



**UFRRJ**

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

MICAEL CORTOPASSI BOOTH

Relação de focos de calor com o desmatamento no estado do acre entre 2004 -  
2011

Prof. MÁRCIO ROCHA FRANCELINO  
Orientador

SEROPÉDICA - RJ  
Abril – 2013



**UFRRJ**

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

MICAEL CORTOPASSI BOOTH

RELAÇÃO DE FOCOS DE CALOR COM O DESMATAMENTO NO  
ESTADO DO ACRE ENTRE 2004 - 2011

Monografia apresentada ao curso de  
Engenharia Florestal como requisito  
parcial para obtenção do título de  
Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas  
da Universidade Federal Rural do Rio de  
Janeiro.

Prof. MÁRCIO ROCHA FRANCELINO

Orientador

SEROPÉDICA - RJ

Abril – 2013

RELAÇÃO DE FOCOS DE CALOR COM O DESMATAMENTO NO  
ESTADO DO ACRE ENTRE 2004 - 2011

Monografia aprovada em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

---

Prof. Dr. Márcio Rocha Francelino  
ORIENTADOR  
DS/IF/UFRRJ

---

Prof. Dr. José Francisco de Oliveira Junior  
Membro Titular  
DCA/IF/UFRRJ

---

Prof. Dr. Rafael Coll Delgado  
Membro Titular  
DCA/IF/UFRRJ

## AGRADECIMENTOS

Ao Pai Criador, por estar sempre ao meu lado, aos meus pais Nereida e Michael pelo amor incondicional e ajuda.

A minha irmã Yasmine, mesmo distante, pela confiança.

Ao meu padrinho Lino pelos conselhos.

A Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pela oportunidade de me graduar neste curso excepcional e ter convivido com tantas pessoas capazes.

A todos os meus mestres professores do Instituto de Florestas por compartilhar o conhecimento e dar suporte para me formar.

Ao professor Márcio Francelino em especial por me orientar, qualificar e receber.

Ao professor José Francisco de Oliveira Junior por ter cedido às tabelas com os dados de focos de calor do INPE.

Ao professor Rafael Coll Delgado pela ajuda e ideias para os primeiros passos desse trabalho.

Aos amigos do estágio da Entomologia que me acolheram, aos da Flora Jr que foram companheiros, aos do Geoflora pelas risadas, noites em claro e auxílios com a “Caixa de Pandora”.

A todos os amigos que fiz na Rural não lembrados aqui, mas que de algum modo ajudaram e marcaram minha passagem.

## RESUMO

O bioma amazônico é considerado o maior banco genético de espécies do planeta e por isso nas últimas décadas está sendo muito debatidas formas de preservar seus ecossistemas e monitorar o desmatamento e incêndios florestais, que são as principais formas de degradação deste bioma. Este trabalho teve como objetivo quantificar e identificar a relação entre a ocorrência de focos de calor e o aumento de áreas desflorestadas no período de 2004-2011. Para isso foi utilizadas ferramentas de sensoriamento remoto e geoprocessamento a partir de dados de focos de calor gerado por satélites equipados com sensores termais e dados vetoriais de desmatamento e uso do solo fornecidos por programas específicos do INPE. Foi determinada a correlação de Pearson entre os focos de calor e a área total desflorestada no Acre. Posteriormente foram selecionados focos de calor em áreas mapeadas como florestadas de determinado ano os quais foram sobrepostos ao mapa de uso do solo do ano seguinte para verificar quais áreas foram efetivamente desflorestadas. A série temporal estudada demonstrou correlações positivas entre áreas desflorestadas e focos de calor e foi verificado que o uso de produtos de satélites se mostrou promissor para o monitoramento dinâmico de áreas desmatadas em condições amazônicas. Pesquisas devem ser feitas buscando melhores modos de detectar focos de calor em áreas de floresta fechada e uma rápida resposta dos órgãos de combate, prevenção e fiscalização.

Palavras chaves: Incêndios Florestais, PRODES, desflorestamento, uso do solo.

## ABSTRACT

The Amazon biome is the largest gene bank of species on the planet and so in recent decades is being hotly debated ways to preserve its ecosystems and monitor deforestation and forest fires, which are the main forms of degradation of this ecosystem. This study aimed to quantify and identify the relationship between the occurrence of hot spots and increase of deforested areas in the period 2004-2011. For this we used remote sensing tools and GIS from data of hotspots generated by satellites equipped with thermal sensors and vector data from deforestation and land use specific programs provided by INPE. We determined the Pearson correlation between the hotspots and the total area deforested in Acre. Were subsequently selected hotspots in areas mapped as forested in one year which were superimposed on the map of land use in the following year to see which areas have been effectively deforested. The time series studied showed positive correlations between deforested areas and hotspots and it was found that the use of satellite products is promising for the dynamic monitoring of deforested areas in Amazonian conditions. Research should be done findings better ways to detect of occurrence of hot spots in areas of dense forest and a quick response of organizations fighting, prevention and monitoring.

Keywords: Forest fire, PRODES, deforestation, change land use

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS .....	iii
RESUMO .....	iv
ABSTRACT .....	v
LISTA DE FIGURAS .....	vii
LISTA DE TABELAS .....	viii
LISTA DE SIGLAS .....	ix
1. INTRODUÇÃO .....	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	5
3.1. Caracterização da área de estudo .....	5
3.2. Coleta dos dados .....	7
3.3. Processamento dos Dados .....	8
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	11
5. CONCLUSÕES .....	19
6. REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	20

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa da localização geográfica do estado do Acre.....	5
<b>Figura 2.</b> Fluxograma do processamento dos dados.....	7
<b>Figura 3.</b> Número de focos de calor no período de 2004 a 2011 no Estado do Acre.....	11
<b>Figura 4.</b> Distribuição dos focos de calor pelos municípios do Acre no período entre 2004 - 2011.....	12
<b>Figura 5.</b> Relação entre focos de incêndios e área desmatada (km <sup>2</sup> ).....	13
<b>Figura 6.</b> Frequência (%) de focos convertidos em áreas desflorestadas (km <sup>2</sup> ) no período de 2004-2011.....	15
<b>Figura 7.</b> Precipitação média anual (mm) e numero total de focos no período de 2004-2011.....	16
<b>Figura 8.</b> – Mapas de Focos de Calor em áreas Desflorestadas em ano posterior: 2004 (A), 2005 (B), 2006 (C), 2007 (D).....	17
<b>Figura 9.</b> Mapas de Focos de Calor em áreas Desflorestadas em ano posterior: 2008 (E), 2009 (F), 2010 (G).....	18



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Resumo dos sensores que captam focos de calor abordo de satélites.....	5
<b>Tabela 2.</b> Correlações de numero de focos versus área desflorestada (área acumulada até 2004).....	13

## LISTA DE SIGLAS

CEMPRE - Cadastro Central de Empresas

DETER – Sistema de Detecção do Desmatamento em Tempo Real na Amazônia

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

GOES – Satélite Ambiental Operacional Geoestacionário

MODIS – Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

MS – Microsoft System

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration

PRODES - Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia

ProArco – Programa de Prevenção e Controle de Queimadas e Incêndios Florestais na Amazônia Legal

SEPLAN - Secretaria de Estado de Planejamento do Acre

tC – Tonelada de Carbono

UC – Unidade de Conservação

ZEE - Zoneamento Ecológico Econômico

## 1. INTRODUÇÃO

O desmatamento na Amazônia tem sido um dos temas ambientais mais debatidos nas últimas décadas, muito em função da sua importância por ser considerada a região de maior biodiversidade do planeta. A modificação do uso da terra destinada à expansão das fronteiras da agropecuária tem sido apontada como uma das principais causas da devastação de imensas áreas com cobertura florestal (Fearnside, et al. 2005). Ainda segundo esses autores, inicialmente essa conversão foi incentivada pela política desenvolvimentista do governo militar, que pretendiam colonizar o máximo possível os grandes vazios demográficos existentes naquela região, sendo a pecuária a atividade predominante entre pequenos, médios e grandes produtores. Atualmente, devido a pressões internacionais de âmbito ambientalista, a política é de preservação, que se baseiam principalmente em instrumentos jurídicos, punitivos e na implementação de programas regionais poucos efetivos.

O bioma amazônico (Floresta Equatorial Amazônica) estende-se do oceano Atlântico às encostas orientais da Cordilheira dos Andes, cobrindo territórios de nove países da América do Sul, sendo a 69% dessa área no Brasil (Ab'Saber, 1977). Abrange os estados do Acre, Amapá, Amazonas, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia e Roraima, totalizando 4.871.000 km<sup>2</sup> (INPE, 2004).

Pantoja et al. (2005) cita que no estado do Acre as populações tradicionais fazem uso do fogo culturalmente todos os anos como prática cultural para limpeza da terra e tem se tornado uma atividade cada vez mais preocupante devido à variabilidade climática que altera o padrão de chuvas na região, principalmente quando está sujeita às consequências de eventos climáticos sazonais como o El Niño e La Niña, que acentuam as diferenças nos padrões de nuvens e de umidade na região.

Com a expansão da agropecuária, a partir do Estado de Rondônia avançando até o Estado do Maranhão, deu origem à zona que foi denominada como Arco do Desmatamento, abrangendo 248 municípios (Araujo et al. 2007). Segundo esses autores, a fronteira agrícola recém-criada avança sobre florestas, impactando fortemente sobre o bioma amazônico e que a ocorrência de focos de calor em áreas na borda e ao longo do arco são inúmeras e em grande frequência.

Fearnside et al. (2006) ratifica que o controle do desmatamento é essencial para evitar os impactos da perda de floresta, como a diminuição da biodiversidade e a erosão genética.

Muito do processo de desflorestamento está atualmente fora de controle do Estado, mas ação dos governos demonstrou ter influência sobre as taxas de desmatamento onde foram aplicados esforços para cumprir a legislação.

Albuquerque et al. (2007), complementando Fearnside et al. (2006), citam que acompanhar e quantificar a perda de vegetação e a mudança do uso da terra se torna necessário e o uso de ferramentas do sensoriamento remoto é uma ótima opção, com um menor custo e melhor eficiência, nas fiscalizações ambientais, além de proporcionar uma melhor avaliação das áreas desflorestadas e servir como base para ações de controle e fiscalização dos órgãos ambientais competentes. Nesse contexto, o acompanhamento da dinâmica espaço-temporal da cobertura do solo através de classificação de imagens orbitais, e a identificação e localização dos focos de calor gerados por sensores termais, constituem instrumentos eficazes e de repostas rápidas para a fiscalização e combate ao processo de conversão de áreas florestadas.

Este trabalho tem como objetivo geral identificar a relação entre a presença de focos de calor e as áreas desflorestadas no Estado do Acre entre 2004 – 2011.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O incêndio florestal difere da queimada pelo fato desta última ser controlada, utilizada como técnica de manejo agropecuário. Porém, Nepstad et al. (1999) classificam eventos associados ao fogo, na região amazônica em três categorias: a) queimadas originadas de desmatamentos, que são resultados da derrubada e queima da floresta; b) queimadas em áreas desmatadas, que são associadas à manutenção e limpeza de áreas destinadas a atividades agropecuárias; e c) incêndios florestais rasteiros, que são queimadas em áreas desmatadas que escapam ao controle e invadem florestas primárias ou exploradas para madeira.

Culturalmente o uso da prática de queimada está relacionado ao manejo de limpeza da terra para abertura ou manutenção de áreas para pecuária ou agricultura. Segundo Nepstad et al. (2001), este método consiste da derrubada das árvores, espera que os restos vegetais sequem para em seguida por fogo para que as cinzas resultantes fertilizem temporariamente o solo. Essa prática é também utilizada pelos indígenas, onde em estudo etnopedológico Ferreira et al. (2010) a registraram em tribo dos Yanomamis, no Estado de Roraima. Esses autores verificaram também a rápida degradação do solo e a necessidade constante de abertura de novas áreas para uso agrícola, constituindo-se em um processo contínuo de desmatamento. O problema é que por vezes, estas queimadas acabam fugindo do controle e penetra na floresta sob a forma de incêndio florestal, fazendo com que todos os anos extensas áreas da floresta Amazônica sejam perdidas por incêndios acidentais.

Além do desmatamento, os incêndios florestais também são responsáveis pela emissão de grandes quantidades de gases e partículas de aerossóis para a atmosfera, muitos deles causadores do efeito estufa. Segundo Moutinho (2010) as florestas tropicais armazenam grandes quantidades de carbono. Esses autores verificaram que quando são liberado na forma de CO<sub>2</sub>, apenas na Amazônia brasileira o volume deste gás emitido pelo desmatamento e queimadas ultrapassou 350 milhões de toneladas de C/ano entre 2000-2008, que representa mais de 55% das emissões totais do Brasil.

A incidência das queimadas também está muito relacionada com as condições meteorológicas, que sofre influências de diferentes sistemas que atuam naquela região. No ano de 2005 ocorreu uma grande seca em toda a Amazônia, fazendo com que fosse registrada a maior ocorrência de incêndios florestais no Estado do Acre (Albuquerque et al., 2007).

Diante da grande extensão da Amazônia Legal e das dificuldades de acesso, o monitoramento das alterações de uso do solo nessa região só é possível de ser realizado de maneira efetiva utilizando ferramentas do sensoriamento remoto. Em relação a queimadas e incêndios florestais o monitoramento é realizado através do levantamento de focos de calor, determinados através de satélites que possuem sensores óticos operando na faixa termal-média. Satélites de órbita polar (800 km de altitude) detectam frente de fogo com pelo menos 30 m de extensão por 1 m de largura. Já os geoestacionários, que estão a 35 mil km de distância, essas frentes precisam ter o dobro de tamanho para ser localizada. O problema é que como o pixel do satélite tem 1 km x 1 km ou mais, uma queimada de algumas dezenas de m<sup>2</sup> será identificada como tendo pelo menos 1 km<sup>2</sup> e nos satélites geoestacionários, onde o píxel tem 4km x 4km, esta pequena queimada passará a ser indicada por uma área de 16km<sup>2</sup> ou

mais. Ou seja, o sistema detecta a existência de fogo na vegetação sem ter condições técnica de avaliar o tamanho da área que está queimando ou o tipo de vegetação afetada.

Araujo et al. (2007) analisaram as ocorrências de focos de calor em áreas florestadas ao longo do Arco do Desflorestamento e demonstraram que para a Amazônia Legal nos anos de 2002 a 2006 entre 76% a 85% dos alertas de incêndio estavam ao longo do Arco do Desflorestamento, sendo que os focos de calor em áreas florestadas em sua maioria estavam na borda do limite do Arco.

Problema comum no uso de imagens orbitais de sensores ativos na região é a constante cobertura de nuvens. Em estudo do mapeamento de áreas desflorestadas ao sul do Amazonas, Vasconcelos et al. (2011) apresentou trabalho que delimitou manualmente os polígonos de cicatrizes de incêndio surgidos no período de 2004 a 2006 com a utilização de cenas do Landsat 5 TM. Porém foi atentado que apenas as cenas de 2006 tinham a qualidade (menos nuvens) necessária para melhor delimitar as cicatrizes.

Mesquita Jr et al. (2007) utilizando dados do programa DETER e PRODES para toda a região da Amazônia Legal comparou os mapas de desflorestamento gerados pelo DETER com o mapa de áreas definidas pelo PRODES como prioritárias para o controle de desflorestamento. Descreve que houve grande coincidência entre os dados de ambos os programas. Além de relatar que as áreas prioritárias para a fiscalização pelos órgãos competentes estão na zona do Arco do Desflorestamento.

Em estudo feito por Selhorst et al. (2003) para o Estado do Acre foi comparado os alertas de focos de calor acusados pelos sensores GOES-8 e NOAA-12 versus observados em campo em 2001. Segundo esse estudo o sensor do GOES-8 detectou para a América do Sul áreas menores que 1 ha e para o NOAA frentes de fogo com áreas de 30m de comprimento por 0,5m de largura. O estudo demonstra que existe omissão de focos de calor de ambos os satélites, devido ao efeito de nuvens e fumaça que mascaram as queimadas. A detecção de queimadas segundo o autor está na ordem de 50% a 10% do total de queimadas que ocorreram no campo.

Pantoja et al. (2007) fazendo estudo similar na região leste do estado do Acre em 2005, onde ocorrem a maioria dos focos de calor, analisou os alertas gerados pelos sensores NOAA-12, NOAA-16, GOES-12 e MODIS, este último no estado do Acre é um dos mais utilizados, ratificou os dados obtidos por Selhorst et al. (2003) anteriormente. O autor fez sobrevoo sobre áreas com incêndios, florestadas e não florestadas, correlacionando com os alertas dos sensores dos satélites, tendo como resultado que o sensor GOES-12 teve maior acuidade, detectando 28% das queimadas observado no campo. Relata que incêndios em áreas florestadas, devido à presença de copas e à resolução espacial dos sensores serem maiores que 1,1 km<sup>2</sup>, os erros de omissão de focos foram para todos os satélites entre 90 a 100%, para o período observado de 28/09 a 13/10. Enquanto que incêndios ocorridos em áreas descampadas no mesmo período tiveram em média 60% destes focos acusados por pelo menos um dos sensores. O autor sugere que para detecção de incêndios florestais é necessário novas abordagens para detectar a ocorrência destes.

Pinheiro et al. (2011) observou que o desmatamento no leste acreano ocorreram predominantes em áreas com tamanho entre 3–10 ha e 10–60 ha e que essas duas classes representaram para a região cerca de 67% das áreas desflorestadas no período de 2001 a 2009. e que 96% do desflorestamento estão em áreas de particulares e projetos de assentamento.

Ferreira (2005b) com estudo que reforça a importância das Unidades de Conservação (UCs), relata que com o avanço das fronteiras agrícolas e com as políticas de desenvolvimento, estradas estão sendo criadas e isso está aumentando a pressão sobre as áreas

no entorno destas novas vias. O estudo demonstra curvas exponenciais de desmatamento em função da distancia da via, quanto mais perto da estrada maiores as taxas de desmatamento. Nepstad et al. (2001) quantificou que durante o período de 1978 e 1994 três quartos dos desmatamentos ocorreram dentro de uma área de 100km ao longo das vias de ligação de capitais da região norte. Ferreira (2005b) relatou que no período estudado a proporção desmatada dentro de UCs variou de 1,5 a 4,7% e que nas outras áreas variou de 29,2% a 48,1% para o mesmo período.

Duarte et al. (2007) contemplam o uso de ferramentas do sensoriamento remoto como ferramenta pelo Ministério Público do estado do Acre para dar subsidio às tomadas de decisões nas ações legais do Estado sobre assuntos ambientais. Embasando as ações das secretárias que visão coibir e fiscalizar os possíveis responsáveis por desmatamentos e perda de vegetação dentro da unidade estadual, em um menor espaço de tempo.

Com o avanço tecnológico nessa área, tornou-se possível detectar focos de calor a partir de sensores instalados em satélites artificiais. Dos mais utilizados destacam-se satélites NOAA (12, 15, 16, 17, 18 e 19), AQUA, TERRA, ERS-2, GOES (10 e 12) e MSG-02, equipados com diferentes sensores, cujas principais características estão resumidas na Tabela 1.

Tabela 1 – Resumo dos sensores que captam focos de calor abordo de satélites. Fonte: Tomzhinski et al. (2011)

Satélite Tipo	Sensor	Resolução Espacial	Revisita
<b>Órbita Polar</b>			
<b>NOAA</b>	AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer)	1,1 Km	12 horas
<b>AQUA</b>	MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)	1 Km	1 a 2 dias
<b>TERRA</b>	MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)	1 Km	1 a 2 dias
<b>ERS-2</b>	ATSR (Along Track Scanning Radiometer)	1 Km	3, 35 e 176 dias
<b>Geoestacionários</b>			
<b>GOES</b>	GOES I-M (Imager Radiometer e Vertical Sounder)	4 Km	a cada 30 min
<b>MSG-02</b>	SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager)	3 Km	a cada 30 min

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Caracterização da área de estudo

O Estado do Acre está localizado na região a sudoeste da Amazônia, entre os meridianos 74° 04' e 66° 05' W e os paralelos 7° 08' e 11° 38' S (Figura 1) e possui uma área de 164.221,36 km<sup>2</sup>, o que representa 1,92% da área do país. Durante a maior parte do século XX sua economia esteve baseada no extrativismo vegetal, sendo este quadro alterado nas décadas de 70 e 80 com o avanço da agropecuária. As mudanças passaram a ser verificadas até mesmo em comunidades de populações tradicionais estabelecidas em unidades de conservação como as reservas extrativistas, estruturas fundiárias reivindicadas pelos

movimentos sociais e criadas pelo governo federal para garantir a sustentabilidade social, econômica e ambiental da região (IBGE/SEPLAN, 2011).

Atualmente o setor industrial também tem se expandido na região leste do estado, junto à região do Arco do Desmatamento, onde houve instalação de indústrias do setor de transformação e serviços. Apesar disso a maior parte dos produtos de consumo é proveniente de outras regiões do país. Apenas a pecuária é mais bem desenvolvida e supre as necessidades do mercado interno, que ainda gera excedente para exportação (IBGE/SEPLAN e CEMPRE, 2011).

O Estado possui 11 Unidades de Conservação que totalizam 40.445,04 km<sup>2</sup>, cerca de 25% da área do ACRE (ICMBio, 2013), divididas em Reservas Extrativistas, Florestas Nacionais e um Parque Nacional.

O clima de acordo com Köppen é do tipo Am, com três meses de período seco, precipitação anual entre 1.800 a 2.000 mm e temperatura média anual de 24 °C. Duarte (2006) descreve que no período que teve a grande seca no ano de 2005, foi registrado valores de umidade relativa mínima, na faixa de 30 e 40% ao meio-dia, em áreas com pouca vegetação, decorrência do inverno mais seco já registrado para o Acre.

Duarte (2011b) em estudo sobre a relação do padrão de chuvas que a estação seca no estado do Acre é de julho a agosto e setembro é o mês de transição. Observou que na década de 70 a média diária de chuvas estava em 4,5 mm/dia, início de 90 aumentou para 5,6 mm/dia, já em 2005 diminuiu para 5,0 mm/dia e irá diminuir mais ainda. Segundo o autor as secas atípicas que foram observadas no estado nos anos de 2005 e 2010 estão relacionadas com as altas temperaturas da superfície do oceano Atlântico. As variabilidades climáticas, segundo o autor, que ocasionaram em inundações e longos períodos de estiagens na região Norte estão diretamente influenciadas pelos fenômenos conhecidos como La Niña e El Niño.

Os solos predominantes são distróficos, com alto teor de argila, com exceção da região central do estado onde predomina solos de atividade alta e por vezes eutróficos. A rede de drenagem é constituída na maior parte por pequenos igarapés semi-perenes, porém, extensos rios de direção Sudoeste-Nordeste cortam o estado e, todos pertencem à rede hidrográfica do Rio Amazonas. Os rios apresentam paralelismo e mudanças de direções dos seus cursos, uma característica bastante comum resultante das falhas e fraturas geológicas. Os rios Juruá, Purus, Acre, Tarauacá, Muru, Embirá e Xapuri são os mais importantes do estado.

O Relevo predominante é plano a suave ondulado (BRASIL, 1976) e o Estado encontra-se dividido em unidades geomorfológicas distribuídas entre planície e depressões, as quais estas últimas ocupam a maior parte do seu território e são fortemente influenciadas pelos processos sedimentares da Formação Solimões. Na planície Amazônica o relevo apresenta altitudes que variam entre 110 e 270m (ZEE-AC, 2010) com dissecação orientada pelos principais rios e por ajustes tectônicos.

As principais tipologias de vegetação presentes no Acre são classificadas como Floresta Ombrófila Densa e Floresta Ombrófila Aberta, em geral com a presença de Palmeiras e tosseiras de Bambu principalmente, que ocorrem em aproximadamente 30% do território (IBGE, 1992).

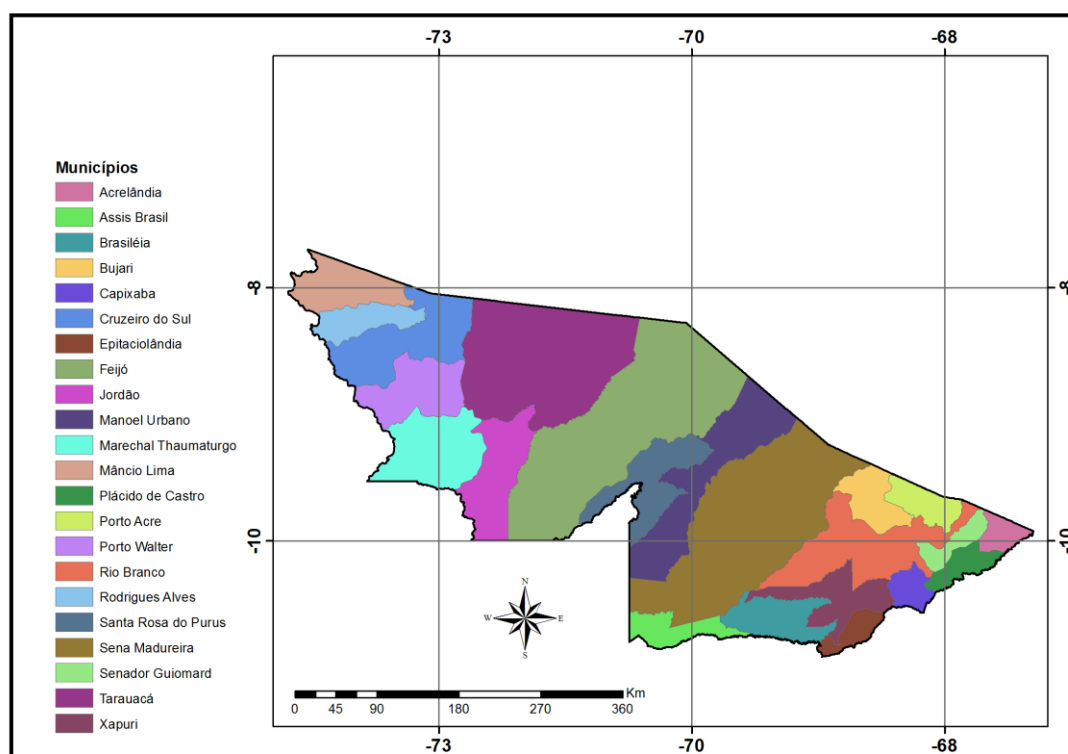


Figura 1. Mapa do Estado do Acre

### 3.2. Coleta dos dados

Foi utilizada a delimitação dos municípios do Zoneamento Ecológico Econômico do Acre ([mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm](http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm)) para melhor englobar os dados disponibilizados pelo PRODES, DETER e ProArco, todos produtos do INPE.

O monitoramento do desmatamento na região da Amazônia é realizado através de vários projetos, dentro dos que utilizam produtos obtidos com sensoriamento remoto, o Projeto de Monitoramento do Desflorestamento na Amazônia Legal (PRODES) e o Projeto de Detecção de Áreas Desflorestadas em Tempo Real (DETER), ferramentas do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) (INPE, 2007).

O PRODES gera anualmente mapas de polígonos de áreas maiores que 6 ha, com as taxas de desflorestamento ocorridos no período de 1 ano na Amazônia Legal. O seu objetivo é fazer um levantamento da mudança do uso do solo pela ação humana sobre a floresta Amazônica. Utiliza imagens do LANDSAT 5, que são classificadas e interpretadas. A comparação com imagens obtidas em anos consecutivos permite avaliar o desflorestamento no período (Câmara et al. 2006).

O DETER tem seus dados divulgados mensalmente na forma de mapas de alertas com áreas desflorestadas superiores a 25 ha, com resolução temporal de 15 dias, o levantamento se torna mais rápido, dando suporte para uma melhor ação de fiscalização dos órgãos competentes. Os mapas indicam áreas totalmente desmatadas, que sofreram corte raso e áreas em processo de desmatamento por degradação florestal progressiva. Uma área que tenha sofrido desflorestamento pode por motivos técnicos não ser computado como desflorestado pelo sistema em um ano, mas será no ano seguinte em algum momento, sua metodologia



contempla sempre o uso de uma base de dados das áreas desflorestadas atualizadas do ano anterior para que não ocorra de áreas antes computadas como desflorestadas sejam incluídas como novas áreas (INPE, 2007).

Dados de focos de calor na faixa termal-média de 3,7um a 4.1um do espectro ótico, foram obtidos no site do INPE do programa ProArco ([inpe.br/queimadas](http://inpe.br/queimadas)), os dados são divulgados sete vezes ao dia, provenientes dos sensores dos satélites GOES, NOAA, Aqua-M-T e Terra, o sensor MODIS se destaca entre os satélites meteorológicos para a região norte, estes sensores possuem resolução espacial de 1 km<sup>2</sup>, fornecem dados em formato de pontos que representam focos de calor ocorridos em uma determinada região (INPE, 2007).

### **3.3. Processamento dos Dados**

Para o processamento das informações disponíveis em tabelas, pontos e polígonos foram utilizados um conjunto de ferramentas do programa de SIG (Sistema de Informação Geográfica) Arcgis 10.

Os pontos representando os focos de calor foram agrupados em tabelas, divididos por municípios, correspondentes aos meses de julho a novembro, que são os meses do período seco, sendo considerados os anos de 2004 a 2011 (Figura 2).

Os pontos de focos de calor gerados pelo ProArco foram sobrepostos aos polígonos de áreas florestadas, no programa ArcGis 10 e classificados em ocorrência espacial com os polígonos anuais do Programa PRODES (INPE). A quantidade de focos de calor em áreas florestadas foram quantificados utilizando a metodologia apresentada no fluxograma na Figura 2, gerando mapas temáticos com as áreas desflorestadas com ocorrência dos focos do ano anterior, para os anos de 2004 a 2011 (Figura 8 e 9).

Os focos de calor foram correlacionados com as áreas de desflorestamento anual obtido no DETER por município de 2004-2011. No MS Excel 2010 foi efetuado o cálculo das correlações de Pearson “r” utilizando a função “correl” entre a área total desflorestada em km<sup>2</sup> e o número de focos de calor por município e ano.

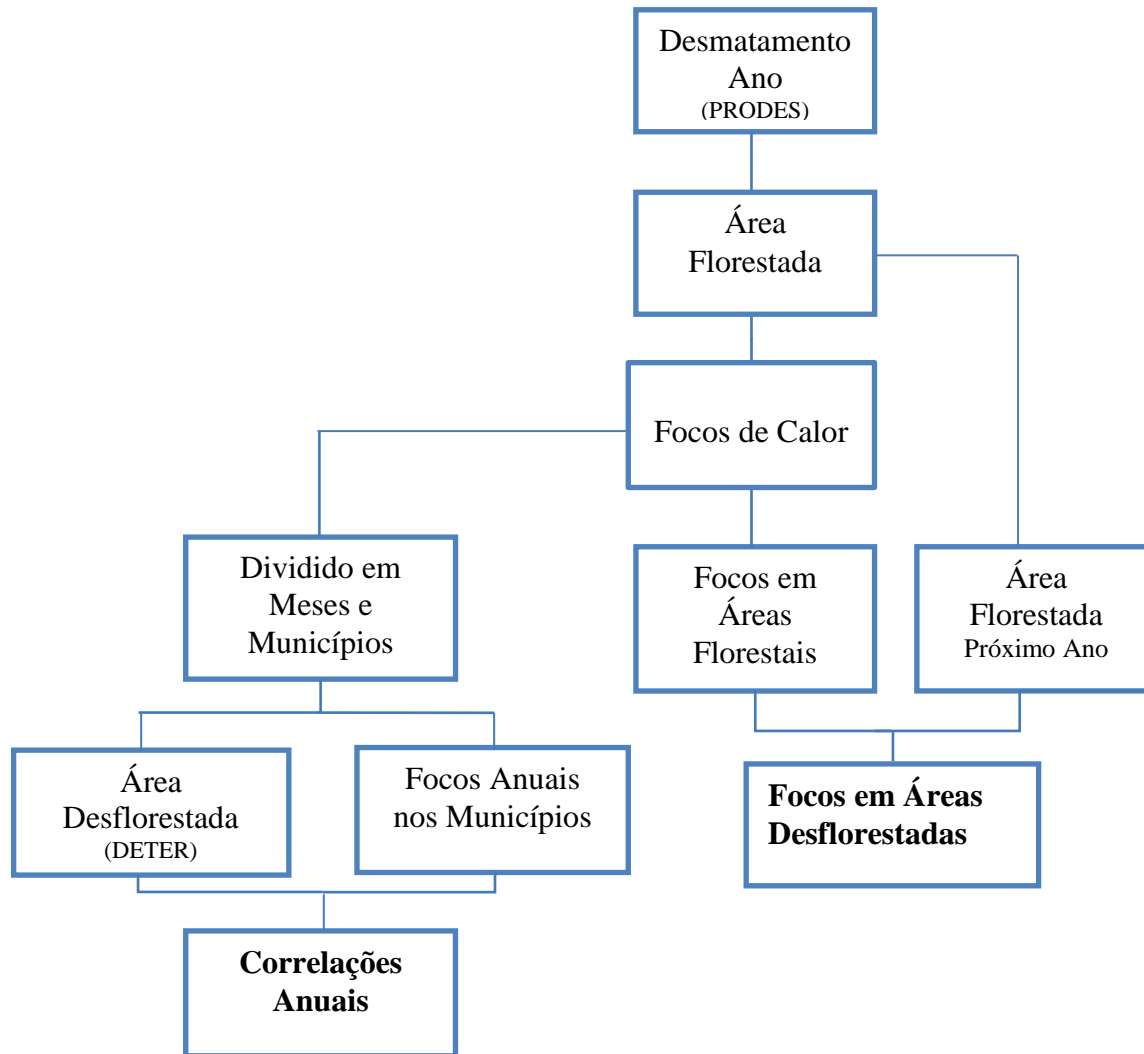


Figura 2 - Fluxograma do processamento dos dados

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O número total de focos de calor de todos os satélites observados para o Estado do Acre no período de 2004 a 2011 foi de 71.615, sendo que apenas o ano de 2005 representou mais de 40% desse total (Figura 5). Segundo Brown et al. (2006), nesse ano a Amazônia Ocidental sofreu uma seca prolongada que propiciou grandes queimadas em áreas abertas e incêndios florestais, atingindo mais de 400.000 ha somente no leste do Acre. A diminuição das chuvas e o aumento dos períodos de seca nessa região são influenciados por eventos globais como o fenômeno “El niño”, “La niña” e o aumento da temperatura da superfície do mar (TSM) do Atlântico (CPTEC, 2008), como ocorreu em 1926, 1983, 1998 e 2005 na Amazônia (MARENGO, 2006).

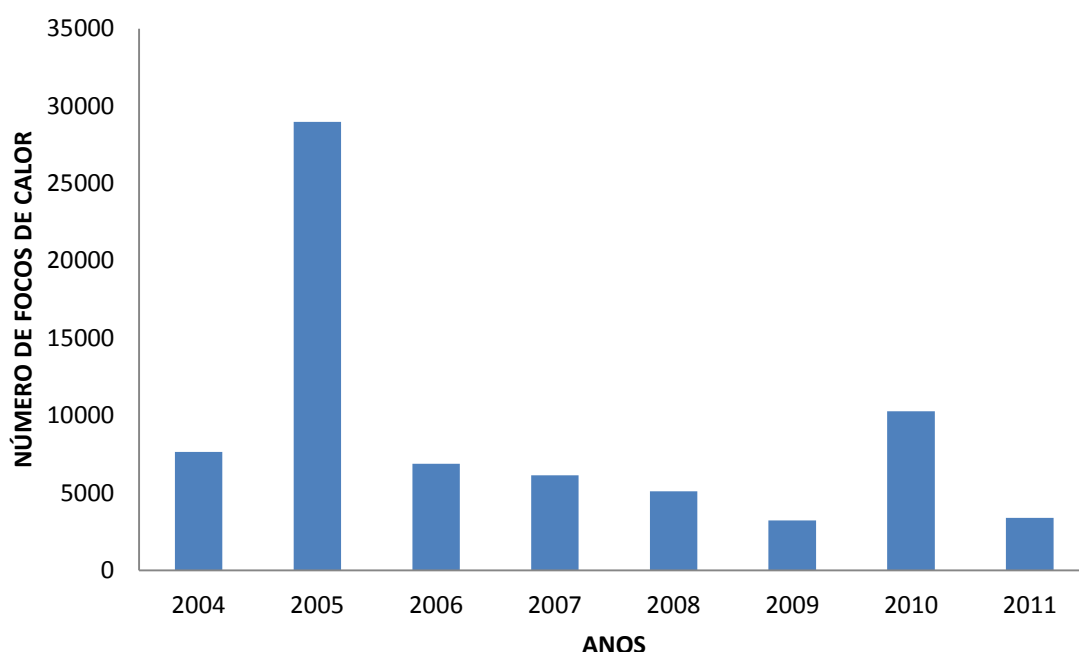


Figura 3. Número de focos de calor no período de 2004 a 2011 no Estado do Acre. Fonte: BQUEIMADAS-INPE / CPTEC.

Esses focos ocorreram principalmente na região do baixo acre, nestes 10 municípios mais 63% dos focos se concentraram na região junto à zona do arco do desmatamento (Figura 4), Rio Branco apresentou a maior quantidade de focos de calor no período estudo, mesmo possuindo a segunda menor densidade entre eles

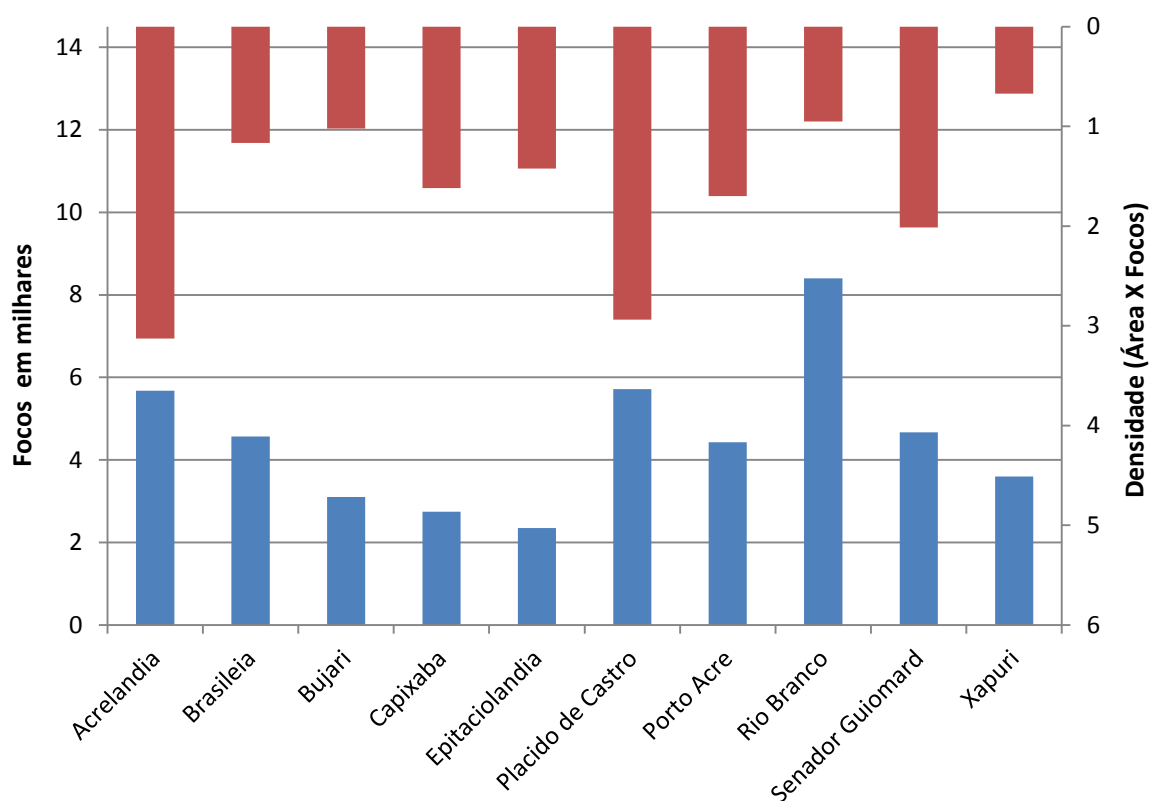


Figura 4. Distribuição dos focos de calor pela densidade de cada município do Acre no período de 2004 a 2011.

Os dados disponibilizados pelo INPE apesar de serem provenientes de vários satélites, possuem limitações para detectar focos de calor. A presença de nuvens provavelmente influenciou na quantificação das áreas desflorestadas e nos focos de calor, pois por ser uma região com grande presença de nuvens durante longos períodos, estas podem mascarar resultados além também do efeito do sombreamento das árvores que podem em menor grau interferir sobre a detecção dos focos em áreas com florestas (INPE, 2010).

Segundo Pantoja et al. (2005), focos de calor subestimam significativamente o número de queimadas no território acreano, ou seja, esses eventos são mais numerosos do que os focos de calor indicam. Esses mesmos autores concluíram que dados de detecção de fogo dos sensores NOAA-12, NOAA-16, GOES-12 e MODIS, quando analisados individualmente, subestimaram entre 92 a 100% os eventos de queimadas observados durante um estudo de caso envolvendo 38 observações no ano de 2004. Já Pantoja e Brown (2007) determinaram que apenas 4% de focos de calor foram associados aos incêndios florestais. Para esses autores, os incêndios são dificilmente detectados por todos os satélites e sugerem que novas abordagens precisam ser desenvolvidas para poder detectar a ocorrência de incêndios em florestas.

Os anos estudados indicaram correlação moderada  $0,4 < R < 0,6$  entre o número anual de focos de calor e o desflorestamento no mesmo ano para 2004, 2006 e 2007, e forte correlação  $R > 0,6$  para os anos de 2005, 2008 e 2010 (Tabela 2). Demonstrando que o número de focos de calor está fortemente relacionado ao aumento das áreas desflorestadas no estado. Provavelmente isso ocorre devido ao fato de se utilizar a queimada como ferramenta

de limpeza de solo nas regiões de fronteira agrícola e uso de manejo de baixo impacto, seja para modificação do tipo de cobertura seja para manutenção de cobertura pré-existente.

Tabela 2 – Correlações de numero de focos versus área desflorestada (área acumulada até 2004)

Ano	Correlação	Nº Focos Totais	Área Total Anual Desflorestada (km <sup>2</sup> )
<b>2004</b>	0,547	7641	487,51
<b>2005</b>	0,671	28965	112,43
<b>2006</b>	0,469	6879	318,24
<b>2007</b>	0,572	6140	74,85
<b>2008</b>	0,698	5101	58,68
<b>2009</b>	0,285	3230	22,44
<b>2010</b>	0,694	10276	55,36
<b>2011</b>	0,357	3383	31,18

Ferreira et al. (2005) em estudo semelhante feito para os anos de 2002 e 2003 na área da Amazônia Legal, encontraram forte correlação de Pearson com  $R = 0,731$  para 2002 e  $R = 0,610$  para 2003 entre o numero anual de focos de calor e o desflorestamento do mesmo ano, demonstrando que há relação entre áreas que sofreram mudança do seu uso e a frequência de focos de calor na mesma área.

Porém, considerando todo o período conjuntamente, essa correlação foi de 0,4, o que demonstra fraca relação entre os focos de calor e o aumento das cicatrizes de desmatamento no Estado do Acre (Figura 5). Provavelmente neste período diferentes variáveis climáticas influenciaram de maneira específicas cada período, favorecendo ou diminuindo o surgimento de focos de calor e o próprio desmatamento. Outro fato foi o elevado número de focos de calor no ano de 2005, que assumiu um comportamento de *outliers*.

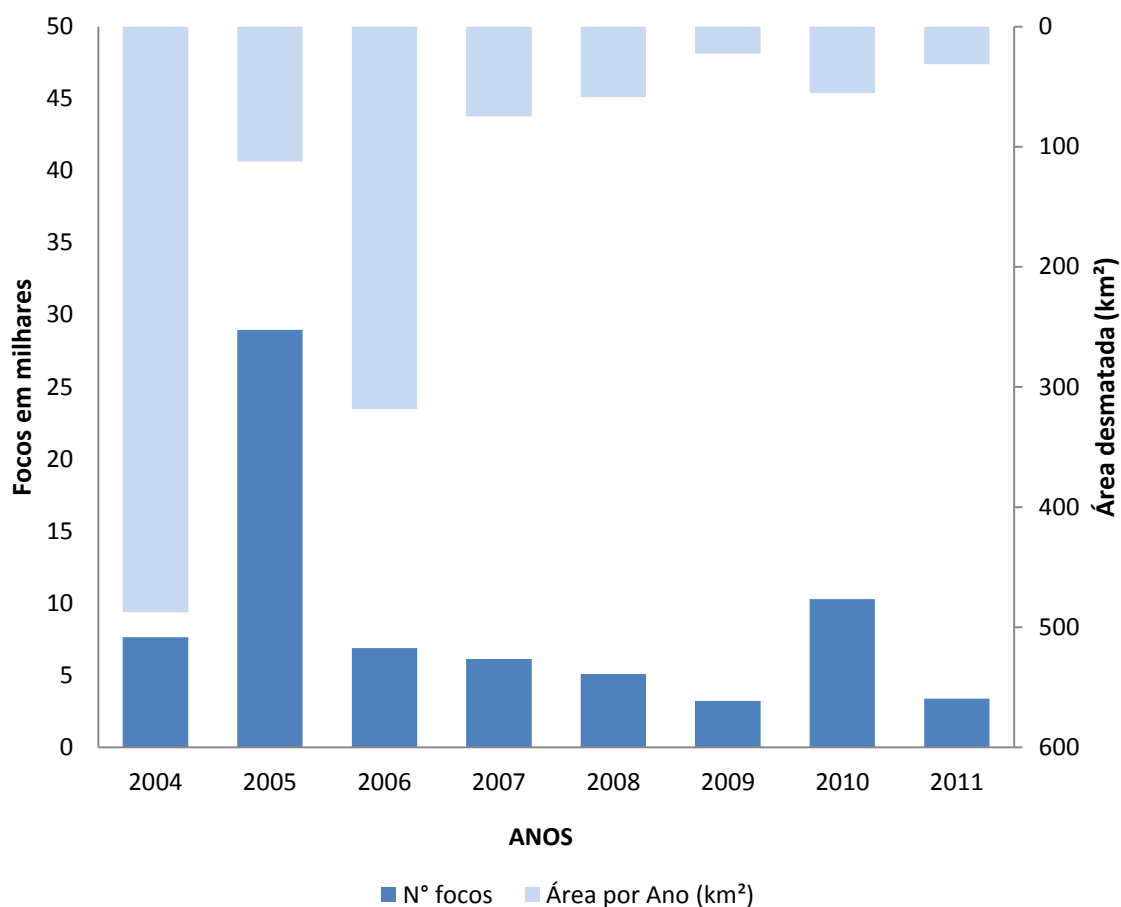


Figura 5. Relação entre focos de incêndios e área desmatada (km<sup>2</sup>).

Os dados obtidos com a interpolação entre os focos de calor captados pelos sensores dos satélites e as áreas de desflorestamento delimitadas pelo projeto PRODES, demonstram comportamento distinto quando comparados quando se considera apenas a presença dos focos (Figura 6). No ano de 2004, dos 3894 focos captados pelos satélites no período de Julho a Novembro em área florestada, 777 resultaram em áreas desflorestadas no ano seguinte, representando cerca de 20% do total dos focos. No ano de 2005 foi observado em área florestada, 12.403 focos e no ano seguinte 1.369 resultaram em áreas desflorestadas, cerca de 11%. Para o ano de 2006, 2007, 2008 e 2010 as percentagens de focos convertidos em áreas desflorestadas no período de um ano foram diminuindo de 11 a 7 % respectivamente (Figura 6).

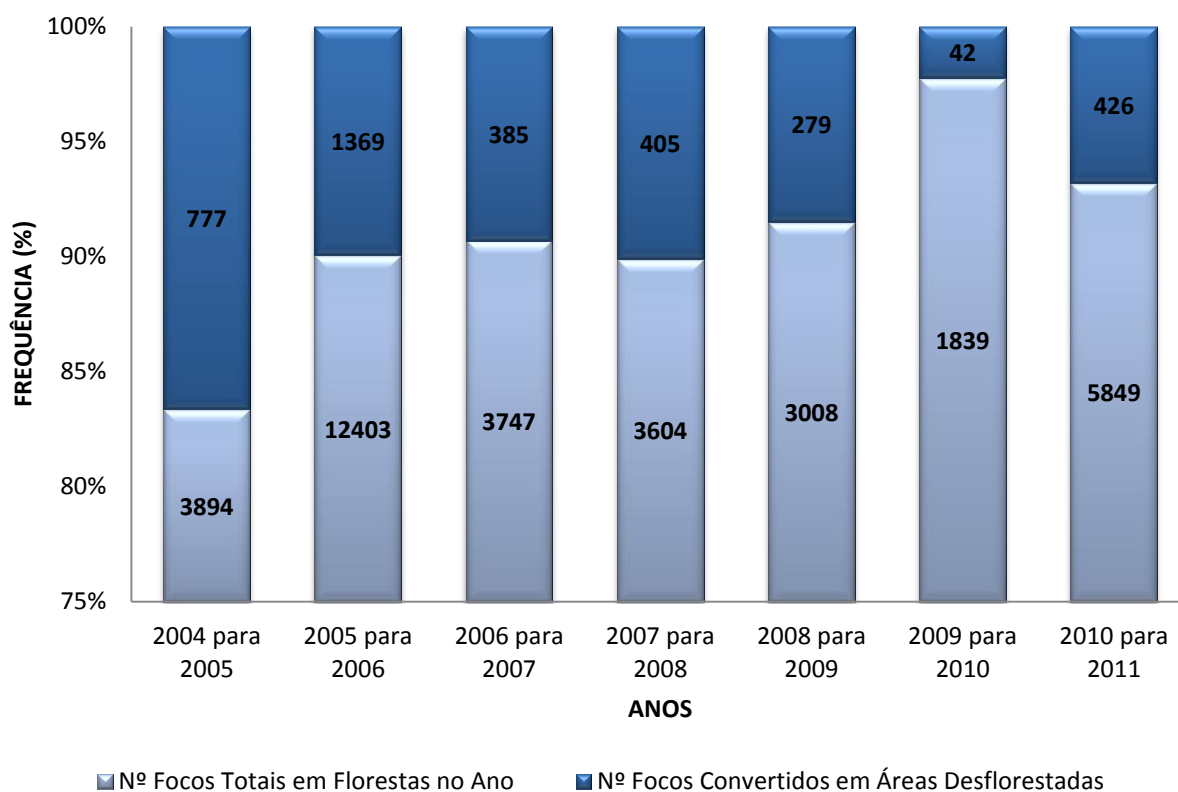


Figura 6. Frequência (%) de focos convertidos em áreas desflorestadas (km<sup>2</sup>) no período de 2004-2011.

No ano de 2009 a baixa ocorrência de focos convertidos em áreas desflorestadas no ano seguinte provavelmente esteja relacionada com um conjunto de sistemas climáticos que tenham agido na região, visto que esse ano apresentou grande precipitação média anual (Figura 7).

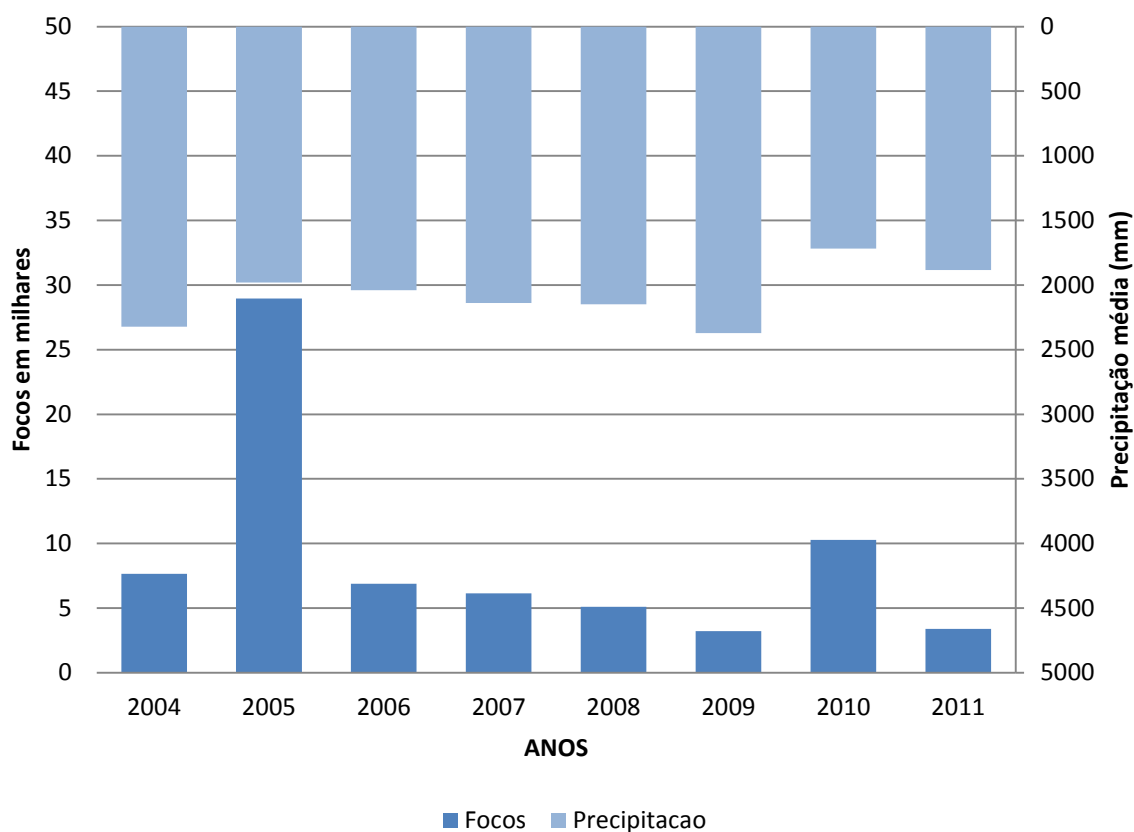


Figura 7. Precipitação média anual (mm) e número total de focos no período de 2004-2011.

Nos mapas temáticos apresentados a seguir se observa a distribuição espacial dos pontos de calor detectados que foram convertidos em áreas desflorestadas no ano seguinte ao detectado. Nos primeiros três anos os focos se concentraram na região do baixo acre, junto à borda do arco do desmatamento. A partir de 2007 os pontos se tornam mais espaçados, demonstrando que provavelmente houve mudanças nas práticas culturais de uso de queimadas e/ou se está expandindo ao longo das vias de ligação entre os municípios.



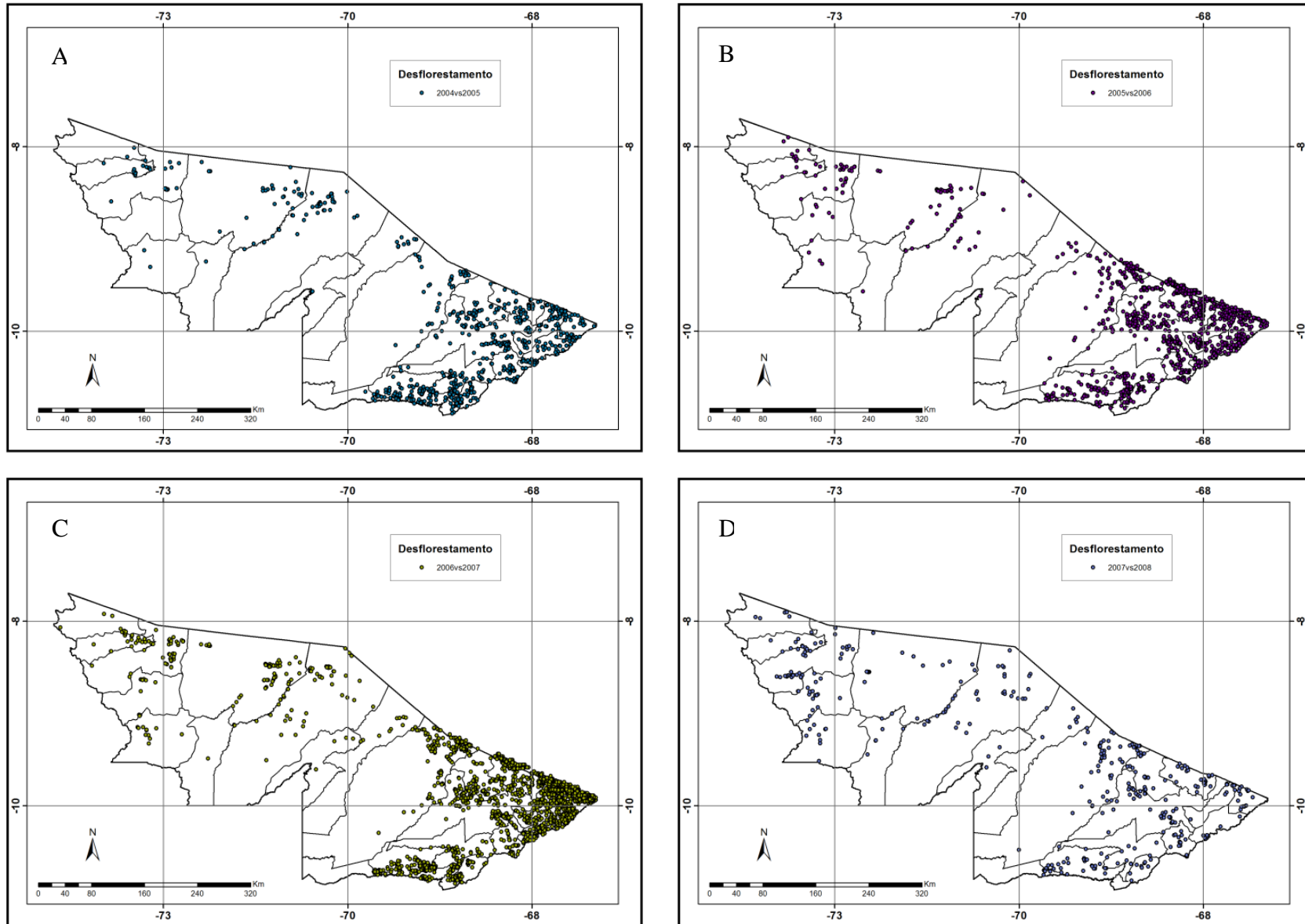


Figura 8. Mapas de Focos de Calor em áreas Desflorestadas em ano posterior: 2004 (A), 2005 (B), 2006 (C), 2007 (D)

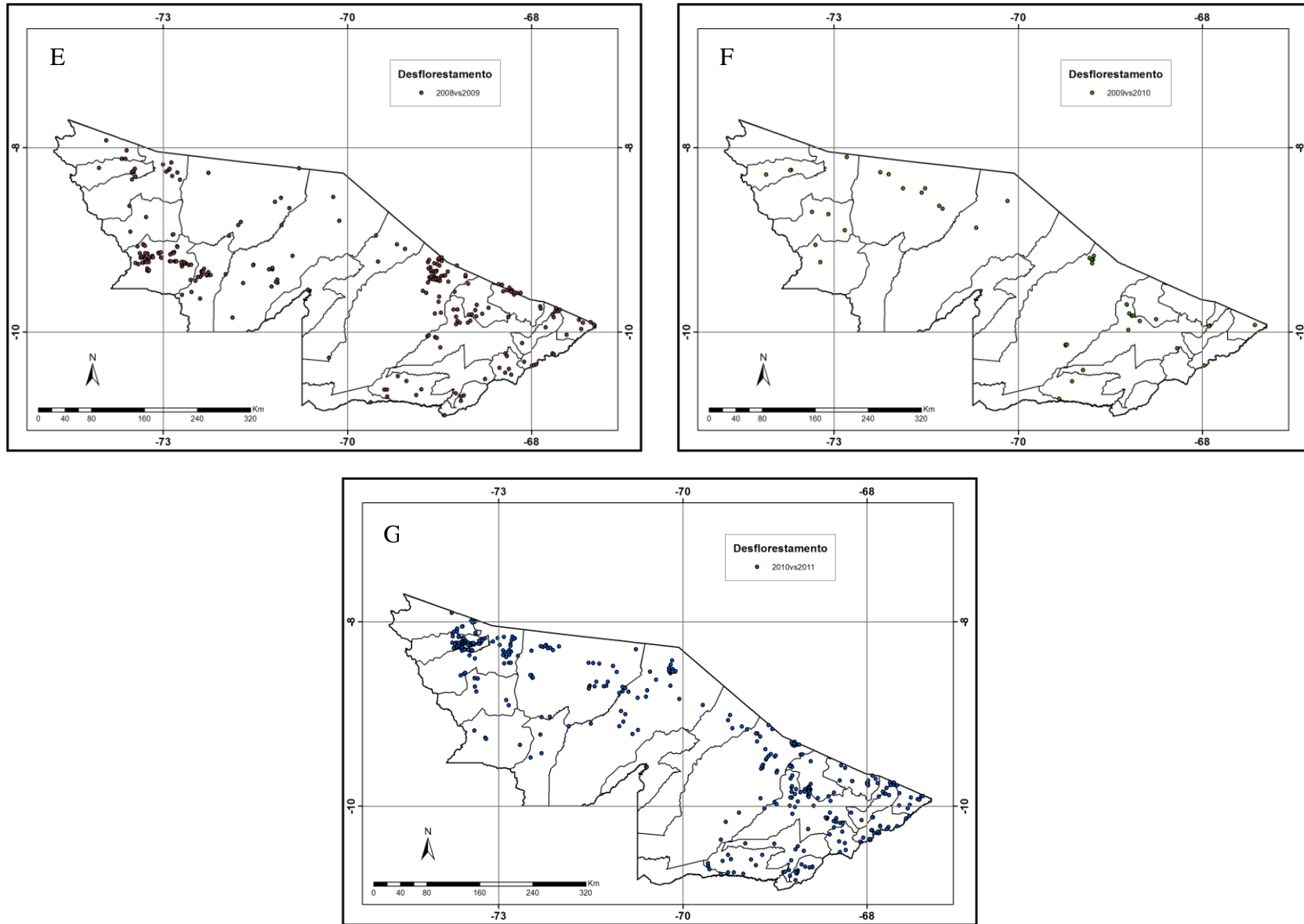


Figura 9 – Mapas de Focos de Calor em áreas Desflorestadas em ano posterior: 2008 (E), 2009 (F), 2010 (G)

## 5. CONCLUSÕES

Este trabalho demonstra que para a série temporal estudada de 2004 – 2011 houve correlações positivas com áreas desflorestadas e os focos de calor detectados no mesmo ano.

Foi observado que cerca de 10% dos focos ocorridos em áreas florestadas são convertidas em áreas desflorestadas no espaço de um ano, o que alerta para que ações de controle destes focos principalmente em zonas susceptíveis a incêndios sejam mais eficientes.

Devido à maior resolução dos sensores de focos de calor e à omissão de alertas é necessário também destacar a importância da obtenção de dados em campo para autenticar esses focos. Estudos devem ser feitos buscando melhorar a detecção destes focos para uma rápida resposta dos órgãos de combate, prevenção e fiscalização.

## 6. REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A.N.** *Dominios Morfoclimáticos Na América Do Sul*. Revista Geomorfologia, nº 52 vol. 1, São Paulo, 1977
- ALBUQUERQUE, J. H. B.; GOMES, J. J. B.; DA COSTA, C. B.; SANTOS, C. S.; BROWN, I. F.** *Visão da Defesa Civil do Estado do Acre na Aplicação das Ferramentas de Sensoriamento Remoto para Controle e Combate às Queimadas do Ano de 2005*. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis, 2007. p. 4413 – 4420.
- ARAÚJO, L. M. A.; SILVA, T. M. V.; NASCIMENTO, E. R. P.** *Análise dos focos de calor em áreas florestais ao longo do Arco do Desflorestamento*. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis, 2007. p. 4421 – 4423.
- CÂMARA, G.; VALERIANO, D.M.; SOARES, J.V.** *Metodologia para o Cálculo da Taxa Anual de Desmatamento na Amazônia Legal*. São José dos Campos: INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2006. p. 24
- CPTEC.** El niño y la niña. 2008. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/enos/>>. Acesso em: 10 mar. 2008.
- DUARTE, A. F.** *Aspectos da climatologia do Acre, Brasil, com base no intervalo 1971 – 2000*. Revista Brasileira de Meteorologia, v.21, n3b, 2006, p 308-317
- DUARTE, A. F.** *As chuvas na bacia do rio acre e o fluxo das águas em Rio Branco, Amazônia Ocidental*. ABRH, 2011
- DUARTE, E. C.; GONÇALVES, M. C. A.; REGO, P. A.** *O uso dos produtos de sensoriamento remoto e suas implicações para a tomada de decisões do Ministério Público do Estado do Acre*. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis, 2007. p. 4457 – 4463.
- FEARSLIDE, P. M.** *Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e consequências*. MEGADIVERSIDADE, 2006. v.1, p. 113 – 123.
- FEARSLIDE, P. M.** *Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle*. ACTA Amazônica, 2006. v.36 (3), p. 395 – 400.
- FERREIRA, D. A. C.; TRANCOSO, R.; NOGUEIRA, S. P.; FILHO, A. C.** *O uso dos focos de calor imageados pelo satélite NOAA-AVHRR para identificação das áreas em processo de desflorestamento*. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia, 2005. p. 2145 – 2152.
- FERREIRA, L. V.; VENTICIQUE, E.; ALMEIDA, S.** *O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas*. Estudos Avançados v. 19. nº 53. São Paulo, 2005. p 157- 165
- GOVERNO DO ACRE, IBGE/SEPLAN.** Acre em números 2011
- INPE – [www.inpe.br](http://www.inpe.br)**
- KUPLICH, T.M.; Perez, L. P.; VALERIANO, D. M.; SOUSA, R. C. A.; XAVIER, C. S.; MOTTA, M.; GUISSARD, D. M.** *Mosaico do desmatamento no Estado do Acre em 1985* Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia, 2005. p. 1577 – 1583.

**MARENGO, J.** *Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas sobre o território brasileiro ao longo do século XXI.* Brasília, DF: MMA, 2006 (Biodiversidade, v. 26)

**MENESES, P. R.; ALMEIDA, T.** *Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento remoto.* UNB, Brasília, 2012, p 3-4

**MESQUITA JUNIOR, H. N.; SILVA, M. C.; WATANABE, N. Y.; ESTEVES, R. L.** *Aplicações de sensoriamento remoto para o monitoramento do desmatamento da Amazônia.* Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis, 2007. p. 6835 – 6842.

**NEPSTAD, D. C.; VERÍSSIMO, A.; ALENCAR, A.; NOBRE, C. A.; LIMA, E.; LEFEBVRE, P. A.; SCHLESINGER, P.; POTTER, C.; MOUTINHO, P. R. S.; MENDOZA, E.; COCHRANE, M. A.; BROOKS, V.** *Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire.* **Nature**, n. 398, p. 505–508, 1999.

**PANTOJA, N.V.; BROWN, I.F.** *Acurácia dos sensores AVHRR, GOES e MODIS na detecção de incêndio florestais e queimadas a partir de observações aéreas no estado do Acre, Brasil.* Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis, 2007. p. 6835 – 6842.

**PANTOJA, N.V.; SELHORST, D.; ROCHA, K.S.; LOPES, F.M.C.; SARAIVA, L.S.; VASCONCELOS, S.S.; BROWN, I.F.** *Observações de queimadas no leste do Acre: subsídios para validação de focos de calor derivados de dados de satélites.* Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia, 2005. p. 3215 – 3222.

**PINHEIRO, T. S.; SILVA, S. S.; PIONTEKOWSKI, V. J.; COSTA, F. C.; MENDOZA, E. R. H.** *Desflorestamento nos municípios da Regional do Alto Acre e Capixaba no Estado do Acre.* Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Curitiba, 2011, p. 3005-3012.

**RADAMBRASIL.** Ministério das Minas e Energia. Departamento de Produção Mineral. *Projeto Radambrasil. Folha SC19. Levantamento dos Recursos Naturais.* v. 12. Rio Branco. Rio de Janeiro, RJ. 1976. p. 458

**SELHORST, D.; BROWN, F. I.** *Queimadas na Amazônia sul-ocidental, estado do acre - brasil: comparação entre produtos de satélites (goes-8 e noaa-12) e observações de campo.* Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Belo Horizonte, 2003, p 517-524.

**TOMZHINSKI, G. W.; COURA, P. H. F.; FERNANDES, M. C.** *Avaliação da Detecção de Focos de Calor por Sensoriamento Remoto para o Parque Nacional do Itatiaia.* Biodiversidade Brasileira, 2011 Ano I, Nº 2, 201-211

**VALERIANO, D. M.; SHIMABUKURO, Y. E.; DUARTE, V.; ANDERSON, L. O.** *Detecção do desflorestamento da Amazônia Legal em tempo real - Projeto DETER.* Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia, 2005. p. 3403 – 3409.

**VASCONCELOS, S. S.; FEARNside, P. M.; GRAÇA, P. M. L. A.; NOGUEIRA, E. M.** *Mapeamento das áreas afetadas por incêndios florestais no sul do Amazonas e estimativas das emissões potenciais de carbono.* Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Curitiba, 2011, p 8059-8066.

**VIANA, D. V.; PERES, W. L.; MALHEIROS, A. F.** *Distribuição espacial dos focos de calor na Amazônia brasileira - “Arco do desmatamento”* 3º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Cáceres, Mato Grosso, 2010, p. 764-772.