



Universidade Federal do Maranhão
Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação

**ENTENDER A DINÂMICA DO FOGO PARA A
CONSERVAÇÃO DA RESERVA BIOLÓGICA DO GURUPI NA
AMAZÔNIA ORIENTAL**

ANA TALITA GALVÃO FREIRE

São Luís/MA

2021

ANA TALITA GALVÃO FREIRE

**ENTENDER A DINÂMICA DO FOGO PARA A
CONSERVAÇÃO DA RESERVA BIOLÓGICA DO GURUPI NA
AMAZÔNIA ORIENTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação da Universidade Federal do Maranhão, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Biodiversidade e Conservação.

Orientador (a): Prof. Dr. Guillaume Xavier Rousseau.

Coorientador (a): Prof.^a Dra. Liana Oighenstein Anderson (CEMADEN)

São Luís/MA

2021

Ana Talita Galvão Freire

Entender a dinâmica do fogo para a conservação da Reserva Biológica do Gurupi na Amazônia Oriental. / Ana Talita Galvão Freire – São Luís: MA, 2021.

XXf.: il.

Orientador: Prof. Dr. Guillaume Xavier Rousseau.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Maranhão, Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação, 2021.

ANA TALITA GALVÃO FREIRE

**ENTENDER A DINÂMICA DO FOGO PARA A
CONSERVAÇÃO DA RESERVA BIOLÓGICA DO GURUPI NA
AMAZÔNIA ORIENTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação da Universidade Federal do Maranhão, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Biodiversidade e Conservação.

Aprovada em / /

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Guillaume Xavier Rousseau. (Orientador)
Universidade Federal do Maranhão

Prof.^a Dra. Liana Oighenstein Anderson
Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

Prof. Dr. Bruno de Souza Barreto
Universidade Federal do Maranhão – UFMA

Prof. Dr. Denilson Da Silva Bezerra
Departamento de Oceanografia e Limnologia/CCBS – UFMA

*“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades,
lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram
conquistadas do que parecia impossível.”*

Charles Chaplin

Dedico ao meu irmão Sandro Galvão (em memória) e ao meu filho, Pietro Freire, minha fonte de força e de inesgotável amor.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, sou grata a Deus, que em sua misericórdia, me deu forças para enfrentar todos os desafios até chegar aqui. Sou grata a Ele pela vida, pois diante do atual cenário, hoje minha família se encontra recuperada da Covid-19. Sou grata ao nosso Senhor por todas as pessoas que fazem parte da minha vida e estiverem comigo ao longo desta trajetória. Dentre elas, estão meus pais, Paulo e Clemildes, que são exemplos, meu pai de força e perseverança, e minha mãe de amor e dedicação, e que ambos em sua sabedoria sempre buscaram me guiar com bons conselhos nessa longa jornada da vida. Ao meu filho, Pietro Freire, que com todo seu amor acreditou em mim até mesmo quando nem eu mais acreditava e isso foi fundamental para me incentivar a seguir adiante. Às minhas irmãs, Ana Paula e Ana Sybelle por sempre terem estendido a mão para me ajudar no decorrer da minha trajetória.

Quero agradecer aos meus amigos Luís Fernando, Juliana Reis, Tereza Manpetit, Mariana Braga, Laís Fontenelle, Mariana Oliveira, Thamires Coelho e Juliana Brito que estiveram ao meu lado, tanto nos momentos difíceis que mais precisei, assim como em todos os dias felizes ao lado de vocês. Obrigada por me ensinarem o valor da verdadeira amizade. Ao Thyago Matteucci que é uma pessoa maravilhosa que Deus colocou em minha vida, em que parte do que me tornei hoje, ao longo desses últimos dois anos, devo, especialmente, a você. Ao Celso Silva Junior por toda ajuda, incentivo e paciência. Você é um excelente profissional e uma grande referência para mim, do qual tenho muito orgulho.

Obrigada ao meu orientador Dr. Guillaume Rousseau e a minha coorientadora Dra. Liana Anderson por toda orientação ao longo desses anos de trabalho e por terem acreditado em mim desde o início.

Por fim, agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES por todo apoio na concessão da bolsa de estudos. E ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação – PPGBC da Universidade Federal do Maranhão – UFMA, que contribui na qualificação profissional e na formação de novos pesquisadores. Bem como, por ter tornado possível o desenvolvimento do I Simpósio de Biodiversidade e Conservação (SBC), que foi muito importante para o intercâmbio de conhecimentos científicos e tecnológicos no âmbito dos ecossistemas Maranhenses. Em especial quero agradecer, ao professor Dr. Bruno Barreto por toda sua dedicação na organização e por toda sua orientação a nossa turma para que pudéssemos entregar um evento de qualidade a todos que participaram. Além disso, gostaria de agradecê-lo também por todo conhecimento compartilhado ao longo deste mestrado.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I

1. APRESENTAÇÃO GERAL	1
2. INTRODUÇÃO	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
3.1 VARIÁVEIS CLIMÁTICAS, DESMATAMENTO E FOGO NA AMAZÔNIA BRASILEIRA.....	2
3.2 FOGO EM ÁREAS PROTEGIDAS	5
3.3 HISTÓRICO DE EXPLORAÇÃO DA RESERVA BIOLÓGICA DO GURUPI.....	8
3.4 A VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA NO MARANHÃO.....	13
2.5 A UTILIZAÇÃO DAS GEOTECNOLOGIAS EM ESTUDOS CIENTÍFICOS	14
4. OBJETIVOS	17
4.1 GERAL	17
4.2 ESPECÍFICOS	17
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	18
CAPÍTULO II.....	23
ANEXO I	47

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ENOS	El Niño Oscilação Sul
AMO	Oscilação Multidecadal do Atlântico
ATN	Atlântico Tropical Norte
UC	Unidade de Conservação
UPI	Unidade de Proteção Integral
UUS	Unidades de Uso Sustentável
UCE	Unidades de Conservação Estaduais
ENOS	El Niño Oscilação Sul
UCF	Unidades de Conservação Federais
TI	Terras Indígenas
REBIO	Reserva Biológica
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
ONG	Organização não governamental
ZEE	Zoneamento Ecológico-Econômico do Bioma Amazônia
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SR	Sensoriamento Remoto
INPE	Instituto de Pesquisas Espaciais
PRODES	Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite
AEB	Área de Endemismo de Belém
VIIRS	Radiometer Visible Infrared Imaging Suite
MW	Mann-Whintney
CHIRPS	Climate Hazards Group Infra-Red Precipitation with Station
REBIO	Reserva Biológica

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Pág.

Tabela 1 – Quantidade anual de ocorrências de fogo identificados dentro das áreas protegidas no Estado do Maranhão.....	6
Tabela 2 – Cadastro de 2007 realizado para caracterizar a presença humana na Rebio do Gurupi.....	12

CAPÍTULO II

Pág.

Tabela 1. Dinâmica anual da área de uso e cobertura da terra na Rebio do Gurupi entre 2012 e 2018.....	29
Tabela 2. Dinâmica anual de uso e cobertura da terra na área de entorno da Rebio do Gurupi entre 2012 e 2018.	29
Tabela 3. Teste de Mann-Whitney para o número anual de focos de calor por área no interior e entorno da Rebio em diferentes classes de uso e cobertura da terra. SD corresponde ao desvio padrão.	33
Tabela 4. Número anual de focos de calor por área no interior e entorno da Rebio em diferentes classes de uso e cobertura da terra.	33
Tabela 5. Porcentagem de focos de calor por tipo de uso e cobertura da terra para o interior da Rebio.....	37
Tabela 6. Porcentagem de focos de calor por tipo de uso e cobertura da terra para o entorno da Rebio.	38
Tabela 7. Área queimada e porcentagem de ignições na Rebio.....	40

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I	Pág.
Figura 1 – Localização do bioma Amazônia brasileira. As informações presentes na imagem abaixo são provenientes do Projeto MapBiomass.....	3
Figura 2 – Mapa do “Mosaico do Gurupi” onde se encontram a Rebio do Gurupi e as Terras Indígenas Awá e Caru. Uma região cortada pela Estrada de Ferro Carajás e por rodovias.....	9
Figura 3 – O Sensoriamento Remoto via satélite é o mais utilizado do que os outros meios de observação por fornecer uma repetitiva aquisição de imagens em uma grande área. O processo da coleta de informações depende da fonte de energia, o sol, da radiação refletida pelo alvo e a captação e transmissão dos dados registrados pelo sensor a uma base para interpretação e análise.....	15
CAPÍTULO II	Pág.
Figura 1. Dinâmica espaço temporal do desmatamento na Rebio entre 1986 e 2018. (a) dinâmica temporal do desmatamento na Rebio. (b) dinâmica temporal do desmatamento no entorno. (c) mapa da distribuição espacial do desmatamento entre 1986 a 2018 na Rebio e em seu entorno.....	28
Figura 2. Dinâmica anual da proporção de uso e cobertura da terra na Rebio do Gurupi e seu entorno entre 2012 e 2018.	30
Figura 3. Mudanças de uso e cobertura da terra na Rebio do Gurupi e seu entorno entre 2012 e 2018.	31
Figura 4. Padrão sazonal mensal dos focos de calor em cobertura de floresta madura, floresta secundária e pasto na Rebio do Gurupi e seu entorno entre 2012 e 2018 (excluindo-se os anos anormalmente secos de 2015 e 2016). A linha tracejada corresponde ao desvio padrão.	32
Figura 5. Distribuição espacial dos focos de calor em cobertura de floresta madura e secundária separada por anos normais e anos anormalmente secos (2015 e 2016).....	35
Figura 6. Regressão entre a quantidade mensal de focos de calor, chuva e temperatura. (a) Floresta madura no interior da Rebio. (b) Floresta madura no entorno da Rebio. (c) Floresta secundária no interior da Rebio. (d) Floresta secundária no entorno da Rebio. (e) Pasto no interior da Rebio. (f) Pasto no entorno da Rebio. As regressões que apresentam a linha vermelha são significativas à 5% de significância ($p\text{-value} < 0.05$).....	36
Figura 7. (a) Focos ativos classificados por tipo de uso e cobertura da terra no interior da Rebio. (b) Focos ativos classificados por tipo de uso e cobertura da terra no entorno da Rebio. (c) Regressão da relação entre a idade da vegetação secundária e a quantidade de anual de focos ativos no interior da Rebio. (c) Regressão da relação entre a idade da vegetação secundária e a quantidade de anual de focos ativos no entorno da Rebio.....	39

RESUMO

A Reserva Biológica do Gurupi é uma unidade de conservação de proteção integral da Amazônia, sendo abrigo de espécies endêmicas e ameaçadas de extinção, vem sendo alterada para atender a interesses econômicos. E com contínuo desmatamento a coloca em constante risco à ocorrência de incêndios florestais. Assim, a presente dissertação consistiu em entender a dinâmica do fogo nas diferentes idades de florestas secundárias, verificando a dinâmica temporal e espacial do fogo e a sua relação com variáveis climáticas e com o uso e cobertura da terra no interior da Rebio e na sua área de entorno como subsídio à conservação da biodiversidade na região. Desta forma, foi realizado o Teste de Mann-Whintney para testar a hipótese de haver diferença nas ocorrências de fogo no interior e no entorno da Rebio, além de ter sido usado o Google Earth Engine para o processamento dos dados para os anos de 2012 a 2018. Os resultados mostraram que em 2016, descobriu-se que 85% das ignições de fogo ocorreram em cobertura de floresta; evidenciando fogo criminoso e não escape de áreas adjacentes. Por outro lado, em média 81% das ignições ocorreram no interior da Rebio, enquanto uma média de 19% veio da área de entorno. Entende-se que este estudo fornece a identificação de áreas prioritárias para atividades de prevenção, posto que foi identificado de forma explícita as áreas de florestas que já foram afetadas pelo fogo e, portanto, encontram-se mais suscetíveis a novos incêndios.

Palavras-chave: focos de calor, mudanças climáticas, espécies ameaçadas, floresta secundária, biodiversidade, sensoriamento remoto.

ABSTRACT

The Gurupi Biological Reserve is an integral protection conservation unit in the Amazon, sheltering endemic and endangered species altered to serve economic interests. Furthermore, continuous deforestation puts the occurrence of forest fires at constant risk. Thus, this master's thesis consisted of understanding the dynamics of fire in different ages of secondary forests, verifying fire's temporal and spatial dynamics and its relationship with climatic variables and with land use and land cover in the interior of Rebio and its area, as a subsidy for the conservation of biodiversity in the region. Thus, the Mann-Whitney test was performed to test the hypothesis of a difference in fire occurrences inside and around the Rebio and use the Google Earth Engine to process data from 2012 to 2018. The results showed that in 2016, 85% of fire ignitions were found to occur in forest cover, evidencing arson fire and not escaping from adjacent areas. On the other hand, an average of 81% of the ignitions took place inside Rebio, while 19% came from the surrounding area. It is understood that this study identifies priority areas for prevention activities since it explicitly identified the forest areas that were already affected by fire and, therefore, are more susceptible to new fires.

Keywords: active fires, climate change, endangered species, secondary forest, biodiversity, remote sensing.

1. APRESENTAÇÃO GERAL

A presente dissertação intitulada “Caracterização da Dinâmica do fogo como subsídio para a conservação da Reserva Biológica do Gurupi na Amazônia Oriental.” é apresentada em 2 capítulos: o capítulo I contém uma revisão de literatura com 5 tópicos, sendo eles: Variáveis climáticas, desmatamento e fogo na Amazônia brasileira; Fogo em áreas protegidas; Histórico de exploração da Reserva Biológica do Gurupi; A vegetação secundária no Maranhão; A utilização das geotecnologias em estudos científicos. O capítulo II compreende o Artigo 1: Dinâmica de queimadas e incêndios florestais na Reserva Biológica do Gurupi, um dos últimos remanescentes de florestas da Amazônia Oriental.

A dissertação foi elaborada de acordo com as diretrizes do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação (PPGBC), pelas regras da ABNT. Para o capítulo I, correspondente ao artigo I, considerou-se as normas da revista *Perspectives in Ecology and Conservation*.

2. INTRODUÇÃO

As florestas tropicais são responsáveis por cerca de 20-40% das espécies da fauna e flora do planeta (MAUÉS; OLIVEIRA, 2010). Entre essas florestas, destaca-se a amazônica, por sua rica biodiversidade e papel crucial para a regulação do clima e do ciclo global do carbono (MARENGO, JOSE A.; BETTS, 2011). No entanto, o desmatamento e degradação florestal tem ameaçado esse importante bioma (MATRICARDI *et al.*, 2020; SILVA JUNIOR, CELSO H. L. *et al.*, 2021).

Dentre os distúrbios que levam à degradação das florestas na Amazônia, o fogo é destaque, pois resulta na redução da biodiversidade e dos estoques de carbono (FENG *et al.*, 2021; SILVA *et al.*, 2018). Embora a ocorrência natural de fogo na Amazônia seja rara (ARAGÃO, LUIZ EDUARDO O. C. *et al.*, 2007), as atividades humanas são hoje as principais responsáveis pelas ignições na região (CANO-CRESPO *et al.*, 2015). Além das queimadas resultantes da limpeza de áreas recém desmatadas e do manejo de pastos, o fogo utilizado no manejo dessas áreas acaba escapando para as florestas remanescentes adjacentes dando origem a incêndios florestais (BARLOW *et al.*, 2020; SILVA JUNIOR, CELSO *et al.*, 2018). Além disso, durante anos de secas extremas, sem um manejo adequado, e combinado a um ambiente mais seco e quente, o fogo acaba se propagando de forma descontrolada e atingindo áreas muito maiores de floresta que em anos normais (ARAGÃO, LUIZ E. O. C. *et al.*, 2018; SILVA JUNIOR, CELSO H. L. *et al.*, 2019).

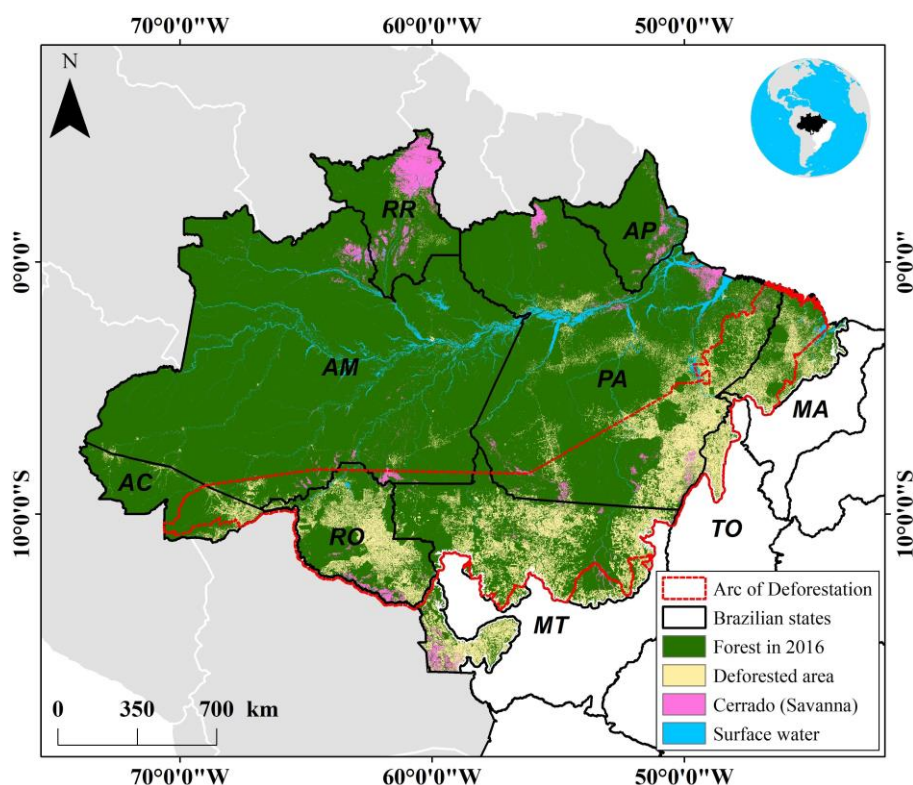
Recentemente, com os retrocessos ambientais no Brasil, a Amazônia brasileira tem experimentado um período de aumento das taxas de desmatamento e de queimadas (SILVA JUNIOR, CELSO H. L. *et al.*, 2021; SILVEIRA *et al.*, 2020). A escalada do desmatamento e das queimadas tem pressionado também as áreas legalmente protegidas da região. Nesse contexto, é importante entender os padrões da ocorrência do fogo em unidades de conservação como a Reserva Biológica do Gurupi, provendo subsídios para o correto manejo do fogo nessa região.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 VARIÁVEIS CLIMÁTICAS, DESMATAMENTO E FOGO NA AMAZÔNIA BRASILEIRA

A floresta Amazônica exerce influência sob o clima regional e global. As precipitações que acontecem na América do Sul resultam de um conjunto de processos de evaporação e condensação que ocorrem sobre a Amazônia. Esta floresta corresponde a 15% da fotossíntese terrestre, além de abrigar um quarto das espécies do mundo (MALHI et al., 2008). O bioma Amazônia é o maior de todo o território brasileiro, ocupando 49,5% (4.196.943 km²) da superfície nacional. Esta área abrange os estados do Amapá, Roraima, Acre, Amazonas e uma parcela da extensão territorial do Tocantins, Mato Grosso e Maranhão (Figura 1) (IBGE, 2019; MMA, 2020).

Figura 1 – Localização do bioma Amazônia brasileira. As informações presentes na imagem abaixo são provenientes do Projeto MapBiomias.



Fonte: Silva Junior et al. (2019).

A região Amazônica, ao longo dos anos, foi marcada por secas rigorosas. Estas, por sua vez, são consequência da combinação de fenômenos climáticos como o El Niño Oscilação Sul (ENOS), Oscilação Multidecadal do Atlântico (AMO) e o aquecimento do Atlântico Tropical Norte (ATN). As secas de 1926, 1983, 1998 ocorreram durante eventos do EL Niño (CAMPANHARO et al., 2019), enquanto em 2005 e 2010 ocorreram devido ao aquecimento anômalo do oceano Atlântico observado na Oscilação Multidecadal do Atlântico (AMO). A seca que ocorreu no ano de 2015, foi a mais forte que houve na Floresta Amazônica. Este evento

foi consequência do aquecimento anômalo nos oceanos equatorial e oriental do Pacífico Norte e no Atlântico Tropical Norte (ATN). Diferente de 2005 e 2010, no ano de 2015 os incêndios correlacionados a seca se expandiram para além do Arco do Desmatamento, atingindo a área central da Amazônia, região que apresenta um histórico de poucas ocorrências de incêndios. As anomalias positivas de fogo na região Amazônica, em 2015, atingiram uma área de 628.901 km², praticamente o dobro das áreas que foram afetadas em 2005 (363.245 km²) e em 2010 (388.803 km²) (ARAGÃO et al., 2018).

A resiliência da floresta tem sido afetada devido tanto pelas pressões climáticas quanto pelas ações antrópicas. Do ponto de vista climático, as secas afetam não só a capacidade fotossintética da floresta (ANDERSON et al., 2018) como também favorecem a ocorrência dos incêndios florestais e a mortalidade de espécies arbóreas, assim, revertendo a condição da floresta para uma fonte de liberação de carbono para a atmosfera (MARENGO; ESPINOZA, 2015), além de gerar altos déficits hídricos (ARAGÃO et al., 2018). Na literatura, demonstra-se que os cenários de mudanças climáticas tendem a aumentar as condições favoráveis a ocorrência de grandes incêndios na região, sendo o clima projetado com maiores temperaturas (BURTON et al., 2021).

Dentre as principais forçantes antrópicas identificam-se que a fragmentação das florestas e a extração ilegal da madeira são dois importantes fatores. Estes processos expõem a borda das florestas ou abrem os dosséis permitindo a penetração da radiação solar diretamente no sub-bosque, secando a serapilheira, o que fornece material suficiente para a combustão e tornando o ambiente mais propício ao fogo (SILVA JUNIOR et al., 2018). Nos anos mais secos as florestas tendem a ficar sazonalmente inflamáveis, porém os incêndios naturais são eventos raros, assim a principal fonte de ignição do fogo neste bioma é proveniente de atividades humanas (ARAGÃO et al., 2007). Uma floresta quando queimada se torna mais vulnerável a outras ocorrências e muitas espécies de árvores não possuem adaptação para sobreviver a estes eventos (MALHI et al., 2008). Segundo Aragão et al., (2018), as emissões de carbono na Amazônia estão fortemente associadas a incêndios florestais em eventos de secas extremas. Estima-se que a média dos incêndios podem dobrar devido as queimadas por desmatamento e a continuidade do manejo de pastagens. Em uma escala regional, as mudanças no uso da terra ocasionam mudanças nas taxas de evaporação da floresta, afetando o ciclo hidrológico (MARENGO; ESPINOZA, 2015) causando perdas ambientais e socioeconômicas.

A existência desta floresta fica mais vulnerável em um cenário mais quente, seco e populoso. Uma vez que atingir um limiar crítico de desmatamento e ocorrências de incêndios,

modelos climáticos sugerem que no século XXI a região amazônica poderá apresentar um clima continuamente mais seco (ALVES DE OLIVEIRA et al., 2021; MACHADO-SILVA et al., 2021). Desse modo, as mudanças no uso e cobertura da terra, as alterações climáticas e o desmatamento regional tornarão a floresta amazônica suscetível à degradação em grandes proporções, afetando o serviço global deste ecossistema no sequestro de carbono e na distribuição de chuvas (MALHI et al., 2008; BONAN, 2008; LEITE-FILHO et al., 2021)

Em cenários futuros, as mudanças climáticas e a fragmentação dos habitats provenientes das ações antrópicas influenciarão nas mudanças no regime do fogo (DRISCOLL et al. 2010, BURTON et al., 2021). Segundo o estudo Diffenbaugh e Field, (2013) os ecossistemas terrestres que estão projetados para se tornarem mais quentes e secos passarão por um aumento na frequência de incêndios. Pois, até o final do século XXI é previsto que as precipitações diminuirão de 20 a 40% e a temperatura aumente até 6° C (DIFFENBAUGH; FIELD, 2013). Desse modo, haverá uma redução no tempo médio de espaçamento entre os eventos sucessivos de fogo, o que afetará os processos bióticos e abióticos dos ecossistemas, bem como os padrões de recolonização das espécies (DRISCOLL et al. 2010).

3.2 FOGO EM ÁREAS PROTEGIDAS

As áreas protegidas brasileiras tiveram início desde o período colonial. Em 1937, foi criado o Parque Nacional do Itatiaia, a primeira Unidade de Conservação (UC) do Brasil, nesta época a criação de áreas protegidas estava mais voltada a beleza natural do lugar. Atualmente, em território nacional totalizam 2.446 UCs (MMA, 2020b), tanto na esfera Federal, Estadual e Municipal sendo estas regulamentadas pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), conforme a Lei Federal 9.985/2000. Esta lei define a divisão das UCs em Unidades de Proteção Integral (UPI) e Unidades de Uso Sustentável (UUS) (BARROS; BARBOSA, 2015).

As UPIs visam a preservação da natureza, permitindo somente o uso indireto dos seus recursos naturais previstos em lei, como para pesquisa científica, turismo ecológico e educação ambiental, enquanto as UUS conciliam a conservação da natureza com o uso sustentável de seus recursos naturais (SNUC, 2000; TOZZO; MARCHI, 2014). Isso demonstra a existência de preocupação com a preservação de espaços naturais para a proteção da biodiversidade e da manutenção da qualidade dos recursos essenciais a sobrevivência humana. Contudo, muitas UCs carecem de plano manejo, tornando-as mais vulneráveis do ponto de vista de gestão, fragilizando sua função de conservação dos bens naturais (BARROS; BARBOSA, 2015).

No Brasil, as queimadas têm ocorrido em áreas protegidas ao longo das últimas décadas (TUBELIS, 2009). Na medida em que se ampliam as fronteiras agrícolas e o crescimento da demanda por recursos naturais, conseqüentemente, aumenta as atividades humanas nestas áreas (MIRANDA; MORAES; OSHIRO, 2006; BARROS; BARBOSA, 2015). As ocorrências de incêndios em áreas protegidas na Amazônia, já é um indicador da ação antrópica, visto que o fogo provocado por fatores naturais, como raios, é raro. Isso mostra que, com o avanço da ocupação humana para dentro destas áreas torna-se um problema na conservação das florestas e na perda substancial das funções ecológicas exercidas por estes ambientes naturais (MIRANDA; MORAES; OSHIRO, 2006).

As áreas protegidas no Estado do Maranhão, Brasil, abrangem cerca de 107.000km² de seu território. Isto corresponde a 10 Unidades de Conservação Estaduais (UCE), 14 Unidades de Conservação Federais (UCF) e 17 Terras Indígenas (TI). Nestes territórios se encontram os últimos remanescentes de cobertura vegetal antiga do Estado, porém 19.048 ocorrências de fogo foram registradas entre 2008 e 2012, nas áreas protegidas do Maranhão (Tabela 1). Dentre elas, do total de queimadas ocorridas nas UCFs, a Rebio do Gurupi apresentou 439 focos de calor, sendo a segunda UCF que apresentou os maiores valores para os anos analisados (GERUDE, 2013).

Tabela 1 – Quantidade anual de ocorrências de fogo identificados dentro das áreas protegidas no Estado do Maranhão.

Ano	UCE	UCF	TI	Total
2008	982	283	574	1839
2009	1670	439	620	2729
2010	2152	902	2373	5427
2011	1503	517	860	2880
2012	1906	657	3610	6173

Fonte: GERUDE (2013).

As TIs são importantes para a manutenção de fragmentos de florestas que abrigam espécies ameaçadas de extinção. E o fogo geralmente dentro das TIs é utilizado para manejo da terra, bem como para a execução de atividades religiosas e espirituais. Contudo, essas terras se encontram em situação vulnerável, visto que enfrentam muitos problemas de degradação florestal, tanto pelo desmatamento quanto pelo fogo. Pois, estas áreas costumam ter muitos conflitos devido a invasões em suas terras para a extração ilegal de madeira. Os madeireiros ao

realizarem o corte seletivo tornam a vegetação mais suscetível ao fogo, já que com a perda das árvores de grande porte aumenta a incidência de luz solar no interior da floresta propiciando a criação de ambientes mais secos (GERUDE, 2013).

Conforme o estudo apresentado por Celentano et al., (2018) o “Mosaico do Gurupi”, que ainda está desde 2014 em processo para ser legalmente reconhecido, este possui 17,9 km². Sendo assim, este mosaico é formado pela Rebio do Gurupi e pelas Terras Indígenas do Estado do Maranhão a Alto Turiaçu, Awá, Caru, Rio Pindaré e Arariboia, e uma do Estado do Pará, a TI Alto Rio Guamá. Estas áreas protegidas enfrentaram grandes incêndios de origem criminosa que são realizadas em protesto contra as operações de fiscalização para combater a extração ilegal de madeira, entre 2015 e 2016, o que acabou afetando áreas de florestas que eram consideradas nativas até 2014.

Ressalta-se ainda, que neste mesmo ano de 2014 mais de 1,1 mil km² de pastagens foram identificadas dentro destas áreas protegidas, o que gerou muitos conflitos. Por exemplo, donos dessas propriedades têm matado onças-pintadas que estão atacando rebanhos de gado bovino, ou seja, estas onças estão sendo mortas dentro da Unidade de Conservação em que elas deveriam se encontrar protegidas. Além disso, os povos indígenas também têm sentido os efeitos destas alterações, com a diminuição das árvores de grande porte e a redução da oferta de animais de caça (CELENTANO et al., 2018).

De modo geral, as queimadas são realizadas principalmente para preparação do solo em função da queima de matéria orgânica para disponibilizar nutrientes que serão absorvidos pelas plantas. No início, após a queima, o solo fica mais fértil devido a maior concentração de potássio e outros minerais e, por isso, é uma atividade tão difundida entre os produtores rurais (CÔRTEZ et al., 2011).

Nesse contexto, durante eventos de fogo em áreas de proteção as espécies de maior locomoção tendem a fugir para fragmentos não queimados que funcionam como refúgio durante e após os incêndios. Esses refúgios tornam-se um novo ambiente para as espécies que não conseguem sobreviver nos locais que foram alterados pelo fogo. Assim, havendo o isolamento local da espécie (BERRY; LINDENMAYER; DRISCOLL, 2015), além de se tornarem espécies invasoras neste ecossistema (DRISCOLL et al., 2010). Desta forma, o fogo é um fator de alteração do equilíbrio ecológico dos ambientes, bem como uma ameaça a manutenção da biodiversidade (CÔRTEZ et al., 2011).

As espécies de plantas que dependem de bancos de sementes no solo para recuperação da população são mais vulneráveis ao fogo, pois as sucessivas ocorrências de incêndios

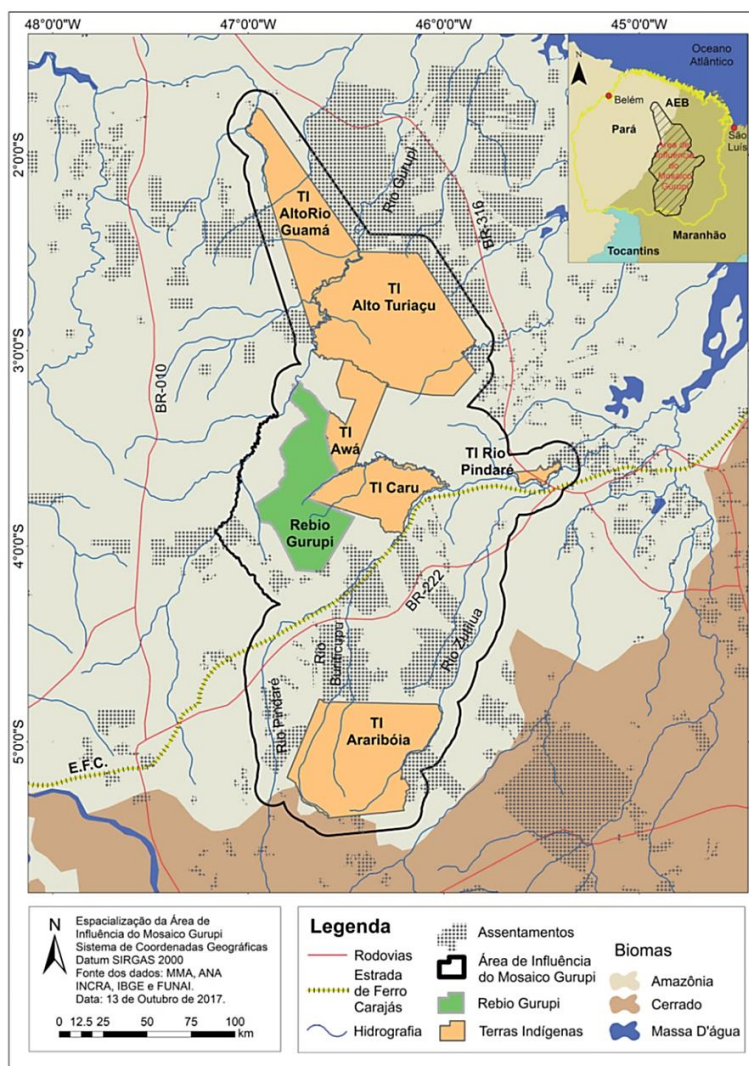
inviabilizam o banco de sementes, além tornar o solo mais suscetível a processos erosivos (CARDOZO et al., 2014). Assim, estas modificações das propriedades do solo o tornam desfavorável ao estabelecimento e sobrevivência de plântulas, caso as sementes sobrevivam as altas temperaturas do fogo. Estas perturbações aumentam o estresse nos ecossistemas, agravando a mortandade da fauna e alterando as interações bióticas, como os padrões de herbívora. Dessa forma, com a maior ocorrência de incêndios ocasiona o declínio populacional dessas espécies (ENRIGHT et al., 2015).

Desta maneira, estas áreas somente se encontram protegidas quando estão em regiões isoladas da presença humana (MIRANDA; MORAES; OSHIRO, 2006). Fica evidente que as principais ameaças as florestas das áreas protegidas são a extração ilegal de madeira, o desmatamento, a mineração ilegal, a pecuária e as queimadas. A área da Rebio do Gurupi está dentro deste contexto complexo de pressões antrópicas e climáticas e, portanto, sua conservação como um dos últimos testemunhos de florestas amazônicas do Estado do Maranhão encontra-se ameaçado.

3.3 HISTÓRICO DE EXPLORAÇÃO DA RESERVA BIOLÓGICA DO GURUPI

Nos anos 60, houve criação de novas estradas como a BR-010 (Rodovia Belém-Brasília) e posteriormente da BR-222 (Figura 2). A BR-222 foi construída para ligar a rodovia Belém-Brasília a cidade de São Luís. Nesse período, a região oeste do estado do Maranhão teve um crescimento acelerado em sua dinâmica socioeconômica o que atraiu pessoas de diferentes lugares. Consequentemente, se iniciou um processo de grilagem de terras, muitas áreas que antes eram florestas começaram a ser transformadas em povoados e distritos, que, atualmente, se tornaram municípios (MARTINS; OLIVEIRA, 2011).

Figura 2 – Mapa do “Mosaico do Gurupi” onde se encontram a Rebio do Gurupi e as Terras Indígenas Awá e Caru. Uma região cortada pela Estrada de Ferro Carajás e por rodovias.



Fonte: CELENTANO et al. (2018).

Desse modo, o presidente Jânio Quadros, em 1961, criou a Reserva Florestal do Gurupi que consistia em um polígono superior a 1.600.000 hectares que incluía muitos povos indígenas. Na época, foi uma atitude a ser tomada devido ao crescimento desordenado e a exploração predatória das árvores de valor comercial em um processo de desenvolvimento econômico. Contudo, nos quatro anos seguintes, esta reserva não entrou na categoria de área protegida no Código Florestal e com a implementação de políticas de integração territorial, no regime militar, houve a emissão de títulos de propriedades que não respeitavam os limites da Reserva Florestal do Gurupi (MARTINS; OLIVEIRA, 2011).

Nos anos 80, com a implantação do parque siderúrgico-guseiro de Carajás pela Companhia Vale do Rio Doce e o aumento no consumo do carvão, crescia a extração vegetal de espécies de maior valor comercial. Isto ocorrendo em paralelo a expansão pecuária que acontecia no Maranhão e dos assentamentos nas proximidades da ferrovia Carajás-São Luís (Figura 1). A condição de exploração dos recursos naturais fez deste Projeto Carajás uma das maiores áreas de exploração de minério do mundo (BRASIL, 2018). Em consequência, causando a degradação das florestas, incentivando a criação de empregos e o crescimento de cidades, como Imperatriz, Buriticupu, Açaílândia dentre outros (BRASIL, 2018; BARROS; BARBOSA, 2015).

A ideia de estimular a abertura de novas áreas por meio do desmatamento era uma atitude promissora que ajudaria a população e no desenvolvimento econômico do Estado. Assim, deixando de dar importância aos povos indígenas que, na época, não tinham seus direitos garantidos, além de que havia pouco conhecimento sobre relevância da conservação das florestas. Somente em 1982 que houve a homologação da TI Caru (Decreto nº 87.843) com 1.708,58 km² e a TI Awá, mesmo que tenha sido identificada em 1985, foi homologada por meio de um decreto presidencial somente em 2005, com 1.167,70 km², em que já havia perdido mais de 25% de sua floresta antiga (FUNAI, 2020; CELENTANO et al., 2018).

A etnia Awá-Guajá que vive na TI Awá, são grupos indígenas que se mantêm isolados, com costumes nômades e são caçadores-coletores (CELENTANO et al., 2018). Desse modo, a manutenção da vegetação da Rebio é importante para garantir a sobrevivência deste grupo (MARTINS; OLIVEIRA, 2011), visto que foi considerada uma das tribos mais ameaçadas da Terra (Survival International, 2020). A Rebio do Gurupi e estas TIs até hoje se encontram vulneráveis a extração ilegal de madeira.

As ocupações na região oeste do Maranhão também ocorriam na região leste do Pará. Ambas marcadas pela falta de controle destas invasões e dificuldades na regularização fundiária, resultando em processos de falsificação de documentos de posse de terra. Além de haver problemas sociais como o aliciamento de trabalhadores rurais sem terra e desempregados que recebiam promessas de “títulos de propriedades” de seus agenciadores em troca de extraírem ilegalmente a madeira na unidade de conservação e em terras indígenas. Criando um ciclo de exploração dos recursos naturais, desmatamento e ocorrências de queimadas (MARTINS; OLIVEIRA, 2011).

O presidente de José Sarney, após a ditadura militar, criou a Reserva Biológica (Rebio) do Gurupi em 12 de janeiro de 1988 (Decreto nº 95.614) ao qual as terras indígenas não foram

incluídas. Segundo Pinheiro, Soares e Neto (2013), em 1988 cerca de 91,08% (247.789,568 hectares) da área da Rebio estava coberta por florestas. As áreas restantes correspondiam a ocupações dentro da reserva e áreas de vegetação secundária. Já em 1996, o uso da terra aumentou em 14,99%, havendo uma redução em 6,11% de áreas de florestas. Assim, 84,97% da reserva correspondia a floresta ombrófila densa.

Em 2001, a Polícia Federal encontrou cinco serrarias no entorno da Rebio. A quantidade de madeira apreendida poderia corresponder a 89 hectares de vegetação. Os troncos de madeira que não são aproveitados, geralmente, são descartados por meio de combustão a céu aberto (MARTINS; OLIVEIRA, 2011), representando um risco a ocorrência de incêndios. Estes fatores demonstram a pressão do corte seletivo sobre a vegetação da região do Gurupi.

O desmatamento na Rebio se mostrou contínuo no ano de 2005, com perda de 25% da cobertura vegetal, sendo mapeadas 74,9 % de floresta ombrófila densa (MARTINS; OLIVEIRA, 2011). Neste mesmo ano foi observado uma mudança no padrão da retirada da vegetação por parte dos madeireiros, em que alternavam o corte raso com a extração seletiva das árvores de interesse comercial. Isso, justamente, para tornar as alterações na cobertura vegetal menos notória ao monitoramento via imagens de satélites a fim de escapar da fiscalização (CELENTANO et al., 2018). Estes fatores demonstram a pressão do corte seletivo e do desmatamento sobre a vegetação da região do Gurupi (MARTINS; OLIVEIRA, 2011). O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA fez o levantamento da situação fundiária da Rebio do Gurupi entre 2006 e 2007. Onde constataram mais de 6.500 pessoas vivendo na reserva (Tabela 2) e estas ocupações a mantém em um constante risco de devastação pelo fogo.

Tabela 2 – Cadastro de 2007 realizado para caracterizar a presença humana na Rebio do Gurupi.

NOME	ORIGEM	Ha	FAMÍLIAS	PESSOAS*
Assentamento Aeroporto	ITERMA	23.010	800	5.600
Assentamento do Rio Anil	Ocupação	850	11	74
Ocupação Guarantan do Norte	Ocupação	7.744	83	415
Povoado do Porcão	Ocupação	1.000	12	60
Vila Bom Jesus	INCRA	4.530	88	180
<i>Sub-total</i>		37.134	994	6.329
Posseiros		13.718		157
Proprietários alegados, não comprovados		24.727		31
Proprietários com documentação		1.452		19
<i>Sub-total</i>		39.897		207
TOTAL		77.031		6.536

*pessoas envolvidas na produção ou residentes.

Fonte: Estrutural – Estudos e Projetos Ltda. *Consolidação Territorial da Reserva Biológica do Gurupi*. 2007.

Fonte: MARTINS e OLIVEIRA (2011).

A Rebio do Gurupi na categoria de unidade de conservação de proteção integral não deve sofrer com interferências humanas. Mas, esta pode ser usada apenas para desenvolvimento de pesquisa científica, como descrito na lei nº 11.986, de 12 de novembro de 2001 (BARROS; BARBOSA, 2015). Contudo, a cobertura florestal da Rebio do Gurupi está sendo alterada para atender a interesses econômicos (PINHEIRO; SOARES; NETO, 2013). Parte de suas terras já se encontram convertidas para usos agrícolas e para exploração madeireira (MARTINS; OLIVEIRA, 2011). Em 2007, ocorreu novamente uma grande operação de fiscalização realizada pelo IBAMA no combate a práticas ilícitas no interior da Rebio e no seu entorno fiscalizando carvoarias e serrarias ilegais (MARTINS; OLIVEIRA, 2011).

Outra problemática existente na área de entorno da Rebio é a substituição da vegetação antiga por plantação de eucalipto: uma vez retirada toda a madeira de valor comercial, o plantio de eucalipto é introduzido como “reflorestamento”, visto que, as empresas de produtoras de papel passaram a utilizar esse plantio para produção de carvão. Desse modo, é importante o reconhecimento destas plantações como monoculturas, já que a intenção das empresas a utilizarem como reflorestamento para realização de recomposição de reserva legal é para fins lucrativos (MARTINS; OLIVEIRA, 2011).

Em 2013, foi realizada uma Proposta de Projeto que visava a redução ou destituição da Rebio do Gurupi, Decreto Legislativo nº 914/2013. Contudo, esta proposta foi rejeitada no mesmo ano pela Comissão de Meio Ambiente da Câmara dos Deputados. Contudo, devido a interesses políticos este plano não foi totalmente abandonado. Além disso, em 2015 assassinaram Raimundo dos Santos Rodrigues dentro da Rebio. Raimundo era membro do

Conselho Consultivo da Reserva Biológica (CELENTANO et al., 2017). Os Conflitos, a violência e o desmatamento ilegal estão muito presentes nesta área da Rebio, mostrando que no Brasil aqueles que defendem os direitos ambientais e dos indígenas se encontram em constante risco devido a ameaças que sofrem por pessoas envolvidas com extração ilegal de madeira (Frontline Defenders, 2015). Entre 2014 e 2015, segundo a ONG Global Witness o Brasil ficou no topo da lista com maior número de mortes de ambientalistas, o que demonstra a omissão por parte do governo brasileiro e do poder judiciário (LAYRARGUES, 2018).

3.4 A VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA NO MARANHÃO

As florestas tropicais secundárias apresentam altas taxas de sequestro de carbono. Segundo, Poorter et al. (2016), após 20 anos a captação líquida anual de carbono de corresponde a $3,05 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, sendo 11 vezes a taxa de captação de florestas de crescimento antigo da Amazônia em 2010 ($0,28 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). A manutenção da floresta secundária é fundamental para a conservação da biodiversidade e no fornecimento de serviços ecossistêmicos. Embora sua importância tenha sido reconhecida na Lei nº 12.651/2012, esta vegetação ainda se encontra desprotegida do desmatamento (CELENTANO et al., 2017). Estes distúrbios antropogênicos afeta a sucessão secundária, visto que com a abertura dos dosséis prejudica crescimento da vegetação, havendo uma diminuição na biomassa permanente (POORTER et al., 2016).

A sucessão secundária foi considerada fundamental ao combate das mudanças climáticas (POORTER et al., 2016; HEINRICH et al., 2021). A melhor forma de garantir esta sucessão seria excluindo a fonte da perturbação que impossibilita a recuperação da floresta. O tempo dessa restauração varia de 30 a 80 anos, sendo em média 66 anos, a depender do nível de degradação. Visto que se o grau de degradação for muito alto é necessário a intervenção humana, fazendo a utilização de das técnicas mais apropriadas para recuperação da floresta. Porém, restaurar demanda a disponibilidade de capital financeiro, além da situação jurídica e sociocultural, principalmente no que se refere a restauração da escala local para escala de paisagem (CELENTANO et al., 2017).

Na Amazônia Maranhense, 733 km^2 de florestas antigas foram retiradas entre 2017 e 2019. Para a conservação das florestas maduras na Amazônia Maranhense se deve focar em estratégias que visem combater os distúrbios antropogênicos como o desmatamento, o corte seletivo e os incêndios florestais a fim de evitar a fragmentação dos habitats, perda de estoques de carbono e da biodiversidade. Estas áreas de remanescentes florestais possuem um elevado

potencial para a sucessão secundária. No ano de 2018, das áreas que haviam sido desmatadas 33% (25.119 km²) estava coberta por vegetação secundária (SILVA JUNIOR et al., 2020).

O Maranhão é um dos estados mais atrasados do país na execução do código florestal. O Estado não possui uma política de restauração florestal que proteja e regule sua conservação. Em 15 de maio de 2020, foi aprovado o novo projeto de lei do Zoneamento Ecológico-Econômico do Bioma Amazônia – ZEE, n 003/2020 (MARANHÃO, 2020) que determina a redução da cobertura florestal que não seja de crescimento antigo na Reserva Legal de 80% para 50%, excluindo a relevância da manutenção das florestas secundárias. Portanto, tal política pode incentivar tanto as ações de desmatamento e de extração ilegal de madeira no Estado (SILVA JUNIOR et al., 2020) .

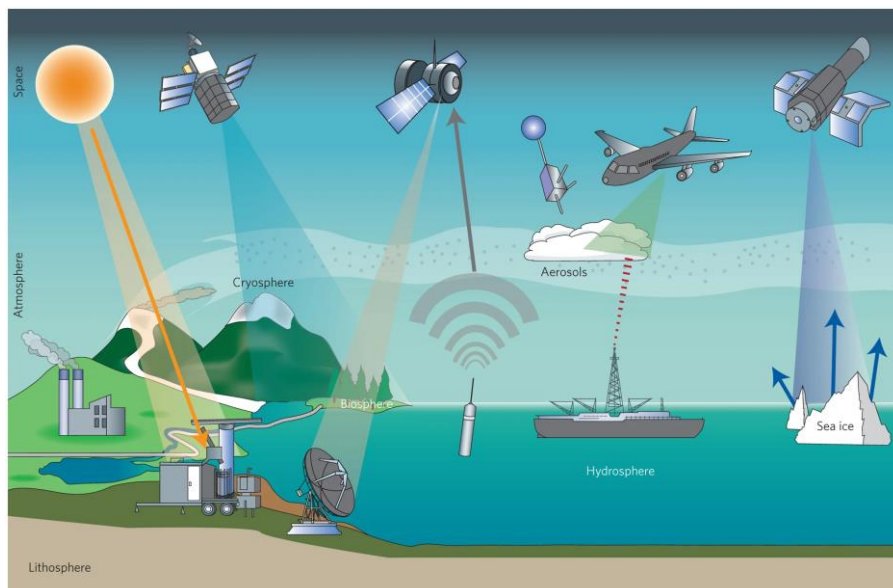
Um grande desafio na Amazônia Maranhense é harmonizar a conservação e a restauração das florestas com melhorias nas atividades agrícolas e na qualidade de vida da população (CELENTANO *et al.*, 2018). Nesse sentido, uma alternativa seria introduzir os Sistemas Agroflorestais, assim, havendo a provisão dos serviços ecossistêmicos proporcionando benefícios sociais (CELENTANO *et al.*, 2018).

2.5 A UTILIZAÇÃO DAS GEOTECNOLOGIAS EM ESTUDOS CIENTÍFICOS

As geotecnologias fazem o tratamento das informações geográficas tanto na área acadêmica como para planejamento político-territorial. As geotecnologias têm sido cada vez mais incorporadas a sociedade globalizada (SILVA; CARNEIRO, 2011) permitindo um estudo mais preciso de um determinado ambiente ou fenômeno. Sendo estas ferramentas o Sistema de Informação Geográfica (SIG), Processamento Digital de Imagens e o Sensoriamento Remoto (SR).

O SR permite a obtenção de dados da superfície terrestre sem que haja contato direto com mesma, posto que é por meio de sensores a bordo de aeronaves ou satélites que ocorre o registro da energia emitida ou refletida pelo alvo que está sendo estudado (Figura 3). Assim, geram-se imagens multiespectrais que podem ser processadas e analisadas. Para essa finalidade, utilizam-se os Sistemas de Informação Geográfica – SIG (SILVA; CARNEIRO, 2011). Os dados utilizados nestas ferramentas são de fácil aquisição, disponíveis em *websites*, minimizando os custos para realização da pesquisa, além de otimizar a geração do conhecimento científico (PINHEIRO; SOARES; NETO, 2013).

Figura 3 – O Sensoriamento Remoto via satélite é o mais utilizado do que os outros meios de observação por fornecer uma repetitiva aquisição de imagens em uma grande área. O processo da coleta de informações depende da fonte de energia, o Sol, da radiação refletida pelo alvo e a captação e transmissão dos dados registrados pelo sensor a uma base para interpretação e análise.



Fonte: YANG et al. (2013).

O SR é usado no monitoramento ambiental e em dinâmicas e projeções climáticas (YANG et al., 2013). Além de permitir verificar diferentes cenários em um determinado período, quantificando e qualificando as mudanças ocorridas, também viabiliza analisar níveis de degradação ocorridos em uma vegetação (PINHEIRO; SOARES; NETO, 2013), como suporte ao gerenciamento de recursos hídricos (ENCINA et al., 2018) e gestão de Unidades de conservação. Contudo, é, também, aplicado nas áreas da saúde pública, como na prevenção de doenças, permitindo que modelos de previsão das atividades de vetores, como mosquitos, possam ser aplicados em diferentes regiões (CHUANG et al., 2012). Incentiva-se o uso da ferramenta como apoio em ações de vigilância e controle em estudos de doenças endêmicas (CORREIA et al., 2004).

Vale ressaltar que, dados de satélite possuem suas limitações, já que as observações precisam ser regularmente calibradas e validadas, devido às incertezas que podem ocorrer pelos sensores no momento da detecção do alvo (YANG et al., 2013). Dado que interferências atmosféricas podem atrapalhar na identificação de queimadas, como a presença de aerossóis na atmosfera sobre a área de estudo que afetam na identificação do fogo (GERUDE, 2013). Então,

para todo estudo requer o reconhecimento destas limitações. No entanto, continua sendo um dos grandes avanços da tecnologia em estudos científicos sobre a Terra, pois permite o monitoramento em tempo real e quantificação das áreas afetadas pelo fogo de forma praticamente instantânea.

A Amazônia legal é monitorada pelo Instituto de Pesquisas Espaciais – INPE, desde 1988. O Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (PRODES) estima as taxas anuais de desflorestamento que são identificados nas imagens de satélite que cobrem toda a região. Além desse, há o projeto de Monitoramento de Queimadas e Incêndios, quase em tempo real, por meio da detecção dos focos de calor para toda a América do Sul e Central. Estes projetos aderem a um sistema de transparência dos dados, o acesso é livre, permitindo que sejam utilizados pelo governo brasileiro para a definição de políticas públicas, bem como viabilizar a avaliação independente da sociedade (INPE, 2020a; (INPE, 2020b).

Nesse contexto, as geotecnologias são importantes para otimizar a extração de informações de Unidades de Conservação (UC), pois contribuem com dados que podem ser utilizados para estimativas de perdas da cobertura florestal, tanto local como regional, que trazem consequências que podem ser irreversíveis ao ecossistema. Estes dados também podem subsidiar o aprimoramento do planejamento da fiscalização ambiental e na aplicação das leis de crimes ambientais. Desta forma, é fundamental, que a os avanços que ocorrerem na utilização das geotecnologias sejam assistidos pelas políticas públicas para a execução dos mecanismos penais e administrativos (MARTINS; ZANON, 2007). Portanto, são tecnologias importantes que contribuem em estudos socioambientais (SILVA; CARNEIRO, 2011) e em planos de conservação que visem mitigar os impactos provenientes da ação humana (PINHEIRO; SOARES; NETO, 2013).

4. OBJETIVOS

4.1 GERAL

Identificar a atividade do fogo na Reserva Biológica do Gurupi e na sua área de entorno como subsídio à conservação da biodiversidade na região.

4.2 ESPECÍFICOS

Para alcançar o objetivo geral, os seguintes Objetivos Específicos (OE) foram propostos:

OE-1: Verificar as ocorrências do fogo através das análises temporais (anual e mensal) e espaciais de produtos de sensoriamento remoto;

OE-2: Mapear o desmatamento na Rebio do Gurupi entre 1985 e 2018;

OE-3: Mapear áreas as florestas secundarias e suas idades na Rebio do Gurupi.

OE-4: Analisar a relação do fogo o uso e cobertura da terra e variáveis climáticas (chuva e temperatura).

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- ALVES DE OLIVEIRA, B. F. et al. Deforestation and climate change are projected to increase heat stress risk in the Brazilian Amazon. **Communications Earth & Environment**, v. 2, n. 1, p. 207, 1 dez. 2021.
- ANDERSON, L. O. et al. Vulnerability of Amazonian forests to repeated droughts. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 373, n. 1760, p. 20170411, 19 nov. 2018.
- ARAGÃO, L. E. O. C. et al. Spatial patterns and fire response of recent Amazonian droughts. **Geophysical Research Letters**, v. 34, n. 7, p. L07701, 3 abr. 2007.
- ANDERSON, L. O. et al. Counting the costs of the 2005 Amazon drought: A preliminary assessment. In: MEIR, P. (Org.). **Ecosystem Services for Poverty Alleviation in Amazonia**. Edinburgh: Global Canopy Programme and Univ. of Edinburgh, 2011. p. 96–108.
- ARAGÃO, L. E. O. C. *et al.* 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. **Nature Communications**, v. 9, n. 1, p. 536, 13 dez. 2018.
- ARAGÃO, Luiz Eduardo O. C. *et al.* Spatial patterns and fire response of recent Amazonian droughts. **Geophysical Research Letters**, v. 34, n. 7, p. L07701, 3 abr. 2007. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1029/2006GL028946>>. Acesso em: 18 ago. 2014.
- BARROS, R. A.; BARBOSA, R. S. Unidades de Conservação: Um Estudo sobre os Impactos Ambientais Resultantes da Extração de Madeira na Reserva Biológica do Gurupi-MA. **InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 1, n. 2, p. 270–292, 30 dez. 2015.
- BERRY, L. E.; LINDENMAYER, D. B.; DRISCOLL, D. A. Large unburnt areas, not small unburnt patches, are needed to conserve avian diversity in fire-prone landscapes. **Journal of Applied Ecology**, v. 52, n. 2, p. 486–495, abr. 2015.
- BARLOW, Jos *et al.* Clarifying Amazonia's burning crisis. **Global Change Biology**, v. 26, n. 2, p. 319–321, 15 fev. 2020. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/gcb.14872>>
- BONAN, G. B. Forests and Climate Change: Forcings, Feedbacks, and the Climate Benefits of Forests. **Science**, v. 320, n. 5882, p. 1444–1449, 13 jun. 2008.
- BRASIL. **Projeto Carajás**. Disponível em: <<http://querepublicaeessa.an.gov.br/temas/66-filme/104-projeto-carajas.html>>. Acesso em: 12 maio. 2020.
- BURTON, C. et al. South American fires and their impacts on ecosystems increase with continued emissions. **Climate Resilience and Sustainability**, 31 jul. 2021.
- CAMPANHARO, W. *et al.* Translating Fire Impacts in Southwestern Amazonia into Economic Costs. **Remote Sensing**, v. 11, n. 7, p. 764, 29 mar. 2019.
- CANO-CRESPO, Ana *et al.* Forest edge burning in the Brazilian Amazon promoted by escaping fires from managed pastures. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v.

120, n. 10, p. 2095–2107, out. 2015. Disponível em:
<<http://doi.wiley.com/10.1002/2015JG002914>>.

CARDOZO, F. *et al.* Analysis and Assessment of the Spatial and Temporal Distribution of Burned Areas in the Amazon Forest. **Remote Sensing**, v. 6, n. 9, p. 8002–8025, 26 ago. 2014.

CELENTANO, D. *et al.* Towards zero deforestation and forest restoration in the Amazon region of Maranhão state, Brazil. **Land Use Policy**, v. 68, n. August, p. 692–698, 2017.

CELENTANO, D. *et al.* Desmatamento, degradação e violência no “Mosaico Gurupi” – A região mais ameaçada da Amazônia. **Estudos Avançados**, v. 32, n. 92, p. 315–339, 2018.

CHUANG, T. W. *et al.* Satellite microwave remote sensing for environmental modeling of mosquito population dynamics. **Remote Sensing of Environment**, v. 125, p. 147–156, 2012.

CONAMA. **Resolução Conama nº 13, de 6 de dezembro de 1990**. Disponível em:
<<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=110>>. Acesso em: 10 jul. 2019.

CORREIA, V. R. DE M. *et al.* Remote sensing as a tool to survey endemic diseases in Brazil. **Cad. Saúde Pública**, v. 20, n. 4, p. 891–904, 2004.

CÔRTEZ, L. G. *et al.* Fogo em veredas: avaliação de impactos sobre comunidades de Odonata (Insecta). **Biodiversidade Brasileira**, v. 1, n. 2, p. 128–145, 2011.

DEFENDERS, F. **Histórico do caso: Raimundo dos Santos Rodrigues**. Disponível em:
<<https://www.frontlinedefenders.org/pt/case/histórico-do-caso-raimundo-dos-santos-rodrigues>>. Acesso em: 20 maio. 2020.

DIFFENBAUGH, N. S., & FIELD, C. B. (2013). Changes in ecologically critical terrestrial climate conditions. **Science**, 341(6145), 486–492. <https://doi.org/10.1126/science.1237123>

DRISCOLL, D. A. *et al.* Fire management for biodiversity conservation: Key research questions and our capacity to answer them. **Biological Conservation**, v. 143, n. 9, p. 1928–1939, set. 2010.

ENCINA, C. C. C. *et al.* Geotecnologias Aplicadas à Análise Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Olho d’Água, Município de Jardim, Mato Grosso do Sul - Brasil. **Anuario do Instituto de Geociencias**, v. 41, n. 2, p. 577–584, 2018.

ENRIGHT, N. J. *et al.* Interval squeeze: altered fire regimes and demographic responses interact to threaten woody species persistence as climate changes. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 13, n. 5, p. 265–272, jun. 2015.

FENG, Xiao *et al.* How deregulation, drought and increasing fire impact Amazonian biodiversity. **Nature**, v. 597, n. 7877, p. 516–521, set. 2021.

FUNAI. **A Terra Indígena Awá-Guajá**. Disponível em:
<<http://www.funai.gov.br/index.php/ascom/1817-a-terra-indigena-awa-guaja>>. Acesso em: 12 maio. 2020.

GERUDE, R. G. **Focos de queimadas em áreas protegidas do Maranhão entre 2008 e 2012**XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...Foz do Iguaçu: INPE**, 2013

HEINRICH, V. H. A. et al. Large carbon sink potential of secondary forests in the Brazilian Amazon to mitigate climate change. **Nature Communications**, v. 12, n. 1, p. 1785, dez. 2021.

IBGE. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 28 maio. 2020.

_____. **IBGE lança mapa inédito de Biomas e Sistema Costeiro-Marinho**. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/25798-ibge-lanca-mapa-inedito-de-biomas-e-sistema-costeiro-marinho>>. Acesso em: 26 maio. 2020.

INPE. **Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite**. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>>. Acesso em: 8 jul. 2020a.

_____. **Monitoramento de Queimadas e Incêndios**. Disponível em: <http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas/index_old.php>.

INTERNATIONAL, S. **Earth's Most Threatened Tribe**. Disponível em: <<https://www.survivalinternational.org/awa>>. Acesso em: 12 maio. 2020.

LAYRARGUES, P. P. Quando os ecologistas incomodam: a desregulação ambiental pública no Brasil sob o signo do anti-ecologismo. **Quando os ecologistas incomodam: a desregulação ambiental pública no Brasil sob o signo do anti-ecologismo**, n. 12, p. 1–30, 2018.

LEITE-FILHO, A. T. et al. Deforestation reduces rainfall and agricultural revenues in the Brazilian Amazon. **Nature Communications**, v. 12, n. 1, p. 2591, 10 dez. 2021

LI, Wenhong; FU, Rong; DICKINSON, Robert E. Rainfall and its seasonality over the Amazon in the 21st century as assessed by the coupled models for the IPCC AR4. **Journal of Geophysical Research**, v. 111, n. D2, p. D02111, 2006. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1029/2005JD006355>>

MACHADO-SILVA, F. et al. Drought Resilience Debt Drives NPP Decline in the Amazon Forest. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 35, n. 9, 8 set. 2021.

MALHI, Y. et al. Climate Change, Deforestation, and the Fate of the Amazon. **Science**, v. 319, n. 5860, p. 169–172, 11 jan. 2008.

MAPBIOMAS. **Projeto Anual Brasileiro de Mapeamento e Uso da Terra e do Solo**. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/>>. Acesso em: 28 maio. 2020.

MARANHÃO. **Diário da Assembleia. Projeto de Lei nº 003/2020. Institui o Zoneamento Ecológico-Econômico do Bioma Amazônico do Estado do Maranhão**. Disponível em: <<https://www.al.ma.leg.br/diarios/arquivos/DIARIO012-05-02-2020.pdf>>. Acesso em: 9 jul. 2020.

MARENGO, J. A.; ESPINOZA, J. C. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 3, p. 1033–1050,

14 mar. 2015.

MARTINS, L. K. P.; ZANON, P. C. F. **Uso de geotecnologias na proteção da biodiversidade** (INPE, Ed.) Florianópolis: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007 Disponível em:
<<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.14.35.44/doc/4029-4036.pdf>>

MARTINS, M. B.; OLIVEIRA, T. G. DE (EDS.). **Amazônia Maranhense: diversidade e conservação**. Belém: MPEG, 2011. v. 368

MATRICARDI, Eraldo Aparecido Trondoli *et al.* Long-term forest degradation surpasses deforestation in the Brazilian Amazon. **Science**, v. 369, n. 6509, p. 1378–1382, 11 set. 2020. Disponível em: <<https://www.sciencemag.org/lookup/doi/10.1126/science.abb3021>>.

MAUÉS, Márcia Motta; OLIVEIRA, Paulo Eugênio Alves Macedo. Consequências da fragmentação do habitat na ecologia reprodutiva de espécies arbóreas em florestas tropicais, com ênfase na Amazônia. **Oecologia Australis**, v. 14, n. 01, p. 238–250, mar. 2010. Disponível em:
<<http://www.oecologiaaustralis.org/ojs/index.php/oa/article/view/oeco.2010.1401.14/377>>.

MIRANDA, E. E. DE; MORAES, A. V. DE C. DE; OSHIRO, O. T. **Queimadas em Áreas Protegidas da Amazônia em 2005**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélites, 2006.

MMA. **Mapa de Cobertura Vegetal**. Disponível em:
<<https://www.mma.gov.br/biomas/amazonia/mapa-de-cobertura-vegetal.html>>. Acesso em: 26 maio. 2020a.

_____. **Tabela consolidada das Unidades de Conservação**. Disponível em:
<https://www.mma.gov.br/images/arquivo/80229/CNUC_FEV20 - B_Cat.pdf>. Acesso em: 4 jun. 2020b.

PINHEIRO, P. F. V.; SOARES, J. A. C.; NETO, P. B. DA S. Desmatamento em Unidades de Conservação de Proteção Integral: O caso da Reserva Biológica do Gurupi - MA. **XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, p. 7616–7623, 2013.

POORTER, L. *et al.* Biomass resilience of Neotropical secondary forests. **Nature**, v. 530, n. 7589, p. 211–214, 2016.

SILVA, F. G. DA; CARNEIRO, C. D. R. **As geotecnologias nos livros didáticos: uma análise para o ensino médio** Curitiba: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2011

SILVA JUNIOR, C. *et al.* Deforestation-Induced Fragmentation Increases Forest Fire Occurrence in Central Brazilian Amazonia. **Forests**, v. 9, n. 6, p. 305, 1 jun. 2018.

SILVA JUNIOR, C. H. L. *et al.* Amazon forest on the edge of collapse in the Maranhão State, Brazil. **Land Use Policy**, v. 97, n. May, p. 104806, 2020.

SILVA, Camila V. J. *et al.* Drought-induced Amazonian wildfires instigate a decadal-scale disruption of forest carbon dynamics. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 373, n. 1760, p. 20180043, 19 nov. 2018. Disponível em:

<<http://rstb.royalsocietypublishing.org/lookup/doi/10.1098/rstb.2018.0043>>.

SILVA JUNIOR, Celso *et al.* Deforestation-Induced Fragmentation Increases Forest Fire Occurrence in Central Brazilian Amazonia. **Forests**, v. 9, n. 6, p. 305, 1 jun. 2018. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/1999-4907/9/6/305>>.

SILVEIRA, Marcus V. F. *et al.* Drivers of Fire Anomalies in the Brazilian Amazon: Lessons Learned from the 2019 Fire Crisis. **Land**, v. 9, n. 12, p. 516, 14 dez. 2020. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2073-445X/9/12/516>>.

SMITH, Lauren T *et al.* Drought impacts on children's respiratory health in the Brazilian Amazon. **Scientific reports**, v. 4, p. 3726, jan. 2014. Disponível em: <<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3893650&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>>. Acesso em: 13 set. 2014.

SNUC. **Lei No 9.985, de 18 de julho de 2000**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm>. Acesso em: 10 jul. 2019.

TOZZO, R. A.; MARCHI, E. C. DE. Unidades de Conservação no Brasil: Uma Visão Conceitual, Histórica e Legislativa. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 6, p. 508–523, 2014.

YANG, J. *et al.* The role of satellite remote sensing in climate change studies. **Nature Climate Change**, v. 3, n. 10, p. 875–883, 15 out. 2013.

CAPÍTULO II

Dinâmica de queimadas e incêndios florestais em um dos últimos remanescentes de floresta da Amazônia Oriental

Ana T. G. Freire^a, Liana Oighenstein Anderson^b, Celso H.L. Silva Junior^c, Guillaume X. Rousseau^{d,e}

^a Federal University of Maranhão, Av. dos Portugueses - Vila Bacanga, 65080-805, São Luís, MA, Brazil

^b National Center for Monitoring and Early Warning of Natural Disaster (CEMADEN), São José dos Campos, Brazil

^c Tropical Ecosystems and Environmental Sciences Laboratory (TREES), Remote Sensing Division, National Institute for Space Research (INPE), São José dos Campos, 12227-010, SP, Brazil

^d Agroecology Postgraduate Program (PPGAgroecologia), State University of Maranhão (UEMA), Campus Universitário Paulo VI, s/n, Tirirical, 65054-970, São Luís, MA, Brazil

^e Member of the Advisory Council of the Biological Reserve of Gurupi, Maranhão, Brazil.

RESUMO

Os incêndios florestais causam impactos negativos ao equilíbrio dos ecossistemas. Essa é uma realidade presente na Reserva Biológica (Rebio) do Gurupi, sendo a única unidade de conservação integral da Floresta Amazônica presente no Estado do Maranhão e na Área de Endemismo de Belém (AEB), Brasil. Por meio da utilização das geotecnologias, o presente artigo teve como objetivo analisar as ocorrências do fogo nas florestas secundárias e suas idades, verificando a dinâmica temporal e espacial do fogo e a sua relação com variáveis climáticas e com o uso e cobertura da terra. O período analisado compreende os anos de 2012 a 2018. O pico de ocorrência de fogo na Rebio, ocorreu em novembro em floresta madura, floresta secundária e pasto. Espacialmente os incêndios em florestas maduras e secundárias na Rebio e em seu entorno nos anos normais ocorreram principalmente na região sul. Contudo, durante os anos de seca severa em 2015 e 2016 a ocorrência dos incêndios foi generalizada. Assim, é necessário ações de controle e manejo adequado do fogo, nesta reserva que é abrigo de espécies endêmicas e ameaçadas de extinção, a fim de garantir a conservação da biodiversidade já conhecida e ainda a ser descoberta na região.

Palavras-chave: focos de calor, mudanças climáticas, espécies ameaçadas, floresta secundária, biodiversidade, sensoriamento remoto.

Introdução

As queimadas estão inseridas nos processos produtivos da Amazônia brasileira. Assim, o fogo pode ser entendido como um fator que ajuda a impulsionar a expansão agropecuária neste bioma, transformando florestas em pastagens (PIROMAL et al., 2008). A queimada é uma técnica que o usa o fogo de forma planejada para fins agrícolas e renovação de pastagens. Estas atividades, quando realizadas sem o devido planejamento ocasionam o escape do fogo que atinge a vegetação gerando os incêndios florestais. Os incêndios podem ocorrer de forma predatória visando a degradação da floresta para a inserção de gramíneas para o estabelecimento de pastagens ilegais ou como resultado de conflitos por disputa de território ou de bens florestais, muitas vezes envolvendo populações tradicionais e grileiros, e atividades de mineração e corte seletivo ilegal.

As condições de secas extremas intensificam as ocorrências do fogo na floresta Amazônica. Por exemplo, no ano de 2010, em que ocorreu uma seca severa na porção sul da Amazônia e levou a queima de mais de 10% da área do Estado do Mato Grosso (ANDERSON et al., 2015). Este fenômeno junto ao escape do fogo de áreas produtivas do Mato Grosso (um dos principais centros de produção agrícola do Brasil) aumentou em mais de 3.645 km² de áreas de florestas queimadas neste ano (CANO-CRESPO et al., 2015).

Os incêndios florestais causam impactos negativos ao equilíbrio das florestas Amazônicas. Dentre estes impactos temos a liberação de gases de efeito estufa para a atmosfera (ARAGÃO et al., 2018), perda da biodiversidade local, alteração na estrutura da floresta (SILVA et al., 2018) e degradação do solo (GIGANTE et al., 2007). Estes eventos levam a destruição dos habitats, afetando o fluxo de energia, produtividade e serviços ecológicos, além de ameaçar diretamente a sobrevivência de espécies da flora e da fauna local. Como as comunidades de mamíferos, aves e de invertebrados, são importantes para a dispersão de sementes e para a decomposição da matéria orgânica, ajudando na regeneração da vegetação, os incêndios florestais também colocam em xeque a sustentabilidade do ecossistema a longo prazo (DE ANDRADE et al., 2014).

Além dos impactos citados acima, a emissão de aerossóis para a atmosfera no processo de queima, quando inaladas causam complicações respiratórias, gerando consequências à saúde pública de extensas regiões. Segundo Smith et al., (2014), a seca de 2010 registrada na Amazônia apresentou um aumento anômalo na ocorrência de incêndios nos estados do Tocantins e Mato Grosso e sul do Maranhão, que foram as áreas mais afetadas pela seca. Neste

mesmo ano, o município de Fátima do estado de Tocantins apresentou um aumento de 267% nas internações hospitalares.

No estado do Maranhão, 37% da população, cerca de 2.427.640 pessoas, viviam em meio rural até o ano de 2010 (IBGE, 2010). Em todo o Estado o fogo é muito utilizado na pecuária e na agricultura (CELENTANO et al., 2018). Os agricultores familiares, por exemplo, dependem do sistema de corte e queima para a preparação do solo para o cultivo (FARIAS FILHO, 2013). Essa é uma realidade presente na Reserva Biológica (Rebio) do Gurupi, sendo a única unidade de conservação integral da Floresta Amazônica presente no Estado do Maranhão (PINHEIRO; SOARES; NETO, 2013) e na Área de Endemismo de Belém (AEB) (CELENTANO et al., 2018).

Nessa categoria a reserva não deve sofrer com interferências humanas, podendo ser usada apenas para desenvolvimento de pesquisa científica, como descrito na lei nº 11.986, de 12 de novembro de 2001 (BARROS; BARBOSA, 2015). Contudo, a cobertura florestal da Rebio do Gurupi está sendo alterada para atender a interesses econômicos via práticas insustentáveis por grupos de interesse (PINHEIRO, SOARES; NETO, 2013). Parte de suas terras já se encontram convertidas para usos agrícolas e para exploração madeireira o que a mantém em permanente risco de ocorrência de incêndios florestais (c, 2011). A região sul da Rebio e no entorno da reserva são as áreas que mais sofrem com o estresse ambiental devido a instalação dos assentamentos, povoados e fazendas (MARTINS; OLIVEIRA, 2011).

A Rebio do Gurupi apresenta grandes alterações no ambiente natural decorrentes da influência antrópica, em suas mais diferentes representações (HESSEL; LISBOA, 2015). Assim as áreas de floresta ombrófila densa intactas até o ano de 2015 somam 35,61%, floresta alterada 15,84%, fragmentos de vegetação alterada e áreas antrópicas 17,53% e uso antrópico intensivo 31,02% (HESSEL; LISBOA, 2015). As áreas de floresta nativa, estão concentradas na porção central, associados às formações da Serra da Desordem e da Serra do Tiracambu e no centro-norte, associado ao limite com as Terras Indígenas Awá e Carú. Esta reserva abriga mais das 46 espécies endêmicas da Rebio Gurupi, com destaque as aves (*Psophia obscura* e *Nyctibius leucopterus*) e os primatas (*Chiropotes satanas* e *Cebus kaapori*) (CELENTANO et. al, 2018) que se encontram criticamente em perigo de extinção, conforme consta no Livro Vermelho (ICMBio, 2019). Visto que, as atividades antrópicas, tais como ocupação desordenada, desmatamento e tráfico de animais silvestres, comprometem a integridade ecológica, fragmentando a paisagem e destruindo os habitats nessa região (HESSEL; LISBOA, 2015).

Desta forma, o presente artigo fez a utilização de Geotecnologias (Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto) que são ferramentas indispensáveis para as análises de variáveis ambientais. O objetivo foi analisar as ocorrências do fogo nas diferentes idades florestas de florestas secundárias, verificando a dinâmica temporal e espacial do fogo e a sua relação com variáveis climáticas e com o uso e cobertura da terra.

Métodos

Conjunto de Dados

Os dados de focos de calor foram provenientes do Radiometer Visible Infrared Imaging Suite (VIIRS) a bordo do satélite Suomi-NPP, com resolução espacial de 375 metros. Para a análise da dinâmica espacial e temporal do fogo na Rebio do Gurupi em escalas mensal e anual, foi realizado a análise temporal (total mensal e anual). Foram realizadas análises quantitativas dos focos para verificar os meses e os anos de máxima ocorrência de fogo. Com estes resultados houve a identificação de padrões espaciais do fogo dentro da Rebio e em sua área de entorno. Além disso, foi realizado o Teste de Mann-Whintney (MW) com a finalidade de testar a hipótese de haver diferença nas ocorrências de fogo no interior quanto no entorno da Rebio em diferentes classes de uso e cobertura da terra. Adicionalmente foram utilizados os dados do perímetro de área queimada e pontos de ignição do produto *Global Fire Atlas* (<https://www.globalfiredata.org/fireatlas.html>) desenvolvido por Andela et al. (2019).

Na análise da relação da ocorrência do fogo com as variáveis climáticas (precipitação e temperatura) e uso e cobertura da terra, foram utilizados os dados de precipitação obtidos do CHIRPS (*Climate Hazards Group Infra-Red Precipitation with Station*) com resolução espacial de 5 quilômetros. Os dados de temperatura da superfície terrestre serão derivados do sensor MODIS do satélite AQUA, produto MYD11A2 (coleção 6). Estes dados de temperatura diurnos e noturnos são disponibilizados com resolução espacial de 1 quilômetro (FUNK et al., 2015).

Os dados de uso e cobertura da terra foram adquiridos do Projeto MapBiomas (Projeto de Mapeamento Anual de Cobertura e Uso do Solo no Brasil, Coleção 5. Este produto contém dados de 1985 a 2020, de 30 metros de resolução espacial, que fornecem informações espaço-temporais sobre a cobertura de florestas, além do uso da terra para fins agrícolas e pecuários (MapBiomas, 2021).

Relação da ocorrência do fogo com variáveis climáticas

Os dados de focos de calor e de precipitação e temperatura foram avaliados os totais mensais para cada ano e realizadas análises de regressão. Assim, caracterizou-se com um detalhamento espacial esta relação para toda a Rebio do Gurupi e seu entorno. Além disso, a partir dessas informações, foram analisados os padrões sazonais do fogo, temperatura e chuva.

Relação da ocorrência do fogo com o uso e cobertura da terra.

A presente análise foi baseada nos dados de focos de calor e nos dados de uso e cobertura da terra, separados em classes de floresta, agricultura e pasto. Foi realizado o método de álgebras de mapas para identificar as classes que foram impactadas pelo fogo e as mudanças ocorridas nestas áreas. Posteriormente, utilizando a classe de floresta primária dos mapas de uso e cobertura da terra e os focos de calor foram separados com o objetivo de analisar somente os incêndios florestais.

Mapeamento das áreas de florestas secundárias e suas idades

O método utilizado para o mapeamento das áreas de florestas secundárias e suas idades está descrito no artigo Silva Junior et al. (2020a) (Anexo I). Este método contou com a identificação do crescimento secundário de florestas (transição de um pixel de agricultura e pecuária para floresta, por exemplo) e, posteriormente, do cálculo de suas respectivas idades. O método foi automatizado e implementado na plataforma Google Earth Engine – GEE, que é uma plataforma de processamento de dados geoespaciais em escala global.

Mapeamento do desmatamento de florestas maduras

O mapeamento do desmatamento foi derivado dos dados do MapBiomas. Por definição, consideramos como desmatamento a transição de um pixel com cobertura de floresta para um uso antrópico (Agricultura, Pastagem, Silvicultura, Mosaico de Agricultura e Pastagem, Área Urbana e Classes de Mineração) a cada ano considerando 1985 como linha de base, desconsiderando o crescimento secundário da floresta.

Resultados

Desmatamento e mudança de uso e cobertura da terra na Rebio do Gurupi

Entre 1986 e 2018, a Rebio do Gurupi perdeu um total de 866 km² de floresta, enquanto seu entorno perdeu 1.176 km² (Figura 1). Essa perda representa respectivamente 34% e 41% das florestas que estavam em pé em 1985 na a Rebio e se entorno. No entanto, não foi encontrada

diferença significativa ($p\text{-value}=0.14$; $MW=430$) entre a média anual de desmatamento na Rebio ($26,3\pm16,3 \text{ km}^2 \text{ ano}^{-1}$) e o seu entorno ($35,6\pm25,1 \text{ km}^2 \text{ ano}^{-1}$).

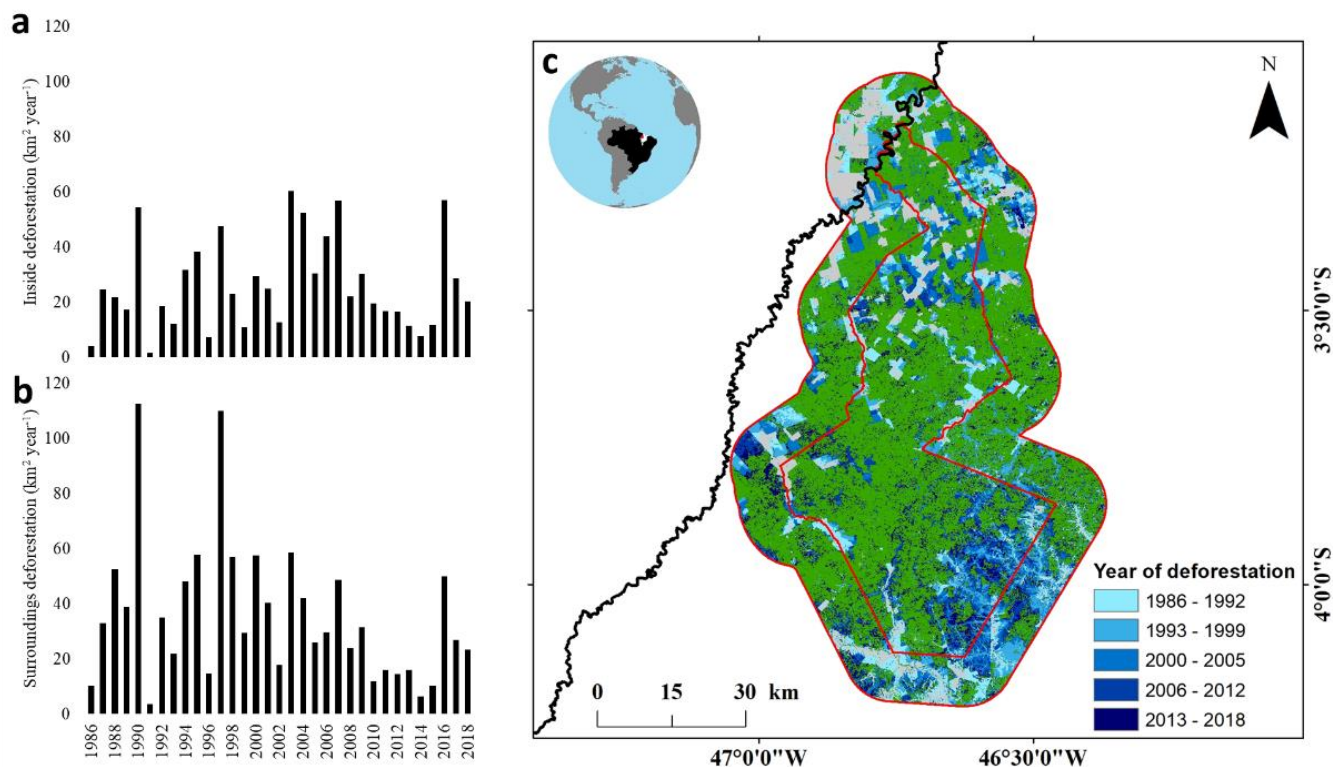


Figura 1. Dinâmica espaço temporal do desmatamento na Rebio entre 1986 e 2018. (a) dinâmica temporal do desmatamento na Rebio. (b) dinâmica temporal do desmatamento no entorno. (c) mapa da distribuição espacial do desmatamento entre 1986 e 2018 na Rebio e em seu entorno.

Na Amazônia brasileira, as áreas desmatadas dão lugar a algum tipo de uso (agricultura ou pecuária) ou são abandonadas permitindo o crescimento de florestas secundárias. Na Rebio do Gurupi, encontramos que a floresta madura foi a classe de uso e cobertura da terra com maior área proporcional entre 2012 e 2018 (Tabela 1 e 2; Figura 1), tanto no interior com uma média de $71,64\pm2,15 \text{ \% ano}^{-1}$ ($1.942,86\pm58,27 \text{ km}^2 \text{ ano}^{-1}$), quanto no entorno com uma média de $61,34\pm2,03 \text{ \% ano}^{-1}$ ($1.994,81\pm66,04 \text{ km}^2 \text{ ano}^{-1}$). A classe água apresentou proporcionalmente uma área de menor importância (menor que 3 %), tanto para o interior, quanto para o entorno da Rebio.

Seguida da classe de cobertura de florestas maduras, a classe pasto foi a segunda em importância tanto no interior, quanto no entorno da Rebio. No interior, as áreas de pasto aumentaram de 426 km^2 em 2012, para 536 km^2 em 2018, com uma taxa média de crescimento

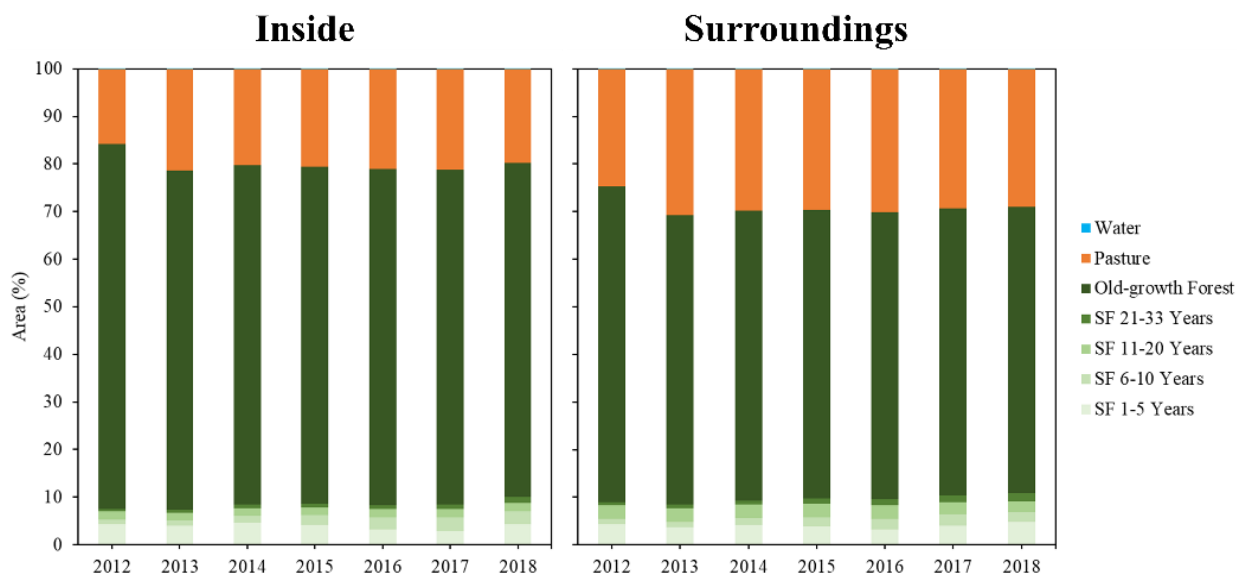


Figura 2. Dinâmica anual da proporção de uso e cobertura da terra na Rebio do Gurupi e seu entorno entre 2012 e 2018.

Por outro lado, encontramos que a cobertura de florestas secundárias representou em média $8,35 \pm 0,82$ % ($226,56 \pm 22,18 \text{ km}^2 \text{ ano}^{-1}$) da Rebio e $9,61 \pm 0,73$ % ($312,66 \pm 23,71 \text{ km}^2 \text{ ano}^{-1}$) de seu entorno entre 2012 e 2018. É importante destacar que essas florestas secundárias eram compostas principalmente por vegetações que regeneraram entre um e cinco anos, tanto no interior quanto no entorno da Rebio. Na Rebio, as florestas secundárias com classe de idade 1-5 anos aumentaram de 117 km^2 em 2012 para 118 km^2 em 2018, ao mesmo tempo que as florestas de classe 21-33 anos aumentaram de 14 km^2 em 2012 para 32 km^2 em 2018. Por outro lado, no entorno da Rebio, as florestas secundárias com classe de idade 1-5 anos aumentaram de 140 km^2 em 2012 para 157 km^2 em 2018, ao mesmo tempo que as florestas de classe 21-33 anos aumentaram de 24 km^2 em 2012 para 55 km^2 em 2018.

A Figura 3 mostra a distribuição espacial das classes de uso e cobertura da Terra para a área de estudo no início (2012) e final (2018) da série temporal analisada.

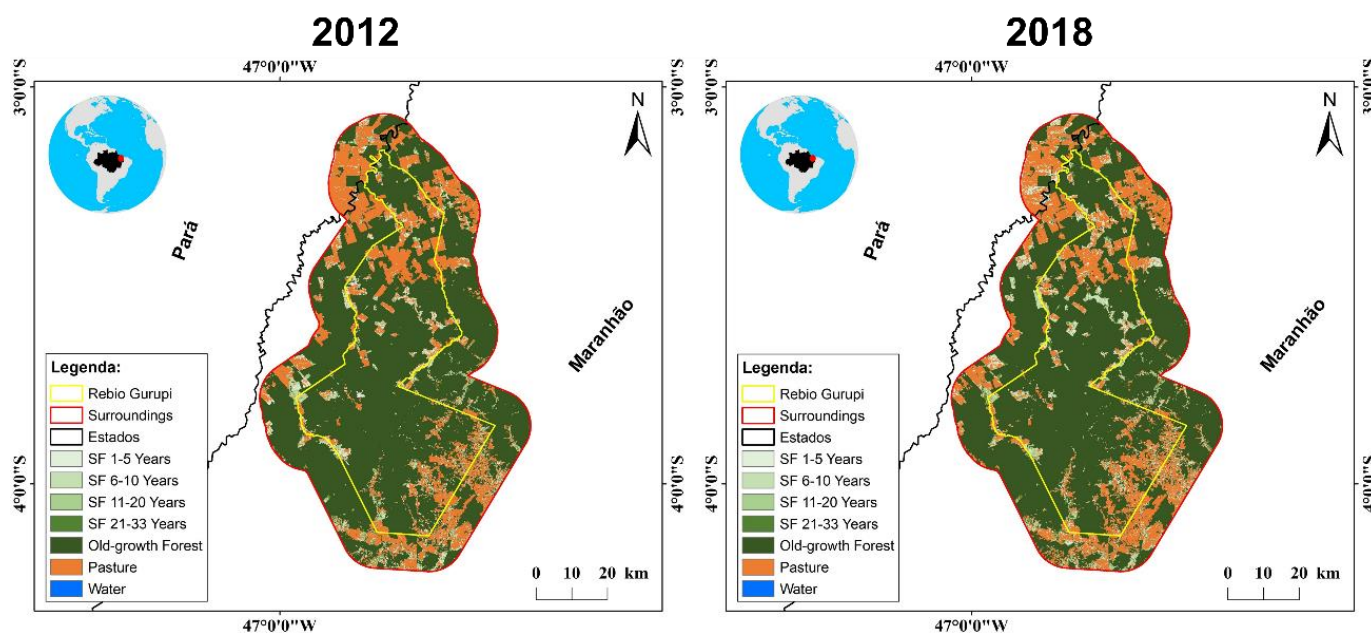


Figura 3. Mudanças de uso e cobertura da terra na Rebio do Gurupi e seu entorno entre 2012 e 2018.

Dinâmica das Queimadas e Incêndios na Rebio do Gurupi entre 2012 e 2018

Na escala mensal, encontramos que os focos de calor apresentam um padrão sazonal bem definido ao longo do ano, tanto no interior quanto no entorno da Rebio do Gurupi (Figura 4). No interior da Rebio encontramos que os incêndios em cobertura de floresta madura apresentaram uma quantidade média de focos de calor inferior a um foco mensal entre os meses de fevereiro e maio, com pico em novembro (média de $101,00 \pm 74,95$ focos mês^{-1}). Os incêndios em cobertura de floresta secundária apresentaram média inferior a um foco mensal entre os meses de fevereiro e julho, com pico em novembro (média de $31,00 \pm 5,40$ focos mês^{-1}). Ainda no interior da Rebio, o fogo em áreas de pasto apresentou uma quantidade média de focos de calor inferior a um foco mensal entre os meses de abril e junho, com pico em novembro (média de $117,80 \pm 45,98$ focos mês^{-1}).

Por outro lado, no entorno da Rebio, entre os meses de fevereiro e julho, foi observada uma quantidade média de focos de calor inferior a um foco mensal em áreas com cobertura de floresta maduras, enquanto entre fevereiro e agosto isso foi observado para as áreas com cobertura de floresta secundária, e por fim entre fevereiro e julho para as áreas de pasto. O mais interessante, foi que independentemente do tipo de cobertura, o pico do número de focos de calor foi em dezembro, com uma média de $107,80 \pm 87,58$ focos mês^{-1} em cobertura de floresta

madura, 27.00 ± 12.96 focos mês⁻¹ em cobertura de floresta secundária e 84.80 ± 48.25 focos mês⁻¹ e áreas de pastos (Figura 3).

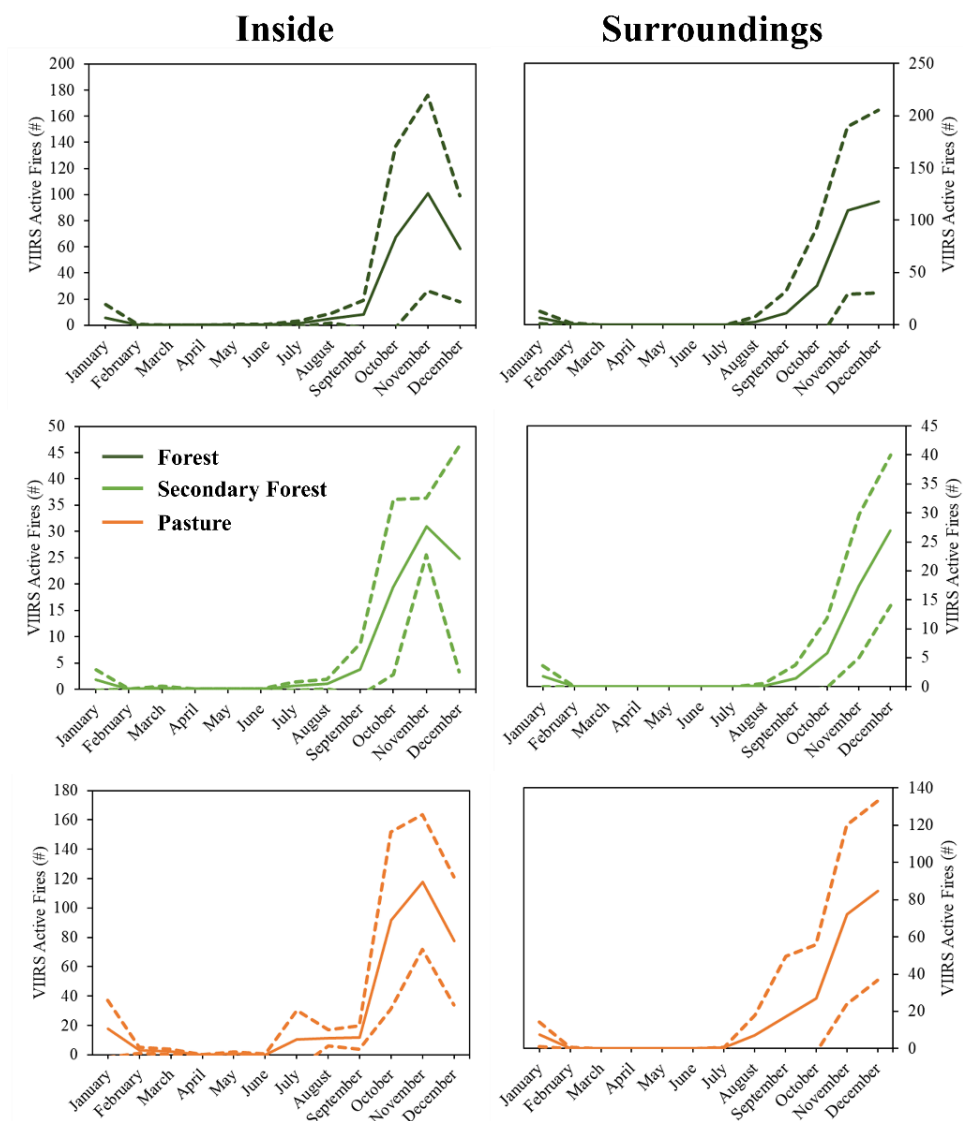


Figura 4. Padrão sazonal mensal dos focos de calor em cobertura de floresta madura, floresta secundária e pasto na Rebio do Gurupi e seu entorno entre 2012 e 2018 (excluindo-se os anos anormalmente secos de 2015 e 2016). A linha tracejada corresponde ao desvio padrão.

Na escala anual, o teste de Mann-Whitney mostrou que entre 2012 e 2018 não apresentou diferença significativa ($p\text{-value} > 0.05$) em relação a quantidade de focos de calor por área de floresta madura (MW=27) e floresta secundária (MW=9) que ocorreram no interior e no entorno da Rebio (Tabela 3). No entanto, nas áreas de cobertura de pasto, o teste de Mann-Whitney mostrou existir uma diferença significativa ($p\text{-value} = 0.03$; MW=7) em relação a quantidade de focos de calor por área que ocorreram no interior (0.39 ± 0.47 focos de calor km²) e no entorno

(0.79 ± 0.40 focos de calor km^{-2}) da Rebio (Tabela 3). A partir da Tabela 4 encontramos que em geral, independentemente do tipo de classe de uso e cobertura e sua localização, a quantidade de focos por quilometro quadrado de área foi inferior a um na maioria dos anos, exceto nos anos de 2015 e 2016.

Tabela 3. Teste de Mann-Whitney para o número anual de focos de calor por área no interior e entorno da Rebio em diferentes classes de uso e cobertura da terra. DP corresponde ao desvio padrão.

Classes	Localização	Média±DP (fogo ativo km^{-2})	Teste Mann-Whitney	p-value
Floresta Secundária	Interior	0.33±0.45	9	0,06
	Em torno	0.53±0.45		
Floresta Madura	Interior	0.59±1.18	27	0,80
	Em torno	0.43±0.75		
Pasto	Interior	0.39±0.47	7	0.03
	Em torno	0.79±0.40		

Tabela 4. Número anual de focos de calor por área no interior e entorno da Rebio em diferentes classes de uso e cobertura da terra.

Interior (fogo ativo km^{-2})							
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Floresta Secundária	0.52	0.27	0.31	1.52	0.32	0.55	0.22
Floresta Madura	0.23	0.06	0.14	2.12	0.23	0.11	0.08
Pasto	1.04	0.35	0.62	1.57	0.65	0.79	0.54

Em torno (fogo ativo km ⁻²)							
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Floresta Secundária	0.30	0.12	0.24	1.35	0.11	0.17	0.04
Floresta Madura	0.24	0.09	0.17	3.25	0.16	0.19	0.02
Pasto	0.47	0.14	0.29	1.42	0.12	0.25	0.05

A análise da distribuição dos focos de calor diferiu entre os anos normais e os anormalmente secos (Figura 5). Nas áreas com cobertura de floresta madura, em anos normais, os focos de calor estavam concentrados principalmente na região sul da Rebio, incluindo o seu entorno; no entanto durante as secas extremas do ano de 2015 e 2016, uma grande quantidade de focos de calor estava concentrada, não somente na região sul da Rebio e seu entorno, mas também na região leste e norte.

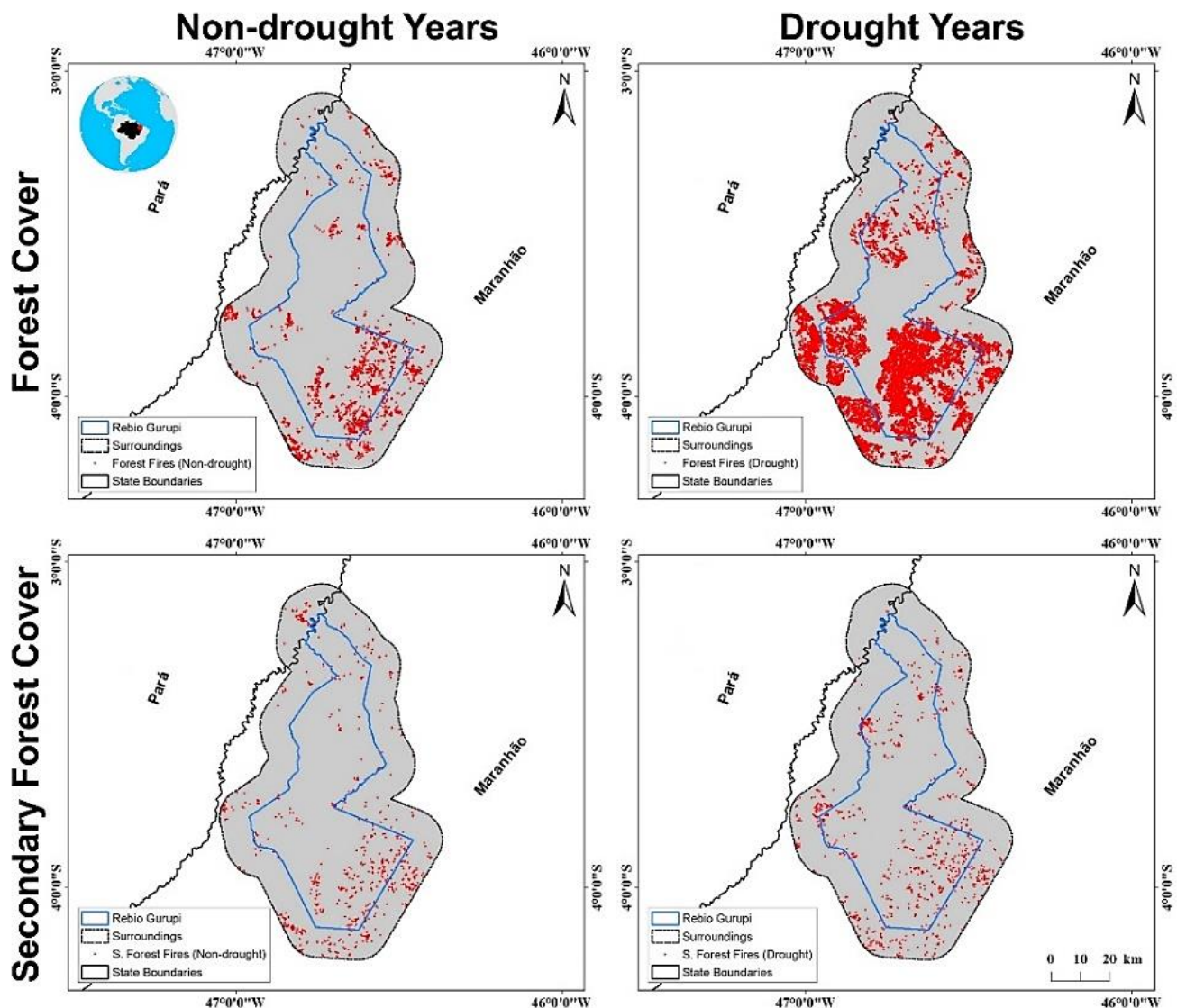


Figura 5. Distribuição espacial dos focos de calor em cobertura de floresta madura e secundária separada por anos normais e anos anormalmente secos (2015 e 2016).

Relação entre a ocorrência de focos de calor, chuva e temperatura para diferentes tipos de uso e cobertura da terra

Foi encontrado que a média de chuva mensal se relacionou significativamente ($p\text{-value} < 0.05$) através de uma função potência com a média mensal de focos de calor em cobertura de floresta madura ($R^2 = 0.808$) e pasto ($R^2 = 0.836$) (Figura 6). No entanto, nenhuma relação foi encontrada para os focos de calor em áreas de cobertura de floresta secundária ($p\text{-value} > 0.05$). Foi identificado ainda, que enquanto o número de focos de calor em cobertura de floresta madura aumentou a partir da quantidade acumulada de chuva menor que 200 mm mês^{-1} , os focos de calor em cobertura de pasto aumentaram a partir da quantidade acumulada de chuva menor que

400 mm mês⁻¹. De forma semelhante, observou-se que a média de temperatura mensal se relacionou significativamente ($p\text{-value} < 0.05$) através de uma função potência com a média mensal de focos de calor em cobertura de floresta madura ($R^2 = 0.496$) e pasto ($R^2 = 0.530$). Enquanto o número de focos de calor em cobertura de floresta madura aumentou de uma temperatura média de 27 °C, os focos de calor em cobertura de pasto aumentaram a partir de 25 °C.

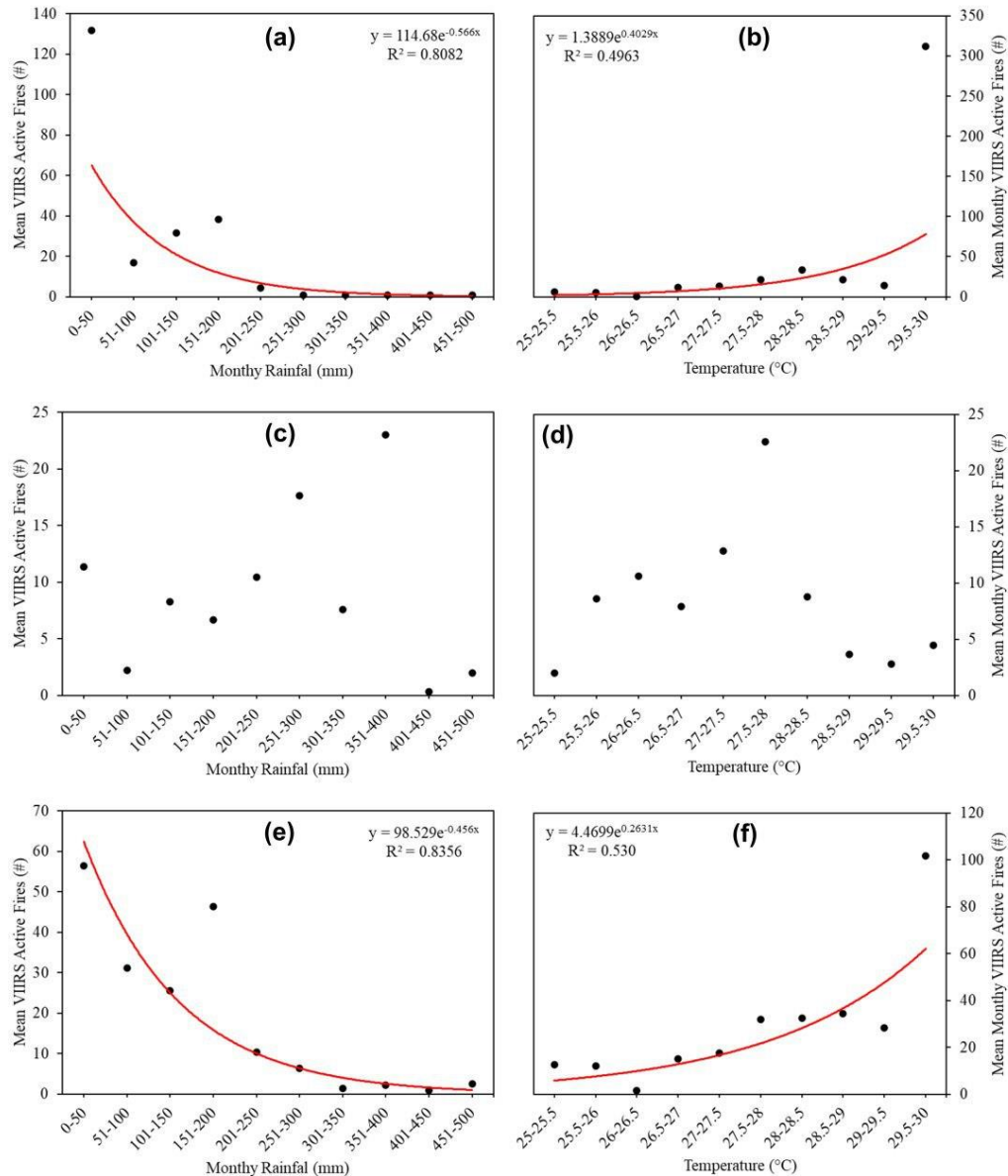


Figura 6. Regressão entre a quantidade mensal de focos de calor, chuva e temperatura. (a) Floresta madura no interior da Rebio. (b) Floresta madura no entorno da Rebio. (c) Floresta secundária no interior da Rebio. (d) Floresta secundária no entorno da Rebio. (e) Pasto no interior da Rebio. (f) Pasto no entorno da Rebio. As regressões que apresentam a linha vermelha são significativas à 5% de significância ($p\text{-value} < 0.05$).

Focos de calor por tipos de uso e cobertura da terra no interior e entorno da Rebio

As Tabela 5 e 6 mostram a porcentagem de focos de calor por tipo de uso e cobertura da terra para o interior e entorno da Rebio, respectivamente. As Figura 7a e 7b mostram os valores absolutos relativos às Tabelas 5 e 6. Foi encontrado que no interior da Rebio entre 2012 e 2018 os focos de calor ocorreram mais frequentemente em áreas com cobertura de pasto (45.56 ± 13.15 % ano⁻¹ ou 424.29 ± 200.41 focos ano⁻¹) e floresta madura (43.42 ± 15.67 % ano⁻¹ ou 821.71 ± 1328.11 focos ano⁻¹), e com menos frequência em áreas com cobertura de florestas secundárias com idade entre 21 e 33 anos (1.21 ± 0.62 % ano⁻¹ ou 14.14 ± 13.82 focos ano⁻¹). Por outro lado, no entorno da Rebio, a maior frequência de focos de calor ocorreu em áreas com cobertura de floresta madura (55.96 ± 12.18 % ano⁻¹ ou 1163.14 ± 2141.95 focos ano⁻¹) e com menor frequência nas áreas com florestas secundárias com idade entre 21 e 33 anos (1.01 ± 0.86 % ano⁻¹ ou 6.86 ± 13.82 focos ano⁻¹). O mais interessante é que no ano de 2015, os focos de calor em áreas de cobertura de florestas maduras representaram aproximadamente 77% de todos os focos daquele ano no interior da Rebio e 78% no seu entorno.

Tabela 5. Porcentagem de focos de calor por tipo de uso e cobertura da terra para o interior da Rebio

<i>Classe de uso e cobertura da Terra. Area (%)</i>						
Ano	FS 1-5 anos	FS 6-10 anos	FS 11-20 anos	FS 21-33 anos	Floresta Madura	Pasto
2012	5.93	1.07	2.43	0.68	46.89	43.00
2013	7.11	2.63	3.68	0.53	32.11	53.95
2014	4.74	1.48	2.96	1.19	39.26	50.37
2015	2.63	1.63	1.59	0.89	76.73	16.54
2016	1.80	1.91	3.25	1.23	50.28	41.53
2017	8.96	3.66	1.89	1.39	27.15	56.94
2018	5.13	1.97	2.17	2.56	31.56	56.61
<i>Mean±SD</i>	<i>5.19±2.29</i>	<i>2.05±0.80</i>	<i>2.57±0.70</i>	<i>1.21±0.62</i>	<i>43.42±15.67</i>	<i>45.56±13.15</i>

Tabela 6. Porcentagem de focos de calor por tipo de uso e cobertura da terra para o entorno da Rebio.

<i>Classe de uso e cobertura da Terra. Área (%)</i>						
Ano	FS 1-5 anos	FS 6-10 anos	FS 11-20 anos	FS 21-33 anos	Floresta Madura	Pasto
2012	5.86	0.51	1.95	0.72	52.21	38.75
2013	6.59	0.86	2.01	0.29	50.72	39.54
2014	5.68	1.60	2.04	1.31	49.20	40.17
2015	2.93	1.23	0.81	0.23	78.13	16.67
2016	1.96	2.40	2.18	0.65	67.97	24.84
2017	4.04	3.14	0.60	0.90	55.24	36.08
2018	5.88	3.92	1.96	2.94	38.24	47.06
<i>Média±DP</i>	4.71±1.62	1.95±1.16	1.65±0.61	1.01±0.86	55.96±12.18	34.73±9.61

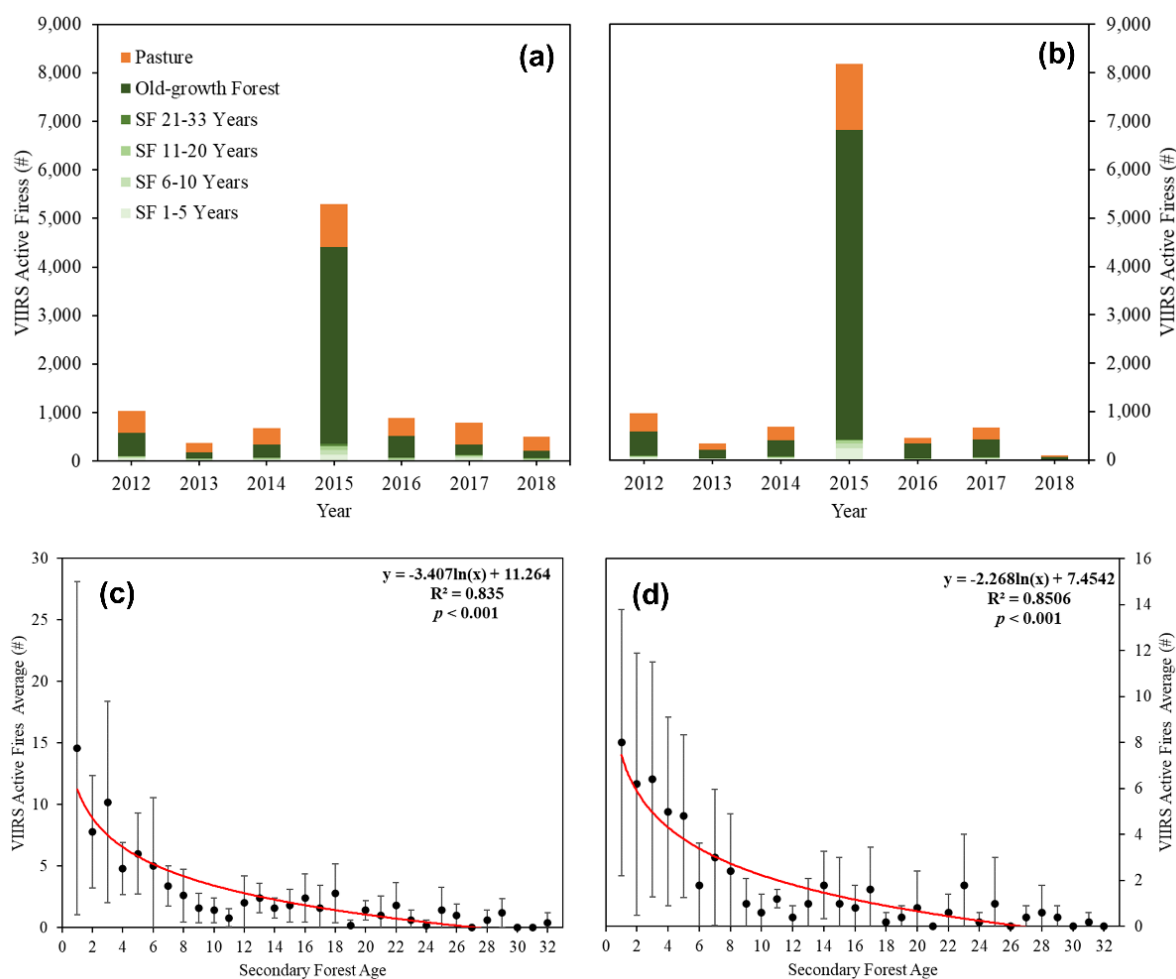


Figura 7. (a) Focos ativos classificados por tipo de uso e cobertura da terra no interior da Rebio. (b) Focos ativos classificados por tipo de uso e cobertura da terra no entorno da Rebio. (c) Regressão da relação entre a idade da vegetação secundária e a quantidade de anual de focos ativos no interior da Rebio. (d) Regressão da relação entre a idade da vegetação secundária e a quantidade de anual de focos ativos no entorno da Rebio.

Além disso, descobrimos que a média do número de focos de calor reduziu significativamente ($p\text{-value} < 0.05$) em áreas com cobertura de floresta secundária, seguindo uma função potência em função do aumento da idade dessas florestas Figura 7c e 7d. A relação encontrada foi forte, tanto para o interior ($R^2 = 0.835$; figura 7c) quanto para o entorno da Rebio ($R^2 = 0.851$; figura 7d).

Por fim, descobrimos que no período analisado ocorreu a menor área queimada em 2016 (5,35 km²) e a maior área queimada em 2016 (669,84 km²). Em média, 52% das ignições ocorreram e cobertura de floresta e 48% em cobertura de não-floresta. No entanto, em 2016 85% das ignições ocorreram em cobertura de floresta; evidenciando fogo criminoso e não escape de

áreas adjacentes. Por outro lado, em média 81% das ignições ocorreram no interior da Rebio, enquanto uma média de 19% veio da área de entorno.

Tabela 7. Área queimada e porcentagem de ignições na Rebio.

Ano	Área Queimada (km ²)	Classe da Ignição (%)		Origem da Ignição (%)	
2012	20.52	Floresta	36	Interior	100
		Não-floresta	64	Entorno	0
2013	6.41	Floresta	33	Interior	67
		Não-floresta	67	Entorno	33
2014	57.54	Floresta	55	Interior	94
		Não-floresta	45	Entorno	6
2015	669.84	Floresta	85	Interior	94
		Não-floresta	15	Entorno	6
2016	5.35	Floresta	50	Interior	50
		Não-floresta	50	Entorno	50

Discussão

As áreas protegidas na Amazonia desempenham um papel determinante para a manutenção dos serviços ecossistêmicos providos pelas florestas. Essas áreas protegem importantes maciços ou fragmentos florestais, como a Rebio do Gurupi, do desmatamento (NOLTE et al., 2013), no entanto, a degradação florestal por fogo e corte seletivo que reduzem os estoques de carbono floresta e a integridade ecológica, ainda é negligenciada (WALKER et al., 2020).

Embora a Rebio tenha tido uma cobertura média de 72% de florestas maduras no período analisado, essas florestas estavam circundadas por áreas de pasto, em média 20% da cobertura na região. Esse fato é preocupante, visto que o fogo comumente utilizado no manejo dessas áreas (CANO-CRESPO et al., 2015; FONSECA et al., 2016), pode escapar para o interior da floresta através das bordas (ARMENTERAS; GONZÁLEZ; RETANA, 2013; SILVA JUNIOR et al., 2018a), podendo se propagar de forma mais extensiva em anos de secas extremas (Luiz E. O. C. Aragão et al., 2018; C.H.L. Silva Junior et al., 2019). De fato, isso foi observado na Rebio durante o ano de 2015 em que extensas áreas de florestas foram afetadas pelo fogo. Isso pode ser corroborado pelo fato de o pico dos focos ativos de calor ocorrer no mês de setembro para as áreas de floresta e pasto.

A dinâmica temporal e espacial do fogo

Contrastando do padrão observado para a Amazonia brasileira (ARAGÃO et al., 2008) e para o Cerrado maranhense (SILVA JUNIOR et al., 2018b), que tem pico de ocorrência de focos

ativos de calor entre os meses de agosto e setembro, na Rebio, o pico observado para as áreas de floresta madura, floresta secundária e pasto ocorreu em novembro. No entanto, no entorno da Rebio, esse pico se move para dezembro, também diferindo do padrão esperado para Amazônia Brasileira e Cerrado maranhense (CARVALHO et al., 2021). Essa diferença é esperada pois existe uma grande variabilidade climática ao longo da Amazônia (BERENGUER et al., 2021), e a Rebio possui suas particularidades de regime de chuva e culturais de uso do fogo.

Espacialmente a ocorrência de incêndios em florestas maduras e secundárias na Rebio e em seu entorno nos anos normais ocorreram principalmente na região sul, sendo esta região considerada a frente de expansão das ameaças à conservação local. No entanto, durante os anos de seca severa em 2015 e 2016 a ocorrência dos incêndios foi generalizada. A Figura 6 mostra que meses com baixa quantidade de chuva acumulada e altas temperaturas tendem a aumentar a ocorrência dos números de incêndios em floresta madura e secundária. Assim, em anos de seca extremas, a quantidade de chuva é significativamente abaixo do esperado (ARAGÃO et al., 2018; MARENGO; ESPINOZA, 2016; SILVA JUNIOR et al., 2019). Com as condições de chuva e temperatura alteradas, a floresta entra em déficit hídrico o que torna as florestas mais suscetibilidade a ocorrência e propagação do fogo (NEPSTAD et al., 2004). Além disso, durante secas severas, é observado um aumento da mortalidade de árvores, promovendo, por conseguinte o aumento da quantidade de carga combustível disponível no sub-bosque da floresta (BRANDO et al., 2008; BRIENEN et al., 2015; NEPSTAD et al., 2007). O argumento anterior é corroborado pelo aumento de focos de calor em cobertura de floresta madura e secundária observado na Figura 7a e Figura 7b no ano de 2015; padrão semelhante encontrado em outras regiões da Amazônia brasileira (ARAGÃO et al., 2018; SILVA JUNIOR et al., 2019).

Relação entre as florestas secundárias e suas idades com a ocorrência de fogo

Uma relação ainda pouco estudada na Amazônia brasileira, mas aqui explorada para a Rebio, é a relação entre a idade das florestas secundária e a ocorrência de fogo. Este estudo revelou que a ocorrência de fogo é frequente em florestas secundárias com estágio iniciais de desenvolvimento em comparação às florestas secundária mais antigas. Esse padrão pode ser explicado pelo uso dessas florestas secundárias; na Amazônia brasileira a dinâmica dessas áreas é definida pelo extensivo e repetitivo processo de desmatamento de florestas secundárias mais novas (NUNES et al., 2020) e em maior quantidade na região (SMITH et al., 2020). Como o

uso do fogo é frequente no processo de desmatamento, o fogo pode acabar por escapar para as áreas de floresta secundárias vizinhas. Embora as áreas de floresta mais antigas com os maiores estoques de carbono estejam sendo menos impactadas pelo fogo na Rebio, um estudo recente mostrou que a frequência de fogo em floresta secundárias nessa região reduz a capacidade de sequestro de carbono desse tipo de vegetação (HEINRICH et al., 2021). Esses resultados reforçam a pressão negativa que as florestas secundárias vem sofrendo no Maranhão (SILVA JUNIOR et al., 2020b), sendo urgentemente necessário a implementação de políticas de proteção dessas áreas, garantindo a restauração dessas florestas, tão importante para a recuperação da biodiversidade (LENNOX et al., 2018) e sequestro de carbono (HEINRICH et al., 2021; POORTER et al., 2016) frente à corrente emergência climática.

Implicação para a conservação na região

Além do impacto negativo sob a vegetação, provocando a emissão de carbono para a atmosfera (SILVA et al., 2020) e alterando a estrutura e composição da floresta (PONTES-LOPES et al., 2021), o fogo pode alterar negativamente também o habitat de aves, primatas e felinos da Rebio do Gurupi (BUSS et al., 2017; CELENTANO et al., 2018), alguns endêmicos e ameaçados de extinção. A Rebio do Gurupi possui cerca de 109 espécies de peixes, 124 espécies pertencentes a 34 famílias de nove ordens de mamíferos e 503 espécies de aves identificadas, das quais 470 são não migratórias (ISA, 2021). Assim, a região figura-se como um refúgio de biodiversidade em uma região extensivamente pressionada pelo desmatamento (SILVA JUNIOR et al., 2020b), sendo necessária ações de controle do desmatamento e manejo adequado do fogo para garantir a conservação da biodiversidade já conhecida e a ainda a ser descoberta na região.

Conclusão

O uso das geotecnologias foi essencial para o levantamento de dados, para as análises espaciais e identificação das mudanças ocorridas no período estudado. Constatou-se que a área sul da Rebio do Gurupi foi a região mais atingida pelo fogo, sendo os meses de novembro e dezembro com menor precipitação contribuem para criar um ambiente adequado para que o fogo se alastre facilmente pela vegetação seca. Além disso, os incêndios florestais de causa natural são raros na Amazônia, logo podemos entender a ocorrência incêndios criminosos, visto que a Rebio é uma área marcada por conflitos envolvendo madeireiros. No ano de 2015, estes incêndios atingiram, principalmente, a classe de floresta madura com árvores de mais de 34 anos que contribuem para a regulação do clima, além de servirem de alimento e abrigo a diversas espécies.

A gestão da Rebio do Gurupi é realizada pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio. Desse modo, as informações geradas neste estudo podem auxiliar no aprimoramento das atividades de gestão visando a manutenção de seus recursos naturais e a proteção das populações de espécies endêmicas. Entende-se que este estudo fornece a identificação de áreas prioritárias para atividades de prevenção, posto que foi identificado de forma explícita as áreas de florestas que já foram afetadas pelo fogo e, portanto, encontram-se mais suscetíveis a novos incêndios.

Agradecimentos

Este estudo faz parte da Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação da Universidade Federal do Maranhão – UFMA, Brasil. Agradecimentos ao cientista Guillaume Rousseau orientou e contribuiu com sugestões úteis para o desenvolvimento deste estudo. A Liana Anderson que coorientou o estudo e possibilitou a realização do intercâmbio científico no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, onde boa parte dos dados foram processados com o auxílio de Celso Silva Junior. Financiamento: este estudo foi financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, Brasil.

REFERÊNCIAS

- ANDELA, Niels et al. The Global Fire Atlas of individual fire size, duration, speed and direction. **Earth System Science Data**, v. 11, n. 2, p. 529-552, 2019.
- ANDERSON, L. O. et al. Disentangling the contribution of multiple land covers to fire-mediated carbon emissions in Amazonia during the 2010 drought. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 29, n. 10, p. 1739–1753, out. 2015.
- ARAGÃO, L. E. O. . et al. Interactions between rainfall, deforestation and fires during recent years in the Brazilian Amazonia. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 363, n. 1498, p. 1779–1785, maio 2008.
- ARAGÃO, L. E. O. C. et al. 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. **Nature Communications**, v. 9, n. 1, p. 536, 13 dez. 2018.
- ARMENTERAS, D.; GONZÁLEZ, T. M.; RETANA, J. Forest fragmentation and edge influence on fire occurrence and intensity under different management types in Amazon forests. **Biological Conservation**, v. 159, p. 73–79, mar. 2013.
- BERENGUER, E. et al. Improving the spatial-temporal analysis of Amazonian fires. **Global Change Biology**, v. 27, n. 3, p. 469–471, fev. 2021.
- BRANDO, P. M. et al. Drought effects on litterfall, wood production and belowground carbon cycling in an Amazon forest: results of a throughfall reduction experiment. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 363, n. 1498, p. 1839–1848, maio 2008.
- BRIENEN, R. J. W. et al. Long-term decline of the Amazon carbon sink. **Nature**, v. 519, n. 7543, p. 344–348, mar. 2015.
- BUSS, G. et al. Abundância e densidade de primatas na Reserva Biológica do Gurupi, Maranhão, Brasil. **Biodiversidade Brasileira**, v. 7, n. 2, p. 47–57, 2017.
- CANO-CRESPO, A. et al. Forest edge burning in the Brazilian Amazon promoted by escaping fires from managed pastures. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 120, n. 10, p. 2095–2107, out. 2015.
- CARVALHO, N. S. et al. Spatio-temporal variation in dry season determines the Amazonian fire calendar. **Environmental Research Letters**, v. 16, n. 12, p. 125009, 1 dez. 2021.
- CELENTANO, D. et al. Desmatamento, degradação e violência no “Mosaico Gurupi” – A região mais ameaçada da Amazônia. **Estudos Avançados**, v. 32, n. 92, p. 315–339, 2018.
- DE ANDRADE, R. B. et al. Tropical forest fires and biodiversity: dung beetle community and biomass responses in a northern Brazilian Amazon forest. **Journal of Insect Conservation**, v. 18, n. 6, p. 1097–1104, 2014.
- FARIAS FILHO, M. S. **O Espaço Geográfico da Baixada Maranhense**. 2. ed. São Luís: EDUFMA, 2013.
- FONSECA, M. G. et al. Modelling fire probability in the Brazilian Amazon using the maximum entropy method. **International Journal of Wildland Fire**, 2016.
- FUNK, C. et al. The climate hazards infrared precipitation with stations - A new environmental

record for monitoring extremes. **Scientific Data**, v. 2, p. 1–21, 2015.

GIGANTE, L. A. et al. **Um estudo da similaridade das queimadas entre municípios no estado de Mato Grosso**. XLV Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. **Anais...**Londrina: Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2007

HEINRICH, V. H. A. et al. Large carbon sink potential of secondary forests in the Brazilian Amazon to mitigate climate change. **Nature Communications**, v. 12, n. 1, p. 1785, dez. 2021.

HESSEL, F. DE O.; LISBOA, E. A. **Mapa do estado de conservação da Reserva Biológica do Gurupi: Identificação das áreas conservadas e das áreas antropizadas**XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasi. **Anais...**João Pessoa: 2015

IBGE. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 28 maio. 2020.

ISA-INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL. **Reserva Biológica do Gurupi**.

LENNOX, G. D. et al. Second rate or a second chance? Assessing biomass and biodiversity recovery in regenerating Amazonian forests. **Global Change Biology**, v. 24, n. 12, p. 5680–5694, dez. 2018.

MapBiomas. **Projeto Anual Brasileiro de Mapeamento e Uso da Terra e do Solo**. 2021. Disponível em: <<http://mapbiomas.org/>>. Acesso em: 13 mai. 2021.

MARENGO, J. A.; ESPINOZA, J. C. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 3, p. 1033–1050, mar. 2016.

MARTINS, M. B.; OLIVEIRA, T. G. de (Eds.). **Amazônia Maranhense: diversidade e conservação**. Belém: MPEG, 2011. 368 p.

NEPSTAD, D. et al. Amazon drought and its implications for forest flammability and tree growth: a basin-wide analysis. **Global Change Biology**, v. 10, n. 5, p. 704–717, maio 2004.

NEPSTAD, D. C. et al. Mortality of large trees and lianas following experimental drought in an Amazon forest. **Ecology**, v. 88, n. 9, p. 2259–2269, set. 2007.

NOLTE, C. et al. Governance regime and location influence avoided deforestation success of protected areas in the Brazilian Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 110, n. 13, p. 4956–4961, mar. 2013.

NUNES, S. et al. Unmasking secondary vegetation dynamics in the Brazilian Amazon. **Environmental Research Letters**, v. 15, n. 3, p. 034057, mar. 2020.

PINHEIRO, P. F. V.; SOARES, J. A. C.; NETO, P. B. DA S. Desmatamento em Unidades de Conservação de Proteção Integral: O caso da Reserva Biológica do Gurupi - MA. **XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, p. 7616–7623, 2013.

PIROMAL, R. A. S. et al. Utilização de dados MODIS para a detecção de queimadas na Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 1, p. 77–84, 2008.

PONTES-LOPES, A. et al. Drought-driven wildfire impacts on structure and dynamics in a wet Central Amazonian forest. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 288, n. 1951, p. 20210094, maio 2021.

POORTER, L. et al. Biomass resilience of Neotropical secondary forests. **Nature**, v. 530, n. 7589, p. 211–214, fev. 2016.

SILVA, C. V. J. et al. Drought-induced Amazonian wildfires instigate a decadal-scale disruption of forest carbon dynamics. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 373, n. 1760, p. 20180043, 19 nov. 2018.

SILVA, C. V. J. et al. Estimating the multi-decadal carbon deficit of burned Amazonian forests. **Environmental Research Letters**, v. 15, n. 11, p. 114023, out. 2020.

SILVA JUNIOR, C. et al. Deforestation-Induced Fragmentation Increases Forest Fire Occurrence in Central Brazilian Amazonia. **Forests**, v. 9, n. 6, p. 305, jun. 2018a.

SILVA JUNIOR, C. H. L. et al. Dinâmica das Queimadas no Cerrado do Estado do Maranhão, Nordeste do Brasil. **Geography Department University of Sao Paulo**, v. 35, p. 1–14, jul. 2018b.

SILVA JUNIOR, C. H. L. et al. Fire responses to the 2010 and 2015/2016 Amazonian droughts. **Frontiers in Earth Science**, v. 7, 2019.

SILVA JUNIOR, C. H. L. et al. Benchmark maps of 33 years of secondary forest age for Brazil. **Scientific Data**, v. 7, n. 1, p. 1–9, 2020a.

SILVA JUNIOR, C. H. L. et al. Amazon forest on the edge of collapse in the Maranhão State, Brazil. **Land Use Policy**, v. 97, n. May, p. 104806, 2020b.

SMITH, C. C. et al. Secondary forests offset less than 10% of deforestation-mediated carbon emissions in the Brazilian Amazon. **Global Change Biology**, v. 26, n. 12, p. 7006–7020, dez. 2020.

SMITH, L. T. et al. Drought impacts on children's respiratory health in the Brazilian Amazon. **Scientific Reports**, v. 4, n. 1, p. 3726, 16 maio 2014.

WALKER, W. S. et al. The role of forest conversion, degradation, and disturbance in the carbon dynamics of Amazon indigenous territories and protected areas. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 117, n. 6, p. 3015–3025, fev. 2020.

ANEXO I



OPEN

DATA DESCRIPTOR

Benchmark maps of 33 years of secondary forest age for Brazil

Celso H. L. Silva Junior^{1,2,11}✉, Viola H. A. Heinrich^{3,11}, Ana T. G. Freire⁴, Igor S. Broggio^{1,5},
Thais M. Rosan⁶, Juan Doblas², Liana O. Anderson^{1,7}, Guillaume X. Rousseau⁸,
Yosio E. Shimabukuro², Carlos A. Silva^{9,10}, Joanna I. House^{1,3} & Luiz E. O. C. Aragão^{1,2,6}

The restoration and reforestation of 12 million hectares of forests by 2030 are amongst the leading mitigation strategies for reducing carbon emissions within the Brazilian Nationally Determined Contribution targets assumed under the Paris Agreement. Understanding the dynamics of forest cover, which steeply decreased between 1985 and 2018 throughout Brazil, is essential for estimating the global carbon balance and quantifying the provision of ecosystem services. To know the long-term increment, extent, and age of secondary forests is crucial; however, these variables are yet poorly quantified. Here we developed a 30-m spatial resolution dataset of the annual increment, extent, and age of secondary forests for Brazil over the 1986–2018 period. Land-use and land-cover maps from MapBiomas Project (Collection 4.1) were used as input data for our algorithm, implemented in the Google Earth Engine platform. This dataset provides critical spatially explicit information for supporting carbon emissions reduction, biodiversity, and restoration policies, enabling environmental science applications, territorial planning, and subsidizing environmental law enforcement.

Background & Summary

In Brazil (Fig. 1), forest cover (excluding mangroves and plantations) decreased from 4,646,516 km² in 1985 to 4,079,827 km² in 2018, a total reduction of 12% (566,689 km²) (<https://mapbiomas.org>; Collection 4.1)¹; an area slightly larger than Spain. This forest loss depletes forest's capacity to provide ecosystem services by reducing carbon and biodiversity stocks, as well as its water recycling potential, directly affecting climate and consequently, human populations^{2–4}. While forest loss continues in Brazil at varying rates, secondary forests are regrowing on areas where old-growth forests have been completely removed by human disturbances⁵. The extent and age of Amazonian secondary forests have already been quantified and their spatial-temporal patterns are highly dynamic^{6,7}. The long-term dynamics of Brazilian's secondary forests is still poorly quantified. This knowledge, however, provides key information for assisting Brazil to achieve its intended Nationally Determined Contribution (NDC) targets agreed at the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) and for supporting the territorial planning required for compliance with the environmental legislation. Here we address this lack of information by producing and making available a set of annual secondary forest growth maps at 30-m spatial resolution from 1986 to 2018 at a national level. We established that secondary forest growth occurs when a pixel classified as anthropic cover⁸ (e.g., pasture or agriculture) in a given year is replaced in the following year by a pixel of forest cover (excluding mangroves and plantations).

Secondary forests are essential to mitigate climate change, as they are highly productive, with an average net carbon uptake rate for neotropical regions of 3.05 Mg C ha⁻¹ yr⁻¹, 11 times the rate of old-growth forests⁹. Secondary forest regrowth can also mitigate biodiversity loss, allowing the species pool to recover in Amazonia¹⁰. Species richness and compositional similarity of secondary forests reach on average 88% and 85%, respectively, of

¹Tropical Ecosystems and Environmental Sciences lab – TREES, São José dos Campos, Brazil. ²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, Brazil. ³University of Bristol, Bristol, United Kingdom. ⁴Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Conservação, Universidade Federal do Maranhão (UFMA), São Luís, Brazil. ⁵Laboratório de Ciências Ambientais, Centro de Biociências e Biotecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), Campos dos Goytacazes, Brazil. ⁶University of Exeter, Exeter, United Kingdom. ⁷Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), São José dos Campos, Brazil. ⁸Programa de Pós-graduação em Agroecologia, Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), São Luís, Brazil. ⁹University of Maryland, College Park, United States of America. ¹⁰University of Florida, Gainesville, United States of America. ¹¹These authors contributed equally: Celso H. L. Silva Junior, Viola H. A. Heinrich. ✉e-mail: celsohlsj@gmail.com

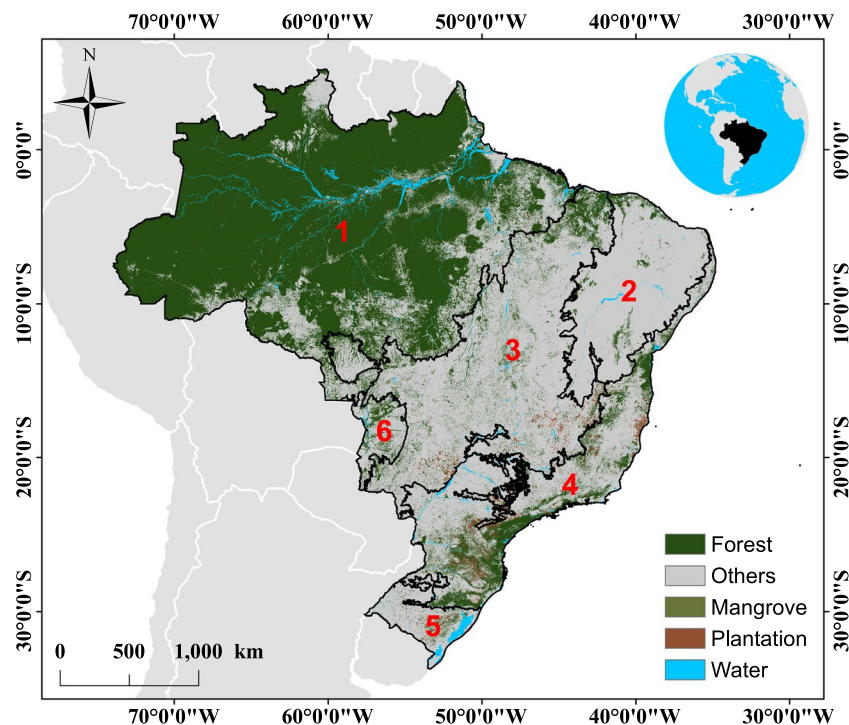


Fig. 1 Forest cover of Brazil. In the main map, black lines represent the Brazilian biomes: 1. Amazon; 2. Caatinga; 3. Cerrado; 4. Atlantic Forest; 5. Pampa; 6. Pantanal. Source: land-use and land-cover map of 2018 from the MapBiomas Project (<http://mapbiomas.org>).

values found in old-growth forests after 40 years¹⁰. In Atlantic Forest fragments, secondary forest-growth recovered around 76% of taxonomic, 84% of phylogenetic and 96% of functional diversity over a period of 30 years after abandonment. Besides, the recovery of these fragments, when compared with primary forests, allowed the retrieval of 65% and 30% of threatened and endemic species, respectively¹¹. Considering these benefits, the management of natural regeneration may be the most effective strategy to promote large-scale forest restoration^{12–14}.

From 1996 to 2015 natural regeneration in the Atlantic Forest recovered 2.7 Million ha of forest cover, representing about 8% of the current forest cover (34.1 Million ha)¹⁵. In addition, this biome has an estimated potential for natural regeneration of 2.8 Million ha by 2035¹⁵. Indeed, the restoration and reforestation of 12 million hectares of secondary forests is one of the main mitigation strategies for reducing carbon emissions within the Brazilian NDC¹⁶. This instrument needs to be accompanied by political and economic incentives, necessary for conducting the transition from the current productive model based on extensive environmental degradation to an alternative model promoting the emergence of new secondary forests, as well as the maintenance of the remaining forests¹⁷. The latter, if well planned, can provide direct benefits to local economies and communities, incentivizing rural producers to preserve secondary forests¹⁸.

Thus, understanding the dynamics of secondary vegetation in the Brazilian territory is essential to mitigate the negative impacts of climate change, to avoid carbon and biodiversity loss, and to guide decision-makers in creating conservation policies for these forests fostering the sustainable development. In this data descriptor, we produced spatially explicit annual maps of secondary forest increment, extent, age, and loss, from 1986 to 2018 for the whole Brazil, at 30-m of spatial resolution. Hence, our dataset allows applications on local, regional or national scales favouring the emergence of studies providing data that are able to support policies focusing on functional landscape management aiming to promote restoration of secondary forest areas for the benefit of peoples' lives.

Methods

Our method was implemented in the Google Earth Engine (GEE) platform¹⁹. We divided it into four steps. Figure 2 summarizes our approach, including the input of the raw data (land-use and land-cover from 1985 to 2018 and the water surface), and the output data (from 1986 to 2018), which included maps of the annual secondary forest increment (Product 1), annual secondary forest extent (Product 2), annual secondary forest loss (Product 3; from 1987 to 2018), and annual secondary forest age maps (Product 4).

Input data. We used the land-use and land-cover data from the Brazilian Annual Land-Use and Land-Cover Mapping Project (MapBiomas Collection 4.1; <https://mapbiomas.org/en/colecoes-mapbiomas-1>)¹ as input data. This dataset was obtained through the classification of images from the Landsat satellite series (30-m spatial resolution) using a theoretical algorithm implemented in the GEE platform¹⁹. Details about the processing of the dataset can be found in the Algorithm Theoretical Basis Document²⁰. More detail about

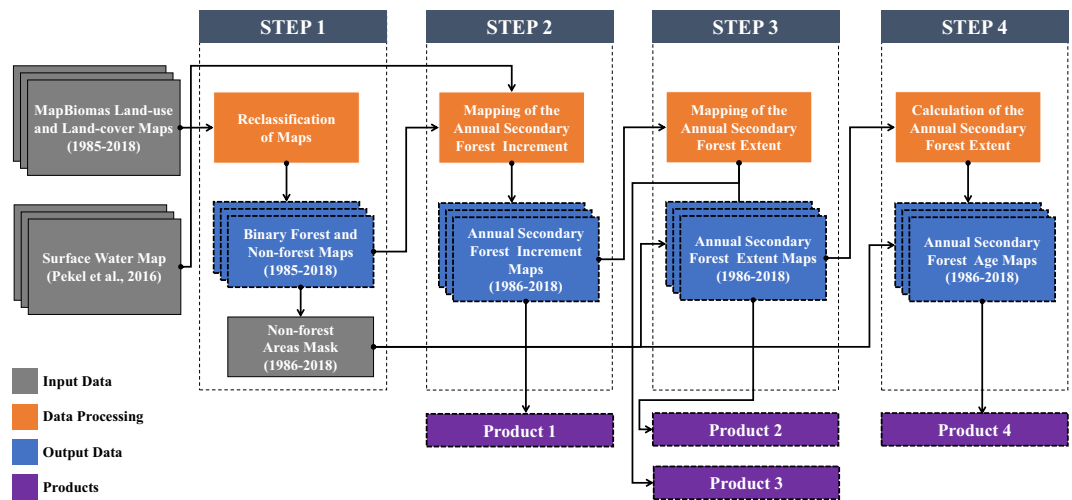


Fig. 2 Workflow of the proposed method.

the land-use and land-cover classes can be found in the MapBiomas website (https://mapbiomas.org/en/codigos-de-legenda?cama_set_language=en).

Moreover, we used the maximum water surface extent data (from 1984 to 2018) developed by Pekel *et al.*²¹ (<https://global-surface-water.appspot.com>) to avoid the inclusion of false detection within wetland areas in our products. This dataset contains a map of the spatial distribution of the water surface cover from 1984 to 2018, globally²¹. These data were obtained from 3,865,618 Landsat 5, 7, and 8 scenes acquired between 16 March 1984 and 31 December 2018. Each pixel was individually classified into water or non-water cover using an expert system²¹ implemented in the GEE platform¹⁹.

Step 1 – Reclassifying MapBiomas data. All MapBiomas land-use and land-cover maps from 1985 to 2018 (34 maps) were reclassified into binary maps. We assigned the value “1” for all pixels in the Forest formation class of the MapBiomas product (Legend ID: 3) and “0” for the other land-use and land-cover classes. In our reclassified maps, pixels with value of “1” were, then, associated to the class “Forest”, which includes only forests classified as old-growth and secondary (before 1985). Mangrove and forest plantation classes were excluded from our secondary forest map.

Step 2 – Mapping the Annual Increment of Secondary Forests. We mapped the annual increment of secondary forests using the forest maps produced in Step 1. This process was carried out pixel-by-pixel, where every pixel classified as Forest (value 1) in the analysed year (y_i ; between 1986 to 2018) and classified as non-forest (value 0) in the previous year (y_{i-1} ; $i = 1985, 1986 \dots 2017$) was mapped as secondary forest. As forest cover maps before 1985 were not available in the MapBiomas product, maps of secondary forest increment start in 1986, when it was possible to detect the first transition (1985 to 1986). Thus, 33 binary maps were obtained, where the secondary forest increments (non-forest to forest) have a value of 1 and the other transitions a value of 0 (forest to forest, non-forest to non-forest, and forest to non-forest). Here, we only considered secondary forest growth in pixels that had previously an anthropic cover (forest plantation, pasture, agriculture, mosaic of agriculture and pasture, urban infrastructure, and mining) and did not overlap wetland areas.

Step 3 – Mapping the Annual Extent of Secondary Forests. We generated 33 maps of the annual extent of secondary forests. To produce the map of secondary forest extent in 1987, we summed the map of the total secondary forest extent in 1986, which is the same map as the secondary forest increment in 1986 from step 2, with the 1987 increment map, resulting in a map containing all secondary forest pixels from 1986 and 1987. Knowing that the sequential sum of these maps results in pixels with values higher than 1, to create annual binary maps of secondary forest extent, we reclassified the map produced for each year by assigning the value 1 to pixels with values between 2 and 33 (secondary forest extent) and pixels with a value 0 were kept unchanged. Finally, to remove all secondary forest pixels that were deforested in 1987, keeping in the map only pixels with the extent of stand secondary forests, we multiplied the resulting map by the annual forest cover map of 1987, produced in step 1 (Fig. 3). This procedure was applied year-by-year from 1986 to 2018 to produce the maps of annual secondary forest extent. The removal of deforested pixels provides a product depicting the extent of secondary forest deforested in each specific year and they were also included as complimentary maps (from 1987 to 2018) in our dataset.

Step 4 – Calculating the Age of Secondary Forest. Finally, we calculated the age of the secondary forests (Fig. 3). First, we summed the 1986 map of annual secondary forest extent (from Step 3) with the 1987 map to obtain the age of secondary forests in 1987 (Fig. 4). We continued this summation year-by-year until the secondary forest age map of 2018 was obtained (Fig. 4). The values of each pixel in 2018 correspond to the age of the secondary forest. To ensure the elimination of deforested secondary forests from each age map, we executed a similar procedure as described in step 3 by removing all forest pixels overlaying non-forest areas (Fig. 4). As our analyses

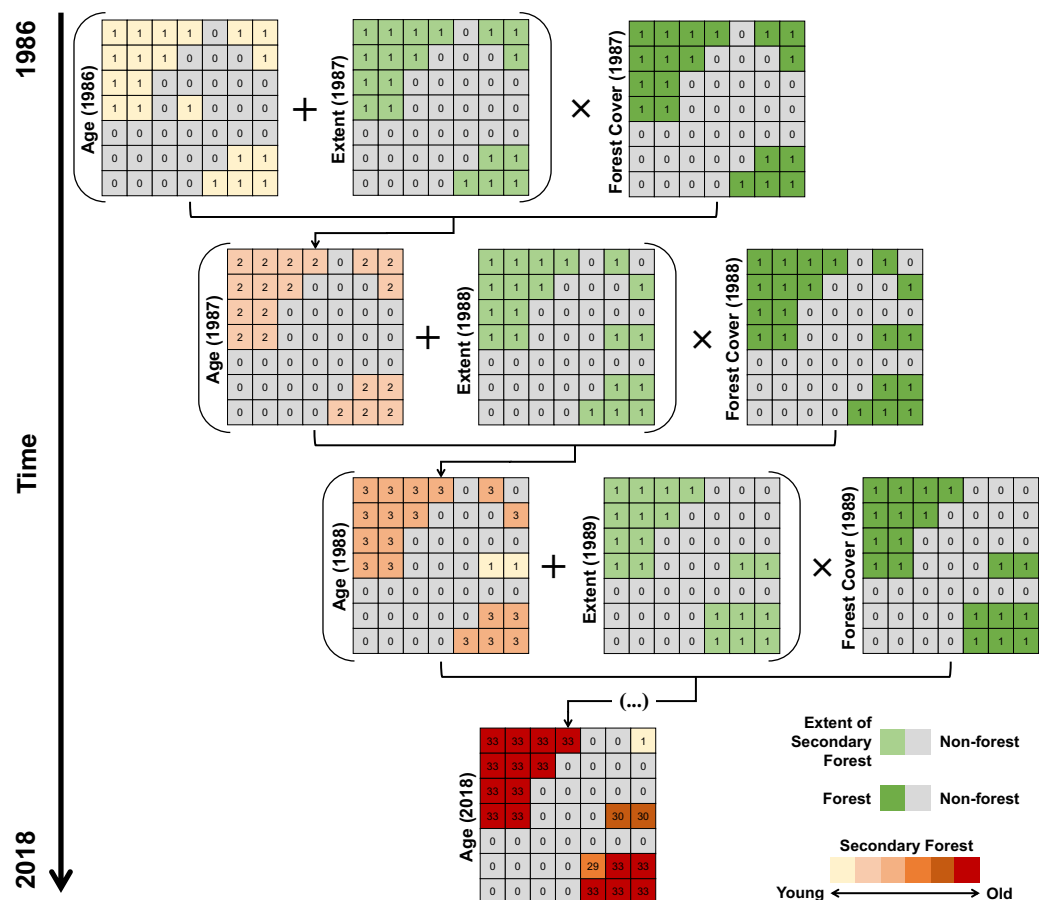


Fig. 3 Conceptual model of the approach used to calculate the age of secondary forests throughout the Brazilian territory.

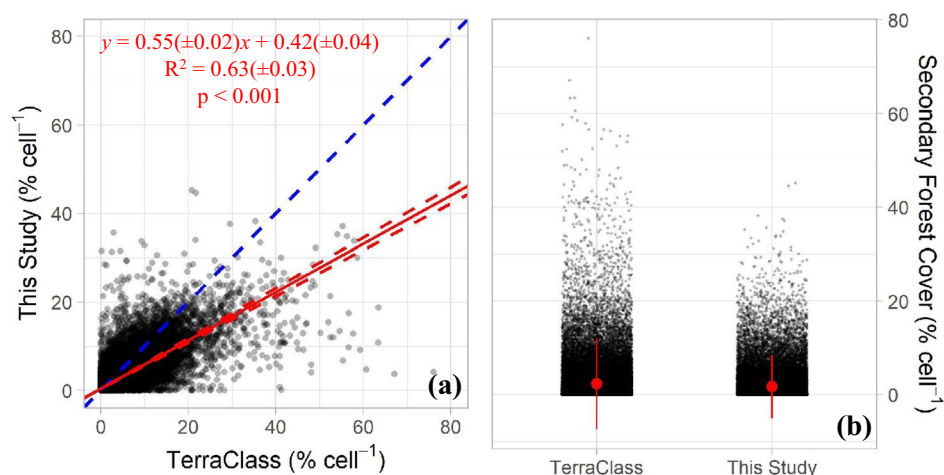


Fig. 4 (a) Scatter-plot for the relationship between the proportion of the secondary forest within the 10 by 10 km cells in the two datasets. The dashed blue line is the 1:1 line; the red line is the average regression from the bootstrap approach with 10,000 interactions; the dashed red lines are regressions using the standard deviation values of the equation parameters. All p-values from the 10,000 bootstrap interactions were lower than 0.001. (b) Jitter-plot for the proportion of the secondary forest within the 10 by 10 km cells. The red dot is the mean, and the red vertical line the standard deviation.

started in 1986, it was not possible to identify secondary forests before this year. The 1986 age map, therefore, only shows one-year old secondary forests, and the 2018 map shows ages of secondary forest varying between 1 and 33 years (Fig. 4). If a secondary forest pixel with any age is cleared in a given year, it is then removed and a value

Statistics		TerraClass Cell Proportion Intervals				
		0–10%	11–20%	21–30%	31–40%	41–80%
W		755,276,307	3,078,744	115,974	10,698	3,844
p		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
n		40,881	1,898	348	104	62
%		94.40	4.40	0.80	0.20	0.10
Mean $\pm$ SD	TerraClass (% cell ⁻¹)	1.40 $\pm$ 2.48	14.65 $\pm$ 2.66	25.21 $\pm$ 2.82	35.43 $\pm$ 3.16	48.74 $\pm$ 7.66
	This Study (% cell ⁻¹)	1.19 $\pm$ 2.32	8.88 $\pm$ 4.94	13.84 $\pm$ 6.25	16.57 $\pm$ 6.87	16.97 $\pm$ 8.77

Table 1. The non-parametric Mann-Whitney test by TerraClass Cell Proportion Intervals. In the table, W is the Mann-Whitney test statistic, p is the p-value, n is the number of observations, % is the percentage of the total sample size in each class, and SD is the standard deviation.

Biome	Extent (km ²)	Extent (%)
Amazon	148,764	56.61
Atlantic Forest	70,218	26.72
Caatinga	6,106	2.32
Cerrado	34,115	12.98
Pampa	2,469	0.94
Pantanal	1,120	0.43
Brazil	262,791	100

Table 2. Extent of the secondary forests area in each Brazilian biome in 2018.

of zero is attributed to the pixel. The age of this pixel, subsequently, will only be computed again if the algorithm detects a new non-forest to forest transition in the forest cover map (Step 1), which depends on the MapBiomas project classification method.

Data Records

The dataset provides 33 maps of annual secondary forest age, 33 maps of annual secondary forest extent and 33 maps of annual secondary forest increment from 1986 to 2018 for the entire Brazil. Also, the dataset provides 32 maps for annual secondary forest loss from 1987 to 2018 for the entire Brazil. All maps are in Geographic Coordinate System with Datum WGS84, the same as the input dataset. The archive is available at Zenodo (<https://doi.org/10.5281/zenodo.3928660>)²². The dataset contains the classified maps in compressed TIFF format (eight tiles per year; see https://github.com/celsohlsj/gee_brazil_sv) at 30-m spatial resolution, grouped in annual zipped files. The dataset can also be accessed through the Toolkit Download (available from https://github.com/celsohlsj/gee_brazil_sv). In the Toolkit Download, the data can be subset and exported (as compressed TIFF format) by administrative boundaries (states and municipalities), watersheds, biomes, and protected areas. The dataset will be updated as new MapBiomas collections become available.

Technical Validation

This dataset was based on the Collection 4.1 of MapBiomas Project (Annual Land-Use and Land-Cover Maps of Brazil)¹; thus, the accuracy of the secondary forest increment, extension and age maps presented here is anchored to the accuracy of the MapBiomas land-use and land-cover dataset. The MapBiomas analyses of accuracy were performed using the Pontius Jr and Millones (2011) method²³. For the entire Brazil²⁴, the MapBiomas dataset has an average of $86.40 \pm 0.46\%$ of overall accuracy, $11.06 \pm 0.67\%$ of allocation disagreement, and $2.5 \pm 0.29\%$ of area disagreement between 1985 and 2018, considering the land-use and land-cover classes from the legend level with the greatest detail (level 3). The accuracy assessment for the Brazilian biomes can be found in the MapBiomas accuracy statistics web page (<https://mapbiomas.org/en/accuracy-analysis>).

In addition to the MapBiomas validation, we also compared the secondary forest map from the method proposed here with the secondary forest map from the TerraClass project (Official Brazilian Amazon Map of Land-use and Land-cover). The TerraClass project provides maps of the land-use and land-cover of previously deforested areas in the Brazilian Amazon using independent methods, including supervised classification and visual interpretation of Landsat images and time-series analysis of images from the MODIS sensor⁸.

To perform the comparison, we only considered secondary forests that grew in the Brazilian Amazon between the 2005–2014 period and remained unaltered until 2014. To minimize any discrepancies related to methodological differences between the two methods, we restricted our analysis to only account for the geographical area monitored by the TerraClass project. Following the method proposed by Gasparini *et al.*²⁵, we first calculated the proportion²⁶ of secondary forest cover for the two maps using 43,293 regular 10 by 10 km grid-cells. Subsequently, the comparison between the two datasets was carried out using a bootstrap approach, implemented in R statistical software v.4.0.2 (R Core Team, 2020)²⁷, with 10,000 interactions. For each interaction, the algorithm randomly raffled 10% of the 43,293 cells with replacement. Finally, based on the bootstrap results, we calculated the mean and standard deviation of the 10,000 coefficients of determination (R^2), intercepts, slopes, and root mean squared errors (RMSE).

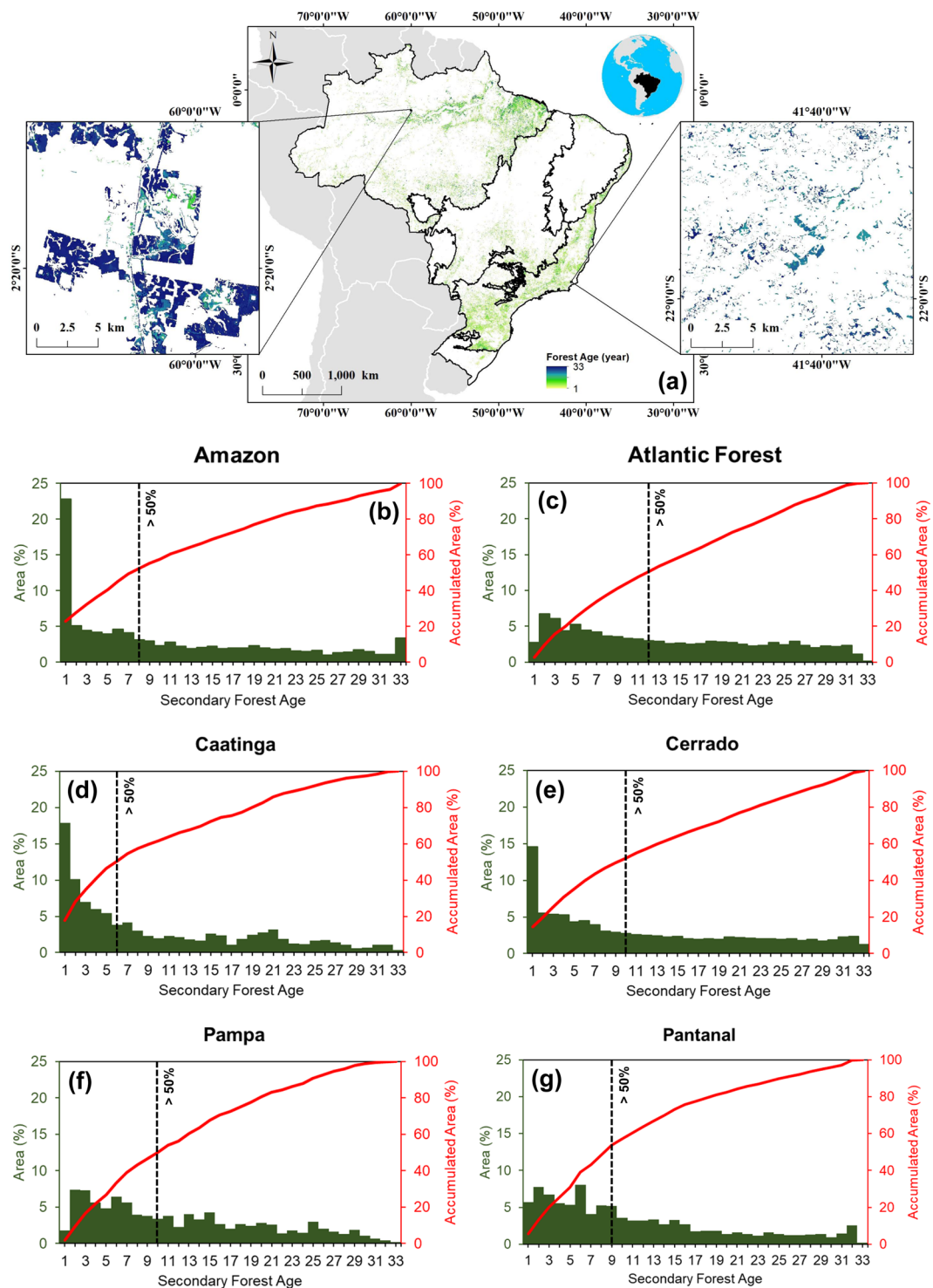


Fig. 5 (a) Map of Brazil with secondary forests identified using the process outlined in the text. The detailed map on the left shows the age of secondary forests in the Amazon, while the detailed map on the right shows the age of secondary forests in the Atlantic Forest. (b–g) Histogram of secondary forest age for each Brazilian biome. The dashed black lines represent the age threshold where more than 50% of secondary forests are accumulated.

We found that the proportion of secondary forests mapped by our method explained on average $63 \pm 3\%$ ($R^2 = 0.63 \pm 0.03$ and $RMSE = 2.04 \pm 0.09\%$) of the TerraClass secondary forests proportion (Fig. 4a). The non-parametric Mann-Whitney test²⁸ (Fig. 4b) showed that the mean of secondary forest proportion from our method ($1.69 \pm 3.35\% \text{ cell}^{-1}$) was significantly ($W = 864,240,514$ and $p < 0.001$) lower than the mean secondary forest proportion from TerraClass ($2.32 \pm 4.87\% \text{ cell}^{-1}$). Finally, in Table 1, we show the results of the

Biome	Net Uptake (Tg C)	Net Uptake (%)
Amazon	436 ± 26.84	52.21
Atlantic Forest	260 ± 15.98	31.08
Caatinga	17 ± 1.03	2.01
Cerrado	111 ± 6.83	13.29
Pampa	8 ± 0.52	1.00
Pantanal	3 ± 0.21	0.42
Brazil	835 ± 51.40	100

Table 3. Estimated cumulative net carbon uptake by secondary forests in each Brazilian biome between 1986 and 2018 (considering all stand secondary forests pixels in 2018). The numbers in the second column are the net uptake values with the plus or minus signal representing the standard deviation of the estimations.

Mann-Whitney test by intervals of the secondary forest proportion of the TerraClass. For all analysed intervals, the mean of secondary forest proportion from our method was significantly lower than the mean secondary forest proportion from TerraClass. In the dominant class of secondary forest proportion (0% to 10%), which represents 94.4% of the regular 10 by 10 km grid-cells analysed, the difference in the extent of secondary forests between the two products was very small (0.21%). Analysing the second most dominant class (11% to 20%) this difference increased to 5.8%. Despite statistically different, the resulting secondary forest proportion differences between the maps for the two dominant classes, which together account for 98.8% of all grid-cells analysed, indicates that our secondary forest cover map is consistent with the TerraClass product.

Usage Notes

Understanding the dynamics of secondary forests in the tropical region has always been a challenge. In Brazil, with its continental dimension, it is no different. Thus, freely available maps of the annual increment, extent, and age of secondary forest associated to complimentary maps of the annual deforestation of secondary forests, at high spatial resolution, are essential to support the implementation of forest restoration policies for biodiversity conservation and carbon emissions reduction. This dataset also enables the development of other environmental sciences applications, territorial planning, and environmental law enforcement activities.

Our dataset shows that a total of 262,791 km² of secondary forests recovered in Brazil between 1986 and 2018 (Table 2). This corresponded to 59% of the area of old-growth forests deforested in the Brazilian Amazon between 1988 and 2019²⁹. These secondary forests were distributed throughout the Brazilian territory, with the lower proportion in the Pantanal biome, contributing with 0.43% (1,120 km²) of the total area mapped and the highest proportion of 56.61% (148,764 km²) in the Amazon biome. The Caatinga biome accounted for 2.32% (6,106 km²) of the area of secondary forests in Brazil and had the youngest secondary forests, with more than 50% of the forests aged between 1 to 6 years. As expected, the Atlantic Forest biome, which is the second biome in terms of extent, covering 26.72% (70,218 km²) of the secondary forest area, had the oldest secondary forests, with more than 50% of the forests aged between 1 and 12 years (Fig. 5).

This dataset provides valuable information to support Brazilian climate change policies, such as the NDC¹⁶ submitted to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) under the 2015 Paris Agreement. Under the NDC, Brazil intends to reduce the country's greenhouse gas emissions by 43% below the 2005 levels in 2030. This is planned to be partially achieved by reaching zero illegal deforestation, as well as by restoring and reforesting 12 million hectares of forests policies by 2030¹⁶. Our dataset can, therefore, be used to identify areas of secondary forest growth and loss as well as identifying their age. This can help determine if Brazil's NDC goal will be achieved. This dataset can also support the Brazilian Native Vegetation Protection Law³⁰ (Law No. 12,651, of May 25, 2012), which enforces the restoration of forests within areas that suffered illegal deforestation in private properties. Finally, the dataset can also be used for environmental studies, including forest restoration, carbon emissions from forest fires, forest biomass estimation, carbon sequestration, among others.

To demonstrate the usefulness of our dataset, we calculated the potential net carbon uptake by secondary forests in each Brazilian biome between 1986 and 2018 through a pixel-by-pixel approach. For this estimate, we considered a linear net carbon uptake rate of $3.05 \pm 0.19 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ (mean for the neotropical secondary forests)⁹ during the first 20-years of secondary forest succession, followed by a subsequent stabilization of the process, with a null growth^{9,31,32}. Despite not considered in our estimates, it is important to highlight that carbon uptake rates vary among tropical secondary forests depending on climatic and environmental conditions³³.

Adopting this method, we calculated that each secondary forest pixel (30-m spatial resolution or 0.09 ha of area) uptakes $0.275 \pm 0.017 \text{ Mg C year}^{-1}$, independent of the age, except for forests older than 20 years, which have a null carbon uptake rate, meaning that this forests have reached the climax stage, with the C gains from net primary productivity being offset by losses from heterotrophic respiration³¹. Applying this method to all secondary forest pixels in the age map of 2018, we estimated that stand secondary forests in Brazil were responsible for an uptake of 835 Tg C during the 33 years analysed (1986–2018) or $25.30 \text{ Tg C year}^{-1}$ (Table 3). While the Pantanal biome had the lowest contribution, accounting for 0.42% of Brazil's carbon uptake and stocking 3 Tg C in their secondary forests between 1986 and 2018, the Amazon biome had the largest contribution, accounting for 52.21% of the Brazilian secondary forest uptake. The cumulative secondary forest uptake in the Amazon biome during the period analysed led to the recovery of 436 Tg of the carbon that were lost from deforestation. Considering the period between 1988–2018, the estimated uptake by secondary forests in Brazil (784 Tg C) offsets 12% of carbon emissions from deforestation in the Brazilian Amazon alone (6,740 Tg C)³⁴.

Code availability

All our codes are available from GitHub (https://github.com/celsohlsj/gee_brazil_sv) under the GNU General Public Licence v3.0³⁵. In the GitHub repository users will find the freely available codes of our method and the Toolkit Download.

Received: 25 May 2020; Accepted: 13 July 2020;

Published: 14 August 2020

References

1. Project MapBiomass - Collection 4.1 of Brazilian Land Cover & Use Map Series. *MapBiomass*, <https://mapbiomas.org> (2020).
2. Lewis, S. L., Edwards, D. P. & Galbraith, D. Increasing human dominance of tropical forests. *Science*. **349**, 827–832 (2015).
3. Malhi, Y., Gardner, T. A., Goldsmith, G. R., Silman, M. R. & Zelazowski, P. Tropical Forests in the Anthropocene. *Annu. Rev. Environ. Resour.* **39**, 125–159 (2014).
4. Watson, J. E. M. *et al.* The exceptional value of intact forest ecosystems. *Nat. Ecol. Evol.* **2**, 599–610 (2018).
5. Chokkalingam, U. & De Jong, W. Secondary forest: A working definition and typology. *Int. For. Rev.* **3**, 19–26 (2001).
6. Wang, Y. *et al.* Upturn in secondary forest clearing buffers primary forest loss in the Brazilian Amazon. *Nat. Sustain.* **3**, 290–295 (2020).
7. Nunes, S., Oliveira, L., Siqueira, J., Morton, D. C. & Souza, C. M. Unmasking secondary vegetation dynamics in the Brazilian Amazon. *Environ. Res. Lett.* **15**, 034057 (2020).
8. Almeida, C. A. D. E. *et al.* High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data. *Acta Amaz.* **46**, 291–302 (2016).
9. Poorter, L. *et al.* Biomass resilience of Neotropical secondary forests. *Nature* **530**, 211–214 (2016).
10. Lennox, G. D. *et al.* Second rate or a second chance? Assessing biomass and biodiversity recovery in regenerating Amazonian forests. *Glob. Chang. Biol.* **24**, 5680–5694 (2018).
11. Matos, F. A. R. *et al.* Secondary forest fragments offer important carbon and biodiversity cobenefits. *Glob. Chang. Biol.* **26**, 509–522 (2020).
12. Crouzeilles, R. *et al.* Ecological restoration success is higher for natural regeneration than for active restoration in tropical forests. *Sci. Adv.* **3**, e1701345 (2017).
13. Chazdon, R. L. *et al.* Carbon sequestration potential of second-growth forest regeneration in the Latin American tropics. *Sci. Adv.* **2**, e1501639 (2016).
14. Chazdon, R. L. Beyond Deforestation: Restoring Forests and Ecosystem Services on Degraded Lands. *Science*. **320**, 1458–1460 (2008).
15. Crouzeilles, R. *et al.* Achieving cost-effective landscape-scale forest restoration through targeted natural regeneration. *Conserv. Lett.* **13**, 1–9 (2020).
16. REDD+ and Brazil's Nationally Determined Contribution. *Ministério do Meio Ambiente (MMA)* <http://redd.mma.gov.br/en/redd-and-brazil-s-ndc> (2019).
17. Boillat, S. *et al.* Land system science in Latin America: challenges and perspectives. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* **26–27**, 37–46 (2017).
18. Chazdon, R. L. *et al.* Fostering natural forest regeneration on former agricultural land through economic and policy interventions. *Environ. Res. Lett.* **15**, 043002 (2020).
19. Gorelick, N. *et al.* Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sens. Environ.* **202**, 18–27 (2017).
20. Methodology Overview. *MapBiomass*, https://mapbiomas.org/en/visao-geral-da-metodologia?cama_set_language=en (2020).
21. Pekel, J.-F., Cottam, A., Gorelick, N. & Belward, A. S. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature* **540**, 418–422 (2016).
22. Silva Junior, C. H. L. *et al.* Benchmark maps of 33 years of secondary forest age for Brazil. *Zenodo* <https://doi.org/10.5281/zenodo.3928660> (2020).
23. Pontius, R. G. & Millones, M. Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. *Int. J. Remote Sens.* **32**, 4407–4429 (2011).
24. Accuracy Analysis. *MapBiomass*, <http://mapbiomas.org/en/accuracy-analysis> (2020).
25. Gasparini, K. A. C. *et al.* Determining a Threshold to Delimit the Amazonian Forests from the Tree Canopy Cover 2000 GFC Data. *Sensors* **19**, 5020 (2019).
26. Hesselbarth, M. H. K., Sciaini, M., With, K. A., Wiegand, K. & Nowosad, J. Landscapemetrics: an open-source R tool to calculate landscape metrics. *Ecography (Cop.)* **42**, 1648–1657 (2019).
27. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, <https://www.r-project.org> (2020).
28. Mann, H. B. & Whitney, D. R. On a Test of Whether one of Two Random Variables is Stochastically Larger than the Other. *Ann. Math. Stat.* **18**, 50–60 (1947).
29. PRODES - Monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite. *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)*, <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes> (2020).
30. BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/12651.htm (2012).
31. Fearnside, P. M. Amazonian deforestation and global warming: carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest. *For. Ecol. Manage.* **80**, 21–34 (1996).
32. Foody, G. M., Palubinskas, G., Lucas, R. M., Curran, P. J. & Honzak, M. Identifying terrestrial carbon sinks: Classification of successional stages in regenerating tropical forest from Landsat TM data. *Remote Sens. Environ.* **55**, 205–216 (1996).
33. Elias, F. *et al.* Assessing the growth and climate sensitivity of secondary forests in highly deforested Amazonian landscapes. *Ecology* **101**, 1–11 (2020).
34. Aragão, L. E. O. C. *et al.* 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. *Nat. Commun.* **9**, 536 (2018).
35. GNU General Public License. *Free Software Foundation*, <https://www.gnu.org/licenses/gpl-3.0.en.html>.

Acknowledgements

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001. V.H.A.H is supported by a NERC GW4 + Doctoral Training Partnership studentship from the Natural Environment Research Council (NE/L002434/1) and is thankful for the support and additional funding from CASE partner, BEIS, UK. L.O.A. thanks the Inter-American Institute for Global Change Research (IAI), process: SGP-HW 016 and FAPESP process 2016/02018-2. L.E.O.C.A. thanks CNPq processes 305054/2016-3 and 442371/2019-5 and FAPESP process 2018/15001-6 (ARBOLES Project). The funders had no role in study design, data collection and analysis, decision to publish, or preparation of the manuscript. We

also thank the editor and reviewers whose helpful comments and suggestions consistently helped to improve the clarity and robustness of the data and analyses presented in this manuscript. Finally, we thank the scientists of the MapBiomass Project, Joint Research Centre (JRC) and National Institute for Space Research (INPE) for providing the freely available datasets.

Author contributions

V.H.A.H. and L.E.O.C.A. designed the method. C.H.L.S.J. implemented the method and wrote the first version of the manuscript. C.H.L.S.J., A.T.G.F. and I.S.B. revised the dataset. All authors wrote and reviewed the manuscript.

Competing interests

The authors declare no competing interests.

Additional information

Correspondence and requests for materials should be addressed to C.H.L.S.J.

Reprints and permissions information is available at www.nature.com/reprints.

Publisher's note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Open Access This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons license, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons license and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

The Creative Commons Public Domain Dedication waiver <http://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/> applies to the metadata files associated with this article.

© The Author(s) 2020



ScienceDirect

Perspectives in Ecology and Conservation

INTRODUCTION

Perspectives in Ecology and Conservation (PECON) is a scientific journal devoted to improving theoretical and conceptual aspects of conservation science. It has the main purpose of communicating new research and advances to different actors of society, including researchers, conservationists, practitioners, and policymakers. Perspectives in Ecology and Conservation publishes original papers on biodiversity conservation and restoration, on the main drivers affecting native ecosystems, and on nature's benefits to people and human wellbeing. This scope includes studies on biodiversity patterns, the effects of habitat loss, fragmentation, biological invasion and climate change on biodiversity, conservation genetics, spatial conservation planning, ecosystem management, ecosystem services, sustainability and resilience of socio-ecological systems, conservation policy, among others.

We are mostly interested in articles that deal with tropical and subtropical systems, but without any bias towards particular organisms or ecosystems. Scientific papers must focus on new conceptual or methodological developments with practical implications. Case studies will be considered only if inserted in these more general contexts. Authors are encouraged to submit reviews and essays that provide new perspectives on arising ecological and conservation issues. Purely descriptive papers and studies without a clear link with conservation theory and practice will not be considered.

Perspectives in Ecology and Conservation is the official scientific journal of the "Brazilian Association for Ecological Science and Conservation". It is an open access journal, supported by the Boticário Group Foundation for Nature Protection, and thus without any charge for authors. Perspectives in Ecology and Conservation was previously published, between 2003 and 2016, as *Natureza & Conservação*.

Audience

Researchers working with biodiversity and ecosystem services, conservationists and practitioners, government, decision and policymakers.

Types of article

Perspectives in Ecology and Conservation publishes peer-reviewed original papers in English, following six main formats:

Essays & Perspectives/ Trends deal with longer essays and reviews updating recent topics of interest in conservation science. These articles provide an opportunity to propose new conceptual frameworks or personal viewpoints, supported by evidences, but still not completely explored. They should stimulate new cutting-edge research or applied perspectives. Those articles are usually up to 5000 words (excluding text in boxes, figures, tables and references), with 300-words abstract, graphical abstract (because it draws more attention to the online article), up to 1 to 2 boxes (maximum 400 words per box), 4 to 5

figures or tables, 80 references and highlights (a short collection of bullet points that convey the core findings of the article and should be submitted in a separate editable file in the online submission system).

Research Letters/ Research Paper are original scientific research presented in a more concise manuscript with up to 3500 words in length (excluding text in boxes, figures, tables and references), abstract with up to 200 words, graphical abstract (because it draws more attention to the online article), and up to 1 box (400 words) and 4 figures or tables, 40 references and highlights (a short collection of bullet points that convey the core findings of the article and should be submitted in a separate editable file in the online submission system).

Policy Forums / Reflective Practice are brief essays (1000 to 2000 words, short abstracts with up to 150 words, graphical abstract, plus 1 to 2 figures and highlights - a short collection of bullet points that convey the core findings of the article and should be submitted in a separate editable file in the online submission system) for a general audience on issues related to conservation and society. Contributions to this section should clearly articulate the significance of the ideas for conservation policy and practice.

Correspondences are letters commenting papers published in one of the three previous issues of the journal. Letters should be short (less than 1000 words, plus 1 figure), written in a polite and constructive way, with references kept to a minimum.

Book reviews (up to 2,000 words) consider relevant and internationally available publications that are not more than two years old. Books can cover a wide range of topics related to conservation science that should be of interest for a broad audience (scientists, policy makers, managers, graduate students). Submissions should be discussed with the editor-in-chief in advance.

Society Position Statement/White papers will be restricted to provide a state-of-the-art on topical and conflicting environmental issues, including a political positioning of a scientific association. Those articles will be usually invited, but suggestions of topics are welcomed and will be discussed with the editors. Those articles can be long (e.g. 6,000-8,000 words, plus 300-words abstract, graphical abstract, 6 figures/tables/boxes, 80 references) and should present highlights (a short collection of bullet points that convey the core findings of the article and should be submitted in a separate editable file in the online submission system). These papers may be published as supplementary issue in a bilingual version (when necessary).

Opinion Papers The aim of this type of manuscript is to combine a brief review of the literature of a research topic (setting the scene) with the personal author's opinion (based on scientific evidences), stimulating new research ideas, conceptual models or presenting innovative challenges. Manuscripts should be short (~2000 words, abstract with up to 150 words, plus 2-3 figure/table/box, max. 40 references, box with maximum 400 words) and accessible to a wide readership. Those articles will be invited only.

Submission checklist

You can use this list to carry out a final check of your submission before you send it to the journal for review. Please check the relevant section in this Guide for Authors for more details.

Ensure that the following items are present:

One author has been designated as the corresponding author with contact details:

- E-mail address
- Full postal address

All necessary files have been uploaded:

Manuscript:

- Include keywords
- All figures (include relevant captions)
- All tables (including titles, description, footnotes)
- Ensure all figure and table citations in the text match the files provided
- Indicate clearly if color should be used for any figures in print

Graphical Abstracts / Highlights files (where applicable)

Supplemental files (where applicable)

Further considerations

- Manuscript has been 'spell checked' and 'grammar checked'
- All references mentioned in the Reference List are cited in the text, and vice versa
- Permission has been obtained for use of copyrighted material from other sources (including the Internet)
- A competing interests statement is provided, even if the authors have no competing interests to declare
- Journal policies detailed in this guide have been reviewed
- Referee suggestions and contact details provided, based on journal requirements

For further information, visit our [Support Center](#).

BEFORE YOU BEGIN

Ethics in publishing

Please see our information on [Ethics in publishing](#).

Declaration of competing interest

All authors must disclose any financial and personal relationships with other people or organizations that could inappropriately influence (bias) their work. Examples of potential conflicts of interest include employment, consultancies, stock ownership, honoraria, paid expert testimony, patent applications/registrations, and grants or other funding. Authors should complete the declaration of competing interest statement using [this template](#) and upload to the submission system at the Attach/Upload Files step. **Note: Please do not convert the .docx template to another file type. Author signatures are not required.** If there are no interests to declare, please choose the first option in the template. [More information](#).

Submission declaration and verification

Submission of an article implies that the work described has not been published previously

(except in the form of an abstract, a published lecture or academic thesis, see '[Multiple, redundant or concurrent publication](#)' for more information), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. To verify originality, your article may be checked by the originality detection service [Crossref Similarity Check](#).

Preprints

Please note that [preprints](#) can be shared anywhere at any time, in line with Elsevier's [sharing policy](#). Sharing your preprints e.g. on a preprint server will not count as prior publication (see '[Multiple, redundant or concurrent publication](#)' for more information).

Use of inclusive language

Inclusive language acknowledges diversity, conveys respect to all people, is sensitive to differences, and promotes equal opportunities. Content should make no assumptions about the beliefs or commitments of any reader; contain nothing which might imply that one individual is superior to another on the grounds of age, gender, race, ethnicity, culture, sexual orientation, disability or health condition; and use inclusive language throughout. Authors should ensure that writing is free from bias, stereotypes, slang, reference to dominant culture and/or cultural assumptions. We advise to seek gender neutrality by using plural nouns ("clinicians, patients/clients") as default/wherever possible to avoid using "he, she," or "he/she." We recommend avoiding the use of descriptors that refer to personal attributes such as age, gender, race, ethnicity, culture, sexual orientation, disability or health condition unless they are relevant and valid. These guidelines are meant as a point of reference to help identify appropriate language but are by no means exhaustive or definitive.

Changes to authorship

Authors are expected to consider carefully the list and order of authors **before** submitting their manuscript and provide the definitive list of authors at the time of the original submission. Any addition, deletion or rearrangement of author names in the authorship list should be made only **before** the manuscript has been accepted and only if approved by the journal Editor. To request such a change, the Editor must receive the following from the **corresponding author**: (a) the reason for the change in author list and (b) written confirmation (e-mail, letter) from all authors that they agree with the addition, removal or rearrangement. In the case of addition or removal of authors, this includes confirmation from the author being added or removed.

Only in exceptional circumstances will the Editor consider the addition, deletion or rearrangement of authors **after** the manuscript has been accepted. While the Editor considers the request, publication of the manuscript will be suspended. If the manuscript has already been published in an online issue, any requests approved by the Editor will result in a corrigendum.

Copyright

Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete a 'Journal Publishing Agreement' (see [more information](#) on this). An e-mail will be sent to the corresponding author

confirming receipt of the manuscript together with a 'Journal Publishing Agreement' form or a link to the online version of this agreement.

Author rights

As an author you (or your employer or institution) have certain rights to reuse your work. [More information](#).

Elsevier supports responsible sharing

Find out how you can [share your research](#) published in Elsevier journals.

Role of the funding source

You are requested to identify who provided financial support for the conduct of the research and/or preparation of the article and to briefly describe the role of the sponsor(s), if any, in study design; in the collection, analysis and interpretation of data; in the writing of the report; and in the decision to submit the article for publication. If the funding source(s) had no such involvement then this should be stated.

Access Rights

All articles published open access will be immediately and permanently free for everyone to read, download, copy and distribute.

User Rights

Permitted reuse is defined by the following user license(s):

Open access

Please visit our [Open Access page](#) for more information.

Author Rights

For open access publishing, this journal uses a copyright transfer agreement. Authors will transfer copyright to the Associação Brasileira de Ciência Ecológica e Conservação (ABECO), but will have the right to share their article in the same ways permitted to third parties under the relevant user license, as well as certain scholarly usage rights.

Elsevier Researcher Academy

[Researcher Academy](#) is a free e-learning platform designed to support early and mid-career researchers throughout their research journey. The "Learn" environment at Researcher Academy offers several interactive modules, webinars, downloadable guides and resources to guide you through the process of writing for research and going through peer review. Feel free to use these free resources to improve your submission and navigate the publication process with ease.

Language (usage and editing services)

Please write your text in good English (American or British usage is accepted, but not a mixture of these). Authors who feel their English language manuscript may require editing to eliminate possible grammatical or spelling errors and to conform to correct scientific English may wish to use the [English Language Editing service](#) available from Elsevier's Author Services.

Submission

Our online submission system guides you stepwise through the process of entering your article details and uploading your files. The system converts your article files to a single PDF file used in the peer-review process. Editable files (e.g., Word, LaTeX) are required to typeset your article for final publication. All correspondence, including notification of the Editor's decision and requests for revision, is sent by e-mail.

Submit your article

Please submit your article via <https://www.editorialmanager.com/pecon>

PREPARATION

Peer review

This journal operates a single anonymized review process. All contributions will be initially assessed by the editor for suitability for the journal. Papers deemed suitable are then typically sent to a minimum of two independent expert reviewers to assess the scientific quality of the paper. The Editor is responsible for the final decision regarding acceptance or rejection of articles. The Editor's decision is final. Editors are not involved in decisions about papers which they have written themselves or have been written by family members or colleagues or which relate to products or services in which the editor has an interest. Any such submission is subject to all of the journal's usual procedures, with peer review handled independently of the relevant editor and their research groups. More information on types of peer review.

Use of word processing software

It is important that the file be saved in the native format of the word processor used. The text should be in single-column format. Keep the layout of the text as simple as possible. Most formatting codes will be removed and replaced on processing the article. In particular, do not use the word processor's options to justify text or to hyphenate words. However, do use bold face, italics, subscripts, superscripts etc. When preparing tables, if you are using a table grid, use only one grid for each individual table and not a grid for each row. If no grid is used, use tabs, not spaces, to align columns. The electronic text should be prepared in a way very similar to that of conventional manuscripts (see also the Guide to Publishing with Elsevier). Note that source files of figures, tables and text graphics will be required whether or not you embed your figures in the text. See also the section on Electronic artwork.

To avoid unnecessary errors you are strongly advised to use the 'spell-check' and 'grammar-check' functions of your word processor.

Essential title page information

- **Title.** Concise and informative. Titles are often used in information-retrieval systems. Avoid abbreviations and formulae where possible.
- **Author names and affiliations.** Please clearly indicate the given name(s) and family name(s) of each author and check that all names are accurately spelled. You can add your name between parentheses in your own script behind the English transliteration. Present the authors' affiliation addresses (where the actual work was done) below the names. Indicate all affiliations with a lower-case superscript letter immediately after the author's name and in

front of the appropriate address. Provide the full postal address of each affiliation, including the country name and, if available, the e-mail address of each author.

- **Corresponding author.** Clearly indicate who will handle correspondence at all stages of refereeing and publication, also post-publication. This responsibility includes answering any future queries about Methodology and Materials. **Ensure that the e-mail address is given and that contact details are kept up to date by the corresponding author.**

- **Present/permanent address.** If an author has moved since the work described in the article was done, or was visiting at the time, a 'Present address' (or 'Permanent address') may be indicated as a footnote to that author's name. The address at which the author actually did the work must be retained as the main, affiliation address. Superscript Arabic numerals are used for such footnotes.

Highlights

Highlights are mandatory for this journal as they help increase the discoverability of your article via search engines. They consist of a short collection of bullet points that capture the novel results of your research as well as new methods that were used during the study (if any). Please have a look at the examples here: [example Highlights](#).

Highlights should be submitted in a separate editable file in the online submission system. Please use 'Highlights' in the file name and include 3 to 5 bullet points (maximum 85 characters, including spaces, per bullet point).

Abstract

A concise and factual abstract is required. The abstract should state briefly the purpose of the research, the principal results and major conclusions. An abstract is often presented separately from the article, so it must be able to stand alone. For this reason, References should be avoided, but if essential, then cite the author(s) and year(s). Also, non-standard or uncommon abbreviations should be avoided, but if essential they must be defined at their first mention in the abstract itself.

Graphical abstract

A graphical abstract is mandatory for this journal. It should summarize the contents of the article in a concise, pictorial form designed to capture the attention of a wide readership online. Authors must provide images that clearly represent the work described in the article. Graphical abstracts should be submitted as a separate file in the online submission system. Image size: please provide an image with a minimum of 531 × 1328 pixels (h × w) or proportionally more. The image should be readable at a size of 5 × 13 cm using a regular screen resolution of 96 dpi. Preferred file types: TIFF, EPS, PDF or MS Office files. You can view [Example Graphical Abstracts](#) on our information site.

Authors can make use of Elsevier's [Illustration Services](#) to ensure the best presentation of their images also in accordance with all technical requirements.

Keywords

Immediately after the abstract, provide a maximum of 6 keywords, using American spelling and avoiding general and plural terms and multiple concepts (avoid, for example, 'and', 'of'). Be sparing with abbreviations: only abbreviations firmly established in the field may be eligible. These keywords will be used for indexing purposes.

Abbreviations

Define abbreviations that are not standard in this field in a footnote to be placed on the first page of the article. Such abbreviations that are unavoidable in the abstract must be defined at their first mention there, as well as in the footnote. Ensure consistency of abbreviations throughout the article.

Acknowledgements

Collate acknowledgements in a separate section at the end of the article before the references and do not, therefore, include them on the title page, as a footnote to the title or otherwise. List here those individuals who provided help during the research (e.g., providing language help, writing assistance or proof reading the article, etc.).

Formatting of funding sources

List funding sources in this standard way to facilitate compliance to funder's requirements:

Funding: This work was supported by the National Institutes of Health [grant numbers xxxx, yyyy]; the Bill & Melinda Gates Foundation, Seattle, WA [grant number zzzz]; and the United States Institutes of Peace [grant number aaaa].

It is not necessary to include detailed descriptions on the program or type of grants and awards. When funding is from a block grant or other resources available to a university, college, or other research institution, submit the name of the institute or organization that provided the funding.

If no funding has been provided for the research, please include the following sentence:

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Units

Follow internationally accepted rules and conventions: use the international system of units (SI). If other units are mentioned, please give their equivalent in SI.

Math formulae

Please submit math equations as editable text and not as images. Present simple formulae in line with normal text where possible and use the solidus (/) instead of a horizontal line for small fractional terms, e.g., X/Y. In principle, variables are to be presented in italics. Powers of e are often more conveniently denoted by exp. Number consecutively any equations that have to be displayed separately from the text (if referred to explicitly in the text).

Footnotes

Footnotes should be used sparingly. Number them consecutively throughout the article. Many word processors can build footnotes into the text, and this feature may be used. Otherwise, please indicate the position of footnotes in the text and list the footnotes themselves separately at the end of the article. Do not include footnotes in the Reference list.

Artwork

Image manipulation

Whilst it is accepted that authors sometimes need to manipulate images for clarity,

manipulation for purposes of deception or fraud will be seen as scientific ethical abuse and will be dealt with accordingly. For graphical images, this journal is applying the following policy: no specific feature within an image may be enhanced, obscured, moved, removed, or introduced. Adjustments of brightness, contrast, or color balance are acceptable if and as long as they do not obscure or eliminate any information present in the original. Nonlinear adjustments (e.g. changes to gamma settings) must be disclosed in the figure legend.

Electronic artwork

General points

- Make sure you use uniform lettering and sizing of your original artwork.
- Embed the used fonts if the application provides that option.
- Aim to use the following fonts in your illustrations: Arial, Courier, Times New Roman, Symbol, or use fonts that look similar.
- Number the illustrations according to their sequence in the text.
- Use a logical naming convention for your artwork files.
- Provide captions to illustrations separately.
- Size the illustrations close to the desired dimensions of the published version.
- Submit each illustration as a separate file.
- Ensure that color images are accessible to all, including those with impaired color vision.

A detailed [guide on electronic artwork](#) is available.

You are urged to visit this site; some excerpts from the detailed information are given here.

Formats

If your electronic artwork is created in a Microsoft Office application (Word, PowerPoint, Excel) then please supply 'as is' in the native document format.

Regardless of the application used other than Microsoft Office, when your electronic artwork is finalized, please 'Save as' or convert the images to one of the following formats (note the resolution requirements for line drawings, halftones, and line/halftone combinations given below):

EPS (or PDF): Vector drawings, embed all used fonts.

TIFF (or JPEG): Color or grayscale photographs (halftones), keep to a minimum of 300 dpi.

TIFF (or JPEG): Bitmapped (pure black & white pixels) line drawings, keep to a minimum of 1000 dpi.

TIFF (or JPEG): Combinations bitmapped line/half-tone (color or grayscale), keep to a minimum of 500 dpi.

Please do not:

- Supply files that are optimized for screen use (e.g., GIF, BMP, PICT, WPG); these typically have a low number of pixels and limited set of colors;
- Supply files that are too low in resolution;
- Submit graphics that are disproportionately large for the content.

Color artwork

Please make sure that artwork files are in an acceptable format (TIFF (or JPEG), EPS (or PDF) or MS Office files) and with the correct resolution. If, together with your accepted article, you submit usable color figures then Elsevier will ensure, at no additional charge, that these figures will appear in color online (e.g., ScienceDirect and other sites). [Further information on the preparation of electronic artwork.](#)

Illustration services

Elsevier's [Author Services](#) offers Illustration Services to authors preparing to submit a manuscript but concerned about the quality of the images accompanying their article. Elsevier's expert illustrators can produce scientific, technical and medical-style images, as well as a full range of charts, tables and graphs. Image 'polishing' is also available, where our illustrators take your image(s) and improve them to a professional standard. Please visit the website to find out more.

Figure captions

Ensure that each illustration has a caption. Supply captions separately, not attached to the figure. A caption should comprise a brief title (**not** on the figure itself) and a description of the illustration. Keep text in the illustrations themselves to a minimum but explain all symbols and abbreviations used.

Tables

Please submit tables as editable text and not as images. Tables can be placed either next to the relevant text in the article, or on separate page(s) at the end. Number tables consecutively in accordance with their appearance in the text and place any table notes below the table body. Be sparing in the use of tables and ensure that the data presented in them do not duplicate results described elsewhere in the article. Please avoid using vertical rules and shading in table cells.

References

Citation in text

Please ensure that every reference cited in the text is also present in the reference list (and vice versa). Any references cited in the abstract must be given in full. Unpublished results and personal communications are not recommended in the reference list, but may be mentioned in the text. If these references are included in the reference list they should follow the standard reference style of the journal and should include a substitution of the publication date with either 'Unpublished results' or 'Personal communication'. Citation of a reference as 'in press' implies that the item has been accepted for publication.

Reference links

Increased discoverability of research and high quality peer review are ensured by online links to the sources cited. In order to allow us to create links to abstracting and indexing services, such as Scopus, CrossRef and PubMed, please ensure that data provided in the references are correct. Please note that incorrect surnames, journal/book titles, publication year and pagination may prevent link creation. When copying references, please be careful as they may already contain errors. Use of the DOI is highly encouraged.

A DOI is guaranteed never to change, so you can use it as a permanent link to any electronic article. An example of a citation using DOI for an article not yet in an issue is: VanDecar J.C., Russo R.M., James D.E., Ambeh W.B., Franke M. (2003). Aseismic continuation of the Lesser Antilles slab beneath northeastern Venezuela. *Journal of Geophysical Research*, <https://doi.org/10.1029/2001JB000884>. Please note the format of such citations should be in the same style as all other references in the paper.

Web references

As a minimum, the full URL should be given and the date when the reference was last accessed. Any further information, if known (DOI, author names, dates, reference to a source publication, etc.), should also be given. Web references can be listed separately (e.g., after the reference list) under a different heading if desired, or can be included in the reference list.

Data references

This journal encourages you to cite underlying or relevant datasets in your manuscript by citing them in your text and including a data reference in your Reference List. Data references should include the following elements: author name(s), dataset title, data repository, version (where available), year, and global persistent identifier. Add [dataset] immediately before the reference so we can properly identify it as a data reference. The [dataset] identifier will not appear in your published article.

References in a special issue

Please ensure that the words 'this issue' are added to any references in the list (and any citations in the text) to other articles in the same Special Issue.

Reference management software

Most Elsevier journals have their reference template available in many of the most popular reference management software products. These include all products that support Citation Style Language styles, such as Mendeley. Using citation plug-ins from these products, authors only need to select the appropriate journal template when preparing their article, after which citations and bibliographies will be automatically formatted in the journal's style. If no template is yet available for this journal, please follow the format of the sample references and citations as shown in this Guide. If you use reference management software, please ensure that you remove all field codes before submitting the electronic manuscript. More information on how to remove field codes from different reference management software.

If you manage your research with Mendeley Desktop, you can easily install the reference style for this journal by clicking the link below:

<http://open.mendeley.com/use-citation-style/perspectives-in-ecology-and-conservation>

When preparing your manuscript, you will then be able to select this style using the Mendeley plug-ins for Microsoft Word or LibreOffice. For more information about the Citation Style Language, visit <http://citationstyles.org>.

Reference style

Text: All citations in the text should refer to:

1. *Single author:* the author's name (without initials, unless there is ambiguity) and the year of publication;
2. *Two authors:* both authors' names and the year of publication;
3. *Three or more authors:* first author's name followed by 'et al.' and the year of publication. Citations may be made directly (or parenthetically). Groups of references can be listed either first alphabetically, then chronologically, or vice versa.

Examples: 'as demonstrated (Allan, 2000a, 2000b, 1999; Allan and Jones, 1999)... Or, as demonstrated (Jones, 1999; Allan, 2000)... Kramer et al. (2010) have recently shown ...'

List: References should be arranged first alphabetically and then further sorted chronologically if necessary. More than one reference from the same author(s) in the same year must be identified by the letters 'a', 'b', 'c', etc., placed after the year of publication.

Examples:

Reference to a journal publication:

Van der Geer, J., Hanraads, J.A.J., Lupton, R.A., 2010. The art of writing a scientific article. *J. Sci. Commun.* 163, 51–59. <https://doi.org/10.1016/j.Sc.2010.00372>.

Reference to a journal publication with an article number:

Van der Geer, J., Hanraads, J.A.J., Lupton, R.A., 2018. The art of writing a scientific article. *Heliyon*. 19, e00205. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00205>.

Reference to a book:

Strunk Jr., W., White, E.B., 2000. *The Elements of Style*, fourth ed. Longman, New York.

Reference to a chapter in an edited book:

Mettam, G.R., Adams, L.B., 2009. How to prepare an electronic version of your article, in: Jones, B.S., Smith, R.Z. (Eds.), *Introduction to the Electronic Age*. E-Publishing Inc., New York, pp. 281–304.

Reference to a website:

Cancer Research UK, 1975. Cancer statistics reports for the UK.

<http://www.cancerresearchuk.org/aboutcancer/statistics/cancerstatsreport/> (accessed 13 March 2003).

Reference to a dataset:

[dataset] Oguro, M., Imahiro, S., Saito, S., Nakashizuka, T., 2015. Mortality data for Japanese oak wilt disease and surrounding forest compositions. Mendeley Data, v1.

<https://doi.org/10.17632/xwj98nb39r.1>.

Reference to software:

Coon, E., Berndt, M., Jan, A., Svyatsky, D., Atchley, A., Kikinzon, E., Harp, D., Manzini, G., Shelef, E., Lipnikov, K., Garimella, R., Xu, C., Moulton, D., Karra, S., Painter, S., Jafarov, E., & Molins, S., 2020. Advanced Terrestrial Simulator (ATS) v0.88 (Version 0.88). Zenodo.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.3727209>.

Journal abbreviations source

Journal names should be abbreviated according to the List of Title Word Abbreviations.

Video

Elsevier accepts video material and animation sequences to support and enhance your scientific research. Authors who have video or animation files that they wish to submit with their article are strongly encouraged to include links to these within the body of the article. This can be done in the same way as a figure or table by referring to the video or animation content and noting in the body text where it should be placed. All submitted files should be properly labeled so that they directly relate to the video file's content. In order to ensure that your video or animation material is directly usable, please provide the file in one of our recommended file formats with a preferred maximum size of 150 MB per file, 1 GB in total. Video and animation files supplied will be published online in the electronic version of your article in Elsevier Web products, including ScienceDirect. Please supply 'stills' with your files: you can choose any frame from the video or animation or make a separate image. These will be used instead of standard icons and will personalize the link to your video data. For more detailed instructions please visit our video instruction pages. Note: since video and animation cannot be embedded in the print version of the journal, please provide text for both the electronic and the print version for the portions of the article that refer to this content.

Supplementary material

Supplementary material such as applications, images and sound clips, can be published with

your article to enhance it. Submitted supplementary items are published exactly as they are received (Excel or PowerPoint files will appear as such online). Please submit your material together with the article and supply a concise, descriptive caption for each supplementary file. If you wish to make changes to supplementary material during any stage of the process, please make sure to provide an updated file. Do not annotate any corrections on a previous version. Please switch off the 'Track Changes' option in Microsoft Office files as these will appear in the published version.

Research data

This journal encourages and enables you to share data that supports your research publication where appropriate, and enables you to interlink the data with your published articles. Research data refers to the results of observations or experimentation that validate research findings. To facilitate reproducibility and data reuse, this journal also encourages you to share your software, code, models, algorithms, protocols, methods and other useful materials related to the project.

Below are a number of ways in which you can associate data with your article or make a statement about the availability of your data when submitting your manuscript. If you are sharing data in one of these ways, you are encouraged to cite the data in your manuscript and reference list. Please refer to the "References" section for more information about data citation. For more information on depositing, sharing and using research data and other relevant research materials, visit the [research data](#) page.

Data linking

If you have made your research data available in a data repository, you can link your article directly to the dataset. Elsevier collaborates with a number of repositories to link articles on ScienceDirect with relevant repositories, giving readers access to underlying data that gives them a better understanding of the research described.

There are different ways to link your datasets to your article. When available, you can directly link your dataset to your article by providing the relevant information in the submission system. For more information, visit the [database linking page](#).

For [supported data repositories](#) a repository banner will automatically appear next to your published article on ScienceDirect.

In addition, you can link to relevant data or entities through identifiers within the text of your manuscript, using the following format: Database: xxxx (e.g., TAIR: AT1G01020; CCDC: 734053; PDB: 1XFN).

Mendeley Data

This journal supports Mendeley Data, enabling you to deposit any research data (including raw and processed data, video, code, software, algorithms, protocols, and methods) associated with your manuscript in a free-to-use, open access repository. During the submission process, after uploading your manuscript, you will have the opportunity to upload your relevant datasets directly to *Mendeley Data*. The datasets will be listed and directly accessible to readers next to your published article online.

For more information, visit the [Mendeley Data for journals page](#).

Data statement

To foster transparency, we encourage you to state the availability of your data in your submission. This may be a requirement of your funding body or institution. If your data is unavailable to access or unsuitable to post, you will have the opportunity to indicate why during the submission process, for example by stating that the research data is confidential. The statement will appear with your published article on ScienceDirect. For more information, visit the [Data Statement page](#).

AFTER ACCEPTANCE**Online proof correction**

To ensure a fast publication process of the article, we kindly ask authors to provide us with their proof corrections within two days. Corresponding authors will receive an e-mail with a link to our online proofing system, allowing annotation and correction of proofs online. The environment is similar to MS Word: in addition to editing text, you can also comment on figures/tables and answer questions from the Copy Editor. Web-based proofing provides a faster and less error-prone process by allowing you to directly type your corrections, eliminating the potential introduction of errors.

If preferred, you can still choose to annotate and upload your edits on the PDF version. All instructions for proofing will be given in the e-mail we send to authors, including alternative methods to the online version and PDF.

We will do everything possible to get your article published quickly and accurately. Please use this proof only for checking the typesetting, editing, completeness and correctness of the text, tables and figures. Significant changes to the article as accepted for publication will only be considered at this stage with permission from the Editor. It is important to ensure that all corrections are sent back to us in one communication. Please check carefully before replying, as inclusion of any subsequent corrections cannot be guaranteed. Proofreading is solely your responsibility.

AUTOR INQUIRIES

Visit the [Elsevier Support Center](#) to find the answers you need. Here you will find everything from Frequently Asked Questions to ways to get in touch.

You can also [check the status of your submitted article](#) or find out [when your accepted article will be published](#).