

1 **TATIANE DEOTI PELISSARI**

2

3

4

5

6

7

8

9 **MORATÓRIA DA SOJA NA AMAZÔNIA:**

10 **IMPACTOS E A EXPANSÃO DO**

11 **DESMATAMENTO ANTES E APÓS O ACORDO**

12

13

14

15 **Dissertação de Mestrado**

16

17

18

19

20

21 **ALTA FLORESTA-MT**

22

**2021**

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21

2 cm			
	NOME DO ALUNO		
		Diss. MESTRADO	
			PPGBioAgro ANO



2 **UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO**  
3 **FACULDADE DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E**  
4 **AGRÁRIAS**  
5 **PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
6 **BIODIVERSIDADE E AGROECOSSISTEMAS**  
7 **AMAZÔNICOS**



8 **TATIANE DEOTI PELISSARI**

9 **MORATÓRIA DA SOJA NA AMAZÔNIA:**  
10 **IMPACTOS E A EXPANSÃO DO**  
11 **DESMATAMENTO ANTES E APÓS O ACORDO**

12  
13 Dissertação apresentada à Universidade do Estado de  
14 Mato Grosso, como parte das exigências do Programa de  
15 Pós-Graduação em Biodiversidade e Agroecossistemas  
16 Amazônicos, para a obtenção do título de Mestre em  
17 Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos.

18  
19 Orientador: Prof. Dr. Mendelson Guerreiro de Lima  
20 Coorientador: Prof. Dr. Carlos Antonio da Silva Junior  
21

22  
23  
24  
25 **ALTA FLORESTA-MT**

26 **2021**

1 AUTORIZO A DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE  
2 TRABALHO, POR QUALQUER MEIO, CONVENCIONAL OU  
3 ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE  
4 QUE CITADA A FONTE.

5

6

7

8

9

10

Catálogo na publicação

11

Faculdade de Ciências Biológicas e Agrárias

12

Luiz Kenji Umeno Alencar CRB 1/2037

13

PELISSARI, Tatiane Deoti.

P384m Moratória da Soja na Amazônia: Impactos e a  
Expansão do Desmatamento Antes e Após o Acordo /  
Tatiane Deoti  
Pelissari – Alta Floresta, 2021.

64 f.; 30 cm. (ilustrações) Il. color. (sim)

Trabalho de Conclusão de Curso  
(Dissertação/Mestrado) – Curso de Pós-graduação Stricto  
Sensu (Mestrado Acadêmico) Biodiversidade e  
Agroecossistemas Amazônicos, Faculdade de Ciências  
Biológicas e Agrárias, Câmpus de Alta Floresta,  
Universidade do Estado de Mato Grosso, 2021.

Orientador: Mendelson Guerreiro de Lima

Coorientador: Carlos Antonio da Silva Junior

1. Uso do Solo. 2. Fronteira Agrícola. 3. Desmatamento

1                   **MORATÓRIA DA SOJA NA AMAZÔNIA:**  
2                   **IMPACTOS E A EXPANSÃO DO**  
3                   **DESMATAMENTO ANTES E APÓS O ACORDO**

4  
5                   **Tatiane Deoti Pelissari**

6  
7                   Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Mato Grosso,  
8                   como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em  
9                   Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos, para a obtenção do  
10                  título de Mestre em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos.  
11

12                  Aprovada em:

13  
14  
15                   \_\_\_\_\_  
16                   Prof. Dr. Mendelson Guerreiro de Lima  
17                   Orientador – UNEMAT/ PPGBioAgro

18  
19  
20  
21  
22                   \_\_\_\_\_  
23                   Prof. Dr. Marco Antonio Camillo de Carvalho  
24                   UNEMAT/ PPGBioAgro

25  
26  
27  
28  
29                   \_\_\_\_\_  
30                   Prof. Dr. Paulo Eduardo Teodoro  
31                   UFMS/ PPGA

## DEDICATÓRIA

1

2

3 *In Memoriam*

4 À minha amada e saudosa prima Lucimar Deoti Woiciechovski.

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

## 1 **AGRADECIMENTO**

2 Primeiramente a Deus pela coragem de enfrentar essa jornada.

3 À toda minha família, minha mãe (Maria Lourdes Deoti), Meus pais (Célio  
4 Hardt e Altair Antonio Pelissari), Meus irmãos (Jonatan Deoti Hardt, Franciele  
5 Carraro Pelissari e Thays Carraro Pelissari) e minha madrasta (Marineide  
6 Carraro Pelissari) pelo apoio, estímulo, confiança.

7 A meu orientador Mendelson Guerreiro de Lima, pela confiança e pela sua  
8 contribuição em meu crescimento pessoal e acadêmico.

9 A meu coorientador Carlos Antonio da Silva Junior pela a sua contribuição  
10 em meu crescimento pessoal e acadêmico.

11 Aos professores que participaram da banca pelas suas contribuições  
12 científicas.

13 A todos meus amigos em especialmente para a Thaís Lourençoni, o Iago  
14 Manuelson Luz e Matheus Sergio Lubian, pela amizade e parceria.

15 À coordenação de aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior  
16 (CAPES), pelo apoio financeiro.

17 À UNEMAT pela oportunidade e aprendizado.

18 Ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Agroecossistemas  
19 Amazônicos (professores, funcionários e colegas).

20 A TODOS da equipe GAAF (Geotecnologia Aplicada em Agricultura e  
21 Floresta), pela ajuda na obtenção e análise dos dados e pela amizade.

22 A equipe da escola estadual Madre Tarcila, Campo Novo do Parecis -  
23 MT, pelo apoio e amizade.

24

25

26 Imensamente Grata por Tudo!!

## SUMÁRIO

1		
2		
3	LISTA DE TABELAS .....	v
4	LISTA DE SIGLAS .....	vi
5	RESUMO.....	vii
6	ABSTRACT .....	viii
7	1. INTRODUÇÃO GERAL.....	01
8	2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	04
9	3. CAPÍTULO .....	08
10	3.1. MORATÓRIA DA SOJA NA AMAZONIA: IMPACTOS E A	
11	EXPANSÃO DO DESMATAMENTO ANTES E APÓS O ACORDO .....	08
12	INTRODUÇÃO .....	09
13	MATERIAL E MÉTODOS.....	11
14	RESULTADOS .....	20
15	DISCUSSÃO .....	41
16	CONCLUSÕES .....	45
17	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	46
18	APÊNDICE .....	50
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		

## LISTA DE TABELAS

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29

### TABELAS

Página

#### CAPÍTULO 1

1. Tabela 1 - Variação entre as variáveis avaliadas ao longo da série temporal em função dos estados da Amazônia, na qual, estão representados os resultados dos testes de Pettitt e Mann-kendall, para áreas desmatadas ..... 25
2. Tabela 3 - Variação entre as variáveis avaliadas ao longo da série temporal em função dos estados da Amazônia, na qual, estão representados os resultados dos testes de Pettitt e Mann-kendall, para áreas desmatada convertidas em soja. .... 37

#### APÊNDICE

1. Suplementar 1: Porcentagem de desmatamento detectada nos estados amazônicos no período da série temporal 2001 a 2018. .... 52
2. Suplementar 2: Diferença de área desmatada antes e após a MS..... 53

## LISTA DE SIGLAS (ou de ABREVIATURAS)

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30

**AP** Área Protegidas.

**CAR** Cadastro Ambiental Rural.

**GFC** Global Forest Change

**TI** Terra Indígena

**UC** Unidade de Conservação

**ha** hectare(s)

**Mha** milhões de hectares

**MPs** Municípios Prioritários

**PCEI** *Perpendicular Crop Enhancement Index*

**PPCDAm** Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal

**PPGBioAGRO** Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos

**TAC** Termos de Ajustamento de Conduta” (TAC da carne).

## RESUMO

PELISSARI, Tatiane Deoti. M.Sc. Universidade do Estado de Mato Grosso, fevereiro de 2021. Moratória da soja na Amazônia: Impactos e a expansão do desmatamento antes e após o acordo. Orientador: Mendelson Guerreiro de Lima. Coorientador: Carlos Antonio da Silva Junior.

A pecuária e a soja estão entre os principais vetores de desmatamento na Amazônia brasileira. Este trabalho objetivou verificar a conversão de áreas naturais para plantio de soja após a implementação da Moratória da Soja, entre as safras 2009/2010 até 2017/2018. Para avaliar as áreas desmatadas foram utilizadas imagens via sensoriamento remoto dos satélites Landsat disponibilizadas pelo banco de dados Global Forest Change. Já as áreas cultivadas com soja foram identificadas com o índice PCEI (*Perpendicular Crop Enhancement Index*). Para verificar a tendência das variáveis ao longo dos anos foi aplicado o teste de Man-Kendall, seguido pelo teste de Pettitt para identificar o provável ponto de mudança quando a tendência é significativa. Na safra 2017/2018 a soja estava presente em 7 estados amazônicos, com exceção do Amazonas e Maranhão, e ocupava uma área de 3.031.075 hectares (ha). O estado com as maiores áreas de plantio foi o Mato Grosso (2.319.077 ha). Os estados com as maiores áreas de desmatamento foram Pará e Mato Grosso, e o teste de tendência mostrou que o provável ano de mudança para o Mato Grosso foi 2006. A partir de 2009 foram desmatados 12.413.267 ha. Foi constatado que a Amazônia continua em constante desmatamento, e que, apesar de uma queda nas taxas de desmatamento entre 2003 a 2015, o desmatamento voltou a crescer, evidenciando que as políticas públicas existentes até o momento não foram suficientes na contenção do desmatamento. Esta pesquisa destaca o desafio do Brasil no que tange a produção em grande escala com o mínimo de prejuízo ambiental. Para isso é necessário um planejamento agroambiental que seja eficiente no monitoramento e nas sanções impostas aos proprietários e aos infratores. Acordos como a Moratória do Soja, quando trabalhados em conjunto com a sociedade e o estado, podem trazer benefícios e proteção ao meio ambiente e aos serviços ecossistêmicos ao quais o agronegócio é dependente.

Palavras-chave: Uso do Solo, Fronteira agrícola, Desmatamento indireto

## ABSTRACT

PELISSARI, Tatiane Deoti. M.S. Universidade do Estado de Mato Grosso, fevereiro de 2021. Soy Moratorium in the Amazon: impacts and the expansion of deforestation before and after the agreement. Adviser: Mendelson Guerreiro de Lima. Co-adviser: Carlos Antonio da Silva Junior.

Livestock and soy are among the main drivers of deforestation in the Brazilian Amazon. This work aimed to verify the conversion of natural areas for soy planting after the implementation of the Soy Moratorium, between the 2009/2010 and 2017/2018 harvests. To assess the deforested areas, images were used via remote sensing of the Landsat satellites provided by the Global Forest Change database. The areas cultivated with soy were identified with the PCEI index (Perpendicular Crop Enhancement Index). To check the trend of variables over the years, the Man-Kendall test was applied, followed by the Pettitt test to identify the probable point of change when the trend is significant. In the 2017/2018 harvest, soy was present in 7 Amazonian states, with the exception of Amazonas and Maranhão, and occupied an area of 3,031,075 hectares (ha). The state with the largest planting areas was Mato Grosso (2,319,077 ha). The states with the largest areas of deforestation were Pará and Mato Grosso, and the trend test showed that the probable year of change for Mato Grosso was 2006. As of 2009, 12,413,267 ha have been deforested. It was analyzed that the Amazon continues to be constantly deforested, and that, despite a drop in deforestation rates between 2003 and 2015, deforestation has grown again, showing that the public policies that have existed so far have not been sufficient to contain deforestation. This research highlights Brazil's challenge in terms of large-scale production with minimal environmental damage. For this, it is necessary to have agro-environmental planning that is efficient in monitoring and in the sanctions imposed on owners and offenders. Agreements such as the Soy Moratorium, when worked together with society and the state, can bring benefit and protection to the environment and ecosystem services to which agribusiness is dependent.

Key-words: Land Use, Agricultural Frontier, Indirect Deforestation

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A Amazônia, a maior e mais biodiversa floresta tropical do mundo (ANTONELLI et al., 2019), é vista como importante e essencial produtora de serviços ecossistêmicos, como o sequestro e reservatório de carbono e regulação dos ciclos hídricos (BOERNER, 2007). Por esse motivo, exerce uma influência nos padrões climáticos e na química atmosférica de todo o continente (FOLEY et al., 2007), representando uma peça chave para mitigar os efeitos da mudança climática global (PEREIRA et al., 2020).

Há muitas décadas os ecossistemas amazônicos estão sob ameaça de uma economia desordenada, impulsionada pela forte demanda por produtos madeireiros, minérios e por terras agrícolas (ORTEGA ADARME et al., 2020). Este fato fez com que nas últimas décadas o desmatamento na Amazônia brasileira alcançasse níveis alarmantes com 9.026.300 hectares (ha) desmatados de 2008 a 2020, esse valor representa cerca de 2,15% do desmatamento da área total do bioma na Amazônia Brasileira (INPE, 2020).

Os principais vetores de desmatamentos na Amazônia são temas de inúmeros estudos que apontam não só um, mas vários impulsionadores da degradação florestal, como a mineração (FENGLER et al., 2017; SONTER et al., 2017), construção de hidroelétricas (GAUTHIER & MORAN, 2018; WALKER & SIMMONS, 2018) e obras de infraestrutura com estradas e portos (BARBER et al., 2014; MILIEN et al., 2020; SAUER, 2018). Além desses fatores o agronegócio é um dos principais temas estudados associado ao desmatamento (RAVIKUMAR et al., 2017; PEREIRA et al., 2020; RAJÃO et al., 2020).

A expansão das fronteiras agrícolas sem nenhum planejamento tem se tornado a maior pressão ao meio ambiente (FERREIRA et al., 2014). Tanto a produção de gado, vista como um dos principais motores de desmatamento (DE SOUZA et al., 2013), quanto o crescimento da agricultura, especialmente a sojicultura, levaram a uma mudança no uso do solo em larga escala (NEILL et al., 2017).

Há um século a soja (*Glycine max*) originalmente asiática, começou a ser cultivada na região sul do Brasil e atualmente é cultivada na maior parte do país (LIMA et al., 2019). No ano safra de 2020/2021, segundo a CONAB (2020), o Brasil contou com uma área plantada de 38,8 milhões de hectares (Mha) e uma

1 estimativa de produção de 134,4 milhões de toneladas, tornando-se o principal  
2 produtor mundial de soja.

3 Ainda que a soja seja considerada uma impulsionadora da economia e do  
4 desenvolvimento social, a ampliação das áreas cultivadas com soja está  
5 correlacionada com vários problemas sociais e ambientais (MARTINELLI et al.,  
6 2017). A soja está entre os commodities agrícolas que recebem o conceito de  
7 'risco agrícola', pois produções agrícolas que necessitam de desmatamento ou  
8 remoção da vegetação nativa são classificadas como commodities de risco  
9 florestal (MAMMADOVA, 2020; PENDRILL et al., 2020; ZU ERMGASSEN et al.,  
10 2020).

11 Desse modo, a expansão da soja sobre o bioma amazônico é uma forte  
12 ameaça não só pelo desmatamento direto, mas também pelos incentivos em  
13 infraestruturas, tais como hidrovias, ferrovias e rodovias (FEARNSIDE, 2005). A  
14 soja também pode vir a ocupar as áreas de pastagens que serão convertidas em  
15 lavouras, e ao mesmo tempo levando o proprietário a desmatar novas terras para  
16 realocar o gado, em um processo de desmatamento indireto (GOLLNOW, 2018;  
17 RAUSCH & GIBBS, 2016).

18 Simulações evidenciam que se o desmatamento atingir 40% da área total  
19 da floresta da Amazônia, as temperaturas globais aumentarão 4º Celsius. Este  
20 fato fará com que grande parte do centro, leste e sul da Amazônia venha a se  
21 tornar uma savana (PEREIRA et al., 2020). Este fenômeno, conhecido como o  
22 ponto de inflexão da floresta ou "Tipping point", modificaria a dinâmica florestal  
23 de uma forma irreversível (NOBRE & BORNIA, 2009).

24 Assim, para evitar que a expansão agrícola atinja um ponto crítico, torna-  
25 se necessário juntar esforços para se estabelecer uma governança com  
26 responsabilidade ambiental sem que o desenvolvimento agrícola seja  
27 prejudicado (PICOLI et al., 2018; ARVOR et al., 2018). Neste contexto, existe a  
28 necessidade de uma política intervencionista no comércio de commodities, com  
29 intervenções nas cadeias de abastecimento, abrangendo os produtores e  
30 compradores de carne bovina e soja, os quais são os principais vetores de  
31 desmatamento da Amazônia (NEPSTAD et al., 2014).

32 Com a finalidade de garantir a produção sustentável e a responsabilidade  
33 na cadeia de abastecimento (KLINGLER et al., 2018), as organizações não  
34 governamentais (ONGs), a sociedade civil, as indústrias e agricultores

1 juntamente com o governo criaram acordos que tem por finalidade a redução do  
2 desmatamento (CARVALHO et al., 2019). Esses acordos incluem a Moratória da  
3 Soja (MS) (GIBBS et al., 2015; SILVA JUNIOR & LIMA, 2018) e os “Termos de  
4 Ajustamento de Conduta” para frigoríficos (Termo de Ajustamento de Conduta  
5 da carne, ou TAC da carne) (GIBBS et al., 2016).

6 O TAC foi um acordo, inicialmente no estado do Pará, que pressionava os  
7 frigoríficos e o varejo de carne e couro de bovinos a não comercializarem  
8 produtos associados ao desmatamento ilegal, posteriormente expandido a  
9 outros estados da Amazônia, como o Acre, Amazonas, Mato Grosso e Rondônia  
10 (GIBBS et al., 2016).

11 Já a MS foi uma resposta ao desmatamento na Amazônia oriunda pela  
12 enorme demanda global da commodities (DOU et al., 2018). Em 2006 houve  
13 uma grande pressão internacional, liderada pelo Greenpeace, contra a expansão  
14 da soja na Amazônia brasileira. Este movimento teve como resultado a MS, a  
15 qual foi aderida pelos comerciantes da soja plantada na Amazônia (NEPSTAD  
16 et al., 2014). A MS é um acordo entre a sociedade civil, governo e empresas  
17 comerciantes de soja e este acordo tem como finalidade auxiliar na minimização  
18 dos danos ambientais oriundos da cultura da soja proibindo a comercialização  
19 de soja originada de áreas de desmatamento (GIBBS et al., 2015).

20 Para Heilmay et al. (2020), a MS diminuiu o desmatamento na Amazônia,  
21 demonstrando que tais acordos podem ser benéficos tanto para a cadeia de  
22 abastecimento quanto para a conservação. A cultura da soja sem desmatamento  
23 é possível se o mercado assumir compromissos com a produção de  
24 desmatamento zero (ZU ERMGASSEN et al., 2020)

25 Este trabalho apresenta um único capítulo, em que são desenvolvidos  
26 dois objetivos: i) mapear o desmatamento ocorrido na Amazônia brasileira entre  
27 os anos 2001 a 2018, usando uma série temporal de imagens de sensores  
28 orbitais e ii) verificar a eficácia da MS para a contenção da substituição de  
29 florestas em culturas de soja na Amazônia brasileira.

30

31

32

33

## 2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTONELLI, A.; ZIZKA, A.; CARVALHO, F. A.; SCHARN, R., BACON, C. D., SILVESTRO, D.; & CONDAMINE, F. L. Amazonia is the primary source of Neotropical biodiversity. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 115, n. 23, p. 6034-6039, 2018.

ARVOR, D.; DAUGEARD, M., TRITSCH, I.; DE MELLO-THERY, N. A.; THERY, H.; DUBREUIL, V. Combining socioeconomic development with environmental governance in the Brazilian Amazon: The Mato Grosso agricultural frontier at a tipping point. **Environment, Development and Sustainability**, v. 20, n. 1, p. 1-22, 2018.

BARBER, C. P.; COCHRANE, M. A.; SOUZA JR, C. M.; LAURANCE, W. F. Roads, deforestation, and the mitigating effect of protected areas in the Amazon. **Biological Conservation**, v. 177, p. 203-209, 2014.

BOERNER, J.; MENDOZA, A.; VOSTI, S. A. Ecosystem services, agriculture, and rural poverty in the Eastern Brazilian Amazon: Interrelationships and policy prescriptions. **Ecological Economics**, v. 64, n. 2, p. 356-373, 2007.

CARVALHO, W. D.; MUSTIN, K.; HILÁRIO, R. R.; VASCONCELOS, I. M., EILERS, V., & FEARNSIDE, P. M. Deforestation control in the Brazilian Amazon: A conservation struggle being lost as agreements and regulations are subverted and bypassed. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 17, n. 3, p. 122-130, 2019.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira Grãos**. - SAFRA 2020/21. V. 8, N. 12. Terceiro levantamento de grãos | SETEMBRO 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/monitoramento-agricola> Acesso em: 01 de janeiro. de 2020.

DE SOUZA, R. A.; MIZIARA, F.; JUNIOR, P. D. M. Spatial variation of deforestation rates in the Brazilian Amazon: A complex theater for agrarian technology, agrarian structure and governance by surveillance. **Land Use Policy**, v. 30, n. 1, p. 915-924, 2013.

DOU, Y.; DA SILVA, R. F. B.; YANG, H.; LIU, J. Spillover effect offsets the conservation effort in the Amazon. **Journal of Geographical Sciences**, v. 28, n. 11, p. 1715-1732, 2018.

FENGLER, F. H.; BRESSANE, A.; CARVALHO, M. M., LONGO, R. M., DE MEDEIROS, G. A.; DE MELO, W. J.; JAKOVAC.C.C.; RIBEIRO, A. I. Forest restoration assessment in Brazilian Amazonia: A new clustering-based methodology considering the reference ecosystem. **Ecological Engineering**, v. 108, p. 93-99, 2017.

- 1 FERREIRA, J.; ARAGÃO, L. E. O. C.; BARLOW, J.; BARRETO, P.,  
2 BERENQUER, E., BUSTAMANTE, M. & ZUANON, J. Brazil's environmental  
3 leadership at risk. **Science**, v. 346, n. 6210, p. 706-707, 2014.
- 4 FEARNSIDE, P. M. Deforestation in Brazilian Amazonia: history, rates, and  
5 consequences. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 680-688, 2005.
- 6 FOLEY, J. A.; ASNER, G. P.; COSTA, M. H.; COE, M. T.; DEFRIES, R.; GIBBS,  
7 H. K.; HOWARD, E. A.; OLSON S.; PATZ J.; RAMANKUTTY N.; SNYDER P.  
8 Amazonia revealed: forest degradation and loss of ecosystem goods and  
9 services in the Amazon Basin. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v.  
10 5, n. 1, p. 25-32, 2007.
- 11 GAUTHIER, C.; MORAN, E. F. Public policy implementation and basic sanitation  
12 issues associated with hydroelectric projects in the Brazilian Amazon: Altamira  
13 and the Belo Monte dam. **Geoforum**, v. 97, p. 10-21, 2018.
- 14 GIBBS, H. K.; MUNGER, J.; L'ROE, J.; BARRETO, P.; PEREIRA, R.; CHRISTIE,  
15 M., ... & WALKER, N. F. Did ranchers and slaughterhouses respond to zero-  
16 deforestation agreements in the Brazilian Amazon? *Conservation Letters*, v. 9, n.  
17 1, p. 32-42, 2016.
- 18 GIBBS, H. K.; RAUSCH, L.; MUNGER, J.; SCHELLY, I.; MORTON, D. C.,  
19 NOOJIPADY, P. & WALKER, N. F. Brazil's soy moratorium. **Science**, v. 347, n.  
20 6220, p. 377-378, 2015.
- 21 GOLLNOW, F.; HISSA, L. D. B. V.; RUFIN, P.; LAKES, T; Property-level direct  
22 and indirect deforestation for soybean production in the Amazon region of Mato  
23 Grosso, Brazil. **Land use Policy**, v. 78, p. 377-385, 2018.
- 24 INPE 2020. Projeto PRODES: Monitoramento da Floresta Amazônica  
25 Brasileirapor satélite  
26 <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes> I.Acessado  
27 em 03/01/20120.
- 28 KLINGLER, M; RICHARDS, Pe D.; OSSNER, R. Cattle vaccination records  
29 question the impact of recent zero-deforestation agreements in the Amazon.  
30 **Regional Environmental Change**, v. 18, n. 1, p. 33-46, 2018.
- 31 LIMA, M.; DA SILVA JUNIOR, C. A.; RAUSCH, L.; GIBBS, H. K.; & JOHANN, J.  
32 ADemystifying sustainable soy in Brazil. **Land Use Policy**, v. 82, p. 349-352,  
33 2019
- 34 MAMMADOVA, A.; BEHAGEL, J.; MASIERO, M. Making deforestation risk  
35 visible. Discourses on bovine leather supply chain in Brazil. **Geoforum**, 2020.

- 1 MARTINELLI, L. A.; BATISTELLA, M.; SILVA, R. F. B. D.; MORAN, E. Soy  
2 expansion and socioeconomic development in municipalities of Brazil. **Land**, v.  
3 6, n. 3, p. 62, 2017.
- 4 MILIEN, E. J., DA SILVA ROCHA, K.; BROWN, I. F.; PERZ, S. G. ROADS,  
5 Deforestation and the mitigating effect of the Chico Mendes Extractive Reserve  
6 in the southwestern Amazon. **Trees, Forests and People**, p. 100056, 2020.
- 7 NEILL, C.; JANKOWSKI, K.; BRANDO, P. M.; COE, M. T.; DEEGAN, L. A.;  
8 MACEDO, M. N.; KRUSCHE, A. V. Surprisingly Modest Water Quality Impacts  
9 From Expansion and Intensification of Large-Scale Commercial Agriculture in the  
10 Brazilian Amazon-Cerrado Region. **Tropical Conservation Science**, v. 10, p.  
11 194, 2017.
- 12 NEPSTAD, D.; MCGRATH, D.; STICKLER, C.; ALENCAR, A.; AZEVEDO, A.;  
13 SWETTE, B., & HESS, L. Slowing Amazon deforestation through public policy and  
14 interventions in beef and soy supply chains. **Science**, v. 344, n. 6188, p. 1118-  
15 1123, 2014.
- 16 NOBRE, C.A.; BORMA, L. S. 'Tipping points' for the Amazon forest. **Current**  
17 **Opinion in Environmental Sustainability**, v. 1, n. 1, p. 28-36, 2009.
- 18 ORTEGA, A.; M.; FEITOSA, Q.; R., HAPP, N. P.; DE ALMEIDA, A.; C.; GOMES,  
19 R. A. Evaluation of Deep Learning Techniques for Deforestation Detection in the  
20 Brazilian Amazon and Cerrado Biomes From Remote Sensing Imagery. **Remote**  
21 **Sensing**, v. 12, n. 6, p. 910, 2020.
- 22 PENDRILL, F.; PERSSON, U. M.; GODAR, J.; KASTNER, T. Deforestation  
23 displaced: trade in forest-risk commodities and the prospects for a global forest  
24 transition. **Environmental Research Letters**, v. 14, n. 5, p. 055003, 2019
- 25 PEREIRA, E. J. D. A. L.; DE SANTANA RIBEIRO, L. C., DA SILVA FREITAS, L.  
26 F.; DE BARROS PEREIRA, H. B. Brazilian policy and agribusiness damage the  
27 Amazon rainforest. **Land Use Policy**, v. 92, p. 104491, 2020.
- 28 PICOLI, M. C. A.; CAMARA, G.; SANCHES, I.; SIMÕES, R.; CARVALHO, A.,  
29 MACIEL, A., ... & ALMEIDA, C. Big earth observation time series analysis for  
30 monitoring Brazilian agriculture. **ISPRS Journal of Photogrammetry and**  
31 **Remote Sensing**, v. 145, p. 328-339, 2018
- 32 RAJÃO, R.; SOARES-FILHO, B.; NUNES, F.; BÖRNER, J.; MACHADO, L.,  
33 ASSIS, D.; & FIGUEIRA, D. The rotten apples of Brazil's agribusiness. **Science**,  
34 v. 369, n. 6501, p. 246-248, 2020.
- 35 RAUSCH, L. L.; GIBBS, H. K. Property arrangements and soy governance in the  
36 Brazilian state of Mato Grosso: Implications for deforestation-free  
37 production. **Land**, v. 5, n. 2, p. 7, 2016.
- 38 RAVIKUMAR, A.; SEARS, R. R.; CRONKLETON, P.; MENTON, M.; PÉREZ-  
39 OJEDA DEL ARCO, M. Is small-scale agriculture really the main driver of

1 deforestation in the Peruvian Amazon? Moving beyond the prevailing  
2 narrative. **Conservation Letters**, v. 10, n. 2, p. 170-177, 2017.

3 SAUER, S. Soy expansion into the agricultural frontiers of the Brazilian Amazon:  
4 The agribusiness economy and its social and environmental conflicts. **Land Use**  
5 **Policy**, v. 79, p. 326-338, 2018.

6 SILVA JUNIOR, C; LIMA, M. Soy Moratorium in Mato Grosso: deforestation  
7 undermines the agreement. **Land Use Policy**, v. 71, p. 540-542, 2018.

8 SONTER, L. J.; HERRERA, D.; BARRETT, D. J.; GALFORD, G. L.; MORAN, C.  
9 J.; SOARES-FILHO, B. S. Mining drives extensive deforestation in the Brazilian  
10 Amazon. **Nature Communications**, v. 8, n. 1, p. 1-7, 2017.

11 WALKER, R.; SIMMONS, C. Endangered Amazon: an indigenous tribe fights  
12 back against hydropower development in the Tapajós Valley. **Environment:**  
13 **Science and Policy for Sustainable Development**, v. 60, n. 2, p. 4-15, 2018.

14 ZU ERMGASSEN, E. K.; AYRE, B.; GODAR, J.; LIMA, M. G. B.; BAUCH, S.,  
15 GARRETT, R.; & GARDNER, T. Using supply chain data to monitor zero  
16 deforestation commitments: an assessment of progress in the Brazilian soy  
17 sector. **Environmental Research Letters**, v. 15, n. 3, p. 035003, 2020.

18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45

1        **3. CAPÍTULO**

2

3

4

5

6

7

8

9        **3.1. MORATÓRIA DA SOJA NA AMAZÔNIA: IMPACTOS E A EXPANSÃO**  
10       **DO DESMATAMENTO ANTES E APÓS O ACORDO**

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26       <sup>1</sup> Artigo submetido no periódico “nome do periódico”

## 1 **Introdução**

2 A crescente demanda de soja para o mercado externo, a disponibilidade  
3 de terras e tecnologia possibilitaram que o Brasil se tornasse o maior exportador  
4 mundial desta commodity, com uma área plantada na safra 2020/2021 de 38,8  
5 milhões de hectares (Mha) (CONAB, 2020). Parte desta expansão ocorreu às  
6 custas de muito desflorestamento, principalmente no Cerrado e na Amazônia,  
7 cujos biomas continuam a ser suas áreas de fronteira agrícola (LIMA et al.,  
8 2019).

9 Os desflorestamentos na Amazônia causaram comoção internacional que  
10 resultou na Moratória da Soja (MS) em 2006, o primeiro acordo de  
11 desmatamento zero nos trópicos (GIBBS et al., 2015). Neste acordo, a ABIOVE  
12 (Associação Brasileira da Indústria de Óleos Vegetais) e ANEC (Associação  
13 Nacional dos Exportadores de Cereais), em parceria com governo federal e  
14 sociedade civil organizada, se comprometeram a não adquirir mais soja oriunda  
15 de áreas desflorestadas na Amazônia após 24 de julho de 2006. Esta data  
16 posteriormente mudou e passou a vigorar 22 de julho de 2008. A partir daí as  
17 palavras “sustentabilidade” e “moratória” passaram a fazer parte obrigatória do  
18 agronegócio brasileiro.

19 Rudorff et al. (2011) avaliaram a safra 2009/2010, com a utilização de  
20 imagens de sensoriamento remoto e levantamento aéreo, onde foi verificada a  
21 conversão de apenas 6.3 mil hectares de soja em áreas desflorestadas (  
22 Segundo os autores este valor, naquela ocasião, corresponderia a apenas  
23 0.25% dos desflorestamentos no bioma após a moratória. Levantamentos anuais  
24 paralelos eram desenvolvidos pela indústria da soja, que estipulou o prazo do  
25 ano de 2016 para o fim da moratória, baseando-se na eficiência de novas  
26 medidas de governança apresentadas pelo governo brasileiro, como o CAR  
27 (Cadastro Ambiental Rural).

28 Estas medidas seriam insuficientes para conter os desflorestamentos sem  
29 a continuidade da MS (GIBBS et al., 2015) e quando completaria 10 anos de  
30 existência foi prorrogada sem data definida para acabar (WWF, 2016). A MS  
31 inibiu os desflorestamentos (HEILMAYR et al., 2020) e apesar de nos dias atuais  
32 somente 1% dos desflorestamentos amazônicos serem atribuídos a esta cultura,  
33 soja ilegal ainda continua sendo exportada (RAJÃO et al., 2020). A despeito da

1 grande maioria das propriedades amazônicas produzirem soja de acordo com a  
2 MS e somente uma minoria não o fazer, os mercados consumidores continuam  
3 exigindo cada vez mais garantias de que não estariam adquirindo soja atrelada  
4 a desflorestamentos. Isto ocorre em um momento em que o Brasil volta a assistir  
5 o aumento dos desflorestamentos na Amazônia (INPE, 2020a – 9.026.300 ha de  
6 2008 a 2020) e incêndios generalizados por todo o país (INPE, 2020b- 197.632  
7 focos de incêndios em 2020).

8 A resposta da União Europeia, por exemplo, foi a de não querer assinar o  
9 tratado comercial “Mercosur Trade”, devido à corrente degradação ambiental na  
10 Amazônia, a produção de commodities às custas de florestas e ao  
11 comprometimento ao Acordo de Paris (VALOR GLOBO, 2020). As exigências  
12 agora não se limitam apenas ao bioma Amazônia, mas estão se estendendo  
13 também ao bioma Cerrado, que concentra a maior produção de soja brasileira.  
14 A ABIOVE recebeu um documento representando 159 empresas europeias  
15 exigindo adoção imediata de políticas de compra com zero de desmatamento na  
16 soja originada no Cerrado brasileiro (ABIOVE, 2020).

17 Para que as companhias exportadoras brasileiras possam atender as  
18 exigências ambientais de seus clientes no exterior, elas precisam ter uma boa  
19 certificação da origem de seus produtos e uma boa base de dados de  
20 imageamento orbital. Heilmayr et al. (2020) utilizaram a base de dados disponível  
21 no site do MAPBIOMAS, e Rajão et al. (2020) utilizaram dados do PRODES para  
22 avaliar a MS. Os objetivos desse trabalho foram (i) mapear o desmatamento  
23 ocorrido na Amazônia brasileira entre os anos 2001 a 2018, usando uma série  
24 temporal de imagens de sensores e (ii) verificar a eficácia da MS para a  
25 contenção da substituição de florestas em culturas de soja na Amazônia  
26 brasileira.

27

28

29

30

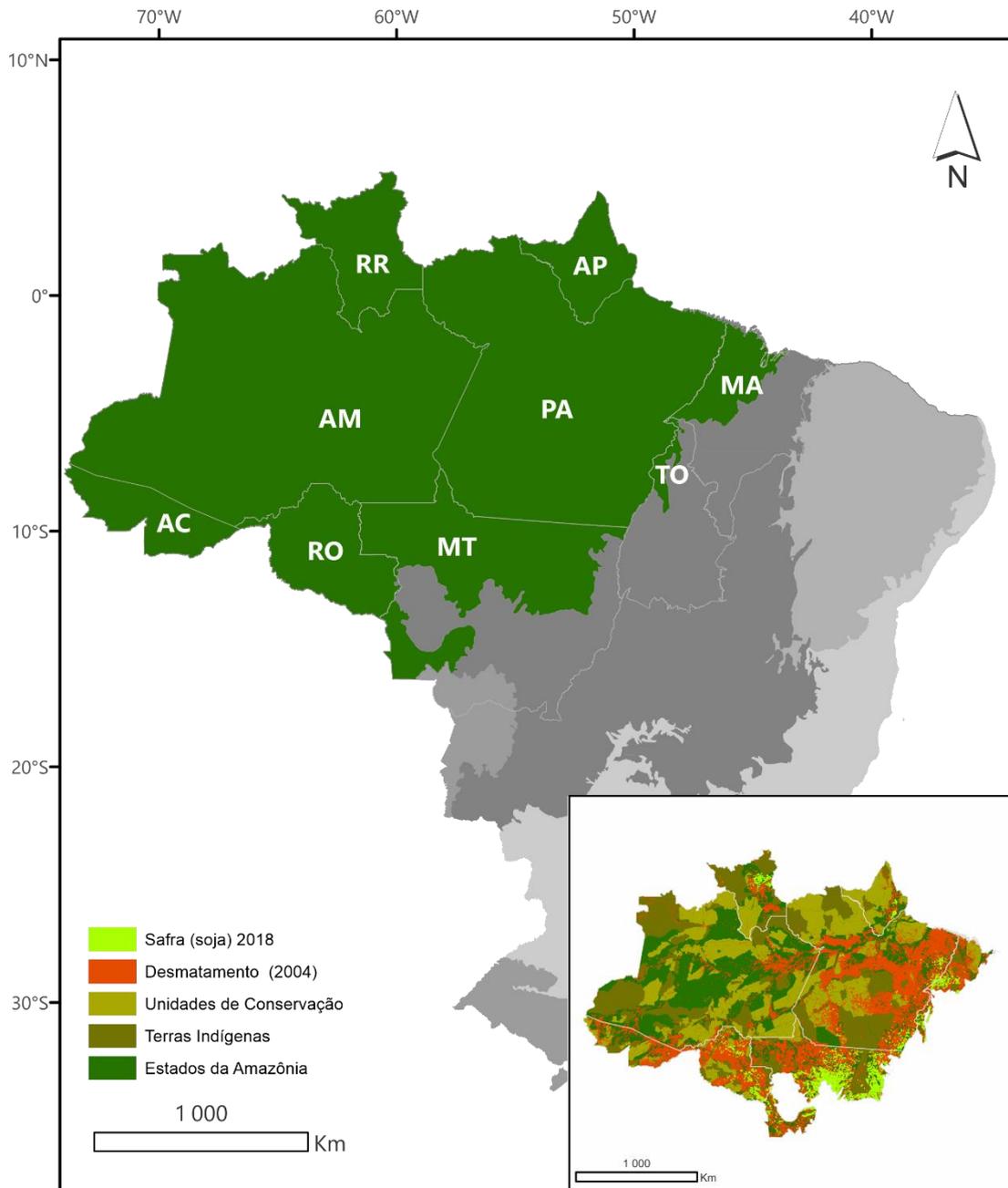
31

## 1 **Material e Métodos**

### 2 **Área de Estudo**

3           A área de estudo compreende o bioma da Amazônia brasileira, localizado  
4 entre 09°00' a 18°00'S e 49°00' a 61°00'W (Figura 1). Com uma área aproximada  
5 de 4.196.943 km<sup>2</sup>, ocupa aproximadamente 49,3% do território nacional, abrange  
6 por inteiro os estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Roraima e Rondônia  
7 (99%) e ainda ocupa partes dos estados do Mato Grosso (54%), Maranhão  
8 (34%) e Tocantins (9%) (IBGE, 2020).

9           O clima na região prevalece o tropical super-úmido de monção, com  
10 elevada temperatura média anual, superior a 24°C e alta pluviosidade (2.000 mm  
11 ano<sup>-1</sup>); e o clima tropical, com chuvas de verão e inverno seco, caracterizado por  
12 médias de 23 °C no planalto, que segundo a classificação de Köppen-Geiger  
13 são: “Am” (clima de monção) e “Aw/As” (clima tropical com estação seca)  
14 (JONES & CARVALHO, 2002).



2 **Figura 1-** Área de estudo compreendendo os nove estados da Amazônia  
 3 brasileira.

4

## 5 **Imagens de Sensores**

6

7 As imagens orbitais remotamente sensoriadas foram obtidas através do  
 8 banco de dados Global Forest Change (GFC). O GFC é um banco de dados que  
 9 disponibiliza os resultados da série temporal de imagem Landsat mapeamento e  
 10 caracterização e mudança da floresta global entre 2000 a 2019. Este conjunto  
 de dados é dividido em blocos de 10 x10 graus, consistindo em sete arquivos

1 por bloco. Todos os arquivos contêm valores de 8 bits não assinados e têm uma  
2 resolução espacial de um segundo de arco por pixel, ou aproximadamente 30  
3 metros por pixel no equador (HANSEN et al., 2013).

4 O ano de 2000 é definido como treecover2000, ou seja, cobertura da copa  
5 das árvores para aquele ano, definida como o fechamento da copa para a  
6 vegetação com mais de 5 m de altura e é codificado como uma porcentagem por  
7 célula da grade de saída, no intervalo de 0–100. A perda da cobertura florestal  
8 durante o período da série temporal foi definida com um distúrbio de povoamento  
9 ou uma mudança do estado florestal para um estado não florestal. Foi codificado  
10 como 0 (sem perda) ou então um intervalo de valor de 1-17, no qual representa  
11 perda. As áreas sem dados (0), são representadas por três valores. São eles a  
12 superfície de terra mapeada (1) e os corpos de água prementes (2) (HANSEN et  
13 al., 2013).

14 Se não houvesse imagens sem nuvens do ano 2000 (ano de referência)  
15 disponíveis, então eram obtidas imagens dos anos mais próximos, no período  
16 dos anos de 1999 a 2012. O mesmo vale para o último ano da série temporal,  
17 onde as imagens do último ano apresentassem nuvem, eram desconsideradas  
18 e obtidas no período de 2010 a 2015 (HANSEN et al., 2013).

19 As imagens de referência são observações medianas de um conjunto de  
20 observações de estação de crescimentos. Essas imagens são avaliadas com  
21 qualidade em quatro bandas espectrais, as bandas do Landsat 3, 4, 5 e 7. Os  
22 valores de refletância normalizados, da parte superior da atmosfera ( $\rho$ ) foram  
23 escalados para um intervalo de dados de 8 bits usado um fator de escala ( $g$ ).  
24 (HANSEN et al., 2013) (Equação 1).

$$25 \quad DN = \rho \cdot g + 1 \quad (1)$$

26 em que: DN é conversão dos valores digitais brutos (DN) para reflectância da  
27 atmosfera (TOA) -  $\rho$  valores de refletância normalizados, da parte superior da  
28 atmosfera.

29 O fator  $g$  foi escolhido independentemente para cada banda para  
30 preservar a faixa dinâmica específica da banda, desse modo a banda 3  
31 (vermelho) fator  $g$  foi 508, a banda 4 (NIR) 254, banda 5 (SWIR) 365 e a banda  
32 7 (SWIR) foi 423 (HANSEN et al., 2013).

## 1 **Pré-Processamento da Imagem Multiespectral**

2 A mosaicagem das imagens raster Landsat do banco de dados GFC foi  
3 feita no software Arcgis®. Após isso, para a conversão dos dados em  
4 informações codificados em documentos nas formas de mapas, figuras e  
5 tabelas, as imagens foram submetidas a classificação. Posteriormente as  
6 imagens foram vetorizadas, com o intuito de transformar os pixels em polígonos,  
7 sendo ambos os processos realizados no software ENVI®. Posteriormente,  
8 foram realizados os cálculos das áreas dos polígonos e a confecção de mapas,  
9 ambos através do software Arcgis®.

10

## 11 **Deteccção das Áreas de Soja**

12 Um dos primeiros aspectos a serem considerados no mapeamento  
13 remotamente da soja é o fato de que sua fenologia é um processo progressivo.  
14 Portanto, a análise de cultivo da soja envolve o uso de uma série-temporal de  
15 imagens de satélite. Para lidar com esta situação, as aquisições das imagens  
16 foram selecionadas cobrindo a área de estudo em diversos períodos de um ano  
17 agrícola, com o objetivo de destacar dinâmica temporal da cultura da soja,  
18 permitindo ao mesmo tempo a melhor distinção de outras classes de cobertura  
19 do solo.

20 O mapeamento da cultura da soja foi feito conforme a metodologia  
21 proposta por Silva Junior et al. (2017). As áreas de cultura de soja foram  
22 mapeadas com imagens orbitais de 5 satélites: Landsat 5 (Thematic Mapper -  
23 TM), Landsat 7 (Enhanced Thematic Mapper Plus - ETM+), Landsat 8  
24 (Operational Land Imager - OLI e Thermal Infrared Sensor - TIRS) e  
25 TERRA/AQUA (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer - MODIS), por  
26 meio do uso de bandas espectrais.

27 Com base no calendário da cultura de soja dos estados do Acre, Amapá,  
28 Mato Grosso, Pará, Roraima e Tocantins, foi obtido o *Perpendicular Crop*  
29 *Enhancement Index* (PCEI) desenvolvido por Silva Junior et al. (2017). No  
30 estágio inicial da cultura de soja as reflectâncias registradas pelo sensor podem  
31 interferir nos valores de PCEI, uma vez que o solo estará sem cultivo.

32 Contudo, para evitar essa interferência foi aplicado o Perpendicular  
33 Vegetation Index (PVI) e utilizadas as bandas espectrais de vermelho e

1 infravermelho para regressão em linha da terra, como descrito por Nanni &  
2 Demattê (2006).

3

#### 4 **Cálculo dos Índices de Vegetação**

5 A preferência de intervalos temporais foi com base no calendário agrícola  
6 da cultura da soja. Em agosto inicia o preparo do solo (correção e adubação),  
7 seguido de final de março (dessecação e colheita) e o início do período de  
8 semeadura, entre outubro e novembro. Com o resultado destes valores, então  
9 foram calculados os índices:

10 • PCEI (*Perpendicular Crop Enhancement Index*) (SILVA JUNIOR et al.,  
11 2017).

12

13 • PVI (*Perpendicular Vegetation Index*) (RICHARDSON & WIEGAND,  
14 1977).

15

16 Para os valores dos índices PVI e PCEI, ambos utilizam valores de  
17 reflectância centrados nos comprimentos de onda do vermelho (Banda espectral  
18 4) e infravermelho próximo (Banda espectral 5) e podem variar entre -1 e 1, o  
19 que possibilita verificar grandes diferenças positivas entre o máximo e o mínimo  
20 do observado ao longo do ciclo da soja. Valores elevados de PCEI (Equação 2)  
21 indicam probabilidade de a reflectância do pixel ser o da cultura da soja.

$$22 \text{ PCEI} = g \cdot \frac{\left( \text{Max} \frac{\rho_{\text{IVP}} - a\rho_{\text{V}} - b}{\sqrt{1 + a^2}} + S \right) - \left( \text{Min} \frac{\rho_{\text{IVP}} - a\rho_{\text{V}} - b}{\sqrt{1 + a^2}} + S \right)}{\left( \text{Max} \frac{\rho_{\text{IVP}} - a\rho_{\text{V}} - b}{\sqrt{1 + a^2}} + S \right) + \left( \text{Min} \frac{\rho_{\text{IVP}} - a\rho_{\text{V}} - b}{\sqrt{1 + a^2}} + S \right)} \quad (2)$$

23 Em que: MaxPVI - valor máximo de PVI observado no período de máximo  
24 desenvolvimento da cultura da soja; MinPVI - valor mínimo de PVI observado no  
25 período de pré-plantio e/ou emergência; S - coeficiente de realce ( $10^2$ ); g - fator  
26 de ganho ( $10^2$ ).

27 Após os tratamentos realizados nas imagens OLI-L8 foi aplicado para  
28 detecção de mudança na classe floresta o Índice Normalizado por Diferença de

1 Fração (NDFI), proposto por Souza et al. (2005), apoiado no Modelo Linear de  
 2 Mistura Espectral (MLME) (Equação 2). Este algoritmo visa estimar a proporção  
 3 dos componentes, tais como solo, sombra, vegetação sadia e vegetação  
 4 fotossinteticamente não ativa de cada pixel, a partir da resposta espectral nas  
 5 diversas bandas espectrais do OLI, gerando as imagens fração  
 6 (SHIMABUKURO & SMITH, 1991). Os procedimentos do MLME estão descritos  
 7 abaixo (Equação 3 e 4), em que o modelo assume que os espectros de imagem  
 8 são formados por combinações lineares de n espectros puros. Neste caso, o  
 9 NDFI irá apoiar a vetorização dos desmatamentos entre 2000 a 2018, em que  
 10 um total de 5035 imagens serão necessárias para comparação da supressão  
 11 anual da vegetação.

$$12 \quad R_n = \sum_{i=1}^n F_i R_{i,b} + \varepsilon_b \quad (3)$$

13

$$14 \quad \sum_{i=1}^n F_i = 1 \quad (4)$$

15 Em que,  $R_b$  é a reflectância na banda  $b$ ,  $R_{i,b}$  é a reflectância para o usuário  $i$ , na  
 16 banda espectral  $b$ ,  $F_i$  é a fração do endmember  $i$ , e  $\varepsilon_b$  é o erro residual para cada  
 17 banda. O erro do MLME será estimado para cada pixel de imagem pelo EMQ,  
 18 fornecido pela Equação 5.

$$19 \quad EMQ = [n^{-1} \sum_{b=1}^n \varepsilon_b^2]^{1/2} \quad (5)$$

20 O modelo será então aplicado a cada imagem de cada banda espectral  
 21 utilizando as sete bandas do OLI e endmembers selecionados na própria  
 22 imagem (Equação 6).

$$23 \quad NDFI = \frac{VS_{Sombra} - (VFN + Solo)}{VS_{Sombra} + VFN + Solo} \quad (6)$$

24

25 Em que, VFN é a Vegetação Fotossinteticamente Não Ativa,  $VS_{Sombra}$  é a  
 26 fração de VS (Vegetação Sadia) normalizada pela sombra dada pela Equação  
 27 7.

$$28 \quad VS_{Sombra} = \frac{VS}{100 - Sombra} \quad (7)$$

29

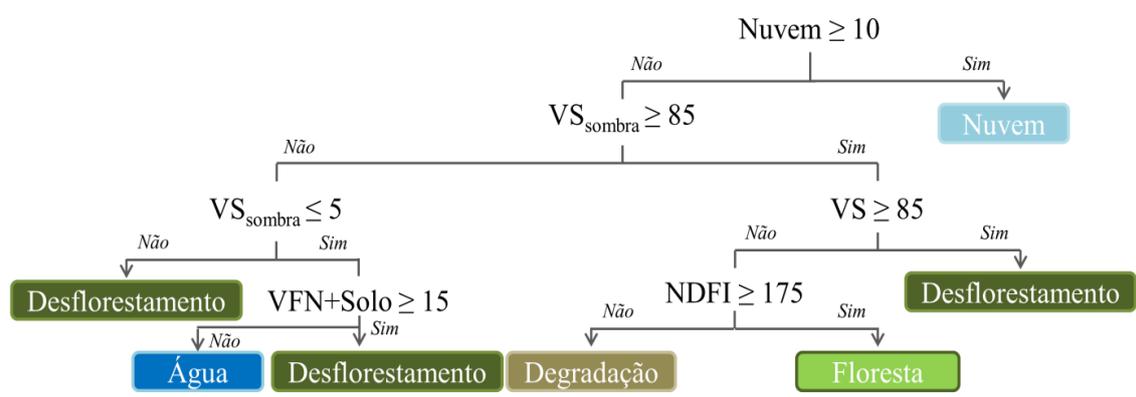
30 Os valores de NDFI variam de -1 a 1, em que floresta intacta apresenta  
 31 altos valores (próximo de 1) devido à combinação de alto padrão de VS (isto é,  
 32 alto teor de VS e sombra do dossel) e baixos valores de VFN e solo. À medida

1 que a floresta se torna degradada, o VFN e as frações do solo aumentam devido  
 2 à diminuição da cobertura do dossel, reduzindo os valores de NDFI em relação  
 3 às florestas intactas (SOUZA JUNIOR et al., 2013). Os mesmos autores propõem  
 4 um modelo de árvore de decisão empírico para detecção de desflorestamento,  
 5 que no geral traduzem as respostas biofísicas da vegetação (Figura 2).

6 As variáveis designadas para o Algoritmo de Classificação, são indicadas  
 7 no nó inicial e no nó final, as classes finais (SOUZA JUNIOR et al., 2013). O  
 8 primeiro passo foi o mascaramento das áreas com nuvem, onde foi usado a  
 9 fração de nuvem (*Nuvem*) com variável de entrada obtidas através da Análise de  
 10 Mistura Espectral. (SOUZA JUNIOR et al., 2013). Desse modo quando *Nuvem* ≥  
 11 10%, os pixels foram classificados com nuvem que estabelece um nó final  
 12 (SOUZA JUNIOR et al., 2013). Quando os pixels não atendiam essa situação,  
 13 ganharam a classificação sem nuvem. Os pixels com VS ≥ 85% são associados  
 14 a lavouras e florestas secundárias jovens (Áreas desmatadas) SOUZA JUNIOR  
 15 et al., 2013)

16 Os pixels com VNDFI ≥ 0,75, receberam classificação de floresta a  
 17 variável NDFI foi redimensionada para 0-200, o que significa que NDFI ≥ 175  
 18 representa NDFI ≥ 0,75). Em seguida, os pixels florestados que não satisfizeram  
 19 “NDFI ≥ 0,75” (valores baixos de NDFI) tiveram classificação como degradação.  
 20 A classe Água foi obtida com baixos valores de VFM (SOUZA JUNIOR et al.,  
 21 2013)

22



23  
 24 Figura 2. Árvore de decisão empírica proposta por SOUZA JUNIOR et al. (2013)  
 25 usada para classificar o desmatamento e a degradação florestal. A variável NDFI  
 26 foi redimensionada para 0-200, significando que NDFI ≥ 175 se traduz em NDFI  
 27 ≥ 0,75.4.

## 1 **Soja em área de desmatamento**

2 As imagens das áreas cultivadas com soja na Amazônia foram obtidas a  
3 partir dos anos safras após a Moratória da Soja de 2008/2009 até os anos safras  
4 de 2017/2018.

5 Para evitar possíveis erros de mapear outras culturas perenes, a não ser  
6 a soja, fizemos um fatiamento excluindo áreas menores que 100 hectares,  
7 mapeando assim, apenas os polígonos maiores que 100 ha.

8 As imagens das áreas cultivadas com soja foram obtidas a partir do ano  
9 vigente da moratória, ou seja, a partir dos anos safras 2008/2009

10 Os polígonos maiores que 100 ha de soja cultivadas em áreas de  
11 desmatamentos foram obtidos através do Intersect, entre as imagens  
12 vetorizadas de desmatamentos, oriundas do banco de dados GFC, com os  
13 vetores das áreas de soja. Posteriormente, foram realizados os cálculos das  
14 áreas dos polígonos e a confecção de mapas, ambos através do software  
15 Arcgis®.

16 No estado do Maranhão foram mapeados menos de 1000 ha, por esse  
17 motivo não consideramos esse estado.

## 19 **Análise Estatística dos Dados**

20 Inicialmente, foram construídos boxplots para demonstrar o comportamento  
21 das variáveis avaliadas ao longo da série temporal. Para verificar a tendência  
22 das variáveis ao longo da série temporal foi aplicado o teste de Man-Kendall,  
23 seguido do teste de Pettitt para identificar o provável ponto de mudança quando  
24 a tendência é significativa. Em todos os casos adotou-se o nível de 5% de  
25 significância para os testes estatísticos realizados.

26 Posteriormente, foram gerados clusters dos estados utilizando os dados de  
27 desmatamento total (área em ha), desmatamento em terras indígenas (TI) e  
28 desmatamento em unidades de conservação (UC). Para isso, foi utilizada a  
29 distância Euclidiana e o método hierárquico de Ward. Todas as análises foram  
30 realizadas com software R com auxílio dos pacotes “ggplot2”, “trend”,  
31 “ManKendall” e “factoextra”.

## 33 **Estimativa de Densidade de Kernel**

1 A estimativa de densidade de kernel (KDE), ou janela de Parzen  
2 (PARZEN, 1962), é uma das maneiras mais populares para e determinar a  
3 função de densidade e da probabilidade implícita de um conjunto de dados  
4 (CHEN, 2017). A KDE é um estimador de dados não paramétrico (KIM & SCOT,  
5 2012) no qual aprende automaticamente a forma da densidade dos dados  
6 (CHEN, 2017). O estimador densidade de Kernel é definido pela Equação 8  
7 (SILVERMAN, 1986):

$$8 \hat{f}(x) = \frac{1}{nh^2} \sum_{i=1}^n k\left\{\frac{x-x_i}{h}\right\} \quad (8)$$

9 Em que: n é o número de pontos observados; h é a largura da banda; k é a  
10 função Kernel; x é o vetor de coordenada que representa a localização do ponto  
11 estimado; e xi é o vetor da i-ésima coordenada que representa cada ponto  
12 observado em relação ao estimado (SILVERMAN, 1986).

13 Foi utilizada a KDE no reconhecimento dos pontos de hotspots de  
14 desmatamento da Amazônia brasileira. Isso possibilita uma melhor visualização  
15 e interpretação da distribuição dos resultados gerados da sobreposição dos  
16 dados vetoriais dos polígonos de desmatamento mapeado no bioma. Assim uma  
17 maior concentração de polígonos terá sua cor destacada. Dessa maneira, no  
18 caso deste trabalho, quando tons mais intensos como os avermelhados e  
19 alaranjados estão presentes, é um indicativo que naquela área existe um  
20 hotspots de desmatamento.

21

## 22 **Diagrama Sankey**

23 Neste estudo, foi utilizado o Digrama de Sankey para analisar a dinâmica  
24 do desmatamento nas Áreas Protegidas, assim como verificar o percentual de  
25 desmatamento que ocorreu durante o período da série temporal, 2001 a 2018,  
26 nas Terras Indígenas e nas Unidades de Conservação. Mapeando visualmente  
27 a origem e quantidade que foi desmatada em cada ano do período estudado.

28 Para a confecção do Diagrama Sankey foi utilizada o programa Excel com  
29 a adição do software Power-user (<https://www.poweruserssoftwares.com/>).

30

31

## 1 **Resultados**

### 2 **Desmatamento Total**

3 Os resultados da análise de detecção de áreas com desmatamento nos  
4 nove estados do bioma Amazônia apontam para um total de 27.584.260 ha  
5 desmatados entre os anos de 2001 a 2018, o que representa 7% da área do  
6 bioma (Material Suplementar 01).

7 Entre os anos de 2001 a 2008, anos que antecederam a MS, foram  
8 desmatados 13.613.099 ha, isso representa um percentual de 49.3% do  
9 desmatamento da série temporal (2001-2018), os anos que tiveram mais  
10 desmatamento antes da MS foram 2004 com 2.254.970 ha, 2005 com 2.127.616  
11 ha e 2002 com 2.031.946 ha (Figura 3-a).

12 Nos anos pós MS, 2009 a 2018, foram desmatados 13.971.161 ha, com  
13 um percentual de 50.65% do total da série temporal. Os três últimos anos da  
14 série temporal foram os anos com as maiores taxas de desmatamentos desse  
15 período, 2016 com 3.135.340 ha desmatados, 2017 com 2.407.683 ha e 2018  
16 com 1.557.893 ha de florestas desmatadas (Figura 3-b).

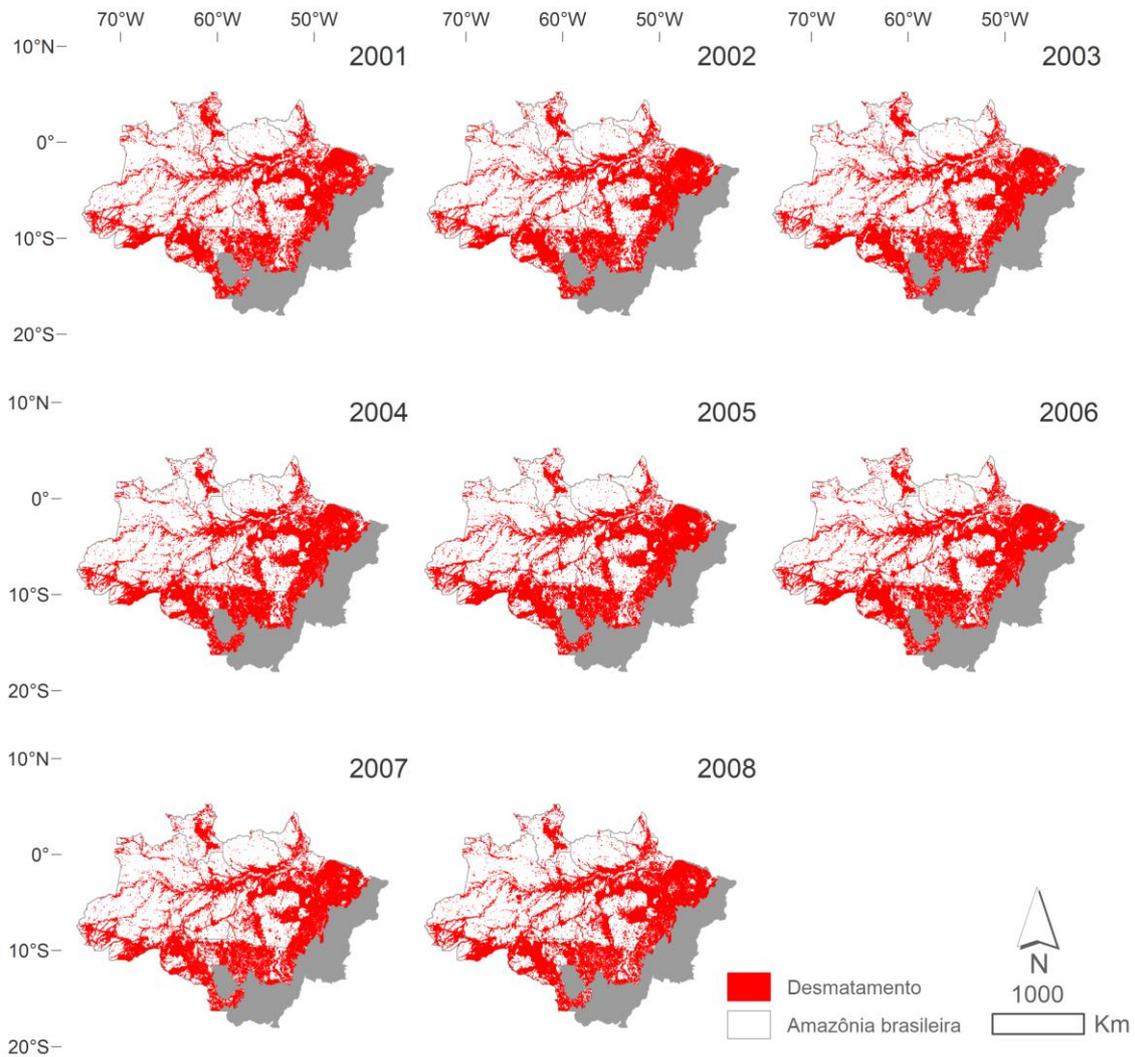
17 Os anos de 2016, 2017, e 2004 foram os anos com as maiores taxas de  
18 desmatamentos quando comparados com a série temporal inteira. 2016 com  
19 3.135.340 ha (11,37%), 2017 com 2.407.684 ha (8,73%) e 2004 com 2.254.970  
20 (8,17%).

21 É possível observar que no início da série temporal até 2005, o percentual  
22 do desmatamento por ano mantinha-se superior a 5%. Após esse período, o  
23 percentual anual de desmatamento começou a declinar radicalmente e em 2013  
24 foi o ano com a menor taxa de desmatamento (2,7%), posteriormente as taxas  
25 de desmatamentos aumentaram (Suplementar 2).

26

27

## Desmatamento Anterior à Moratória da Soja



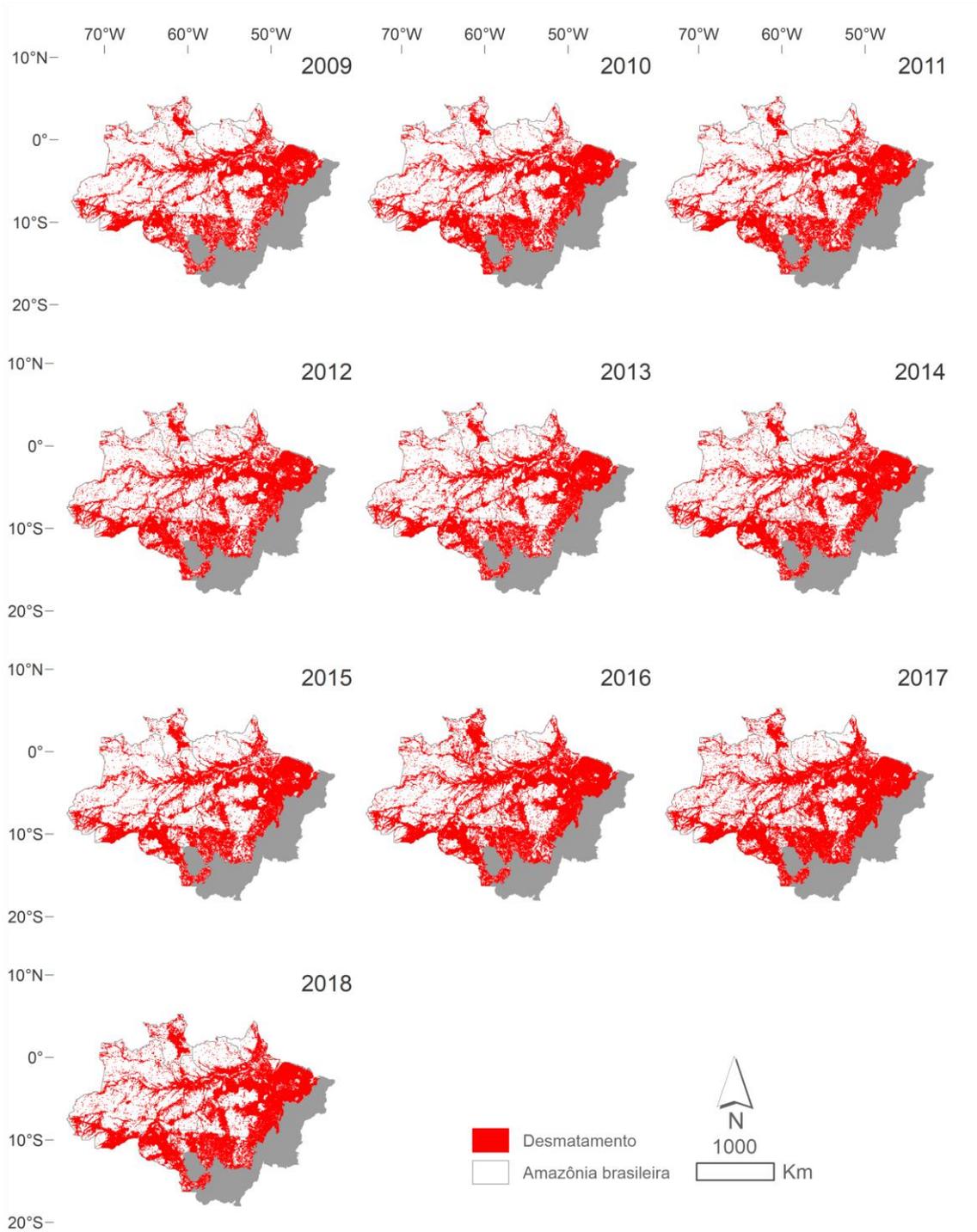
1

2 FIGURA 3-a: Desmatamento anual dos nove estados do bioma Amazônia 2001  
3 a 2008, antes do acordo da Moratória da soja, com dados do Global Forest  
4 Change.

5

6

## Desmatamento Após à Moratória da Soja



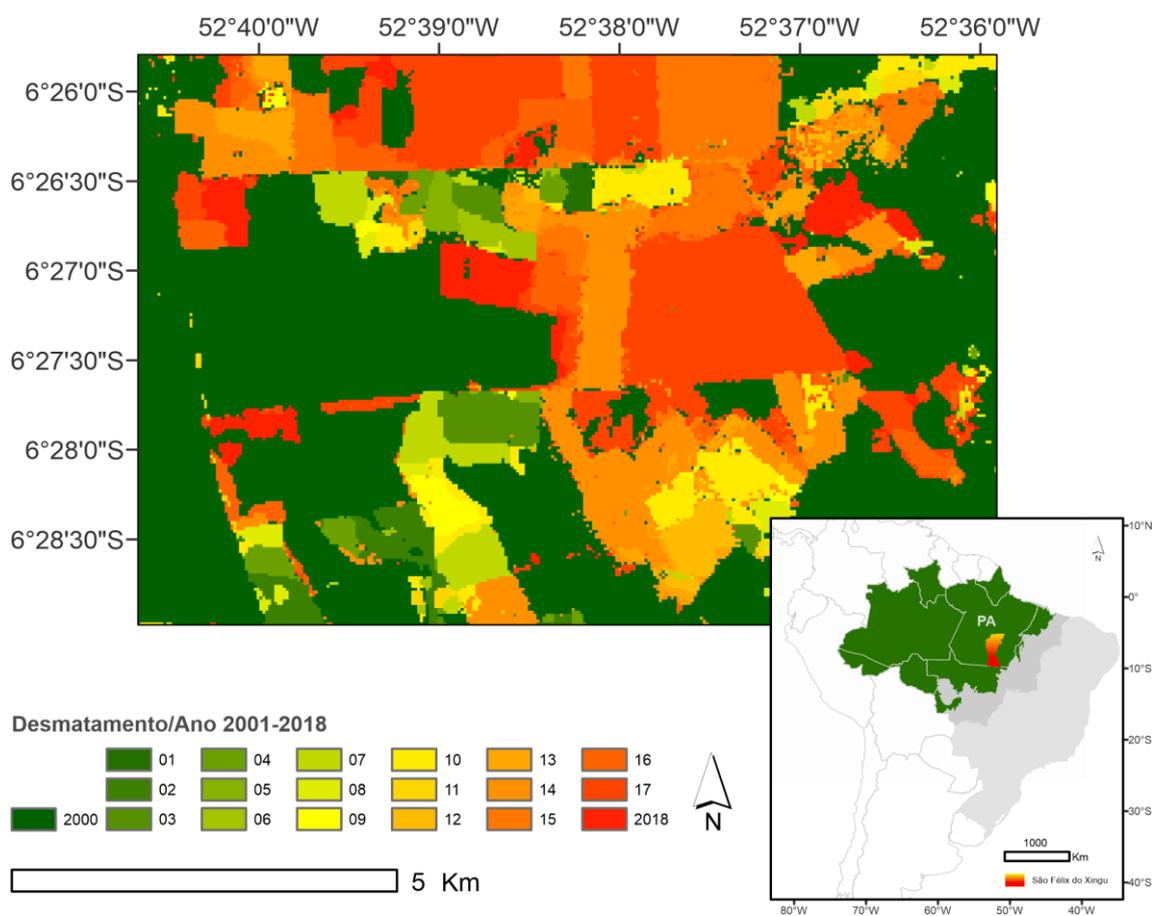
1

2 FIGURA 3-b: Desmatamento anual dos nove estados do bioma Amazônia 2009  
3 a 2018, após o acordo da Moratória da soja, com dados do Global Forest  
4 Change.

5

6

1 Na Figura 4, está reproduzindo o município de São Félix do Xingu -PA, no  
 2 qual é o município com a maior quantidade de áreas desmatadas durante a série  
 3 temporal (1.233.148 ha). Onde está representado todos os anos de  
 4 desmatamentos da série, é possível observar a proximidade das áreas  
 5 desmatadas entre um ano e outro.



6  
 7 FIGURA 4: Desmatamento acumulado de 2001 a 2018, no Município de São  
 8 Félix do Xingu – PR. O ano de 2000 é o ano treecover.

9 Os estados que obtiveram as maiores perdas florestais foram o Pará com  
 10 11.005.392 ha e o Mato Grosso com 7.348.970 ha desmatados em toda a série  
 11 Temporal. Os dois estados juntos representam mais da metade do percentual  
 12 (66.54%) de desmatamento ocorrido no período estudado (Suplementar 3). As  
 13 altas taxas de desmatamento de Pará e Mato Grosso foram as maiores da  
 14 Amazônia antes e após a MS, o estado do Pará desmatou 5.179.105 ha antes  
 15 da MS e após foram 5.826.285 ha e Mato Grosso com 4.474.834 ha antes da  
 16 MS e após a MS com 2.874.135 ha desmatados. Entretanto, o estado de Mato

1 Grosso e Rondônia foram os únicos, em que o desmatamento diminuiu nos anos  
2 após a MS (Material Suplementar 3)

3 A Tabela 1 contém os resultados dos testes de tendência aplicados às  
4 variáveis avaliadas em cada estado da Amazônia. O Estado do Acre não  
5 apresentou tendência significativa para a área total desmatada. Contudo, esse  
6 estado apresentou tendência de acréscimo na área desmatada em TIs e UCs,  
7 onde o ano de 2011 foi o ponto de mudança na série temporal para o  
8 desmatamento ocorrido nas Terras Indígenas e Unidade de Conservação.

9 O estado do Amapá apresentou tendência de acréscimo significativo na  
10 área de desmatamento total e nos APs, com os anos prováveis de mudanças  
11 sendo 2012 para TIs e 2010 para UCs. O estado do Amazonas apresentou  
12 tendência de acréscimo para área total desmatada, Terras Indígenas e para  
13 unidades de Conservação, entretanto só as TIs indicaram um provável ano de  
14 mudança no qual, é o ano de 2008.

15 O estado do Mato Grosso apresentou tendência de acréscimo para área  
16 total desmatada e o provável ano de mudança foi o ano de 2006. O Estado de  
17 Rondônia apresentou tendência significativa apenas para as UCs, entretanto  
18 sem um provável ano de mudança.

19 Roraima e Tocantins não apresentaram tendência significativa para  
20 nenhuma área. Maranhão apresentou tendência de mudança na área total  
21 desmatada e na Terras Indígenas e o provável ano de mudança foi 2012 para  
22 ambas áreas.

23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32

1 A Tabela 1 – Comportamento das variáveis avaliadas ao longo da série temporal  
 2 em função dos estados da Amazônia, na qual, estão representados os resultados  
 3 dos testes de Pettitt e Mann-kendall, para áreas desmatadas.

Estado	Área total			TI			UC		
	MK	PT	Ano	MK	PT	Ano	MK	PT	Ano
Desmatamento total									
AC	0.36	0.45	---	0.00	0.00	2011	0.00	0.03	2011
AP	0.05	0.21	---	0.00	0.05	2012	0.03	0.05	2010
AM	0.01	0.09	---	0.00	0.00	2008	0.00	0.10	---
MA	0.00	0.03	2012	0.07	0.25	---	0.00	0.01	2012
MT	0.03	0.03	2006	0.54	0.61	---	0.59	0.56	---
PA	0.54	0.39	---	0.25	0.28	---	0.82	0.39	---
RO	0.11	0.13	---	0.26	0.28	---	0.01	0.08	---
RR	0.94	0.45	---	0.22	0.23	---	0.44	0.61	---
TO	0.54	0.10	---	0.97	0.74	---	0.88	0.78	---

4

5 Nas Figuras de boxe-plots (Figura 5) é possível observar que estado de  
 6 Mato Grosso e Pará se destacam com as maiores medianas, Além de apresentar  
 7 os maiores valores de desmatamento no limite superior, além disso o estado  
 8 Pará também apresentou *outliers* que são valores fora do intervalo de dados.

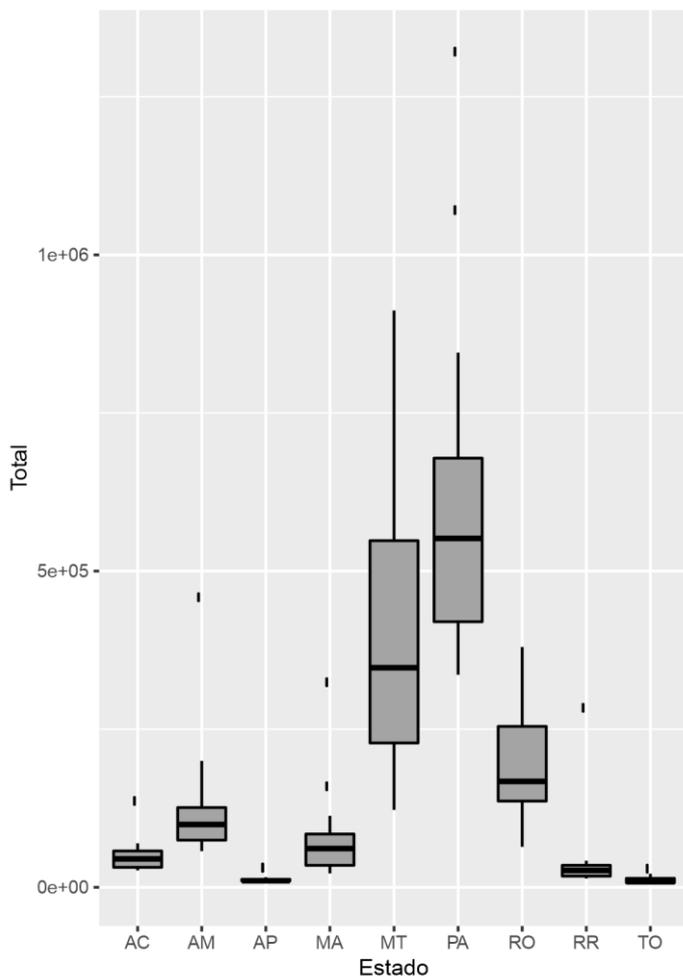
9 O box do estado de Rondônia também se destacou, com seus valores  
 10 concentrados no terceiro quartil e no limite superior. Os estados do Amazonas e  
 11 Maranhão também tiveram destaques além de apresentar *outliers*.

12 Os boxe-plots dos estados do Acre, Roraima, Tocantins, e Amapá,  
 13 apresentaram os menores valores e todos esses estados apresentaram *outliers*.

14

15

16



1

2 Figura 5. Boxplot para as variáveis área total desmatada, em cada estado da  
3 Amazônia.

4 A Figura 6 mostra os pontos com as maiores concentrações de  
5 desmatamento (hotspots) durante a série temporal. A partir de uma interpretação  
6 visual é possível apontar o estado do Pará com a maior concentração de  
7 hotspots, os quais, são possíveis de serem observados em todos os anos  
8 estudados. Para esse estado fica difícil apontar os anos com maiores destaques,  
9 mas os anos de 2004, 2017 e 2018 chamaram bastante atenção. Entre os  
10 municípios que mais destacam-se, temos aproximadamente 30 municípios  
11 próximos ao litoral, nos quais podemos citar Acará, Augusto Correia, Castanhal,  
12 Curaçá e Igarapé-Açu. Também é possível observar um arco vermelho, que  
13 começa no oeste do estado no município de Itaituba e termina no município de  
14 Pacajá (anos iniciais). A fronteira do estado com Maranhão e Tocantins também  
15 ficou bastante evidente em alguns anos como 2015 e 2016.

1 O estado de Rondônia também chama a atenção pela quantidade de  
2 hotspots visíveis ao longo dos anos, pois, foram 12 anos da série temporal que  
3 apresentaram pontos de hotspots. Os anos que se destacaram foram de 2001 a  
4 2006 anteriores à MS e após a MS os anos de 2009, 2011, 2014, 2015 e 2017.  
5 Além disso, o tom amarelado sempre esteve presente no estado. De 2001 a  
6 2003, é possível observar uma enorme mancha vermelha que se inicia nos  
7 municípios Candeias do Jamari e Ipuã do Oeste no norte do estado e termina  
8 nos municípios de Alto Alegre do Parecis e Alta Floresta D' Oeste. Em 2004 a  
9 2005, destacou-se no norte do estado um ponto de hotspots com sete municípios  
10 que abrange Ariquemes, Porto Velho, Alto Paraíso e seus municípios vizinhos.  
11 Rondônia também apresentou no teste Mann-Kendall, tendência significativa  
12 para as UCs, porém esse estado não apresentou um provável ano de mudança.

13 Para o estado do Mato Grosso ocorreram pontos de hotspots nos anos de  
14 2001 a 2007, mas também ficaram bastante evidentes os pontos nos anos de  
15 2010 a 2015 e 2017. Os hotspots são bem evidentes nos municípios de Colniza,  
16 Cotriguaçu, Terra Nova do Norte, Colíder, Guarantã do Norte, Marcelândia,  
17 Matupá, Nova Santa Helena, Novo Mundo e Peixoto de Azevedo, entre outros  
18 municípios com tons menos avermelhados. Além disso, Mato Grosso apresenta  
19 em praticamente toda a série temporal a cor amarelada que cobre a maior parte  
20 da Amazônia no estado. O teste Mann-kendall desse estado foi significativo e  
21 apontou 2006 como o provável ano de mudança.

22 O estado de Roraima apresentou pontos de hotspots em seis anos da  
23 série temporal. Desses, três anos foram antes da MS (2001, 2003, 2007) e os  
24 anos de 2009 e 2016 após a MS. Em Roraima podemos citar os municípios de  
25 Cantá, Caracaraí, Iracema, Mucajaí e Rorainópolis com os que mais se  
26 destacaram nos hotspots.

27 Já para o estado do Acre foram cinco anos com hotspots (2001, 2004  
28 2005, 2008, 2011). Os pontos de desmatamentos concentraram-se nos  
29 municípios de Brasília, Bujari, Capixaba, Plácido de Castro e Senador  
30 Guiomard. No teste de Mann-kendall o estado do Acre apresentou tendência de  
31 acréscimo nas TIs e UCs e o provável ano de mudança foi 2011 para ambas.

32 O estado do Amapá não apresentou hotspots durante os anos estudos,  
33 apenas tons amarelados. Porém, o estado apresentou tendência de acréscimo

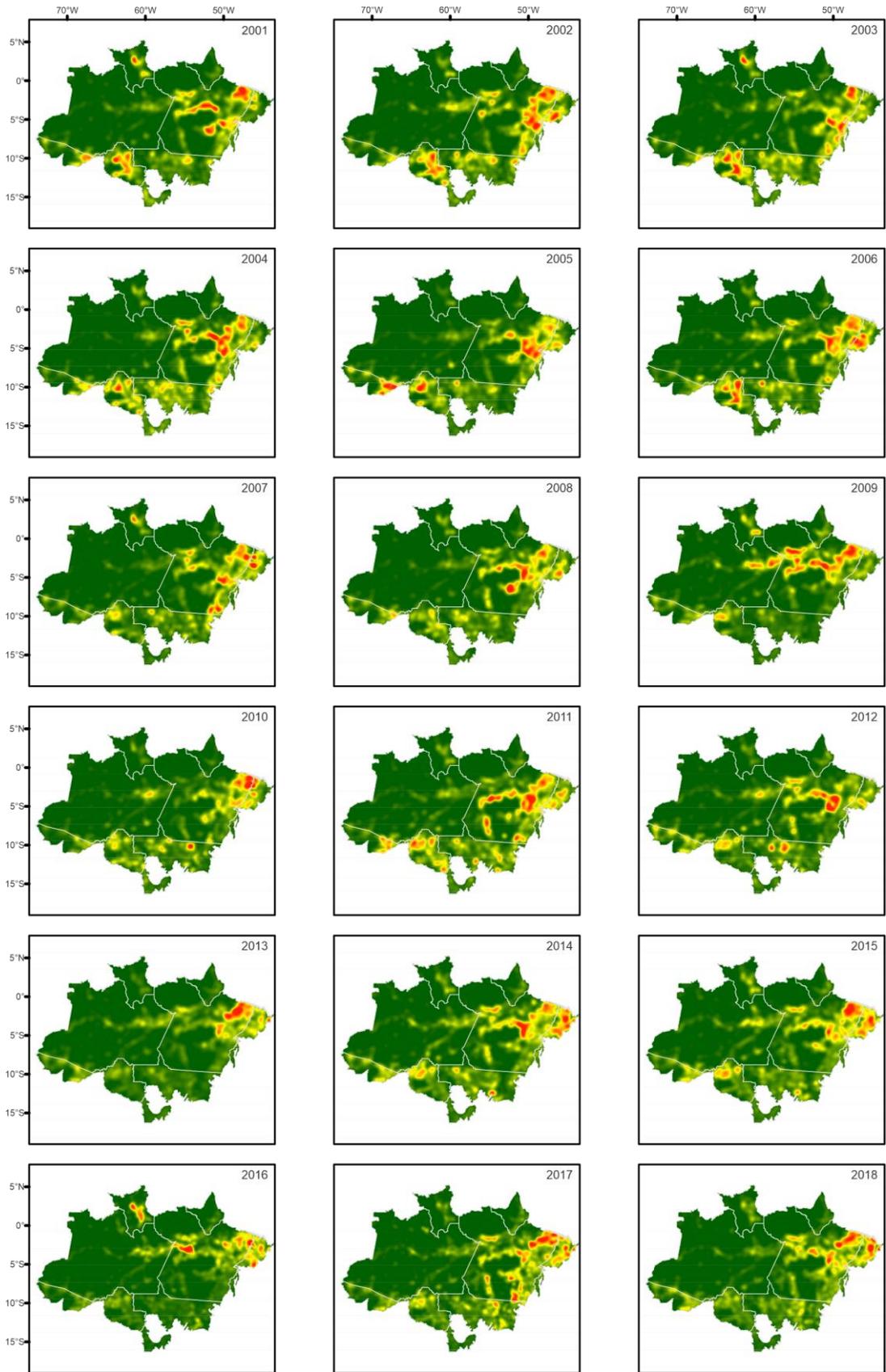
1 nas três áreas: área total desmatada, TIs e UCs e os prováveis anos de  
2 mudanças foram 2012 nas TIs e 2010 nas UCs.

3 O estado do Maranhão apresentou pontos de hotspots em todos os anos  
4 estudados, sendo os anos mais críticos 2014 e 2015. Nesses dois anos  
5 praticamente todo o bioma Amazônia do estado estava coberto de tons  
6 vermelhos e alaranjados. Este estado apresentou tendências de acréscimos  
7 significativas na área total desmatada e nas UCs, com 2012 apontado como o  
8 provável ano de mudanças para as duas áreas.

9 O estado do Amazonas apresentou pontos de hotspots nos anos 2007,  
10 2014, 2015 e 2018. No teste de Mann-kendall o estado do Amazonas apresentou  
11 tendência de acréscimo nas áreas totais desmatadas, nas TIs e nas UCs, sendo  
12 que somente as TIs apresentaram um provável ano de mudança, que foi 2008.

13 Tocantins não teve nenhum ponto na cor vermelha, porém apresentou  
14 durante o período estudado tons amarelados cobrindo a Amazônia no estado.

15



1 Figura 6- Mapas de Densidades de Kernel indicando quais os pontos de hotspot  
2 de desmatamentos entre os anos de 2001 a 2018 nos estados amazônicos.

3

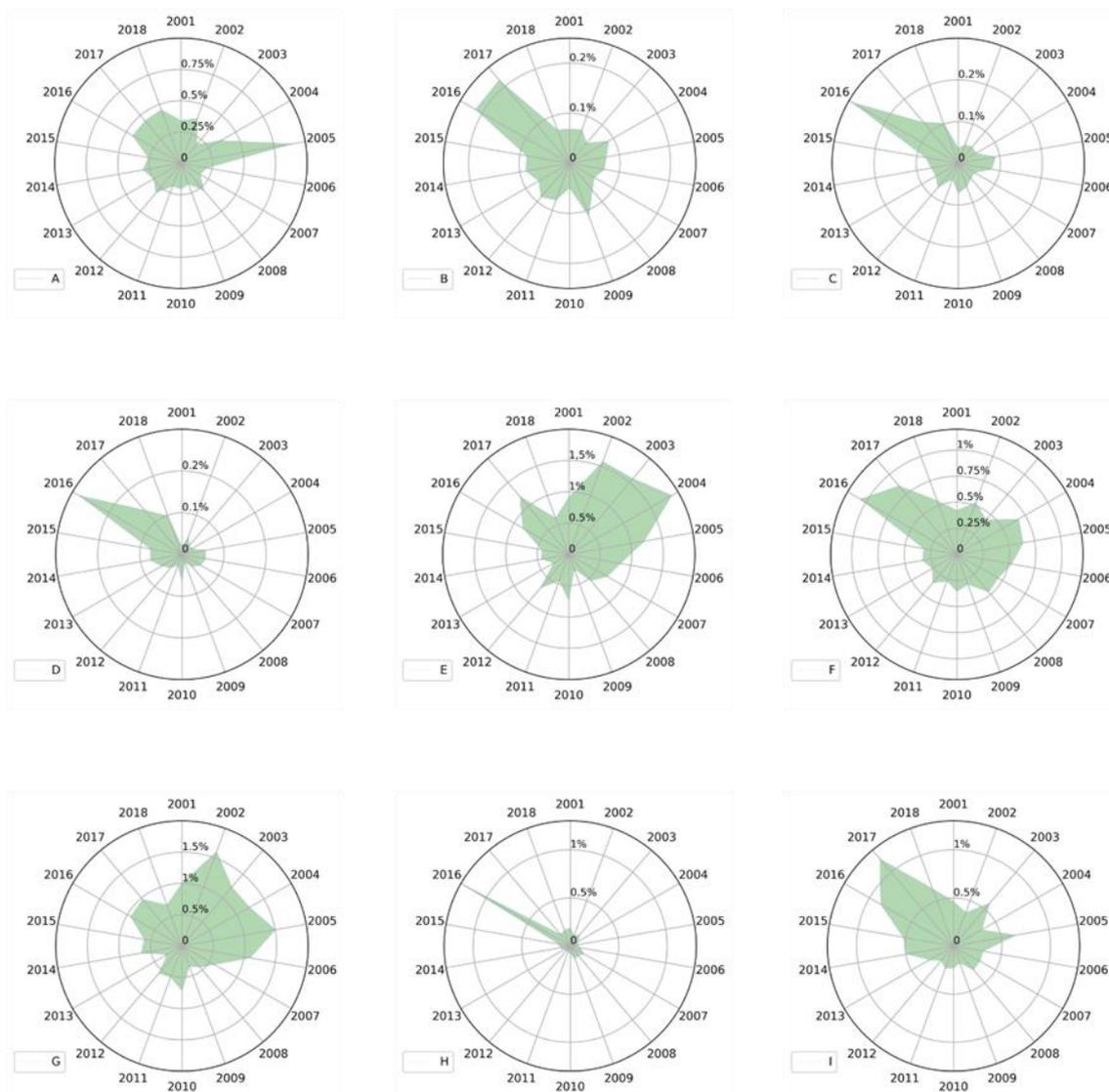
4 Na Figura 7 está atribuída a porcentagem de desmatamento entre os anos  
5 2001 a 2018 em relação ao tamanho da área ocupada pelo bioma no estado. No  
6 estado do Acre (Figura 7-a) o percentual da área desmatada para a maior  
7 estimativa de desmatamento aconteceu em 2005 com 75% do desmatamento.  
8 No estado do Amapá (Figura 7-b) foi entre os anos de 2016 e 2017, nesses anos  
9 aconteceram mais de 20% do desmatamento no estado. Nos estados do  
10 Amazonas (Figura 7-c) e o Maranhão (Figura:7-d) o ano de 2016 foi o ano com  
11 o maior percentual de desmatamento no estado. No estado do Mato Grosso  
12 (Figura 7-e) os anos de 2003 e 2004 foram os anos com as maiores taxas. Já no  
13 estado do Pará (Figura 7-f) foram 2016 e 2017 os anos com as maiores taxas.  
14 Em Rondônia (Figura 7-g) a maior parte do desmatamento ficou concentrado nos  
15 anos de 2002 a 2004. Em Roraima (Figura 7-h) mais de 75% do desmatamento  
16 aconteceu no ano de 2016 e no estado do Tocantins (Figura 7-i) 2016 e 2017  
17 tiveram as maiores taxas de desmatamento.

18

19

20

21



1

2 Figura 7- Porcentagem de desmatamento entre os anos 2001 a 2018 em relação  
 3 ao tamanho da área ocupada pelo bioma no estado. A= Acre, B= Amapá, C=  
 4 Amazonas, D= Maranhão, E- Mato Grosso, F- Pará, G= Rondônia, H= Roraima,  
 5 I= Tocantins

6 A Figura 8 mostra as análises de agrupamento entre os estados  
 7 amazônicos. Os clusters em vermelho apresentam os estados com maiores  
 8 médias para cada variável área total desmatada e desmatamento em TIs e UCs.

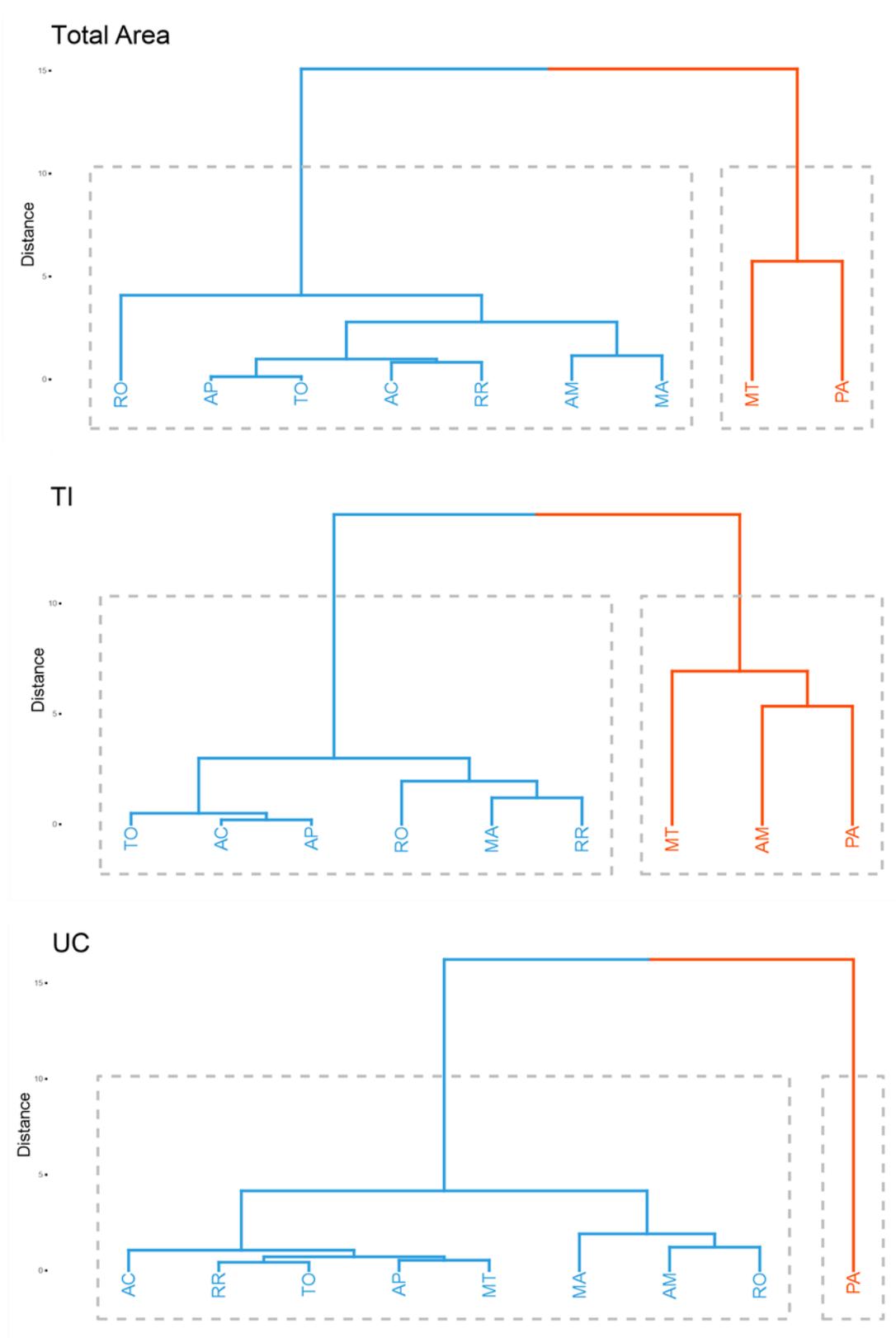
9 Na área total de desmatamento os estados do Mato Grosso e Pará  
 10 obtiveram as maiores médias de desmatamento. Rondônia é o terceiro estado  
 11 com as maiores médias, seguido pelo cluster formado pelo Amazonas e  
 12 Maranhão. Outro cluster formado foi entre Acre e Roraima, onde também tiveram  
 13 as médias similares e o grupo com as menores médias foi o cluster formado  
 14 entre Amapá e Tocantins.

1           Nos agrupamentos formados com as taxas de desmatamentos em TIs os  
2 estados com as maiores médias foram: Amazonas, Mato Grosso e Pará,  
3 formando assim um cluster. Rondônia, Maranhão e Roraima formaram o  
4 segundo grupo, com uma maior similaridade entre os estados do Maranhão e  
5 Roraima. O último grupo formado foi entre os estados do Tocantins, Acre e  
6 Amapá, os dois últimos estados tiveram a maior similaridade.

7           Nos agrupamentos formados com as taxas de desmatamentos nas UCs  
8 o estado do Pará obteve as maiores médias, seguido por Maranhão, Amazonas  
9 e Rondônia. Entre os dois últimos estados obteve-se uma maior similaridade.  
10 Acre, Roraima, Tocantins e Mato Grosso e Amapá formaram um agrupamento.

11           Apesar dos sistemas de Áreas de Proteção (AP) caracterizarem um  
12 mecanismo de base para a proteção dos ecossistemas ao desmatamento os  
13 resultados mostram que ocorreram desmatamentos em TIs e em UCs.

14



1

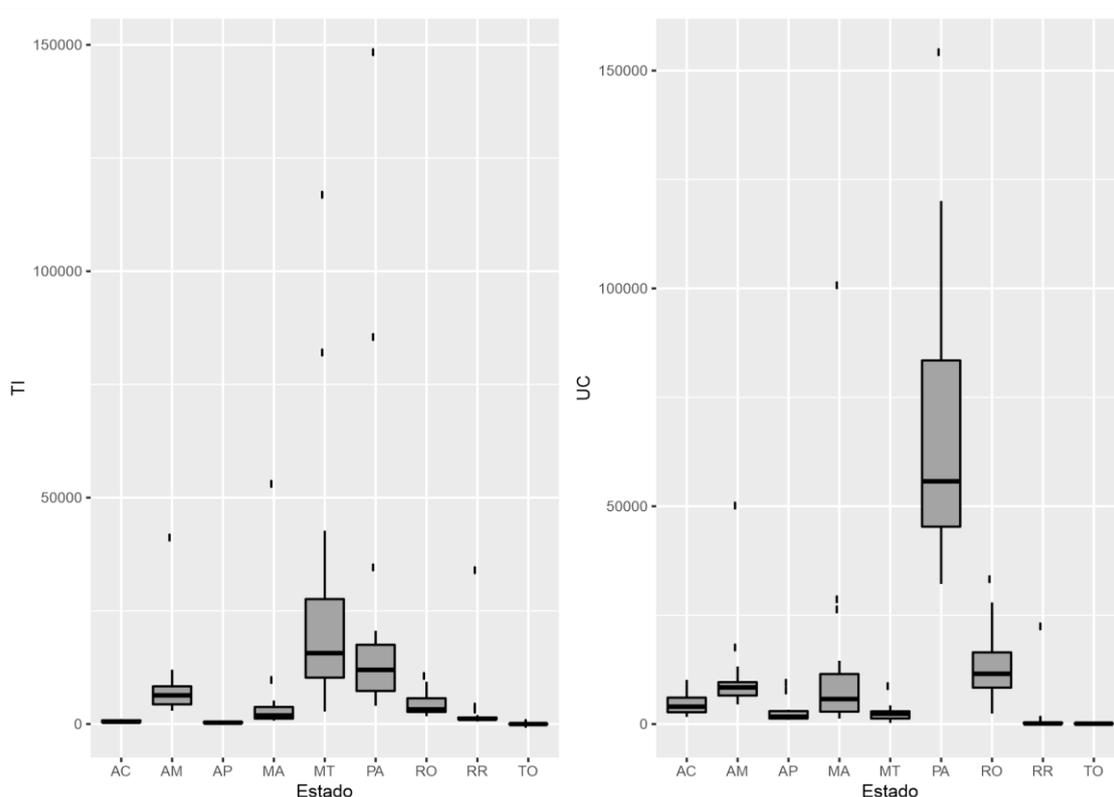
2 Figura 8 - Análise de agrupamento dos estados da Amazônia com base nos  
 3 dados de área de desmatamento total, Terras Indígenas e Unidades de  
 4 Conservação desmatadas.

5

1            Nos gráficos de boxplot (Figura 9) para o desmatamento em TIs é possível  
2 observar que estado de Mato Grosso se destacou com seus maiores valores no  
3 terceiro quartil e no limite superior, além de apresentar *outliers*. O segundo box  
4 com destaque foi o do estado do Pará, com maiores valores no terceiro quartil e  
5 *outliers*. Outros estados que tiveram destaque foram Amazonas, Maranhão e  
6 Rondônia, que também apresentaram *outliers*.

7            Nos box-plots (Figura 9) para analisar o desmatamento em UCs é possível  
8 observar que o estado do Pará se destacou, bem mais que os demais estados,  
9 com seus maiores valores no terceiro quartil e no limite superior, além de  
10 apresentar *outliers*. Rondônia, foi o segundo estado com maior destaque,  
11 seguido por Maranhão e Amazonas.

12



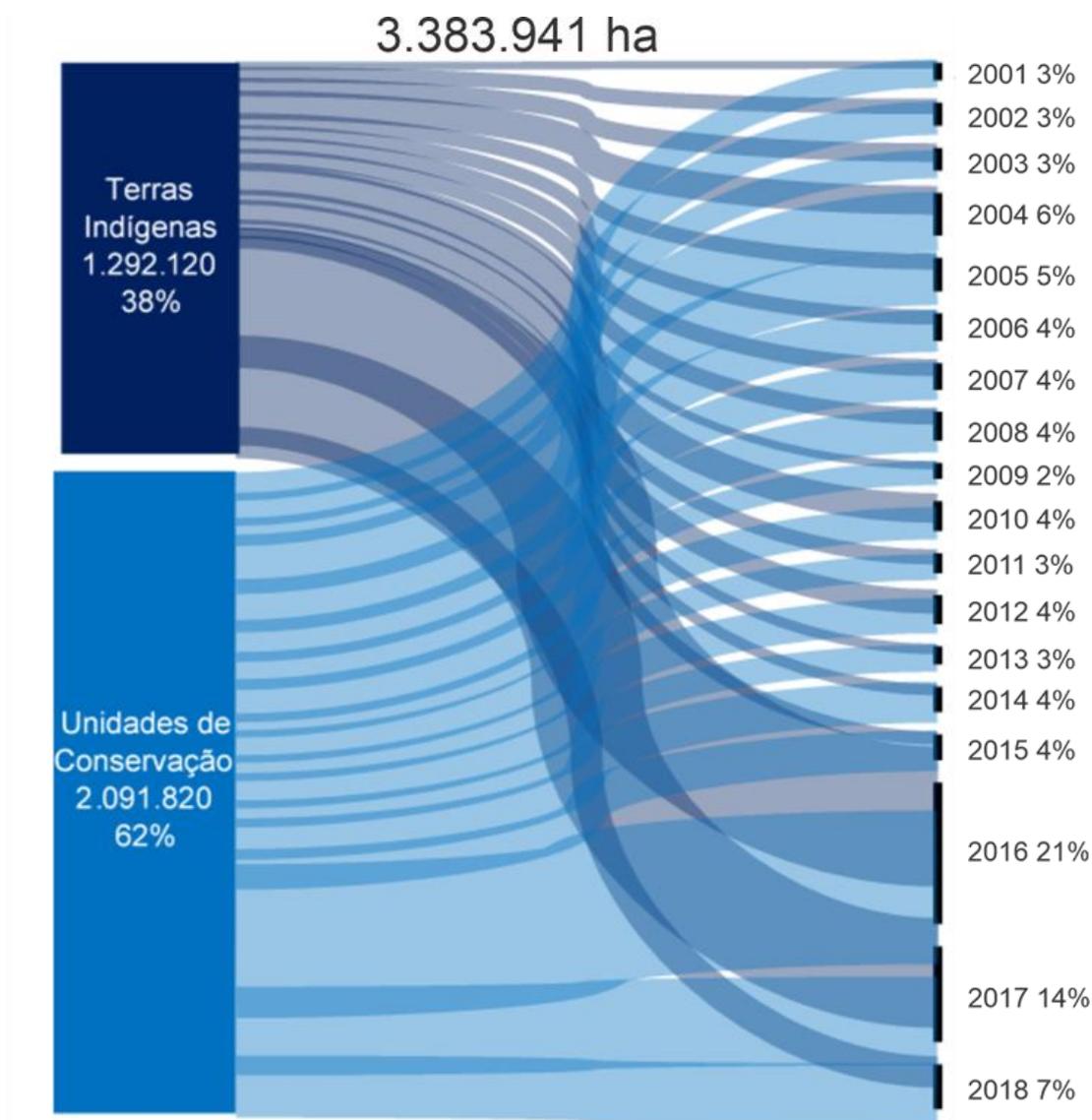
13

14            Figura 9. Boxplot para as variáveis das áreas de Terras Indígenas e Unidades  
15 de Conservação desmatadas em cada estado da Amazônia entre 2001 a 2018.

16            Ao todo foram 3.383.941 ha de desmatamento em APs. Esse valor  
17 equivale a 12.27% do desmatamento acumulado da Amazônia brasileira de 2001  
18 a 20018. As UCs foram onde ocorreram as maiores taxas de desmatamento, em  
19 torno de 2.091.820 ha, equivalendo a 62% do desmatamento em APs. Já nas

1 TIs foram desmatados 1.292.121 ha, representando 38% do desmatamento total  
2 nas APs (Figura 10).

3



4

5 FIGURA 10: Diagrama de Sankey para comparação da dinâmica do  
6 desmatamento entre Terras Indígenas e Unidades de Conservação no período  
7 da série temporal de 2001 a 2008.

8 Anterior a MS foram desmatados 1.125.689 ha, com 331.121 ha  
9 desmatados nas TIs e 794.568 ha nas UCs. Após a MS foram desmatados  
10 2.258.252, com 961.000 ha em TIs e 1.297.252 ha desmatados em UCs.

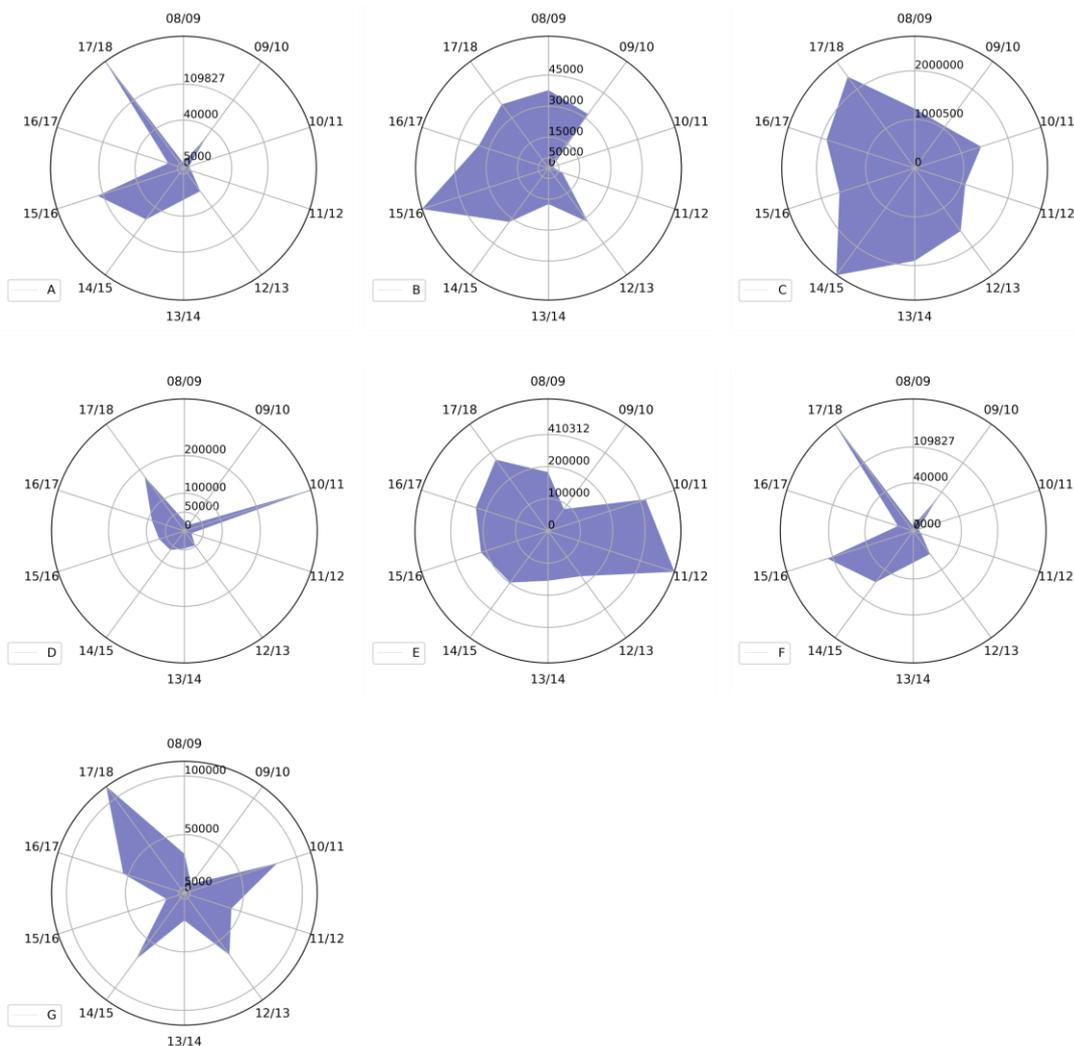
11

12

## 1 Desmatamento convertido em soja

2 Na safra 2008/2009, após o início da Moratória da Soja, a soja ocupava  
3 uma área de 1.506.947 ha na Amazônia brasileira. A área de plantio continuou  
4 aumentando e na safra 2017/2018 a cultura já ocupava uma área de 3.031.075  
5 ha, representando um crescimento de 1.524.128 ha no período de nove anos,  
6 ou seja, um aumento percentual de 50% (Figura 11).

7 Os estados com as maiores áreas de plantio na safra de 2017/2018 foram  
8 Mato Grosso com 2.319.077 ha, seguido de Rondônia com 273.630 ha e Pará  
9 com 176.922 ha. Os estados com os maiores aumentos de áreas cultivadas com  
10 soja foram Mato Grosso com 1.096.816 ha, Pará com 150.993 ha, Rondônia com  
11 91.054 ha e Tocantins com 79.088 ha.



12

13 Figura 11- Hectares cultivados com soja na Amazônia brasileira entre os anos  
14 safras de 2008/2009 a 2017/2018. A= Acre, B= Amapá, C= Mato Grosso, D=  
15 Pará, E- Rondônia, F- Roraima, G= Tocantins.

1 A Tabela 2 contém os resultados dos testes de tendência aplicados às  
 2 variáveis avaliadas em cada estado da Amazônia da soja cultivada em área de  
 3 desmatamento. Mato Grosso e Pará apresentaram tendência de acréscimo,  
 4 entretanto, não apresentaram nenhum ano da provável mudança. Somente o  
 5 estado do Mato Grosso apresentou tendência significativa na TIs. Nenhum outro  
 6 estado apresentou tendência nas APs.

7 A Tabela 2 - Variação entre as variáveis avaliadas ao longo da série temporal  
 8 em função dos estados da Amazônia onde estão representados os resultados  
 9 dos testes de Pettitt e Mann-kendall para áreas desmatadas convertidas em soja.

Estado	Área total			TI			UC		
	MK	PT	Ano	MK	PT	Ano	MK	PT	Ano
Estado	Desmatamento convertido em área de soja								
AC	1.00	0.80	---	1.00	1.00	---	0.73	1.00	---
AP	0.28	0.28	---	1.00	1.00	---	0.15	0.34	---
MT	0.01	0.07	---	0.01	0.18	---	0.06	0.50	---
PA	0.03	0.50	---	0.80	1.00	---	0.13	0.23	---
RO	0.28	0.91	---	0.37	0.50	---	1.00	1.00	---
RR	0.02	0.28	---	0.07	0.34	---	0.06	0.34	---
TO	0.47	1.00	---	1.00	1.00	---	1.00	1.00	---

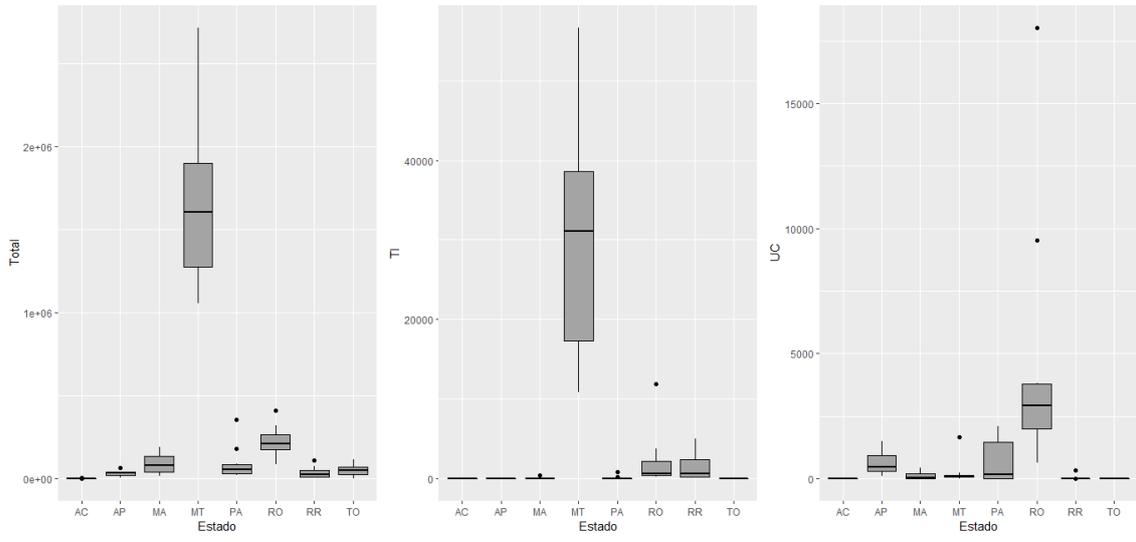
10

11 Nos gráficos de boxplot das áreas de floresta convertidas em soja na área  
 12 total desmatada (Figura 11) é possível observar que o estado de Mato Grosso  
 13 foi o que mais se destacou com seus maiores valores no limite superior.  
 14 Rondônia, Maranhão e Pará também tiveram destaques e apresentaram *outlier*.

15 Nas TIs o box de Mato Grosso destacou-se com valores no primeiro quartil  
 16 e no limite superior. Rondônia e Roraima também se destacaram.

17 Nas UCs os estados do Pará e Rondônia tiveram os maiores destaques.

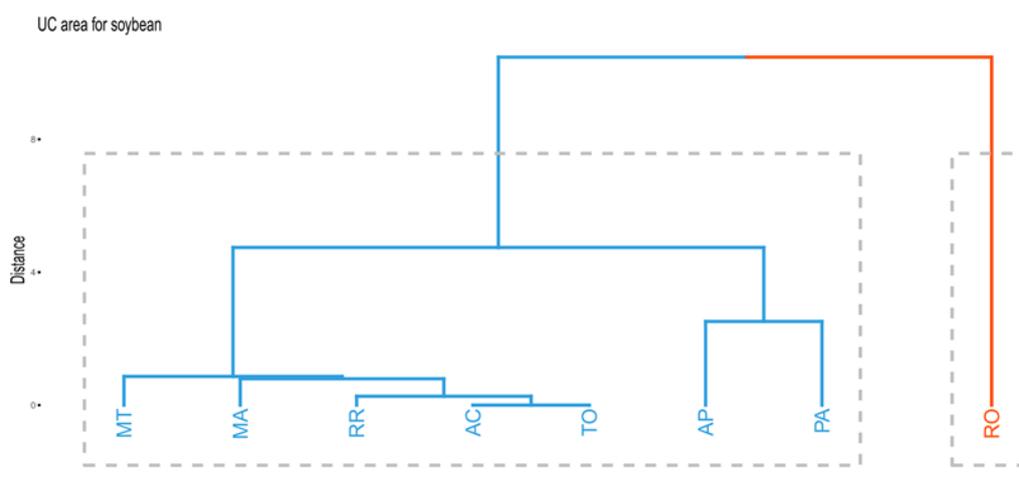
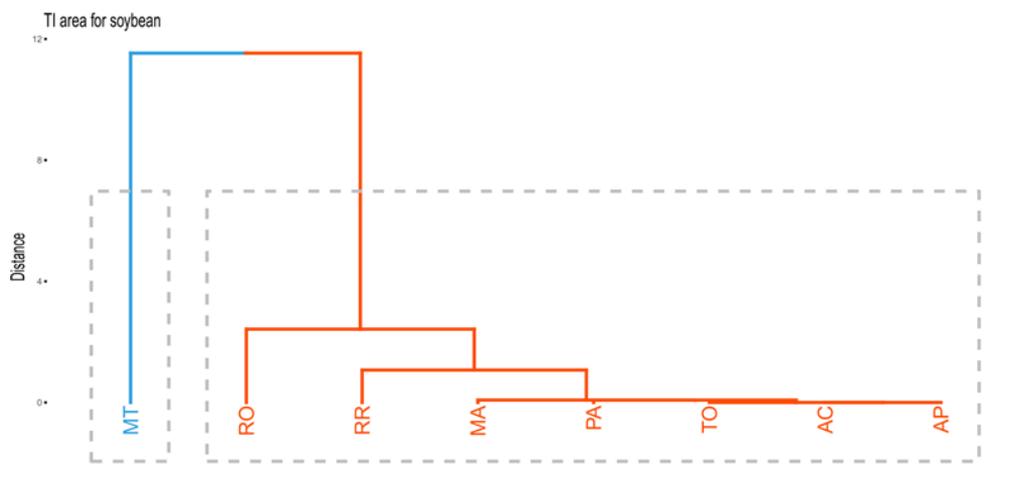
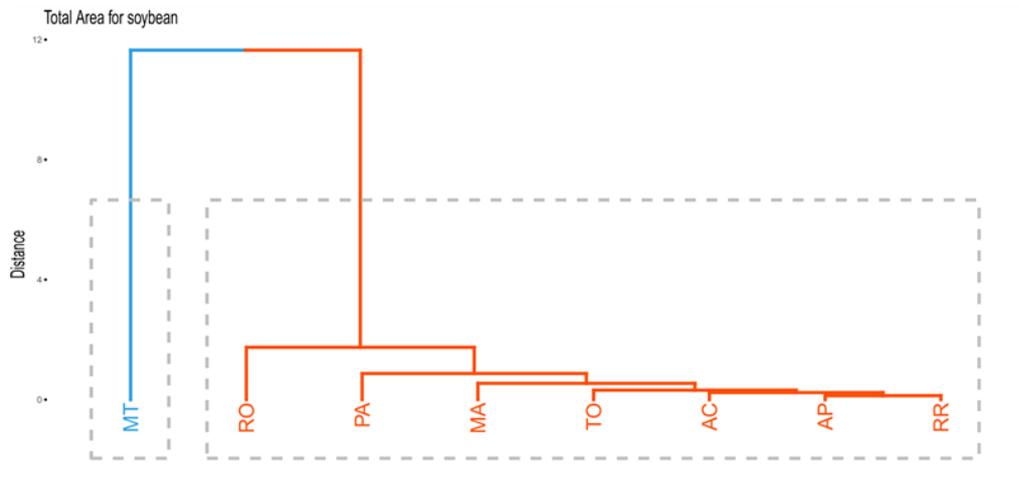
18



1

1 Figura 11. Boxplot para as para as variáveis área total desmatada convertida em  
2 soja (Total), área de terras indígenas (TI) desmatadas convertidas em soja e  
3 área de unidades de conservação (UC) desmatadas convertidas em soja em  
4 cada estado da Amazônia.

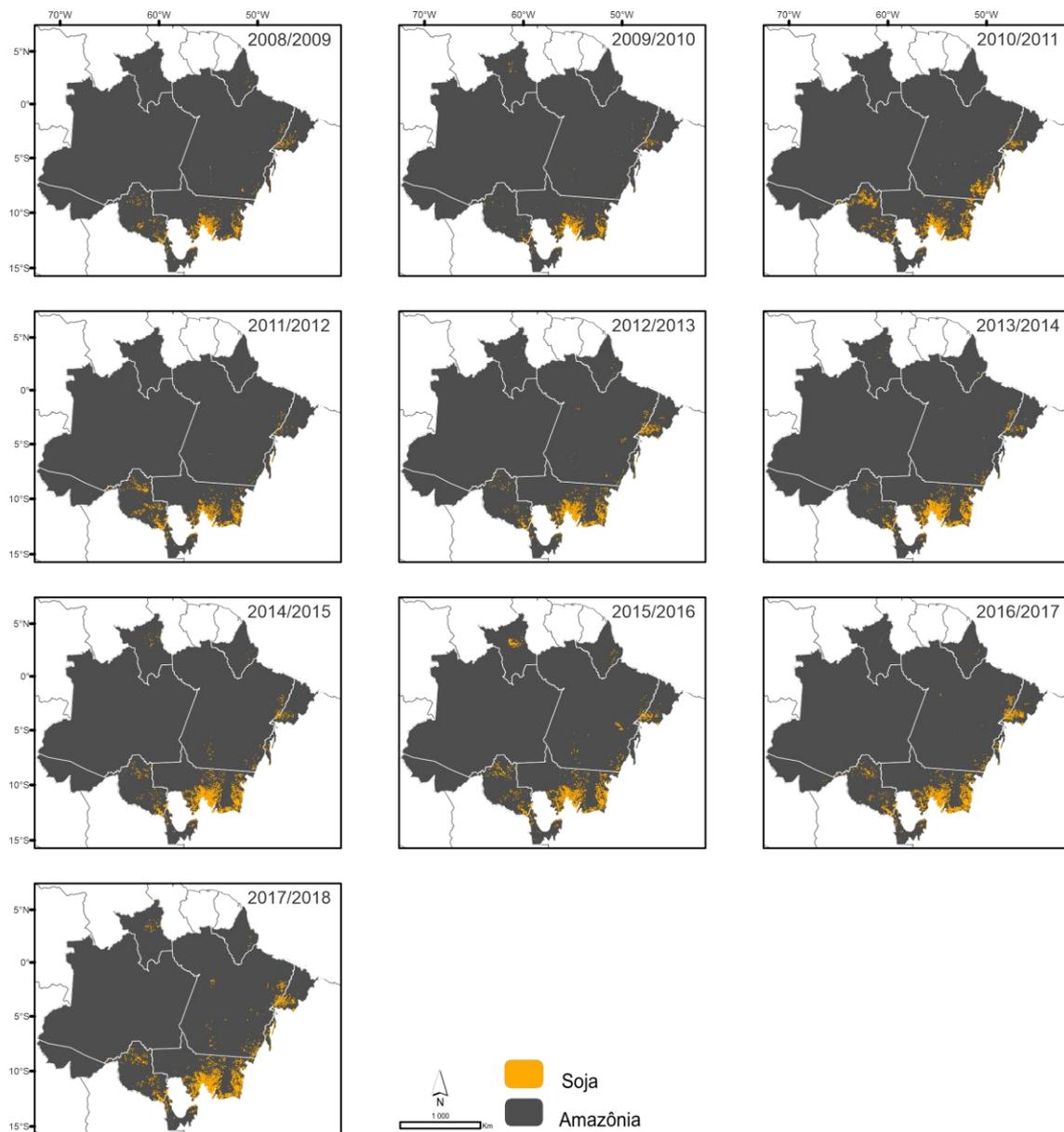
5       Nos agrupamentos é possível observar que Rondônia e Pará destacaram-  
6 se com as maiores médias de desmatamento convertido em soja para Área total.  
7 Nas TIs e Rondônia e Roraima obtiveram as maiores médias para  
8 desmatamento convertido em soja. Nas UCs Rondônia destacou-se com as  
9 maiores médias de desmatamentos.



1  
2  
3  
4  
5

Figura 12 -Análise de agrupamento dos estados da Amazônia com base nos dados de área de desmatamento total, terras indígenas e unidades de conservação desmatadas para conversão em soja.

1 Na figura 13 é possível observar a expansão da soja na Amazônia Brasileira.  
2  
3



4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17

Figura 13 – Representação dos anos safra nos estados da Amazônia após a Moratória da Soja.

## 1 **DISCUSSÃO**

2  
3 O desmatamento da Amazônia é um processo complexo e o resultado da  
4 combinação de vários vetores (REYDON et al., 2020). Foi encontrado um total  
5 acumulado de 27.584.260 ha de florestas desmatadas no período desse estudo  
6 (2001- 2018). Desse valor 13.613.099 ha foram desmatados anteriormente a  
7 2008, ou antes da MS, com valores mais altos entre 2001 a 2004.

8 Neste período de 2001 a 2004 foram desmatados 7.479.110 ha, que  
9 equivale a 27,11 % do desmatamento acumulado dos 17 anos avaliados. Essas  
10 altas taxas de desmatamento podem ser resultado da conversão de grandes  
11 áreas para a formação de pastagens (MOUTINHO et al., 2016), ou o uso do  
12 desmatamento como uma forma de demarcar a propriedade (LIPSCOMB et al.,  
13 2020). Além disso, era alta a procura por terras, devido ao boom da soja no início  
14 dos anos 2000, principalmente próximos a distritos agrícolas, assim a conversão  
15 de florestas por áreas de cultivos aumentava (RICHARDS et al., 2015).

16 Depois dos anos de 2004 as taxas de desmatamento tiveram uma  
17 redução drástica até 2013. Nesse período foram estimadas as menores taxas de  
18 desmatamento com o menor percentual de desmatamento para o ano de 2013  
19 (2,76%). Os resultados corroboram com Arima et al. (2011) e Assunção et al.,  
20 (2015) e essa redução no desmatamento pode ser reflexo da combinação de  
21 várias ações políticas (BRANDÃO et al., 2020; PAIVA et al., 2020). Entre estas  
22 ações destaca-se o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento  
23 na Amazônia Legal (PPCDAm). Este plano foi iniciado em 2004 com a intenção  
24 de promover políticas públicas para a redução do desmatamento na Amazônia  
25 Legal (REYDON et al., 2020). Paralelamente surgiram os acordos da Moratória  
26 da Soja (GIBBS et al., 2015) e os “Termos de Ajustamento de Conduta” (TAC da  
27 carne) (GIBBS et al., 2016).

28 Também se mostrou eficiente a criação da lista negra dos municípios que  
29 eram campeões de desmatamento na Amazônia. Em 2008 o Ministério do Meio  
30 Ambiente direcionou seus esforços de fiscalização em 36 municípios  
31 amazônicos, definidos como Municípios Prioritários (MPs), no qual eram  
32 responsáveis por mais de 40% do desmatamento no bioma e em 2011 já  
33 somavam 50 municípios a esta lista. Mais tarde esses municípios conseguiram

1    abaixar as taxas de desmatamentos sem diminuir a produção agrícola  
2    (ASSUNÇÃO & ROCHA, 2019).

3           Mesmo com todas as políticas ambientais citadas acima, incluindo a MS  
4    em 2008, após 2013 as taxas de desmatamento anuais voltaram a crescer, com  
5    um crescimento tímido em 2014 e 2015 e um salto nas taxas de desmatamento  
6    em 2016. Esse ano foi o que obteve maior valor da série temporal (3.135.340  
7    ha). Coe et al. (2017) também relatam que em 2016 houve um alto crescimento  
8    para as taxas de desmatamento, destacando que nesse ano foram desmatados  
9    mais de 50.000 km<sup>2</sup> na Amazônia.

10           O desmatamento após 2013 pode ser motivado pelas mudanças no  
11    Código Florestal realizadas em 2012 (MOUTINHO et al., 2016). O Novo Código  
12    Florestal adotou algumas medidas contraditórias, como a não obrigação do  
13    pequeno agricultor de recuperar áreas que foram desmatadas em Áreas de  
14    Preservação Permanente (CARVALHO et al., 2019). Além disso, promoveu uma  
15    anistia aos desmatamentos ocorridos ilegalmente anteriores a 2008 e promoveu  
16    a legalização dessas áreas (SOARES-FILHO et al., 2014). Outros fatores  
17    parecem estar envolvidos no aumento do desmatamento, como os inúmeros  
18    cortes nos orçamentos dos órgãos de fiscalização (REYDON et al., 2020).

19           Os estados que apresentaram os maiores índices de desmatamento  
20    durante a série temporal foram os estados do Pará, com 11.005.392 ha, e Mato  
21    Grosso, com um total de 7.348.970 ha. Nas análises de agrupamentos realizadas  
22    os estados do Pará e Mato Grosso obtiveram as maiores médias de  
23    desmatamentos. Esses estados foram responsáveis por 66.54% do  
24    desmatamento no período total da série temporal. Esses resultados são  
25    similares aos de West & Fearnside (2021), que atribuíram a estes dois estados  
26    68 % do desmatamento ocorrido na Amazônia entre os anos de 2001 a 2020. Os  
27    dois estados possuem um enorme conjunto da dinâmica do uso do solo, no qual  
28    acompanha o arco de desmatamento brasileiro (GRIFFITHS et al., 2018).

29           O estado do Pará é que mais se destacou com as taxas de desmatamento  
30    em toda série temporal, no qual foram 5.179.105 ha antes da MS e após foram  
31    5.826.285 ha. Griffiths et al. (2018) relataram que o desmatamento no Pará  
32    segue vários padrões de desmatamentos, principalmente em volta de estradas  
33    e nos portos existentes no estado. Jusys, (2016) aponta a pecuária como  
34    principal contribuinte para o desmatamento no estado e a expansão das

1 lavouras, principalmente em áreas do sudeste do estado. Sauer (2018) relata  
2 que anteriormente a 2009 as áreas cultivadas com soja concentravam-se na  
3 região de Santarém. Posteriormente houve um aumento nas áreas dos  
4 municípios de Paragominas e Santana do Araguaia. Jusys, (2016) destacou o  
5 desmatamento relacionado ao cultivo de lavouras próximo a fronteira entre Pará  
6 e Mato Grosso, afirmando que essa área é próxima a centros comerciais, o que  
7 facilita o comércio da produção, além de ter uma precipitação anual 2000 mm,  
8 favorável ao cultivo.

9 Neste estudo o estado Mato Grosso apresentou tendência de acréscimo  
10 para área total desmatada com o provável ano de 2006. Mato Grosso desmatou  
11 4.474.834 ha antes da MS e foi um dos dois estados que diminuíram as taxas de  
12 desmatamento após MS, com 2.874.135 ha. Ainda assim este estado tem uma  
13 das maiores taxas de desmatamento nas últimas décadas (INPE, 2020a),  
14 impulsionado principalmente pela pecuária e pelo boom da soja no início dos  
15 anos 2000 (ARVOR et al., 2018; MACEDO et al., 2012).

16 As características geográficas e condições institucionais do estado  
17 beneficiaram a agricultura no estado de Mato Grosso (RICHARDS et al., 2015).  
18 Segundo Picoli et al. (2018) em Mato Grosso a expansão agrícola ocorreu  
19 acompanhando a BR 163 (Cuiabá–Santarém), principalmente no interior da  
20 Amazônia. Assim a estrada BR 163, pode ser a origem da mudança uso de solo  
21 (MILIE et al.,2020), acompanhando o padrão de desmatamento que acontece na  
22 Amazônia, onde 90% do desmatamento ocorre em torno de rodovias (ALVES,  
23 2002; BARBER et al.,2014).

24 Picoli et al. (2020) relatam que em torno das rodovias BR 158 e BR 163  
25 em 2010, houve um crescimento de áreas cultivadas com soja. Segundo Sauer  
26 (2018) a produção de soja em torno da rodovia BR 163 é favorecida pelo destino  
27 de escoação, pois a mesma rodovia foi pavimentada com a principal finalidade  
28 de criar uma rota de exportação de commodities. Outro fator importante dos altos  
29 valores de desmatamento é o fato do estado ser classificado como uma fronteira  
30 agrícola um tanto recente. Nos dias atuais ainda existem propriedades onde  
31 acontece a conversão da floresta por lavouras assim que os financiamentos são  
32 liberados para os proprietários de tais áreas (RICHARDS et al., 2015).

33 Este trabalho demonstra que houve um crescimento das áreas cultivadas  
34 com soja na Amazônia Na safra 2008/2009, início da Moratória da Soja, a soja

1 ocupava uma área de 1.506.947 ha na Amazônia e na última safra estudada,  
2 2017/2018, a cultura ocupava uma área de 3.031.075 ha. Um expressivo  
3 aumento de 1.5241.128 ha, considerando que foram trabalhadas somente áreas  
4 maiores que 100 ha.

5 Este trabalho corrobora com estudos anteriores que indicam a eficiência  
6 da Moratória da Soja no controle dos desmatamentos amazônicos. Rudorff et al  
7 (2011) indicaram que na safra 2009/2010 a soja plantada em áreas desmatadas  
8 no bioma foi de apenas 2,1% e o estado do Pará foi o estado com mais áreas de  
9 cultivares de soja em desmatamento. Segundo Gibbs et al. (2016) as áreas de  
10 desmatamento convertidas em lavouras de soja foram apenas 1%. Fatores como  
11 limitar o número de compradores, a transparência e simplicidade na fiscalização,  
12 requisitos simples de conformidade, ações paralelas do governo e a associação  
13 de ONGs e agências governamentais foram essenciais para a eficácia da  
14 Moratória da Soja (GIBBS et al., 2015).

15 Com a proibição do comércio da soja oriunda de áreas desmatadas, a MS  
16 coloca várias desvantagens ao produtor que cultiva em áreas recentemente  
17 desmatadas, e tem como resultado final a diminuição do desmatamento  
18 (HEILMAYR et al., 2020). Desse modo, as ações das cadeias de suprimentos,  
19 podem trazer efeitos benéficos à conservação, desde que estejam associadas a  
20 políticas públicas e ações locais (LAMBIN et al., 2018). Segundo Heilmayr et al.  
21 (2020) a MS mostrou-se mais eficiente quando foi associada com os  
22 monitoramentos do GTS (Grupo de Trabalho da Soja) ou do registro de  
23 propriedade no CAR. Desse modo a MS representa apenas um terço das  
24 políticas que juntas podem reduzir o desmatamento.

25 Atualmente o principal desafio do agronegócio brasileiro é a produção  
26 em grande escala com o mínimo de impacto ao ecossistema, visto que é  
27 crescente a demanda por commodities agrícolas. Assim se faz necessário  
28 investimentos em preservação ambiental, assim como em ciência e tecnologia,  
29 para um melhor aproveitamento das áreas já abertas.

30  
31  
32  
33

## 1 CONCLUSÕES

2 O desmatamento na Amazônia apresentou um comportamento com  
3 muitas variações ao longo da série temporal, nos anos iniciais entre 2001 a 2004,  
4 as taxas mantiveram-se altas. Após 2005 as taxas de desmatamento  
5 começaram a declinar e em 2013 foi o ano com o menor percentual de toda a  
6 série. Nos três anos finais as taxas aumentaram consideravelmente,  
7 principalmente 2016, com esses três anos alavancando as taxas de  
8 desmatamento após a Moratória da Soja.

9 A Moratória da Soja mostrou-se eficiente inicialmente, entretanto, nos três  
10 últimos anos da série temporal houve um acréscimo considerável nas taxas de  
11 desmatamento e a soja também continuou sua expansão sobre o bioma  
12 amazônico, aumentando em até 50% sua área plantada.

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

## 1 Referências Bibliográficas

- 2 ABIOVE, 2020. ABIOVE reage às críticas de membros do SOS Cerrado.  
3 Disponível. [https://abiove.org.br/abiove-na-midia/abiove-reage-as-criticas-de-](https://abiove.org.br/abiove-na-midia/abiove-reage-as-criticas-de-membros-do-sos-cerrado/)  
4 [membros-do-sos-cerrado/](https://abiove.org.br/abiove-na-midia/abiove-reage-as-criticas-de-membros-do-sos-cerrado/). Acessado 18\12\2020
- 5 ALVES, S. Space-time dynamics of deforestation in Brazilian Amazonia.  
6 **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 14, p. 2903-2908, 2002.
- 7 ARIMA, E. Y.; RICHARDS, P.; WALKER, R.; CALDAS, M. M; Statistical  
8 confirmation of indirect land use change in the Brazilian Amazon. **Environmental**  
9 **Research Letters**, v. 6, n. 2, p. 024010, 2011.
- 10 ARVOR, D.; DAUGEARD, M.; TRITSCH, I.; DE MELLO-THERY, N. A.; THERY, H.;  
11 DUBREUIL, V. Combining socioeconomic development with environmental governance  
12 in the Brazilian Amazon: The Mato Grosso agricultural frontier at a tipping point.  
13 **Environment, Development and Sustainability**, v. 20, n. 1, p. 1-22, 2018.
- 14 ASSUNÇÃO, J.; GANDOUR, C.; ROCHA, R. Deforestation slowdown in the  
15 Brazilian Amazon: prices or policies. **Environment and Development**  
16 **Economics**, v. 20, n. 6, p. 697-722, 2015.
- 17 ASSUNÇÃO, J.; ROCHA, R. Getting greener by going black: the effect of  
18 blacklisting municipalities on Amazon deforestation. **Environment and**  
19 **Development Economics**, v. 24, n. 2, p. 115-137, 2019.
- 20 BARBER, C. P.; COCHRANE, M. A.; SOUZA JR, C. M.; LAURANCE, W. F.  
21 Roads, deforestation, and the mitigating effect of protected areas in the Amazon.  
22 **Biological Conservation**, v. 177, p. 203-209, 2014.
- 23 BRANDÃO, A.; RAUSCH, L.; DURÁN, A. P.; COSTA, C.; SPAWN, S. A.; &  
24 GIBBS, H. K. Estimating the Potential for Conservation and Farming in the  
25 Amazon and Cerrado under Four Policy Scenarios. **Sustainability**, v. 12, n. 3, p.  
26 1277, 2020.
- 27 CARVALHO, W. D.; MUSTIN, K.; HILÁRIO, R. R.; VASCONCELOS, I. M.,  
28 EILERS, V., & FEARNESIDE, P. M. Deforestation control in the Brazilian Amazon:  
29 A conservation struggle being lost as agreements and regulations are subverted  
30 and bypassed. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 17, n. 3, p. 122-  
31 130, 2019.
- 32 CHEN, Y. A tutorial on kernel density estimation and recent advances.  
33 **Biostatistics & Epidemiology**, v. 1, n. 1, p. 161-187, 2017.
- 34 COE, M. T.; BRANDO, P. M.; DEEGAN, L. A.; MACEDO, M. N.; NEILL, C.,  
35 SILVÉRIO, D. V; The forests of the Amazon and Cerrado moderate regional  
36 climate and are the key to the future. **Tropical Conservation Science**, v. 10, p.  
37 1940082917720671, 2017.
- 38 CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra**  
39 **Brasileira Grãos**. - SAFRA 2020/21. V. 8, N. 12. Terceiro levantamento de grãos

- 1 | SETEMBRO 2020. Disponível em: [https://www.conab.gov.br/info-](https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/monitoramento-agricola)  
2 [agro/safras/graos/monitoramento-agricola](https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/monitoramento-agricola) Acesso em: 01 de janeiro. de 2020.
- 3 GIBBS, H. K.; MUNGER, J.; L'ROE, J.; BARRETO, P.; PEREIRA, R.; CHRISTIE,  
4 M., ... & WALKER, N. F. Did ranchers and slaughterhouses respond to zero-  
5 deforestation agreements in the Brazilian Amazon? **Conservation Letters**, v. 9,  
6 n. 1, p. 32-42, 2016.
- 7 GIBBS, H. K.; RAUSCH, L.; MUNGER, J.; SCHELLY, I.; MORTON, D. C.;  
8 NOOJIPADY, P.; SOARES-FILHO, B.; BARRETO, P.; MICOL, L.; WALKER, N.  
9 F. Brazil's soy moratorium. **Science**, v. 347, n. 6220, p. 377-378, 2015.
- 10 GRIFFITHS, P.; JAKIMOW, B.; HOSTERT, P. Reconstructing long term annual  
11 deforestation dynamics in Pará and Mato Grosso using the Landsat archive.  
12 **Remote Sensing of Environment**, v. 216, p. 497-513, 2018
- 13 HANSEN, M. C.; POTAPOV, P. V.; MOORE, R.; HANCHER, M.; TURUBANOVA,  
14 S. A., TYUKAVINA, A.; & TOWNSHEND, J. High-resolution global maps of 21st-  
15 century forest cover change. **Science**, v. 342, n. 6160, p. 850-853, 2013.
- 16 HEILMAYR, R.; RAUSCH, L.L.; MUNGER, J.; GIBBS, H K. Brazil's Amazon Soy  
17 Moratorium reduced deforestation. **Nature Food** 1, 801–810 ,2020.
- 18 IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Brasil em Síntese.  
19 Disponível em: <<https://brasilemsintese.ibge.gov.br/territorio.html>>. Acesso em:  
20 2 setembro. 2020.
- 21 INPE 2020a. Projeto PRODES: Monitoramento da Floresta Amazônica  
22 Brasileirapor satélite  
23 <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>. acessado  
24 em 03/01/2021.
- 25 INPE 2020b. Programa Queimadas INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS  
26 ESPACIAIS. <<http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal>>. acessado  
27 04\01\2021
- 28 JONES, C.; CARVALHO, L. MV. Active and break phases in the South American  
29 monsoon system. **Journal of Climate**, v. 15, n. 8, p. 905-914, 2002.
- 30 JUSYS, T. Fundamental causes and spatial heterogeneity of deforestation in  
31 Legal Amazon. **Applied Geography**, v. 75, p. 188-199, 2016.
- 32 KIM, J.; SCOTT, C. D. Robust kernel density estimation. **The Journal of**  
33 **Machine Learning Research**, v. 13, n. 1, p. 2529-2565, 2012.
- 34 LAMBIN, E. F.; GIBBS, H. K.; HEILMAYR, R.; CARLSON, K. M.; FLECK, L. C.,  
35 GARRETT, R. D.; ... & WALKER, N. F. The role of supply-chain initiatives in  
36 reducing deforestation. **Nature Climate Change**, v. 8, n. 2, p. 109-116, 2018.

- 1 LIMA, M.; DA SILVA JUNIOR, C. A.; RAUSCH, L.; GIBBS, H. K.; & JOHANN, J.  
2 A. Demystifying sustainable soy in Brazil. **Land Use Policy**, v. 82, p. 349-352,  
3 2019.
- 4 LIPSCOMB, M.; PRABAKARAN, N. Property rights and deforestation: Evidence  
5 from the Terra Legal land reform in the Brazilian Amazon. **World Development**,  
6 v. 129, p. 104854, 2020.
- 7 MACEDO, M. N.; DE FRIES, R. S.; MORTON, D. C.; STICKLER, C. M.;  
8 GALFORD, G. L., SHIMABUKURO, Y. E. Decoupling of deforestation and soy  
9 production in the southern Amazon during the late 2000s. **Proceedings of the**  
10 **National Academy of Sciences**, v. 109, n. 4, p. 1341-1346, 2012.
- 11 MILIEN, E. J.; DA SILVA ROCHA, K.; BROWN, I. F., PERZ, S. G. Roads,  
12 deforestation and the mitigating effect of the Chico Mendes Extractive Reserve  
13 in the Southwestern Amazon. **Trees, Forests and People**, p. 100056, 2020.
- 14 MOUTINHO, P. et al. Achieving zero deforestation in the Brazilian Amazon: What  
15 is missing? Zero deforestation in the Brazilian Amazon. **Elementa: Science of**  
16 **the Anthropocene**, v. 4, 2016.
- 17 NANNI, M. R.; DEMATTÊ, J. A. M. Comportamento da linha do solo obtida por  
18 espectrorradiometria laboratorial para diferentes classes de solo. **Revista**  
19 **Brasileira de Ciência do solo**, v. 30, n. 6, p. 1031-1038, 2006.
- 20 PAIVA, P. F. P. R.; RUIVO, M. D. L. P.; DA SILVA JUNIOR, O. M.; MACIEL, M.  
21 D. N. M.; BRAGA, T. G. M.; DE ANDRADE, M. M. N., ... & FERREIRA, B.  
22 M. Deforestation in protect areas in the Amazon: a threat to biodiversity.  
23 **Biodiversity and Conservation**, v. 29, n. 1, p. 19-38, 2020.
- 24 PARZEN, E. On estimation of a probability density function and mode. **The**  
25 **Annals of Mathematical Statistics**, v. 33, n. 3, p. 1065-1076, 1962.
- 26 PICOLI, M. C. A.; CAMARA, G.; SANCHES, I.; SIMÕES, R.; CARVALHO, A.;  
27 MACIEL, A.; ALMEIDA, C. Big earth observation time series analysis for  
28 monitoring Brazilian agriculture. **ISPRS Journal of Photogrammetry and**  
29 **Remote Sensing**, v. 145, p. 328-339, 2018.
- 30 PICOLI, M. C.; RORATO, A., LEITÃO, P.; CAMARA, G.; MACIEL, A.; HOSTERT,  
31 P.; SANCHES, I. D. A. Impacts of Public and Private Sector Policies on Soybean  
32 and Pasture Expansion in Mato Grosso—Brazil from 2001 to 2017. **Land**, v. 9, n.  
33 1, p. 20, 2020.
- 34 RAJÃO, R.; SOARES-FILHO, B.; NUNES, F.; BÖRNER, J.; MACHADO, L.,  
35 ASSIS, D. ; & FIGUEIRA, D. The rotten apples of Brazil's agribusiness. **Science**,  
36 v. 369, n. 6501, p. 246-248, 2020.
- 37 REYDON, B. P.; FERNANDES, V. B.; TELLES, T. S. Land governance as a  
38 precondition for decreasing deforestation in the Brazilian Amazon. **Land Use**  
39 **Policy**, v. 94, p. 104313, 2020.

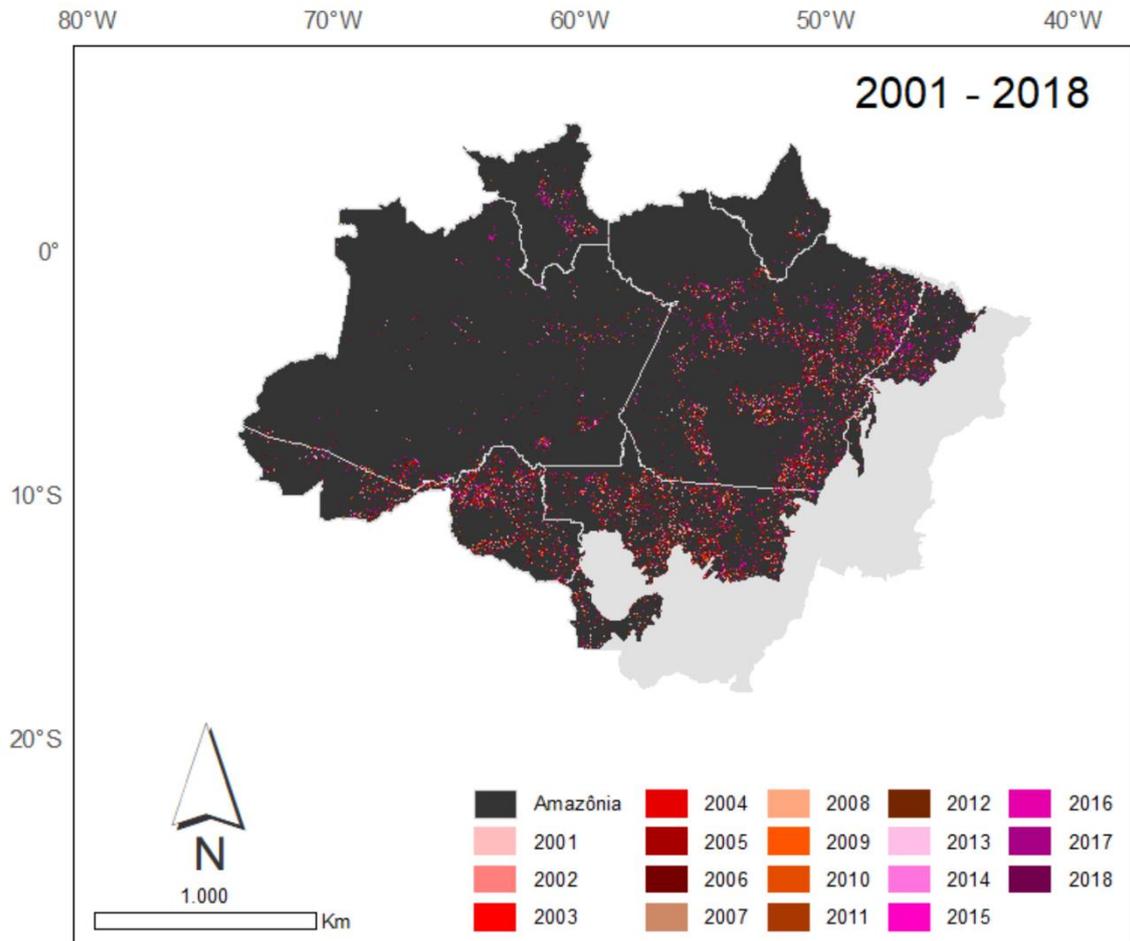
- 1 RICHARDSON, A. J.; WIEGAND, C. L. Distinguishing vegetation from soil  
2 background information. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**,  
3 v. 43, n. 12, p. 1541-1552, 1977.
- 4 RICHARDS, P.; PELLEGRINA, H.; VANWEY, L.; & SPERA, S; Soybean  
5 development: The impact of a decade of agricultural change on urban and  
6 economic growth in Mato Grosso, Brazil. **PLoS One**, v. 10, n. 4, p. e0122510,  
7 2015.
- 8 RUDORFF, B. F. T.; ADAMI, M.; AGUIAR, D. A.; MOREIRA, M. A.; MELLO, M.  
9 P.; FABIANI, L., & Pires. The soy moratorium in the Amazon biome monitored by  
10 remote sensing images. **Remote Sensing**, v. 3, n. 1, p. 185-202, 2011.
- 11 SAUER, Sérgio. Soy expansion into the agricultural frontiers of the Brazilian  
12 Amazon: The agribusiness economy and its social and environmental conflicts.  
13 **Land Use Policy**, v. 79, p. 326-338, 2018.
- 14 SHIMABUKURO, Y. E.; SMITH, J. A. The least-squares mixing models to  
15 generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE**  
16 **Transactions on Geoscience and Remote sensing**, v. 29, n. 1, p. 16-20, 1991.
- 17 SILVA JUNIOR, C. A., NANNI, M. R., TEODORO, P. E., & SILVA, G. F. C.  
18 Vegetation Indices for Discrimination of Soybean Areas: **A New Approach.**  
19 **Agronomy Journal**, v. 109, p. 1331-1343, 2017.
- 20 SILVERMAN, B. W. Density estimation for statistics and data analysis. CRC  
21 Press, 1986.
- 22 SOARES-FILHO, B.; RAJÃO, R.; MACEDO, M.; CARNEIRO, A.; COSTA, W.;  
23 COE, M., & ALENCAR, A. Cracking Brazil's forest code. **Science**, v. 344, n. 6182,  
24 p. 363-364, 2014.
- 25 SOUZA JR, C. et al. Ten-year Landsat classification of deforestation and forest  
26 degradation in the Brazilian Amazon. **Remote Sensing**, v. 5, n. 11, p. 5493-5513,  
27 2013.
- 28 VALOR.GLOBO, 2020. Alemanha ameaça não ratificar acordo UE-Mercosul por  
29 causa do desmatamento na Amazônia.  
30 [https://valor.globo.com/brasil/noticia/2020/08/21/alemanha-ameaa-no-ratificar-](https://valor.globo.com/brasil/noticia/2020/08/21/alemanha-ameaa-no-ratificar-acordo-ue-mercosul-por-causa-do-desmatamento-na-amaznia.ghtml)  
31 [acordo-ue-mercosul-por-causa-do-desmatamento-na-amaznia.ghtml](https://valor.globo.com/brasil/noticia/2020/08/21/alemanha-ameaa-no-ratificar-acordo-ue-mercosul-por-causa-do-desmatamento-na-amaznia.ghtml).  
32 Acessado\17\12\2020
- 33 WEST, T. AP.; FEARNside, P. M. Brazil's conservation reform and the reduction  
34 of deforestation in Amazonia. **Land Use Policy**, v. 100, p. 105072, 2021.
- 35 WWF, 2016. Moratória da Soja é renovada por prazo indeterminado. Disponível  
36 em: [https://www.wwf.org.br/?52102/Moratria-da-Soja--renovada-por-prazo-](https://www.wwf.org.br/?52102/Moratria-da-Soja--renovada-por-prazo-indeterminado)  
37 [indeterminado](https://www.wwf.org.br/?52102/Moratria-da-Soja--renovada-por-prazo-indeterminado). Acessado 17 de dezembro de 2020.

38

1

## APÊNDICE

### 2 Material Suplementar



3

4 **Figura suplementar 1:** Desmatamento acumulado (2001-2008) nos nove  
5 estados da Amazônia brasileira.

6

7

8

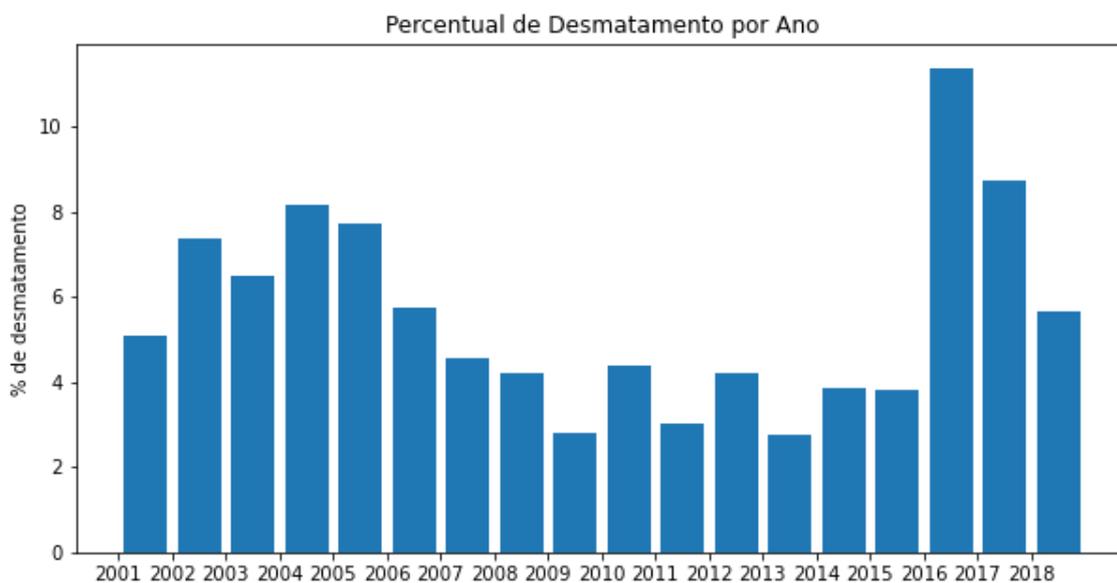
9

10

11

12

- 1 **Figura suplementar 2:** Porcentagem de desmatamento detectada ente os
- 2 anos nos estados amazônicos no período da série temporal 2001 a 2018.



3

4

- 5 **Material Suplementar 3:** Porcentagem de desmatamento detectada nos
- 6 estados amazônicos no período da série temporal 2001 a 2018

<b>Estados</b>	<b>%Desmatamento</b>
<b>Acre</b>	3.25%
<b>Amapá</b>	0.84%
<b>Amazonas</b>	8.09%
<b>Maranhão</b>	5.01%
<b>Mato Grosso</b>	26.64%
<b>Pará</b>	39.90%
<b>Rondônia</b>	12.89%
<b>Roraima</b>	2.64%
<b>Tocantins</b>	0.74%

7

8

9

10

11

12

13

1 **Material Suplementar 4: Diferença de área desmatada antes e após a MS.**

<b>Estados</b>	<b>Desmatamento Antes da MS</b>	<b>Desmatamento Após a MS</b>	<b>Diferença Antes e Após a MS</b>
<b>Acre</b>	433865	463429	29564
<b>Amapá</b>	78895	153485	74590
<b>Amazonas</b>	700945	1529946	829001
<b>Maranhão</b>	370012	1011645	641633
<b>Mato Grosso</b>	4474834	2874135	-1600699
<b>Pará</b>	5179106	5826286	647180
<b>Rondônia</b>	2063299	1492204	-571094
<b>Roraima</b>	228955	499892	270938
<b>Tocantins</b>	83188	120138	36950
<b>Total</b>	13613099	13971161	358062

2

3

4

5

6

7

8

9

10