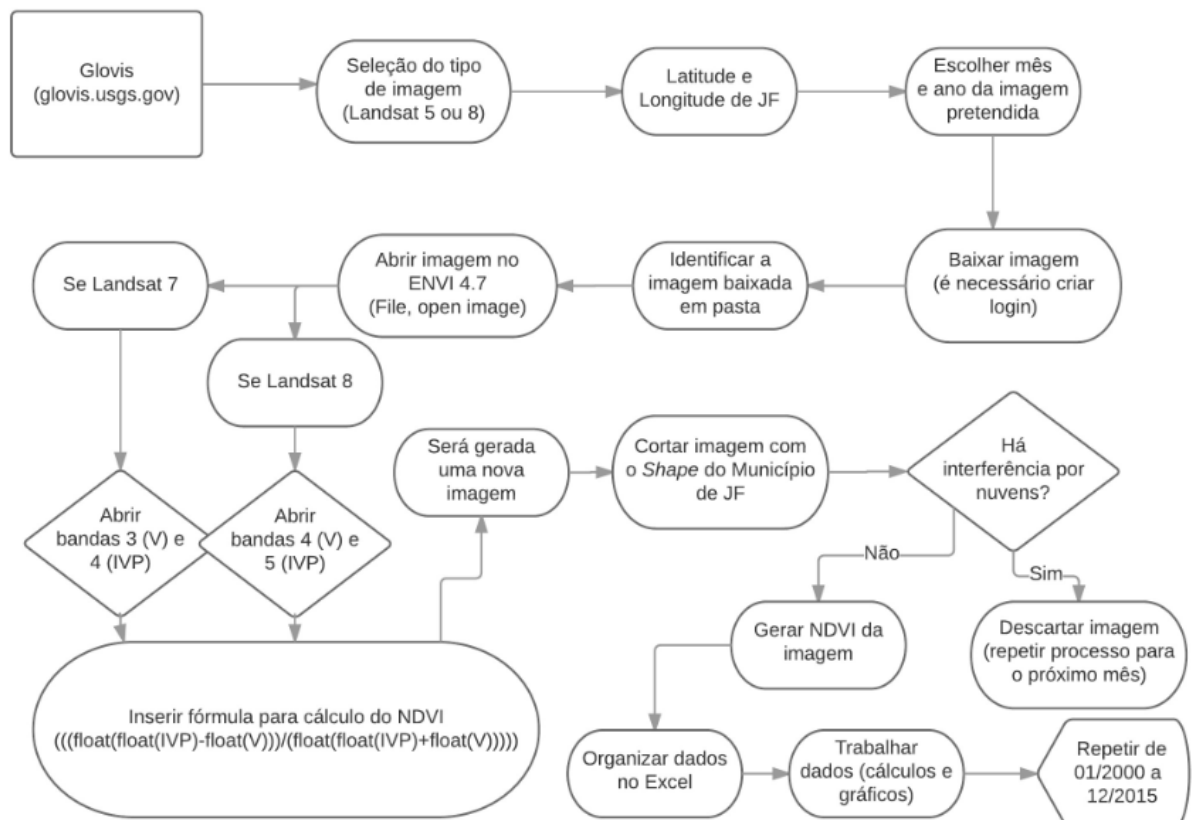
Este índice apresenta limitações devido a fatores perturbadores (FONTANA, 2011), tais como:

- 1) Efeitos Atmosféricos: Devido aos aerossóis e ao vapor de água as medições de reflectância podem ser afetadas, comprometendo o NDVI.
- 2) Nuvens: Comprometem a imagem de forma parcial ou total, causando “perda de informação” na imagem ou fazendo sombra no solo, interferindo na obtenção do índice de vegetação por diferença normalizada. Quando a nuvem é nítida, há facilidade na percepção da interferência causada, porém quando se trata de nuvens como Cirrus e outras de pequenas dimensões menores que o diâmetro efetivamente amostrado pelos sensores do satélite, se torna mais difícil a visualização desses interferentes, podendo comprometer significativamente o NDVI.
- 3) Efeitos do Solo: A reflectância do solo é influenciada pelo teor de água, que tende a ser mais escuro quando molhado e também por superfícies que refletem a luz em diferentes direções.

Em geral, para todos os materiais observados, o NDVI varia entre -1,0 e +1,0. Mais especificamente para a vegetação, este índice varia entre aproximadamente zero e +1,0. Há na literatura autores que citam o NDVI para a vegetação variando entre intervalos mais restritos como (FONTANA, 2011), que cita o intervalo entre 0,3 e +1,0 e Ponzoni e Shimabukuro (2010), que cita intervalo entre aproximadamente 0,00 e 0,80.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

O procedimento utilizado nesse estudo está descrito no fluxograma 4.1 e mostra os passos seguidos na realização deste estudo.



Fluxograma 4.1: Passo a passo no desenvolvimento do trabalho.

A idéia inicial era de trabalhar com imagens Landsat 7, porém, foi visto que essas imagens apresentam falhas devido a problemas no sensor do satélite, devido a isso utilizou-se imagens de satélite Landsat 5 (01/2000 a 09/2011) e Landsat 8 (04/2013 e 12/2015). Foi escolhido este período de estudo porque houve um aumento populacional significativo no município, visando então relacionar esse aumento populacional com o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI).

Assim, os dados foram obtidos a partir de imagens de satélite, LANDSAT 5 e 8, no período de 2000 a 2015. Foram escolhidas imagens de satélite com pouca cobertura de nuvens, de modo a possibilitar a aplicação do NDVI.

A figura 4.1 mostra a análise prévia feita antes de baixar as imagens, de modo a eliminar imagens onde não é possível a análise da vegetação devido à grande presença de nuvens. No caso dessa imagem, esse mês não pode ser utilizado no estudo em consequência dos interferentes.

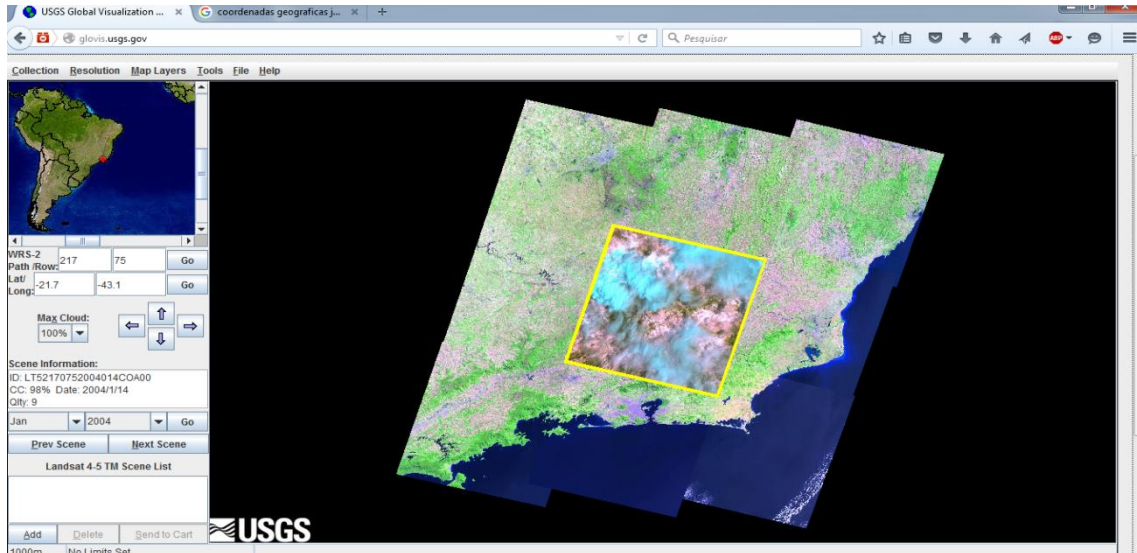


Figura 4.1: Ilustração da análise prévia da interferência causada por nuvens.

A figura 4.2 apesar de apresentar nuvens não está totalmente coberta, porém no site ao passar o cursor (*mouse*) na imagem, essa mostra as coordenadas do ponto em que o mouse está sendo possível, analisar se nas coordenadas do município está coberto ou não por nuvens.

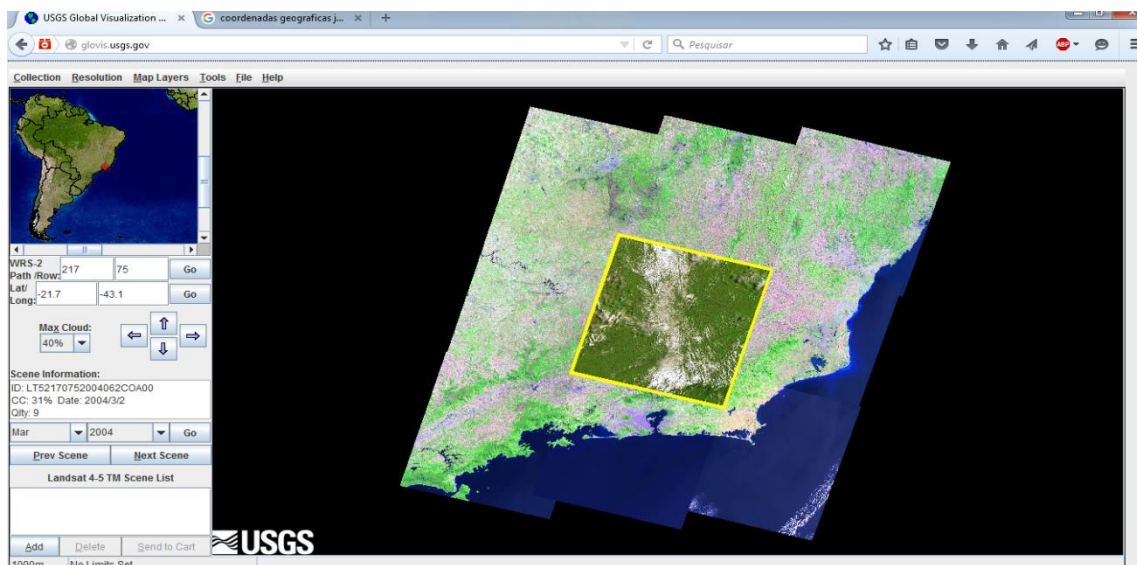


Figura 4.2: Ilustração da análise prévia da interferência causada por nuvens.

Após o pré-tratamento das imagens e o recorte das mesmas no limite do município de Juiz de Fora foi aplicado o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), que permite fazer análises sobre a cobertura vegetal da região.

Após a coleta, pré-tratamento, e recorte das imagens, estas foram estudadas e comparadas criticamente, observando-se o NDVI que varia de aproximadamente zero a um para vegetação. As imagens de satélite foram coletadas do site americano *glovis* (USGS, 2015), inserindo como critério de busca as coordenadas geográficas de Juiz de Fora (Latitude: -21.7642 e Longitude: -43.3496) e buscando imagens sem comprometimento por nuvens. Foi utilizado o programa ENVI 4.7 para o cálculo do NDVI. Um fato importante é a interferência causada pelas nuvens, o que pode fazer com que se obtenham resultados fora da realidade. Devido à grande parte das imagens estarem com muitas nuvens, elas não puderam ser consideradas neste estudo.

O NDVI foi calculado pela equação a seguir:

$$NDVI = \frac{IVP - V}{IVP + V} \quad (4.1)$$

Onde,

IVP = Valor da refletância na banda no infravermelho próximo

V = Valor da refletância na banda do vermelho

Para imagens Landsat 5, as bandas correspondentes ao vermelho e ao infravermelho próximo são as bandas 3 e 4. Já para as imagens Landsat 8, as bandas correspondentes ao vermelho e ao infravermelho próximo são as bandas 4 e 5 (USGS, 2013).

Percebe-se que o NDVI é muito sensível, pois poeiras, aerossóis, gases atmosféricos e nuvens dentro do pixel aumentam a refletância na banda do visível em relação à banda do infravermelho, reduzindo o NDVI (FONTANA, 2011).

Das 192 imagens, foram obtidas apenas 41 sem interferência por nuvens. Parte do restante não estava disponível para ser baixada e parte estava tampada parcialmente ou totalmente por nuvens.

As imagens Landsat 5 e 7 dos sensores TM e ETM, possuem sete bandas e cada banda representa uma faixa do espectro eletromagnético captada pelo satélite. Estes satélites Landsat, observam a mesma área a cada 16 dias. Cada imagem obtida por este satélite abrange no solo uma área de 185 x 185 km. A resolução geométrica nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 é de 30 metros, ou seja, cada pixel da imagem representa uma área de 0,09 ha. Na banda 6 a resolução é de 120 metros, isto é, cada pixel da imagem representa uma área no terreno de 1,4 ha. O mapeamento temático a partir de cada banda depende de alguns fatores locais como: topografia do local, estação do ano e variações regionais, tornando a interpretação das imagens mais facilitada quando se tem conhecimento de campo (INPE, 2016).

## 4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DO ESTUDO

A área de estudo compreende o Município de Juiz de Fora, situado na coordenada: Latitude: -21.7642 e Longitude: -43.3496. O município ocupa uma área de 1.429,88 Km<sup>2</sup>, sendo que 317,74 km<sup>2</sup> representam o perímetro urbano. A cidade se encontra a aproximadamente 283 km da capital do estado (Belo Horizonte) (IBGE, 2014).



Figura 4.1: Município de Juiz de Fora. (IBGE, 2014)

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme mencionado, as imagens Landsat 7 não puderam ser utilizadas devido a falha apresentada nas imagens, como exemplificado na Figura 4.1(a), onde é possível observar a perda de área devido aos “riscos” (ruídos) na imagem e compará-la a uma imagem utilizada neste estudo do mesmo mês e ano do Landsat 8.

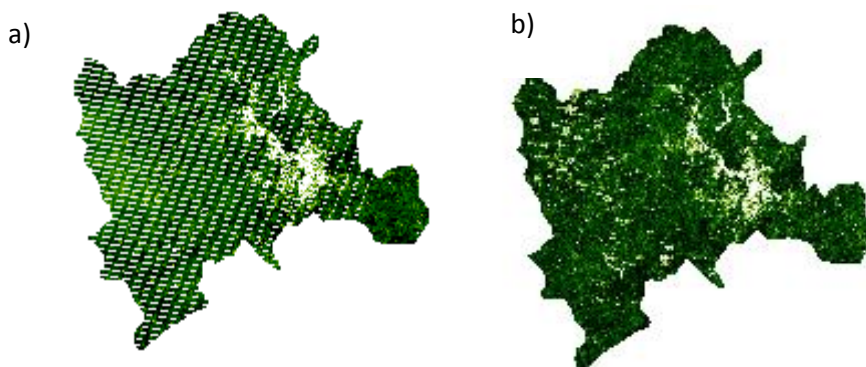


Figura 4.1: a) Imagens Landsat 7 e b) Landsat 8 do mês de Janeiro de 2014, representando o NDVI no município de Juiz de Fora

A imagem Landsat 7 resultou num NDVI de 0.27, já a imagem Landsat 8 apresentou NDVI de 0.42, evidenciando a perda de área devido ao tracejado na imagem comprometendo o NDVI. Observando as imagens podemos ver uma parte mais clara à direita que representa a área urbana do município.

Os valores encontrados de NDVI em todo o período de estudo, apresentam-se no Apêndice A. Devido às limitações encontradas, a alta presença de nuvens em muitas imagens e a baixa disponibilidade das imagens pelo *site* em que foram baixadas, obteve-se poucas imagens. O gráfico 4.1 apresenta os valores encontrados de NDVI em função do tempo e uma curva de tendência a fim de orientar a tendência da curva.

A figura 4.2 é semelhante à figura 4.1(b), porém com escala, orientação geográfica e legenda do NDVI. Esta imagem traz de forma mais clara a variação do NDVI para a imagem como um todo com o auxílio da escala de cor. Os tons mais claros representam valores de NDVI menores (área menos vegetada) e os tons mais escuros representam valores maiores de NDVI (área com mais vegetação).



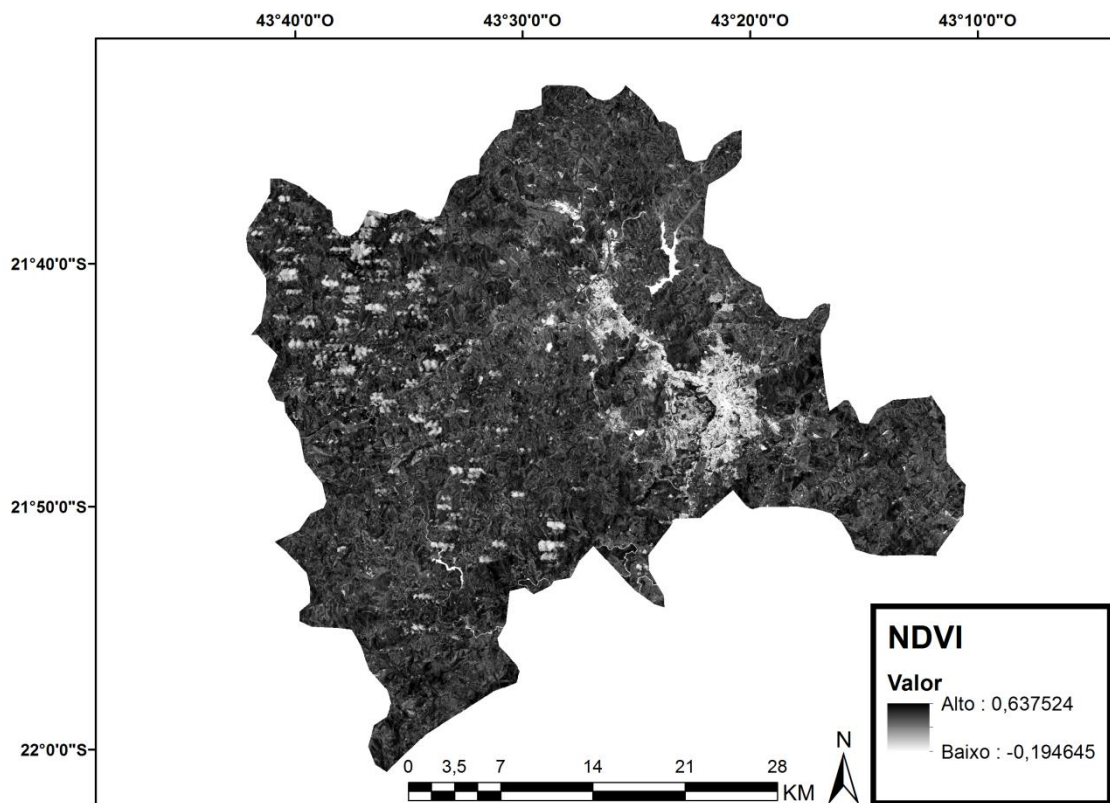


Figura 4.2: Imagem Landsat 8 utilizada no estudo do mês de Janeiro de 2014.

Os valores de NDVI apresentados nessa imagem, ilustram a variação do índice devido as diferentes superfícies analisadas. O valor negativo deste índice, indica a presença de cursos d'água e represas. O valor mais positivo está associado a maior cobertura vegetal. O NDVI médio da figura 4.2 é de 0,42.

No Apêndice B, estão inseridos os gráficos originados a partir dos dados da tabela 4.1, de cada mês de mesmo nome do período de estudo, para melhor compreensão do comportamento mensal do NDVI e sua tendência. Para a maioria das curvas, o fator  $R^2$  não apresentou bom ajuste com os pontos, porém, esse fator não deixa de ser uma ferramenta muito útil para a compreensão dos resultados nesse estudo.

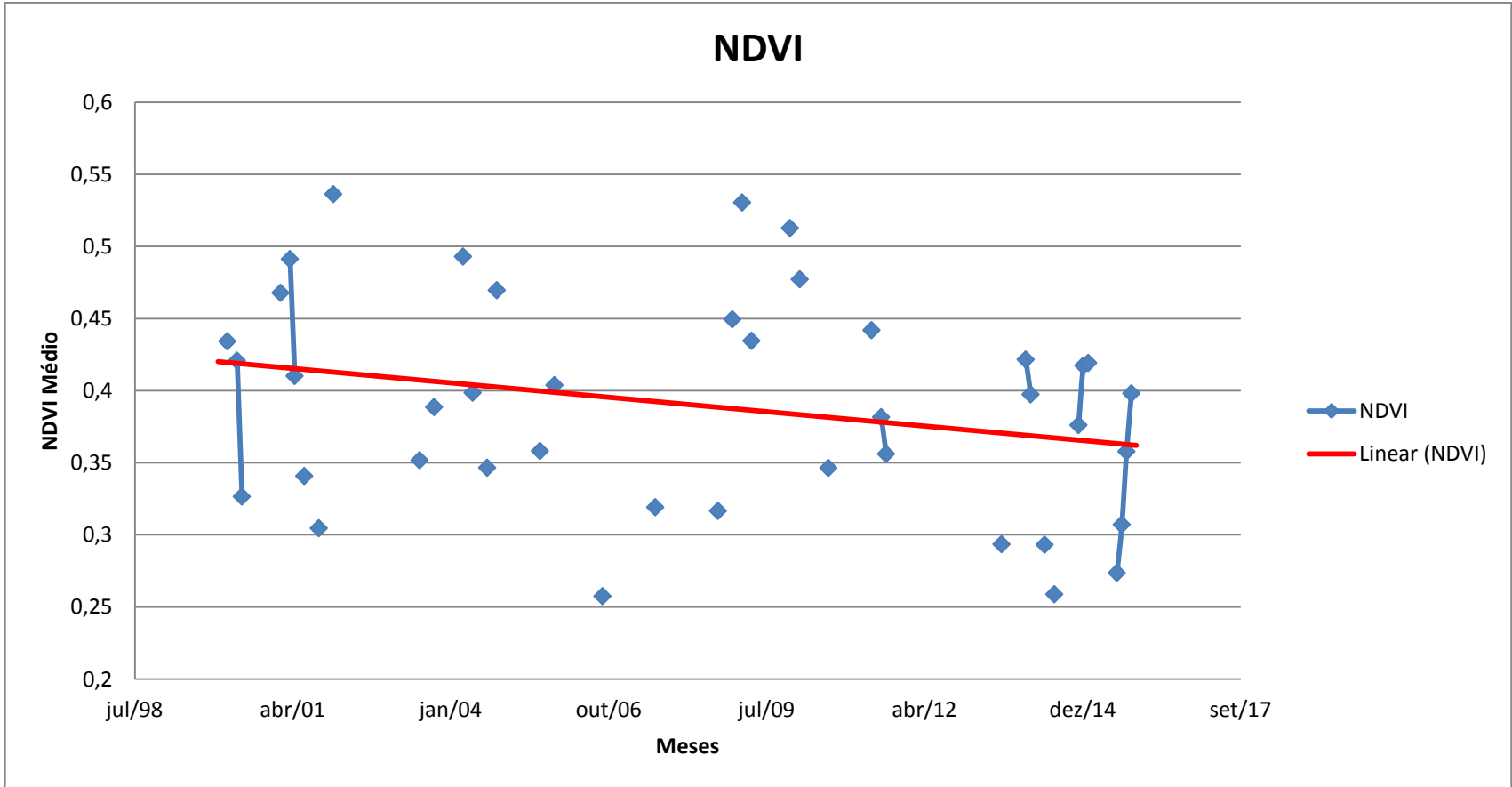


Gráfico 4.1: NDVI médio do Município de Juiz de Fora nos meses de Janeiro de 2000 à Dezembro de 2015 e sua curva de tendência.

Como não foi possível obter uma sequência contínua de valores, buscou-se uma melhor representação para o NDVI do município. Foram separados os valores de NDVI encontrados por meses em todos os anos do estudo e foi calculado o valor médio do NDVI para cada mês e construído o gráfico da média do NDVI de cada mês. Os valores encontrados apresentam-se na tabela 4.1.

Com isso, foi possível obter uma curva mais representativa, onde se pode observar com mais clareza os períodos de chuva (Nov, Dez, Jan e Fev) com valor de NDVI maior que os demais meses do ano, como já era esperado (gráfico 4.3).

Os gráficos 4.2 e 4.3 possuem semelhança no formato da curva. Em Julho o gráfico de precipitação tem seu mínimo (período de seca) e a partir de Agosto, começa a crescer. Nesse momento, o valor do NDVI acompanha a diminuição, porém, se mantendo até Setembro, mostrando que o solo que antes estava seco, necessitou da precipitação aumentar nos meses de Agosto e Setembro para em Outubro tornar a desenvolver a vegetação. A partir de Janeiro a precipitação vai diminuindo, porém o NDVI se mantém alto até Abril, o que relata que devido ao período chuvoso, o solo estava com boa umidade e ainda nos meses de verão com boa insolação se torna uma condição ideal para o desenvolvimento da planta. E com o decaimento dos valores de precipitação, o solo vai ficando mais seco, reduzindo o valor do NDVI tornando essa variação um ciclo.

O gráfico 4.2 apresenta a média do NDVI de cada mês, de mesmo nome, do período de estudo. Há um pico no mês 4 (Abril), que pode ter ocorrido em consequência de fatores que afetam o NDVI como sombra causada por nuvens, escurecendo a imagem, ou o teor de água no solo, que tende a escurecer a imagem quando molhado.

Através do gráfico 4.2 pode-se perceber que o NDVI do município variou entre aproximadamente 0,30 e 0,47, e na média de todo o período de estudo, o valor desse índice foi de 0,397045 o que representa uma área com boa cobertura vegetal, visto que na imagem do município há solo exposto, área urbana, água e vegetação.

	Jan	Ano	Fev	Ano	Mar	Ano	Abr	Ano	Mai	Ano	Jun	Ano	Jul	Ano	Ago	Ano	Set	Ano	Out	Ano	Nov	Ano	Dez	Ano
	0,536414	2002	0,467940	2001	0,434313	2000	0,491344	2001	0,420952	2000	0,326684	2000	0,340902	2001	0,358275	2005	0,346692	2004	0,304745	2001	0,469777	2004	0,449598	2008
	0,421682	2014	0,530606	2009			0,493106	2004	0,410293	2001	0,398729	2004	0,351886	2003	0,319275	2007	0,257569	2006	0,388781	2003	0,403994	2005	0,512838	2009
	0,417476	2015	0,477365	2010			0,434645	2009	0,442032	2011			0,381778	2011	0,346497	2010	0,316741	2008	0,357945	2015	0,398218	2015	0,376256	2014
			0,397551	2014					0,293292	2014			0,258911	2014	0,356276	2011	0,307223	2015						
			0,419348	2015											0,293631	2013								
															0,273725	2015								
<b>Média</b>	0,458524		0,458562		0,434313		0,473032		0,391642		0,362707		0,333369		0,324613		0,307056		0,350490		0,423996		0,446231	
<b>Desvio Padrão</b>	0,067		0,052				0,033		0,067		0,051		0,053		0,035		0,037		0,043		0,040		0,068	

Tabela 4.1: Valores encontrados de NDVI de todo o período de estudo e a média dos meses.

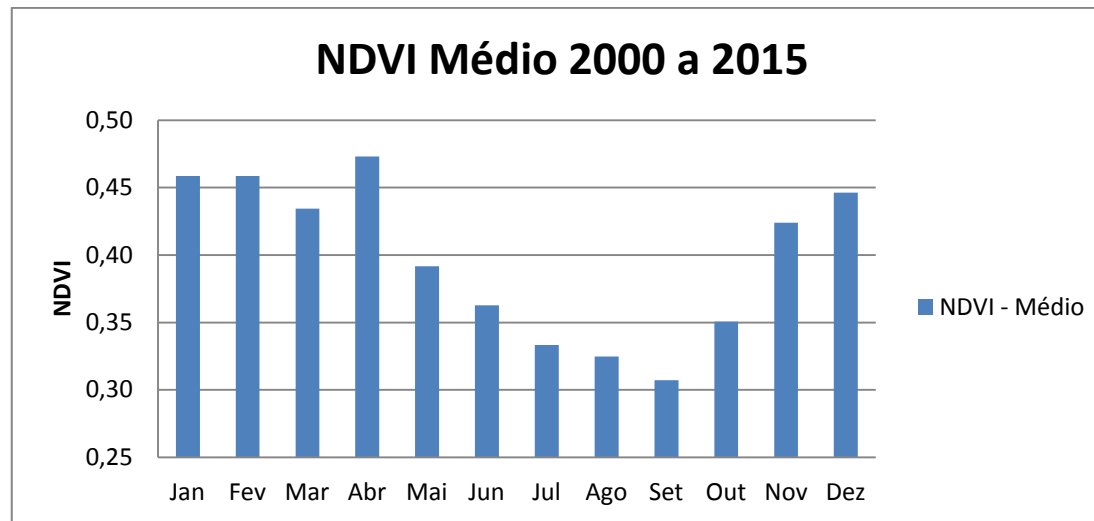


Gráfico 4.2: Média do NDVI dos meses de mesmo nome.

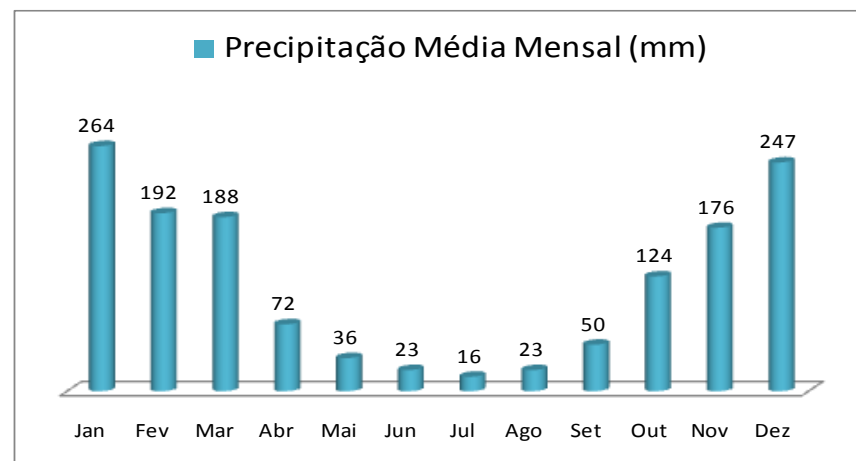


Gráfico 4.3: Média do NDVI dos meses de mesmo nome (RIBEIRO, ROCHA, COELHO, 2011).

## 6 CONCLUSÃO

Foi observada uma tendência de redução no valor do NDVI observando a linha de tendência obtida e os meses de mesmo nome no período do estudo. Calculando a média de todos os valores encontrados de NDVI nesse estudo, obteve-se o valor de 0,397045, evidenciando que o município está com boa parte vegetada. O índice de vegetação utilizado nesse estudo varia de imagem para imagem e de mês a mês podendo obter uma variação razoavelmente grande, apesar de pouco intervalo temporal. Os valores encontrados estão de acordo com o esperado segundo a variação do NDVI. Efeitos atmosféricos como nuvens, partículas em suspensão e aerossóis na imagem de satélite afetam o NDVI. A curva obtida para o NDVI é semelhante à curva de precipitação do município, sendo que, o solo leva um tempo para absorver a água e propiciar desenvolvimento da vegetação e após a precipitação começar a reduzir, este índice se mantém alto por mais dois meses e começa a reduzir posteriormente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRANDÃO, Ziany Neiva; BEZERRA, Marcus Vinícius Cândido; SILVA, Bernardo Barbosa da. Uso do NDVI para determinação da biomassa na chapada do Araripe. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Barbalha. **Anais...** . Florianópolis: Inpe, 2007. p. 78 - 81.

BRANQUINHO, Fátima; FELZENZWALB, Israel. **Meio Ambiente: Experiências em pesquisa multidisciplinar e formação de pesquisadores.** Rio de Janeiro: Mauad, 2007. 211 p. FAPERJ.

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](http://www.ufrgs.br/leaa/arquivos/aulas/SERP06/cultivos.pdf)>. Acesso em: 15 abr. 2015.

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.

HEUTE, A.R. **A soil-adjusted vegetation index (SAVI).** Remote Sensing of Environment, 25, p.295-309, 1988.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2010.** 2010. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/tabelas\\_pdf/total\\_populacao\\_minas\\_gerais.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/tabelas_pdf/total_populacao_minas_gerais.pdf)>. Acesso em: 20 maio 2015.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades@.** 2014. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=313670&search=minas-gerais|juiz-de-fora>>. Acesso em: 11 jul. 2015.

INGEMMET (Peru). Ministerio de Energía y Minas. **Imágenes Satelitales:** Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Disponível em: <[http://www.ingemmet.gob.pe/web/lab/imagenes\\_satelitales\\_tl](http://www.ingemmet.gob.pe/web/lab/imagenes_satelitales_tl)>. Acesso em: 05 nov. 2015.

INPE. **Curso Internacional em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica.** 2008. Disponível em: <<http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/cursointernacional/introducao.html>>. Acesso em: 04 set. 2015.

INPE. **Divisão de Geração de Imagens:** Os Satélites LANDSAT 5 e 7. Disponível em: <[www.dgi.inpe.br/Suporte/files/Cameras-LANDSAT57\\_P T.php](http://www.dgi.inpe.br/Suporte/files/Cameras-LANDSAT57_P T.php)>. Acesso em 20 jan. 2016.

JORDAN, C.F. **Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor.** Ecology, 50:663-666, 1969.

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.

KAUFMAN, Y.J. and TANRÉ, D. 1992. **Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI) for EOS-MODIS.** IEEE Transactions Geoscience and Remote Sensing, GE-30(2), p.261-270.

LIMA, Carlos Eduardo Santos de et al. Análise multitemporal da cobertura vegetal do município de Garanhuns - PE, através dos dados de NDVI. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, Garanhuns. **Anais...** . João Pessoa: Inpe, 2015. p. 163 - 170.

PINTY, B.; VERSTRAETE, M.M. **GEMI: A non-linear index to monitor global vegetation from satellites.** Vegetation, v.101, n.1, p.15-20, 1992.

PONZONI, Flávio Jorge; SHIMABUKURO, Yosio Edemir. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação.** 2010. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2010. 128 p.



RAMOS, Ricardo Rivelino Dantas et al. **Aplicação do Índice da Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na Avaliação de Áreas Degradadas e Potenciais para Unidades de Conservação.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 3., 2010, Caatinga. **Anais...** . Recife: 2010. p. 001 - 006.

RICHARDSON, A. J.; WIEGAND, C. L.; **Distinguishing vegetation from soil background information.** Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 44:1541-1552, 1977.

ROUSSE, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. **Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS.** In: Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, 3, 1973. Proceedings. Washington, 1973, v.1, Sec.A, p. 309-317.

SANTOS, Alexandre Rosa dos. **Geomática aplicada à gestão de recursos hídricos.** Disponível em: < [http://www.mundogeomatica.com.br/sr/mestrado/geomacia/aulaspowerpoint/capitulo11\\_livroufv.ppt&usg=AFQjCNHgdxAuQ2Hqbs9mpwEYvjLQqIsSHg&bvm=bv.115339255,d.Y2I](http://www.mundogeomatica.com.br/sr/mestrado/geomacia/aulaspowerpoint/capitulo11_livroufv.ppt&usg=AFQjCNHgdxAuQ2Hqbs9mpwEYvjLQqIsSHg&bvm=bv.115339255,d.Y2I)>. Acesso em: 25 ago. 2015.

SANTOS, Walbert Júnior Reis dos (Minas Gerais). Fapemig. **Variação temporal do índice de vegetação de lavouras cafeeiras utilizando produtos do sensor modis/terra.** Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/880131/variacao-temporal-do-indice-de-vegetacao-de-lavouras-cafeeiras-utilizando-produtos-do-sensor-modisterra>>. Acesso em: 01 set. 2015.

USGS GLOBAL VISUALIZATION VIEWER (Usa). **Frequently Asked Questions about the Landsat Missions.** 2013. Disponível em: <[http://landsat.usgs.gov/L8\\_band\\_combos.php](http://landsat.usgs.gov/L8_band_combos.php)>. Acesso em: 20 jul. 2015.

USGS GLOBAL VISUALIZATION VIEWER (Usa) (Org.). **Science for a changing world.** Disponível em: <<http://glovis.usgs.gov/>>. Acesso em: 10 abr. 2015.

VELASCO, Giulianadel Nero et al. Aplicação do Índice Vegetação NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) em Imagens de Alta Resolução no Município de São Paulo e suas Limitações. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, São Paulo, v. 2, n. 3, p.1-12, maio 2007. Disponível em: <[http://www.revsbau.esalq.usp.br/artigos\\_cientificos/artigo23.pdf](http://www.revsbau.esalq.usp.br/artigos_cientificos/artigo23.pdf)>. Acesso em: 25 maio 2015.

## APÊNDICE A

Valores encontrados de NDVI em todo o período de estudo onde o mês 1 representa Janeiro do ano 2000 e o mês 192 representa o mês de Dezembro do ano de 2015. Os meses em branco representam meses em que não foi possível a obtenção do NDVI.

Mês	NDVI	Mês	NDVI	Mês	NDVI	Mês	NDVI
1		13		25	0,53641	37	
2		14	0,46794	26		38	
3	0,43431	15		27		39	
4		16	0,49134	28		40	
5	0,42095	17	0,41029	29		41	
6	0,32668	18		30		42	
7		19	0,3409	31		43	0,35189
8		20		32		44	
9		21		33		45	
10		22	0,30475	34		46	0,38878
11		23		35		47	
12		24		36		48	

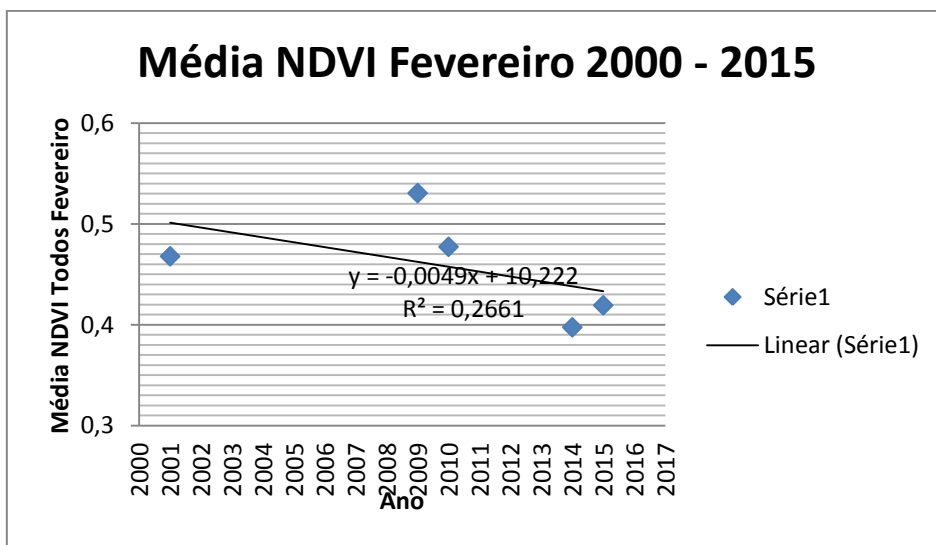
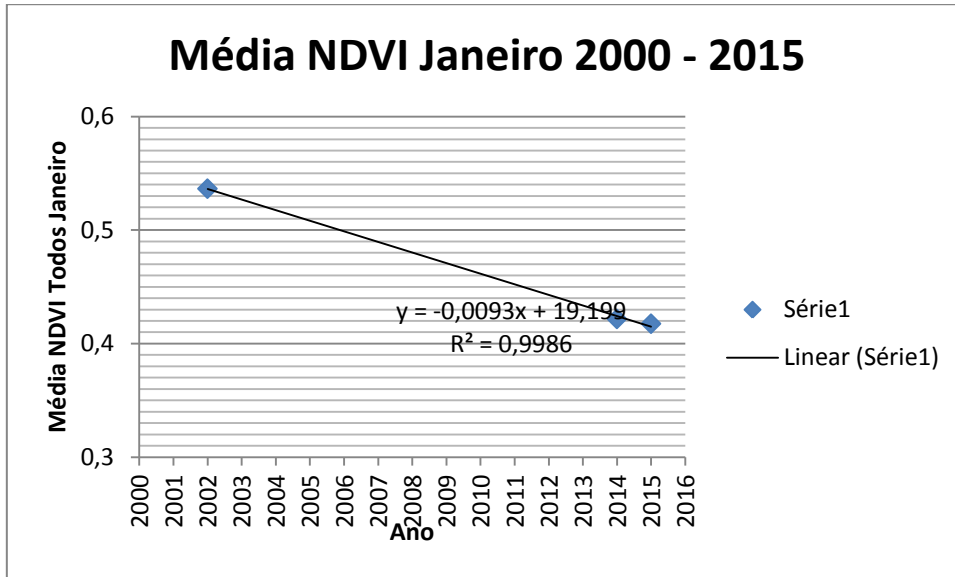
Mês	NDVI	Mês	NDVI	Mês	NDVI	Mês	NDVI
49		61		73		85	
50		62		74		86	
51		63		75		87	
52	0,49311	64		76		88	
53		65		77		89	
54	0,39873	66		78		90	
55		67		79		91	
56		68	0,35828	80		92	0,31928
57	0,34669	69		81	0,25757	93	
58		70		82		94	
59	0,46978	71	0,40399	83		95	
60		72		84		96	

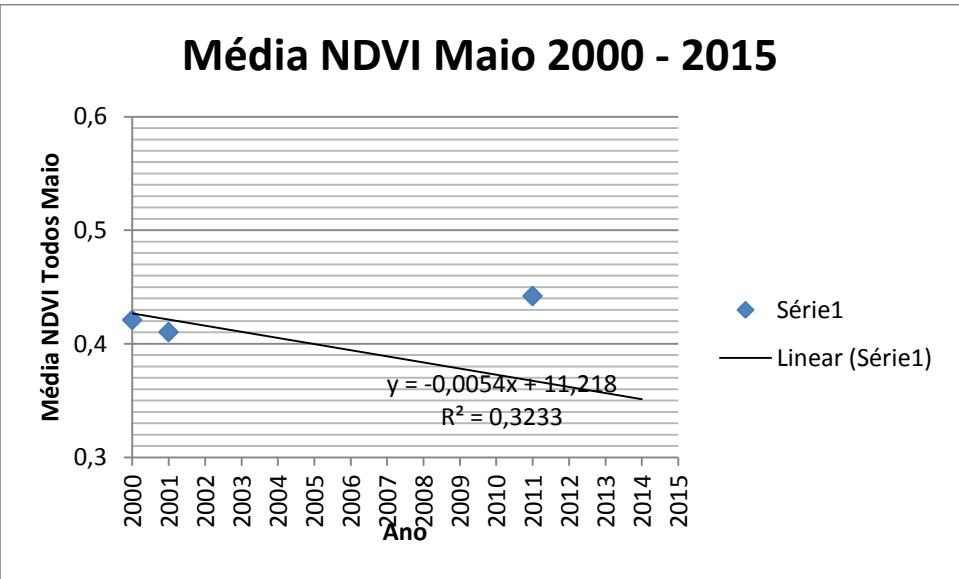
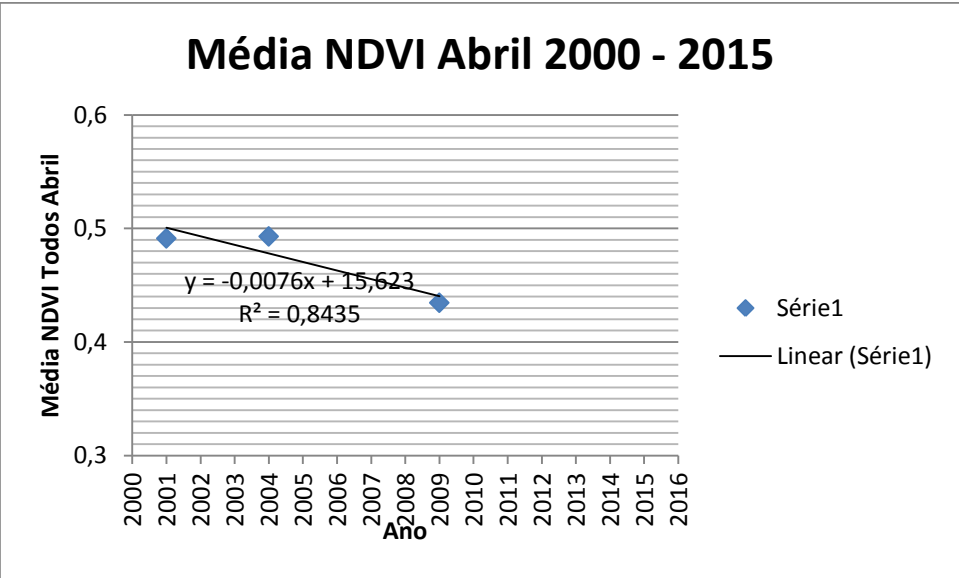
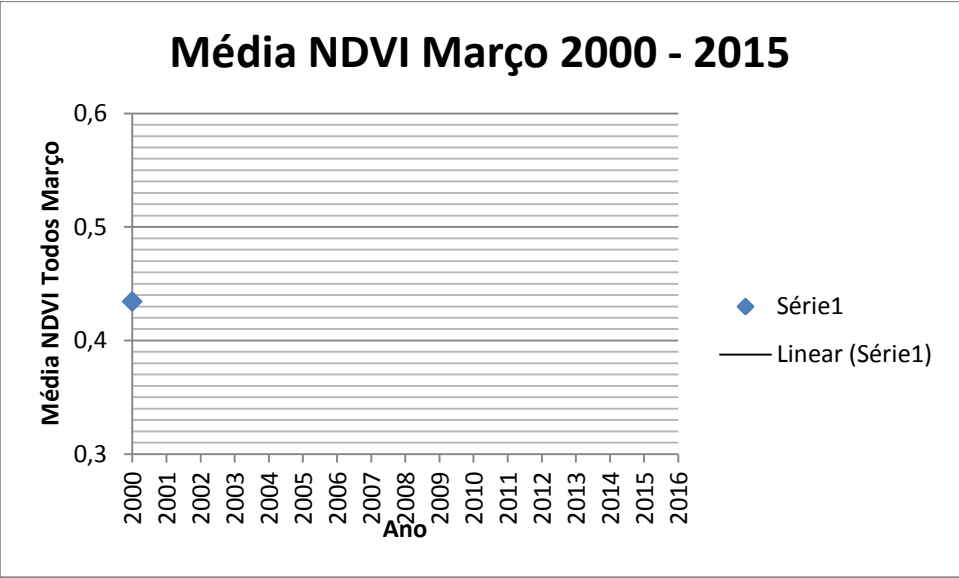
Mês	NDVI	Mês	NDVI	Mês	NDVI	Mês	NDVI
97		109		121		133	
98		110	0,53061	122	0,47737	134	
99		111		123		135	
100		112	0,43465	124		136	
101		113		125		137	0,44203
102		114		126		138	
103		115		127		139	0,38178
104		116		128	0,3465	140	0,35628
105	0,31674	117		129		141	
106		118		130		142	
107		119		131		143	
108	0,4496	120	0,51284	132		144	

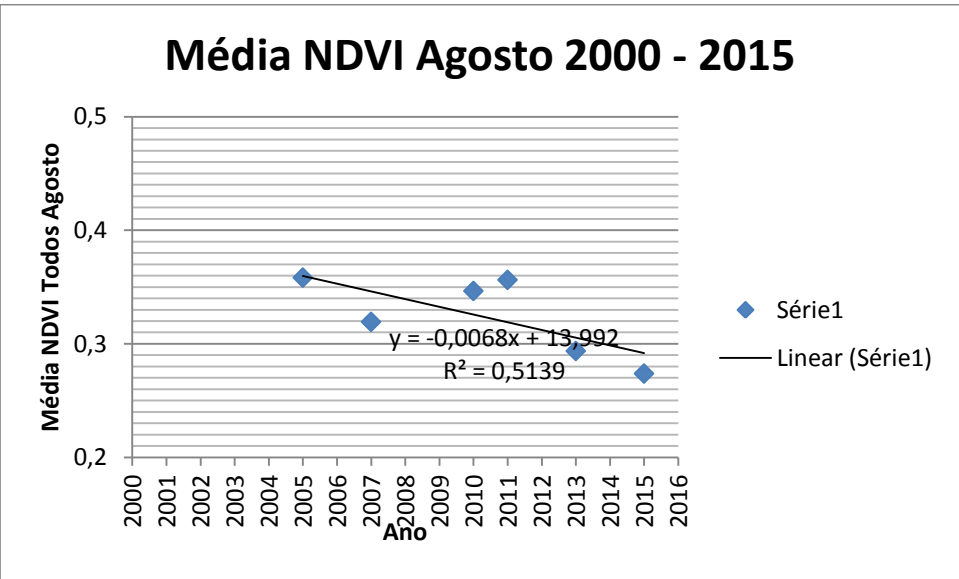
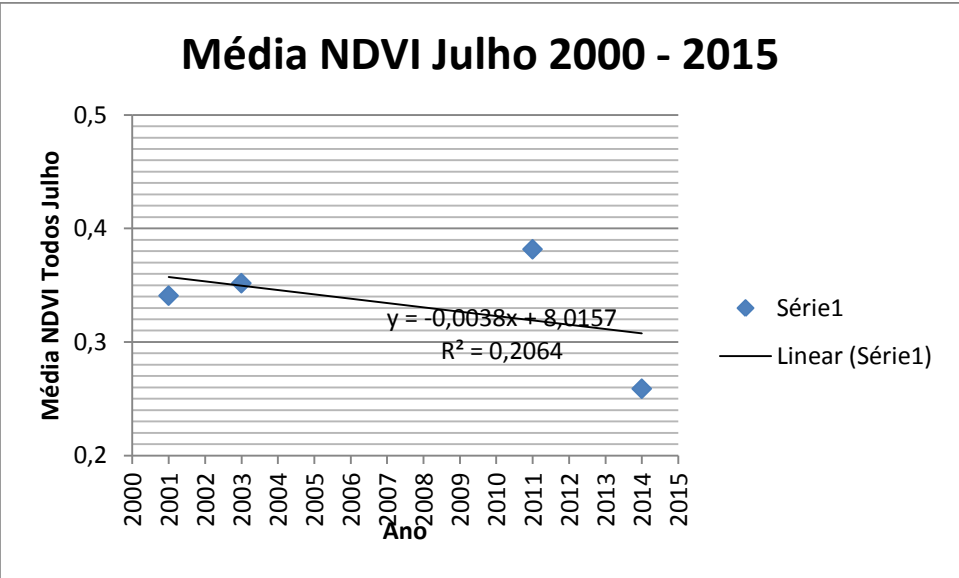
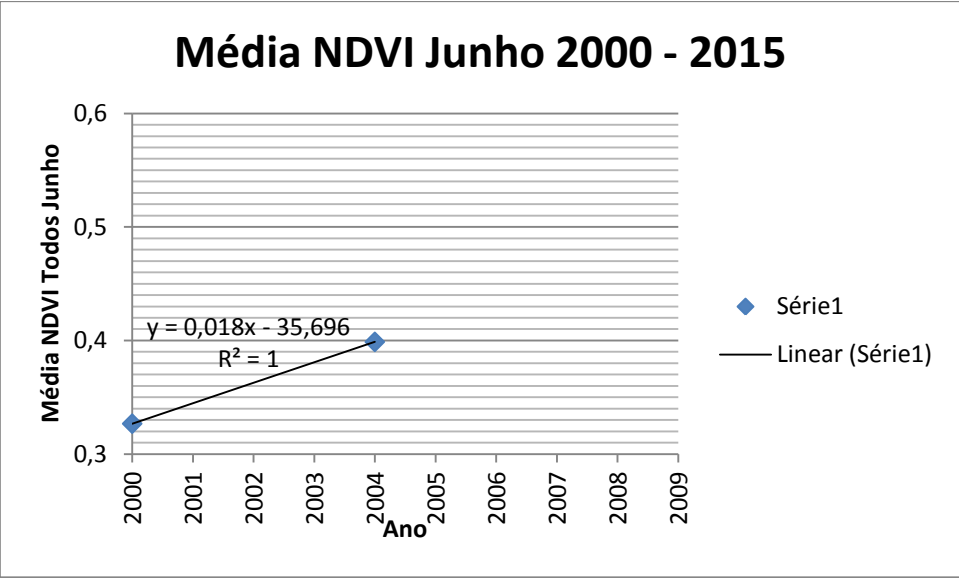
Mês	NDVI	Mês	NDVI	Mês	NDVI	Mês	NDVI
145		157		169	0,42168	181	0,41748
146		158		170	0,39755	182	0,41935
147		159		171		183	
148		160		172		184	
149		161		173	0,29329	185	
150		162		174		186	
151		163		175	0,25891	187	
152		164	0,29363	176		188	0,27373
153		165		177		189	0,30722
154		166		178		190	0,35795
155		167		179		191	0,39822
156		168		180	0,37626	192	

## APÊNDICE B

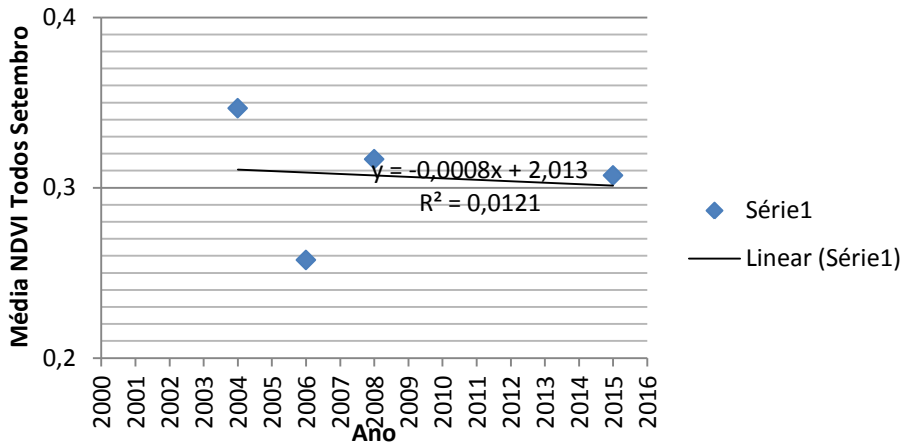
Gráficos da Curva  $R^2$  para todos os meses de mesmo nome em todo o período do estudo. Com esses gráficos é notável a tendência do NDVI reduzir.



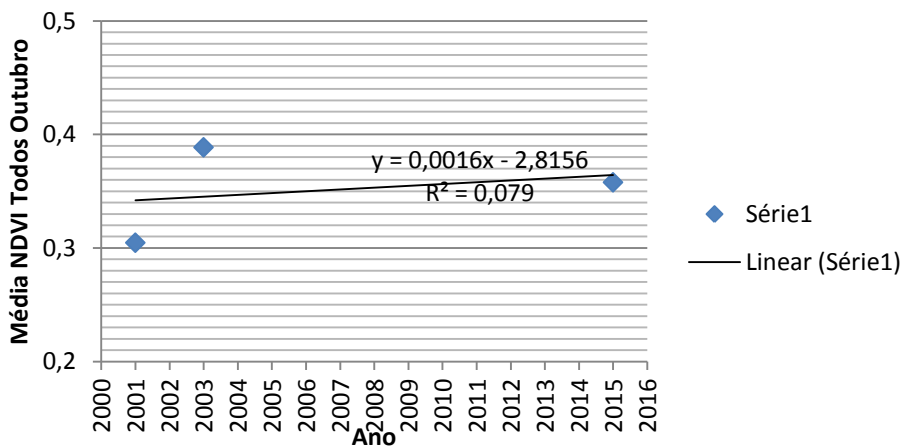




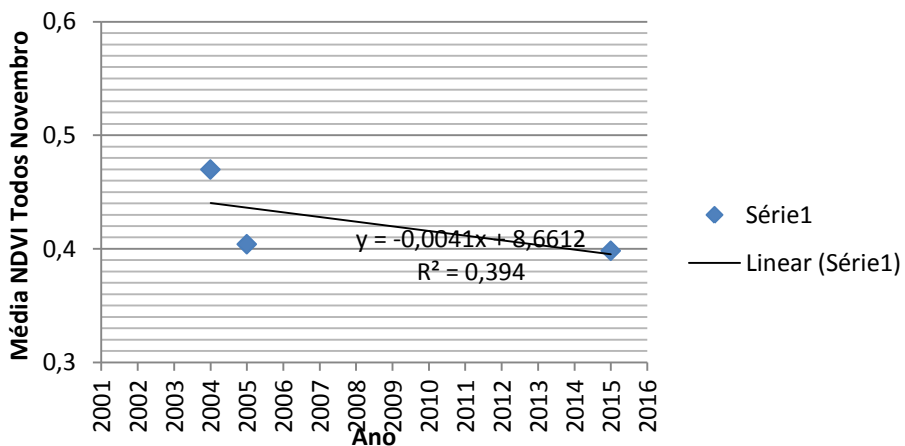
### Média NDVI Setembro 2000 - 2015



### Média NDVI Outubro 2000 - 2015



### Média NDVI Novembro 2000 - 2015





## Média NDVI Dezembro 2000 - 2015

