

Revista Brasileira de Cartografia (2014) N<sup>o</sup> 66/3: 705-716  
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto  
ISSN: 1808-0936

## **AVALIAÇÃO DAS ÁREAS QUEIMADAS NO ESTADO DE RONDÔNIA-AMAZÔNIA BRASILEIRA**

*Evaluation of Biomass Burning Areas in Rondônia State-Brazilian Amazon*

**Francielle da Silva Cardozo<sup>1</sup>; Gabriel Pereira<sup>2</sup>; Yosio Edemir Shimabukuro<sup>1</sup>  
& Elisabete Caria Moraes<sup>1</sup>**

**<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE  
Divisão de Sensoriamento Remoto - DSR**

Avenida dos Astronautas, 1758, Jardim da Granja, São José dos Campos/SP, Brasil. Cep: 12227-010  
{cardozo, yosio, bete}@dsr.inpe.br

**<sup>2</sup>Universidade Federal de São João del-Rei – UFSJ  
Departamento de Geociências - DEGEO**

Avenida Visconde do Rio Preto, s/n, Colônia do Bengo, São João del-Rei/MG, Brasil. Cep: 36301-360  
pereira@ufsj.edu.br

*Recebido em 08 de Fevereiro, 2014/ Aceito em 10 de Maio, 2014  
Received on February 08, 2014/ Accepted on May 10, 2014*

### **RESUMO**

O objetivo deste trabalho consistiu na análise espacial e temporal das queimadas no Estado de Rondônia no período de 2000 a 2011 em imagens de reflectância da superfície (MOD09GA e MOD09GQ) do sensor MODIS. Na etapa de pré-processamento foi realizada a conversão dos dados em formato *Hierarchical Data Format* (HDF) para geotiff a partir do aplicativo *MODIS Reprojection Tool* (MRT), onde foram realizados os mosaicos e o recorte da área de estudo. Na etapa de processamento foi utilizado o Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) a partir do *Interactive Data Language* (IDL) do programa *Environment for Visualizing Images* (ENVI), e posteriormente as imagens referentes à fração sombra foram inseridas no Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING) e segmentadas (similaridade 12 e área 20), realizando a edição topológica para evitar eventuais erros decorrentes da segmentação, gerando os mapas anuais das queimadas do Estado de Rondônia. Ainda, utilizaram-se os mapas de vegetação do IBGE (2004) e de uso da terra do IBGE (2012), além dos dados do Programa do Cálculo do Desflorestamento da Amazônia (PRODES), para analisar e verificar a ocorrência das queimadas em áreas desmatadas e sua relação com a vegetação original. Percebeu-se que as queimadas apresentam uma acentuada variabilidade anual no Estado de Rondônia, com destaque para os anos de 2005 e 2010, relacionados com eventos extremos de seca ocorridos na Amazônia. Ainda, é possível detectar que a maioria das queimadas são compostas pela presença de pequenas cicatrizes, com tamanho entre 20 e 80 hectares (64% das ocorrências), e que as queimadas nem sempre estão associadas com as áreas de desmatamento recente, com apenas 6,5% das ocorrências. Entre a classe de uso da terra mais afetada pelas queimadas pode-se citar as áreas de extrativismo vegetal, áreas de pecuária de animais de grande porte e cultivos permanentes diversificados. Desta forma, pode-se concluir que as queimadas em Rondônia ocorrem, na maioria dos casos, em áreas que já possuem algum tipo de uso, principalmente para a manutenção e abertura de novas áreas para a agropecuária.

**Palavras chaves:** Queimadas, Rondônia, MODIS, MLME.

## ABSTRACT

The objective of this work is the spatial and temporal analysis of fires in Rondônia State for 2000 to 2011 time period in surface reflectance images of MODIS sensor products (MOD09GA and MOD09GQ). The preprocessing step consisted in the conversion of Hierarchical Data Format (HDF) in Geotiff format with MODIS Reprojection Tool (MRT) application, where the mosaics and subset of the study area was originated. In processing step we used the Linear Spectral Mixture Model (LSMM) implemented in the Interactive Data Language (IDL) of Environment for Visualizing Images (ENVI) program. Moreover, the shade fraction images, resulted from LSMM, were inserted in Georeferenced Information Processing System (SPRING) and segmented (similarity 12 and area 20), then, the topological editing was performed to avoid errors resulted from segmentation, generating annual fires maps of Rondônia State. Still, the vegetation map from IBGE (2004) and land use map of IBGE (2012) were used, in addition we used the Program for Deforestation Assessment in the Brazilian Legal Amazonia (PRODES) to analyze and verify the occurrence of fires in deforested areas and its relation with original vegetation. The results indicate that fires present an annual variability in Rondônia State, especially for 2005 and 2010 years, related to extreme drought events that occurred in Amazon region. Moreover, it is possible to detect that most of burned areas are composed by the presence of small scars, with size between 20 and 80 hectares (64% of cases) and the fires are not always associated with areas of recent deforestation, with only 6.5% of cases. Among the land use class most affected by fires we can cite the plant extraction areas, large livestock areas and permanent crops areas. In this context, we can conclude that burning in Rondônia occurs, in most cases, in areas that already presents some type of use, especially for the maintenance and opening of new areas for agriculture and livestock.

**Keywords:** Biomass Burning, Rondônia, MODIS, MLME.

## 1. INTRODUÇÃO

As queimadas podem ser consideradas como um fenômeno global, utilizadas como a principal prática de manejo no uso e cobertura da terra no Brasil. O principal campo de atuação das queimadas ocorre em atividades ligadas à agropecuária, à abertura e manutenção de pastos, ao desmatamento, ao controle de pestes, entre outros, representando uma das mais importantes ações de conversão da cobertura vegetal em áreas antropogênicas (SAMPAIO *et al.*, 2007; CARDOSO *et al.*, 2008; MARENGO *et al.*, 2010).

Na região Amazônica, o processo de produção e expansão agropecuária e os desmatamentos são realizados principalmente a partir da queima da biomassa. Para facilitar o processo de combustão, as florestas são derrubadas alguns meses antes da queima, sendo que o período de atuação ocorre anualmente durante a estação seca, entre os meses de junho a outubro. Nesta época a vegetação está mais suscetível à propagação do fogo, principalmente pelo clima seco e pela baixa umidade da vegetação, consequentemente, o início e a manutenção de uma queimada são influenciados por fatores como o tipo de biomassa, a temperatura do ar, a umidade e os ventos (CRUTZEN e ANDREAE, 1990; FREITAS *et al.*, 2005; WERF *et al.*, 2006;

FEARNSIDE *et al.*, 2009).

Os efeitos de uma queimada dependerão da sua intensidade, duração e extensão, assim como da época do ano em que a mesma ocorre. Desta forma, uma queimada pode ser benéfica ou destrutiva para a vegetação, uma vez que determinado tipo de ecossistema pode retornar mais vigorosos, enquanto que outros ecossistemas são totalmente destruídos (COCHRANE, 2009). Consequentemente, na região Amazônica, as práticas que envolvem a queima da biomassa provocam diversos impactos no ambiente, principalmente com o empobrecimento e erosão do solo, aumento do escoamento superficial, destruição da flora e fauna e mudanças no clima regional, local e global, devido a liberação de gases traço e aerossóis, causando modificações na química da atmosfera e, consequentemente, modificando o balanço de energia (GIGLIO *et al.*, 2006; WERF *et al.*, 2006; FEARNSIDE *et al.*, 2009).

O reconhecimento da queima da biomassa como importante agente modificador da superfície originou uma maior demanda de dados necessários à modelagem ambiental. Neste contexto, os dados provenientes do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) dos satélites Terra e Aqua, com uma alta resolução temporal, proporcionaram uma nova perspectiva para a detecção e o monitoramento e

de queimadas (JUSTICE *et al.*, 2002; ROY *et al.*, 2002; ZHAN *et al.*, 2002), pois apresentam uma série de características aprimoradas em relação a outros sensores, como, por exemplo, uma melhor resolução espectral e radiométrica e uma melhor resolução espacial nas bandas espectrais da região do visível e infravermelho próximo e médio (comparados à satélites geoestacionários) (JUSTICE *et al.*, 2002).

Assim, verifica-se que o mapeamento das áreas queimadas se torna fundamental para a obtenção de estimativas mais precisas das alterações ambientais decorrentes deste fenômeno, além de permitir o monitoramento das mudanças no uso e cobertura da terra e fornecer os dados de entrada necessários para a representação das características físico-químicas e biológicas nos modelos atmosféricos (ZHAN *et al.*, 2002).

Desta forma, os dados provenientes de satélites são cada vez mais utilizados nos estudos envolvendo as queimadas, tanto para a identificação quanto para o seu monitoramento em diversas escalas, principalmente devido ao custo relativamente baixo, quando comparado com métodos convencionais. Assim, o Sensoriamento Remoto pode ser utilizado para uma grande variedade de estudos que envolvem a queima de biomassa, como a detecção de focos ativos, estimativa de área queimada, estudo dos padrões de incêndios, estimativa da severidade do fogo, análise de regeneração da vegetação e previsão de riscos (FREITAS *et al.*, 2005; MIGUEL *et al.*, 2010).

Neste contexto, o mapeamento das áreas queimadas pode ser realizado de forma rápida e eficaz a partir da aplicação do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME). Neste modelo, os alvos de baixa reflectância das imagens, como as áreas queimadas, serão realçados na fração sombra, e quando a cicatriz de queimada permanece por tempo considerável no solo, a eficiência na separação dos alvos aumenta, facilitando o mapeamento. Ainda, a segmentação é aplicada de forma muito rápida nas imagens fração sombra, fator essencial principalmente quando se trabalha com uma extensa série temporal de dados.

Dadas às circunstâncias acima descritas, o objetivo deste trabalho consistiu na análise espacial e temporal das queimadas para o Estado

de Rondônia, Amazônia Brasileira, no período de 2000 a 2011, a partir do mapeamento utilizando o MLME em imagens de reflectância da superfície (MOD09GA e MOD09GQ) do sensor MODIS. Ainda, foi analisado o impacto ocorrido na vegetação original devido à substituição por outros usos, e os resultados dos mapeamentos foram comparados com dados de desmatamento do PRODES e com uso da terra atual do IBGE, com o intuito de analisar a ocorrência das queimadas nessas áreas.

## 2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo abrange o Estado de Rondônia, localizado nas coordenadas geográficas 09°45' e 8°00' de latitude sul; 66°50' e 59°50' de longitude oeste, conforme Figura 1. O Estado possui área total de 237.576 Km<sup>2</sup>, fazendo divisa com o Estado do Amazonas à norte, Acre à oeste, Mato Grosso à leste e sul e com a Bolívia à oeste e sul.

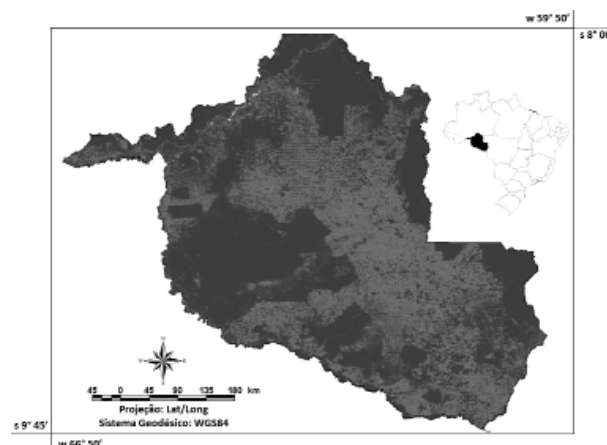


Figura 1 - Localização da área de estudo.

A vegetação original de Rondônia, segundo dados de IBGE (2004), apresenta seis Regiões Fitoecológicas: Floresta Ombrófila Densa (Floresta Tropical Pluvial), Floresta Ombrófila Aberta (Fasciações da Floresta Ombrófila Densa), Floresta Estacional Semidecidual (Floresta Tropical Subcaducifolia), Áreas das Formações Pioneiras (Sistema Edáfico de Primeira Ocupação), Savana (Cerrado) e Áreas de Tensão Ecológica (Contatos entre Tipos de Vegetação) (IBGE, 2004).

Em relação à ocupação do Estado de Rondônia, vários fatores foram determinantes para este propósito, principalmente a partir da década de 1960, com o estabelecimento

de leis que promoveram o desenvolvimento sócio-econômico da Amazônia brasileira. Neste conjunto de leis, surgiram planos para a inserção da agricultura, iniciando então o processo de intervenção antrópica sobre a floresta (Silva *et al.*, 2005).

Neste contexto, a política de colonização implantada na época atraiu a população para o Estado de Rondônia, proporcionando o maior crescimento populacional do país na década de 80, com um aumento de 324%, e dentre as políticas de ação que ocasionaram o interesse migratório, pode-se ressaltar o crescimento da indústria madeireira, que aliadas às melhorias nas estradas propiciaram maior acesso aos agricultores e camponeses às áreas até então inacessíveis; o desmatamento, que começou a se expandir para o interior do Estado, até então concentrado na área central; e as queimadas; causadas pela população no manejo de pastagens e áreas agrícolas (BATISTA, 2001).

Assim, de acordo com dados atualizados de uso da terra do IBGE (2012), Rondônia pode ser caracterizada, de uma forma geral, por unidades de conservação de proteção integral, associadas às áreas florestais, áreas graníferas e cerealíferas, e pecuária de animais de grande porte; por unidades de conservação de uso sustentável, incluindo áreas florestais, áreas graníferas e cerealíferas e pecuária de animais de grande porte; por áreas campestres, relacionadas à unidades de conservação de proteção integral, unidades de conservação de uso sustentável e pecuária de animais de grande porte; pelo extrativismo vegetal em área florestal; por áreas graníferas e cerealíferas; pela pecuária de animais de grande porte, associadas com cultivos permanentes diversificados; por terras indígenas, que se relacionam com áreas campestres, áreas florestais, unidades de conservação de uso integral e sustentável e por áreas urbanas.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir, serão descritos os dados orbitais e auxiliares utilizados neste artigo, assim como, os procedimentos metodológicos adotados para a geração dos resultados.

#### 3.1 Dados Orbitais utilizados

A identificação e o mapeamento das áreas queimadas foram realizados a partir da

utilização de imagens de reflectância espectral da superfície do sensor MODIS, a bordo dos satélites Terra e Aqua, que possuem órbita polar, altitude de 700 km e área de imageamento de 2.330 km. O horário de passagem varia de acordo com o satélite. O satélite Terra cruza o Equador em sua órbita descendente às 10h30min e 22h30min, sendo que seus produtos recebem a sigla MOD, enquanto que o satélite Aqua em sua órbita ascendente cruza o Equador às 13h30min e 01h30min, e seus produtos recebem a sigla MYD, possibilitando a obtenção, desta forma, de 4 passagens diárias sobre uma mesma área.

Os produtos MODIS utilizados referem-se ao MOD09GA, que possui 7 bandas com resolução espacial de 500 metros, e MODO09GQ, que possui 2 bandas com resolução espacial de 250 metros, ambos com resolução temporal de 1 dia. As imagens utilizadas englobaram os tiles V09, V10, H11 e H12, que abrange o Estado de Rondônia, e o período utilizado consistiu nos meses de junho a novembro dos anos de 2000 a 2011, período seco e de atuação das queimadas na área de estudo. As imagens que possuíam muitas nuvens e que apresentavam uma má qualidade radiométrica foram descartadas, sendo que ao final foram utilizadas 835 imagens.

#### 3.2 Dados auxiliares

Com o intuito de analisar e verificar os impactos na vegetação original e no uso da terra atualizado foi utilizado o mapa de vegetação do IBGE (2004) e o mapa de uso da terra do IBGE (2012). O mapa de vegetação do IBGE, em escala 1:5.000.000, representa uma provável reconstituição dos tipos de vegetação que revestiam o território brasileiro na época do descobrimento, originado em 1993, e a atualização em 2004 foi realizada a partir de interpretações em imagens do sensor *Thematic Mapper* (TM) do satélite Landsat 5, pesquisas bibliográficas e de campo. Estes dados foram obtidos em formato *shapefile* no site [http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default\\_prod.shtm#REC\\_NAT](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default_prod.shtm#REC_NAT).

O mapa de uso da terra do IBGE, em escala 1:1.000.000, foi elaborado a partir da interpretação de imagens do sensor TM/Landsat 5 ano de 2011. A elaboração seguiu um Sistema de Classificação de Uso da Terra (SCUT), que possibilita o uso de imagens de

satélite como fontes de primeira informação, aliadas com trabalhos de campo, entrevistas, dados estatísticos e literatura disponível, obtidos em formato *shapefile* de: [ftp://geofitp.ibge.gov.br/mapas\\_tematicos/uso\\_da\\_terra/unidades\\_federacao/shape/RO/](ftp://geofitp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/uso_da_terra/unidades_federacao/shape/RO/).

Para analisar as ocorrências das queimadas em áreas de desmatamento recente foram utilizados os mapas do Programa de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (PRODES). Esses mapas são elaborados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) desde o ano de 1988 com o intuito de estimar as taxas anuais de corte raso da floresta Amazônica em áreas a partir de 6,25 hectares, entendendo-se corte raso como a remoção completa da cobertura florestal em um curto intervalo de tempo. Os mapeamentos são anuais e obtidos a partir da interpretação de imagens do sensor TM/Landsat 5 (INPE, 2008), e os dados estão disponíveis em <http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodes.php>.

### 3.3 Metodologia

A seguir serão abordados os procedimentos metodológicos adotados neste trabalho, como o processamento das imagens do sensor MODIS, os métodos utilizados para o mapeamento das áreas queimadas e a análise em conjunto com os dados de desmatamento recente do PRODES e uso da terra atual do IBGE.

#### 3.3.1 Processamento dos dados MOD09

Os produtos MOD09GA e MOD09GQ estão em formato *Hierarchical Data Format* (HDF), portanto, após o download de todos os dados, foi realizada a conversão dos mesmos para o formato Geotiff a partir da ferramenta *MODIS Reprojection Tool* (MRT). No MRT foram realizados os mosaicos dos 4 tiles que englobam o Estado de Rondônia e, posteriormente, foi gerado o recorte da área de estudo nas imagens com 7 bandas e 250 metros de resolução espacial. Todos os dados foram adquiridos do site [https://lpdaac.usgs.gov/products/modis\\_products\\_table](https://lpdaac.usgs.gov/products/modis_products_table).

#### 3.3.2 Aplicação do MLME

Existe uma grande variedade de alvos na resposta espectral que compõe cada pixel, no qual o valor digital possuirá informações sobre a proporção da mistura entre cada componente

(SHIMABUKURO e SMITH, 1991; TEIXEIRA, 2004).

Uma das técnicas utilizadas para identificar áreas queimadas é o MLME, que consiste na utilização de uma relação linear para representar a mistura espectral dos alvos em cada pixel. Assim, a resposta espectral dos pixels em qualquer comprimento de onda pode ser considerada como uma combinação linear de cada componente da mistura (SHIMABUKURO e SMITH, 1991).

Deste modo, ao analisar uma área queimada, os pixels puros (*endmembers*) a serem utilizados como dados de entrada serão selecionados diretamente na imagem a partir de pixels que possuam resposta espectral mais próxima da curva teórica esperada para alvos puros. Os *endmembers* geralmente utilizados para cada conjunto de dados referem-se aos alvos vegetação, solo e sombra, conforme **Equação 1**.

$$\rho_i = a * \text{veg}_i + b * \text{solo}_i + c * \text{sombra}_i + e_i \quad (1)$$

em que  $\rho_i$  é a resposta da reflectância do pixel na banda  $i$ ;  $a$ ,  $b$  e  $c$  são as proporções de vegetação, solo e sombra, respectivamente;  $\text{veg}_i$ ,  $\text{solo}_i$  e  $\text{sombra}_i$  são as respostas espectrais das componentes vegetação, solo e sombra (ou água), respectivamente; e  $e_i$  é o erro na banda  $i$ .

Sendo assim, o MLME foi aplicado nas imagens MODIS com o intuito de gerar a fração sombra, que realça os alvos de baixa refletância representados pelas áreas queimadas, reduzindo, desta forma, o volume de dados analisados. O MLME foi utilizado a partir do *Interactive Data Language* (IDL), linguagem implementada ao programa *Environment for Visualizing Images* (ENVI).

#### 3.3.3 Mapeamento das áreas queimadas

Após a geração das imagens fração sombra no ENVI, esses dados foram inseridos no Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING). Foi realizada a segmentação das imagens fração sombra, optando-se pelo método de crescimento por regiões para gerar polígonos espectralmente homogêneos. Os limiares de similaridade e área foram estipulados com base na complexidade da forma, da dimensão e pelos desvios das médias dos valores dos níveis de cinza apresentados

pelas cicatrizes de queimadas, e os valores utilizados foram 12 para a similaridade e 20 para a área. A partir dos polígonos originados na segmentação, foi realizada a edição topológica, onde foram atribuídos os polígonos das áreas queimadas às suas respectivas classes. A etapa final envolveu a edição manual do mapeamento com a finalidade de corrigir eventuais erros decorrentes da segmentação.

### 3.3.4 Análise dos polígonos das áreas queimadas com os dados auxiliares

As áreas queimadas de 2000 a 2011 em Rondônia foram analisadas em conjunto com a vegetação original do Estado, o uso da terra atual e com as áreas de desmatamento recente. Portanto, os mapas de vegetação e uso da terra do IBGE em formato *shapefile* foram inseridos no SPRING e suas respectivas classes associadas à uma categoria temática. Os dados do PRODES, em formato *shapefile*, continham dados temáticos classificados na representação vetorial, e assim como os mapas do IBGE, também foram inseridos no SPRING e sua classe

associada a uma categoria temática. Foi realizada a compatibilização a partir da reamostragem de todos os dados para a mesma resolução das imagens MODIS e, posteriormente, foi realizada a tabulação cruzada para a análise dos resultados.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 2 mostra as áreas queimadas que ocorreram em Rondônia para o período compreendido entre 2000 e 2011. De acordo com a Figura 2, as queimadas apresentam uma variabilidade significativa e compreendem grandes áreas, especialmente na porção central norte, principalmente nos Municípios de Nova Mamoré, Porto Velho e Machadinho d'Oeste; no meio leste do Estado, abrangendo principalmente os Municípios de Costa Marques e Seringueiras e no sul do Estado, localizadas em diversos Municípios, destacando-se grandes áreas queimadas em São Francisco do Guaporé, Alta Floresta, Alto Alegre e Pimenteiras.

Desde o ano 2000 a ocorrência das queimadas apresentou oscilações, porém, de uma forma geral, pode-se notar que ocorreu um

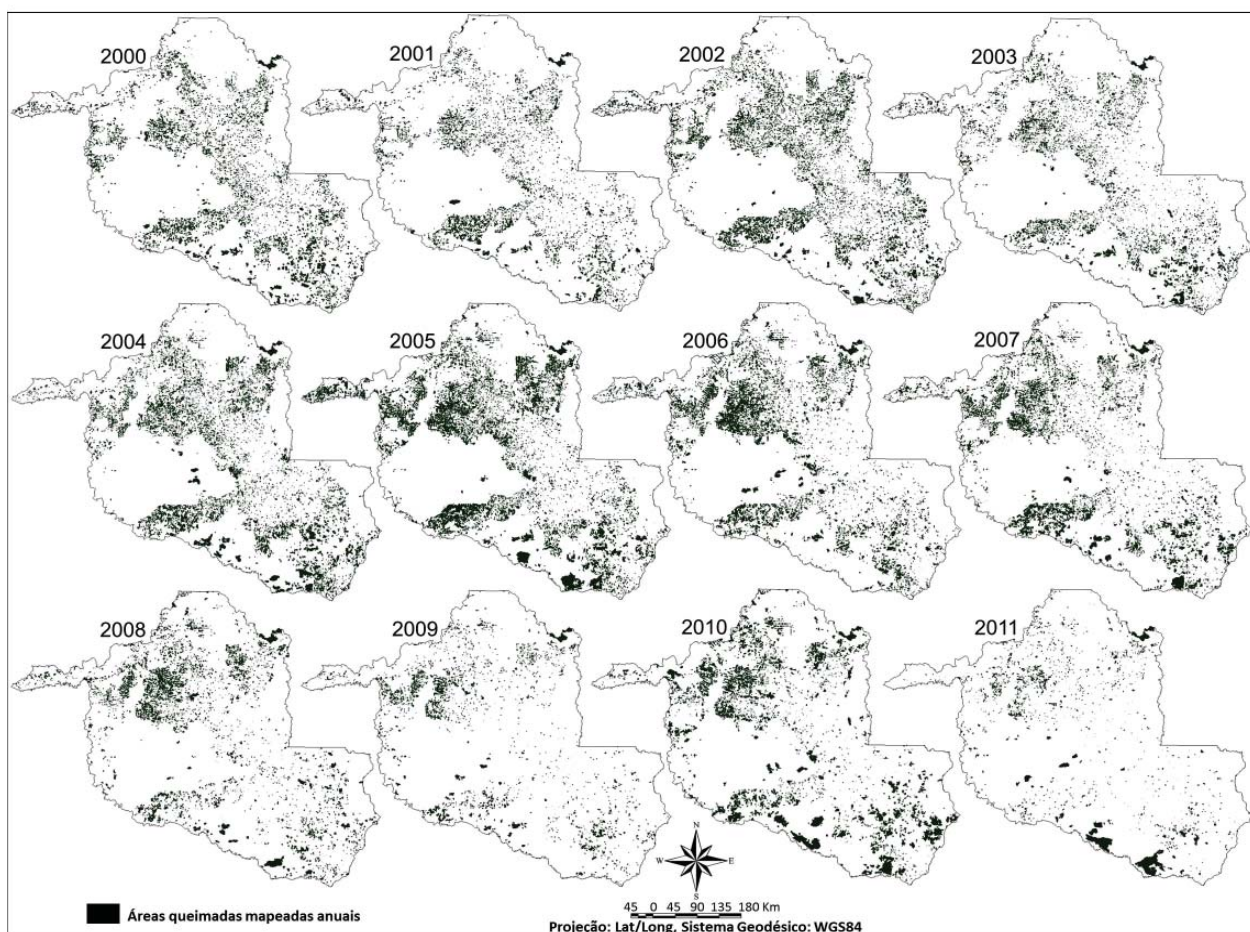


Figura 2 - Áreas queimadas em Rondônia de 2000 a 2011.

aumento até o ano de 2005, sendo que após esse ano houve uma diminuição gradativa até o ano de 2009, ocorrendo um aumento significativo em 2010 e uma substancial diminuição no ano seguinte, conforme pode ser visualizado no gráfico da Figura 3.

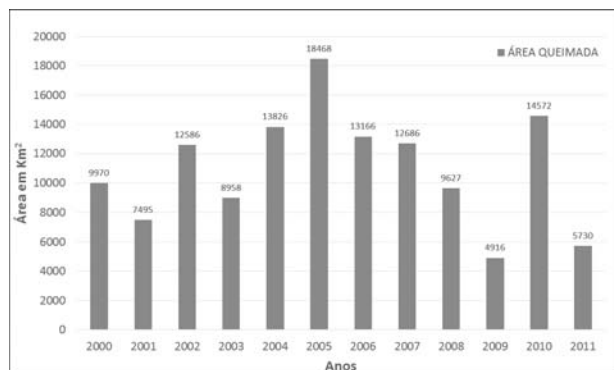


Figura 3 - Gráfico das áreas queimadas em Rondônia de 2000 a 2011.

De acordo com a Figura 3, os anos que apresentaram as maiores ocorrências de queimadas foram 2005 (18.468 Km<sup>2</sup>), compreendendo 7,7% de todo o Estado, 2010 (14.572 Km<sup>2</sup>, 6,13%) e 2004 (13.826 Km<sup>2</sup>, 5,8%), e os anos que apresentaram as menores ocorrências foram 2009 (4.916 Km<sup>2</sup>, 2%), 2011 (5.730 Km<sup>2</sup>, 2,4%) e 2001 (7.495 Km<sup>2</sup>, 3,1%).

Diversos fatores são responsáveis pela ocorrência das queimadas em Rondônia, entre eles pode-se citar a abertura e manutenção de áreas destinadas à agropecuária, além de diversos outros fatores que acentuam os impactos das queimadas na região. Foi constatado que nos últimos 30 anos a intensidade e frequência das secas na região Amazônica aumentaram, apresentando dois eventos extremos nos anos de 2005 e 2010 (Lima, 2013).

A seca de 2005 esteve associada ao aquecimento das águas do Atlântico Tropical Norte (Marengo *et al.*, 2008; Zeng *et al.*, 2008), afetando 1,9 milhões de quilômetros na Amazônia, e a seca de 2010, que foi considerada mais severa, afetou cerca de 3 milhões de quilômetros de áreas (Lewis *et al.*, 2011), também relacionada com a tendência inter-decadal de aquecimento da temperatura da superfície do mar do Atlântico Tropical Norte. Essas secas afetaram diversos Estados da região Amazônica,

incluindo Rondônia, fato que comprova as maiores ocorrências das queimadas nesses anos, sugerindo-se que o uso da terra associado com a ocorrência de eventos climáticos provocam impactos ainda maiores na região.

A Figura 4 mostra os gráficos da frequência do tamanho dos polígonos das áreas queimadas em Rondônia para os 12 anos analisados.

Assim, a análise estatística dos polígonos indica que em média as cicatrizes de queimadas mapeadas que mais ocorrem na área de estudo abrangem uma área de 20 a 80 hectares, apresentando 64% das ocorrências, enquanto que as queimadas que possuem tamanho maior que 1.280 hectares são as que menos ocorrem.

Percebe-se que a presença de grandes cicatrizes de queimadas em Rondônia, principalmente na região sul do Estado, ocorre, em sua maioria, em áreas de vegetação com influência fluvial e/ou lacustre e em áreas de cerrado compostas pela savana parque e pela savana arborizada. Estas áreas estão associadas com áreas campestres em terras indígenas, áreas de conservação de uso sustentável e de proteção integral e áreas campestres com pecuária, segundo o uso da terra atual (IBGE 2012). Porém, essas grandes cicatrizes ocorrem em menores proporções, em aproximadamente 7% do total das ocorrências.

A utilização da queima da biomassa como ferramenta de uso da terra com o intuito de eliminar a vegetação na área de estudo é realizada principalmente em pequenas áreas e ocorrem principalmente em áreas da floresta ombrófila aberta (submontana, terras baixas e com vegetação secundária e atividades agrárias) e em áreas de savana arborizada, que abrangem atualmente áreas de unidade de conservação de uso sustentável, que podem estar associadas às áreas de pecuária de animais de grande porte e cultivos permanentes diversificados, de extrativismo vegetal em área florestal e áreas exclusivas de pecuária de animais de grande porte, que podem estar associadas a cultivos permanentes diversificados.

A Figura 5 mostra a frequência total da ocorrência das queimadas na área de estudo nos 12 anos analisados.

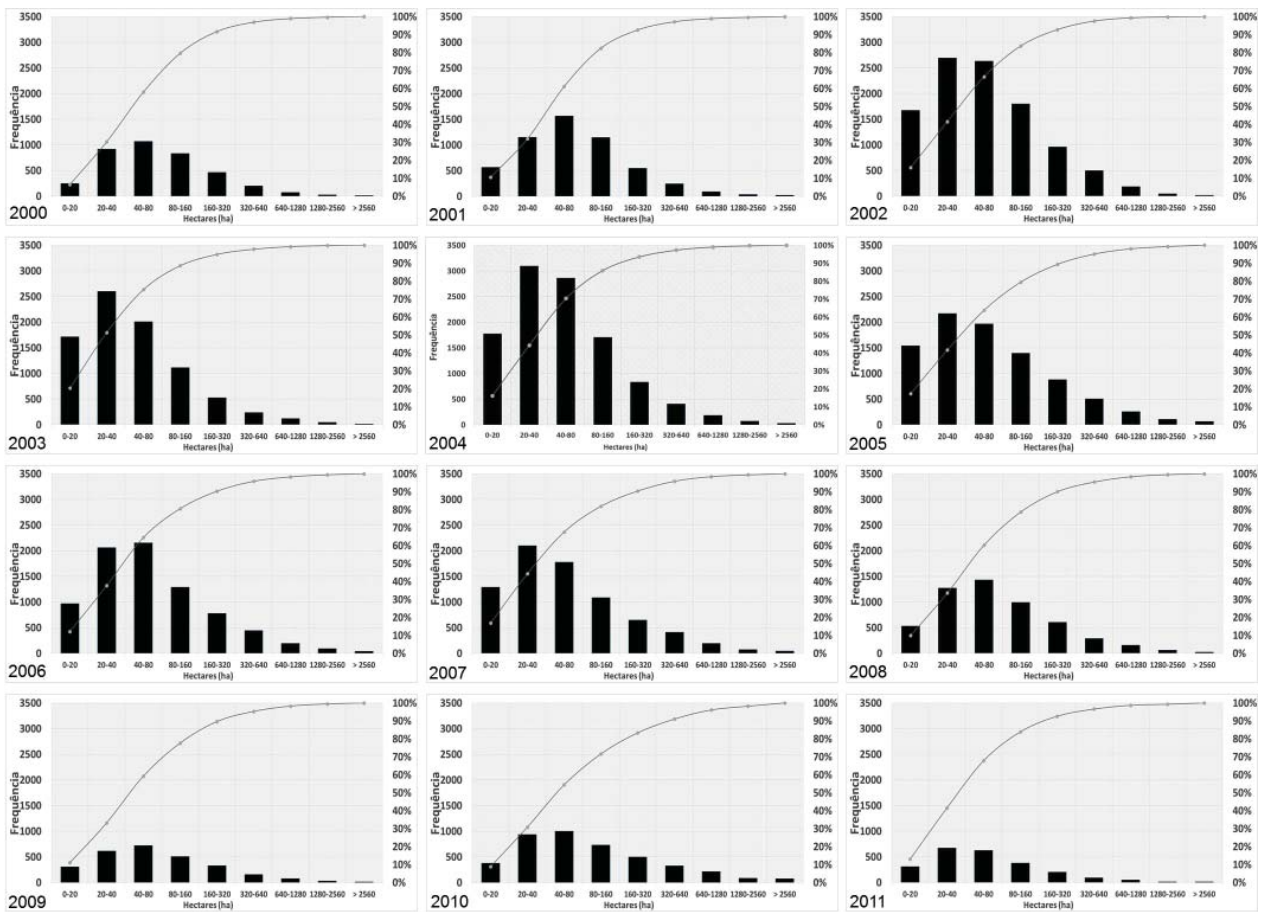


Figura 4 - Gráficos da frequência do tamanho dos polígonos das áreas queimadas em Rondônia de 2000 a 2011.

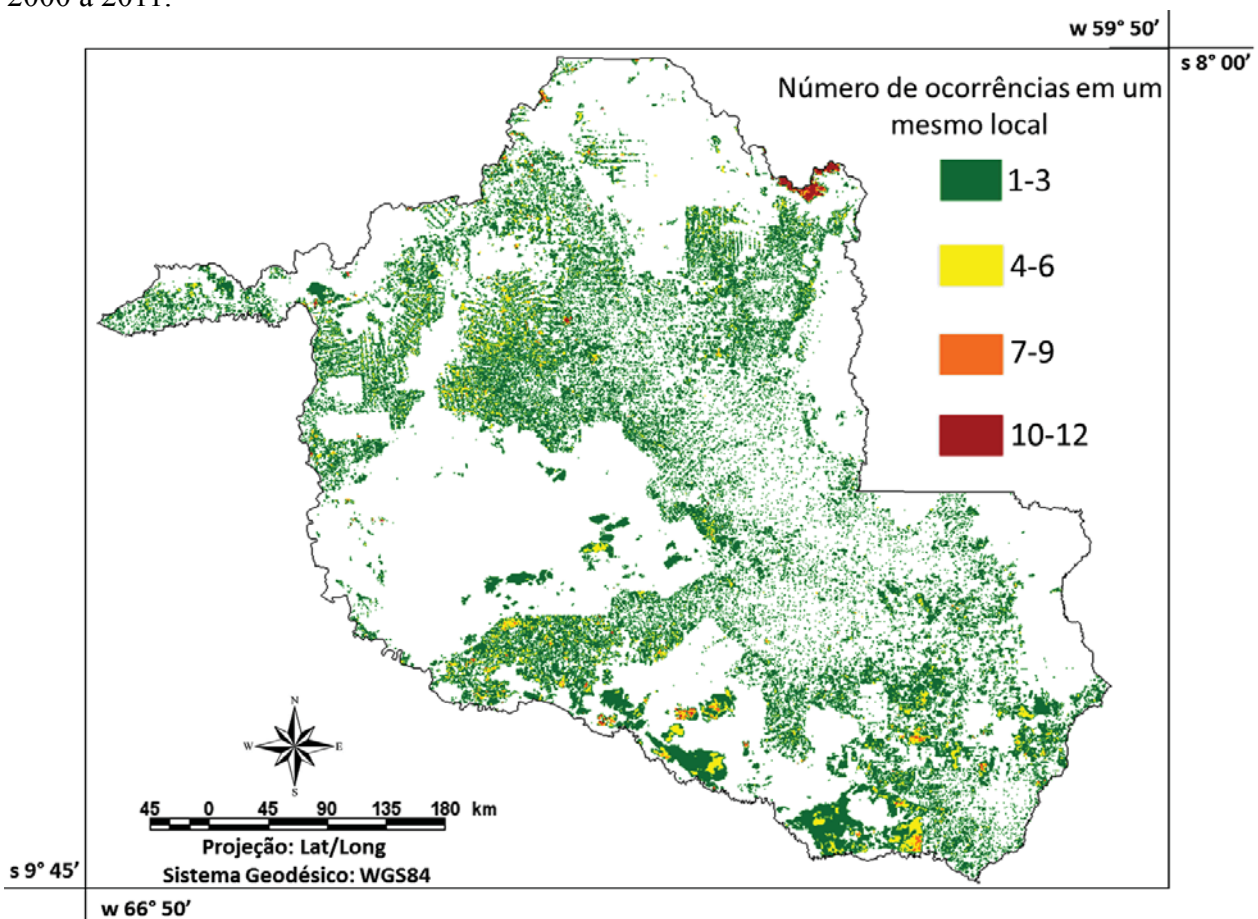


Figura 5 - Frequência total da ocorrência das queimadas em Rondônia de 2000 a 2011.



A frequência espacial das queimadas compreende doze classes, relacionadas com a incidência de cicatrizes durante o período analisado. Desta forma, a classe 1 refere-se à uma ocorrência de queimada durante os anos analisados, enquanto que a classe 12 refere-se à presença de queimadas no mesmo local durante todos os doze anos. Na análise das medidas de classe, nota-se que a frequência 12 foi a que menos ocorreu, compreendendo 32 km<sup>2</sup>, seguida da classe 11, com 172 km<sup>2</sup> e da classe 10, com 103 km<sup>2</sup>. Poucas áreas apresentaram queimadas no mesmo local durante todos os anos de tudo, destacando-se uma área de floresta caracterizada pela Savana Parque na porção norte do Estado, divisa com o Estado do Amazonas, que apresenta queimadas significativas, mesmo estando localizada em área campestre em unidade de conservação de proteção integral. A frequência que apresentou maior ocorrência na área de estudo foi a classe 1, com 28.585 Km<sup>2</sup> nos 12 anos, seguida da classe 2, com 15.122 Km<sup>2</sup> e a classe 3, com 8.511 Km<sup>2</sup>, destacando que todos os anos novos locais são queimados em Rondônia.

As classes de vegetação em minoria no Estado estão representadas pelas três áreas de Contato, que totalizam 1.379 Km<sup>2</sup>, seguidas por áreas da Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas (1.462 Km<sup>2</sup>) e Aluvial (1.969 Km<sup>2</sup>). A vegetação predominante na área de estudo é composta pela vegetação secundária e atividades agrárias da Região da Floresta Ombrófila Aberta, com 73.306 Km<sup>2</sup>, localizada na grande mancha desmatada na área central do Estado, coincidindo com áreas de pecuária de animais de grande porte, cultivos permanentes diversificados e extrativismo vegetal do mapa de uso da terra de 2012 do IBGE. A segunda classe de vegetação mais presente é a Floresta Ombrófila Aberta Submontana, com 64.841 Km<sup>2</sup> e a Floresta Ombrófila Aberta das Terras Baixas, com 31.972 Km<sup>2</sup>, localizadas em volta da grande área central desmatada, com exceção da região sul do Estado.

Porém, ao analisar o mapa de uso da terra atual, a formação Submontana apresenta uma redução de 52,5% de sua área original, substituídas por áreas de conservação de uso sustentável (13.497 Km<sup>2</sup>), por áreas de pecuária de animais de grande porte, que podem estar associadas com cultivos permanentes diversificados (7.998

Km<sup>2</sup>) e por áreas de extrativismo vegetal (12.572 Km<sup>2</sup>). O mesmo ocorreu com a formação Terras Baixas, que apresentou uma redução de 52,6%, devido à substituição por áreas de conservação de uso sustentável (13.268 Km<sup>2</sup>) e por áreas de extrativismo vegetal (3.568 Km<sup>2</sup>).

Percebeu-se neste estudo que nem sempre as queimadas estão relacionadas com áreas de desmatamento recente do PRODES, como pode ser visualizado na Figura 6.

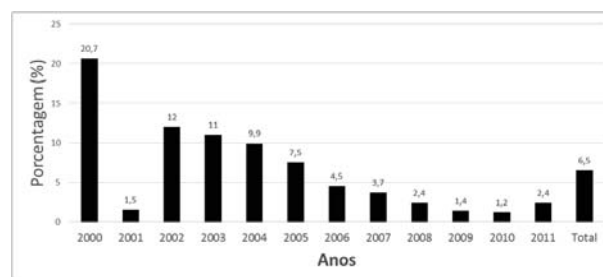


Figura 6 - Ocorrência de queimadas em áreas de desmatamento recente em Rondônia de 2000 a 2011.

Segundo o PRODES, Rondônia apresenta a terceira maior taxa de desmatamento no Brasil, totalizando 54.772 km<sup>2</sup> de áreas no período de 1988 a 2013, totalizando 23% da área total do Estado, atrás apenas de Mato Grosso e Pará. Ressalta-se que durante o período compreendido entre 2000 e 2011 o desmatamento em Rondônia totalizou 25.514 Km<sup>2</sup>, representando 10,7% da área de estudo. De uma forma geral, dentro dos anos estudados as áreas desmatadas apresentaram aumento gradativo de extensão até o ano de 2004, evidenciando uma redução gradual nos anos seguintes. Entretanto apenas 6,5% das queimadas em média ocorreram em áreas de desmatamento recente. Ao cruzar os polígonos de desmatamento do PRODES com os polígonos de desmatamento das queimadas do ano seguinte, percebeu-se que a área de atuação aumenta para 9,3%, (15,9% se considerarmos ambos os anos) indicando que muitas vezes essas queimadas não ocorrem logo após a derrubada da floresta, porém, infere-se que mais de 90% das queimadas não ocorrem em áreas de desmatamento recente. Este fato já foi destacado em diversos estudos, como, por exemplo, em Aragão e Shimabukuro (2010) e Lima (2013), em que os autores em seus estudos na Amazônia não encontraram correlação das queimadas com os desmatamentos.

Assim, ao cruzar os polígonos de queimadas com o uso da terra atual, percebeu-se que a queima de biomassa ocorreu em maioria em áreas de extrativismo vegetal, com destaque para a exploração da seringueira, castanha-do-pará e óleo de copaíba, segundo IBGE (2012), abrangendo 14.994 Km<sup>2</sup>, seguida por áreas de pecuária de animais de grande porte e cultivos permanentes diversificados (14.525 Km<sup>2</sup>) e por áreas exclusivas de pecuária de animais de grande porte (12.409 Km<sup>2</sup>). Ressalta-se que ao comparar diversas imagens do sensor TM com o mapa de uso da terra, essas áreas chamadas pelo IBGE como extração vegetal em área florestal já apresentam diversas regiões de desmatamento antigo. Assim, fica evidenciado que essas queimadas ocorrem em maioria em áreas que já possuem algum tipo de uso, e provavelmente a utilização ocorre para a manutenção desses locais, ou em áreas previamente desmatadas para o uso da terra, já que o desmatamento do PRODES abrange áreas de desmatamento recente.

## 5. CONCLUSÕES

Neste trabalho identificou-se que as queimadas abrangem grandes áreas anualmente, especialmente na porção central norte, no meio leste e no sul do Estado, com destaque para os anos de 2005 (18.468 Km<sup>2</sup>), 2010 (14.572 Km<sup>2</sup>) e 2004 (13.826 Km<sup>2</sup>). Ainda, percebe-se que as ocorrências de queimadas estão intrinsecamente relacionadas à eventos climáticos, como os anos de 2005 e 2010, devido à eventos extremos de seca ocorridos na Amazônia, acentuando o impacto das mesmas.

Neste contexto, percebeu-se que poucas são as áreas que apresentam grandes cicatrizes, sendo que a maioria é composta pela presença de pequenas queimadas, abrangendo de 20 a 80 hectares (64% das ocorrências), e nos 12 anos de estudo, poucas áreas apresentaram queimadas no mesmo local (3% das ocorrências), assim, todos os anos novos locais são queimados em Rondônia.

Ainda, a ocorrência das queimadas nem sempre está ligada com as áreas de desmatamento recente, sendo que apenas 6,5% em média ocorreram nessas áreas, aumentando esse número para 9,3% quando as queimadas foram cruzadas com o desmatamento do ano anterior,

evidenciando que a aplicação das queimadas para o uso da terra geralmente não é realizada logo após a derrubada da floresta.

Portanto, percebe-se que as queimadas em Rondônia ocorrem em maioria em áreas de extrativismo vegetal, abrangendo 14.994 Km<sup>2</sup>, seguida por áreas de pecuária de animais de grande porte e cultivos permanentes diversificados (14.525 Km<sup>2</sup>) e por áreas exclusivas de pecuária de animais de grande porte (12.409 Km<sup>2</sup>), totalizando 17,6% da área total do Estado. Percebeu-se a existência de diversas áreas de desmatamento antigo nessas áreas de extrativismo, assim, as queimadas em Rondônia ocorrem em maioria em áreas que já possuem algum tipo de uso, principalmente para a manutenção e abertura de novas áreas para a agropecuária.

## AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio (2010/17437-4).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAGÃO, L.; SHIMABUKURO, Y. E. The incidence of fire in Amazonian forests with implications for REDD. *Science (New York, N.Y.)*, v. 328, n. 5983, p. 1275-8, 2010.

BATISTA, I. X. **Desenvolvimento em Rondônia: Políticas Públicas, Desmatamento e evolução Socioeconômica**. 2001. 172 p. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente) – Universidade Federal de Rio Claro, Rio Claro, 2001.

CARDOSO, M.; NOBRE, C. A.; LAPOLA, D.; OYAMA, M. D.; SAMPAIO, G. Long-term potential for fires in estimates of the occurrence of savannas in the tropics. *Global Ecology and Biogeography*, v. 17, p. 222-235, 2008.

COCHRANE, M. A. **Tropical Fire Ecology, Climate Change, Land Use and Ecosystem Dynamics**. Chichester, UK. Ed. Springer, 645 p., 2009.

CRUTZEN, P. J.; ANDREAE, M. O. Biomass burning in the tropics: impact on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles. *Science*, v. 250, p. 1669–1678, 1990.

FEARNSIDE, P. M.; RIGHI, C. A.; GRAÇA, P. M. L. A.; KEIZER, E. W. H.; CERRI, C.

- C.; NOGUEIRA, E. M.; BARBOSA, R. I. Biomass and greenhouse gas emissions from land-use change in Brazil's Amazonian "arc of deforestation": The states of Mato Grosso and Rondônia. **Forest Ecology and Management**, v. 258, p. 1968-1978, 2009.
- FREITAS, S. R.; LONGO, K. M.; DIAS, M. A. F. S.; DIAS, P. L. S.; CHATFIELD, R.; PRINS, E.; ARTAXO, P.; GRELL, G. A.; RECUERO, F. S. Monitoring the transport of biomass burning emissions in South America. **Environmental Fluid Mechanics**, v. 5, p. 135-167, 2005.
- GIGLIO, L.; VAN DER WERF, G. R.; RANDERSON, J. T.; COLLATZ, G. J.; KASIBHATLA, P. S. Global estimation of burned area using MODIS active fire observations. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 6, p. 957-974, 2006.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de Vegetação do Brasil**. Rio de Janeiro, 2004.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro, 2012. 276 p.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Monitoramento da Cobertura Florestal da Amazônia por Satélites**. São José dos Campos, 2008. 147 p. (Relatório Técnico Científico).
- JUSTICE, C. O.; GIGLIO, L.; KORONTZI, S.; OWENS, J.; MRISSETTE, J.; ROY, D.; DESCLOITRES, J.; ALLEAUME, S.; PETITCOLIN, F.; KAUFMAN, Y. The MODIS fire product. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 244-262, 2002.
- LIMA, A. **Influência da Cobertura da Terra na Extensão e Configuração Espacial de Áreas Queimadas em Anos de Seca Extrema na Amazônia Oriental**. 2013. 110 p. (sid. inpe.br/mte-m19/2013/03.08.16.30-TDI). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2013.
- LEWIS, S. L.; BRANDO, P. M.; PHILLIPS, O. L.; HEIJDEN, G. M. F. VAN DER; NEPSTAD, D. The 2010 Amazon drought. *Science* (New York, N.Y.), v. 331, n. 6017, p. 554, 4 fev. 2011.
- MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; TOMASELLA, J.; OYAMA, M. D.; OLIVEIRA, G. S. DE; OLIVEIRA, R. DE; CAMARGO, H.; ALVES, D. S.; BROWN, I. F. The drought of Amazonia in 2005. *Journal of Climate*, v. 21, n. 3, p. 495-516, 2008.
- MARENGO, J. A.; NOBRE, C.; SALAZAR, L. F. Regional Climate Change scenarios in South America in the Late XXI Century: Projections and Expected Impacts. *Nova Acta Leopoldina*, v. 112, p. 251-265, 2010.
- MIGUEL, S. M.; HUESCA, M.; GONZÁLEZ-ALONSO, F. Modis reflectance and active fire data for burn mapping and assessment at regional level. **Ecological Modelling**, v. 221, p. 67-74, 2010.
- SAMPAIO, G.; NOBRE, C.; COSTA, M. H.; SATYAMURTY, P.; SOARES-FILHO, B. S.; CARDOSO, M. F. Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. **Geophysical Research Letters**, v. 34, p. 1-7, 2007.
- SILVA, J. M.; LINHARES, D. P.; NUNES, D. D.; ASSUNÇÃO, A. G.; LIMA, T. R.; FURLAN, D. N.; CARVALHO, A. C.; SOUZA, R. C. Evolution of Deforestation and Natural Resources Degradation in Rondônia. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, Special Issue, p. 502 - 511, 2005.
- SHIMABUKURO, Y. E.; SMITH, J. A. The least squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 29, n. 1, p. 16-20, 1991.
- TEIXEIRA, C. G. **Validação do Modelo Linear de Mistura Espectral em Imagens ASTER/TERRA a partir de dados Ikonos**. 2004. 127 p. (INPE-13183-TDI/1029). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2004.
- WERF, G. R.; RANDERSON, J. T.; GIGLIO, L.; COLLATZ, G. J.; KASIBHATLA, P. S.; ARELLANO Jr., A. F. Interannual variability in global biomass burning emissions from 1997 to 2004. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 6, p. 3423-3441, 2006.

ZENG, N.; YOON, J.-H.; MARENGO, J. A.; SUBRAMANIAM, A.; NOBRE, C. A.; MARIOTTI, A.; NEELIN, J. D. Causes and impacts of the 2005 Amazon drought. **Environmental Research Letters**, v. 3, n. 1, p. 1-9, 2008.

ZHAN, X.; SOHLBERG, R. A.; TOWNSHEND, J. R. G.; DIMICELI, C.; CARROLL, M. L.; EASTMAN, J. C.; HANSEN, M. C.; DEFRIES, R. S. Detection of land cover changes using MODIS 250 m data. **Remote Sensing of Environment**, 83 (2): 336-350, 2002.