



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
Coordenadoria do Curso de Geografia – Bacharelado

**O USO DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA ESTIMAR A
SUSCEPTIBILIDADE DA VEGETAÇÃO A INCÊNDIOS
FLORESTAIS NO ESTADO DE MINAS GERAIS**

Viviane Valéria da Silva

São João del-Rei – MG
Novembro de 2016
VIVIANE VALÉRIA DA SILVA

O USO DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA ESTIMAR A SUSCEPTIBILIDADE DA VEGETAÇÃO A INCÊNDIOS FLORESTAIS NO ESTADO DE MINAS GERAIS

Monografia apresentada à Coordenadoria do Curso de Geografia da Universidade Federal de São João del-Rei, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geografia.

Aluna: Viviane Valéria da Silva
Orientador: Dr. Márcio Roberto de Toledo e Dr. Gabriel Pereira

São João del-Rei-MG
Novembro de 2016

AGRADECIMENTOS

Agradeço principalmente à minha família, pois esse trabalho significa a conclusão de uma etapa que só foi possível devido ao apoio e paciência deles. De forma indireta, aqui tem muito dos valores e motivações diárias pela busca de contornar os percalços do caminho ao longo de toda a graduação. Aqueles que dia a dia participaram de escolhas que nem sempre foram fáceis. Por muitas vezes abri mão de vivenciar momentos especiais, e quem muito me apoiou e acabou abrindo mão também, merece meu agradecimento mais que especial, Raphaela.

Agradeço aos professores por nos transmitirem a paixão pela Geografia e nos apresentar sua infinita gama de possibilidades. Ao Dr. Márcio Toledo pela disponibilidade constante, pela acolhida e pelo carisma tão característico. O agradecimento especial dedico ao professor Dr. Gabriel Pereira pelas oportunidades proporcionadas, pela disposição em compartilhar seus conhecimentos e por atender os inúmeros pedidos de socorro enviados através das mais diversas ferramentas tecnológicas disponíveis.

Graças à presença dos companheiros de pesquisa foi um ano abençoado, pois proporcionaram amizade, carinho e conforto, fazendo com que horas de estudo e trabalho fossem suaves apesar de exaustivas. A equipe de orientandos mais unida da UFSJ: André, Paula, Fernanda, Raquel, Bia, Paulo. Agradeço ao Guilherme Matavelli e Dra. Francielle Cardozo pela paciência e disponibilidade, ajuda imprescindível para construção desse trabalho.

Agradeço a cada amizade que essa graduação me proporcionou, e algumas serão levadas eternamente comigo. Lembrando que ninguém passa por acaso em nossas vidas, ganhei o presente de ter vocês em minha vida. Bruna, Laura e Julio.

Agradeço à Wânia, secretária da coordenação, que com sorriso e amizade sempre esteve disposta a ajudar. À grande amiga Eliane dedico imensa gratidão pela incansável motivação e por servir como exemplo a ser seguido.

RESUMO

As queimadas representam um elevado grau de prejuízo para o meio ambiente. Tais ocorrências evidenciam a necessidade de ampliar as formas de prevenir, controlar e monitorar esses eventos. A área florestal do Estado de Minas é frequentemente afetada por queimadas, justificando assim frequentes trabalhos voltados para a quantificação e espacialização dos incêndios florestais. Atualmente, está disponível um grande número de satélites que possibilitam recursos para analisar a dinâmica ambiental do planeta e seus fenômenos. Tais recursos, como os índices de vegetação, são produtos derivados do Sensoriamento Remoto que indicam a condição da vegetação. Esse trabalho objetiva a análise do Sensoriamento Remoto enquanto instrumento de avaliação da susceptibilidade da vegetação à queima, assim como correlacionar a condição da vegetação com a recorrência de incêndios e o volume da precipitação no Estado de Minas Gerais entre os anos de 2000 e 2015. Para tanto, a metodologia utilizada foi a análise de índice de condição da vegetação (VCI), gerando mapas de médias anuais a partir do produto denominado MOD13A3, mapas da precipitação acumulada a partir dos dados do satélite TRMM e mapas com focos de incêndios obtidos a partir dos produtos MYD14 e MOD14 estimadas pelo sensor MODIS. A análise do índice de condição da vegetação obtido remotamente permite associar sua condição à propensão à queima; as análises dos focos de incêndios indicam onde a vegetação esteve com menos umidade aumentando assim a ocorrência no aumento do número de focos; e a análise dos dados de precipitação corroboraram com a precisão da relação entre a condição da vegetação, índices pluviométricos e susceptibilidade à queima. De tal forma, os resultados dessa análise justificam a ampliação do uso do sensoriamento Remoto para estudos de prevenção de queimadas e não apenas para monitoramento e quantificação.

Palavras-Chave: MODIS; Queimadas; VCI.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Curva da reflectância no espectro eletromagnético em uma folha verde. ...	5
Figura 2: Ilustração para aplicação da fórmula de NDVI.....	7
Figura 3: Área de estudo.....	8
Figura 4: Total de focos detectados em Minas Gerais no período de 2000 a 2015. ...	9
Figura 5: Precipitação acumulada para Minas Gerais de 2000 a 2015.....	13
Figura 6: Variação de VCI para o ano de 2015. Período seco (b) e chuvoso (a).....	14
Figura 7: Média anual do VCI para MG - anos de 2000 a 2005.....	15
Figura 8: Média anual do VCI para MG - de 2006 a 2011.....	16
Figura 9: Média anual do VCI para o de MG - de 2012 a 2015.....	17
Figura 10: Distribuição espacial dos focos de queimada -2002 a 2007	18
Figura 11: Distribuição espacial dos focos de queimada -2008 a 2013.	19
Figura 12: Distribuição espacial dos focos de queimada -2014 a 2015	20

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2.OBJETIVOS	2
2.1 Objetivos específicos	3
3.REFERENCIAL TEÓRICO	3
3.1. Sensoriamento Remoto	3
3.2 Comportamento espectral da vegetação	4
3.3.Índices de Vegetação	6
4.MATERIAIS E MÉTODOS	8
4.1 Área de estudo	8
4.2.Materiais	10
<i>4.2.1. Produtos orbitais</i>	10
<i>4.2.2. MOD13A3</i>	10
<i>4.2.3. MYD14 e MOD14</i>	10
<i>4.2.4. The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)</i>	11
4.3.Procedimentos Metodológicos	11
5. RESULTADOS	12
5.1. Precipitação acumulada	12
5.2. Índices de vegetação	13
5.3. Focos de queimadas estimados com base nos produtos MODIS	17
6.CONSIDERAÇÕES FINAIS	20
7. REFERÊNCIAS	21

1. INTRODUÇÃO

As áreas florestais naturais possuem importante papel na ciclagem de nutrientes essenciais à vida, e estão entre os ambientes naturais que mais sofrem com os impactos ambientais. Dentre os problemas ambientais mais comuns e mais severos, estão as queimadas. Estudos realizados afirmam que sua magnitude atinge a marca de 100mil a 300mil focos de calor a cada ano no território brasileiro (SETZER et al., 2007; MÜLLER et al. 2012).

Diante dessa realidade, a necessidade de trabalhos de pesquisas associados a ferramentas tecnológicas que auxiliem o monitoramento das áreas suscetíveis torna-se imprescindível para a garantia da eficácia das ações de combate a incêndios florestais.

A utilização do sensoriamento remoto e as técnicas de geoprocessamento para obtenção de dados tem se tornado uma prática frequente e essencial para o monitoramento da superfície da terra e suas dinâmicas. Tratam-se de técnicas eficientes, rápidas, assertivas e de baixo custo. Além disso, a utilização de imagens de sensoriamento remoto apresenta atualmente outras vantagens, como uma boa resolução espacial e resolução temporal (frequência da obtenção dos dados). Assim, pode-se realizar um monitoramento com comparação temporal e espacial, o que possibilita análises da paisagem por períodos diferentes.

As técnicas de sensoriamento remoto são utilizadas para a caracterização da dinâmica da cobertura vegetal por possibilitarem o monitoramento de extensas áreas, o que a partir de dados como índices de vegetação, permitem a modelagem de parâmetros biofísicos da vegetação, e a análise de detalhes como radiação, biomassa verde e condição da vegetação no geral (JENSEN, 2009). As alterações do estado da vegetação podem ser detectadas a partir da combinação das bandas do vermelho e infravermelho próximos, e a partir desse método, comparar o índice apresentado em distintas datas (ROSENDO, 2005).

Ressalta-se a importância da utilização de sistema de monitoramento com base em produtos orbitais que possibilitam o uso de dados de sensores remotos para trabalhos de prevenção, pois analisando a susceptibilidade da cobertura vegetal à

ocorrência de queimadas, pode-se em alguns casos prever o risco, estimar e planejar medidas preventivas (SOARES, 1985).

Minas Gerais possui em seu território domínios fitogeográficos da Mata Atlântica, do Cerrado e da Caatinga, ou seja, possui uma vasta extensão que apresenta diferentes domínios e áreas de transição de Biomas. Dessa maneira, diante de um vasto território e uma variedade de domínios fitogeográficos, a utilização de índices de vegetação pode indicar modificações no estado da cobertura vegetal (VELOSO et al., 2012).

O sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) está a bordo das Plataformas espaciais Terra e Aqua e disponibiliza produtos com variedade de resolução espacial, gratuitas e corrigidas radiometricamente com periodicidade curta, o que facilita a comparação entre as imagens. Para o estudo do estado da vegetação remotamente, é a ferramenta mais adequada pois a resolução espectral (36 bandas) combinada com a resolução espacial (250 metros) e a temporal são altamente favoráveis (JUSTICE et al., 2002b).

A análise comparativa do estado da vegetação, nesse trabalho, ocorreu por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), que é o cálculo de índices de vegetação. Esse índice é o resultado da diferença das medidas de reflectância de bandas do vermelho e do infravermelho próximo (ANDERSON et al., 2003).

Dessa maneira, o resultado proveniente do NDVI objetiva a investigação da relação da condição da vegetação e a sua susceptibilidade a incêndios florestais no estado de Minas Gerais durante os anos de 2000 a 2015. Destaca-se também que para estabelecer importantes conclusões sobre variabilidade da condição da vegetação, além dos dados de NDVI, foram utilizados dados de precipitação estimados por satélite, permitindo correlacionar a variabilidade do regime pluviométrico e sua relação com a condição da vegetação.

2.OBJETIVOS

O trabalho apresenta como principal objetivo a avaliação do uso de sensoriamento remoto como ferramenta para estimar a susceptibilidade da vegetação a incêndios baseando-se na análise da condição da vegetação.

2.1 Objetivos específicos

- a) Analisar a aplicabilidade de séries temporais dos Índices de Vegetação NDVI do sensor MODIS e dados auxiliares para o monitoramento de incêndios em Minas Gerais.
- b) Analisar a relação entre duas variáveis, o índice da condição da vegetação (VCI) e a ocorrência de incêndios entre os anos de 2000 a 2015.
- c) Analisar a relação da variabilidade do regime pluviométrico e sua relação com a condição da vegetação.

3.REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Sensoriamento Remoto

O principal fundamento do sensoriamento remoto é a resposta peculiar de cada objeto analisado ao fenômeno de recebimento da radiação eletromagnética, absorção e reflectância, que pode ser registrado por meio de um sensor que transforma a radiância refletida ou emitida em dados/ produtos. O processo de interação ocorrido entre a Radiação Eletromagnética e os alvos fundamenta a técnica do Sensoriamento Remoto e resulta em dados que podem ser extraídos e analisados (PONZONI, 2002).

Os sensores a bordo dos satélites são compostos por equipamentos que permitem a coleta dos dados, transmissão e processamento que possibilitam o estudo do ambiente terrestre, assim como, ciclos naturais do planeta Terra e transformações ocorridas devido à atuação antrópica (NOVO ,1989).

Para o estudo da vegetação, pode-se utilizar dados coletados em campo, análises laboratoriais, imagens obtidas por aeronaves e dados derivados de produtos orbitais. Para esse trabalho, tratando-se de uma extensa área como o estado de Minas Gerais, serão considerados os dados obtidos por meio dos produtos orbitais para uma avaliação da condição da cobertura vegetal.

Ao escanear uma região, o sensor do satélite recebe a resposta do objeto à radiação através da energia eletromagnética e realiza uma transformação por frequência das trocas energéticas, que podem ser absorção ou reflexão da energia recebida. Dessa maneira, prosseguem no processo de constituição da imagem uma

composição que separa em grades de eixo x e y e que são separadas em “*pixel*”. O pixel é a menor unidade da imagem gerada, são agrupados em linhas e colunas para formar uma imagem. Agrupados, formam uma informação da imagem e quanto maior o número de pixels para formar uma imagem, maior a informação sobre ela, assim, maior a qualidade da imagem (ROCHA, 2000).

Entretanto, as características dos pixels podem variar de acordo com os sensores e os dados coletados em diferentes comprimentos de onda. O sensor, ao detectar os valores da reflectância, representa a imagem em pixels em tons de cinza, e variam de acordo com a resolução específica de cada sensor. Os sistemas sensores possuem diferentes parâmetros individuais, tais como, resolução radiométrica, resolução espacial e resolução espectral e largura da faixa imageada (ROCHA, 2000)

A resolução espectral é denominada pelas bandas do espectro eletromagnético que serão imageadas, de acordo com os intervalos do comprimento de ondas no espectro eletromagnético. A resolução espacial é a medida da menor área imageada por cada sensor, podendo ser linear ou angular e representa o tamanho do pixel formado. A resolução radiométrica implica nos níveis de cinza que serão utilizados para que o sensor consiga expressar os dados, assim, essa resolução representa a diferença de brilho de um alvo comparado aos alvos vizinhos (JENSEN, 2009).

A resolução temporal é o intervalo entre duas passagens do satélite, ou seja, a frequência de passagem sobre uma mesma área e a largura da faixa imageada. O satélite LANDSAT, por exemplo, possui a largura da faixa de imageamento de 185 km; já o sensor MODIS possui uma largura de 2.330 km (ROCHA, 2000).

3.2 Comportamento espectral da vegetação

Ao se aplicar as técnicas de sensoriamento remoto para análise da vegetação, remete-se diretamente ao resultado do processo de espalhamento, absorção ou transmissão da radiação recebida. Entretanto, é necessário pensar no processo de uma forma mais complexa, considerando as variações dos elementos da vegetação, sua heterogeneidade, suas variadas formas, suas folhas, seus galhos, flores, dosséis variados e, principalmente, sua condição e a quantidade de umidade presente na estrutura, o que implica em diferentes aparências e distintos resultados de resposta espectral (PONZONI et al., 2008).

O termo comportamento espectral da vegetação pode ser empregado para representar as mais variadas formas da vegetação e as diferentes respostas espectrais de cada alvo vão determinar sua condição. Para essa análise, considera-se que a folha é o órgão mais importante da planta, pois é nela que ocorrem todas as reações fotoquímicas, trocas gasosas e toda a interação com a radiação (FERRI, 1984; PONZONI e DISPERATI, 1995; MOREIRA, 2004).

Estudos anteriores desenvolvidos por Willstatter e Stoll (1918) caracterizaram a trajetória da Energia Eletromagnética (REM) com base nos diferentes tecidos que constituem a folha e assim diferentes respostas à radiação eletromagnética recebida do sol, cuja energia percorre meios compostos por água, ar, clorofila e membranas celulares das folhas (Figura 1).

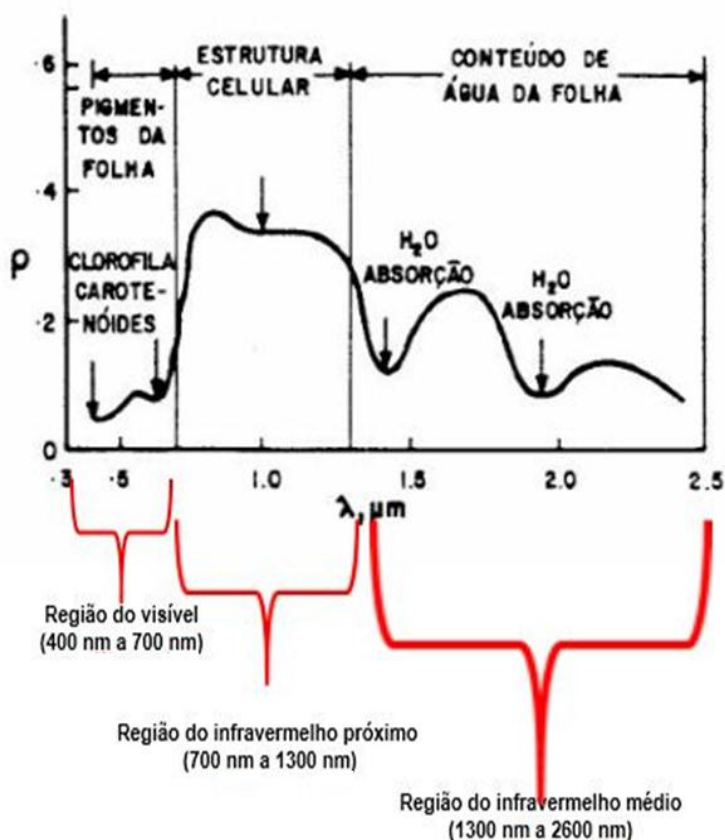


Figura 1: Curva da reflectância no espectro eletromagnético em uma folha verde.

Fonte: Adaptado de Novo, 1989.

Os principais aspectos relacionados ao comportamento espectral da folha, em cada uma destas regiões são:

a) Região do visível: Nesta região os pigmentos existentes nas folhas dominam a reflectância espectral e são mais absorvidos e espalhados dentro da própria folha, é nesta região que ocorre a fotossíntese, ocorrendo um pico de reflectância na região da banda correspondente ao verde.

b) Região do infravermelho próximo: Nesta região do espectro eletromagnético ocorre uma absorção pequena da REM. Essa região é que vai determinar a resposta da vegetação não sadia, ou seja, em estado de senescência, pois a ausência de água no corpo da folha favorece o espalhamento da radiação devido aos constituintes internos da folha, o que provoca o aumento da reflectância nessa região.

c) Região do infravermelho médio: é nessa região do espectro que vai determinar a resposta da folha com mais presença de água, nessa região do EEM o conteúdo de água presente na folha provoca dois picos de absorção da radiação nos canais centrados em 1400 nm e 1900 nm.

3.3. Índices de Vegetação

Os Índices de Vegetação (VI) são definidos por meio de uma equação matemática que associa dados radiométricos gerados pelos sensores remotos em forma de produtos. Os índices têm sido empregados em diversas aplicações de análises ambientais e estimativa relacionada ao estado da vegetação, pois o índice é relacionando diretamente com a saúde da vegetação, em termo de quantidade de umidade presente (JENSEN, 2009; ATZBERGER, 2013).

Existem atualmente diversos índices de vegetação que podem ser empregados para analisar a assinatura espectral da vegetação. Para tanto, utiliza-se especialmente a resposta nas regiões do visível e do infravermelho próximo. A resposta espectral capaz de conter a assinatura espectral da folha ocorre nessa faixa do vermelho e do infravermelho próximo, e é nessa região que ocorre 90% da variação da resposta espectral (TUCKER, 1979; JACKSON, 1983; ROSA, 2003).

O *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), no português Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, é o índice calculado a partir dos dados obtidos das porções da energia eletromagnética refletida pela vegetação nas bandas do vermelho e do Infravermelho próximo. É o índice mais utilizado, segundo a literatura

pertinente, para caracterizar a seca ou estresse hídrico da vegetação, sendo o índice ao qual se trata esse trabalho (ROUSE et al., 1974; MOREIRA, 2000).

O NDVI é calculado a partir da razão normalizada entre as bandas do infravermelho próximo e a banda do vermelho, variando entre -1 e 1. Os índices que se aproximam de 1 correspondem a áreas de vegetação, o índice próximo a zero corresponde a áreas com menos vegetação e áreas que absorvem toda a radiação (água) podem apresentar valores negativos (MENESES e ALMEIDA, 2012). A fórmula referente ao NDVI pode ser visualizada na Figura 2.

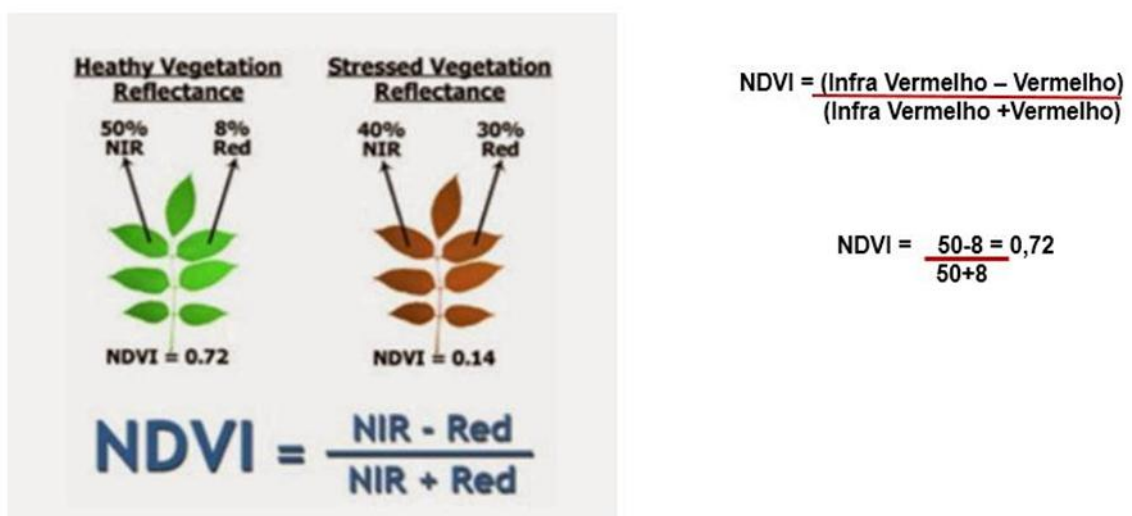


Figura 2: Ilustração para aplicação da fórmula de NDVI.

Fonte: Adaptado da imagem: <http://odis.ca/ndvi.html>

Assim, de acordo com a equação, obtém-se o índice de Vegetação Normalizada de 0,72. Entretanto, o NDVI não pode determinar a condição da vegetação caso não haja referência de valores extremos. Sendo assim, com base nessa constatação, Kogan (1995) desenvolveu o cálculo do Índice de Condição da Vegetação (VCI) que utiliza as informações dos Valores de NDVI. Os resultados do VCI são dados em valores de 0 a 100 expressos percentualmente e apresentam resultados diferentes de acordo com a quantidade de umidade presente na vegetação, conforme Equação 1.

$$VCI = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} * 100$$

Assim, os resultados considerados para classificar a condição da vegetação são: 0 a 20% (extremamente seco); 20 a 40% (seco); 40 a 60% (condição normal); 60 a 80% (condição boa); 80 a 100% (condição ótima).

4.MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

O estado de Minas Gerais está localizado na Região Sudeste do Brasil, é o maior em extensão territorial da Região Sudeste, com área de 586.521,235 Km², ocupando 6,9% do território brasileiro (Figura 3). O clima em Minas Gerais apresenta singular variabilidade, sendo desde clima do tipo Cwb, conforme classificação de Köppen (temperado com invernos frios e verões brandos) no Sul de Minas até BSw (caracterizado como semi-árido) no extremo norte e nordeste do estado (ANTUNES, 1986; IBGE, 2013).

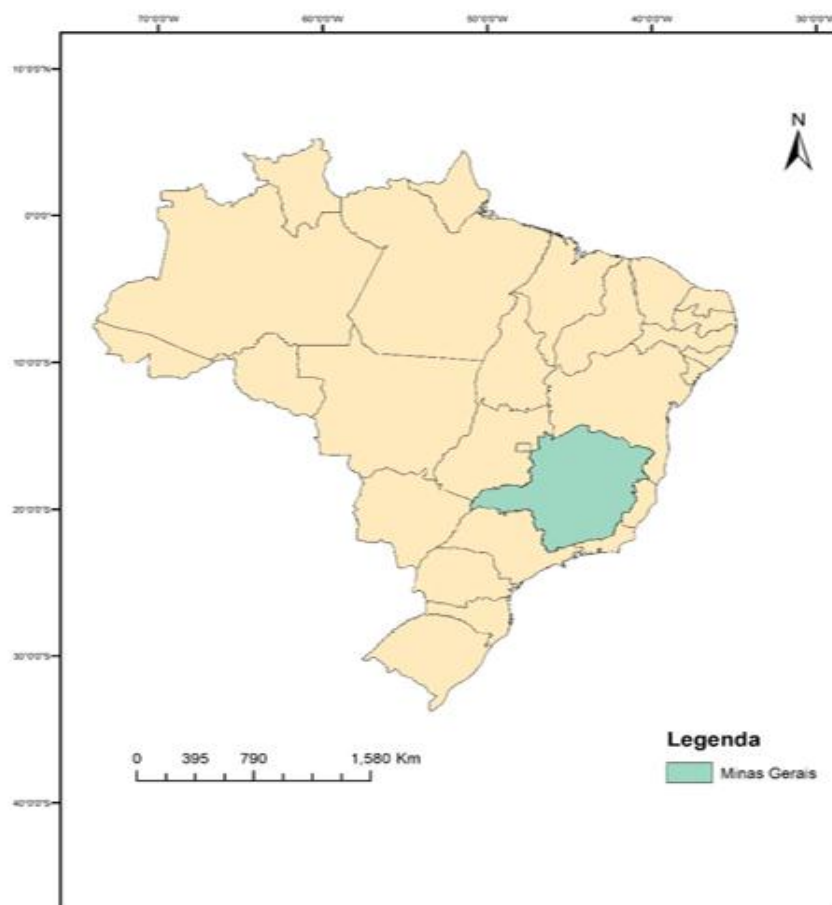


Figura 3: Área de estudo

Minas Gerais devido à heterogeneidade dos sistemas integrados entre relevo, clima e solo favoreceram a presença de três biomas brasileiros em sua extensão: o Cerrado, a Caatinga e a Mata Atlântica. Devido a essas características em seu território é possível encontrar uma significativa variação de domínios fitogeográficos (IEF, 2012).

O Cerrado é o bioma predominante do estado de Minas Gerais com cobertura aproximada de 50% da área total, apresenta vegetação composta por gramíneas, arbustos, árvores de porte pequeno a médio distribuídas de forma espaçada. O segundo maior bioma, em dimensão territorial, é da Mata Atlântica, sendo a porção remanescente da floresta ombrófila, com vegetação densa, mangues e restingas. A porção do bioma da Caatinga presente em Minas Gerais representa aproximadamente 3% da área territorial total, localizado ao norte do estado, e apresenta vegetação com características espinhosas, secas, com pouca folhagem e adaptadas à escassez de água (IBGE, 2004; IEF, 2012).

Em Minas Gerais, de acordo com estudos realizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o número de focos de incêndios florestais vem crescendo constantemente e atingindo dimensões significativas. A exemplo do ano de 2015, de acordo com o INPE, foram registrados 10.593 focos de incêndios detectados por satélite (Figura 4) cujo resultado é uma comparação entre os anos de 2000 a 2015 para o número de focos de incêndios no estado de Minas Gerais.

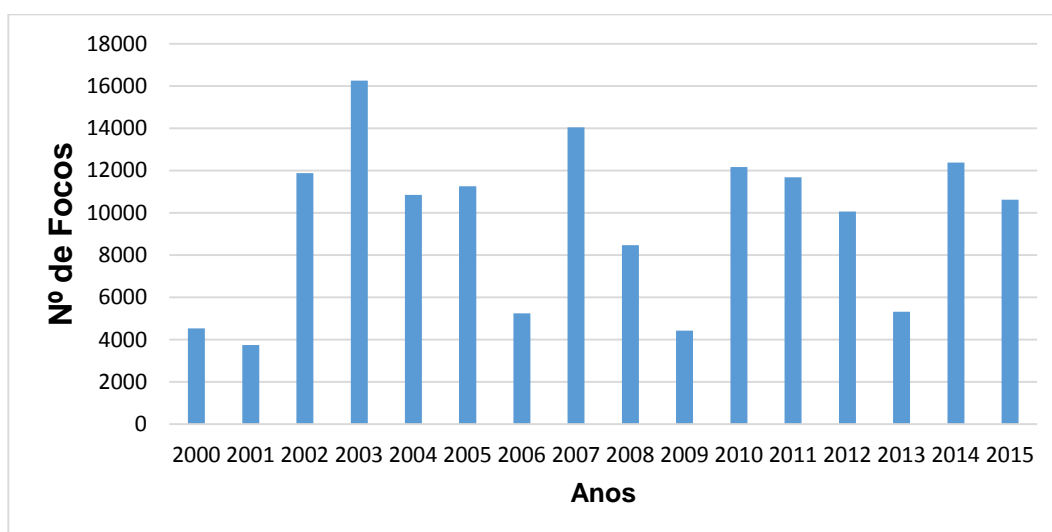


Figura 4: Total de focos detectados em Minas Gerais no período de 2000 a 2015.

4.2. Materiais

4.2.1. Produtos orbitais

Atualmente, estão disponíveis de forma gratuita produtos orbitais derivados de sensores a bordo de satélites específicos para análise ambiental. O *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) é um sensor a bordo de satélite Terra e Aqua que está em órbita geoestacionária e fornece produtos (dados) que permitem o monitoramento da dinâmica global, incluindo os índices de vegetação.

Os dados estimados pelo sensor são distribuídos gratuitamente pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Tratam-se de observações de toda a superfície terrestre adquiridas em 36 bandas, em diferentes grupos de resolução espacial, variam respectivamente de 250 metros, 500 metros e 1000 metros e a faixa imageada é de 2.330 km.

O Sensor MODIS abrange uma extensa gama de funções e se destaca dentre os sensores da plataforma Terra e Aqua por possuir características especiais para análise da cobertura espacial e espectral, pois foi projetado para corresponder às necessidades de estudos sobre atmosfera, oceano e terra (JUSTICE et al., 2002a).

4.2.2. MOD13A3

O produto MOD13 apresenta os produtos relativos aos índices de vegetação, dentre eles o NDVI. O produto MOD13A3 fornece valor do Índice de Vegetação (IV) com base no algoritmo gerado a partir do melhor pixel adquirido e o maior valor de NDVI para a mesma região para um período de 16 dias com resolução espacial de 1km. Ou seja, a partir de dados mensais, esse algoritmo processa várias composições e realiza um cálculo para a média mensal (SILVA, 2004).

4.2.3. MYD14 e MOD14

Os produtos MOD14 e MYD14 são provenientes do sensor MODIS e fornecem arquivos com dados referentes a queimadas. Denominados produtos de fogo, o MYD14 e o MOD14 são produtos que executam imageamento em bandas chamadas *Thermal Anomalies and Fire*. Os dados referentes a queimada são oriundos da plataforma Terra e recebem o prefixo MOD, os dados com prefixo MID são oriundos da plataforma Aqua, e ambos fornecem dados diários (GIGLIO, 2010).

4.2.4. The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)

Os dados de precipitação podem ser estimados por meio de medições meteorológicas e por meio de Sensoriamento Remoto. Os instrumentos voltados para a estimativa da precipitação por meio de sensoriamento remoto permitem além da integração de banco de dados, uma facilidade de acesso e atualização dos dados.

O *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) é um satélite que foi lançado em 1997 em uma missão em conjunta entre a NASA e a *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA) do Japão, com objetivo de monitorar, estudar e estimar a precipitação nos trópicos (ADLER et al, 2007).

As informações coletadas pelo satélite TRMM abrangem uma vasta área, compreendendo entre 50° N e 50° S. A resolução temporal se divide em três partes: horária (3B42), diária (3B42 derivada) e mensal (3B43). A resolução espacial para os três produtos é de 0,25 ° x 0,25 ° (0,25 m) e possui dois sensores principais: *Microwave Imager* (TMI) e o *Precipitation Radar* (PR) (COLLISCHONN et al., 2007).

4.3. Procedimentos Metodológicos

Os produtos MODIS são gerados em estrutura de Grade, com tamanho e área fixa. O recorte que representa cada cena de uma imagem denomina-se *tile*, e cada *tile* possui uma referência vertical e horizontal. Os *tiles* gerados pelo produto MOD13A3 são disponibilizados no *Hierarchical Data Format* (HDF) para agrupamento de resultados mensais.

Os dados referentes aos anos de 2000 a 2015 para Minas Gerais foram gerados a princípio na projeção Sinusoidal (SIN) e foram reprojitados por meio do aplicativo *Modis Reprojection Tool* (MRT), que modificou o formato computacional dos arquivos para *Tagged Image File Format* (TIFF), que permite a posterior modificação da projeção para LAT/LON com *Datum WGS84*.

Os dados de NDVI já com formatos modificados foram convertidos em um único arquivo META e inseridos no programa *Grid Analysis and Display System* (GrADS) que por meio de um script possibilitou a confecção de mapas com os dados do VCI.

Os dados para determinar os focos de queimadas detectados em Minas Gerais foram gerados para o período de 2002 até 2015, pois os produtos de fogo foram disponibilizados a partir de 2002.

A aquisição dos dados contendo as informações de queimadas ocorreu a partir do download em *File Transfer Protocol* (FTP), em português Protocolo de Transferência de Arquivos. Esses arquivos são disponibilizados gratuitamente no formato HDF, sendo necessária a aplicação de programas no *Interactive Data Language* (IDL), que é uma linguagem de programação usada para análise de dados, ou em FORTRAN, que é uma linguagem de programação utilizada para operações matemáticas para converter o formato original dos arquivos em formato *American Standard Code for Information Interchange* (ASCII), contendo as mesmas informações presentes nos produtos em HDF (PEREIRA, 2010).

5. RESULTADOS

Primeiramente, serão apresentados os resultados sobre a precipitação acumulada gerados pelo TRMM uma vez que, a precipitação foi a variável que determinou os outros resultados. Posteriormente serão apresentados os resultados obtidos com a aplicação da equação de VCI através do Índice de NDVI para o estado de Minas Gerais. A seguir, serão apresentados os mapas com espacialização dos focos de queimadas para Minas Gerais obtidos por meio dos produtos orbitais. Os resultados que possibilitaram a correlação entre o VCI, a precipitação acumulada e os focos detectados.

5.1. Precipitação acumulada

O índice de precipitação acumulada para a série 2000/2015 foi baseada em estimativas de precipitação por sensoriamento remoto e apresentou considerável variação entre os anos. Desta forma, percebe-se o ano de 2009 com maior índice no volume de precipitação e o ano de 2014 com menor índice, sendo que esses anos também foram os que apresentaram valores mais extremos também nos mapas de VCI e de focos ativos de incêndios. Os índices de precipitação são de grande relevância para o estudo da condição da vegetação, segundo estudos realizados por

Jackson (2005), os dados de precipitação adquiridos pelo TRMM relacionados ao Índices de Vegetação enfatizam a condição da vegetação e à sua susceptibilidade aos incêndios. Assim, a correlação desses diferentes dados potencializa a eficácia dos métodos utilizados.

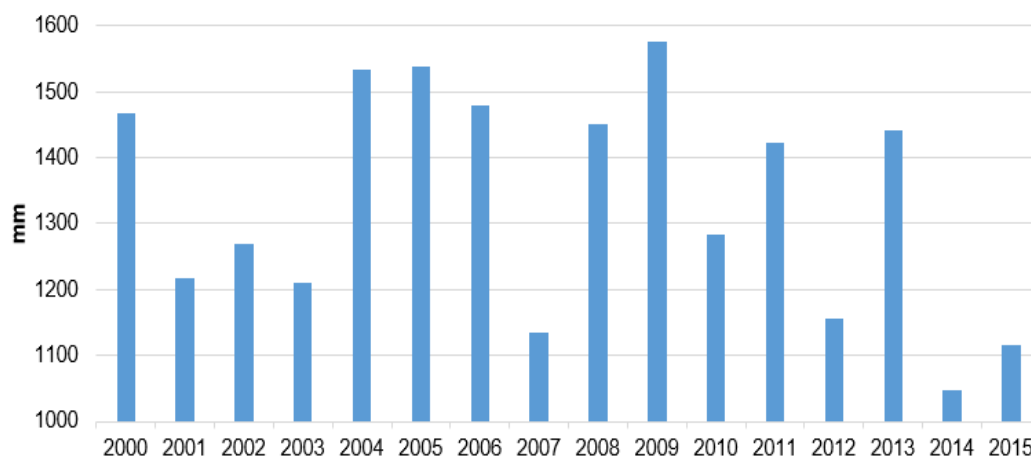


Figura 5: Precipitação acumulada para Minas Gerais de 2000 a 2015.

5.2. Índices de vegetação

A partir do produto MOD13A3 foi possível a composição de mapas com valores de Índice de Vegetação para a área de estudo. Notou-se um bom desempenho do produto para apresentar a diferença do comportamento fenológico da vegetação. Entretanto, para uma melhor precisão, optou-se por gerar também uma comparação para o ano de 2015 para o período chuvoso e seco (Figura 5) com a finalidade de comprovação da eficácia do produto.

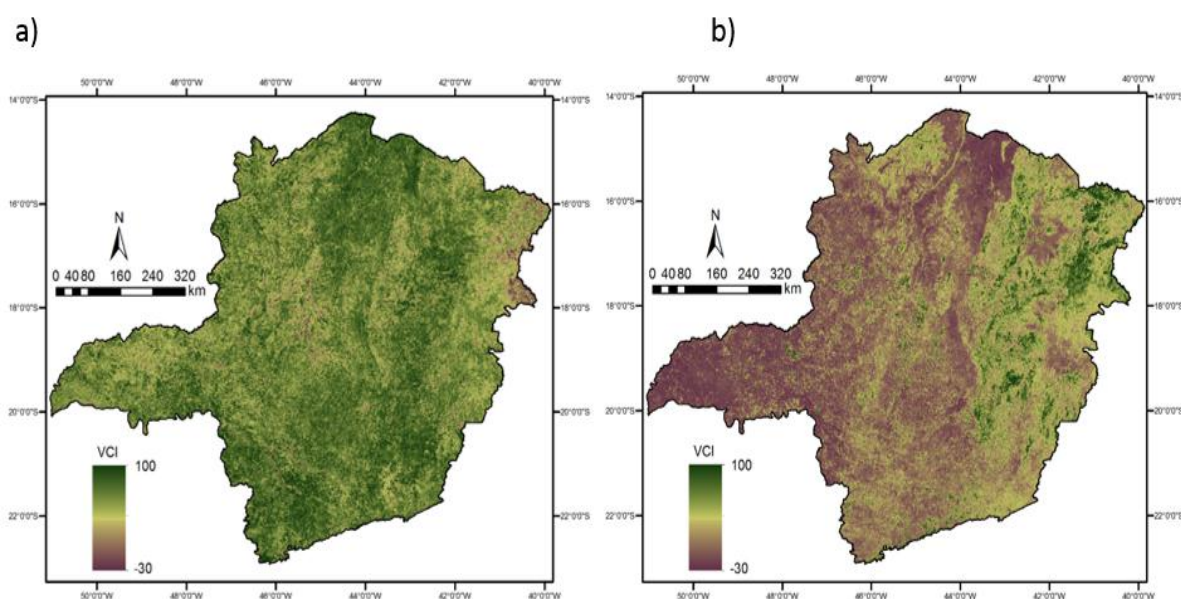


Figura 6: Variação de VCI para o ano de 2015. Período seco (b) e chuvoso (a).

De acordo com os mapas de VCI para o anos de 2015, a resposta espectral da vegetação para a época chuvosa no estado de Minas Gerais, apresenta-se com os tons acentuados de verde no mapa. Dessa maneira, no mapa seguinte, a partir de dados obtidos em período de seca, o estado da vegetação em síntese apresentou a resposta acentuada em tons de bege a magenta denotando vegetação com menos umidade.

Ao analisar os mapas de VCI para os anos de 2000 a 2005 é possível perceber que o resultado na variação na resposta espectral é visível (Figura 6). Comparando o resultado da média de VCI e sua correlação com a precipitação acumulada para os anos de 2001, 2002 e 2003 observa-se a diferença na tonalidade em algumas áreas de Minas Gerais. No ano de 2003, o cenário observado traz uma vegetação bastante seca ao longo do ano, portanto com VCI bem baixo, representado pela cor mais clara. A precipitação acumulada para 2003 teve índice significativamente baixo e, conseqüentemente, pouca acumulação hídrica pela vegetação, o que a deixou mais susceptível aos incêndios

Em relação aos anos de 2004 e 2005, o mapa retrata uma variação maior de VCI, principalmente para o ano de 2004, em que a resposta espectral da vegetação foi de baixa reflectância, sinalizando uma vegetação com umidade superior à observada nos

anos anteriores, pois em vegetação úmida ocorre maior absorção da energia recebida. Esse resultado é confirmado ao se analisar os dados da precipitação acumulada para o ano de 2004, que foi expressivamente mais alta, sendo uma precipitação acumulada de aproximadamente 1533.45 mm.

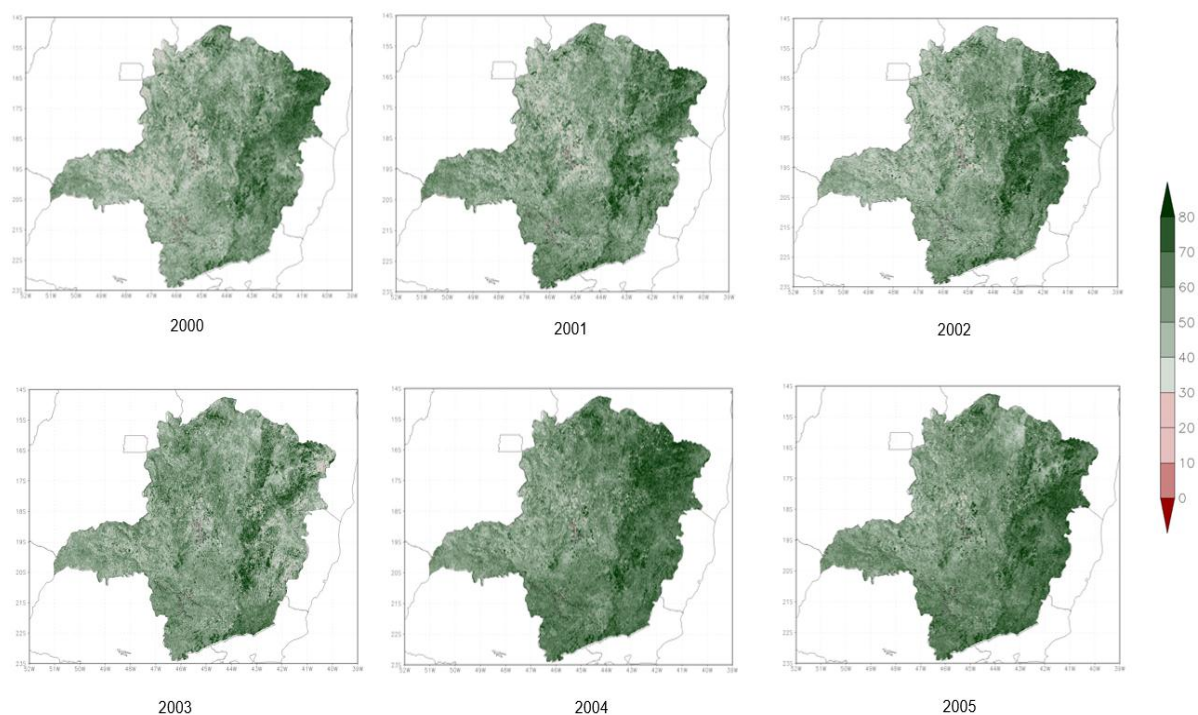


Figura 7: Média anual do VCI para MG estimada pelo sensor MODIS nos anos de 2000 a 2005.

Os resultados dos mapas de VCI para os anos de 2006 a 2011 (Figura 7), apresentaram uma variação significativa dentro do período. Observando o resultado do VCI para 2007 e 2009, percebe-se que o ano de 2007 apresentou baixo índice e assim tonalidades mais claras, ou seja, a vegetação em condição de pouca umidade. O ano de 2009 apresentou resultado oposto para o VCI de 2007, sendo que em relação à precipitação acumulada, foi o ano que mais choveu, e conseqüentemente a resposta espectral da vegetação ao imageamento dos sensores foi de uma vegetação com mais presença de água em sua estrutura foliar.

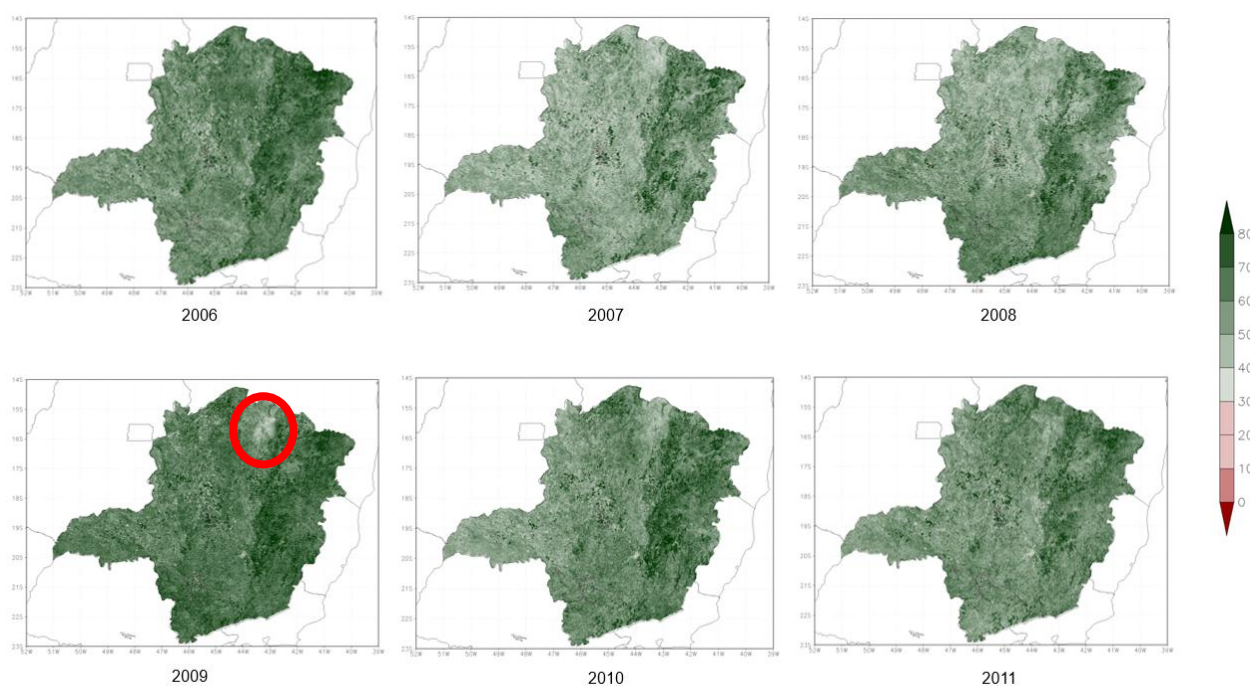


Figura 8: Média anual do VCI para MG estimados pelo sensor MODIS de 2006 a 2011.

Para os anos de 2012 a 2015 (Figura 8) o mapa de VCI pode comprovar a eficácia da ferramenta para o objetivo proposto. A diferença no resultado foi evidenciada e notada claramente nas distintas tonalidades apresentadas no mapa. Nota-se que a porção do bioma Caatinga ao norte do mapa, marcado com círculo em vermelho, apresentou baixo VCI, onde a região apresenta vegetação com características mais secas e adaptadas ao estresse hídrico.

O ano de 2014 foi o ano com menor índice de precipitação durante todo o período de estudo (2000 a 2015), nota se no mapa para o ano que a vegetação apresentou menor umidade em quase todo o estado. Esse resultado corrobora com a realidade do problema de escassez hídrica que ocorreu no país, e conforme os dados da Agência Nacional de Água (ANA) 55% dos municípios brasileiros sofreram algum tipo de déficit de abastecimento em 2014 e 2015. O resultado foi o colapso no abastecimento de grandes cidades e mudanças nos valores cobrados por energia elétrica.

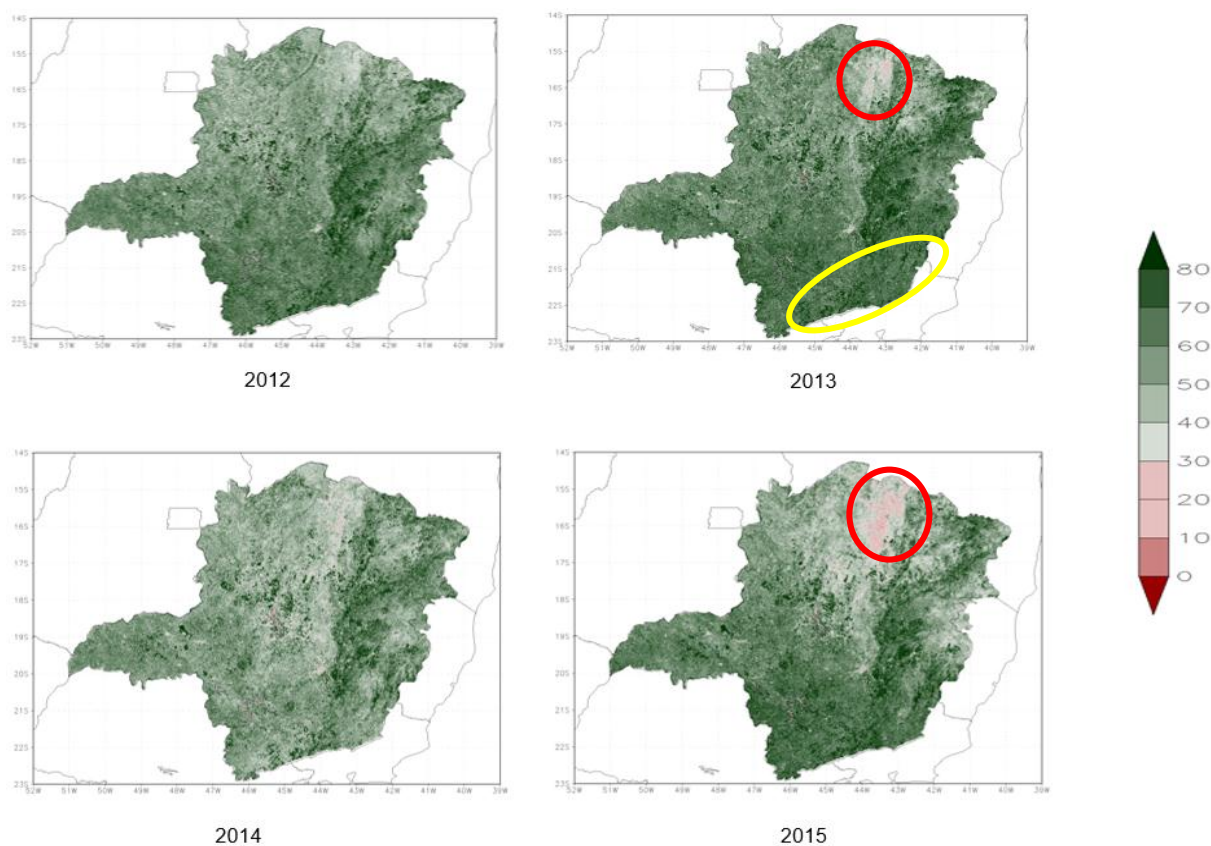


Figura 9: Média anual do VCI para o de MG estimados pelo sensor MODIS de 2012 a 2015.

Vale ressaltar que a análise dos mapas que foram obtidos a partir do VCI confirma a diferença de vegetação entre os biomas presentes no território de Minas Gerais. Nota-se a diferença da condição da vegetação na porção da Caatinga em destaque na figura 8 por círculos vermelhos e na porção do Bioma de Mata Atlântica, destacado no mapa por círculo amarelo. O VCI para áreas em amarelo apresentou alto índice em todos os mapas, trata-se de uma região com alto índice pluviométrico resultando numa vegetação densa e remanescentes de floresta.

5.3. Focos de queimadas estimados com base nos produtos MODIS

A espacialização dos focos de queimadas é importante para localizar as áreas onde houveram recorrência de focos. Sendo assim, esses resultados permitem pontuar as ocorrências, observar a dinâmica das queimadas, estimar as consequências e possibilitam comparações temporais e elaboração de estratégias

emergenciais e mitigatórias. Para espacializar os focos no estado de Minas Gerais, foram gerados mapas anuais com a soma dos resultados mensais dos focos obtidos pelos sensores termais.

O resultado de cada mapa de focos pode ser relacionado diretamente com o resultado do VCI e a precipitação acumulada para cada ano, cujo resultado de aumento de número de focos coincidiu com o resultado de baixo VCI e pouca precipitação para o ano. A Figura 9 mostra os mapas de focos detectados para os anos de 2002 a 2007. Observa-se que há uma recorrência significativa na porção norte do Estado para todos os anos, e ao se comparar os resultados dos anos de 2003, 2006 e 2007, nota-se que 2003 e 2007 foram os anos com maior registro de focos de queimadas.

Para a série temporal do estudo, o ano de 2003 foi o ano com maior número de registros de focos, totalizando em torno 16.247. O ano de 2007 foi o segundo com total de 14.036 focos de incêndio e o ano de 2006 apresentou um dos menores totais de registros detectados, 5.241.

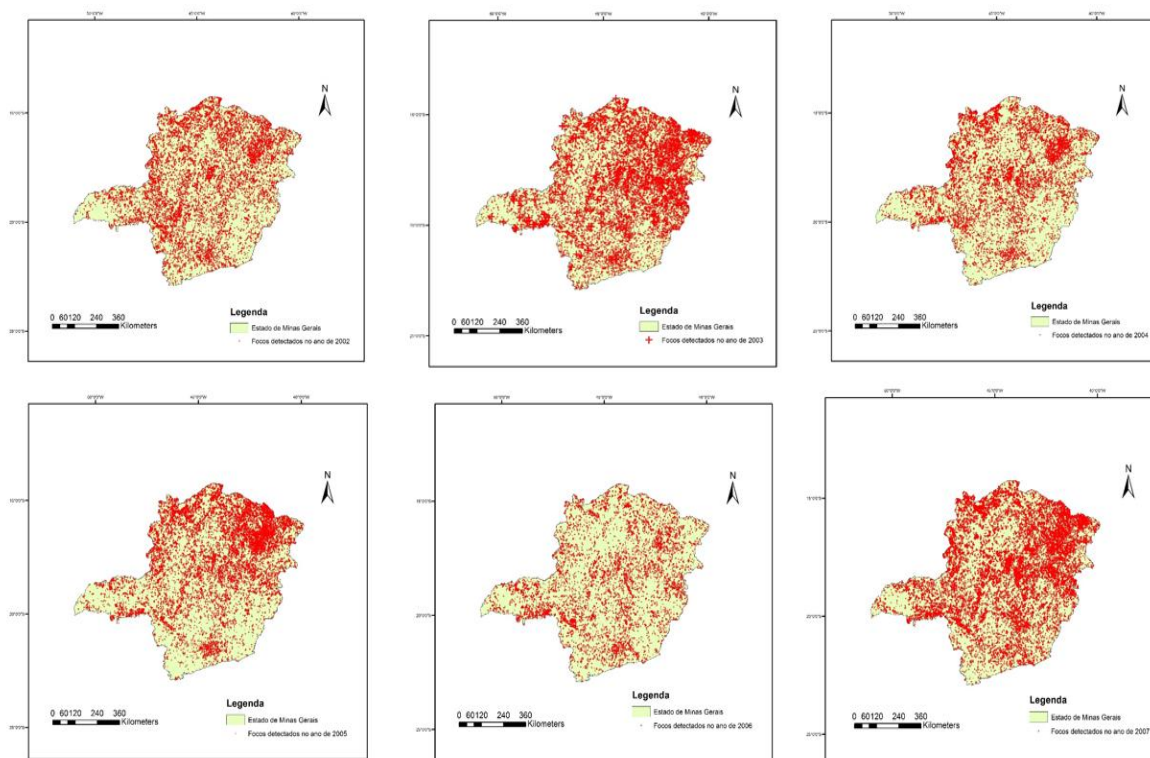


Figura 10: Distribuição espacial dos focos de queimada estimados pelos sensores MODIS (2002 a 2007)

Os mapas da Figura 10 mostram os focos de queimadas para os anos de 2008 a 2013. O ano de 2009 apresentou menor número de registros de focos para o estado. Nota-se que os maiores índices de incêndios ocorrem na porção onde a vegetação apresenta característica do bioma Caatinga. Assim, os focos de incêndios foram mais recorrentes ao Norte de Minas Gerais para todos os mapas.

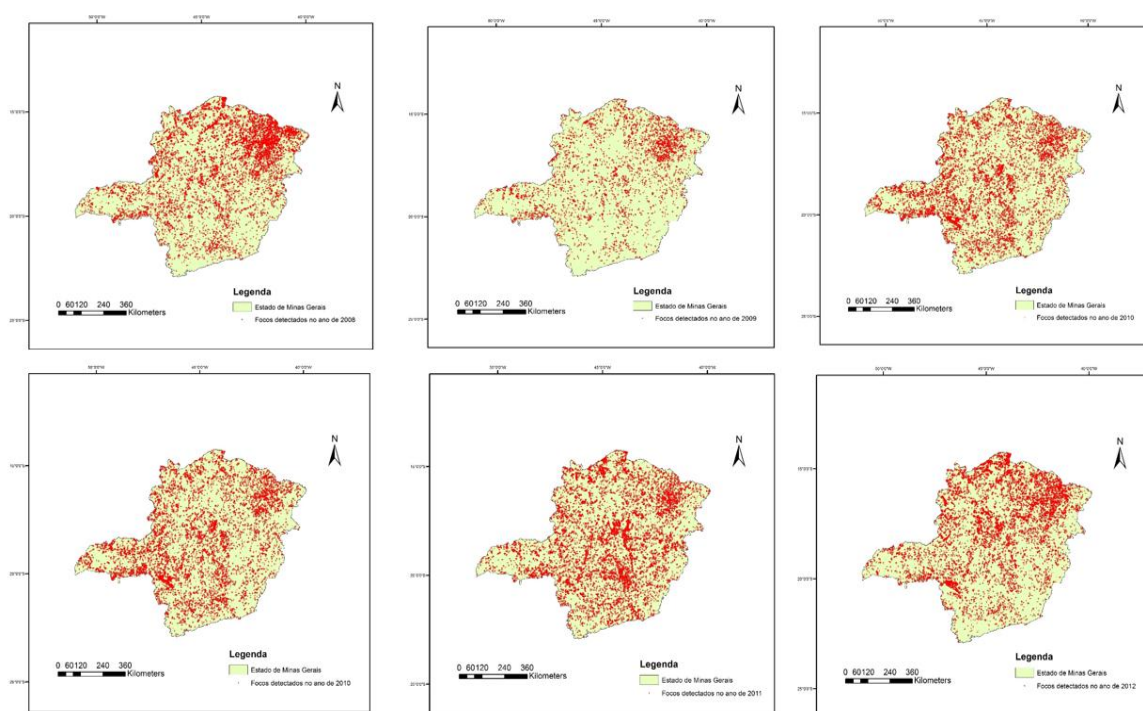


Figura 11: Distribuição espacial dos focos de queimada estimados pelos sensores MODIS (2008 a 2013).

Os anos de 2014 e 2015 foram anos que apresentaram registros elevados de focos, conforme pode ser visualizado na Figura 11. O ano de 2014 foi o ano que apresentou menor índice de precipitação acumulada e conseqüentemente baixos índices de VCI.

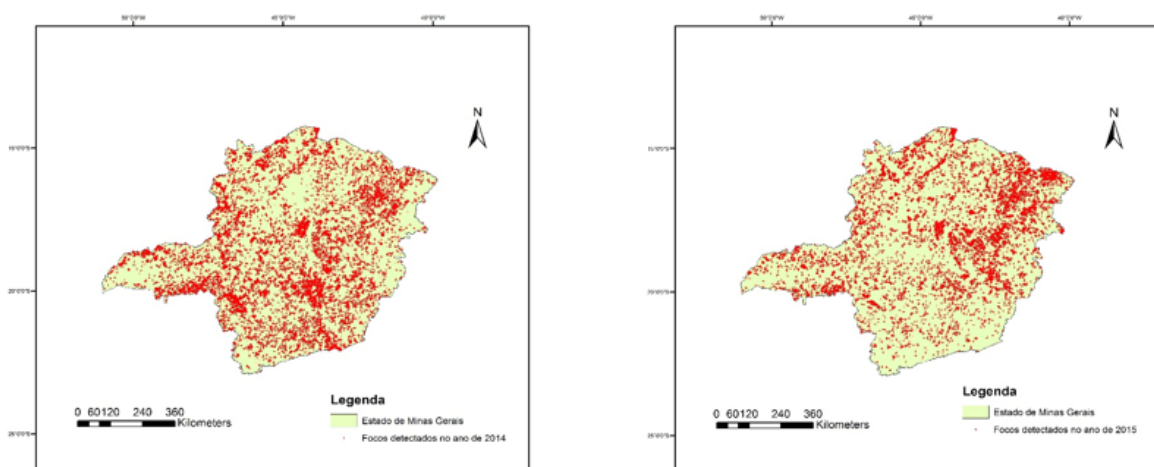


Figura 12: Distribuição espacial dos focos de queimada estimados pelos sensores MODIS (2014 a 2015)

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho teve como foco principal discutir a viabilidade do uso do sensoriamento remoto para estimar a susceptibilidade da vegetação a incêndios florestais. Os resultados obtidos mostraram que a utilização do sensoriamento remoto para estimar a susceptibilidade da vegetação à queima foi eficaz para elaboração do NDVI e VCI. Ao se utilizar os produtos MODIS para análise do VCI, foi possível cumprir o objetivo desse trabalho.

Geograficamente, essa ferramenta possibilita avaliar regiões de difícil acesso de forma rápida e com baixos custos. Ao se correlacionar resultados de diferentes análises como dados de VCI, precipitação e os dados de focos de fogo, foi possível confirmar os resultados.

O trabalho possibilitou a caracterização da vegetação em condições úmidas ou secas, portanto a maior propensão da vegetação à inflamabilidade na ausência ou diminuição da água em sua estrutura. Dessa maneira, a condição da vegetação é um fator de grande relevância para planejamento de ações de monitoramento, possibilita análise antecipada e assim planejamento de medidas preventivas a fim de evitar prejuízos tanto ambientais quanto econômicos.

7. REFERÊNCIAS

ADLER, R. et al. **Tropical Rainfall Measuring Mission, TRMM, Senior Review Proposal**. Laboratory for Atmospheres, NASA Goddard Space Flight Centre, Greenbelt, MD, USA, 2007.

ATZBERGER, Clement. **Advances in remote sensing of agriculture: Context description, existing operational monitoring systems and major information needs**. Remote Sensing, v. 5, n. 2, p. 949-981, 2013.

ANTUNES, F.Z. **Caracterização climática do estado de Minas Gerais: climatologia agrícola**. Informe Agropecuário, v.12, p.9-13, 1986

ANDERSON, L. O., Latorre, M. L., Shimabukuro, Y. E., Arai, E., & Carvalho Júnior, O. D. - **Sensor MODIS: uma abordagem geral**. São José dos Campos: INPE, 2003. aplicação. 2 ed. São José dos Campos: UFV, 2004. 250p.

COLLISCHONN, Bruno et al. **Desempenho do satélite TRMM Na estimativa de precipitação sobre a bacia do Paraguai superior**. Revista Brasileira de Cartografia, v. 59, n. 1, p. 93-99, 2007

FERRI, M. G. **Botânica: morfologia interna das plantas: anatomia**. 9. ed. São Paulo: Nobel, 1984. 113 p

IEF - Instituto Estadual de Florestas. Minas Gerais: IEF, 2012. **Cobertura vegetal de Minas Gerais**. Disponível em: <http://www.ief.mg.gov.br/florestas>. Acesso em 15 julho 2016.

GIGLIO, Louis. **MODIS collection 5 active fire product user's guide version 2.4**. Science Systems and Applications, Inc, 2010.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de Biomas e de Vegetação.2004**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>. Acesso em: 13 out. 2016

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Banco de dados por Estado 2013**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil=mg>. Acesso em: 12 out. 2016.

INPE-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Programa de Queimadas**. Monitoramento por satélite. Disponível em: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas>. Acesso em de 12 out. 2016

JACKSON, R.D. **Spectral indices in n-space**. RemoteSensing of Environment, v.13, p.409-421, 1983.

JACKSON, T. Passive microwave remote sensing of soil moisture and regional

drought monitoring. In: **Predicting Agricultural Drought: A Global Study**. Oxford University Press, 2005. cap. Passive Mi, p. 897

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2a ed., 598 p., 2009.

JUSTICE, C. O. et al. **The MODIS fire products**. Remote Sensing of Environment, v. 83, n. 1, p. 244-262, 2002a.

JUSTICE, C. O. et al. **An overview of MODIS Land data processing and product status**. Remote Sensing of Environment, v.83, 2002b.

KOGAN, F. N. Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar-orbiting satellitedata. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 76, n. 5, p. 655-668, 1995.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. D. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília: Universidade de Brasília, 2012.

MOREIRA, R. C. **Influência do posicionamento e da largura de bandas de sensores remotos e dos efeitos atmosféricos na determinação de índices de vegetação**. INPE- São José dos Campos, SP, 2000.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 3ª Edição. Viçosa: Editora UFV, 2004. 319 p.

MÜLLER, M. M., et al.: **Analysis of lightning-induced forest fires in Austria. Theoretical and Applied Climatology**. 111, 183e193. Geography, v. 53, p. 258-270, 2012.

NOVO, E.M.L. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São José dos Campos, SP: E. Blücher, 1989. 308 p.

PEREIRA, Gabriel et al. **O uso da energia radiativa do fogo para estimar as emissões de queimadas para a América do Sul**. Revista Brasileira de Geofísica, v. 28, n. 2, p. 155-164, 2010

PONZONI, F.J.; Disperati, A.A. **Comportamento espectral da vegetação**. São José dos Campos: INPE, 1995, 37p.

PONZONI, Flávio Jorge. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação: diagnosticando a mata atlântica**. São José dos Campos, Brasil: INPE, 2002.

PONZONI, F. et al.: **Sensoriamento remoto no Estudo da vegetação**. São José dos Campos. SP: A. Silva Vieira Ed, p. 63, 2008.

ROCHA, C.H.B. **Geoprocessamento: Tecnologia Transdisciplinar**. Juiz de Fora: Ed. Do Autor, 2000.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. Uberlândia: EDUFU, 2003. 288 p.

ROSENDO, Jussara dos Santos. **Índices de Vegetação e Monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na Bacia do rio Araguari-MG-utilizando dados do sensor Modis**. Mestrado em Geografia e Gestão do Território-Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.

ROUSE, J.W.; et al.: **Monitoring vegetation systems in the great plains with**. In: Earth Resources Technology Satellite –1974, Washington: [s.n.], 1974, v.1, p. 309-317.

SETZER, A. et al.: **Estimativa quinzenal de áreas queimadas**. In: RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; CEBALLHOS, J. C. **Sensor Modis e suas Aplicações Ambientas no Brasil**. São José dos Campos, 2007. 448 p.

SILVA, A. A. **Uso de dados MODIS para o monitoramento ambiental nos Cerrados: Um estudo a partir de dados MOD13Q1 realçados através de um modelo de mistura espectral**. Dissertação de Mestrado, Goiânia. 2004.

SOARES, R.V. **Incêndios florestais – controle e uso do fogo**. Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, Curitiba: FUPEF, 1985, 213 p

TUCKER, Compton J. **Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation**. Remote sensing of Environment, v. 8, n. 2, p. 127-150, 1979.

VELOSO, H. P *et al.* **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE 2012

WILLSTÄTTER, Richard; STOLL, Arthur. Über Peroxydase. **Justus Liebigs Annalen der Chemie**, v. 416, n. 1, p. 21-64, 1918.