



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/03.22.23.21-TDI

## **ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO DESACOPLAMENTO DOS PADRÕES DE FOGO E DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA**

Laura Barbosa Vedovato

Dissertação de Mestrado do  
Curso de Pós-Graduação em  
Sensoriamento Remoto, orientada  
pelos Drs. Luiz Eduardo Oliveira  
e Cruz de Aragão, e Egídio Arai,  
aprovada em 08 de abril de 2016.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3LCQ9DB>>

INPE  
São José dos Campos  
2016

## **PUBLICADO POR:**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@inpe.br

## **COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):**

### **Presidente:**

Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação (CPG)

### **Membros:**

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

Dr. André de Castro Milone - Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dra. Carina de Barros Melo - Coordenação de Laboratórios Associados (CTE)

Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação de Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr. Hermann Johann Heinrich Kux - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Dr. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Silvia Castro Marcelino - Serviço de Informação e Documentação (SID)

### **BIBLIOTECA DIGITAL:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SID)

### **REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:**

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

### **EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:**

Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/03.22.23.21-TDI

## **ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO DESACOPLAMENTO DOS PADRÕES DE FOGO E DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA**

Laura Barbosa Vedovato

Dissertação de Mestrado do  
Curso de Pós-Graduação em  
Sensoriamento Remoto, orientada  
pelos Drs. Luiz Eduardo Oliveira  
e Cruz de Aragão, e Egídio Arai,  
aprovada em 08 de abril de 2016.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3LCQ9DB>>

INPE  
São José dos Campos  
2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

Vedovato, Laura Barbosa.

V515a Análise espaço-temporal do desacoplamento dos padrões de fogo e desmatamento na Amazônia / Laura Barbosa Vedovato . – São José dos Campos : INPE, 2016.

xxii + 97 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/03.22.23.21-TDI)

Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2016.

Orientadores : Drs. Luiz Eduardo Oliveira e Cruz de Aragão, e Egídio Arai.

1. Amazônia. 2. Queimadas. 3. Fragmentação florestal. 4. Déficit hídrico. 5. Desmatamento. I.Título.

CDU 528.8:630\*43(811.3)

---



Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

Aluno (a): **Laura Barbosa Vedovato**

Título: " ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO DESACOPLAMENTO DOS PADRÕES DE FOGO E DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA".

Aprovado (a) pela Banca Examinadora  
em cumprimento ao requisito exigido para  
obtenção do Título de **Mestre** em  
**Sensoriamento Remoto**

Dr. Luiz Eduardo Oliveira e Cruz de  
Aragão



**Presidente / Orientador(a) / INPE / São José dos Campos - SP**

Dr. Egídio Arai



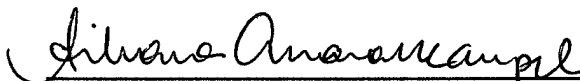
**Orientador(a) / INPE / São José dos Campos - SP**

Dr. Flávio Jorge Ponzoni




**Membro da Banca / INPE / SJC Campos - SP**

Dra. Silvana Amaral Kampel



**Membro da Banca / INPE / SJC Campos - SP**

Dr. Jos Barlow



**Convidado(a) / Univ. of Lancaster / Reino Unido - UK**

**Este trabalho foi aprovado por:**

maioria simples

unanimidade

**São José dos Campos, 08 de Abril de 2016**



*“Onde meus talentos e paixões encontram as necessidades do mundo, lá está  
meu caminho, meu lugar”*

Aristóteles





*A meus pais Nelson e Maria,  
minha irmã Natália,  
vô Bertino e vó Maria.*



## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado e ao Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pelo apoio financeiro, disponibilização de seus recursos e instalações no desenvolvimento deste estudo.

Aos meus orientadores Dr. Luiz Aragão e Dr. Egidio Arai por todo conhecimento transmitido, apoio profissional e pessoal para a condução deste trabalho.

A todos os professores e demais servidores do INPE pela dedicação e apoio ao longo do curso.

À Liana Anderson e todos os amigos do grupo TREES, André, Monique, Letícia, Camila, Thaís, Cassya, Rafa, Nat, Carlos, Yhasmin, Marisa que estavam sempre dispostos a tomar um cafezinho, discutir sobre trabalho ou espairecer a mente.

Aos colegas de turma que sempre permaneceram presentes durante as dificuldades nas disciplinas, tornando tudo mais leve com o companheirismo.

À Rani, Bruna e Aline pelo convívio ao longo destes dois anos, trazendo o conforto familiar mais próximo.

A meus familiares que sempre me apoiaram e me incentivaram no caminho da vida acadêmica.



## RESUMO

Em meados da última década as taxas de desmatamento na Amazônia Legal entraram em declínio. Diversos fatores influenciaram este processo, tais como: (1) a contribuição de intervenções políticas, (2) iniciativas de setores privados e (3) condições de mercado. No entanto, quando comparado à ocorrência de queimadas na região, identificou-se uma tendência de aumento de queimadas em 59% das áreas com redução de desmatamento, evidenciando um desacoplamento entre esses processos. O presente trabalho visa entender os principais mecanismos que promovem este atual desacoplamento observado entre queimadas e desmatamento na Amazônia brasileira. Para isso, foram testadas três hipóteses não exclusivas que afirmam que esse padrão pode estar associado a (H1) um aumento das áreas fragmentadas na floresta Amazônica, (H2) um aumento da frequência de secas na região e (H3) um aumento da área de florestas secundárias e degradadas na região. Para tanto, foi mapeada e quantificada a fragmentação da floresta Amazônica, e analisada as tendências temporais da ocorrência dos focos de calor, taxas de desmatamento, classes de fragmentação, degradação florestal, secundarização florestal e frequência das secas na Amazônia. Os resultados da análise de fragmentação considerando o parâmetro de 120m, para o ano de 2014, mostraram que 2.956.746 km<sup>2</sup> da Amazônia brasileira constituem áreas contínuas (classe Core). Contudo, 56.494km<sup>2</sup>, 119.057km<sup>2</sup>, 10.228km<sup>2</sup> e 42.170km<sup>2</sup> encontram-se fragmentados dentro das respectivas classes: Corredor, Borda, Ilha e Perfuração. O resultado da análise de correlação por pixel para a série temporal de 2003 a 2014 indicou que a classe de fragmentação Corredor de 120m, apresentou a maior quantidade de células significativas positivas ( $p < 0,1$ ) correspondendo a 23,9% (844 células) de todas as células analisadas, seguida pela classe déficit hídrico (22% - 808 células) e pela classe desmatamento (21,7% -718 células). Conclui-se, portanto, que a fragmentação da Amazônia, especialmente a formação de Corredores e eventos de seca podem exacerbar o efeito direto do desmatamento sobre a incidência de queimadas em parte da Amazônia brasileira. O entendimento dessas relações é uma etapa crítica para subsidiar planos de mitigação dos impactos do fogo nesta região.



## **SPATIO-TEMPORAL ANALYSIS OF THE DECOUPLING BETWEEN FIRE AND DEFORESTATION IN THE AMAZON**

### **ABSTRACT**

Since the middle of the last decade, deforestation rates in the Amazon have declined. This process was due to a number of factors such as: (1) the contribution of policy interventions, (2) private sector initiatives and (3) market conditions. However, the occurrence of fires did not show the same pattern of decline as deforestation rates, indicating a decoupling between these processes. Therefore, this study aims to understand the main mechanisms that cause this current decoupling observed between fires and deforestation in the Brazilian Amazon. For this, three non-exclusive hypotheses were tested stating that this pattern may be associated with (H1) an increase in fragmented areas in the Amazon forest, (H2) an increase in the frequency of droughts in the region and (H3) an increase in secondary and degraded forests area in the region. For testing these hypotheses the fragmentation of the Amazon forest was mapped and quantified. Temporal trends in fragmentation was then analyzed and subsequently correlated with the occurrence of hot spots, rates of deforestation, fragmentation classes, forest degradation, secondary forest and frequency of droughts in the Amazon between 2003 and 2014. The results of the fragmentation analysis considering the distance parameter of 120m showed that in 2014 2.956.746 km<sup>2</sup> of the Brazilian Amazon encompass continuous areas (core class). However, 56.494km<sup>2</sup>, 119.057km<sup>2</sup>, 10.228km<sup>2</sup> and 42.170km<sup>2</sup> were classified as fragmented within their respective classes: corridor, edge, isle and perforation. The results of the pixel-based correlation analysis indicated that the class identified as fragmentation edge with 120m had the highest amount of significantly positive cells ( $p < 0.1$ ) corresponding to 23.9% (844 cells) of all cells analyzed, followed by the class water deficit (22% - 808 cells) and deforestation class (21.7% - 718 cells). This study demonstrated that fragmentation of the Amazon, especially the formation of corridors combined with drought events may exacerbate the direct effect of deforestation on the incidence of fires in parts of the Brazilian Amazon. Understanding these relationships is a critical step to support plans for mitigation of fire impacts in this region.





## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 2.1. Representação das classes da métrica MSPA. ....	19
Figura 3.1. Localização da área de estudo. A linha preta grossa corresponde ao limite do bioma amazônico brasileiro e as linhas pretas finas aos limites dos países da América do Sul.....	24
Figura 4.1. Fluxograma do trabalho. ....	25
Figura 4.2. Cálculo dos dados de floresta indisponíveis. ....	33
Figura 4.3. Exemplo da porcentagem de desmatamento em células com 0,25°. ....	35
Figura 4.4. Exemplos das classes de fragmentação e sua porcentagem dentro da célula de 0,25° para o ano de 2010, considerando o parâmetro de 120 metros. Em A, a classe de área Core; em B, Borda; em C, Corredor; em D, Ilha. Cada figura possui um range diferente, não podendo ser comparadas entre si. ....	37
Figura 4.5. Esquema da análise de correlação espaço-temporal entre focos de calor e desmatamento. ....	39
Figura 5.1. Resultado do mapeamento da fragmentação da paisagem para o ano de 2014. Em A com o parâmetro 1, referente a 60m; em B, parâmetro 2, referente a 120m; em C, parâmetro 17, referente a 1020m; e em D parâmetro 33 referente a 1980m. ....	42
Figura 5.2. Taxas de desmatamento e focos de calor por km <sup>2</sup> desmatado no bioma amazônico relacionado com as fases do PPCDAm. ....	45
Figura 5.3. Média dos focos de calor por km <sup>2</sup> desmatado pelas taxas de desmatamento em períodos específicos do PPCDAm. As barras indicam o desvio padrão das médias. ....	46
Figura 5.4. Gráficos do comportamento das variáveis ao longo da série temporal. Em A, Focos de calor; em B, Desmatamento; em C, Degradação; em D, Floresta Secundária; em E, MCWD; em F, Área Core; em G, Corredor; em H, Borda; em I, Ilha e em J, Perfuração. ....	47
Figura 5.5. Correlação temporal por pixel dos focos de calor com desmatamento. ....	50
Figura 5.6. Correlação temporal por pixel dos focos de calor com MCWD. ....	50

Figura 5.7. Correlação temporal por pixel dos focos de calor com os diferentes parâmetros para classe de fragmentação Core. Em A, parâmetro de 60m; em B, 120m; em C, 1020m e em D, 1980m. ....	51
Figura 5.8. Correlação temporal por pixel dos focos de calor com os diferentes parâmetros para classe de fragmentação Corredor. Em A, parâmetro de 60m; em B, 120m; em C, 1020m e em D, 1980m. ....	53
Figura 5.9. Correlação temporal por pixel dos focos de calor com os diferentes parâmetros para classe de fragmentação Borda. Em A, parâmetro de 60m; em B, 120m; em C, 1020m e em D, 1980m. ....	54
Figura 5.10. Correlação temporal por pixel dos focos de calor com os diferentes parâmetros para classe de fragmentação Ilha. Em A, parâmetro de 60m; em B, 120m; em C, 1020m e em D, 1980m. ....	56
Figura 5.11. Correlação temporal por pixel dos focos de calor com os diferentes parâmetros para classe de fragmentação Perfuração. Em A, parâmetro de 60m; em B, 120m; em C, 1020m e em D, 1980m. ...	58
Figura 5.12. Correlação temporal por pixel dos focos de calor com degradação. ....	59
Figura 5.13. Correlação temporal por pixel dos focos de calor com floresta secundária.....	60
A.1. Fragmentação em 2003.....	81
A.2. Fragmentação em 2004.....	82
A.3. Fragmentação em 2005.....	82
A.4. Fragmentação em 2006.....	83
A.5. Fragmentação em 2007.....	83
A.6. Fragmentação em 2008.....	84
A.7. Fragmentação em 2009.....	84
A.8. Fragmentação em 2010.....	85
A.9. Fragmentação em 2011.....	85
A.10. Fragmentação em 2012.....	86
A.11. Fragmentação em 2013.....	86

## LISTA DE TABELAS

	<b><u>Pág.</u></b>
Tabela 4.1. Resolução espacial das bandas do sensor MODIS.....	26
Tabela 4.2. Parâmetros utilizados para o cálculo da fragmentação.....	31
Tabela 4.3. Dados utilizados e suas resoluções espaciais originais. ....	34
Tabela 5.1. Número de focos de calor e quantificação em km <sup>2</sup> das demais variáveis analisadas por estados da Amazônia brasileira. ....	44
B1.Tabelas exploratórias de 2003 a 2013.....	87



## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AMO	<i>Atlantic Multidecadal Oscillation</i>
AVHRR	<i>Advanced Very High Resolution Radiometer</i>
CEPAL	Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe
CERES	<i>Clouds and Earth's Radiant Energy System</i>
DEGRAD	Mapeamento da Degradação Florestal na Amazônia Brasileira
DETER	Detecção de Desmatamento em Tempo Real
DETEX	Detecção de Exploração Seletiva
DMSP	Programa de Satélite Meteorológico de Defesa
DPI	Divisão de Processamento de Imagens
ENSO	<i>El Niño</i> Oscilação Sul
FIRMS	<i>Fire Information for Resource Management System</i>
GCM	<i>Global Climate Models</i>
GOES	Satélite Geoestacionário Operacional Ambiental
GPTI	Grupo Permanente de Trabalho Interministerial
GUIDOS	<i>Graphical User Interface for the Description of Image Objects and their Shapes</i>
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IDL	<i>Interactive Data Language</i>
INPA	Instituto Nacional de Pesquisas Amazônicas
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
JAXA	<i>Japan Aerospace Exploration Agency</i>

LIS	<i>Lightning Imaging Sensor</i>
MCWD	<i>Maximum Cumulative Water Deficit</i>
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MLME	Modelo Linear de Mistura Espectral
MODIS	<i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer</i>
MSPA	<i>Morphological Spatial Pattern Analysis</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
OLS	<i>Operational Linescan System</i>
PDBFF	Projeto Dinâmica Biológica de Fragmentos Florestais
PPCDAm	Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal
PR	<i>Precipitation Radar</i>
PREVFOGO	Sistema Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios florestais
PRODES	Projeto de Monitoramento do Desflorestamento da Amazônia Legal
REDD	Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal
SI	<i>Smithsonian Institution</i>
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SST	<i>Sea Surface Temperature</i>
TMI	<i>Microwave Imager</i>
TRMM	<i>Tropical Rainfall Measuring Mission</i>
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>
VIRS	<i>Visible and Infrared Scanner</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1.	Objetivos.....	4
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>7</b>
2.1.	Consequências do Fogo na Floresta.....	7
2.2.	Monitoramento de Queimadas por Sensoriamento Remoto.....	9
2.3.	O Desmatamento na Amazônia.....	10
2.4.	Monitoramento da Cobertura da Terra na Amazônia por Satélites.....	12
2.5.	A Fragmentação da Floresta Amazônica.....	14
2.6.	Eventos de Seca Extrema.....	19
<b>3</b>	<b>ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>23</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>25</b>
4.1.	Materiais.....	25
4.1.1.	Dados de Focos de Calor.....	26
4.1.2.	Máximo Déficit Hídrico Acumulado (MCWD).....	27
4.1.3.	Dados da Taxa de Desmatamento.....	29
4.1.4.	Dados de Degradação.....	29
4.1.5.	Dados de Floresta Secundária.....	30
4.1.6.	Dados de Fragmentação Florestal.....	30
4.2.	Métodos.....	31
4.2.1.	Fragmentação Florestal.....	32
4.2.1.1.	Geração dos Dados de Floresta.....	32
4.2.1.2.	Extração de Atributos da Paisagem.....	33
4.2.2.	Reamostragem dos Dados para as Análises Estatísticas.....	34
4.3.	Análises.....	38
4.3.1.	Caracterização das Variáveis Analisadas para a Amazônia brasileira	38
4.3.2.	Covariância Temporal por Pixel dos Focos de Calor em relação às Variáveis da Paisagem.....	38

<b>5</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>41</b>
5.1.	Mapeamento da Fragmentação da Floresta Amazônica .....	41
5.2.	Quantificação das Taxas de Desmatamento, Degradação, Floresta Secundária e Fragmentação na Amazônia Brasileira .....	42
5.3.	Tendências Temporais Consolidadas para Amazônia Legal .....	44
5.4.	Covariância Temporal por Pixel de Focos de Calor em relação às Variáveis da Paisagem .....	49
<b>6</b>	<b>DISCUSSÃO.....</b>	<b>61</b>
6.1.	Tendências Temporais das Variáveis Explicativas .....	61
6.2.	Dependência Espacial do Fogo em relação ao Desmatamento, Fragmentação Florestal, Eventos de Seca e Degradação .....	62
6.3.	Quais as Principais Forçantes que Promovem o Atual Desacoplamento observado entre Queimadas e Desmatamento na Amazônia? .....	65
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>67</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>69</b>
	<b>APÊNDICE A – MAPAS DE FRAGMENTAÇÃO DA AMAZÔNIA LEGAL COM OS DIFERENTES PARÂMETROS ANALISADOS PARA ANOS DA SÉRIE TEMPORAL. ....</b>	<b>81</b>
	<b>APÊNDICE B – TABELAS EXPLORATÓRIAS DE 2003 A 2013. ....</b>	<b>87</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A floresta Amazônica é explorada e serve como fonte de recursos para as populações humanas desde os períodos mais antigos (Holoceno) (BUSH et al., 2007; CLEMENT et al., 2009; BOWMAN et al., 2009). O uso do fogo no manejo do solo pelas populações tradicionais, indígenas e pequenos produtores é bem documentada na literatura (WOODS et al., 2008; IRIARTE et al., 2012). O manejo com fogo continua a ser utilizado para a limpeza das florestas, destruição de toras de madeira, controle de ervas daninhas em pastagens, e conversão da vegetação (LAURANCE et al., 1998; ARAGÃO e SHIMABUKURO, 2010; LIMA et al., 2012). Na Amazônia brasileira, o fogo é o principal método de manejo da terra, incluindo a conversão da cobertura por desmatamento (NEPSTAD et al., 1999b; SOARES-FILHO et al., 2006).

Durante as décadas de 70, 80 e 90 a região Amazônica foi alvo de especulação imobiliária e de investimentos em pesquisas e ocupação da Amazônia (FEARNSIDE, 1988; FEARNSIDE, 2003). Com o crescimento populacional na região, os incêndios que apresentavam baixa frequência passaram a ser mais recorrentes (SCHROEDER et al., 2009). Nesse período, um grande inventário foi realizado na região por meio de imageamento com radar aerotransportado. Este projeto é conhecido como projeto RADAM. Ele operou entre os anos de 1970 e 1985, e permitiu a obtenção de imagens da superfície mesmo com cobertura de nuvens. Esse projeto fez com que a região Amazônica fosse incorporada no cenário da economia nacional (BRASIL, 1985). Projetos de planejamento de estradas e de infraestrutura na região foram instaurados e contribuíram para o aumento do desmatamento e degradação. O resultado deste processo consistiu em uma aceleração das taxas de desmatamento, que atingiu seu ápice no ano de 1995 (LAURANCE et al., 2002; BECKER, 2005; FEARNSIDE, 2005; ALVES et al., 2007; INPE, 2016a).

Com as altas taxas de desmatamento na década de 90 e início da década de 2000, o governo brasileiro criou em 2004 um conjunto de intervenções políticas denominado Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm), cujos os objetivos eram: regularização fundiária e a

criação de novas reservas, monitoramento do desmatamento e promoção de formas de produção agrícola mais sustentáveis (GODAR et al., 2014; MMA, 2016). Essas metas complementam aos objetivos do programa de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal (REDD+) dentro do Quadro de Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC - sigla do inglês: *United Nations Framework Convention on Climate Change*) (MAIA et al., 2011). Entretanto, o Brasil ainda tem uma carência de um plano nacional eficaz de combate a queimadas, já que este processo parece estar desacoplado dos eventos de desmatamento. A independência entre desmatamento e queimadas pode portanto, comprometer os planos de redução das emissões de carbono associadas unicamente ao desmatamento (ARAGÃO e SHIMABUKURO, 2010; BALCH et al., 2010). Esta preocupação levou a uma intensificação do monitoramento das queimadas por sensoriamento remoto (SCHROEDER et al., 2009), ampliando a capacidade de compreensão e quantificação destes eventos em diferentes coberturas da terra (LIMA et al., 2012).

As ocorrências de queimadas estão associadas a dois principais fatores, o clima e o uso e mudança da cobertura da terra. Mudanças no regime de precipitação, principalmente no período de estiagem, são determinantes para a ocorrência de queimadas na Amazônia. Alguns modelos climáticos globais (GCMs - sigla do inglês: *Global Climate Models*) preveem um aumento significativo de secas ao longo do século XXI (MALHI et al., 2009). Desde a década de 1980, a taxa de aumento de temperatura na Amazônia foi cerca de 0,25°C por década, com previsões de aumento em até 3,3°C (intervalo de 1,8 a 5,1°C) para este século (CHRISTENSEN; HEWITSON, 2007). A floresta Amazônica também possui uma influência no clima em escala regional e global, afetando os padrões de precipitação pela troca de umidade, fluxos de energia e de gases entre a superfície terrestre e a atmosfera. Com a substituição da vegetação por pastagens e/ou culturas agrícolas, a evapotranspiração é frequentemente diminuída, reduzindo o potencial de precipitação. Paisagens tropicais com mais de 60% de área com floresta, são capazes de produzir até duas vezes mais precipitação do que áreas desmatadas (SPRACKLEN et al., 2012).

Períodos de seca aumentam a flamabilidade da floresta, uma vez que o estresse hídrico leva a um aumento na queda das folhas, gerando um acúmulo de serapilheira no solo. Com a queda das folhas, ocorre uma maior abertura do dossel e conseqüentemente uma maior insolação chegando ao solo, secando o sub-bosque (LAURANCE et al., 2001). A exploração madeireira e a fragmentação também aumentam a flamabilidade da floresta devido ao aumento da área de borda propensa ao fogo (MALHI et al., 2008).

Cerca de 70% dos remanescentes florestais do mundo possuem 1 km de borda florestal, sendo susceptíveis aos efeitos degradantes da fragmentação (HADDAD et al., 2015). Estes mesmos autores, estudando os efeitos da fragmentação em várias escalas e biomas do mundo, demonstraram que a fragmentação pode reduzir a biodiversidade de 13 a 75%, diminuir a biomassa florestal e alterar o ciclo dos nutrientes. A fragmentação torna os remanescentes florestais mais secos e propensos a eventos de queimadas, levando a uma maior recorrência destes eventos.

Aragão e Shimabukuro (2010), ao analisar por imagens de satélite dados de desmatamento e queimadas na Amazônia brasileira, encontraram que nem sempre as queimadas estão associadas com eventos de desmatamentos monitorados pelo PRODES. Em seu resultado, 41% das células com aumento na taxa de desmatamento se sobrepõem a células com tendências positivas ao fogo, confirmando a expectativa de que a ocorrência de queimadas aumenta com o desmatamento. Porém, em 59% das células que apresentaram redução das taxas de desmatamento, foi verificado um aumento na frequência do fogo. Esta tendência, inesperada, foi especulativamente associada ao uso indiscriminado do fogo para o manejo da terra na Amazônia, que pode escapar e atingir áreas de borda e fragmentos florestais adjacentes, como também a prática do corte e queima de florestas secundárias que é muito comum na região para restaurar as propriedades do solo e reutilizar a terra (COCHRANE, 2003, FEARNSSIDE, 2005). O mapeamento de florestas secundárias realizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) por meio do projeto TerraClass, não quantifica o desmatamento ou degradação nestas áreas de floresta secundária. Estes

processos podem corresponder à fonte de ignição para as recorrentes queimadas nestas áreas.

As queimadas na Amazônia causam a perda de biodiversidade local, comprometendo todo o funcionamento deste bioma e sua ecologia (BARLOW; PERES, 2008), além de promover um aumento das emissões de carbono para a atmosfera (NEPSTAD et al., 2004; ARAGÃO et al., 2014; PHILLIPS; LEWIS, 2014; ESPIRITO SANTO et al., 2014).

Diante disso, este trabalho visa responder à seguinte pergunta:

Quais as principais forçantes que promovem o atual desacoplamento observado entre queimadas e desmatamento na Amazônia?

Esta pergunta é balizada por três hipóteses não exclusivas. Assim, o padrão de queimadas desacoplado das taxas de desmatamento observadas nos últimos anos pode estar associado a (H1) um aumento das áreas fragmentadas na floresta Amazônica, (H2) um aumento da frequência de secas na região e (H3) um aumento na área de florestas secundárias e degradadas.

### **1.1. Objetivos**

Este trabalho tem como objetivo geral conduzir uma análise espaço-temporal multi-sensor relacionando o padrão de ocorrência de focos de calor detectados pelo sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) com os potenciais forçantes deste processo: desmatamento, fragmentação florestal, degradação florestal, secas e floresta secundária. Para esta análise, o trabalho focou nos seguintes Objetivos Específicos (OE):

OE -1: Estimar a fragmentação da floresta Amazônica utilizando a técnica de análise de padrões espaciais morfológicos (*Morphological Spatial Pattern Analysis*).

OE -2: Quantificar a área das diferentes classes da fragmentação mapeadas em OE-1 e das demais variáveis em análise.

OE-3: Analisar as tendências temporais consolidadas para toda a Amazônia brasileira das (i) ocorrências de focos de calor; (ii) da taxa desmatamento; (iii) das métricas de fragmentação florestal; (iv) degradação florestal; (v) da secundarização da floresta e (vi) das secas no bioma amazônico entre o período de 2003 a 2014.

OE-4: Analisar a dependência temporal da ocorrência dos focos de calor no bioma amazônico em relação às variáveis (ii) a (vi) do OE-3 por meio de análises de regressão por pixels.



## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

O fogo é um dos processos mais antigos responsáveis pela alteração da cobertura florestal. Este aparece nos registros geológicos seguido do aparecimento das plantas terrestres (SCOTT; GLASSPOOL, 2006). Algumas teorias apontam que o fogo vem sendo utilizado desde aproximadamente 10 mil a.C. por sociedades caçadoras-coletoras no Neolítico (BOSERUP, 1965).

A recorrente utilização do fogo juntamente com o processo de desmatamento nos últimos 40 anos para expansão da fronteira agrícola e mudança do uso do solo fez com que incêndios florestais descontrolados se tornassem mais propensos, principalmente em anos de secas (ALENCAR et al., 2006; ARAGÃO et al., 2008). A redução da precipitação juntamente com intervenções humanas foi responsável por um aumento de queimadas em 59% das áreas na Amazônia brasileira entre os anos de 2001 a 2010 (ARAGÃO; SHIMABUKURO, 2010).

Para ajudar a compreender e minimizar os efeitos climáticos, biofísicos e socioeconômicos que são acoplados com o fogo, é necessário conhecer a dinâmica das áreas queimadas e sua real extensão espacial dentro das florestas.

### **2.1. Consequências do Fogo na Floresta**

Os altos níveis de umidade e de precipitação que ocorrem na floresta Amazônica previnem a ocorrência de incêndios naturais na região (GOLDAMMER, 1990; UHK; KAUFMANN, 1990; RAY et al., 2005). O fogo sempre foi utilizado como uma importante ferramenta para uso agrícola e de caça desde os tempos pré-históricos (GOUDSBLOM, 1992). Na medida em que a região foi sendo ocupada, houve um aumento significativo de incêndios antropogênicos contrastando com as baixas frequências de incêndios naturais.

No processo de desmatamento é comum a utilização do fogo, já que garante a produtividade do solo e também atua como controle de ervas daninhas. Porém, o descontrole do fogo pode levar à perda de extensas áreas florestais, emitindo quantidades de CO<sub>2</sub> significativas para a atmosfera, como ocorreu na região de Roraima em 1997/1998, estimado em 0,046 Pg de emissão de carbono

(FEARNSIDE; LAURANCE, 2004). A floresta queimada torna-se mais inflamável e conseqüentemente mais susceptível a novos eventos de queimadas (COCHRANE; SCHULZE, 1999). Esse ciclo faz com que a mortalidade das árvores aumente e mais carbono seja emitido para a atmosfera, além de ser um dos principais responsáveis pela secundarização da floresta Amazônica (COCHRANE; SCHULZE, 1999; BARLOW; PERES, 2008).

A queima realizada para limpeza de pastagens, produção de carvão vegetal e outros fins durante a estação seca, faz com que a quantidade de aerossóis emitidos para a atmosfera aumente em até 40.000 partículas por cm<sup>3</sup> de ar em algumas regiões (ARTAXO et al., 2002). A presença desses aerossóis afeta os processos microfísicos dentro das nuvens, alterando a precipitação negativamente (ANDREAE et al., 2004). Além de influenciar as chuvas, a espessa camada de aerossóis emitida com a queima de biomassa, inibe a disponibilidade de luz solar, influenciando o processo de fotossíntese (OLIVEIRA et al., 2007).

A altura da copa das árvores cria um microclima no interior das florestas protegendo-as naturalmente contra o fogo (RAY et al., 2005). Porém, com o aumento da ocorrência de secas extremas, como a provocada pelo *El Niño* e pela Oscilação Multidecadal do Atlântico (AMO - sigla do inglês: *Atlantic Multidecadal Oscillation*) em 1997/1998 (ALENCAR et al., 2006), e pela AMO em 2005 e 2010 (MARENGO et al., 2008; LEWIS et al., 2011) houve um aumento da mortalidade das árvores, e conseqüente penetração da luz solar pelas clareiras formadas pelas quedas das árvores, tornando o interior da floresta menos úmido e mais susceptível a eventos de fogo (RAY et al., 2005). Mesmo com a significativa redução das taxas de desmatamento na Amazônia brasileira, a frequência do fogo não tem diminuído (ARAGÃO; SHIMABUKURO, 2010) aumentando as perspectivas para uma maior degradação florestal resultantes de fogos descontrolados advindos de áreas agrícolas próximas.



## 2.2. Monitoramento de Queimadas por Sensoriamento Remoto

O mapeamento dos focos de calor teve início em 1985 pelo INPE, quando foram obtidas imagens do sensor *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR) a bordo do satélite NOAA-9, com resolução espacial de 1 km. A princípio, as imagens seriam para fornecer dados para o programa ABLE 2A – Experimento da Camada Limite na Amazônia, que era um trabalho conjunto entre a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e o INPE. Nessas imagens foram visualizadas grandes colunas de fumaça espalhadas por centenas de quilômetros em áreas cobertas de florestas primárias, identificando-se assim as primeiras queimadas no espectro eletromagnético em um comprimento de onda de 4µm (SETZER; PEREIRA, 1991; SCHROEDER et al., 2005).

Com o início da detecção dos focos de calor, instaurou-se o Sistema Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais (PREVFOGO), que fazia uso das informações do sensor AVHRR e forneceu informações rotineiramente por quase 10 anos. Com os eventos do *El Niño* em 1997/1998, os dados do PREVFOGO tiveram maior interesse para a sociedade e um apoio financeiro do Banco Mundial, tornando-se em 1998 o Programa Integrado de Monitoramento, Prevenção e Controle de Desmatamento (INPE, 2016a).

O banco de dados dos focos de calor ativos obtidos por sensoriamento remoto foi aperfeiçoado, recebendo dados provenientes de outros satélites, como por exemplo, o Satélite Geoestacionário Operacional Ambiental (GOES), com resolução espacial de 4 km; o sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) com resolução espacial de 1 km, a bordo dos satélites de órbita polar Terra e Aqua; sensor *Operational Linescan System* (OLS) que faz detecção noturna e diurna com resolução de 0,55 km, que faz parte do Programa de Satélite Meteorológico de Defesa (DMSP); o sensor *Visible and Infrared Scanner* (VIRS) que está a bordo do satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), com resolução espacial de 2,4 km; satélites meteorológicos geoestacionários da segunda geração europeia (Meteosat -9) com instrumento de 3 km de resolução espacial e outros sensores AVHRR a bordo de satélites *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) que foram adicionados

(SCHROEDER et al., 2005). O monitoramento do fogo ativo é detectado na região espectral de 4  $\mu\text{m}$  (JENSEN, 2009).

A qualidade da detecção do fogo ativo varia em função da resolução espacial do sensor e do algoritmo utilizado. Sensores de baixa resolução espacial terão mais dificuldades para detecção, pois focos de calor de menores proporções não são detectados (SCHROEDER et al., 2008). Assim, satélites de média resolução espacial e melhor resolução temporal servem para complementar as informações de focos ativos (MORISSETTE et al., 2005).

Com o avanço e o aprimoramento dos sensores é possível mapear focos de calor com maior confiabilidade tornando o processo de tomada de decisões de proteção da floresta Amazônica mais eficiente.

### **2.3. O Desmatamento na Amazônia**

As taxas de desmatamento na Amazônia estão historicamente relacionadas com o acesso à região. Assim a construção de estradas e a migração de pessoas são fatores considerados precursores do desmatamento (ALVES et al., 2007). A colonização da região Amazônica, incentivos ao crédito e um grande investimento do governo nas décadas de 1980 e 1990, causaram uma perda de floresta estimada entre 1 a 3 milhões de hectares (FEARNSIDE, 2005).

O avanço das atividades agropecuárias de forma intensificada resultou na fronteira de desmatamento mais ativa das últimas décadas. O denominado “arco do desmatamento”, é composto por parte dos estados do Pará, Acre, Rondônia, Mato Grosso, Tocantins e Maranhão, sendo que os estados do Mato Grosso, Rondônia e Pará, foram os responsáveis por 85% de todo o desmatamento da Amazônia durante os anos de 1996 a 2005 (INPE, 2016a).

O desmatamento teve uma diminuição significativa entre os anos de 2006 a 2010, principalmente no estado do Mato Grosso, que é líder na produção de soja e carne no país. A partir de 2005 este estado reduziu sua taxa de desmatamento para 11% de sua taxa média histórica. A diminuição do desmatamento neste período coincidiu com as flutuações no mercado de *commodities*, as iniciativas políticas

de alto nível visando restringir o crédito para desmatadores, monitoramentos e fiscalizações mais eficazes e exclusão dos desmatadores das grandes cadeias de exportação (MACEDO et al., 2012).

O Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm), que entrou em vigor em 2004 foi um dos grandes responsáveis pela queda das taxas de desmatamento, sendo que estas caíram em até 79% entre 2004 e 2013 (MMA, 2016b). O PPCDAm foi dividido em fases, a primeira de 2004 a 2008, foi responsável pelo eixo Ordenamento Fundiário e Territorial. Durante esse período foram criadas mais de 25 milhões de hectares de Unidades de Conservação e outros 10 milhões de hectares de Terras Indígenas foram homologadas. A segunda fase do Plano abrangeu os anos de 2009 a 2011, e foi referente ao eixo Monitoramento e Controle. Este eixo foi o grande responsável pela queda das taxas de desmatamento, principalmente pela aplicabilidade do sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real (DETER) e a interação do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), Polícias Federal e Rodoviária Federal, Força Nacional de Segurança Pública e o apoio do Exército Brasileiro para a fiscalização do desmatamento e combate ao crime organizado. Uma avaliação independente do PPCDAm foi realizada em 2011 pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), *Deutsche Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit* (GmbH) - GIZ e Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL) e esta avaliação mostrou que o PPCDAm contribuiu efetivamente para a diminuição do desmatamento na Amazônia Legal, sendo um marco no combate ao desmatamento ilegal (MAIA et al., 2011). Os anos de 2012 a 2015 pertenceram à terceira fase do Plano, que se refere ao eixo de fomento às atividades produtivas sustentáveis. Neste período as taxas de desmatamento continuaram a cair (MMA, 2016b).

## **2.4. Monitoramento da Cobertura da Terra na Amazônia por Satélites**

O monitoramento do desmatamento da Amazônia teve início em 1988 com o Projeto de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite, que é realizado pelo INPE com parceria com Ministério do Meio Ambiente (MMA). Neste programa estão envolvidos os Projetos PRODES e TerraClass e os Sistemas DETER, DEGRAD e DETEX.

O projeto de monitoramento de desmatamento PRODES utiliza imagens do satélite Landsat 5/7/8 (ou similar), sendo utilizadas aproximadamente 220 imagens para cobrir a Amazônia brasileira. Os resultados gerados por esse projeto como a taxa anual de desmatamento, os mapas vetoriais produzidos pelo mapeamento e as imagens de satélites utilizadas, passaram a ser disponibilizadas na internet pelo portal do PRODES Digital entre os anos de 2003 e 2005.

O procedimento para se obter o mapeamento das áreas desmatadas no período inicial do projeto consistia na interpretação visual das imagens do sensor TM/Landsat. As cenas eram impressas em papel fotográfico na escala de 1:250.000, e posteriormente os polígonos de desmatamento eram digitalizados manualmente no Sistema de Informação Geográfica (SIG) desenvolvido pela Divisão de Processamento de Imagens (DPI) do INPE. No período de 2002 a 2004 a metodologia consistia em: escolher imagens com a menor quantidade de nuvens; georreferenciamento das imagens; transformação dos dados radiométricos dos dados em imagens fração de vegetação, solo e sombra pela aplicação do modelo de mistura espectral. O objetivo era de concentrar a informação sobre o desmatamento em uma a duas imagens; a segmentação em campos homogêneos das frações de solo e sombra; classificação não supervisionada e por campos das frações de solo e sombra; mapeamento das classes não supervisionadas em classes temáticas como desmatamento, floresta; edição do mapeamento final das classes e elaboração das cartas temáticas para cada estado (SHIMABUKURO et al., 2003). Com esse programa foi possível quantificar as áreas de florestas nativa desmatadas anualmente, e assim tomar iniciativas para fiscalização, controle e combate dos desmatamentos ilegais. Com informações dos desmatamentos tornou-se possível também mensurar as

emissões de gases de efeito estufa, auxiliando as políticas de Mudança do Clima, que tem como meta a redução voluntária das emissões desses gases até 2020 (BRASIL, 2010).

O projeto TERRACLASS, tem por objetivo classificar áreas previamente desmatadas e mapeadas pelo projeto PRODES. Com esse produto é possível avaliar a dinâmica do uso e ocupação das áreas previamente desmatadas, proporcionando a quantificação e localização da floresta secundária, e outras classes de uso e ocupação da terra como agricultura, pastagem, mineração e outras. Este mapeamento também possui resolução espacial de 60m (INPE, 2016c).

A classificação da floresta secundária é feita com base em um plano de informação que contém todas as áreas desmatadas (desmatamento acumulado). Com esse plano de informação chamado de “Máscara do Desflorestamento”, torna-se possível estabelecer a área de estudo, na qual as informações sobre uso e cobertura da terra serão extraídas. Fora desta máscara, mantêm-se as demais classes temáticas (floresta, não floresta, hidrografia e área não observada). Após a aplicação do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME), que proporciona a identificação de três componentes principais da imagem (solo, sombra e vegetação), juntamente com informações das bandas originais da imagem e interpretação visual é possível determinar o intervalo do valor do número digital, a partir do qual a vegetação é caracterizada como floresta secundária. Para isso são utilizadas somente as informações das áreas sobrepostas à máscara do desflorestamento acumulado (COUTINHO et al., 2013).

O sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real (DETER) é outro programa de detecção de desmatamento realizado pelo INPE. Este sistema funciona desde 2004, mapeando mensalmente as áreas de corte raso e o aumento progressivo de desmatamento por degradação florestal. Neste programa são identificados desmatamentos com áreas maiores de 25 ha, sendo de grande valia para ações rápidas ao controle do desmatamento. Este sistema utiliza imagens do sensor MODIS, que possui alta resolução temporal (quase diária), e

moderada resolução espacial, variando de 250 metros a 1 km. A avaliação da detecção do desmatamento por esse sistema comparada a detecção utilizando imagens do satélite Landsat (com resolução espacial de 30m) pelo sistema PRODES, demonstrou baixa acurácia para pequenas áreas desmatadas (menores que 15 ha), média acurácia para desmatamentos entre 15 a 50 ha, e ótima acurácia para maiores que 50 ha. De modo geral, o programa é de grande importância para o monitoramento do desmatamento em tempo quase real, visto que tal monitoramento é impraticável com imagens Landsat, pois possuem resolução temporal de 16 dias (ANDERSON et al., 2005; SHIMABUKURO et al., 2006).

Outro sistema existente é o Mapeamento da Degradação Florestal na Amazônia Brasileira (DEGRAD) (INPE, 2016b), que por meio das informações geradas pelo sistema DETER como referência das áreas, consegue mapear os locais que ainda não tiveram sua cobertura florestal totalmente removida no padrão de corte raso para serem incluídas no PRODES. O mapeamento da degradação é feito com resolução espacial de 60m.

## **2.5. A Fragmentação da Floresta Amazônica**

O contínuo aumento da degradação e destruição dos ecossistemas naturais se caracteriza como causas principais do declínio da biodiversidade global (PEREIRA et al., 2010; RANDES et al., 2010). Estes processos levam à fragmentação e divisão dos habitats em fragmentos menores e isolados que são separados por uma matriz de uso antrópico, sofrendo alterações na sua estrutura e função ecológica (LINDENMAYER e FISCHER, 2006). A fragmentação da floresta resulta em várias influências do efeito de borda, como alterações de incidência de luz, vento e umidade. Estas mudanças aumentam o ressecamento da floresta, afetando estruturalmente sua composição e conseqüentemente os fluxos de energia e biomassa, aumentando a predisposição da floresta ao fogo (COCHRANE; LAURANCE, 2002; HARPER et al., 2005; LAURANCE et al., 2011).

A influência da fragmentação da floresta na ocorrência de eventos de fogo vem sendo estudada há vários anos. Cochrane e Laurance (2002), já haviam estudado

essa problemática para o período de 1984 a meados da década de 90, mostrando que os incêndios iniciados nas fronteiras de fragmentos florestais neste período chegaram até 2.400 metros para o interior da floresta.

Para um entendimento mais completo das consequências do processo de fragmentação, foi criado em 1979 o Projeto Dinâmica Biológica de Fragmentos Florestais – PDBFF. Este é um projeto de cooperação do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) e *Smithsonian Institution* (SI) dos Estados Unidos. O programa PDBFF é um dos maiores experimentos para o estudo da fragmentação florestal. O programa estuda a fragmentação de uma região específica da Amazônia próxima a Manaus, a mais de 32 anos considerando fragmentos florestais de 1 até 100 ha. Por meio dos estudos realizados pelo programa, foi possível observar as influências da fragmentação, que afetam o microclima da floresta, aumentam a mortalidade de árvores, alteram o fluxo de carbono, afetam a biodiversidade das espécies e outras causas relacionadas com a ecologia dos fragmentos. Ao longo desses anos, constatou-se que a intensidade dos efeitos de borda na floresta varia muito de acordo com a região onde se encontram, a presença de outros fragmentos florestais próximos e o tipo de uso/cobertura da terra que se localizam em volta do fragmento. Fragmentos florestais são mais susceptíveis a ações antrópicas como desmatamento, corte seletivo e principalmente a eventos de fogo, trazendo riscos ao ecossistema amazônico (LAURANCE et al., 2011).

Entre os anos de 1999 a 2002, o desmatamento e o corte seletivo de árvores na floresta Amazônica aumentaram as áreas de borda em aproximadamente 32.000 km<sup>2</sup> e 38.000 km<sup>2</sup>, por ano, respectivamente (BROADBENT et al., 2008). A paisagem do uso da terra nessa região apresenta em sua maioria áreas de pastagem para criação de gado, para agricultura considerada de pequena escala (menores que 400 ha) e fragmentos florestais de formatos irregulares que são vulneráveis aos efeitos de borda como os incêndios (COCHRANE; LAURANCE, 2002; BROADBENT et al., 2008).

Aproximadamente 70% dos remanescentes florestais no mundo possuem 1 km de borda florestal, sendo sujeitos aos efeitos degradantes da fragmentação

(HADDAD et al., 2015). Este estudo indica, a partir de uma síntese de experimentos que abordam a fragmentação em vários biomas e escalas nos cinco continentes, que a fragmentação de habitat reduz de 13 a 75% da biodiversidade e prejudica funções-chaves do ecossistema pela diminuição da biomassa florestal e alterações no ciclo de nutrientes. Esse resultado mostra a necessidade de medidas de conservação e restauração para retomar a conectividade da paisagem, ajudando a reduzir taxas de extinção e manter os serviços ecossistêmicos.

A ocorrência de incêndios florestais em diferentes tipos de floresta foi realizada por Alencar et al. (2015). O estudo comparou a dinâmica dos incêndios em florestas de dossel denso, aberto e florestas de transição em regiões do leste e sul da Amazônia. O resultado mostrou que as florestas de transição são as que mais tiveram eventos de fogo durante a série temporal estudada (24 anos – 1983 a 2007), sendo 15% das áreas queimadas em floresta de dossel denso, 44% em áreas de floresta de dossel aberto e 46% em áreas de floresta de transição. As florestas de dossel aberto e de transição tiveram duas vezes mais ocorrências de queimadas do que as florestas de dossel denso, presenciando queimadas duas ou mais vezes durante o período deste estudo. Estes tipos de florestas também apresentaram taxas de desmatamento mais altas do que as florestas de dossel denso. Isso corrobora com os resultados obtidos de que a inflamabilidade da floresta aumenta com a fragmentação florestal (MALHI et al., 2008).

Aragão et al. (2014) mostraram a dinâmica temporal da fragmentação entre os anos de 1976 e 2010, estimando o comprimento das áreas de borda florestal e número de fragmentos em função da área acumulada de desmatamento durante o período. Eles estimaram que as extensões das bordas aumentaram de 150.704 km em 1976 para 730.607 km em 2010, e que o número de fragmentos aumentou de 2.601 em 1976 para 38.270 em 2010, com uma tendência de aproximadamente 1.000 novos fragmentos por ano.

O estudo de Armenteras et al. (2013) mostra que a Amazônia colombiana apresenta um efeito de borda em grande escala, mostrando que os efeitos abióticos interferem no aumento dos incêndios da região. A distância média em



que foram detectados os efeitos de borda em relação aos incêndios são próximos a 2 km da borda para o interior. Esse valor corrobora com estudos realizados anteriormente em outras regiões da Amazônia, com cerca de 2 a 3 km (COCHRANE; LAURANCE, 2002) e de 1 a 2,7 km (BRIANT et al., 2010). Os autores também pontuam que as áreas protegidas e as reservas indígenas são de grande valia para preservação e integridade da área.

Para análise dos processos de fragmentação da floresta Amazônica nesta dissertação utilizou-se a metodologia *Morphological Spatial Pattern Analysis* (MSPA) (SOILLE e VOGT, 2009) que foi inserida no software livre GUIDOS *Toolbox* (*Graphical User Interface for the Description of Image Objects and their Shapes*) desenvolvido pelo Centro de pesquisa *Joint Research Center* (VOGT, 2014).

Esta metodologia se estrutura em uma sequência de operadores morfológicos matemáticos voltados para a descrição da geometria e da conectividade dos componentes da imagem. Esse método pode ser aplicado para qualquer resolução espacial. A imagem de entrada deve ser binária, classificada entre o objeto de interesse e a área complementar. Os parâmetros da métrica podem ser alterados de acordo com a necessidade do usuário para obter um resultado com maior exatidão.

As principais características da MSPA são:

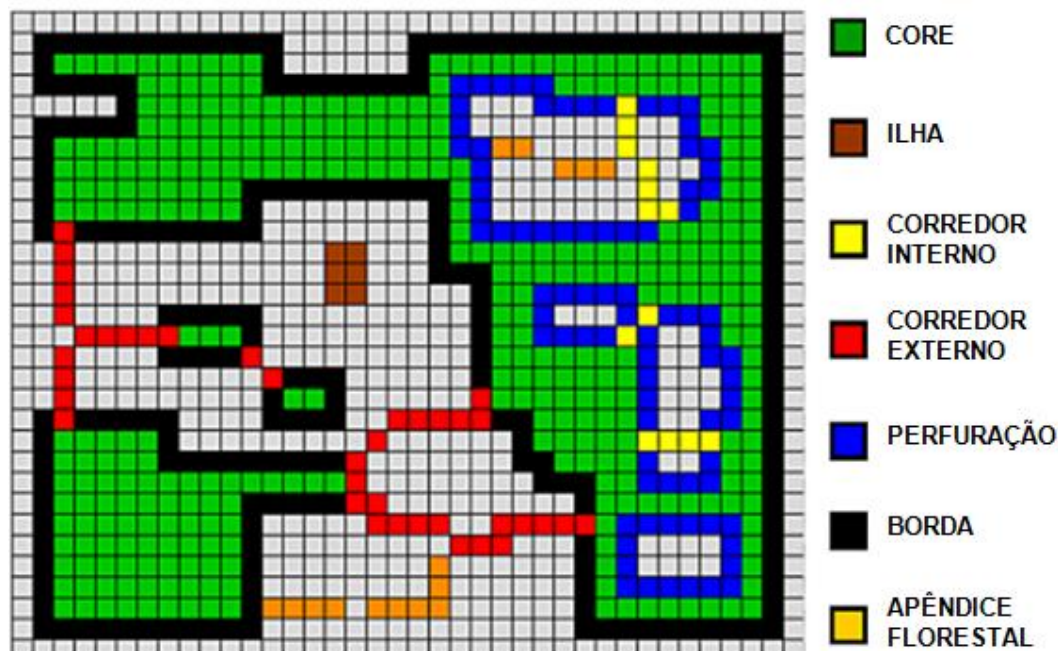
- a) Detecção da conectividade das estruturas;
- b) Distinção entre o background interno e externo (detecção de orifícios da imagem);
- c) Detecção de diferenças a partir de espessuras pré-definidas;
- d) Escala de análise definida pelo usuário.

A imagem de saída gerada pela MSPA (Figura 2.1) fornece várias classes da paisagem, que são:

- a) *Core*: área interna do primeiro plano, excluindo seu perímetro;
- b) *Ilha*: fragmentos disjuntos no primeiro plano e que são muito pequenos para ter área Core;
- c) *Corredor Interno*: conecta extremidades na mesma área Core;
- d) *Corredor Externo*: conecta extremidades de diferentes áreas Cores;
- e) *Perfuração*: perímetro interno do fragmento do primeiro plano;
- f) *Borda*: perímetro externo do fragmento do primeiro plano;
- g) *Apêndice Florestal*: conecta uma extremidade a borda, perfuração e corredores.

O tamanho da caracterização da fragmentação é baseado em um parâmetro que corresponde a um valor limiar de distância Euclidiana. O cálculo da fragmentação para cada classe está detalhado no trabalho de Soille e Vogt (2009).

Figura 2.1. Representação das classes da métrica MSPA.



Fonte: Adaptado de Vogt (2014).

## 2.6. Eventos de Seca Extrema

O aumento da frequência das secas extremas leva a uma limitação da umidade da floresta, interferindo nos processos de estoque e sequestro de carbono, evapotranspiração e manutenção da diversidade de espécies (MEIR et al., 2013). Vários estudos (ROPELEWSKI; HALPERT, 1987; MARENGO, 1992, 2004; UVO et al., 1998; RONCHAIL et al., 2002) têm associado efeitos de seca extrema a eventos como o *El Niño* Oscilação Sul (ENSO) e com anomalias de aumento de temperatura da superfície do mar (SST, sigla do inglês: *Sea Surface Temperature*) no oceano Atlântico tropical, que é relacionada com a Oscilação Multidecadal do Atlântico (AMO) (MARENGO et al., 2008).

Como exemplo de secas que ocorreram devido à influência destas anomalias destacam-se as de 1997/1998 relacionadas tanto com o evento do *El-Niño* quanto a anomalias positivas do AMO (RONCHAIL et al., 2002); e as secas de 2005 e 2010 associadas somente com a anomalia positiva do AMO (MARENGO et al. 2008; LEWIS et al., 2011).

Os impactos causados diretamente na vegetação pela baixa disponibilidade de água para absorção pelas plantas levam a danos fenológicos, fisiológicos, estruturais e na composição da floresta Amazônica (NEPSTAD et al., 2004). A seca também leva ao aumento da mortalidade das árvores (PHILLIPS et al., 2009), sendo intensificado em áreas de borda. O estresse hídrico ocasionado pela seca tende a aumentar a queda das folhas, gerando um maior volume de serapilheira seca no solo e um aumento da insolação no sub-bosque devido à maior abertura do dossel (DOUGHTY et al., 2015). Estes fatores aumentam a probabilidade da disseminação de incêndios na floresta (LAURANCE; WILLIAMSON, 2001), deixando em risco a biodiversidade da região.

O estresse hídrico gerado nas florestas devido à seca reduz a capacidade global de absorção de CO<sub>2</sub> atmosférico e induz a mortalidade de árvores (PHILLIPS et al., 2010; Van Der MOLEN et al., 2011). A seca atinge a capacidade fotossintética das florestas devido ao fechamento dos estômatos em condições atípicas de umidade ou quando gradientes hidráulicos dentro da planta, a partir da raiz para a atmosfera, tornam-se demasiados devido a pouca umidade do solo refletindo na produção de biomassa abaixo e acima do solo (NEPSTAD et al., 2004; METCALFE et al., 2008; PHILLIPS et al., 2009; Da COSTA et al., 2010). O estudo de Phillips et al. (2009), estimou que a mortalidade das árvores consequentes da seca de 2005 liberará aproximadamente 1,60 Pg de carbono na atmosfera que devem ser distribuídos ao longo de 30 anos. Já a seca de 2010 teve proporções espaciais maiores que a de 2005, e a estimativa de liberação de carbono devido a este evento chegam a 2,2 Pg. Essas duas secas recentes demonstram como as florestas podem alterar-se de sumidouros para emissores de carbono, podendo até compensar os ganhos líquidos (aproximadamente 0,4 Pg de carbono por ano) de biomassa acima do solo em anos sem seca (LEWIS et al., 2011).

O estudo de Aragão et al. (2007), demonstrou que durante a seca de 2005 houve um aumento dos focos de calor em 33% em relação ao período de 1999 a 2005, enquanto que o desmatamento teve uma queda de 13% no mesmo período, relacionando à ocorrência de secas severas com as altas taxas de focos de calor na Amazônia. As interações de mudanças climáticas e ações antrópicas levam

cada vez mais à intensificação da degradação da floresta Amazônica tornando-a mais seca e alterando a capacidade de armazenamento de carbono (NOGUEIRA et al., 2008).



### 3 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo corresponde ao bioma Amazônico dentro da extensão da Amazônia brasileira (Figura 3.1). Essa área corresponde a 59% do território brasileiro (IPEA, 2008), abrangendo os estados do Pará, Amazonas, Rondônia, Roraima, Mato Grosso, Acre e Amapá e parte dos estados do Tocantins e Maranhão, possuindo uma área de 4.196.943 km<sup>2</sup> (IBGE, 2004).

Na Amazônia, estima-se um total de 2.500 espécies de árvores e 30 mil espécies de plantas (MMA, 2015). Apresenta uma estrutura vegetal variada composta por terra firme, floresta secundária, vegetação alagada e savana (MALHI et al., 2002; SAATCHI, 2007).

O clima na floresta Amazônica é equatorial, quente e úmido, a temperatura varia ao longo do ano entre 21° a 42°C, sendo a média anual de 28°C. Possui chuvas abundantes, sendo que sua precipitação anual média varia entre 2.000 mm, podendo ultrapassar os 3.000 mm na foz do rio Amazonas e no Amapá. A bacia Amazônica é a maior bacia hidrográfica do mundo com 1.100 afluentes. O Amazonas é seu principal rio e deságua no Atlântico, lançando cerca de 175 milhões de litros d'água por segundo (MMA, 2015).

Figura 3.1. Localização da área de estudo. A linha preta grossa corresponde ao limite do bioma amazônico brasileiro e as linhas pretas finas aos limites dos países da América do Sul.



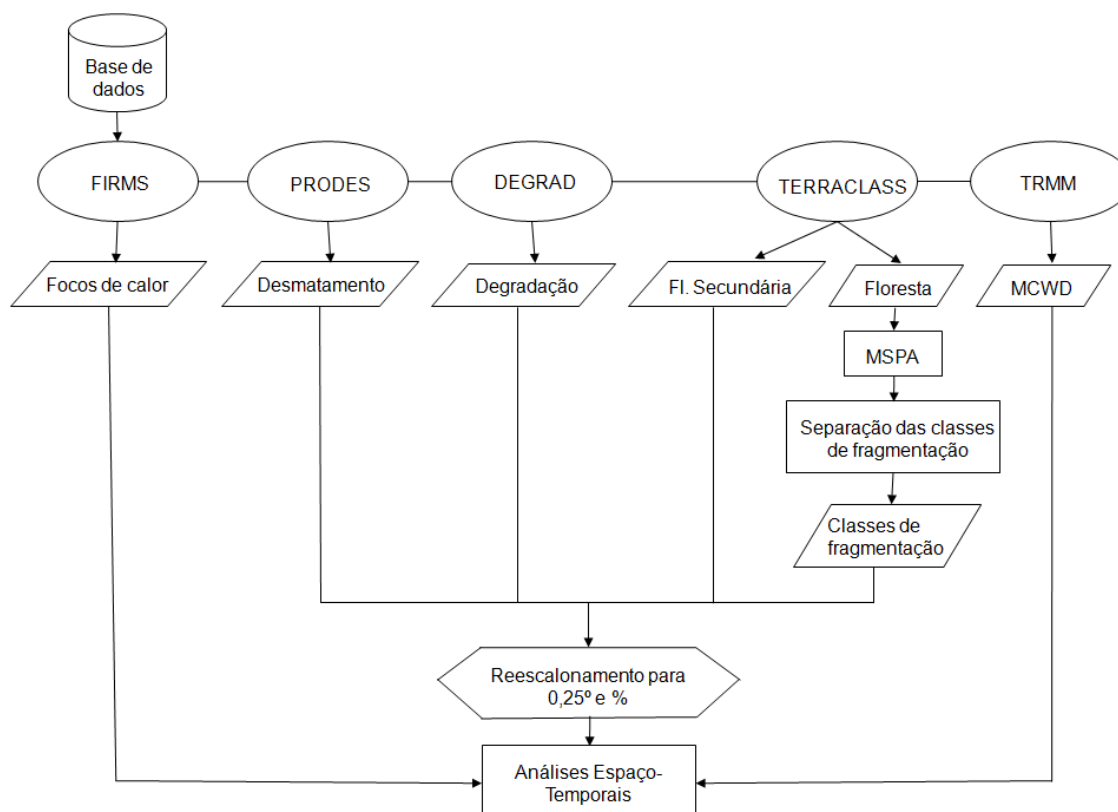
Fonte: MMA (2016a).



## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Este item descreve os dados utilizados para o desenvolvimento do trabalho e as etapas de processamento e métodos de análise. A Figura 4.1 esquematiza o processo desenvolvido.

Figura 4.1. Fluxograma do trabalho.



### 4.1. Materiais

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos de diferentes fontes. Os focos de calor foram adquiridos pelo programa *Fire Information for Resource Management System* (FIRMS) e os dados referentes à precipitação foram obtidos pelo programa *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), ambos pertencentes a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Os dados referentes ao desmatamento, degradação e floresta secundária são todos provenientes de programas pertencentes ao INPE que visam à análise do uso e cobertura da terra.

#### 4.1.1. Dados de Focos de Calor

Os dados de focos de calor ativos foram obtidos anualmente para a série temporal de 2003 a 2014 pelo programa FIRMS gerenciado pela NASA. Os focos de calor do programa FIRMS são detectados pelo sensor MODIS que está a bordo dos satélites Terra e Aqua. Este sensor está em funcionamento desde 1999 a bordo do satélite Terra e desde 2002 a bordo do satélite Aqua, em funcionamento até os dias atuais, abrangendo a série temporal deste trabalho. Possui resolução temporal de 1 a 2 dias, com horário de passagem no Equador às 10:30h (Terra) e 13:30h (Aqua). Este sensor possui 36 bandas que estão dispostas em função do comprimento de onda para a observação das feições das propriedades das nuvens, dinâmica e propriedades da vegetação na cobertura terrestre, e temperatura da superfície dos oceanos (SALOMONSON; TOLL, 1991). A tabela 4.1 mostra as diferentes resoluções espaciais por bandas do sensor utilizado.

Tabela 4.1. Resolução espacial das bandas do sensor MODIS.

Bandas Espectrais	Resolução Espacial
1 e 2	250 m
3 a 7	500 m
8 a 36	1000 m

O produto do sensor MODIS utilizado para as informações referentes aos focos de calor foi o MCD14ML. Optou-se por usar os dados referentes somente ao satélite Aqua, já que seu horário de passagem (13:30h) permite maior detecção de focos de calor. Este produto possui resolução espacial de 1 km e dados obtidos duas vezes ao dia (13:30h e 01:30h). A detecção dos focos de calor é baseada na emissão destes alvos nos comprimentos de onda aproximadamente 4 $\mu$ m (bandas 20 a 23) e 11 $\mu$ m (bandas 31 e 32) (PIROMAL et al., 2008). São realizados testes para excluir alarmes típicos falsos como brilho de sol ou litorais (USGS, 2014).

Quando comparado ao sensor AVHRR do satélite meteorológico NOAA utilizado para mesmo fim de detecção de focos de calor, o sensor MODIS provê melhor

geometria de aquisição de dados e bandas espectrais específicas para discernir focos ativos com altos valores de radiância e saturação, fornecendo dados mais precisos e adequados para o monitoramento de áreas queimadas (PIROMAL et al., 2008).

Apesar dessas vantagens, dosséis florestais muito densos dificultam o monitoramento de focos que ocorrem em sub-bosques (ARAGÃO; SHIMABUKURO, 2010). A presença de nuvens também dificulta o monitoramento por sensores ópticos de focos ativos causando muitos erros de omissão como foi demonstrado por Schroeder et al. (2008) onde aproximadamente 11% dos focos de calor não foram detectados pelo sensor GOES na Amazônia brasileira no ano de 2005.

#### **4.1.2. Máximo Déficit Hídrico Acumulado (MCWD)**

O cálculo do máximo déficit hídrico acumulado (abreviado neste trabalho a partir do nome em inglês: *Maximum Cumulative Water Deficit* - (MCWD) foi feito a partir de informações sobre a precipitação na área de estudo. Estes dados foram obtidos a partir do satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), lançado em 1997, que faz parte do programa em colaboração com a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e a *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA). Existem 5 sensores a bordo do TRMM, sendo: (i) um radar de precipitação- (*Precipitation Radar – PR*, desenvolvido para fornecer mapas de tempestades em três dimensões), (ii) imageador de micro-ondas (*Microwave Imager – TMI*, sensor passivo que fornece informações quantitativas de chuva em uma grande faixa), (iii) escaneador do visível e infravermelho (*Visible and Infrared Scanner – VIRS*, obtém informações advindas da Terra em comprimentos de onda que variam do visível ao infravermelho e entre 0,63 a 12  $\mu\text{m}$ ), (iv) sistema de energia radiante de nuvens e da Terra (*Clouds and the Earth's Radiant Energy System – CERES* que não está mais em funcionamento), e (v) sensor imageador de raios (*Lightning Imaging Sensor – LIS*), que é capaz de detectar e localizar raios nas regiões tropicais do planeta (ANDERSON et al., 2013).

Este satélite foi projetado para medir a precipitação tropical e sua variação, possui uma órbita de baixa inclinação, fornecendo dados da região tropical com alta frequência temporal que são disponibilizados em tempo quase real (NASA, 2011).

Utilizou-se o produto 3B43 versão 7A do satélite, que fornece dados referentes aos totais mensais de precipitação em milímetros por hora (mm/h). Este dado é referente às latitudes de 50°N a 50°S do globo terrestre e está disponível na resolução espacial de 0,25°x 0,25°.

Com os valores da precipitação foi possível calcular o déficit hídrico (WD, do inglês: *Water Deficit*), que é baseado na taxa de transpiração de um dossel de floresta tropical úmida, que corresponde a aproximadamente 100 mm por mês. Esse valor foi estimado por medidas em campo de evapotranspiração em várias regiões e estações na Amazônia (SHUTTEWORTH, 1989; Da ROCHA et al., 2004; VON RANDOW et al., 2004). Assim, quando a precipitação (P) é inferior a 100 mm no mês, a floresta entra em déficit hídrico. A regra para o cálculo do déficit hídrico (WD) para cada mês (n) e em cada pixel com a taxa de evapotranspiração (E) de 100 mm é a seguinte:

Se  $WD_{n-1}(i,j) - E(i,j) + P_n(i,j) < 0$ ;

Então  $WD_n(i,j) = WD_{n-1}(i,j) - E(i,j) + P_n(i,j)$ ;

Se não  $WD_n(i,j) = 0$

O máximo déficit hídrico acumulado (MCWD) corresponde ao menor valor de déficit hídrico no ano, sendo acumulado considerando a evapotranspiração e precipitação. Para a análise da influência das secas sobre os focos de calor, utilizou-se o produto do MCWD para cada ano da série temporal analisada.

#### **4.1.3. Dados da Taxa de Desmatamento**

Os dados referentes às taxas de desmatamento foram adquiridos pelo Projeto de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite – PRODES, pertencente ao INPE. O projeto realiza o monitoramento do desmatamento por corte raso na Amazônia Legal produzindo relatórios das taxas anuais de desmatamento desde 1988. A partir dos incrementos de desmatamentos identificados por imagens de satélite são estimadas as taxas anuais de desmatamento. É importante lembrar que os dados gerados por esse programa de monitoramento, incluem dados das taxas de desmatamento somente para florestas primárias, visto que não leva em conta a degradação ocasionada por queimadas e desmatamentos ocorridos em florestas secundárias. Os dados do PRODES são disponibilizados com resolução espacial de 60m.

Neste trabalho foram utilizados os dados referentes às taxas de desmatamento anual da floresta Amazônica, não acumulando as taxas de desmatamento dentro da série temporal em análise, que corresponde aos anos de 2003 a 2014.

#### **4.1.4. Dados de Degradação**

Os dados de degradação da floresta Amazônica foram obtidos pelo sistema de Mapeamento da Degradação Florestal na Amazônia Brasileira (DEGRAD) do INPE. Este sistema mapeia as áreas em processo de desmatamento onde a cobertura florestal não foi totalmente removida. O mapeamento da degradação florestal é obtido a partir de indicações dos dados do DETER, o qual foi descrito no item 2.4 da Fundamentação Teórica.

A série temporal do programa DEGRAD abrange os anos de 2007 a 2013. O mapeamento é realizado com base nas imagens do PRODES, que realiza o monitoramento de desmatamento de agosto a agosto. O pico de degradação ocorre em média três meses após o pico do desmatamento e atinge seu ápice no mês de setembro (similarmente às queimadas) (ARAGÃO et al., 2008), assim a degradação que ocorreu no ano de 2007, por exemplo, acabou sendo computada como ocorrida no ano de 2008. Para sanar essa inconsistência a série temporal

foi adiantada em um ano, correspondendo aos anos de 2006 a 2012. A resolução espacial destes dados é de 60 metros.

#### **4.1.5. Dados de Floresta Secundária**

Utilizou-se o projeto TerraClass do INPE para obter os dados referentes à floresta secundária da floresta Amazônica. Esse projeto utiliza os dados de desmatamentos oriundos do PRODES, e realiza um mapeamento de uso e cobertura dessas áreas. A resolução espacial deste dado é de 60 metros.

O processo para o mapeamento desta classe está descrito no item 2.4 dessa dissertação. Os dados são disponíveis para os anos de 2008, 2010 e 2012, não permitindo uma análise para a série temporal total utilizada neste trabalho, mas permitindo uma visão geral sobre a influência da floresta secundária nas ocorrências de focos de calor para esses anos.

#### **4.1.6. Dados de Fragmentação Florestal**

Para o cômputo da fragmentação florestal utilizou-se a metodologia MSPA (SOILLE; VOGT, 2009) que está inserida no software GUIDOS *Toolbox*. As principais especificações e características dessa metodologia foram descritas no item 2.5 da Fundamentação Teórica.

Como imagem de entrada para o software GUIDOS *Toolbox* realizar a classificação da fragmentação florestal, utilizou-se imagens com informações da ocorrência de florestas dos anos de 2003 a 2014, geradas a partir dos dados do projeto TerraClass e PRODES, como será explicado no item 4.2.1.1. Essas imagens possuem resolução espacial de 60m e foram transformadas em binárias (floresta correspondendo ao 2 e não floresta correspondendo ao 1).

Os valores dos parâmetros são estabelecidos de acordo com a unidade mínima da imagem, o pixel. Esse valor corresponde há quantos pixels o operador matemático irá considerar para o cálculo da classificação. No caso, o menor valor para o parâmetro corresponde a 60 metros. Para estabelecer outros valores de parâmetro, baseou-se no trabalho de Armenteras et al. (2013), que mostrou na

região da Amazônia colombiana uma concentração de focos de calor muito maior nas áreas de borda que adentram o primeiro quilômetro na floresta estimando-se 12.890 focos quando comparada a áreas mais internas com estimativa de 76 focos de calor a partir dos 5 km do interior da floresta. Também, baseou-se no trabalho de Broadbent et al. (2008), que fez uma revisão de literatura sobre efeitos de borda e encontrou que 99% dos artigos dessa temática não encontraram impactos de efeito de borda acima de 2 km de extensão. A média da distância em que ocorrem distúrbios devido à borda sejam relacionados à estrutura da floresta, mortalidade de árvores, microclima e biodiversidade foram estimado em 245 metros de borda. Baseado nessas informações escolheram-se parâmetros que abrangem até aproximadamente 2 km. As distâncias utilizadas como parâmetros podem ser visualizadas na Tabela 4.2.

Tabela 4.2. Parâmetros utilizados para o cálculo da fragmentação.

Parâmetro para a métrica de fragmentação	
Pixels	Distância em metros correspondente (m)
1	60
2	120
17	1020
33	1980

O processo de execução da métrica de fragmentação será mais detalhado no próximo tópico.

#### 4.2. Métodos

Para a obtenção dos resultados foram processadas aproximadamente 1.860.144 células com resolução espacial de  $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$ , referentes a série temporal de 2003 a 2014 das variáveis de focos de calor, desmatamento, degradação florestal, floresta secundária, MCWD e das classes de fragmentação de área Core, Corredor, Borda, Ilha e Perfuração dos parâmetros de 60, 120, 1020 e 1980 metros. Essa resolução espacial foi utilizada tendo como base os dados do sensor TRMM (utilizado para o cômputo do MCWD) que possui a resolução espacial mais

degradada entre todos os dados. Assim, todos foram reescalados para esta resolução espacial para a realização da análise entre os dados.

#### **4.2.1. Fragmentação Florestal**

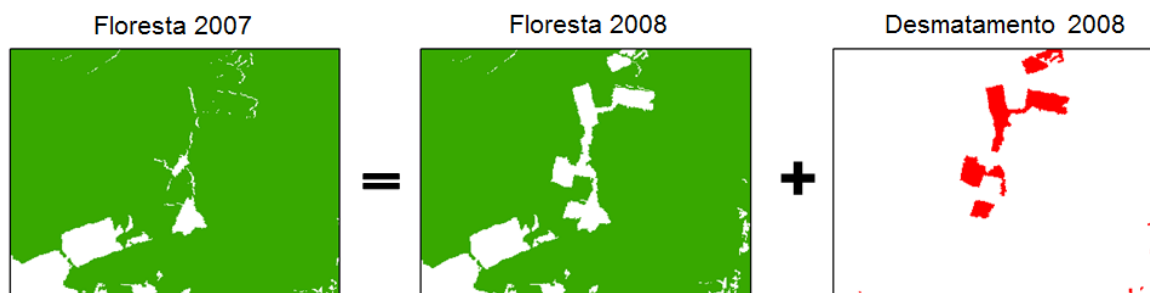
Para o cômputo da fragmentação da floresta Amazônica uma versão do software GUIDOS *Toolbox* foi implementada no ambiente *Linux* para que fosse permitido o cálculo da fragmentação para toda a Amazônia brasileira com resolução espacial de 60m. Foi necessário também a preparar os dados de floresta para servir de entrada para o software. Posteriormente, as classes de fragmentação puderam ser computadas. Desta maneira, a descrição da metodologia da fragmentação florestal dividiu-se em dois subtópicos: geração das máscaras de floresta e extração de atributos da paisagem.

##### **4.2.1.1. Geração dos Dados de Floresta**

Os dados anuais de floresta foram necessários para servir de entrada no cálculo da fragmentação. Para a elaboração destes, utilizaram-se os dados do projeto TerraClass, visto que estes dados já estão livres das interferências das nuvens. Este projeto possui em seu acervo o mapeamento da classe “floresta” para os anos de 2008, 2010 e 2012. A partir destes dados disponibilizados e das imagens de desmatamento do PRODES, foi possível realizar uma álgebra de mapas para elaborar os dados de floresta dos anos indisponíveis. Os dados de floresta resultantes possuem resolução espacial de 60 metros, visto que tanto os dados do TerraClass quanto do PRODES são disponibilizados nesta resolução. O exemplo do cálculo está ilustrado na Figura 4.2.



Figura 4.2. Cálculo dos dados de floresta indisponíveis.



Como se pode visualizar o dado de floresta de 2007 foi elaborado somando-se o dado de floresta de 2008 com o desmatamento ocorrido em 2008. Esse mesmo procedimento foi aplicado para os demais anos permitindo aplicar as métricas de fragmentação para toda a série temporal de 2003 a 2014.

#### 4.2.1.2. Extração de Atributos da Paisagem

Para o cálculo da métrica de fragmentação, utilizou-se como entrada os dados de floresta obtidos a partir da análise dos dados dos projetos TerraClass e PRODES do INPE como foi descrito no item anterior. Como essas imagens possuíam número de linhas e colunas superior ao permitido no programa *GUIDOS Toolbox* na versão de interface, foi necessário realizar o processamento na versão do programa em ambiente linux, utilizando linhas de comando em uma estação de trabalho.

As imagens de floresta da série temporal de 2003 a 2014 foram processadas para a extração dos parâmetros descritos no item 2.5 da Fundamentação Teórica, para posterior análise.

Para realizar as análises, o mapa com as classes de fragmentação foi processado com o objetivo de gerar um mapa para cada classe de fragmentação. Cada uma das classes de fragmentação é representada por valores associados com as bandas RGB da imagem, e a partir desses valores é possível separar as classes e salvá-las em arquivos distintos. Este procedimento foi executado pelo software de programação *Interactive Data Language* (IDL). As classes de corredor externo, corredor interno e apêndice florestal por possuírem a mesma função de conectar

fragmentos (seja entre duas áreas Core, entre extremidades diferentes em uma mesma área Core ou conectar uma extremidade a Borda ou outros tipos de classe), foram unidas e transformadas em uma nova classe chamada “Corredor”. Esse processo foi realizado visando a redução do custo de processamento.

#### 4.2.2. Reamostragem dos Dados para as Análises Estatísticas

A maioria dos dados utilizados foi gerada com uma resolução espacial de 60 metros, o que compromete o tempo de processamento visto que área de estudo utilizada cobre uma extensa área geográfica. Para contornar essa dificuldade esses dados foram reamostrados para a resolução igual ao do dado de menor resolução espacial utilizado neste trabalho, que consiste nos dados produzidos pelo sensor TRMM, com 0,25° de resolução espacial. A Tabela 4.3 mostra os dados utilizados com suas resoluções originais.

Tabela 4.3. Dados utilizados e suas resoluções espaciais originais.

Dado	Projeto	Resolução	Projeção	Datum
Focos de Calor	FIRMS	1000 m	Geográfica	WGS-84
Desmatamento	PRODES	60 m	Geográfica	SAD69
Degradação	DEGRAD	60m	Geográfica	SAD69
Floresta Secundária	TerraClass	60m	Geográfica	SAD69
MCWD	TRMM	0,25° (~ 27,78 km)	Geográfica	WGS-84
Floresta	TerraClass	60m	Geográfica	SAD69

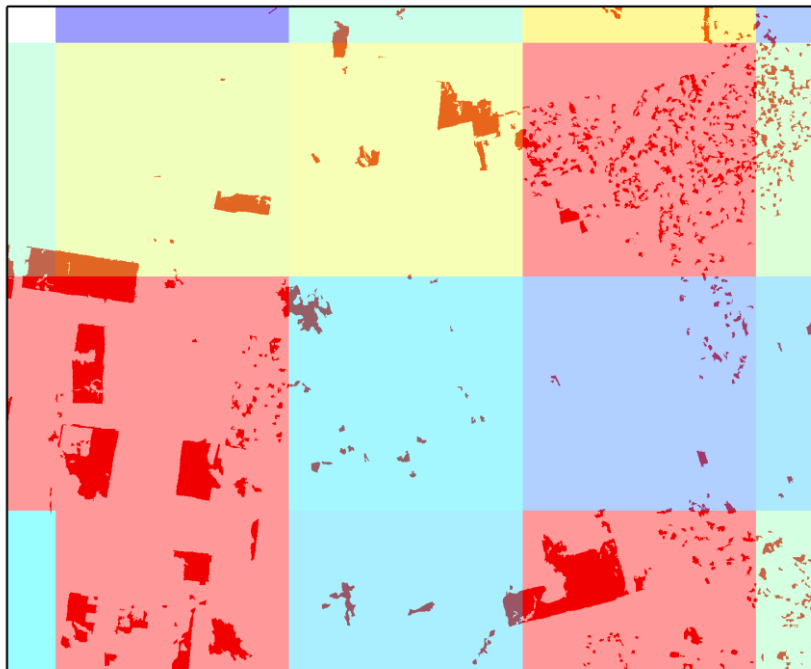
Antes de reamostrar os dados para 0,25° foi necessário padronizá-los. Para isso foi necessário:

- Transformar os dados de formato vetorial para formato matricial;
- Reprojetar os dados para o mesmo datum em que se encontravam os dados TRMM (Datum WGS-84), que foi usado como padrão para os demais dados;
- Recortar as imagens para que tivessem o mesmo número de linhas e colunas;

- Transformar os arquivos matriciais em matrizes binárias, para obter somente a informação da classe pretendida classificada como 1, e o restante como 0.

Para reamostrar os dados para  $0,25^\circ$ , utilizou-se o software IDL. A partir disto, foi possível agregar os pixels dentro da célula de  $0,25^\circ$  pela função *Pixel Aggregator*, e transformar o valor total da informação dentro da célula em fração. A Figura 4.3 é um exemplo do resultado da aplicação da função *Pixel Aggregator*. Ao fundo, em vermelho, é possível ver a máscara de desmatamento em sua resolução original. Os quadrados em escala de cor correspondem às novas células geradas pela função, sendo que a cor delas representa a fração da presente célula ocupada pela classe desmatamento, variando de cores frias, com menos desmatamento a cores quentes com maior incidência de desmatamento. Todos os dados passaram por este procedimento antes das análises. Os dados de focos de calor, diferentemente dos demais foram somados dentro da célula de  $0,25^\circ$ .

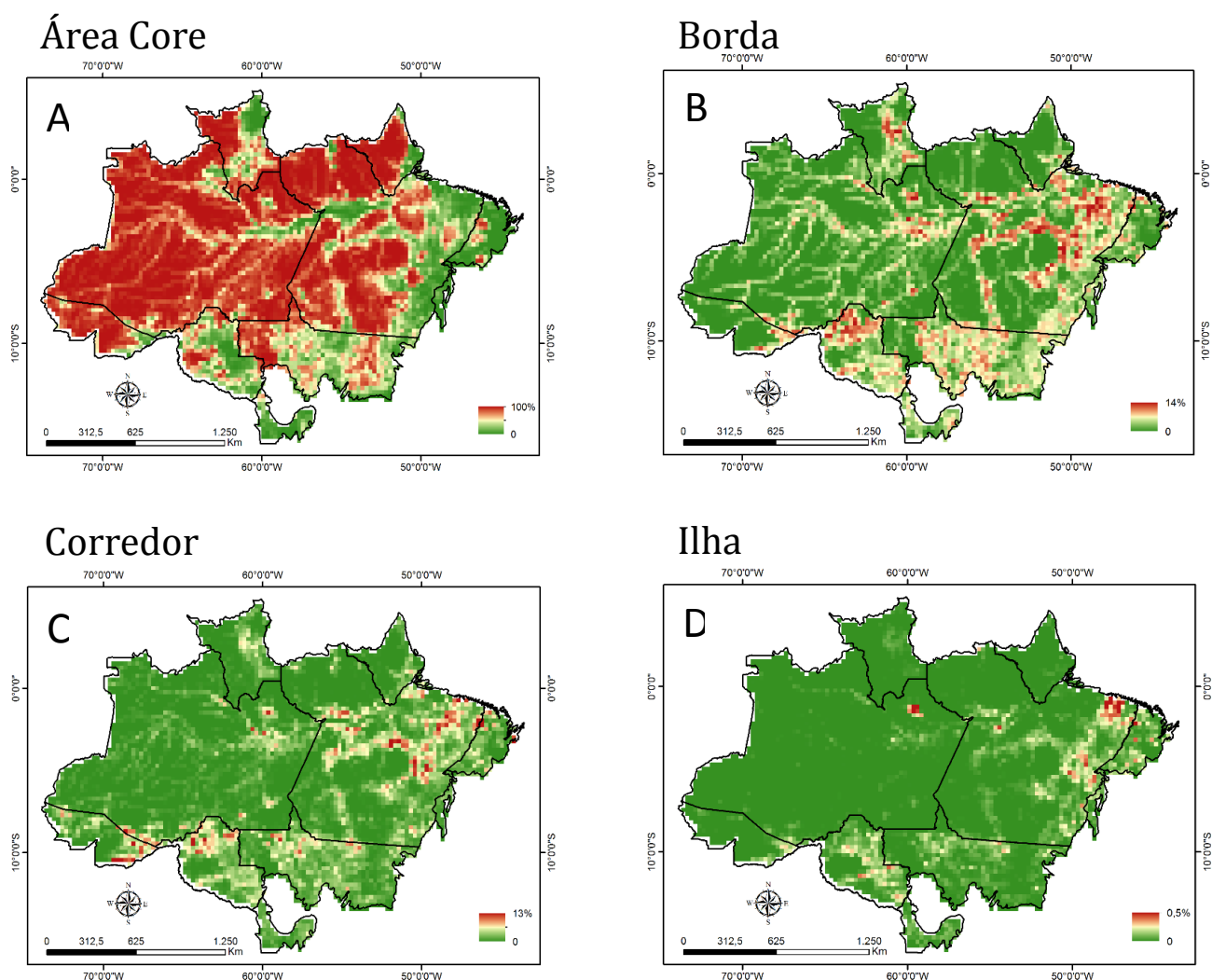
Figura 4.3. Exemplo da porcentagem de desmatamento em células com  $0,25^\circ$ .



As imagens resultantes da análise de fragmentação também foram reamostradas de 60 metros para células de  $0,25^\circ$ . O processo foi similar ao descrito acima, onde os valores finais foram computados como fração em cada célula de  $0,25^\circ$ . A Figura

4.4 exemplifica as classes de fragmentação considerando o parâmetro 2, que corresponde a 120 metros, já separadas e reamostradas em células de  $0,25^\circ$  para o ano de 2010. Esse mesmo procedimento foi realizado para toda a série temporal de 2003 a 2014 para todos os parâmetros em análise.

Figura 4.4. Exemplos das classes de fragmentação e sua porcentagem dentro da célula de 0,25° para o ano de 2010, considerando o parâmetro de 120 metros. Em A, a classe de área Core; em B, Borda; em C, Corredor; em D, Ilha. Cada figura possui um range diferente, não podendo ser comparadas entre si.



Na Figura 4.4-A as regiões em cores avermelhadas mostram altas porcentagens de áreas Cores e nas verdes, valores próximos a 0% de área Core. O mesmo se aplica para as Figuras 4.4-B, C e D, onde os locais com células avermelhadas possuem uma porcentagem maior da ocorrência das classes de fragmentação respectiva a figura.

### **4.3. Análises**

#### **4.3.1. Caracterização das Variáveis Analisadas para a Amazônia brasileira**

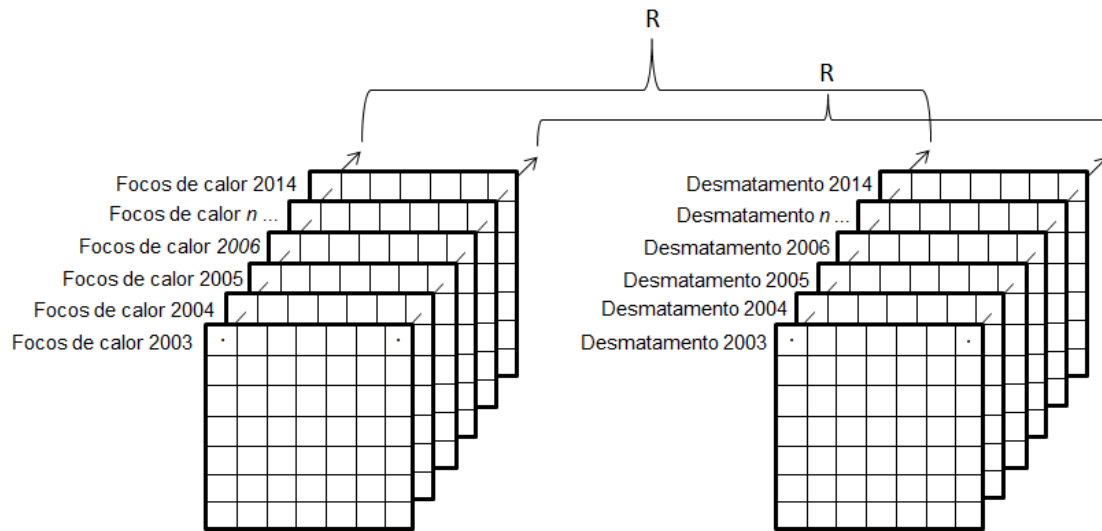
Para o entendimento da dinâmica dos focos de calor, taxas de desmatamento, degradação, floresta secundária, fragmentação florestal e MCWD foi realizada uma análise de tendência temporal linear dos valores totais destas variáveis para a Amazônia brasileira ao longo da série temporal. O cálculo das áreas totais de cada variável também foi realizado para cada estado que compõe a Amazônia brasileira. Nesta etapa, os cálculos das áreas correspondem aos estados no limite da Amazônia Legal e não somente ao bioma Amazônico.

#### **4.3.2. Covariância Temporal por Pixel dos Focos de Calor em relação às Variáveis da Paisagem**

Para entender a dinâmica dos focos de calor e sua relação com as variáveis analisadas ao longo da série temporal, utilizou-se uma análise de correlação por pixel, utilizando o coeficiente de Pearson (R) que varia de -1 a 1, indica a força da relação entre as variáveis, sendo que o R próximo a -1 indica uma relação inversa, valores de R próximos a 0 indicam pouco relacionamento entre as variáveis e valores de R próximos a 1 indicam uma relação direta entre as variáveis.

Essa análise foi realizada pixel a pixel ao longo da série temporal, gerando mapas finais com valores indicando o grau de correlação entre os focos de calor e cada variável da paisagem analisada. A Figura 4.5 exemplifica o processo para a análise entre os focos de calor e a variável de desmatamento. Este mesmo processo foi realizado entre os focos de calor e as demais variáveis independentes. Para as variáveis que não possuem dados para a série temporal completa, como degradação e floresta secundária, utilizaram-se somente os dados de focos de calor referentes aos anos disponíveis destes dados para a análise de correlação.

Figura 4.5. Esquema da análise de correlação espaço-temporal entre focos de calor e desmatamento.



O cálculo do coeficiente de Pearson (R) é realizado pela Equação 4.1.

$$R = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad (4.1)$$

Onde,  $x_i$  é o valor da variável independente,  $\bar{x}$ , a média da variável independente,  $y_i$ , o valor da variável dependente e  $\bar{y}$  a média da variável dependente, sendo que a variável dependente é sempre representada pelos focos de calor.



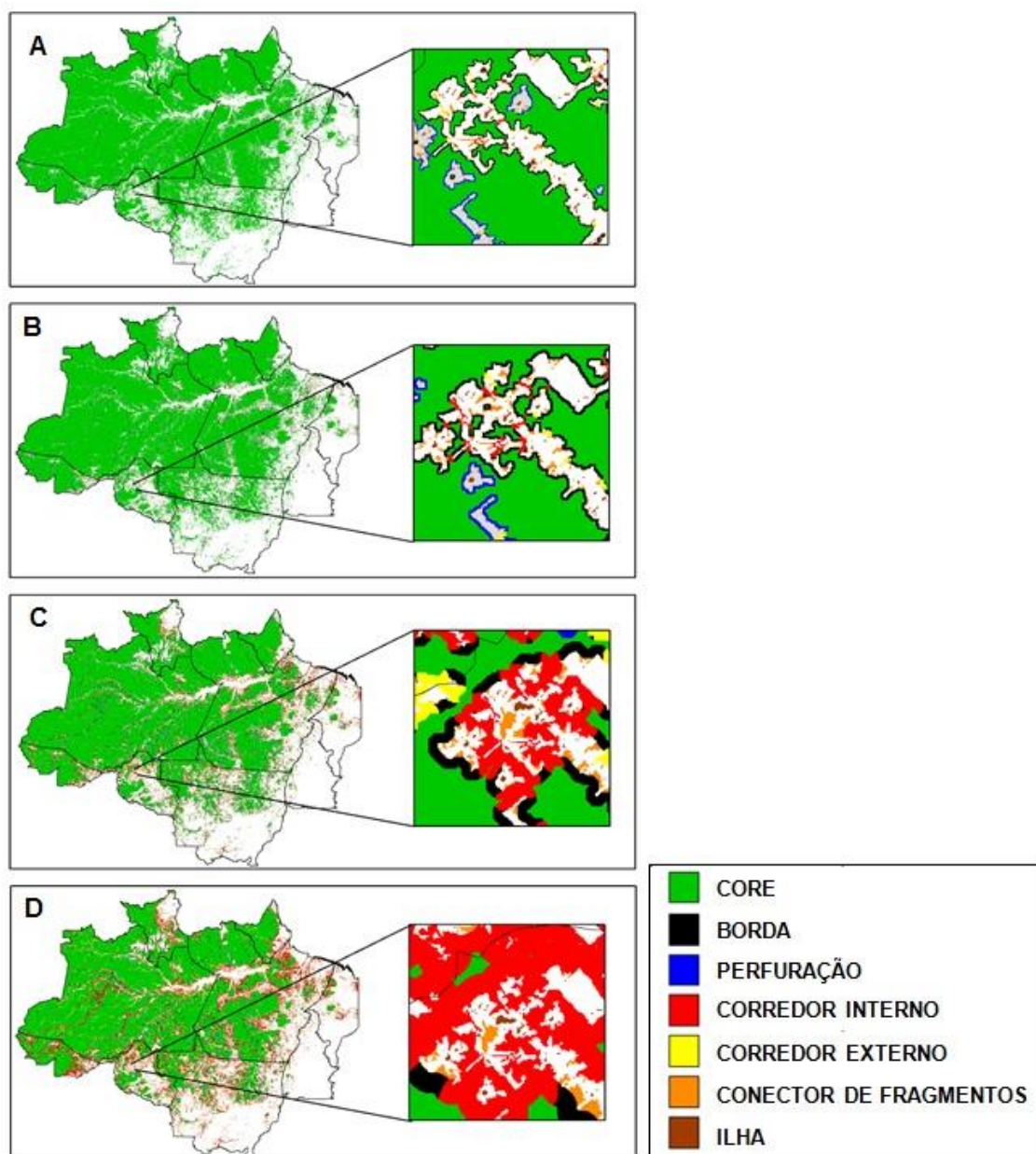


## **5 RESULTADOS**

### **5.1. Mapeamento da Fragmentação da Floresta Amazônica**

A análise da fragmentação da paisagem amazônica foi realizada para toda a Amazônia brasileira entre os anos de 2003 a 2014, para cumprir o objetivo específico 1 (OE-1). Na Figura 5.1 é demonstrado o resultado da classificação da fragmentação do ano de 2014, sendo possível ver a diferença na classificação da fragmentação para os diferentes parâmetros na janela em zoom. Os demais mapas resultantes da análise de fragmentação correspondentes aos anos de 2003 a 2013 encontram-se no Apêndice A. Os valores totais de cada classe de fragmentação em km<sup>2</sup> são apresentados no próximo tópico. Para a realização das análises e cômputo das classes de fragmentação de cada parâmetro separadamente, foram gerados um total de 240 mapas.

Figura 5.1. Resultado do mapeamento da fragmentação da paisagem para o ano de 2014. Em A com o parâmetro 1, referente a 60m; em B, parâmetro 2, referente a 120m; em C, parâmetro 17, referente a 1020m; e em D parâmetro 33 referente a 1980m.



## 5.2. Quantificação das Taxas de Desmatamento, Degradação, Floresta Secundária e Fragmentação na Amazônia Brasileira

Este item descreve os resultados obtidos para o objetivo específico 2 (OE-2). A quantificação de cada uma das variáveis separadas por estados da Amazônia (quantificados para os estados dentro do limite da Amazônia Legal) para o ano de 2014 é exibido na Tabela 5.1. No apêndice B estão as tabelas com valores de

cada variável em km<sup>2</sup> para os anos de 2003 a 2013. Analisando os padrões de cada variável é possível inferir que para o ano de 2014 o estado do Pará teve as maiores taxas de desmatamento entre todos os estados analisados, assim como as maiores áreas de Borda e Corredor considerando os parâmetros de 60m e 120m. Por outro lado, as maiores áreas entre todos os estados para a classe de fragmentação de área Core, foram observadas no estado do Amazonas, para todos os parâmetros.

Os estados do Amapá e Tocantins apresentaram os menores valores de desmatamento e também para as classes de fragmentação de Corredor, Borda, Ilha e Perfuração. Alguns estados como o Acre, Amazonas, Rondônia e Roraima apresentaram um padrão de crescimento de áreas de Borda considerando o parâmetro de 120 metros. O estado de Roraima, por exemplo, em 2003 possuía uma área de 5.031 km<sup>2</sup> de Borda, que aumentou para 5.439 km<sup>2</sup> em 2014. Os estados do Maranhão, Mato Grosso, Pará e Tocantins apresentaram o padrão inverso em relação à classe de área de Borda com parâmetro de 120m. As taxas desta classe diminuíram, passando de 5.471 km<sup>2</sup> em 2003 para 5.051 km<sup>2</sup> em 2014 como é o exemplo do Maranhão.

Tabela 5.1. Número de focos de calor e quantificação de área (km<sup>2</sup>) das demais variáveis analisadas por estados da Amazônia brasileira para o ano de 2014.

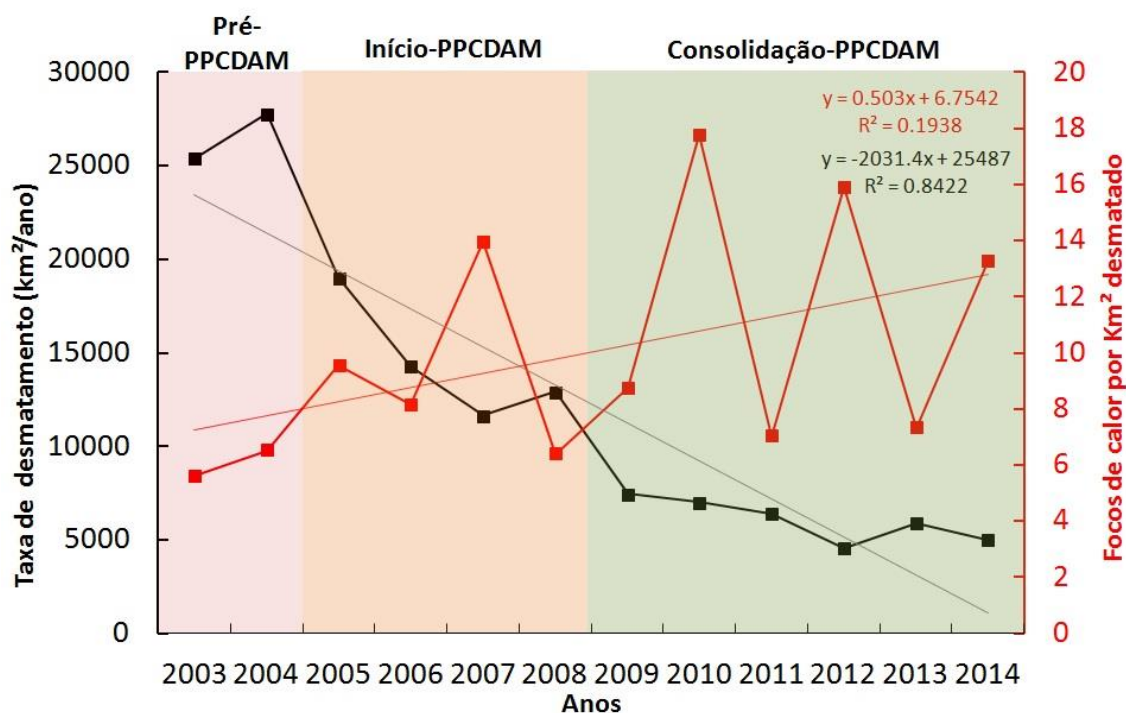
	AC	AM	AP	MA	MT	PA	RO	RR	TO
<b>Focos de calor 2014</b>	227	951	4	2818	4934	3183	1108	550	2626
<b>Desmat. 2014</b>	309	500	31	257	1075	1887	684	219	50
<b>Core 60m 2014</b>	128851,8	1396147,0	106831,4	28291,7	296861,2	835483,0	114250,4	139306,6	9828,2
<b>Corr 60m 2014</b>	1098,6	2978,9	283,4	1457,5	4235,9	7070,2	2125,0	592,4	428,8
<b>Borda 60m 2014</b>	2047,7	14161,9	1059,6	4087,6	17761,8	24379,0	7663,4	3077,6	1887,0
<b>Ilha 60m 2014</b>	123,1	248,8	18,1	407,8	741,6	1481,5	536,3	61,1	85,1
<b>Perf. 60m 2014</b>	2275,5	8011,5	839,5	587,9	4104,8	9933,8	1494,2	1359,6	136,6
<b>Core 120m 2014</b>	124503,6	1374101,8	104928,5	24296,8	276540,4	803364,7	105995,6	134966,5	8048,5
<b>Corr 120m 2014</b>	3330,3	9680,7	1013,6	3543,1	11124,9	19425,0	5300,3	1918,6	1157,1
<b>Borda 120m 2014</b>	2978,2	24876,8	1767,1	5051,9	28124,6	36996,8	11123,6	5439,8	2697,7
<b>Ilha 120m 2014</b>	301,6	743,8	57,1	1254,2	2013,9	3965,4	1444,6	143,9	303,4
<b>Perf. 120m 2014</b>	3282,8	12144,9	1265,6	686,4	5901,5	14596,0	2205,2	1928,5	159,0
<b>Core 1020m 2014</b>	92078,8	1178261,0	89159,1	10042,0	154566,4	603354,0	63062,3	103163,4	1737,9
<b>Corr 1020m 2014</b>	34756,8	157249,4	14364,6	13383,1	101356,3	176564,9	36454,2	26772,1	4649,1
<b>Borda 1020m 2014</b>	2925,5	53910,7	2584,7	1857,2	41137,4	41605,7	9798,4	9853,6	1236,9
<b>Ilha 1020m 2014</b>	2345,8	7388,2	928,5	9186,0	21779,8	36864,2	13987,3	2794,5	4709,3
<b>Perf. 1020m 2014</b>	2289,7	24737,1	1994,9	364,3	4865,3	19959,7	2767,1	1813,6	32,4
<b>Core 1980m 2014</b>	72075,4	1025400,6	76625,7	5753,0	98475,9	490305,3	43547,4	84678,0	663,0
<b>Corr 1980m 2014</b>	55115,9	309972,8	26584,8	15739,6	158000,5	282705,6	53504,7	44778,3	4180,8
<b>Borda 1980m 2014</b>	2318,0	49798,8	1991,7	699,4	27077,7	30782,2	6390,7	8771,7	335,6
<b>Ilha 1980m 2014</b>	3396,8	12073,1	1478,4	12528,8	37436,9	57012,9	20846,8	4708,1	7186,3
<b>Perf. 1980m 2014</b>	1490,5	24301,6	2351,3	111,8	2714,2	17542,0	1779,6	1461,2	0,0

### 5.3. Tendências Temporais Consolidadas para Amazônia Legal

Este tópico descreve a análise de tendências temporais das variáveis analisadas para a série temporal de 2003 a 2014, proposta no objetivo específico 3 (OE-3). As primeiras análises dos dados referentes às taxas de desmatamento e dos focos de calor no bioma amazônico para a série temporal analisada, indicam que a diminuição das taxas de desmatamento não está diretamente associada a uma diminuição da ocorrência de focos de calor como pode ser observado na Figura

5.2. A partir do ano de 2005 as taxas de desmatamento começam a declinar, sendo justificadas pela atuação do PPCDAm e se estabilizam com a consolidação do PPCDAm, a partir de 2009. O número de focos de calor por unidade de área desmatada, no entanto, possui uma tendência de aumento ao longo da série temporal, indicando um desacoplamento entre a ocorrência dos focos de calor e desmatamento. O número de focos de calor normalizados pela área desmatada possui seu maior pico em 2010, atingindo o valor de até 18 focos de calor por km<sup>2</sup> desmatado, evidenciando o efeito da seca. Contudo, é importante notar que mesmo em anos onde secas não foram reportadas, como 2012 e 2014, o número de focos por área desmatada é maior que em anos com elevada taxa de desmatamento como no período Pré-PPCDAM.

Figura 5.2. Taxas de desmatamento e focos de calor por km<sup>2</sup> desmatado no bioma amazônico relacionado com as fases do PPCDAm.

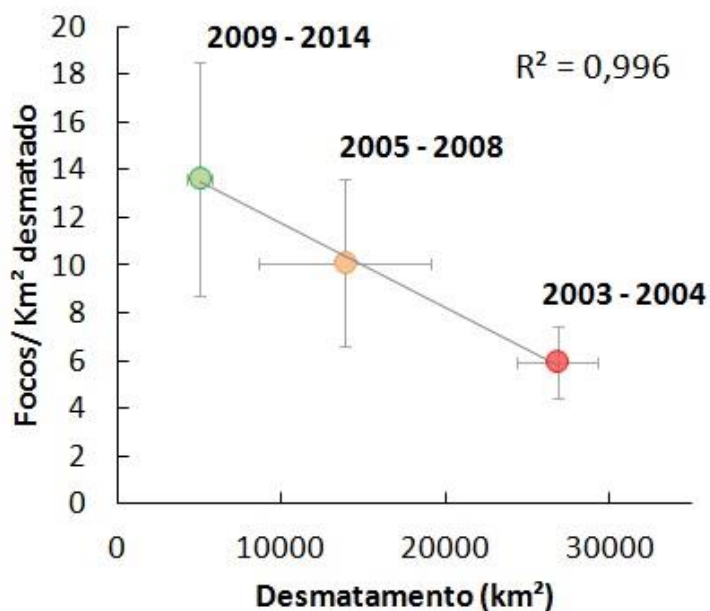


Fonte: Dados do PRODES e FIRMS.

A relação inversa entre o desmatamento e o número de ocorrência de focos de calor por área desmatada fica evidente na Figura 5.3. Este resultado demonstra que para uma mesma unidade de área desmatada o número médio de focos de calor aumentou desde o início até o final dos respectivos períodos do programa de redução de desmatamento PPCDAm. A linha de tendência possui um R<sup>2</sup> de

0,996 evidenciando o forte declínio do desmatamento seguido do aumento dos focos de calor por unidade de área desmatada.

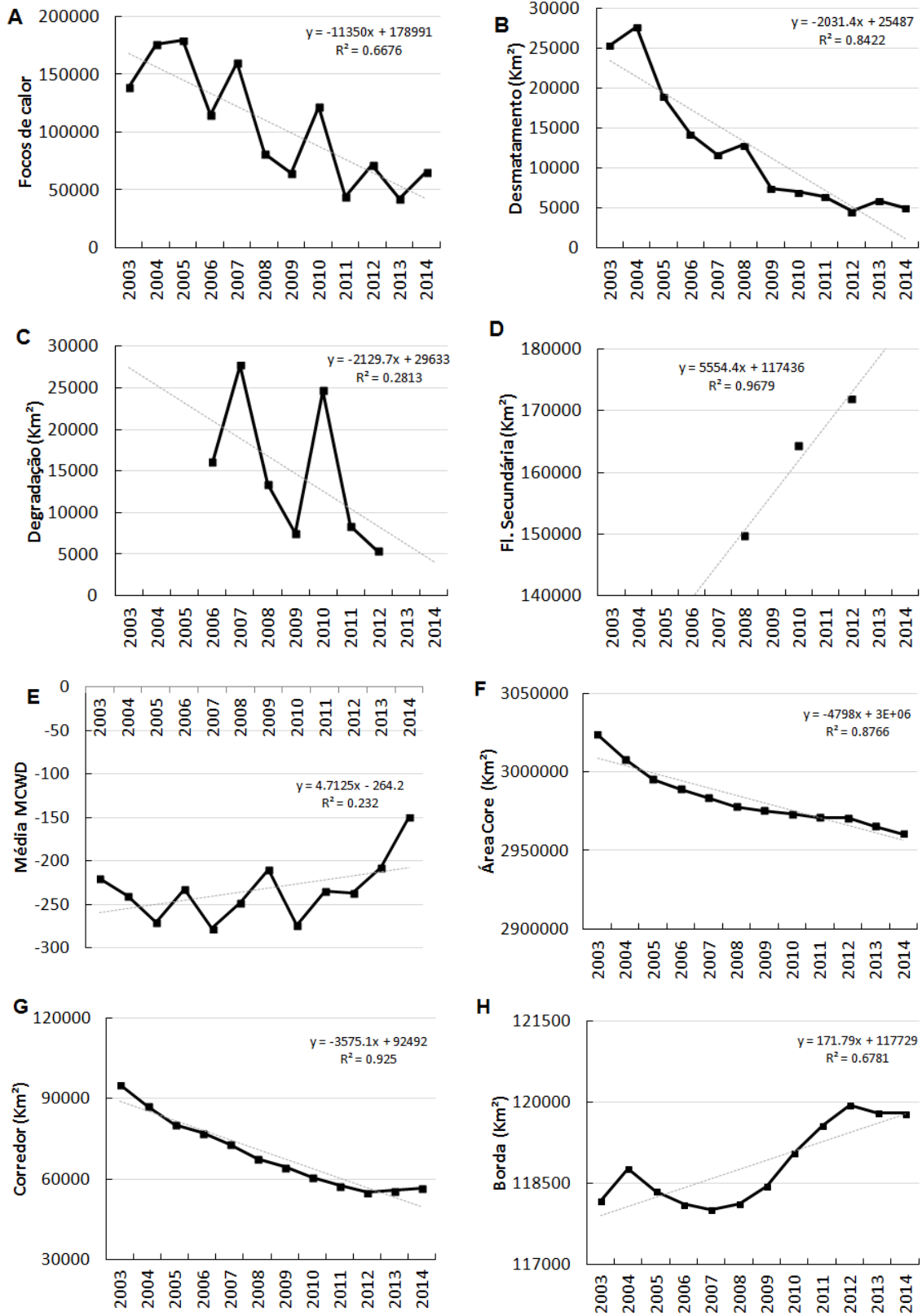
Figura 5.3. Média dos focos de calor por km<sup>2</sup> desmatado pelas taxas de desmatamento em períodos específicos do PPCDAm. As barras indicam o desvio padrão das médias.

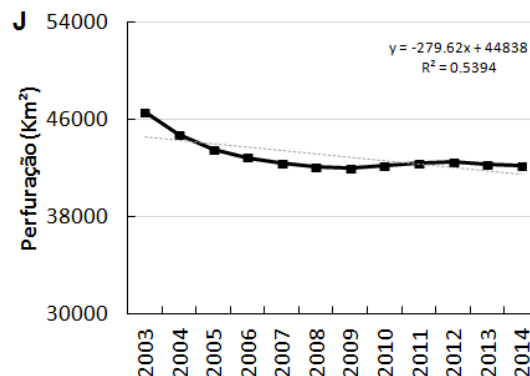
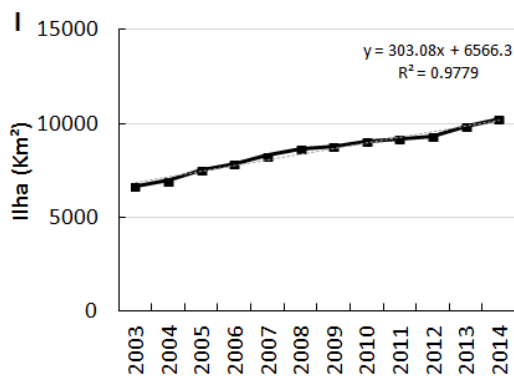


Os gráficos apresentados abaixo (Figura 5.4) mostram o comportamento das variáveis analisadas ao longo da série temporal em estudo, permitindo inferir sobre padrões que vêm ocorrendo na última década.

O número absoluto de focos de calor tende a declinar ao longo da série temporal, apresentando picos em alguns anos como 2005, 2007 e 2010, com 179.193, 160.214 e 122.409 focos, respectivamente (Figura 5.4 -A). O ano de 2013 apresentou a menor taxa de focos, sendo de aproximadamente 42.271. Contudo, esses valores não são estáveis como o declínio observado para as taxas de desmatamento (Figura 5.4 -B). São observados picos de ocorrência de queimadas em 2005, 2007 e 2010 associados à secas. Esses valores seguem um padrão muito semelhante ao gráfico da Figura 5.4-E, referente ao MCWD, sendo que este também possui seus maiores picos nos anos de 2005, 2007 e 2010. Além disso, também observaram-se valores similares de queimadas entre os anos 2009, 2012 e 2014, apesar do ano de 2009 possuir maiores taxas de desmatamento.

Figura 5.4. Gráficos do comportamento das variáveis ao longo da série temporal. Em A, Focos de calor; em B, Desmatamento; em C, Degradação; em D, Floresta Secundária; em E, MCWD; em F, Área Core; em G, Corredor; em H, Borda; em I, Ilha e em J, Perfuração.





A Figura 5.4-B mostra a evolução da taxa de desmatamento na série temporal. As taxas vêm diminuindo significativamente ao longo dos anos, podendo relacionar-se com iniciativas contra o desmatamento por órgãos públicos. O PPCDAm é um dos planos que foi instaurado em 2004 e apresentou excelente resultado, como é demonstrado pelo gráfico, apresentando intenso decaimento a partir do ano que começou a ser executado e manteve-se com baixas taxas de desmatamento.

Os valores referentes às taxas de degradação estão representados na Figura 5.4-C. É possível fazer uma conexão dos picos de degradação com os picos de focos de calor. A degradação possuiu suas maiores taxas nos anos de 2007 e 2010, chegando a aproximadamente 27.413 km<sup>2</sup> e 24.650 km<sup>2</sup> respectivamente de áreas degradadas. Esses picos também se relacionam com os anos de maiores MCWD, permitindo inferir uma associação na ocorrência destas variáveis.

Apesar de não existir dados contínuos de floresta secundária para toda a série temporal, é possível ver que esse tipo de vegetação tem aumentado ao longo dos anos, passando de aproximadamente 150.815 km<sup>2</sup> em 2008 para 165.229 km<sup>2</sup> em 2010, e para 172.189 km<sup>2</sup> em 2012.

Os gráficos referentes às classes de fragmentação (Figura 5.4 - F a J) correspondem à fragmentação considerando o parâmetro de 120m. A Figura 5.4-F mostra um decaimento da área Core ao longo do tempo, passando de 3.020.475,194 km<sup>2</sup> em 2003 para 2.956.746,436 km<sup>2</sup> em 2014. O gráfico G referente à classe de Corredor da análise de fragmentação apresenta padrão semelhante ao da classe de área Core, passando de 95.055,1 km<sup>2</sup> em 2003 para



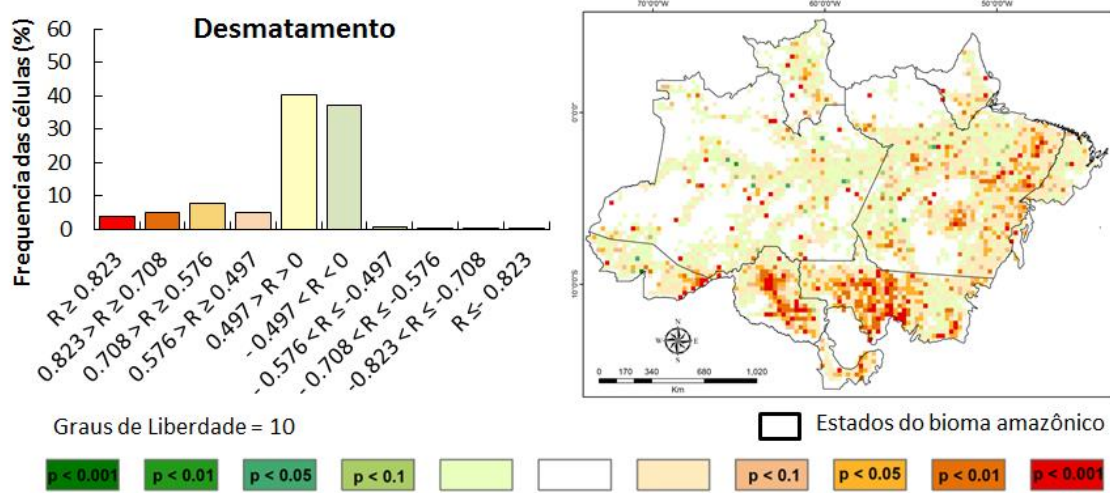
56.493,5 km<sup>2</sup> em 2014, evidenciando a perda de floresta tanto de áreas extensas quanto de corredores florestais ao longo da série temporal. A classe de Borda a partir do ano de 2008 apresentou um aumento em suas taxas, partindo de 117.395,758 km<sup>2</sup> em 2008 para 119.203,570 km<sup>2</sup> em 2012 quando atingiu seu ápice coincidindo com picos de focos de calor. Em 2004, essa classe também apresentou um pico chegando a 118.063,495 km<sup>2</sup>, o qual coincide com o ápice das taxas de desmatamento para a série temporal analisada. A classe referente à Ilha apresentou um aumento ao longo do tempo, sendo 6.663,487 km<sup>2</sup> em 2003 e 10.227,926 km<sup>2</sup> em 2014, evidenciando o aumento de florestas fragmentadas. A classe de Perfuração teve uma pequena queda na série temporal, sendo de 46.587,797 km<sup>2</sup> em 2003 e 42.169,845 km<sup>2</sup> em 2014.

#### **5.4. Covariância Temporal por Pixel de Focos de Calor em relação às Variáveis da Paisagem**

Esta seção descreve os resultados das correlações temporais baseadas em pixels dos focos de calor com as demais variáveis (Figuras 5.5 a 5.13), referentes ao objetivo específico 4 (OE-4).

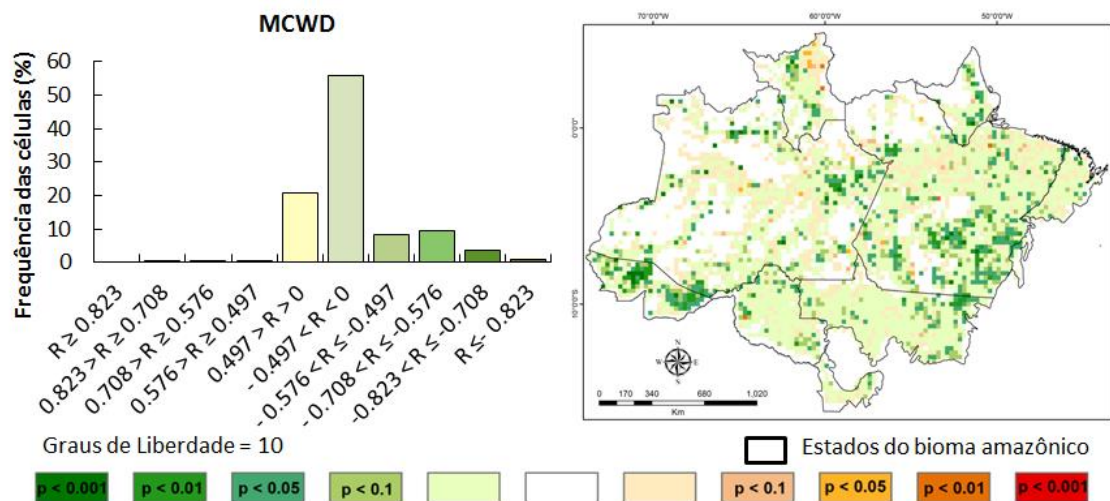
A Figura 5.5, representa a correlação dos focos de calor com as taxas de desmatamento. Um total de 21,7% (718 células) de todas as células analisadas apresentou correlação significativa positiva ( $p < 0,1$ ), sendo destas 3,7% (122 células) com significância  $p < 0,001$ , e localizadas principalmente nos estados do Mato Grosso e Rondônia.

Figura 5.5. Correlação temporal por pixel dos focos de calor com desmatamento.



A correlação dos focos de calor com o MCWD (Figura 5.6) é interpretada inversamente, pois esta variável apresenta valores negativos. Assim, as células com tons verdes mais intensos indicam maior significância positiva. Essa análise apresentou 22% (808 células) de células com significância positiva ( $p < 0,1$ ), sendo dessas 0,8% (29 células) com significância  $p < 0,001$  e concentradas no estado do Acre e sudeste do Pará.

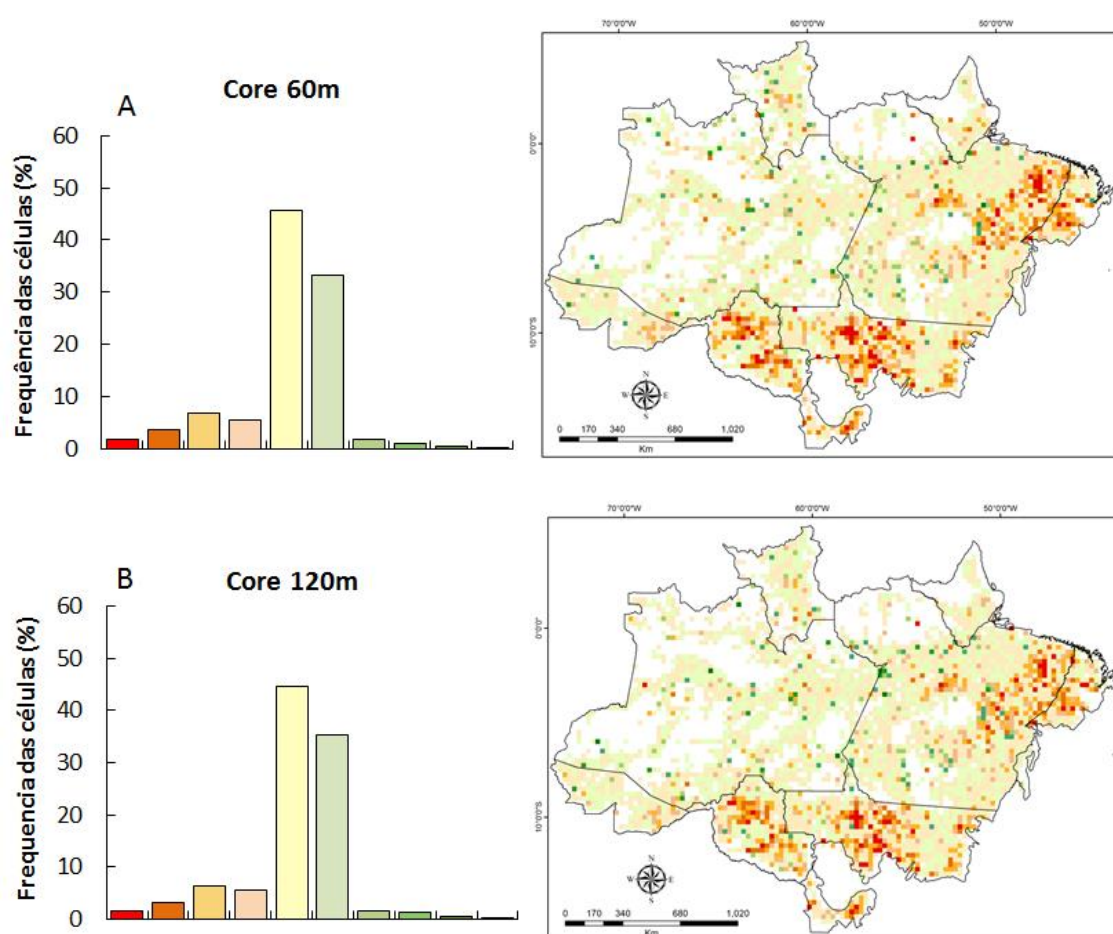
Figura 5.6. Correlação temporal por pixel dos focos de calor com MCWD.

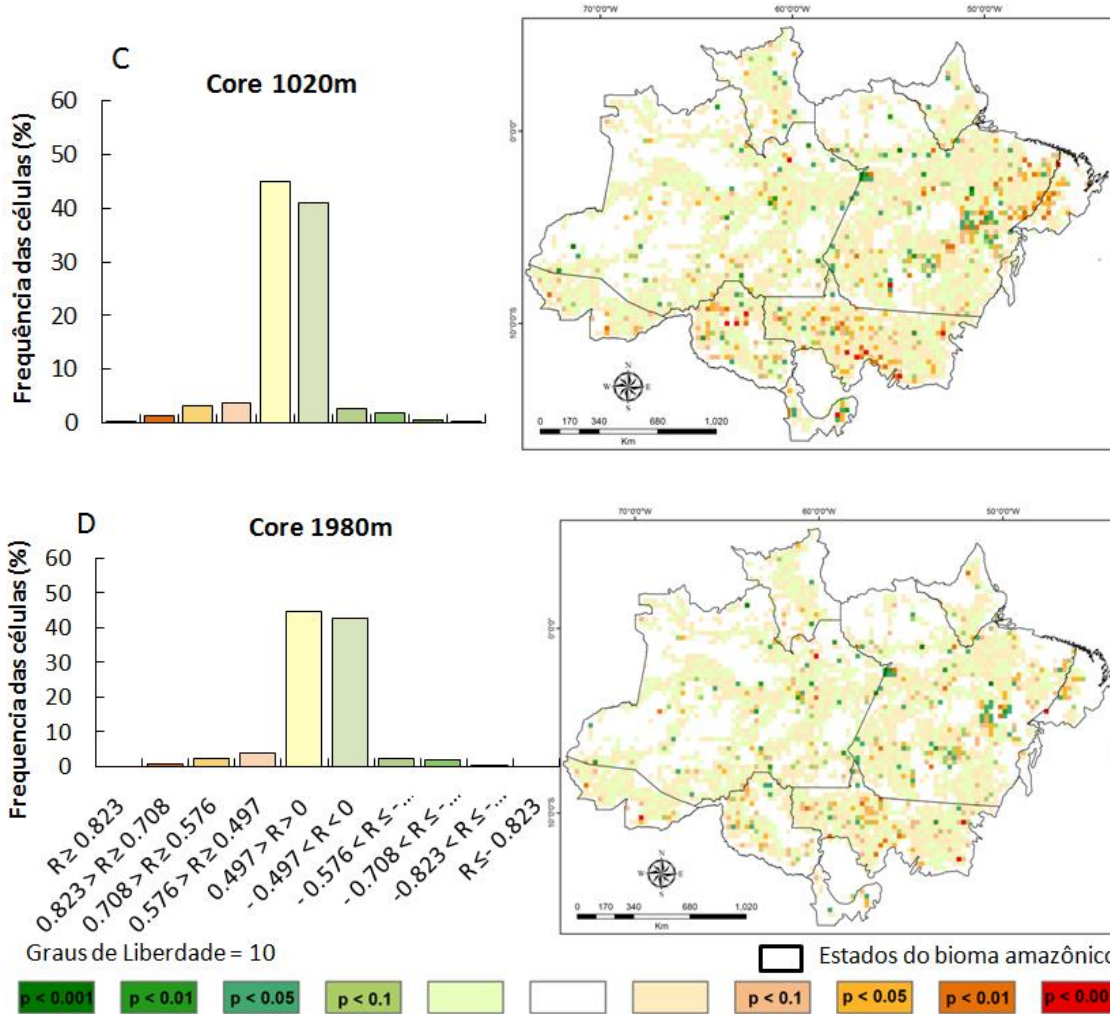


Em relação à área Core (Figuras 5.7 - A, B, C e D), é possível notar que áreas Cores consideradas de 60m e 120m são mais susceptíveis aos focos de calor, pois mostraram grande quantidade de células significativas positivas ( $p < 0,1$ ), sendo 17,9% (639 células) e 16,7% (597 células) respectivamente. Destas, 1,9%

(68 células) e 1,6% (57 células) possuem significância positiva com  $p < 0,001$  para as classes de áreas Cores de 60m e 120m, respectivamente. Elas se concentram principalmente nos estados do Mato Grosso, Rondônia e nordeste do Pará. As áreas Cores com parâmetros de 1020m e 1980m possuem menor quantidade de células significativas positivas correspondendo a 8,7% e 7,2 % respectivamente, de todas as células analisadas.

Figura 5.7. Correlação temporal por pixel dos focos de calor com os diferentes parâmetros para classe de fragmentação Core. Em A, parâmetro de 60m; em B, 120m; em C, 1020m e em D, 1980m.

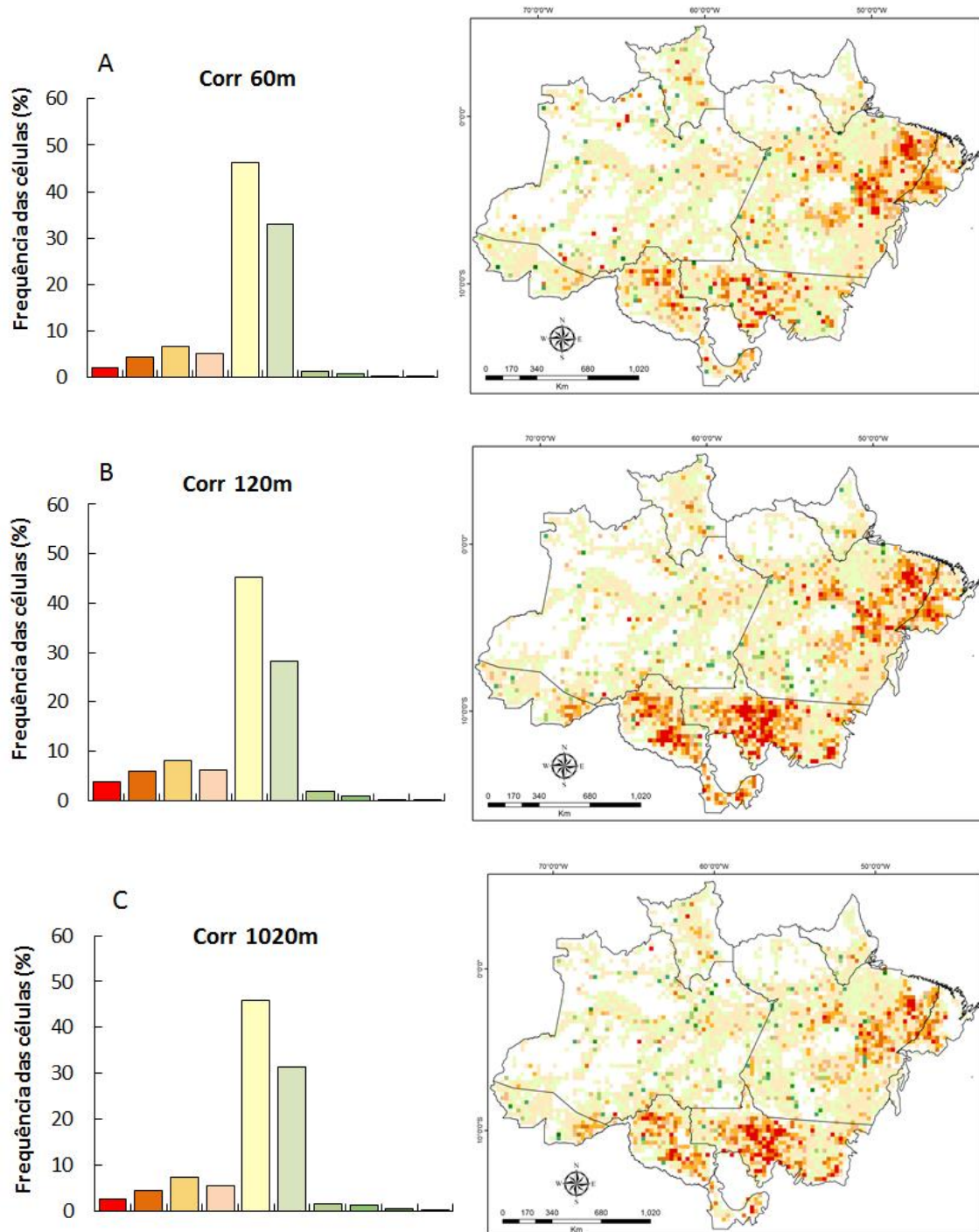


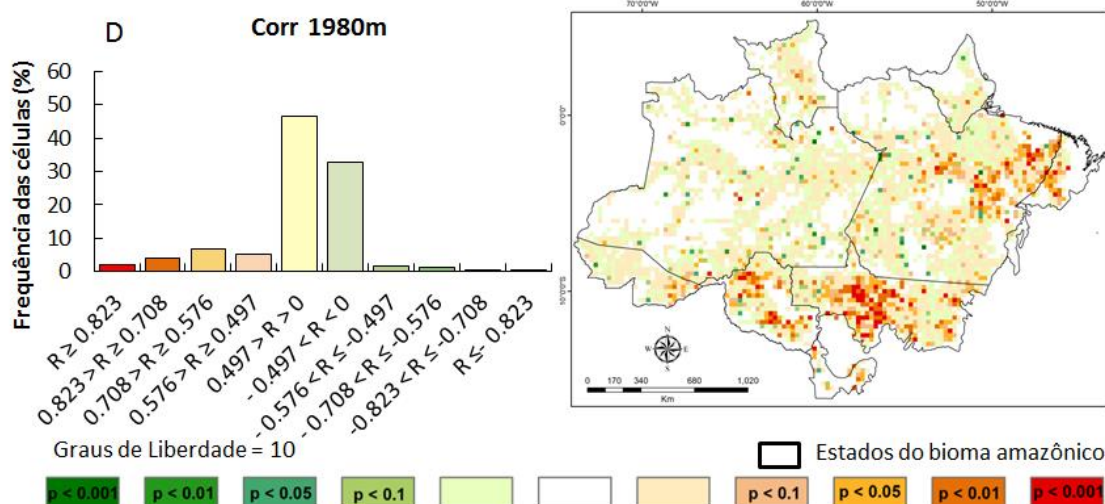


A classe de fragmentação Corredor (Figuras 5.8 - A, B, C e D), possui células significativas positivas em todos os parâmetros de distância analisados, principalmente no estado do Mato Grosso e nordeste do Pará. O parâmetro de 120m (Figura 5.8 -B) é o que apresenta a maior quantidade de células significativas positivas ( $p < 0,1$ ) correspondendo a 23,9% (844 células) de todas as células analisadas, sendo que destas, 3,8% (135 células) possuem significância com  $p < 0,001$ . O parâmetro de 60m apresentou 18,2% (647 células) de células significativas positivas ( $p < 0,1$ ) e os parâmetros 1020m e 1980m apresentaram 19,8% (684 células) e 17,8% (593 células) respectivamente.



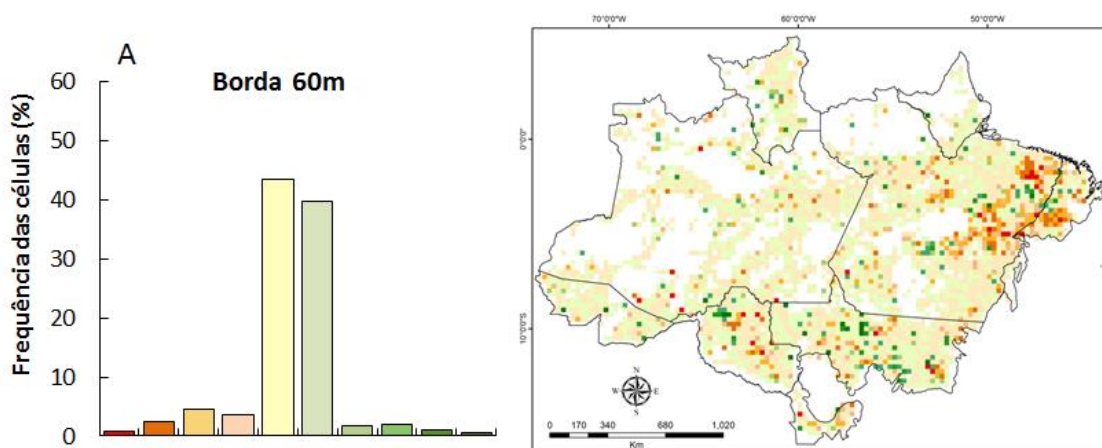
Figura 5.8. Correlação temporal por pixel dos focos de calor com os diferentes parâmetros para classe de fragmentação Corredor. Em A, parâmetro de 60m; em B, 120m; em C, 1020m e em D, 1980m.

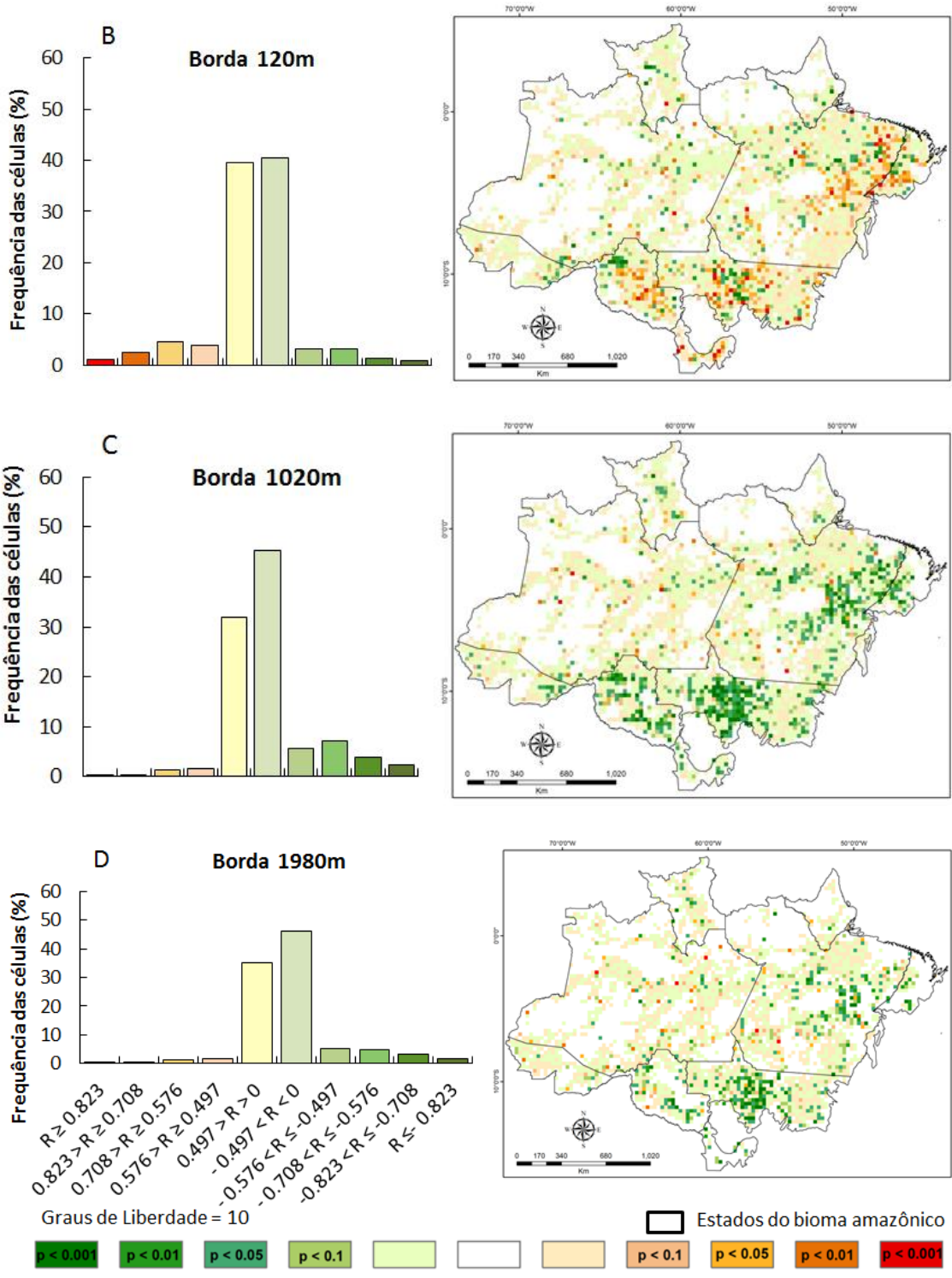




A classe de fragmentação Borda (Figuras 5.9 - A, B, C e D) possui poucas células significativas positivas em todos os parâmetros analisados, sendo que estas se concentram mais na região nordeste do estado do Pará e somente nos parâmetros de 60m e 120m, correspondendo a 11,5% (380 células) e 11,7% (374 células) respectivamente, com significância de  $p < 0,1$ . Os parâmetros de 1020m e 1980m apresentaram a maioria das células com tendências significativas negativas, correspondendo a 19,5% (597 células) e 15% (411 células), respectivamente, com significância  $p < 0,1$ . Sendo destas, 2,45% (75 células) e 1,65% (45 células) respectivamente, com significância  $p < 0,001$ , sendo que estas se concentram principalmente no estado do Mato Grosso.

Figura 5.9. Correlação temporal por pixel dos focos de calor com os diferentes parâmetros para classe de fragmentação Borda. Em A, parâmetro de 60m; em B, 120m; em C, 1020m e em D, 1980m.

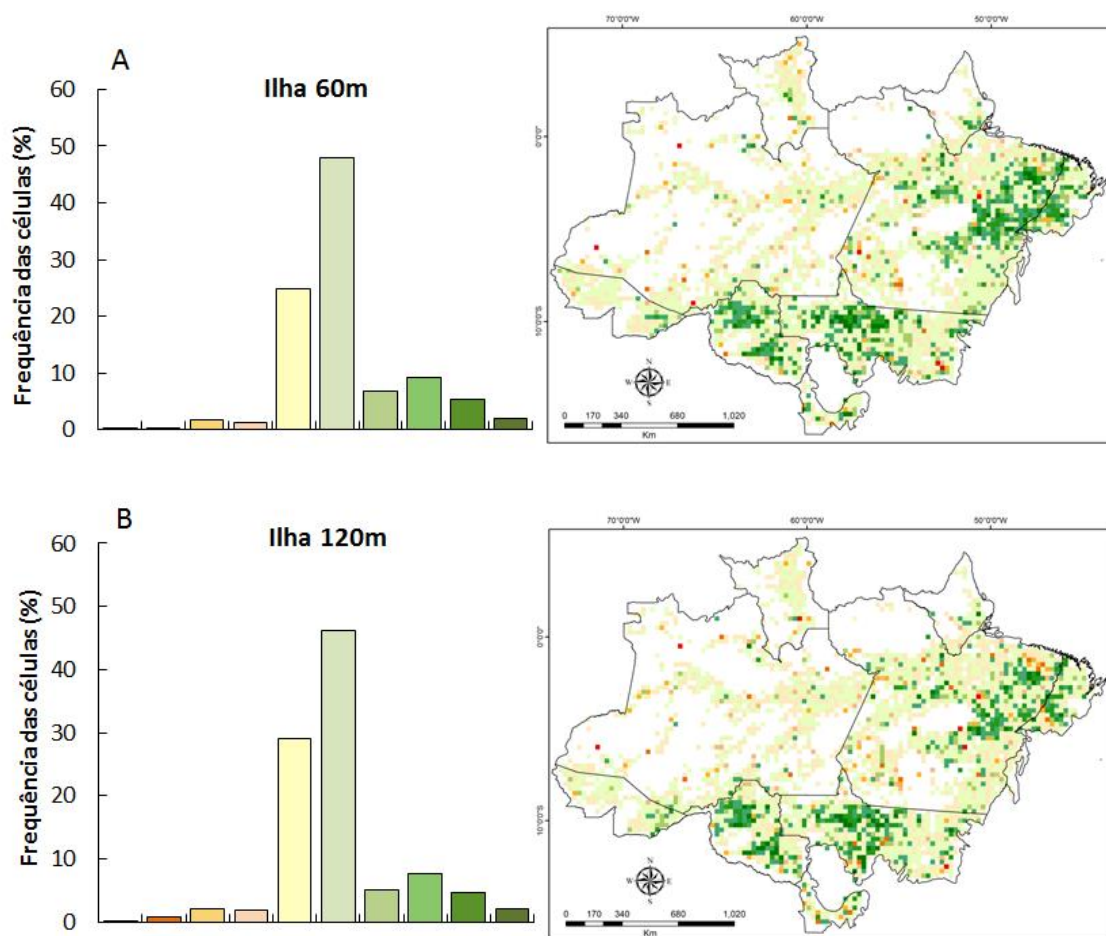




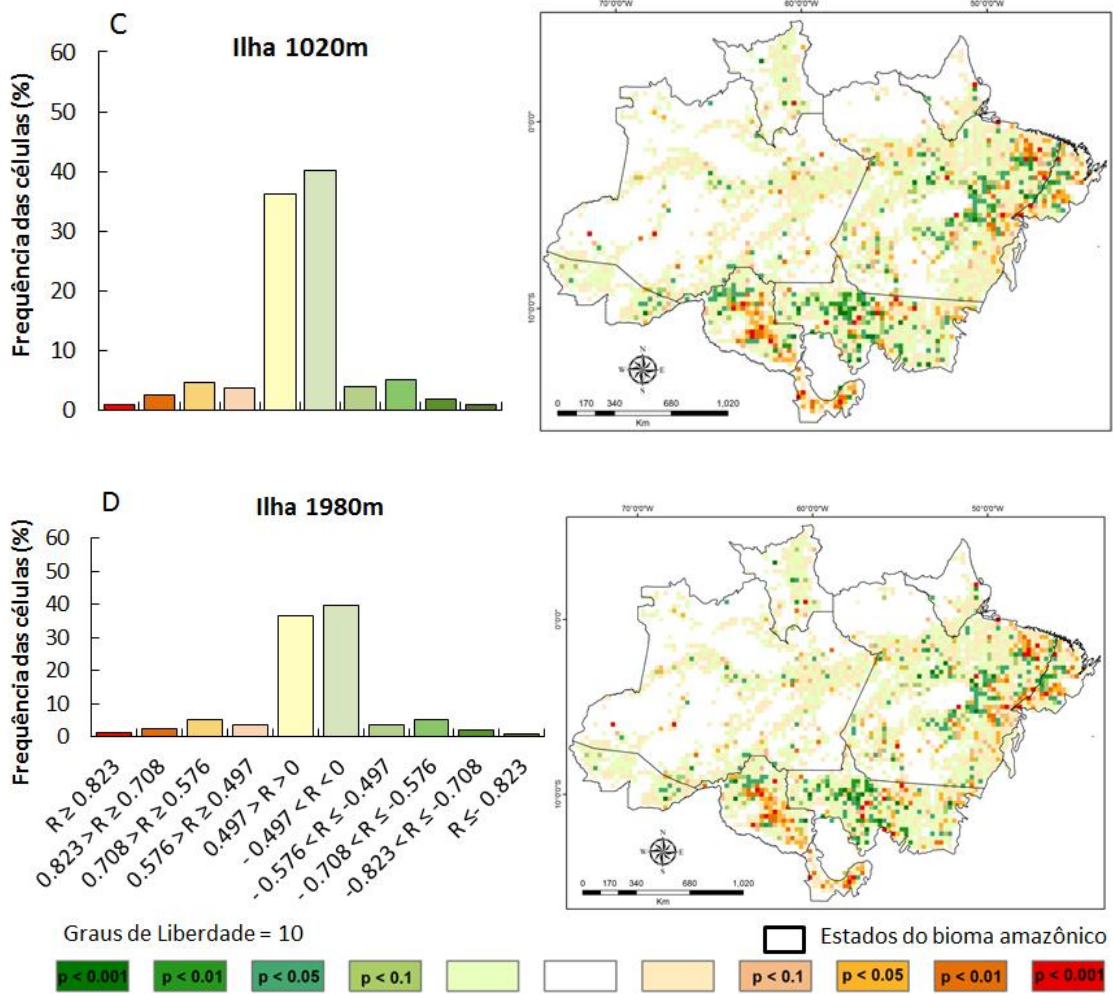
A correlação dos focos de calor com classe de fragmentação Ilhas mapeados a partir de diferentes parâmetros de distância (Figura 5.10 – A, B, C e D) apresentou um padrão distinto das demais variáveis. Essa classe apresentou a maioria das células significativas ( $p < 0,1$ ) nos parâmetros de 60m e 120m negativas, correspondendo a 23,4% (671 células) e 19,5% (547 células) respectivamente, se

concentrando nos estados de Rondônia, Mato Grosso e nordeste do Pará. Os parâmetros de 1020m e 1980m apresentaram um equilíbrio entre as células significativas positivas e negativas, sendo 11,8% (342 células) e 12,4% (359 células) positivas e 11,7% (339 células) e 11,4% (330 células) negativas com significância  $p < 0,1$ , respectivamente.

Figura 5.10. Correlação temporal por pixel dos focos de calor com os diferentes parâmetros para classe de fragmentação Ilha. Em A, parâmetro de 60m; em B, 120m; em C, 1020m e em D, 1980m.

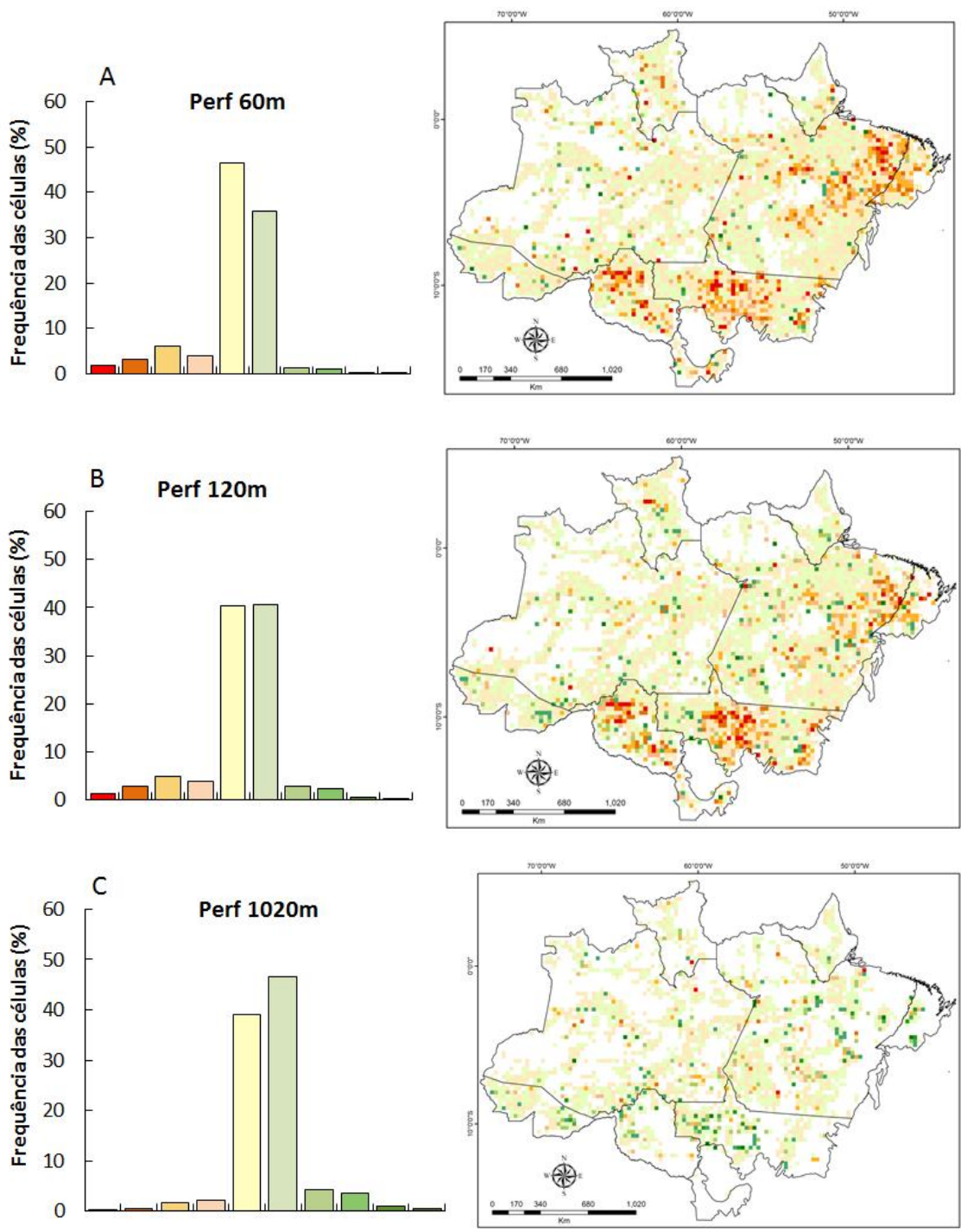


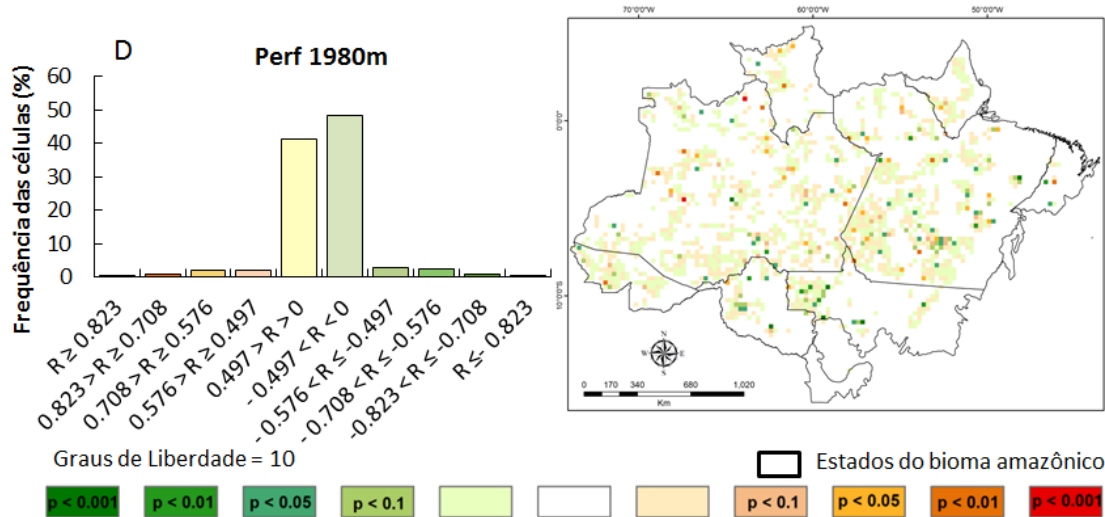




A classe de fragmentação Perfuração (Figura 5.11 – A, B, C e D) apresentou a maior parte de suas células significativas positivas nos parâmetros de 60m e 120m, correspondendo a 14,9% (525 células) e 13% (432 células) com significância de  $p < 0,1$ , respectivamente. Já os parâmetros de 1020m e 1980m tiveram a maior parte de suas células significativas negativas, correspondendo a 9,3% (199 células) e 6,23% (94 células), respectivamente.

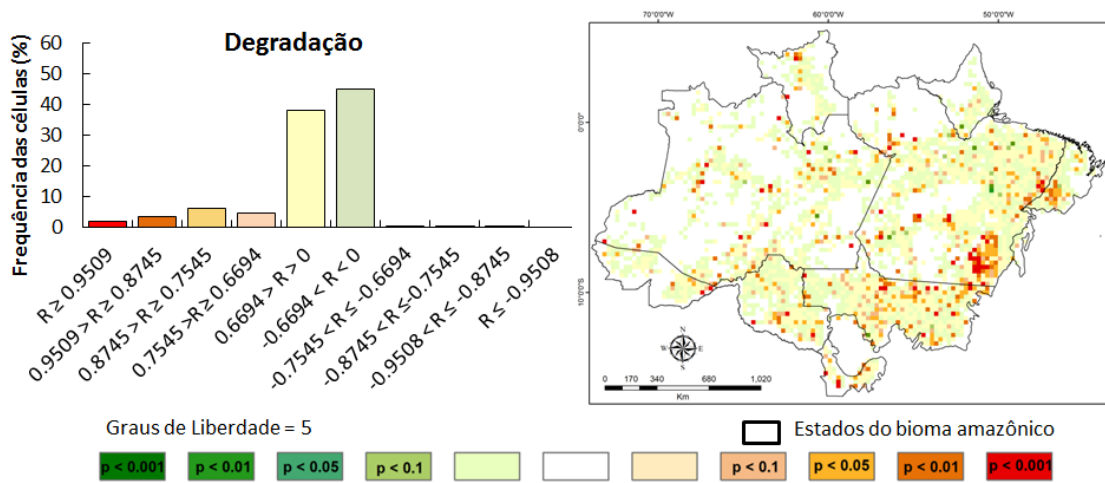
Figura 5.11. Correlação temporal por pixel dos focos de calor com os diferentes parâmetros para classe de fragmentação Perfuração. Em A, parâmetro de 60m; em B, 120m; em C, 1020m e em D, 1980m.





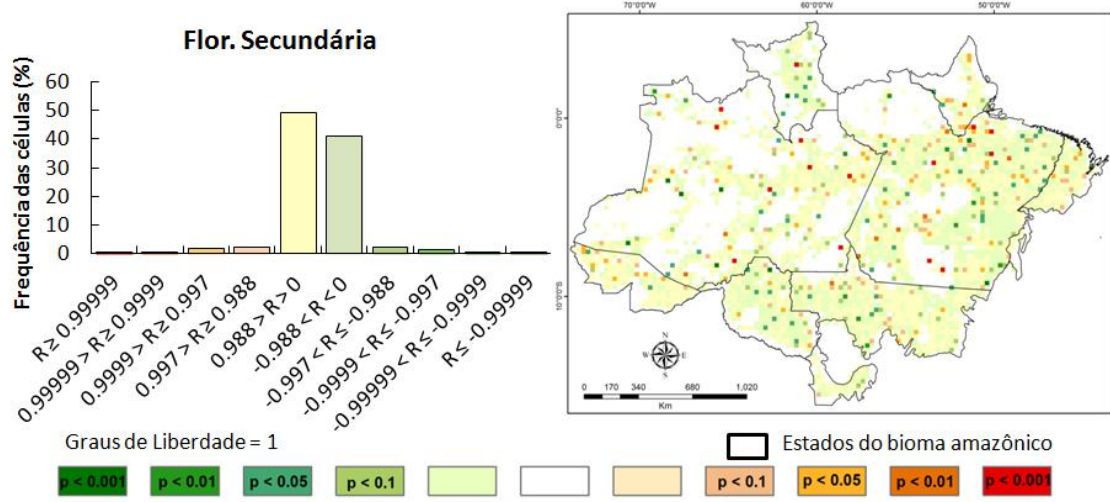
A correlação dos focos de calor com a variável degradação está representada na Figura 5.12. A maior parte das células significativas são positivas ( $p < 0,1$ ), correspondendo a 16,4% (467 células) de todas as células analisadas, sendo que destas 2,1% (60 células) correspondem a significância positiva com  $p < 0,001$ . Elas se concentram principalmente na região sudeste do Pará.

Figura 5.12. Correlação temporal por pixel dos focos de calor com degradação.



A Figura 5.13 corresponde à correlação dos focos de calor com a variável floresta secundária. Essa variável possui uma série temporal menor (2008, 2010 e 2012), tornando difícil a observação da correlação das variáveis analisadas. A quantidade de células significativas positivas (5% - 154 células) e negativas (4,5% - 138 células) não diferiu.

Figura 5.13. Correlação temporal por pixel dos focos de calor com floresta secundária.



## 6 DISCUSSÃO

### 6.1. Tendências Temporais das Variáveis Explicativas

Desde a instauração do programa PPCDAm em 2004, houve uma queda significativa nas taxas de desmatamento chegando a ser reduzida em até 79% entre 2004 e 2013 (MMA, 2016b). É comum associar a presença de queimadas com a presença de desmatamento, visto que é rotineira a prática de utilizar o fogo durante e após o desmatamento para limpeza da área (NEPSTAD et al., 1999b; SOARES-FILHO et al., 2006). Porém, os focos de calor apesar de apresentarem um decaimento em suas taxas ao longo da série temporal, não acompanharam as taxas de desmatamento, apresentando picos alarmantes em anos específicos como 2004, 2005, 2007 e 2010, permitindo a conclusão que atualmente, o desmatamento vem compartilhando sua importância em explicar as queimadas amazônicas com outras variáveis relacionadas ao clima e da fragmentação da paisagem na Amazônia brasileira (ARAGÃO e SHIMABUKURO, 2010). As taxas de degradação apresentaram seu ápice nos anos de 2007 e 2010, anos nos quais também houve picos de focos de calor e secas extremas (LEWIS et al., 2011), aumentando a susceptibilidade da floresta ao fogo. A área de florestas secundárias também vem aumentando, passando de aproximadamente 150.815 km<sup>2</sup> em 2008 para 165.229 km<sup>2</sup> em 2010, e 172.189 km<sup>2</sup> em 2012. Esse aumento de mais de 20.000 km<sup>2</sup> entre estes anos, pode ser justificado pelo controle de áreas ilegais que já foram desmatadas. Sem interferências antrópicas, as áreas degradadas começam a se regenerar lentamente chegando ao estágio de floresta secundária (MORAN, et a., 1996).

Em relação à tendência temporal das classes de fragmentação geradas, considerando o parâmetro analisado de 120m, foi possível observar um contínuo decaimento da área Core que passou de 3.020.475 km<sup>2</sup> em 2003 para 2.956.746 km<sup>2</sup> em 2014. Apesar da redução da taxa de desmatamento, essa ainda não foi totalmente extinta, acelerando os processos de degradação e fragmentação florestal que tornam a floresta mais susceptível a eventos de fogo (COCHRANE; LAURANCE, 2002; HARPER et al., 2005; BROADBENT et al., 2008; LAURANCE et al., 2011). A classe Corredor apresentou o mesmo padrão da área Core,

evidenciando a retirada de florestas não contínuas. Como esperado, a tendência das áreas de Borda foi de crescimento, passando de 117.449 km<sup>2</sup> em 2003 para 119.056 km<sup>2</sup> em 2014. Entre os anos de 2005 a 2008 houve um declínio no aumento dessas taxas, acompanhando a redução do desmatamento por meio da política do PPCDAm, acordos como a Moratória da Soja em que as principais representantes da produção de soja no Brasil se comprometeram a não comercializar nenhuma soja originária de áreas desmatadas e o outras políticas. O aumento ocorrido nas áreas de borda após 2008 pode ser explicado pelos padrões de desmatamento, que provavelmente deixaram de gerar extensas áreas contínuas, e gerando menor área de borda, passando para padrões como "espinha de peixe", radial, dendrítico (ARIMA et al., 2015) que geram mais superfícies de borda. A classe de Ilha mostrou um crescimento durante a série temporal, passando de 6.663 km<sup>2</sup> em 2003 para 10.227 km<sup>2</sup> em 2014. Este resultado indica que mais fragmentos isolados estão se formando com o atual padrão de desmatamento. A classe de Perfuração, que é relacionada a eventos de clareiras na floresta, teve uma pequena queda durante a série temporal, passando de 46.587 km<sup>2</sup> em 2003 para 42.169 km<sup>2</sup> em 2014. Pode-se justificar esse decaimento pelo avanço do desmatamento até essas áreas de perfuração, transformando-as em áreas de borda, ou a transformação destas perfurações em uma nova vegetação, se enquadrando na classe de floresta secundária.

## **6.2. Dependência Espacial do Fogo em relação ao Desmatamento, Fragmentação Florestal, Eventos de Seca e Degradação**

Os resultados apresentados no item 5.4 mostraram que a variável que apresentou mais células significativas positivas na correlação com os focos de calor foi a classe de fragmentação de Corredor com parâmetro de distância de 120m. De todas as células analisadas, esta classe apresentou 23,8% com significância positiva. A segunda variável que apresentou a maior quantidade de células significativas foi MCWD, com 22,04% de todas as células. O desmatamento foi a terceira variável a possuir maior quantidade de células significativas positivas, com 21,7% de todas as suas células analisadas. As significâncias descritas neste item estão considerando  $p < 0,1$ .

As células significativas positivas da classe Corredor de 120m estão localizadas principalmente no estado do Mato Grosso, Rondônia e nordeste do Pará, coincidindo em grande parte com as células significativas da variável desmatamento. O desmatamento em sua grande parte, não é realizado de forma contínua, deixando a paisagem com os chamados corredores florestais. Os corredores conectam duas superfícies contínuas florestais, porém ficam completamente expostos no seu entorno a influências antrópicas, ocasionando maior susceptibilidade a ocorrências de queimadas (LAURANCE e WILLIAMSON, 2001). A classe de Corredor de 1020m foi a quarta classe a apresentar a maior quantidade de células significativas positivas. As classes de corredores de todos os parâmetros de distância corroboram com os valores de áreas de borda mais susceptíveis encontradas na revisão de literatura sobre fragmentação florestal e efeitos de borda realizada por Broadbent e colaboradores (2008). Em 99% dos trabalhos analisados por eles foram documentados impactos relacionados à estrutura florestal, mortalidade de árvores, microclima florestal e na biodiversidade nos primeiros 2 km de borda florestal, sendo que destes 99%, 45% ocorreram nos primeiros 100m de borda florestal. Outros estudos, como de Armenteras et al. (2013) também consideraram a distância de 2 km de borda para o interior como áreas susceptíveis da floresta. Tomando esse referencial é possível prever que os corredores que possuem dimensões aproximadas a estes valores ampliam ainda mais a susceptibilidade às queimadas por possuírem contato com matrizes antrópicas por quase toda sua extensão.

Em relação às correlações dos focos de calor com as demais classes de fragmentação, observou-se que a classe de área Core de 60m e 120m apresentou 17,8% e 16,7% de células significativas positivas em relação ao total de suas células. Estas se concentraram também nas mesmas regiões da classe de Corredor, indicando que estes locais estão em contínuo processo de fragmentação. As áreas Cores associadas aos menores parâmetros de distância, indicaram que fragmentos de floresta de menores proporções possuem susceptibilidade a queimadas semelhante a áreas de Corredores. A classe de fragmentação de Perfuração, nos parâmetros de 60m e 120m, apresentou considerável quantidade de células significativas positivas, sendo de 14,9% e

13%, respectivamente. Essas áreas podem referir-se a clareiras abertas para extração seletiva de madeiras, início de abertura de áreas para plantio, que por sua vez utilizam o fogo para manejo, explicando a correlação positivas entre o fogo e esta classe. Os parâmetros de 1020m e 1980m referem-se provavelmente a áreas consolidadas de agricultura, que em sua maioria trocaram o manejo com fogo por maquinários agrícolas (ARAGÃO e SHIMABUKURO, 2010). A classe de fragmentação de Ilhas mostrou um comportamento diferente das demais classes de fragmentação. Nos parâmetros de 60m e 120m a maioria de suas células significativas apresentaram valores negativos, correspondendo a 23,4% e 19,5%, respectivamente. Essa tendência ocorreu nos mesmos locais de alta incidência de fragmentação que já foram citados, como o Mato Grosso, Rondônia, e nordeste do Pará. Pode-se inferir que estas correlações significativas negativas estão ocorrendo, devido à maior susceptibilidade desta classe ao desmatamento ao longo do tempo, desaparecendo durante a série temporal e não permitindo correlações significativas positivas com os focos de calor, e consequentemente apresentando células significativas negativas. As Ilhas maiores de 1020m e 1980 metros possuem menos propensão de desaparecer durante a série temporal permitindo o resultado de mais células com significância positivas em algumas regiões de Rondônia e nordeste do Pará.

A variável de MCWD apresentou ao longo da série temporal a segunda maior quantidade de células significativas positivas dentre todas as variáveis. Durante a série temporal analisada, ocorreram três grandes eventos de seca, no ano de 2005 (MARENGO et al., 2008), 2007 (BRANDO et al., 2014) e 2010 (LEWIS et al., 2011). Durante esses anos, ocorreram também picos de focos de calor na Amazônia o que permitiu a associação destes eventos (ARAGÃO et al., 2007; ZENG, et al., 2008; CHEN et al., 2011). As células significativas concentraram-se na região do Acre e leste da Amazônia. Esse padrão mostra uma maior susceptibilidade dessas áreas a eventos climáticos, tornando a floresta mais susceptível nessa região à mortalidade de árvores e degradação (CHEN et al., 2011; LEWIS et al., 2011).



Ao comparar os mapas de correlação dos focos de calor com desmatamento ou Corredor, com o mapa de correlação dos focos de calor com MCWD observa-se que estes se complementam espacialmente, isto sugere que as variáveis explicativas ao longo da Amazônia se alteram espacialmente.

A degradação florestal apresentou 16% de células significativas positivas com correlação com os focos de calor. Essas células estão concentradas no leste da Amazônia, onde também se encontram células significativas positivas de MCWD. Esta é uma área da Amazônia que já sofreu em sua maior parte conversão de floresta para uso da terra, possuindo vários remanescentes florestais. A susceptibilidade da região a secas aumenta a propensão de queimadas, aumentando a probabilidade de degradação dos remanescentes florestais da região ao longo do tempo.

### **6.3. Quais as Principais Forçantes que Promovem o Atual Desacoplamento observado entre Queimadas e Desmatamento na Amazônia?**

Com o resultado das classes de fragmentação, foi possível analisar que as classes referentes aos Corredores de 60m e 120m e áreas Cores com esses mesmos parâmetros estão relacionadas com a ocorrência dos focos de calor nas regiões do Mato Grosso, Rondônia e nordeste do Pará. Essas regiões vêm sendo desmatadas ao longo do tempo, aumentando o número de pequenos fragmentos florestais nestas regiões. O resultado obtido mostrou que os pequenos fragmentos são mais susceptíveis a queimadas do que fragmentos maiores. Isso pode ser confirmado com a correlação significativa negativa apresentada pela classe de fragmentação das Ilhas nos parâmetros de 60m e 120m. Essas áreas são mais susceptíveis ao desmatamento, fogo, degradação e acabam sendo extintas ao longo da série resultando em correlações negativas.

As florestas degradadas apresentaram correlação significativa com eventos de queimadas na região sudeste do Pará. Essa é uma região que também possui um forte histórico de desmatamento. É possível analisar por imagens de satélite de longa data, que essa região vem sofrendo mudanças no uso do solo antes de 2003, que é o início da série temporal em estudo. Apesar do intenso

desmatamento na região, a área ainda apresenta fragmentos florestais, que acabaram se tornando florestas degradadas com o histórico local e susceptíveis a ocorrência de queimadas. Neste local, os focos de calor também são explicados pelos eventos de secas extremas. O MCWD foi a segunda variável que mais apresentou células significativas positivas e espacialmente localizadas em regiões diferentes das demais variáveis, explicando a ocorrência das queimadas no estado do Acre, na região próxima a Manaus e na região centro-sul do Pará.

Não é possível afirmar que somente uma das variáveis analisadas responde à ocorrência dos focos de calor na Amazônia. Devido a sua vasta extensão, suas diferentes fitofisionomias e diferentes usos da terra, o padrão dos focos de calor apresenta diferentes e combinadas variáveis explanatórias. De forma geral, os resultados permitem associar as queimadas com pequenos fragmentos florestais e com os eventos de secas extremas.

## 7 CONCLUSÕES

As taxas de desmatamento na Amazônia Legal têm apresentado significativa redução desde a implementação do PPCDAm. Entretanto, a ocorrência de focos de calor na Amazônia não segue o mesmo padrão das taxas de desmatamento (ARAGÃO; SHIMABUKURO, 2010), evidenciando um desacoplamento entre essas variáveis.

Como proposto pelas hipóteses não exclusivas, tanto a fragmentação (H1), a secas na região (H2) e as florestas degradadas (H3) são importantes forçantes no desacoplamento dos eventos de focos de calor e desmatamento. Conclui-se que todas as classes de fragmentos florestais com parâmetros de 60m e 120m são mais susceptíveis às queimadas. Constatou-se que a classe de fragmentação de Corredor de 120m foi a variável que apresentou a maior quantidade de células significativas positivas na correlação com os focos de calor na série temporal analisada. Apesar de esta classe apresentar a maior quantidade de células significativas positivas na correlação com os focos de calor, não se pode afirmar que esta é única variável explicativa para a ocorrência das queimadas. Devido à grande extensão espacial da Amazônia brasileira, as variáveis explanatórias diferem-se espacialmente, podendo inclusive apresentar mais de uma variável explanatória para uma determinada região. Além dos pequenos fragmentos florestais, que são formados pelo processo de desmatamento, as variáveis de MCWD e florestas degradadas apresentaram fortes correlações com os eventos de queimadas na Amazônia brasileira. Pode-se também pressupor que há uma correlação entre as queimadas e desmatamentos que ocorrem abaixo da resolução de detecção do PRODES, explicando o porquê de o desmatamento não ser a principal variável explicativa da ocorrência das queimadas.

É imprescindível o entendimento das causas do aumento da ocorrência de queimadas na Amazônia brasileira, para tomadas de decisões de mitigação dos impactos ocasionados pelo fogo e conservação do ecossistema amazônico.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, A., NEPSTAD, D. C. & VERA DIAZ, M. C. Forest understory fire in the Brazilian Amazon in ENSO & non-ENSO Years: area burned and committed carbon emissions. **Earth Interactions**, v.10, p.1–17, 2006.

ALENCAR, A. A.; BRANDO, P. M.; ASNER, G. P.; PUTZ, F. E. Landscape fragmentation, severe drought, and the new Amazon forest fire regime. **Ecological Applications**, v. 25, n. 6, p. 1493-1505. 2015.

ALVES, D. S.; MORTON, D. C.; BATISTELLA, M.; ROBERTS, D. A; JR, S. Taxas de Mudança e Padrões de Desmatamento e Uso da Terra na Amazônia Brasileira. **Geophysical Monograph Series**, v. 186, p. 11-23, 2007.

ANDERSON, L. O.; SHIMABUKURO, Y. E.; DEFRIES, R. S.; MORTON, D. Assessment of deforestation in near real time over the Brazilian amazon using multitemporal fraction images derived from terra MODIS. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v. 2, n. 3, p. 315–318, 2005.

ANDERSON, L.; ARAGÃO, L. E. O. E. C.; ARAI, E. Avaliação dos dados de chuva mensal para a região Amazônica oriundos do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) produto 3b43 versões 6 e 7 para o período de 1998 a 2010. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16. (SBSR)., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013. p. 6743-6750. DVD, Internet. ISBN 978-85-17-00066-9 (Internet), 978-85-17-00065-2 (DVD). Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW34M/3E7GL8M>>. Acesso em: 01 abr. 2016.

ANDREAE, M. O.; ROSENFELD, D.; ARTAXO, P.; COSTA, A. A.; FRANK, G. P.; LONGO, K. M.; SILVA-DIAS, M. A. F. Smoking rain clouds over the Amazon. **Science**, v. 303, p.1337–1342, 2004.

ARAGÃO, L. E. O. C.; MALHI, Y.; ROMAN-CUESTA, R. M.; et al. Spatial patterns and fire response of recent Amazonian droughts. **Geophysical Research Letters**, v. 34, n. 7. 2007. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1029/2006GL028946>>. Acesso em: 18 de ago. 2014.

ARAGÃO, L. E. O. C.; MALHI, Y.; BARBIER, N.; LIMA, A.; SHIMABUKURO, Y.; ANDERSON, L.; SAATCHI, S. Interactions between rainfall, deforestation and fires during recente years in the Brazilian Amazonia. **Philosophical transactions of the Royal Society**. v. 363, p. 1779 – 1785. 2008

ARAGÃO, L. E. O. C.; SHIMABUKURO, Y. E. The incidence of fire in Amazonian forests with implications for REDD. **Science**, v. 328, p. 1275–1278, 2010.

ARAGÃO, L. E. O. C.; POULTER, B.; BARLOW, J. B.; et al. Environmental change and the carbon balance of Amazonian forests. **Biological Reviews**, v. 2,

p. 913-931, 2014. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/brv.12088>>. Acesso em: 5 de out. 2014.

ARIMA, E. Y.; WALKER, R. T.; PERZ, S.; SOUZA, C. Explaining the fragmentation in the Brazilian Amazonian forest. **Jornal of Land Use Science**. 2015.

ARMENTERAS, D.; GONZÁLEZ, T. M.; RETANA, J. Forest fragmentation and edge influence on fire occurrence and intensity under different management types in Amazon forests. **Biological Conservation**, v. 159, p. 73–79, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2012.10.026>>.

ARTAXO, P. MARTINS, J. V.; YAMASOE, M. A.; PROCOPIO, A. S.; PAULIQUEVIS, T. M.; ANDREAE, M. O.; GUYON, P.; GATTI, L. V.; LEAL, A. M. C. Physical and chemical properties of aerosols in the wet and dry season in Rondônia, Amazonia. **Journal of Geophysical Research**, v.107, p. 8081–8095, 2002.

BALCH, J. R. K.; NEPSTAD, D. C.; BRANDO, P. M.; ALENCAR, A. 2010. Comment on “The Incidence of Amazon Fire with Implications for REDD”. **Science**, v. 330, 1627.

BARLOW, J.; PERES, C. A. Fire-mediated dieback and compositional cascade in an Amazonian forest. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 363, p. 1787–1794, 2008.

BECKER, B. K. Geopolítica da Amazônia. **Estudos Avançados**. v.19, n. 53. 2005.

BOSERUP, E. **The conditions of agricultural growth: the economics of agrarian change under population pressure**. Chicago: Aldine Publishing Company, v. 1p. 124. 1965.

BOWMAN, D. M. J. S., et al., Fire in the Earth system, **Science**, vol. 324, pp. 481-484, 2009. Disponível em: <http://www.sciencemag.org.ezproxy.utas.edu.au/cgi/reprint/324/5926/481.pdf>

BRANDO, P. M.; BALCH, J. K.; NEPSTAD, D. C.; MORTON, D. C.; PUTZ, F. E.; COE, M. T. et al. Abrupt increases in Amazonian tree mortality due to drought-fire interactions. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 17, p. 6347-6352, 2014.

BRASIL. Avaliação do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal. **PPCDAm 2007 – 2010**. Dez. 2011. Disponível em <[http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3046/S33375A9452011\\_pt.pdf;jsessionid=18505DE82AE8F9C6B0CB3D8F94EA4E87?sequence=1](http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3046/S33375A9452011_pt.pdf;jsessionid=18505DE82AE8F9C6B0CB3D8F94EA4E87?sequence=1)> . Acesso em: 1 de fev. 2016.

BRASIL. Decreto nº 7.390 de 9 de dezembro de 2010. Regulamenta os arts. 6º, 11 e 12 da Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - **PNMC**, e dá outras providências. Dez. 2010.

BRASIL.Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. **Projeto RADAMBRASIL**. Levantamento de Recursos Naturais, Vols. 1-23. Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 1973-1985.

BRIANT, G.; GOND, V.; LAURANCE, S. G. W. Habitat fragmentation and the desiccation of forest canopies: A case study from eastern Amazonia. **Biological Conservation**, v. 143, p. 2763–2769, 2010.

BROADBENT, E.; ASNER, G.; KELLER, M.; et al. Forest fragmentation and edge effects from deforestation and selective logging in the Brazilian Amazon. **Biological Conservation**, v. 141, n. 7, p. 1745–1757, 2008. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0006320708001377>>. Acesso em: 3 de jan. 2015.

BUSH, M. B.; SILMAN, M. R.; TOLEDO, M. B.; LISTOPAD, C. et al. Holocene fire and occupation in Amazonia: records from two lake districts. **Phil. Trans. R. Soc. B**. v. 362, p. 209-218. 2007.

CHEN, Y.; RANDERSON, J. T.; MORTON, D. C.; DEFRIES, R. S.; et al. Forecasting Fire Season Severity in South America Using Sea Surface Temperature Anomalies. **Science**. v. 334, p. 787-791. 2011.

CHRISTENSEN, J. H., HEWITSON, B. Regional climate projections. In: Solomon, S. et al. (eds.). **Climate change 2007: the physical science basis**, Cambridge, New York: Cambridge University Press, 2007. Chapter 11.

CLEMENT, C. et al. Diversidade vegetal em solos antrópicos da Amazônia. In: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C., MADARI, B. E.; et al. (eds.). **As terras pretas de Índio da Amazônia: sua caracterização e uso desde conhecimento na criação de novas áreas**. Brasília: Embrapa. 2009. Cap. 11, p. 146-161.

COCHRANE, T. T.; SCHULZE, M. D. Fire as a recurrent event in tropical forests of the eastern Amazon: effects on forest structure, biomass, and species composition. **Biotropica**, v. 31, p. 2-16. 1999.

COCHRANE, M. A.; LAURANCE, W. F. Fire as a large-scale edge effect in Amazonian forests. **Journal of Tropical Ecology**, v. 18, p. 311–325, 2002.

COCHRANE, M. A. Fire science for rainforests. **Nature**. v. 421, p. 913-919, 27 Feb. 2003. doi:10.1038/nature01437.

COSTA, M. H.; FOLEY, J. A. Combined effects of deforestation and doubled atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations on the climate of Amazonia. **Journal of Climate**. v.13, p. 18-34. 2000.

COUTINHO, A. C.; ALMEIDA, C.; VENTURIERI, A.; ESQUERDO, JÚLIO CÉSAR DALLA MORA SILVA, M. **Uso e cobertura da terra nas áreas desflorestadas da Amazônia Legal**: TerraClass. 1. ed. Brasília, Embrapa Amazonia Oriental, 2013.

DA COSTA, A. C. L., GALBRAITH, D., ALMEIDA, S., PORTELA, B. T. T., DA COSTA, M., SILVA JUNIOR, J. A., BRAGA, A., GONÇALVES, P. H. L., OLIVEIRA, A. A. R., FISHER, R., PHILLIPS, O., METCALFE, D. B., LEVY, P. & MEIR, P. Effect of 7 yr of experimental drought on vegetation dynamics and biomass storage of an eastern Amazonian rainforest. **New Phytologist**. v. 187, n.3, p.79–591, 2010.

DA ROCHA, H. R.; GOULDEN, M. L.; MILLER, S. D.; MENTON, M. C.; PINTO, L. D. V. O.; FREITAS, H. C.; FIGUEIRA, A. M. S. Seasonality of water and heat fluxes over a tropical forest in eastern Amazonia, **Ecological Applications**, v. 14, n. 4, p S22-S32, 2004.

DOUGHTY, C. E.; METCALFE, D. B.; GIRARDIN, C.A. J.; AMEZQUITA, F. F. et al. Drought impact on forest carbon dynamics and fluxes in Amazonia. **Nature**. v. 519, p. 78 -84, 2015.

ESPIRITO-SANTO, F. D. B. et al. Size and frequency of natural forest disturbances and the Amazon forest carbon balance. **Nature Communication**. v. 5, n. 3434, 2014. doi:10.1038/ncomms4434.

FEARNSIDE, P. M. Serviços ambientais da floresta amazônica como estratégia para a sustentação da população rural na região. p.57-98. In SIMPÓSIO DE ECOSSISTEMAS BRASILEIROS, 4., 1998, Águas de Lindóia- SP, Brasil. **Anais...** 1998. São José dos Campos: Academia de Ciências do Estado de São Paulo, 1998. Editado por Watanabe, S.

FEARNSIDE, P. M. Desenvolvimento sustentável e serviços ambientais na Amazônia. In: ENCONTRO ANUAL DA ANPOCS, 27., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ciências Sociais (ANPOCS), 2003.

FEARNSIDE, P. M.; LAURANCE, W. F. Tropical deforestation and greenhouse gas emissions. **Ecological Applications**. v. 14, p. 982-986. 2004.

FEARNSIDE, P. M. Deforestation in Brazilian Amazonia: history, rates, and consequences. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 680–688, 2005. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/j.1523-1739.2005.00697.x>>.



FEARNSIDE, P. M. Política de conservação na Amazônia: Parte 3: Programas de Conservação. **O Liberal & Vale**. 2011.

GODAR, J.; GARDNER, T. A; TIZADO, E. J.; PACHECO, P. Actor-specific contributions to the deforestation slowdown in the Brazilian Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 111, n. 43, 2014.

GOLDAMMER, J. G. **Fire in tropical biota: ecosystem processes and global challenges**. Berlin-Heidelberg-New York: Springer-Verlag, 1990. 497 p.

GOUDSBLOM, J. **Fire and civilization**. New York: The Penguin Press, 1992. 256p.

HADDAD, N. M. et al. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. **Applied Ecology**, v. 1, n. 2, 2015. DOI: 10.1126/sciadv.1500052.

HARPER, K. A.; MACDONALD, S. E.; BURTON, P. J.; et al. Edge influence on forest structure and composition in fragmented landscapes. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 768–782, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS (IBGE). **Mapa de Biomas do Brasil**. 2004, Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>>

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). O que é? Amazônia Legal. **Desafios do Desenvolvimento**, Ano 5. ed. 44. 08 de jun. de 2008.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Projeto PRODES** - monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite. São José dos Campos, 2016a. Disponível em <<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php>>.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Mapeamento da Degradação Florestal na Amazônia brasileira – DEGRAD**. São José dos Campos, 2016b. Disponível em <<http://www.obt.inpe.br/degrad/>>.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Projeto TerraClass**. São José dos Campos, 2016c. Disponível em <[http://www.inpe.br/cra/projetos\\_pesquisas/terraclass2012.php](http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/terraclass2012.php)>.

IRIARTE, J.; et al. Fire-free land use in pre-1492 Amazonian savannas. **PNAS**. v. 109, n. 17, p. 6473–6478, 2012. doi: 10.1073/pnas.1201461109.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução José Carlos Epiphanyo (Coord.) [et al.]. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009. 598 p.

- LAURANCE, W. F.; LAURANCE, S.G.; DELAMONICA, P. Tropical forest fragmentation and greenhouse gas emissions. **Forest Ecology and Management**. v. 110, p. 173-180. 1998.
- LAURANCE, W. F.; COCHRANE, M. A.; BERGEN, S.; FEARNSIDE, P. M. et al. The future of the Brazilian Amazon. **Science**. v. 291, p. 438-439. 2001.
- LAURANCE, W. F.; WILLIAMSON, G. B. Positive feedbacks among forest fragmentation, drought, and climate change in the Amazon. **Conservation Biology**, v. 15, n. 6, p. 1529–1535, 2001. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1046/j.1523-1739.2001.01093.x>>.
- LAURANCE, W. F.; ALBERNAZ, A. K. M. O desmatamento está se acelerando na Amazônia brasileira? **Biota Neotropica**. v.2, n.1. 2002.
- LAURANCE, W.; MESQUITA, R.; LUIZÃO, R.; PINTO, F. The Biological dynamics of forest fragments project: 25 years of research in the Brazilian Amazon. Supplement to **Biotropica**, v. 15, n. 2, 2004.
- LAURANCE, W. F. et al. The fate of Amazonian forest fragments: A 32-year investigation. **Biological Conservation**, v. 144, n. 1, p. 56–67, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2010.09.021>>.
- LAURANCE, W. F.; ANDRADE, A. S.; MAGRACH, A.; CAMARGO, J. L. C.; CAMPBELL, M.; FEARNSIDE, P. M.; EDWARDS, W.; VALSKO, J. J.; LOVEJOY, T. E.; LAURANCE, S. G. Apparent environmental synergism drives the dynamics of Amazonian forest fragments. **Ecology**, v. 95, n. 11, p. 3018 - 3026. 2014.
- LEWIS, S. L.; BRANDO, P. M.; PHILLIPS, O. L.; HEIJDEN, G. M. F. VAN DER; NEPSTAD, D. The 2010 Amazon Drought. **Science**, v. 331, p. 554, 2011.
- LIMA, A.; SILVA, T. S. F.; ARAGAO, L. E. O. C.; FREITAS, R. M.; ADAMI, M.; FORMAGGIO, A. R.; SHIMABUKURO, Y. E. Land use and land cover changes determine the spatial relationship between fire and deforestation in the Brazilian Amazon. **Applied Geography**, v. 34, n. 239 e 246, 2012. doi: 10.1016/j.apgeog.2011.10.013.
- LINDENMAYER, D. B.; FISCHER, J. **Habitat fragmentation and landscape change: an ecological and conservation synthesis**. Washington, DC: Island Press, 2006.
- MACEDO, M. N. et al. Decoupling of deforestation and soy production in the southern Amazon during the late 2000s. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 109, n. 4, p. 1341–1346, 2012. Disponível em: <<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3268292&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>>. Acesso em: 8 de out. 2014.

MAIA, H.; HARGRAVE, J.; GOMEZ, J. J.; ROPER, M. **Avaliação do Plano de Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal: PPCDAm: 2007-2010**. IPEA, 2011.

MALHI, Y.; PEGORARO, E.; NOBRE, A. D.; PEREIRA, M. G. P.; GRACE, J.; CULF, A. D.; CLEMENT, R. Energy and water dynamics of a central Amazonian rain forest. **Journal of Geophysical Research**. Volume 107, Issue D20 - 27 October, 2002 Pages LBA 45-1–LBA 45-17

MALHI, Y.; ROBERTS, J. T.; BETTS, R. A; et al. Climate Change, Deforestation, and the Fate of the Amazon. **Science**, January, p. 169–172, 2008.

MALHI, Y.; ARAGÃO, L. E. O. C.; GALBRAITH, D.; HUNTINGFORD, C.; FISHER, R. et al. Exploring the likelihood and mechanism of a climate-change-induced dieback of the Amazon rainforest. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. v. 106, n. 49, p. 20610 – 20615. 2009.

MARENGO, J. A. Interannual variability of surface climate in the Amazon basin. **International Journal of Climatology**, v. 12, p. 853–863, 1992.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; TOMASELLA, J.; et al. The drought of Amazonia in 2005. **Journal of Climate**, v. 21, p. 495–516, 2008.

MAY, P. H.; SOARES-FILHO, B. S.; STRAND, J. How Much Is the Amazon worth ? The state of knowledge concerning the value of preserving Amazon Rainforests. **Policy Research Working Paper**. October, 43 p. 2013. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10986/16883>>.

MEIR, P. et al. Os efeitos da seca nas florestas chuvosas Amazônicas. **Geophysical Monograph Series**, 2013. American Geophysical Union.

METCALFE, D. B.; MEIR, P.; ARAGÃO, L. E. O. C.; DA COSTA, A. C.; BRAGA, A.P.; GONÇALVES, P. H.; SILVA-JUNIOR, J. A., ALMEIDA, S. S.; DAWSON, L. A.; MALHI, Y. The effects of water availability on root growth and morphology in an Amazon rainforest. **Plant and Soil**, v. 311, p.189–199, 2008.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Amazônia**. Brasília, 2015. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/biomas/amaz%C3%B4nia>>.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Download de dados geográficos**. Brasília, 2016a. Disponível em <<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>>.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **PPCDAm – Plano de Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal**. Brasília, 2016b. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/florestas/controle-e-preven%C3%A7%C3%A3o-do->

desmatamento/plano-de-a%C3%A7%C3%A3o-para-amaz%C3%B4nia-ppcdam>.

MORAN, E. F.; PACKER, A.; BRONDIZIO, E.; TUCKER, J. Restoration of vegetation cover in the eastern Amazon. **Ecological Economics**. v. 18, p. 41-54. 1996.

MORISSETTE, J.T., GIGLIO, L.; CSISZAR, I.; SETZER, A.; SCHROEDER, W.; MORTON, D.; JUSTICE, C. Validation of MODIS active fire detection products derived from two algorithms. **Earth Interac.**, v.9, p. 1-25, 2005.

NATIONAL AERONAUTIC AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **TRMM mission overview**. 2011. Disponível em <<http://pmm.nasa.gov/node/200>>.

NEPSTAD, D. C.; MOREIRA, A.; ALENCAR, A. Flames in the rain forest: origins, impacts and alternatives to Amazonian fires. Brasília, Brasil: The Pilot Program to Conserve the Brazilian Rain Forest, 1999b. 190p.

NEPSTAD, D.; LEFEBVRE, P.; DA SILVA, U. L.; TOMASELLA, J.; SCHLESINGER, P.; SOLORZANO, L.; MOUTINHO, P.; RAY, D.; BENITO, J. G. Amazon drought and its implications for forest flammability and tree growth: a basin-wide analysis. **Global Change Biology**. v. 10, n. 5, p.704–717, 2004.

NEPSTAD, D.; MCGRATH, D.; STICKLER, C.; ALENCAR, A. AZEVEDO, A. et al. Slowing Amazon deforestation through public policy and interventions in beef and soy supply chains. **Science**. v. 344, n. 6188. 2014.

NOGUEIRA, E. M.; NELSON, B. W.; FEARNSTIDE, P. M.; FRANÇA, M. B.; ALVES DE OLIVEIRA, A. C. Wood density in forests of Brazil's 'arc of deforestation': Implications for biomass and flux of carbon from land use change in Amazonia. **Forest Ecology and Management**. v. 248, p.119-135, 2008.

NUMATA, I.; COCHRANE, M. A.; SOUZA JR, C. M.; SALES, M. H. Carbon emissions from deforestation and forest fragmentation in the Brazilian Amazon. **Environmental Research Letters**. v.6, p. 1-7. 2011.

OLIVEIRA, P. H. F. ARTAXO, P.; PIRES, C.; LUCCA, S.; PROCOPIO, A.; HOLBEN, B.; SCHAFFER, J.; CARDOSO, L.F.; WOFSY, S.C., ROCHA, H. R. The effects of biomass burning aerosols and clouds on the CO<sub>2</sub> flux in Amazonia. **Tellus**. v. 59, p. 338–349, 2007.

PEREIRA, H. M.; LEADLEY, P.W.; PROENCA, V.; ALKEMADE, R.; SCHARLEMANN, J. P. W.; FERNANDEZ-MANJARRES, J. F.; ARAUJO, M. B.; BALVANERA, P.; BIGGS, R.; CHEUNG, W.W. L.; CHINI, L.; COOPER, H. D.; GILMAN, E. L.; GUENETTE, S.; HURTT, G. C.; HUNTINGTON, H. P. ; MACE, G. M.; OBERDORFF, T.; REVENGA, C.; RODRIGUES, P.; SCHOLLES, R. J.; SUMAILA, U. R.; WALPOLE, M. Scenarios for global biodiversity in the 21st century. **Science**. v. 330, p.1496–1501, 2010.

PHILLIPS, O. L.; ARAGÃO, L. E.; LEWIS, S. L.; FISHER, J. B.; LLOYD, J.; LOPEZ-GONZALEZ, G.; MALHI, Y.; MONTEAGUDO, A.; PEACOCK, J.; QUESADA, C. A.; VAN DER HEIJDEN, G.; ALMEIDA, S.; AMARAL, I.; ARROYO, L.; AYMARD, G.; et al. Drought sensitivity of the Amazon rainforest. **Science**, v.323, p.1344–1347, 2009.

PHILLIPS, O. L.; VAN DER HEIJDEN, G.; LEWIS, S. L.; LOPEZ-GONZALEZ, G.; ARAGÃO, L. E.; LOYD, J.; MALHI, Y.; MONTEAGUDO, A.; ALMEIDA, S.; D'AVILA, E. A.; AMARAL, I.; ANDELMAN, S.; ANDRADE, A.; ARROYO, L.; AYMARD, G., et al. Drought-mortality relationships for tropical forests. **New Phytologist**, v.187, n.3, p. 631–646, 2010.

PHILLIPS, O. L.; LEWIS, S. L. Evaluating the tropical forest carbon sink. **Global Change Biology**. v. 20, p. 2039-2041. 2014.

PIROMAL, R. A. S.; RIVERA-LOMBARDI, R. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; FORMAGGIO, A. R.; KRUG, T. Utilização de dados MODIS para a detecção de queimadas na Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 1, p. 77–84, 2008.

PUTZ, S.; GROENEVELD, J.; HENLE, K.; KNOGGE, C.; MARTENSEN, A. C. et al., Long-term carbon loss in fragmented Neotropical forests. **Nature Communications**. v. 5, p. 5037. 2014.

RANDS, M. R. W.; ADAMS, W. M.; BENNUN, L.; BUTCHART, S. H. M.; CLEMENTS, A.; COOMES, D.; ENTWISTLE, A.; HODGE, I.; KAPOS, V.; SCHARLEMANN, J. P. W.; SUTHERLAND, W. J.; VIRA, B. Biodiversity conservation: Challenges beyond 2010. **Science**, v. 329, p.1298–1303, 2010.

RAY, D., NEPSTAD, D. & MOUTINHO, P. Micrometeorological and canopy controls of flammability in mature and disturbed forests in an east-central Amazon landscape. **Ecol. Appl**, v.15, p.1664–1678, 2005.

RONCHAIL, J.; COCHONNEAU, G.; MOLINIER, M.; et al. Interannual rainfall variability in the Amazon basin and sea-surface temperatures in the equatorial Pacific and the tropical Atlantic Oceans. **International Journal of Climatology**, v. 22, p. 1663–1686, 2002.

ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern oscillation. **Monthly Weather Review**, 1987.

SAATCHI, S. S.; HOUGHTON, R. A.; SANTOS ALVALÁ, R. C. DOS; SOARES, J. V.; YU, Y. Distribution of aboveground live biomass in the Amazon basin. **Global Change Biology**, v. 13, p. 816–837, 2007.

SAATCHI, S. S. et al. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**. v. 108, n. 24, p. 9899-9904. 2011.

SALOMONSON, V. V.; TOLL, D. L. Execution phase (C/D) spectral band characteristics of the EOS moderate resolution imaging spectrometer-Nadir (Modis-N) facility instrument. **Adv. Space Res**, v.11, n. 3, p. 231–236, 1991.

SCHROEDER, W.; ALENCAR, A.; ARIMA, E.; SETZER, A. A Distribuição Espacial e Variabilidade Interanual do Fogo na Amazônia. **Geophysical Monograph Series**, p. 43- 60, 2005.

SCHROEDER, W.; CSISZAR, I.; MORISETTE, J. Quantifying the impact of cloud obscuration on remote sensing of active fires in the Brazilian Amazon. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, p. 456-470, 2008.

SCHROEDER, W.; ALENCAR, A.; ARIMA, E.; SETZER, A. The spatial distribution and inter-annual variability of Fire in Amazônia. LBA Synthesis Book- Amazonia and Global Change. Ed. M. Keller, M. Bustamante, J. Gash and P.L.S. Dias. **Geophysical Monograph Series**, v. 186, 2009.

SCOTT, A. C.; GLASSPOOL, I. J. The diversification of Paleozoic fire systems and fluctuations in atmospheric oxygen concentration. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. v. 103, n.29, p.10861-10865. 2006.

SETZER, A. W.; PEREIRA, M.C. Operational detection of fires in Brazil with NOAA-AVHRR. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 24., 1991, Rio de Janeiro, BR. **Proceedings...** 1991. p. 469-482. (INPE-7553-PRE/3406).

SHIMABUKURO, Y. E.; DUARTE, V.; MELLO, E. M. K.; MOREIRA, J. C. **Apresentação da metodologia de criação do PRODES digital**. Sao Jose dos Campos: INPE, 2000. 36 p. (INPE-7520-PUD/095). Disponível em: <<http://urlib.net/6qtX3pFwXQZ3r59YD6/GPBjc>>. Acesso em: 01 abr. 2016. p. 1–36, 2003.

SHIMABUKURO, Y. E.; DUARTE, V.; ANDERSON, L. O.; et al. Near real time detection of deforestation in the Brazilian Amazon using MODIS imagery Detecção em tempo quase real de desflorestamento na Amazônia brasileira utilizando imagens MODIS. **Revista Ambi-Agua**, v. 1, n. 12, p. 37–47, 2006.

SHUTTEWORTH, W. J.; LEUNING, R.; BLACK, T. A.; GACE, J., JARVIS, P. G.; ROBERTS, J.; JONES, H. G. Micrometeorology of temperate and tropical forest. **Philosophical Transactions of The Royal Society B**, v. 324, p. 299-334, 1989.

SOARES-FILHO, B. S.; NEPSTAD, D. C.; CURRAN, L. M.; CERQUEIRA, G. C.; GARCIA, R. A. et al. Modelling conservation in the Amazon basin. **Nature**. v. 404. P. 520-523. 2006.

SOILLE, P.; VOGT, P. Morphological segmentation of binary patterns. **Pattern Recognition Letters**. v.30, p. 456-459, 2009.

SPRACKLEN, D. V.; ARNOLD, S. R.; TAYLOR, C. M. Observations of increased tropical rainfall preceded by air passage over forests. **Nature**, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/nature11390>>.

UHK, C.; KAUFFMAN, J. B. Deforestation, fire susceptibility, and potential tree responses to fire in the Eastern Amazon, **Ecology**, v.71, n.2, p. 437-449, 1990.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **Thermal anomalies & fire 5-Min L2 Swath 1km**. 2014. Disponível em: <[https://lpdaac.usgs.gov/dataset\\_discovery/modis/modis\\_products\\_table/mod14](https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/modis/modis_products_table/mod14)>.

UVO, C. B.; REPELLI, C. A.; ZEBIAK, S. E.; KUSHNIR, Y. The relationships between tropical Pacific and Atlantic SST and northeast Brazil monthly precipitation. **Journal of Climate**, v. 11, p. 551–562, 1998.

VAN DER MOLEN, M. K., DOLMAN, A. J., CIAIS, P., EGLIN, T., GOBRON, N., LAW, B.E., MEIR, P., PETERS, W., PHILLIPS, O. L., REICHSTEIN, M., CHEN, T., DEKKER, S. C., DOUBKOVA, M., FRIEDL, M. A., JUNG, M., VAN DEN HURK, B. J. J. M., DE JEU, R. A. M., KRUIJT, B., OHTA, T., REBEL, K. T., PLUMMER, S., SENEVIRATNE, S. I., SITCH, S., TEULING, A. J., VAN DER WERF, G. R. & WANG, G. Drought and ecosystem carbon cycling. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.151, n.7, p. 765–773, 2011.

VOGT, P. Guidos toolbox (graphical user interface for the description of image objects and their shapes): **Digital image analysis software collection**. 2014. Disponível em: <<http://forest.jrc.ec.europa.eu/download/software/guidos>>.

VON RANDOW, C.; MANZI, A. O.; KRUIJT B.; OLIVEIRAM P. J.; ZANCHIM F. B.; SILVA, R. L.; HODNETT, M. G.; GASH, J. H. C.; ELBERS, J. A.; WATERLOO, M. J.; CARDOSO, F. L.; KABAT, P. Comparative measurements and seasonal variations in energy and carbon exchange over forest and pasture in south west Amazonia. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 78, p. 5-26, 2004.

WOODS, W. I. et al. (Ed.). Amazonian Dark Earths: Wim Sombroek's Vision. Springer. 2008. 502p.

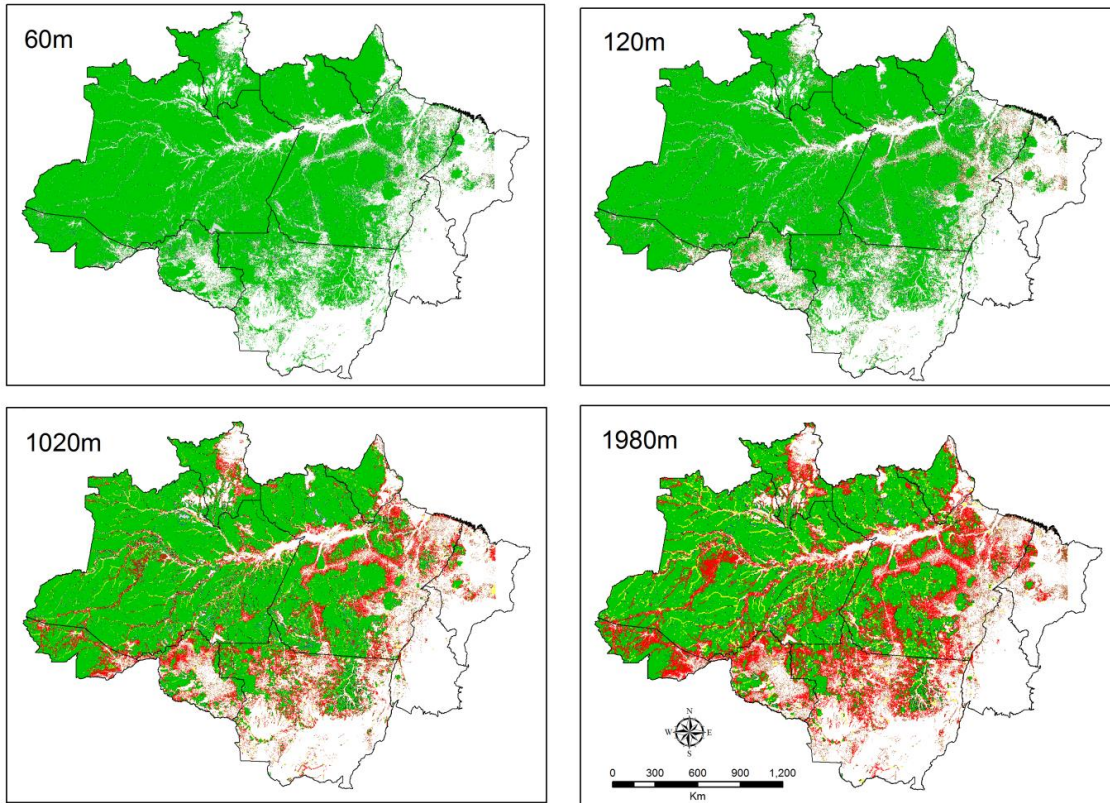
ZENG, N. et al. Causes and impacts of the Amazon drought. **Environmental Research Letters**. v. 3, n. 014002 , p. 1-9, Jan-Mar 2008. doi: <[doi:10.1088/1748-9326/3/1/014002](https://doi.org/10.1088/1748-9326/3/1/014002)>. Article Number: 014002.



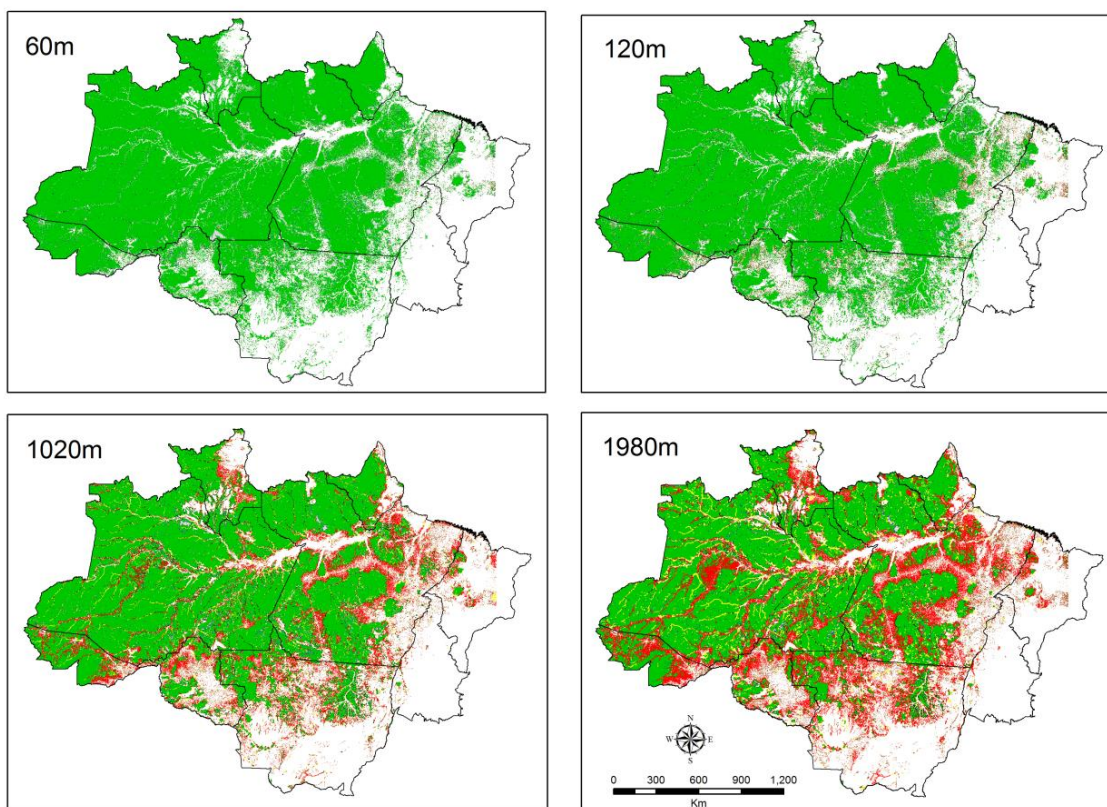


**APÊNDICE A – MAPAS DE FRAGMENTAÇÃO DA AMAZÔNIA LEGAL COM OS DIFERENTES PARÂMETROS ANALISADOS PARA ANOS DA SÉRIE TEMPORAL.**

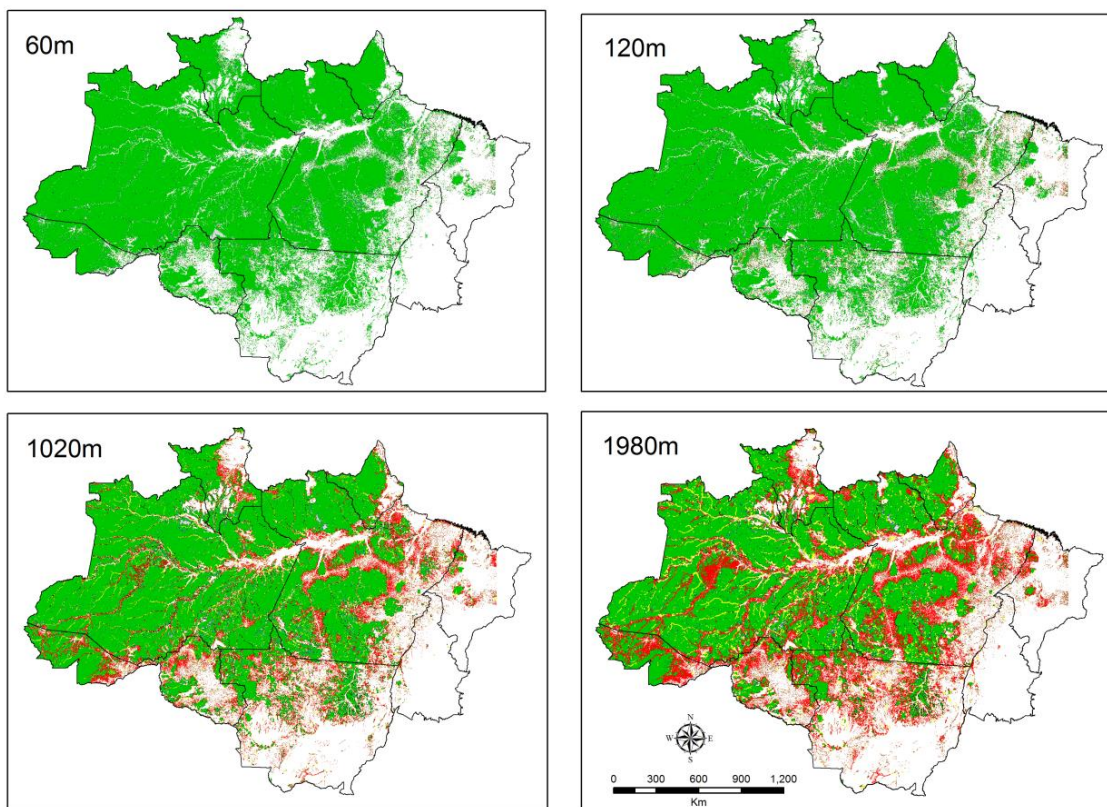
**A.1. Fragmentação em 2003.**



A.2. Fragmentação em 2004.

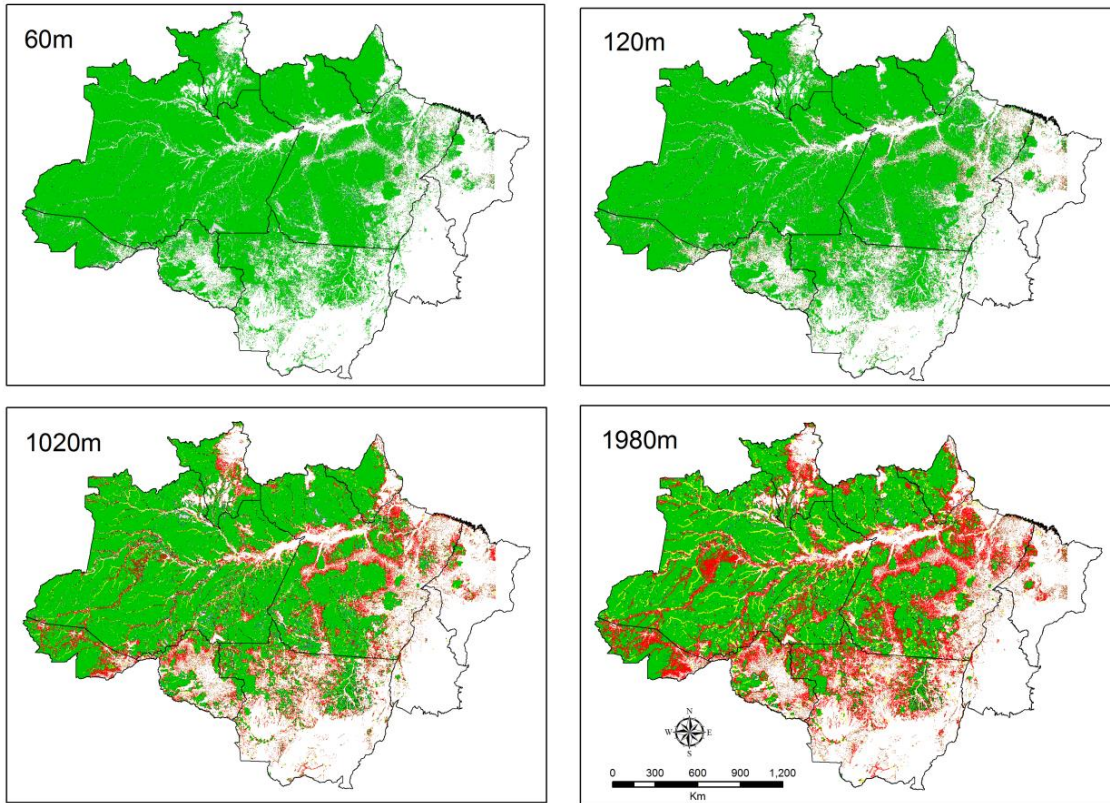


A.3. Fragmentação em 2005.

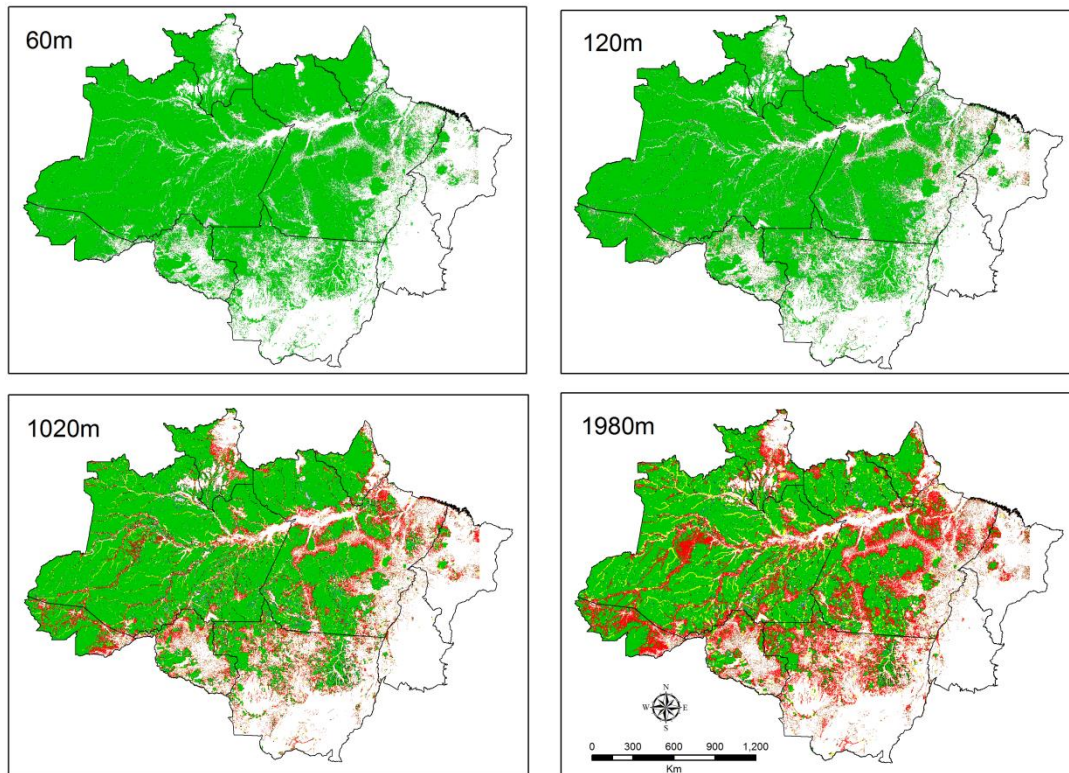




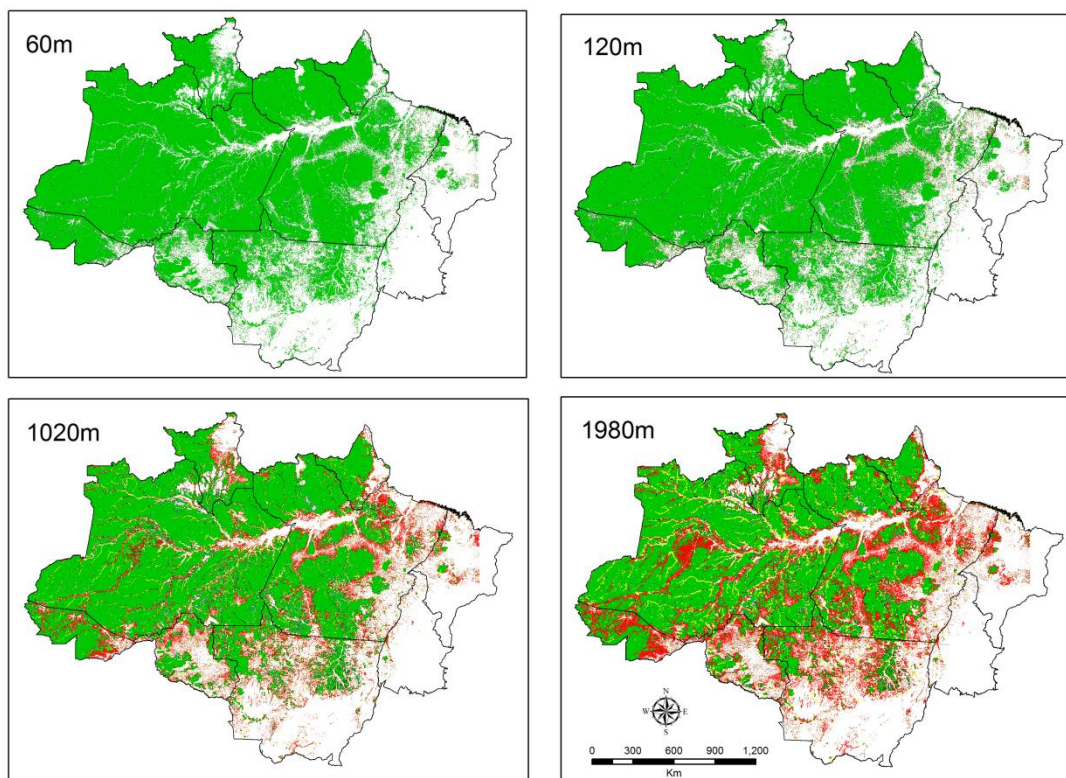
A.4. Fragmentação em 2006.



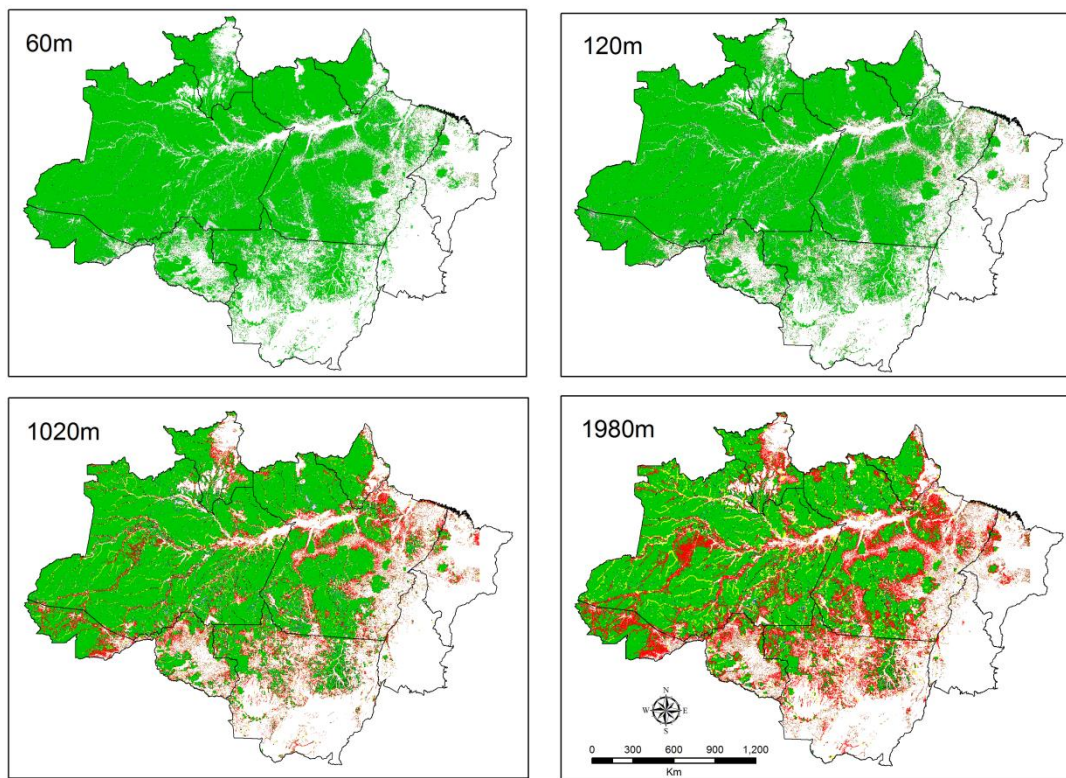
A.5. Fragmentação em 2007.



A.6. Fragmentação em 2008.

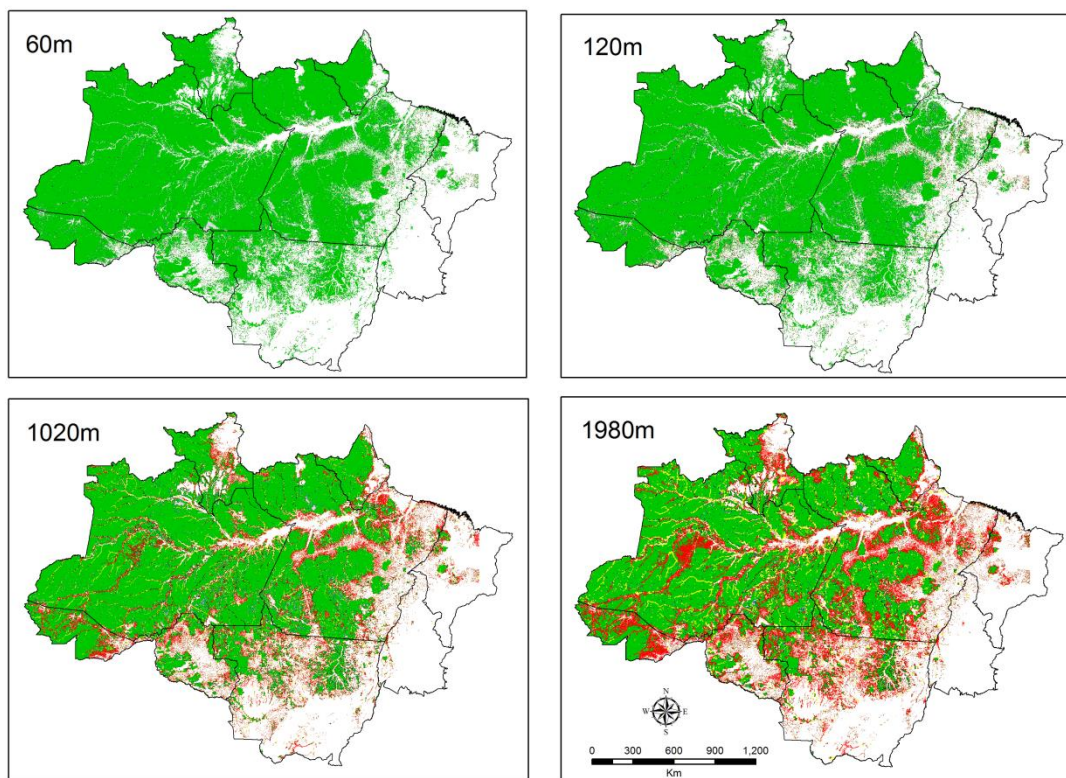


A.7. Fragmentação em 2009.

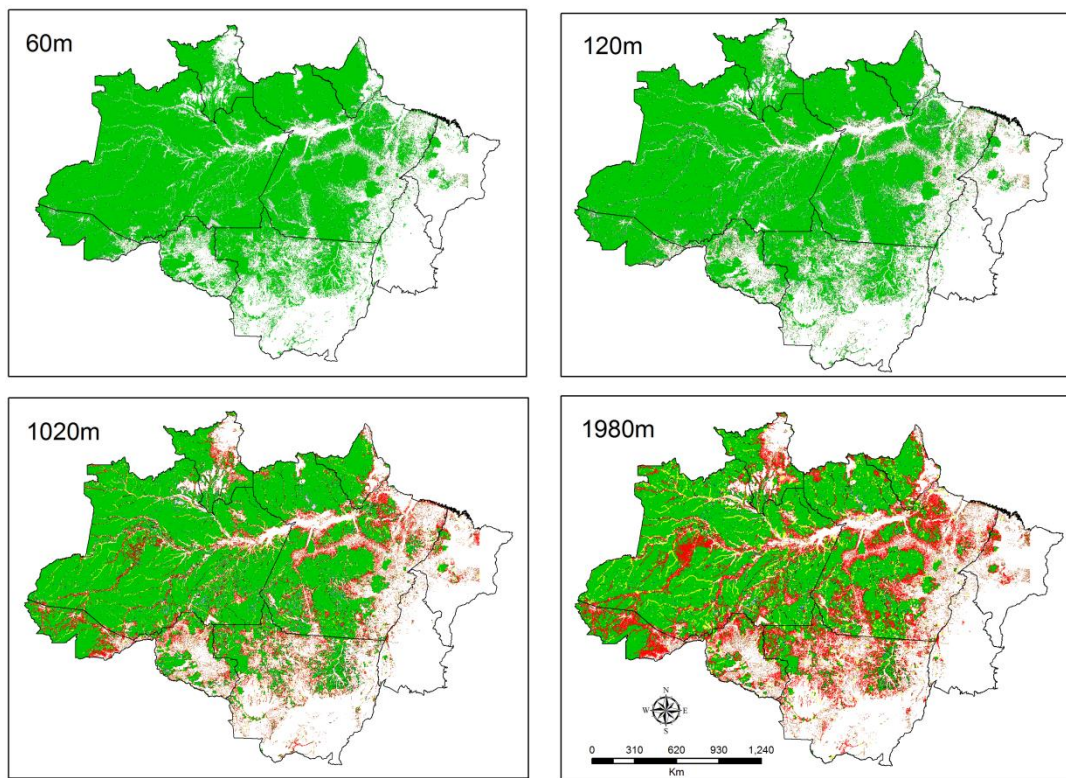




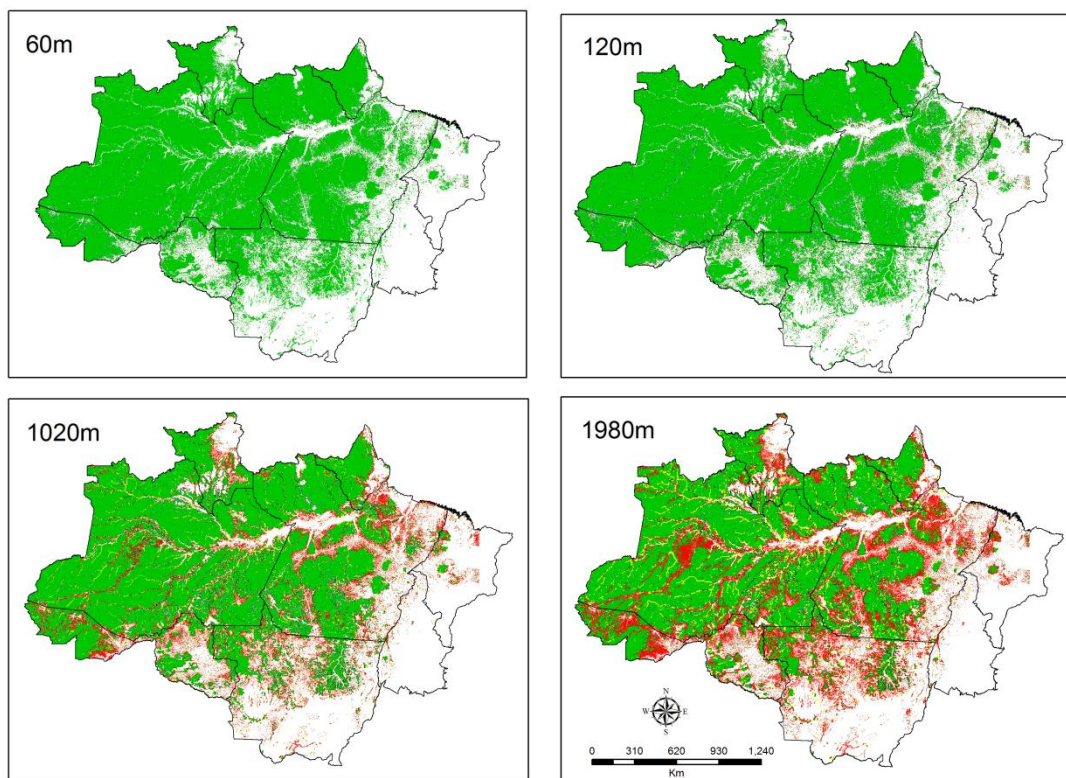
A.8. Fragmentação em 2010.



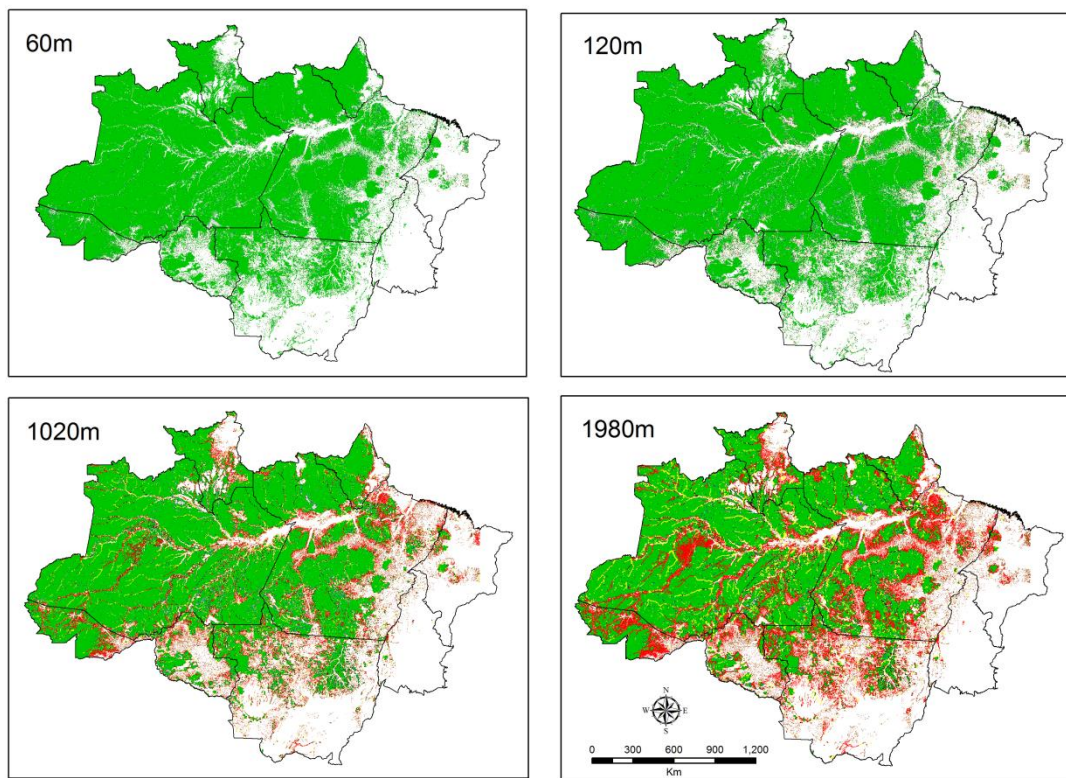
A.9. Fragmentação em 2011.



A.10. Fragmentação em 2012.



A.11. Fragmentação em 2013.



## APÊNDICE B – TABELAS EXPLORATÓRIAS DE 2003 A 2013.

As tabelas abaixo contêm informações sobre os números de focos de calor e valores em Km<sup>2</sup> das variáveis analisadas para cada estado na Amazônia brasileira.

### B1. Tabelas exploratórias de 2003 a 2013.

	AC	AM	AP	MA	MT	PA	RO	RR	TO
<b>Focos de calor 2003</b>	2174	2132	506	10177	28873	14935	8892	1787	5574
<b>Desm 2003</b>	1078	1558	25	993	10405	7145	3597	439	156
<b>Core 60m 2003</b>	131226,5	1400126,3	107131,6	32770,2	323370,0	867592,7	125657,5	140807,2	10753,2
<b>Corr 60m 2003</b>	1278,9	4064,8	336,9	2142,7	5193,3	9913,9	3282,8	767,3	474,6
<b>Borda 60m 2003</b>	1700,6	14638,0	1040,3	4953,9	17347,6	26438,5	8039,8	2999,1	1826,6
<b>Ilha 60m 2003</b>	46,3	186,9	12,2	188,1	292,4	680,2	187,8	30,9	34,0
<b>Perf 60m 2003</b>	2045,1	9016,8	866,6	1055,9	6841,2	14220,8	2706,7	1547,0	136,1
<b>Core 120m 2003</b>	126504,5	1377979,5	104822,4	27039,7	297700,5	827041,0	114707,0	136215,3	8465,3
<b>Corr 120m 2003</b>	5341,7	12373,0	1306,4	6728,3	18754,6	34517,3	11379,4	2858,7	1795,6
<b>Borda 120m 2003</b>	2624,0	23767,5	1692,8	5471,3	28208,6	37145,2	10650,1	5031,9	2858,4
<b>Ilha 120m 2003</b>	185,6	609,8	45,8	902,4	1088,9	2672,0	835,2	102,3	221,5
<b>Perf 120m 2003</b>	2792,4	12203,1	1196,5	856,8	7937,9	16544,2	2926,2	1968,0	162,7
<b>Core 1020m 2003</b>	93021,1	1180016,9	88973,8	10219,3	158084,9	608852,0	64562,4	103780,2	1780,4
<b>Corr 1020m 2003</b>	38492,5	167998,4	15130,3	18328,9	141642,5	228822,0	54272,4	29758,7	5540,0
<b>Borda 1020m 2003</b>	1964,5	48982,2	2212,4	1219,0	31001,0	30465,3	6676,1	8501,0	1137,7
<b>Ilha 1020m 2003</b>	1959,7	6890,3	918,9	10959,7	18955,6	32919,1	12732,0	2552,2	5019,8
<b>Perf 1020m 2003</b>	2010,3	23047,1	1828,4	271,6	4006,5	16862,0	2254,8	1584,1	25,7
<b>Core 1980m 2003</b>	72667,7	1026770,3	76521,4	5837,0	100022,6	494053,3	44464,7	85177,3	685,1
<b>Corr 1980m 2003</b>	58315,4	321207,7	27141,7	18969,6	197632,3	330726,7	71482,6	47184,4	4574,8
<b>Borda 1980m 2003</b>	1921,8	45388,2	1740,4	397,0	20672,7	24083,1	4941,7	8255,8	358,0
<b>Ilha 1980m 2003</b>	3111,6	11207,1	1513,3	15724,0	33198,6	53655,2	18284,7	4293,3	7885,6
<b>Perf 1980m 2003</b>	1431,7	22360,5	2147,1	70,9	2164,6	15402,3	1324,1	1265,5	0,0



	<b>AC</b>	<b>AM</b>	<b>AP</b>	<b>MA</b>	<b>MT</b>	<b>PA</b>	<b>RO</b>	<b>RR</b>	<b>TO</b>
<b>Focos de calor 2004</b>	1011	1720	666	9340	42144	23846	13197	573	7049
<b>Desm 2004</b>	728	1232	46	755	11814	8870	3858	311	158
<b>Core 60m 2004</b>	130914,1	1400056,4	106697,5	31756,0	314125,2	860384,9	123514,7	140636,1	10396,9
<b>Corr 60m 2004</b>	1440,6	3438,9	333,3	2077,8	5090,9	9429,4	2874,0	735,8	537,4
<b>Borda 60m 2004</b>	2035,1	13971,2	1062,8	4904,3	18196,4	25838,9	7725,6	3004,9	2101,2
<b>Ilha 60m 2004</b>	60,3	165,8	12,7	198,1	315,2	692,9	201,3	30,2	41,1
<b>Perf 60m 2004</b>	2371,3	8399,4	852,1	922,8	6118,9	13433,1	2767,0	1507,4	158,6
<b>Core 120m 2004</b>	126205,0	1377419,9	104736,7	26470,4	290277,9	822033,8	113140,2	136087,4	8375,2
<b>Corr 120m 2004</b>	4888,2	11912,2	1268,7	6261,4	16885,5	32006,8	9503,1	2692,3	1656,3
<b>Borda 120m 2004</b>	2681,1	24095,7	1732,7	5349,1	28536,8	36984,2	10748,0	5118,4	2817,6
<b>Ilha 120m 2004</b>	193,7	616,0	44,6	944,2	1181,5	2763,1	865,5	100,6	226,6
<b>Perf 120m 2004</b>	2853,4	11988,8	1175,7	834,1	6964,7	15990,6	2825,6	1915,7	159,4
<b>Core 1020m 2004</b>	92964,6	1179895,9	88927,4	10180,8	157108,9	608111,8	64487,9	103764,0	1776,1
<b>Corr 1020m 2004</b>	37735,4	166563,7	14985,1	17294,3	128553,8	218461,5	49946,2	29318,8	5318,0
<b>Borda 1020m 2004</b>	2087,9	49584,9	2254,9	1341,1	34101,1	32089,9	7329,5	8650,9	1154,2
<b>Ilha 1020m 2004</b>	1990,3	6847,5	933,1	10758,5	19802,2	33421,1	12973,7	2578,5	4961,5
<b>Perf 1020m 2004</b>	2043,2	23138,1	1857,8	284,4	4280,4	17694,3	2343,1	1602,2	25,4
<b>Core 1980m 2004</b>	72638,1	1026664,2	76483,8	5823,7	99724,9	493651,4	44435,8	85171,4	682,7
<b>Corr 1980m 2004</b>	57590,1	319894,2	26946,9	18321,7	185138,9	321938,1	67252,8	46692,4	4429,9
<b>Borda 1980m 2004</b>	1957,0	45885,8	1786,5	465,6	22567,6	25161,3	5229,2	8347,9	362,6
<b>Ilha 1980m 2004</b>	3160,8	11282,6	1528,4	15169,2	34101,1	53049,3	18696,1	4427,7	7760,0
<b>Perf 1980m 2004</b>	1475,2	22301,3	2212,7	79,0	2314,0	15979,3	1465,9	1274,9	0,0



	<b>AC</b>	<b>AM</b>	<b>AP</b>	<b>MA</b>	<b>MT</b>	<b>PA</b>	<b>RO</b>	<b>RR</b>	<b>TO</b>
<b>Focos de calor 2005</b>	4183	3546	385	10546	31816	23159	14447	325	8281
<b>Desm 2005</b>	592	775	33	922	7145	5899	3244	133	271
<b>Core 60m 2005</b>	130527,3	1399446,5	106657,1	30963,7	307362,9	855189,6	120888,9	140549,4	10057,3
<b>Corr 60m 2005</b>	1344,5	3386,3	330,7	1959,8	4799,8	9100,7	2597,7	726,5	489,3
<b>Borda 60m 2005</b>	2021,2	13999,5	1067,9	4731,4	18171,4	25700,0	7765,5	3006,4	1977,9
<b>Ilha 60m 2005</b>	64,3	169,6	13,1	224,9	365,0	747,6	240,2	30,5	51,9
<b>Perf 60m 2005</b>	2324,4	8318,8	844,4	806,2	5268,7	12577,1	2236,8	1495,9	143,5
<b>Core 120m 2005</b>	125939,6	1376932,5	104705,5	25992,7	284810,5	818122,6	111242,3	136020,9	8178,7
<b>Corr 120m 2005</b>	4490,7	11601,8	1244,9	5697,0	14969,7	30023,7	8115,5	2638,2	1406,4
<b>Borda 120m 2005</b>	2726,7	24183,0	1739,9	5203,4	28346,4	36834,1	10744,3	5141,3	2718,2
<b>Ilha 120m 2005</b>	206,9	625,6	46,3	1000,9	1368,9	2941,6	958,4	101,6	261,1
<b>Perf 120m 2005</b>	2917,9	11978,7	1176,7	791,9	6472,7	15392,8	2668,4	1906,7	155,4
<b>Core 1020m 2005</b>	92896,4	1179797,5	88917,6	10167,8	156344,1	607591,6	64343,2	103753,5	1766,7
<b>Corr 1020m 2005</b>	37004,2	165137,5	14898,9	16358,0	117345,3	210512,8	45847,5	29137,3	4929,8
<b>Borda 1020m 2005</b>	2230,0	50110,1	2271,8	1426,0	36887,7	33483,9	8009,5	8723,6	1216,0
<b>Ilha 1020m 2005</b>	2059,5	6942,5	941,0	10448,3	20722,7	33532,9	13082,7	2575,6	4782,0
<b>Perf 1020m 2005</b>	2091,7	23330,9	1883,9	285,9	4668,4	18193,7	2444,1	1618,8	25,4
<b>Core 1980m 2005</b>	72601,5	1026599,9	76477,8	5820,8	99435,8	493430,6	44382,0	85167,8	681,6
<b>Corr 1980m 2005</b>	56968,1	318378,7	26848,1	17847,8	174385,6	314783,7	62952,2	46476,6	4307,7
<b>Borda 1980m 2005</b>	1997,0	46356,8	1792,5	499,6	24482,9	26063,7	5459,9	8372,6	365,7
<b>Ilha 1980m 2005</b>	3232,7	11447,2	1535,1	14438,0	35143,0	52617,9	19409,2	4497,9	7364,9
<b>Perf 1980m 2005</b>	1482,6	22532,9	2259,8	79,8	2520,9	16419,3	1522,9	1293,7	0,0

	<b>AC</b>	<b>AM</b>	<b>AP</b>	<b>MA</b>	<b>MT</b>	<b>PA</b>	<b>RO</b>	<b>RR</b>	<b>TO</b>
<b>Focos de calor 2006</b>	1363	3033	322	6217	18105	17273	8739	536	4160
<b>Desm 2006</b>	398	788	30	674	4333	5659	2049	231	124
<b>Degradação 2006</b>	162,9	232,9	49,9	1855,2	9031,8	4047,1	417,9	137,1	148,2
<b>Core 60m 2006</b>	130389,8	1398925,9	106627,8	30542,0	305256,8	851640,9	119810,1	140403,9	10023,0
<b>Corr 60m 2006</b>	1313,8	3352,8	327,0	1905,3	4744,5	8905,3	2536,9	712,1	482,8
<b>Borda 60m 2006</b>	2022,8	14015,6	1067,0	4640,1	18189,1	25669,0	7750,2	3007,3	1965,8
<b>Ilha 60m 2006</b>	64,7	176,8	13,8	247,1	394,1	803,3	258,8	33,4	55,5
<b>Perf 60m 2006</b>	2301,3	8257,6	841,6	767,7	4968,0	11877,0	2105,9	1472,4	142,2
<b>Core 120m 2006</b>	125845,1	1376512,9	104684,7	25724,6	283129,7	815535,8	110421,2	135913,7	8158,6
<b>Corr 120m 2006</b>	4354,5	11377,4	1220,8	5413,4	14408,1	28618,6	7693,4	2552,8	1377,9
<b>Borda 120m 2006</b>	2747,0	24233,6	1741,7	5160,2	28279,6	36566,4	10802,9	5152,3	2710,0
<b>Ilha 120m 2006</b>	212,5	640,7	48,6	1047,6	1455,4	3068,8	1002,7	105,2	267,0
<b>Perf 120m 2006</b>	2933,2	11966,5	1181,4	756,3	6279,6	15104,8	2541,6	1905,1	155,8
<b>Core 1020m 2006</b>	92874,9	1179696,6	88911,3	10156,9	156114,7	607327,3	64266,5	103736,7	1765,7
<b>Corr 1020m 2006</b>	36727,6	164028,8	14836,8	15961,8	114224,8	204946,9	44126,0	28834,5	4898,6
<b>Borda 1020m 2006</b>	2294,2	50438,7	2298,3	1471,8	37625,4	34267,7	8329,1	8837,9	1227,7
<b>Ilha 1020m 2006</b>	2081,8	7040,9	934,1	10220,9	20840,8	33909,2	13221,8	2595,2	4752,0
<b>Perf 1020m 2006</b>	2113,8	23523,7	1896,6	290,7	4747,0	18444,0	2516,4	1624,8	25,4
<b>Core 1980m 2006</b>	72591,3	1026534,5	76472,6	5817,9	99359,3	493313,3	44351,9	85163,8	681,6
<b>Corr 1980m 2006</b>	56739,2	317276,2	26799,9	17602,5	171568,6	309394,7	61463,1	46250,6	4283,7
<b>Borda 1980m 2006</b>	2030,9	46690,6	1794,8	512,4	24943,7	26492,5	5621,3	8409,3	372,4
<b>Ilha 1980m 2006</b>	3241,4	11584,2	1527,6	14073,9	35107,9	53084,5	19470,8	4510,4	7331,7
<b>Perf 1980m 2006</b>	1489,5	22639,6	2282,2	95,2	2573,2	16610,6	1552,4	1294,9	0,0

	<b>AC</b>	<b>AM</b>	<b>AP</b>	<b>MA</b>	<b>MT</b>	<b>PA</b>	<b>RO</b>	<b>RR</b>	<b>TO</b>
<b>Focos de calor 2007</b>	1573	2402	255	15883	40677	22381	9165	969	13882
<b>Desm 2007</b>	184	610	39	631	2678	5526	1611	309	63
<b>Degradação 2007</b>	123,9	398,9	61,3	4115,8	12935,4	8790,5	671,6	173,4	477,2
<b>Core 60m 2007</b>	130286,3	1398551,6	106574,4	30138,5	303383,6	847840,4	118621,9	140222,6	9964,8
<b>Corr 60m 2007</b>	1297,4	3314,7	317,7	1854,4	4632,9	8607,9	2426,6	692,2	470,4
<b>Borda 60m 2007</b>	2026,3	14025,2	1068,4	4548,6	18065,0	25493,4	7738,1	3015,0	1941,6
<b>Ilha 60m 2007</b>	67,6	184,4	14,3	266,3	441,0	886,9	295,7	36,3	58,8
<b>Perf 60m 2007</b>	2286,4	8214,0	837,6	741,3	4731,4	11271,7	1918,3	1445,3	140,1
<b>Core 120m 2007</b>	125772,6	1376218,1	104643,6	25462,3	281752,2	812739,4	109563,9	135773,0	8125,6
<b>Corr 120m 2007</b>	4265,4	11149,7	1171,0	5138,1	13603,7	26831,0	7042,7	2435,1	1325,8
<b>Borda 120m 2007</b>	2759,1	24300,2	1753,3	5107,5	28167,0	36416,2	10895,3	5200,6	2696,3
<b>Ilha 120m 2007</b>	217,5	651,7	49,6	1096,9	1558,6	3232,4	1077,0	111,3	273,1
<b>Perf 120m 2007</b>	2949,5	11970,6	1194,9	744,2	6172,4	14880,7	2421,6	1891,6	155,0
<b>Core 1020m 2007</b>	92856,7	1179613,0	88897,8	10146,4	155959,9	606952,3	64203,5	103707,0	1765,1
<b>Corr 1020m 2007</b>	36465,9	163031,8	14716,6	15488,3	110817,9	197866,7	42028,6	28462,1	4845,6
<b>Borda 1020m 2007</b>	2343,9	50881,1	2345,8	1523,1	38405,2	35653,8	8797,7	8979,5	1239,9
<b>Ilha 1020m 2007</b>	2177,5	7050,3	947,1	10099,6	21186,2	34745,4	13375,4	2623,5	4699,8
<b>Perf 1020m 2007</b>	2120,0	23712,6	1905,1	291,6	4884,8	18881,9	2593,5	1639,4	25,4
<b>Core 1980m 2007</b>	72580,7	1026481,3	76463,8	5815,9	99301,9	493149,1	44322,8	85155,6	681,5
<b>Corr 1980m 2007</b>	56540,4	316246,3	26718,1	17352,9	168483,0	302388,3	59007,2	45931,6	4262,0
<b>Borda 1980m 2007</b>	2051,6	47101,7	1810,1	519,9	25468,0	27425,6	5870,3	8471,8	372,3
<b>Ilha 1980m 2007</b>	3301,6	11576,5	1540,2	13765,0	35412,1	54193,6	20139,3	4534,1	7260,0
<b>Perf 1980m 2007</b>	1489,7	22880,3	2280,1	95,2	2589,0	16943,6	1658,5	1318,3	0,0

	<b>AC</b>	<b>AM</b>	<b>AP</b>	<b>MA</b>	<b>MT</b>	<b>PA</b>	<b>RO</b>	<b>RR</b>	<b>TO</b>
<b>Focos de calor 2008</b>	1050	1368	406	6003	12715	13924	3398	432	5033
<b>Desm 2008</b>	254	604	100	1271	3258	5607	1136	574	107
<b>Degradação 2008</b>	27,5	181,8	49,3	2406,5	8699,9	1490,1	227,4	99,8	264,3
<b>Veg. Secundária 2008</b>	3627,0	15553,2	737,5	21224,7	28755,8	57156,2	12604,2	2410,0	8124,8
<b>Core 60m 2008</b>	130115,3	1398178,8	106520,5	29545,0	301069,4	844454,4	117949,0	139784,6	9879,9
<b>Corr 60m 2008</b>	1252,1	3241,4	303,8	1691,3	4419,9	8144,7	2276,7	634,6	447,4
<b>Borda 60m 2008</b>	2044,8	14021,4	1065,4	4376,2	17897,0	25080,7	7662,8	3060,7	1909,8
<b>Ilha 60m 2008</b>	73,2	193,6	15,1	301,6	487,7	985,7	314,7	43,2	63,6
<b>Perf 60m 2008</b>	2249,6	8166,1	836,4	678,7	4459,1	10744,8	1820,5	1346,8	136,4
<b>Core 120m 2008</b>	125655,4	1375942,8	104603,2	25126,2	280041,2	810460,3	109122,4	135435,7	8075,7
<b>Corr 120m 2008</b>	4059,5	10813,6	1107,9	4507,3	12471,3	24562,9	6459,2	2141,7	1239,3
<b>Borda 120m 2008</b>	2793,7	24399,0	1760,7	5087,6	28148,0	36259,8	10945,5	5309,3	2692,3
<b>Ilha 120m 2008</b>	226,7	669,4	51,3	1155,4	1634,3	3378,9	1108,2	123,5	277,2
<b>Perf 120m 2008</b>	2999,8	11976,1	1218,1	716,3	6038,5	14749,3	2388,3	1859,7	152,7
<b>Core 1020m 2008</b>	92829,2	1179546,9	88879,9	10125,9	155789,1	606719,1	64164,3	103647,1	1764,3
<b>Corr 1020m 2008</b>	36055,8	161760,6	14560,4	14746,4	106788,4	191326,1	40720,8	27510,1	4693,8
<b>Borda 1020m 2008</b>	2437,3	51528,7	2424,9	1650,7	39606,5	37221,4	9154,5	9361,4	1263,6
<b>Ilha 1020m 2008</b>	2254,9	7074,6	946,1	9741,6	21142,2	34934,8	13305,5	2687,2	4690,1
<b>Perf 1020m 2008</b>	2158,0	23888,3	1929,9	328,2	5007,0	19209,1	2676,6	1664,1	25,4
<b>Core 1980m 2008</b>	72567,4	1026438,0	76452,7	5805,7	99238,5	493051,3	44301,3	85132,0	681,5
<b>Corr 1980m 2008</b>	56220,5	314990,5	26609,7	16839,5	163950,8	296077,8	57914,8	45179,8	4220,2
<b>Borda 1980m 2008</b>	2104,0	47605,4	1835,1	580,7	26309,2	28293,7	6065,6	8611,6	378,6
<b>Ilha 1980m 2008</b>	3352,8	11617,3	1539,0	13270,3	36184,0	54815,1	20035,8	4610,9	7156,9
<b>Perf 1980m 2008</b>	1490,3	23145,1	2304,7	96,6	2650,7	17173,2	1703,8	1335,7	0,0

	<b>AC</b>	<b>AM</b>	<b>AP</b>	<b>MA</b>	<b>MT</b>	<b>PA</b>	<b>RO</b>	<b>RR</b>	<b>TO</b>
<b>Focos de calor 2009</b>	457	2094	477	4559	4251	11636	1333	560	2260
<b>Desm 2009</b>	167	405	70	828	1049	4281	482	121	61
<b>Degradação 2009</b>	82,5	453,9	15,8	358,1	2535,0	3577,6	284,5	63,4	182,7
<b>Core 60m 2009</b>	130032,3	1397986,4	106498,8	29116,5	300550,2	842450,9	117669,2	139725,4	9846,3
<b>Corr 60m 2009</b>	1221,6	3188,1	297,1	1565,8	4326,8	7764,3	2220,3	621,0	431,2
<b>Borda 60m 2009</b>	2039,6	14031,4	1065,4	4222,7	17852,7	24849,2	7646,2	3058,3	1894,7
<b>Ilha 60m 2009</b>	77,9	201,2	15,9	324,8	518,9	1072,4	330,8	45,3	67,9
<b>Perf 60m 2009</b>	2250,4	8131,4	836,1	648,3	4385,7	10451,0	1775,7	1341,1	134,4
<b>Core 120m 2009</b>	125597,0	1375806,5	104585,9	24874,9	279684,3	809091,8	108934,9	135392,3	8058,4
<b>Corr 120m 2009</b>	3939,0	10588,4	1077,9	4109,0	12085,0	22981,6	6217,1	2078,5	1195,1
<b>Borda 120m 2009</b>	2825,0	24463,9	1765,4	5106,9	28149,5	36403,6	10992,5	5326,3	2692,6
<b>Ilha 120m 2009</b>	233,4	678,4	52,5	1114,8	1679,0	3490,4	1133,0	126,2	277,3
<b>Perf 120m 2009</b>	3027,5	12000,9	1231,6	672,5	6036,6	14619,5	2364,6	1867,7	151,2
<b>Core 1020m 2009</b>	92811,8	1179503,4	88868,9	10110,2	155742,8	606537,5	64148,4	103630,6	1763,9
<b>Corr 1020m 2009</b>	35818,1	161017,0	14454,4	14173,6	105611,0	186729,3	40203,0	27261,0	4647,0
<b>Borda 1020m 2009</b>	2495,7	51944,9	2479,0	1756,4	39974,5	38504,0	9317,2	9488,4	1277,5
<b>Ilha 1020m 2009</b>	2309,3	7080,8	946,8	9505,5	21246,3	35371,1	13276,7	2727,1	4660,7
<b>Perf 1020m 2009</b>	2187,0	23990,6	1964,3	332,4	5059,8	19445,8	2694,9	1683,9	25,4
<b>Core 1980m 2009</b>	72557,9	1026405,8	76443,9	5800,3	99206,3	492967,9	44294,6	85123,3	681,5
<b>Corr 1980m 2009</b>	56051,3	314382,2	26538,3	16525,1	162843,0	291977,1	57360,9	45023,8	4198,1
<b>Borda 1980m 2009</b>	2127,7	47869,2	1874,4	600,1	26583,3	28945,6	6146,1	8650,3	378,6
<b>Ilha 1980m 2009</b>	3394,8	11616,0	1539,6	12855,9	36313,3	55343,8	20119,1	4648,7	7116,3
<b>Perf 1980m 2009</b>	1490,1	23259,5	2317,0	96,6	2688,6	17353,8	1719,1	1345,0	0,0

	<b>AC</b>	<b>AM</b>	<b>AP</b>	<b>MA</b>	<b>MT</b>	<b>PA</b>	<b>RO</b>	<b>RR</b>	<b>TO</b>
<b>Focos de calor 2010</b>	2276	2576	168	11432	33466	19810	5939	576	16571
<b>Desm 2010</b>	259	595	53	712	871	3770	435	256	49
<b>Degradação 2010</b>	395,3	1289,9	2,0	1341,9	11682,7	6397,9	2694,3	110,9	765,0
<b>Veg. Secundária 2010</b>	4245,4	17092,5	830,0	19645,4	32799,6	65253,7	14099,8	3177,6	7425,5
<b>Core 60m 2010</b>	129888,0	1397696,1	106471,6	28803,7	300053,7	840841,7	117361,8	139611,5	9808,3
<b>Corr 60m 2010</b>	1157,5	3088,9	287,7	1461,3	4229,0	7248,3	2169,8	573,1	412,8
<b>Borda 60m 2010</b>	2035,2	14041,8	1064,9	4178,6	17784,6	24524,7	7645,9	3059,4	1878,4
<b>Ilha 60m 2010</b>	86,1	217,6	16,8	350,9	545,3	1165,3	348,3	50,3	72,7
<b>Perf 60m 2010</b>	2246,1	8092,1	835,6	606,8	4342,3	10263,7	1720,2	1323,7	132,7
<b>Core 120m 2010</b>	125499,5	1375597,1	104565,9	24679,6	279330,8	808080,3	108726,5	135311,2	8037,6
<b>Corr 120m 2010</b>	3692,5	10193,2	1036,8	3725,1	11707,5	21085,0	5980,1	1901,7	1140,6
<b>Borda 120m 2010</b>	2871,2	24594,1	1774,6	5166,4	28177,2	36664,0	11030,6	5376,0	2692,4
<b>Ilha 120m 2010</b>	248,2	700,6	54,8	1148,2	1713,9	3578,0	1158,9	133,1	283,0
<b>Perf 120m 2010</b>	3101,6	12051,8	1244,7	682,1	6025,6	14635,1	2349,7	1896,0	151,3
<b>Core 1020m 2010</b>	92782,4	1179424,5	88861,0	10094,7	155703,0	606383,4	64132,3	103601,1	1762,5
<b>Corr 1020m 2010</b>	35436,9	159547,5	14352,8	13685,9	104516,5	182352,4	39614,5	26746,9	4598,1
<b>Borda 1020m 2010</b>	2639,7	52769,3	2520,7	1878,8	40376,0	39744,7	9444,4	9770,3	1294,0
<b>Ilha 1020m 2010</b>	2327,2	7125,6	951,3	9398,7	21263,2	35803,1	13352,4	2769,4	4625,1
<b>Perf 1020m 2010</b>	2226,8	24268,2	1990,9	343,2	5096,4	19758,9	2700,4	1730,4	25,4
<b>Core 1980m 2010</b>	72542,5	1026337,0	76438,6	5794,0	99188,5	492891,4	44286,8	85106,8	681,5
<b>Corr 1980m 2010</b>	55751,2	312598,6	26434,8	16139,1	161594,0	287957,2	56737,2	44593,4	4187,8
<b>Borda 1980m 2010</b>	2190,9	48715,0	1888,7	654,5	26825,8	29636,3	6221,9	8790,1	378,3
<b>Ilha 1980m 2010</b>	3435,9	11759,9	1542,1	12717,1	36654,8	56021,8	20275,0	4722,8	7057,4
<b>Perf 1980m 2010</b>	1492,6	23722,1	2372,4	96,6	2692,0	17536,6	1722,5	1405,0	0,0

	<b>AC</b>	<b>AM</b>	<b>AP</b>	<b>MA</b>	<b>MT</b>	<b>PA</b>	<b>RO</b>	<b>RR</b>	<b>TO</b>
<b>Focos de calor 2011</b>	490	865	197	4721	7383	6056	1708	276	4894
<b>Desm 2011</b>	280	502	66	396	1120	3008	865	141	40
<b>Degradação 2011</b>	68,4	1259,4	17,7	1717,9	3205,7	1372,5	440,8	170,7	134,6
<b>Core 60m 2011</b>	129748,4	1397447,6	106465,6	28741,5	299393,9	839688,4	116851,6	139594,8	9798,9
<b>Corr 60m 2011</b>	1084,2	2998,5	284,7	1456,0	4088,1	6843,1	2055,2	573,5	411,8
<b>Borda 60m 2011</b>	2038,8	14057,0	1062,4	4161,7	17720,6	24304,1	7639,3	3048,8	1875,5
<b>Ilha 60m 2011</b>	95,8	229,9	16,9	354,3	582,8	1233,2	380,6	51,5	73,3
<b>Perf 60m 2011</b>	2237,5	8051,5	838,2	604,6	4255,9	10132,5	1629,4	1334,0	131,1
<b>Core 120m 2011</b>	125413,9	1375386,6	104545,3	24642,2	278894,6	807267,9	108408,8	135275,0	8032,8
<b>Corr 120m 2011</b>	3433,7	9854,3	1024,7	3681,4	11187,4	19710,4	5512,1	1900,7	1136,5
<b>Borda 120m 2011</b>	2940,4	24512,3	1785,1	5160,4	28293,1	36946,9	11134,4	5378,8	2690,4
<b>Ilha 120m 2011</b>	267,4	712,7	55,9	1163,7	1754,4	3615,9	1201,4	133,6	280,6
<b>Perf 120m 2011</b>	3161,9	12284,7	1245,7	674,6	5990,1	14667,3	2324,0	1893,5	152,1
<b>Core 1020m 2011</b>	92750,7	1179391,6	88860,6	10092,3	155656,5	606251,9	64115,4	103587,2	1761,4
<b>Corr 1020m 2011</b>	35037,1	158081,2	14347,9	13623,5	102943,5	178855,5	38551,2	26748,3	4557,2
<b>Borda 1020m 2011</b>	2769,1	53595,4	2529,8	1886,3	40934,7	40976,2	9753,8	9747,9	1313,1
<b>Ilha 1020m 2011</b>	2341,9	7240,4	923,1	9372,0	21335,2	36123,4	13420,3	2790,0	4633,8
<b>Perf 1020m 2011</b>	2305,9	24475,8	2006,3	343,8	5171,5	19994,3	2715,4	1729,1	25,3
<b>Core 1980m 2011</b>	72527,4	1026328,4	76447,0	5794,9	99177,2	492834,5	44295,1	85098,2	681,2
<b>Corr 1980m 2011</b>	55458,5	310841,2	26427,9	16053,6	159959,1	284909,8	55664,7	44617,4	4168,0
<b>Borda 1980m 2011</b>	2217,6	49635,5	1895,7	671,0	27226,3	30332,2	6452,9	8729,1	396,3
<b>Ilha 1980m 2011</b>	3463,7	11907,7	1513,4	12694,9	36967,9	56478,4	20464,9	4794,2	7045,2
<b>Perf 1980m 2011</b>	1537,4	24071,0	2383,7	103,6	2711,0	17646,5	1678,6	1363,7	0,0

	<b>AC</b>	<b>AM</b>	<b>AP</b>	<b>MA</b>	<b>MT</b>	<b>PA</b>	<b>RO</b>	<b>RR</b>	<b>TO</b>
<b>Focos de calor 2012</b>	912	2242	614	10446	12234	10395	2820	204	9668
<b>Desm 2012</b>	305	523	27	269	757	1741	773	124	52
<b>Degradação 2012</b>	18,0	351,1	5,8	740,3	2119,3	1477,6	375,2	59,2	185,6
<b>Veg. Secundária 2012</b>	3788,4	17456,7	1165,1	26525,7	32008,8	63274,3	16988,1	3539,4	7416,1
<b>Core 60m 2012</b>	129473,5	1396517,1	106824,0	28742,2	299306,4	839550,1	116091,0	139549,3	9967,0
<b>Corr 60m 2012</b>	1003,8	2927,2	279,7	1395,5	3993,2	6556,7	1956,5	552,6	412,0
<b>Borda 60m 2012</b>	1990,1	14069,7	1058,7	4110,8	17669,9	24139,3	7638,4	3009,6	1900,3
<b>Ilha 60m 2012</b>	102,0	240,3	17,4	368,8	611,0	1261,1	402,3	53,2	76,3
<b>Perf 60m 2012</b>	2245,7	8014,9	830,5	598,7	4200,4	10007,5	1564,0	1365,7	129,5
<b>Core 120m 2012</b>	125198,2	1374556,8	104931,1	24701,3	278919,5	807518,6	107753,4	135266,7	8180,4
<b>Corr 120m 2012</b>	3143,7	9569,4	1004,3	3484,0	10804,4	18669,7	5104,5	1821,2	1141,1
<b>Borda 120m 2012</b>	2939,8	24795,9	1765,8	5147,4	28253,8	36931,3	11254,9	5390,3	2724,4
<b>Ilha 120m 2012</b>	273,8	729,0	55,7	1180,8	1795,4	3624,6	1244,0	132,3	284,2
<b>Perf 120m 2012</b>	3259,7	12119,1	1253,4	702,5	6007,9	14770,8	2295,3	1919,8	155,1
<b>Core 1020m 2012</b>	92718,3	1178852,5	89241,5	10163,6	155864,2	606939,9	63824,8	103550,2	1826,3
<b>Corr 1020m 2012</b>	34440,2	156739,6	14248,5	13369,7	101954,0	175846,3	37577,2	26340,0	4598,1
<b>Borda 1020m 2012</b>	2979,0	54113,6	2585,3	1954,5	41395,4	42199,0	10013,5	10059,1	1326,9
<b>Ilha 1020m 2012</b>	2303,2	7289,4	930,3	9366,0	21446,0	36252,9	13481,5	2764,8	4695,8
<b>Perf 1020m 2012</b>	2374,6	24776,6	2004,7	362,2	5121,4	20277,6	2755,2	1816,3	38,0
<b>Core 1980m 2012</b>	72507,9	1025932,6	76758,6	5822,6	99326,7	493529,7	44098,8	84987,9	717,1
<b>Corr 1980m 2012</b>	55039,2	309073,0	26379,3	16076,7	159064,1	282561,8	54973,8	44501,4	4234,0
<b>Borda 1980m 2012</b>	2377,8	50115,2	2010,7	705,8	27449,9	31142,9	6522,0	8893,5	386,8
<b>Ilha 1980m 2012</b>	3370,5	12141,1	1513,9	12507,1	37176,0	56427,9	20338,1	4725,8	7147,3
<b>Perf 1980m 2012</b>	1519,8	24508,0	2347,8	103,8	2764,1	17853,2	1719,6	1421,8	0,0



	<b>AC</b>	<b>AM</b>	<b>AP</b>	<b>MA</b>	<b>MT</b>	<b>PA</b>	<b>RO</b>	<b>RR</b>	<b>TO</b>
<b>Focos de calor 2013</b>	767	1024	247	4115	6005	4909	1043	317	4446
<b>Desm 2013</b>	221	583	23	403	1139	2346	932	170	74
<b>Core 60m 2013</b>	129189,5	1396598,5	106831,4	28501,8	297977,8	837342,3	115045,8	139412,9	9867,6
<b>Corr 60m 2013</b>	1042,4	2935,0	283,4	1425,9	4121,9	6836,1	2043,0	578,3	422,4
<b>Borda 60m 2013</b>	2007,8	14109,4	1059,6	4103,0	17694,1	24257,6	7653,0	3061,4	1893,7
<b>Ilha 60m 2013</b>	110,3	240,7	18,1	387,7	682,4	1383,9	478,1	57,8	80,5
<b>Perf 60m 2013</b>	2261,4	7981,3	839,5	590,1	4154,8	9952,7	1512,0	1357,5	136,6
<b>Core 120m 2013</b>	124886,3	1374627,9	104928,5	24484,3	277640,7	805288,2	106763,7	135088,7	8080,9
<b>Corr 120m 2013</b>	3217,2	9574,0	1013,6	3513,1	10961,9	19056,7	5187,9	1887,1	1155,4
<b>Borda 120m 2013</b>	2944,0	24795,5	1767,1	5101,2	28167,8	36985,4	11168,1	5414,4	2712,8
<b>Ilha 120m 2013</b>	284,6	730,2	57,1	1220,5	1908,8	3818,3	1355,8	139,5	294,1
<b>Perf 120m 2013</b>	3279,3	12136,6	1265,6	689,4	5951,8	14623,8	2256,5	1938,1	157,6
<b>Core 1020m 2013</b>	92429,2	1178857,8	89159,1	10087,3	155108,4	605143,6	63394,0	103287,2	1749,7
<b>Corr 1020m 2013</b>	34545,0	156916,3	14364,6	13411,6	101704,2	175889,3	36863,3	26704,6	4648,1
<b>Borda 1020m 2013</b>	2979,5	53990,2	2584,7	1879,8	41329,3	41852,2	9929,5	9899,9	1257,1
<b>Ilha 1020m 2013</b>	2344,4	7345,3	928,5	9258,9	21580,5	36677,9	13789,9	2768,1	4710,6
<b>Perf 1020m 2013</b>	2313,2	24753,8	1994,9	370,9	4908,5	20209,9	2755,3	1808,0	35,4
<b>Core 1980m 2013</b>	72313,0	1025936,3	76625,7	5766,3	98742,1	491830,1	43781,6	84766,5	672,1
<b>Corr 1980m 2013</b>	55050,6	309716,0	26591,5	15776,1	158729,3	282589,1	54343,1	44727,9	4198,1
<b>Borda 1980m 2013</b>	2344,2	49866,0	1988,2	699,5	27182,6	30981,0	6452,9	8777,0	337,3
<b>Ilha 1980m 2013</b>	3402,3	12036,3	1478,4	12654,9	37262,9	56702,8	20410,6	4707,9	7193,5
<b>Perf 1980m 2013</b>	1501,2	24309,3	2348,1	111,7	2714,1	17670,1	1743,8	1488,6	0,0