

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ – UFPI
Pró-Reitoria de Ensino de Pós-Graduação (PRPG)
Núcleo de Referência em Ciências Ambientais do Trópico Ecotonal do Nordeste (TROPEN)
Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA)
Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente (MDMA)

DAIHANA SOLEDAD ARGIBAY

REGIME DE FOGO NO MOSAICO CAPIVARA-CONFUSÕES (PI-BRASIL)

TERESINA – PI
2019

DAIHANA SOLEDAD ARGIBAY

REGIME DE FOGO NO MOSAICO CAPIVARA-CONFUSÕES (PI-BRASIL)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (Mestrado) da Universidade Federal do Piauí (PRODEMA/UFPI), como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de Concentração: Desenvolvimento do Trópico Ecotonal do Nordeste. Linha de Pesquisa: Políticas de Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Giovana Mira de Espindola

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Comunitária Jornalista Carlos Castello Branco
Serviço de Processamento Técnico

A692r Argibay, Daihana Soledad.
Regime de fogo no Mosaico Capivara-Confusões (PI-Brasil)
/ Daihana Soledad Argibay. – 2019.
165 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio
Ambiente) – Universidade Federal do Piauí, 2019.
Orientação: Prof^ª. Dr^ª. Giovana Mira de Espindola.

1. Semiárido. 2. Incêndios. 3. Precipitações. 4. Caatinga.
5. Sazonalidade. I. Título.

CDD 574.52

DAIHANA SOLEDAD ARGIBAY

REGIME DE FOGO NO MOSAICO CAPIVARA-CONFUSÕES (PI-BRASIL)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (Mestrado) da Universidade Federal do Piauí (PRODEMA/UFPI), como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de Concentração: Desenvolvimento do Trópico Ecotonal do Nordeste. Linha de Pesquisa: Políticas de Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Giovana Mira de Espindola

Teresina 22/03/2019



Prof^a. Dr^a. Giovana Mira de Espíndola

(PRODEMA/UFPI/PRPPG/TROPEN)
Orientadora



Prof. Dr. José Carlos Araújo

(Departamento de Engenharia Agrícola/UFC)
Membro Externo



Profa. Dra. Roseli Farias Melo de Barros

(PRODEMA/UFPI/PRPPG/TROPEN)
Membro Interno

*A mi madre,
Marta Hilal*

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Piauí (UFPI) pela seleção e outorgamento da bolsa para a realização do Curso de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente, amparado pelo Programa de Alianças para Educação e Capacitação (PAEC) no âmbito do Acordo de Cooperação entre a Organização dos Estados Americanos (OEA) e o Grupo Coimbra de Universidades Brasileiras (GCUB).

Agradeço ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) pela permissão a trabalhar nos parques, e junto com o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela seleção do nosso projeto de pesquisa e financiamento.

A Giovana, minha orientadora, desde que cheguei em Teresina esteve presente para ajudar, por dentro e fora do mestrado. Muito obrigada.

Agradeço aos membros da banca, José Carlos de Araújo, Roseli Barros e Francisco Soares, por seu tempo, sua disponibilidade e seus ricos comentários que colaboraram para melhorar o manuscrito.

Agradeço aos encarregados dos Parques Nacionais (ICMBio) e da Fundação Museu do Homem Americano (FUMDHAM) pelo interesse na nossa pesquisa e por seu tempo para conversas que ajudaram a entender o funcionamento dos Parques e da região, especialmente a Niéde Guidon, José Wilmington “Mitinha” Paes Landim, Fátima Guedes.

Em especial aos funcionários do ICMBio que nos acompanharam nas campanhas de campo e nos ensinaram as realidades da Caatinga: Neri, João Leite e Pedro Paulo.

Aos que fazemos parte do TROPEN: professores, alunos e funcionários, obrigada pelas conversas diárias e colaborações. Aos meus colegas de turma, pelas aventuras compartilhadas, pelas demonstrações de cultura piauiense, por me explicar as brincadeiras, me fazer degustar pratos típicos e me fazer sentir mais uma no grupo.

Ao Seu Raimundo, pelo cafezinho de cada dia e pelo seu carinho.

Ao nosso grupo do LaGeo, onde nos encontramos diariamente para trabalhar e compartilhar as nossas lutas, metas e sucessos. O LaGeo foi minha segunda casa durante estes dois anos e considero vocês minha família nessa cidade.

À minha família e meus amigos de Argentina, que mesmo estando longe me fazem sentir a sua calidez e carinho.

A mi compañero, con quien batallamos todos los días, porque hay quien dice que pechando de a dos es más fácil. Sin él, estoy segura que nada de esto hubiera sido posible. Gracias Javi.

RESUMO

Os incêndios podem representar uma ameaça recorrente contra os ecossistemas semiáridos sazonais ao redor do mundo. O estudo do regime de incêndios em áreas protegidas representa potencial conhecimento para o entendimento da dinâmica do fogo, sendo útil para a implementação de ações estratégicas de manejo. Nesse sentido, avaliaram-se os padrões do fogo em Parques Nacionais no ecótono semiárido de vegetações de Caatinga e Cerrado no Nordeste do Brasil, caracterizando-se as dinâmicas espaço-temporais associadas com condições climáticas e ecológicas. Objetivou-se de forma geral analisar o regime de fogo no Mosaico Capivara-Confusões e entorno, no período 1999-2017, visando subsidiar políticas de controle e manejo de fogo para a Caatinga. Para a análise foi utilizada uma série temporal de 306 imagens Landsat (resolução 30 m) disponíveis nesses 19 anos e teve-se por objetivos específicos: i) gerar um banco de dados dos incêndios identificando e delimitando as cicatrizes; ii) analisar os padrões espaciais, temporais, sazonais e anuais da ocorrência e recorrência dos incêndios; iii) analisar a evolução espectral da vegetação em áreas queimadas recorrentemente; iv) e propor ações de orientação dirigidas para o Manejo do Fogo em Unidades de Conservação da Caatinga. Delimitou-se as cicatrizes de área queimada e utilizou-se uma caracterização climática (estação chuvosa, estação seca inicial, média e tardia) para a classificação sazonal dos incêndios. Gerou-se mapas dos diferentes padrões sazonais e de recorrência e analisou-se curvas espectrais de $NDVI$ e Q_{NDVI} . Finalmente, foi proposto um sumário para tomadores de decisão como estratégia de gestão. Em total queimaram 1.056.764 ha que representa 48 % da área, do qual o Parque Nacional da Serra das Confusões teve 302.644 ha queimados, o Parque Nacional da Serra da Capivara 2.056 ha, e o corredor ecológico 215.718 ha. 36 % dos fogos registrados foram durante a estação seca média, quase nenhum fogo aconteceu na estação seca inicial, enquanto a estação seca tardia e a estação chuvosa tiveram dimensões queimadas similares entre elas. Os anos que mais área foi queimada estiveram relacionados com a acumulação de biomassa durante anos consecutivos com precipitações superiores à média seguidos de anos secos (2007) e diretamente com ENSO (2010, 2012, 2015). Encontrou-se para o período de estudo o padrão de um ano úmido com pouca área queimada, seguido de um ano seco com grandes extensões de área queimada (1999-2001, 2008-2010, 2010-2012). Áreas de alta recorrência foram perto de estradas, assentamentos ou cidades e os fogos foram muitas vezes limitados pela topografia abrupta com boqueirões e acantilados que atuaram como barreira. O intervalo de recorrência de fogo foi sempre maior que dois anos, o que significa que uma área que queimou um ano pode delimitar a área que queimará no ano seguinte e que é suficiente uma estação chuvosa para a gerar a biomassa para se queimar no próximo ano. Os padrões aqui descritos constituem o primeiro passo para o entendimento dos regimes do fogo na região para estabelecer direções com o fim de melhorar estratégias de manejo e orientar políticas de mitigação na área.

Palavras-chave: Incêndios. Precipitações. Semiárido. Sazonalidade. Índices Espectrais. Caatinga.

ABSTRACT

Fire is a recurrent threat against semiarid seasonal ecosystems all around the world. The study of fire regimes in protected lands could provide new approaches for the understanding of fire dynamics and strategically managing actions. Here, were evaluated fire patterns in national parks from a semiarid Caatinga-Cerrado ecotone in northeastern Brazil, characterizing the spatio-temporal dynamics of fire associated with climatic and ecological conditions. The overall objective of this dissertation is to analyse the fire regime in Capivara-Confusões Mosaic of protected lands and its surroundings, from 1999 to 2017, intending to help control policies and fire management for the Caatinga. For the analysis, a temporal series of the 306 Landsat images (30 m resolution) available for those 19 years was used, and the specific objectives were: i) to generate a database of burned areas by means of identification and proper delimitation of fire scars; ii) to analyse spatial, temporal, seasonal and annual occurrence and recurrence of fires; iii) to analyse the spectral evolution of vegetation in recurrently burned areas; iv) to suggest guidelines for fire management in protected lands of Caatinga. Burned area scars were delimited and a climatic characterization was used (rainy season, early, middle and end dry seasons) for a seasonal classification of the fires. Maps of the different seasonal, spatial and recurrence patterns were generated and *NDVI* and *Q_{NDVI}* curves of spectral response were analysed. Finally, a summary for policymakers was constructed as a management strategy. Results showed that 1,056,764 ha burned, which represents 48 % of the area, from that, Serra das Confusões National Park had 302,644 ha burned, Serra da Capivara National Park had 2,056 ha burned and the ecological corridor had 215,718 ha burned. From the total number of fires, 36 % were registered during the middle dry season, almost no fires occurred in the early dry season, while late dry season and rainy season had similar amounts of burned areas. Years that burned the most were related with the biomass accumulation of consecutive wet years followed by dry years (2007) or with ENSO episodes (2010, 2012, 2015). For the studied period, was found a multiple-year pattern, beginning with a wet year followed by low burned area, and then by a dry year with great burned area (1999-2001, 2008-2010, 2010-2012). High recurrence areas were always near to roads, settlements or cities, and fires were in many occasions limited by the abrupt topography with ravines and cliffs that acted as barriers. The fire recurrence interval was always larger than two years, meaning that an area that was burned on one year will delimit the area burned on the next year and that only one rainy season is enough to produce the biomass that will burn the next year. The patterns that were describe here constitute the first step for understanding the fire regimes of the region in order to establish guidelines for improving management strategies and orienting mitigation policies for the area.

Key-words: Wildfire. Precipitation. Semiarid. Seasonality. Spectral Index. Caatinga.

RESUMEN

Los incendios pueden representar una amenaza contra los ecosistemas estacionales semiáridos alrededor del mundo. El estudio del régimen de incendios en áreas protegidas representa potencial conocimiento para el entendimiento de la dinámica del fuego, siendo útil para la implementación de acciones estratégicas de manejo. En ese sentido, se evaluaron los patrones de fuego en parques nacionales del ecotono semiárido de vegetaciones de Caatinga y Cerrado en el noreste de Brasil, caracterizando las dinámicas espacio-temporales asociadas con condiciones climáticas y ecológicas. El objetivo general de esta disertación es analizar el régimen de fuego en el Mosaico Capivara-Confusões y su entorno, en el período 1999-2017, con el fin de contribuir para políticas de control y manejo del fuego para la Caatinga. Para el análisis fue utilizada una serie temporal de 306 imágenes Landsat (resolución espacial 30 m) disponibles en esos 19 años, y se tuvo como objetivos específicos: i) generar una base de datos de incendios identificando y delimitando las cicatrices; ii) analizar los patrones espaciales, temporales, estacionales y anuales de la ocurrencia y recurrencia de los incendios; iii) analizar la evolución espectral de la vegetación en áreas quemadas recurrentemente; iv) y proponer acciones de orientación dirigidas para el Manejo del Fuego en Unidades de Conservación de la Caatinga. Se delimitaron las cicatrices de área quemada y se utilizó una caracterización climática (estación lluviosa, estaciones secas inicial, mediana y tardía) para la clasificación estacional de los incendios. Se generaron mapas de los diferentes patrones estacionales y de recurrencia y se analizaron curvas espectrales de $NDVI$ y Q_{NDVI} . Finalmente, fue propuesto un sumario para tomadores de decisiones como estrategia de gestión. En total se quemaron 1.056.764 ha que representa el 48 % del área, del cual el Parque Nacional Serra das Confusões tuvo 302.644 ha quemadas, el Parque Nacional Serra da Capivara tuvo 2.056 ha quemadas, y el corredor ecológico se quemó en 215.718 ha. El 36,04 % de los fuegos registrados fueron durante la estación seca media, casi ningún fuego sucedió en la estación seca inicial, mientras que la estación seca tardía y la estación lluviosa tuvieron dimensiones quemadas similares. Los años en los que más área fue quemada estuvieron relacionados con la acumulación de biomasa producida en años húmedos consecutivos seguidos de años secos (2007) o con ENSO (2010, 2012, 2015). Se encontró para el período estudiado un patrón de un año húmedo con poca área quemada, seguido de un año seco con grandes extensiones de área quemada (1999-2001, 2008-2010, 2010-2012). Las áreas de alta recurrencia fueron siempre cerca de caminos, asentamientos o ciudades y los fuegos fueron muchas veces limitados por la topografía abrupta con quebradas y acantilados que actuó como barrera. El intervalo de recurrencia del fuego fue siempre mayor que dos años, lo que significa que un área que se quemó un año va a delimitar el área que se irá a quemar el año siguiente y que basta una sola estación lluviosa para generar la biomasa que se quemará en el próximo año. Los patrones que describimos aquí constituyen el primer paso para el entendimiento de los regímenes de fuego en la región para establecer direcciones con el fin de mejorar estrategias de manejo y orientar políticas de mitigación en el área.

Palabras clave: Incendios. Precipitaciones. Semiárido. Estacionalidad. Índices Espectrales. Caatinga.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 3.1.** Mapa da área de estudo, onde: A) localização da área de estudo no contexto do Brasil representando os diferentes biomas reconhecidos pelo MMA (2017); B) altimetria extraída do modelo digital de elevação SRTM (Jarvis et al., 2008) e cursos hidrológicos (ANA, 2017); e, C) contexto do Mosaico Capivara-Confusões no estado de Piauí, municípios e estradas (IBGE, 2017).....43
- Figura 3.2.** Fluxograma sobre os procedimentos metodológicos.....45
- Figura 3.3.** Representação do banco de dados das 306 imagens utilizadas para a delimitação das cicatrizes e a extração dos índices espectrais pertencentes à cena 219/066 de 1999 até 2017. É descrita a informação da data, o satélite e o sensor de cada imagem.....47
- Figura 3.4.** Precipitação diária e classificação das estações desde 1999 até 2017 no Mosaico Capivara-Confusões. Estação seca inicial (ESI) está em cor verde; estação seca média (ESM) está em cor vermelho; estação seca tardia (EST) está em cor amarelo; estação chuvosa (EC) está em cor azul. Estações I, M e T juntas representam a estação seca (ES) completa.....49
- Figura 3.5.** Distribuição anual da área queimada diferenciada por estação no MCC. A estação chuvosa dor identificada para cada ano climatológico, mas aqui é representado por totais de área queimada no ano calendário. As estações chuvosas são geralmente divididas se considerado o ano calendario, mas foram apilhadas juntos para uma melhor visualização.....53
- Figura 3.6.** Mapas da distribuição anual e sazonal das cicatrizes de incêndio dentro da área de estudo desde 1999 até 2017 no Mosaico Capivara-Confusões (MCC). As áreas em branco representam setores não queimados durante cada ano.....56
- Figura 3.7.** Relação entre a precipitação média mensal com a área queimada mensal e a quantidade mensal de cicatrizes desde 1999 até 2017 no MCC e entorno. Os pontos azuis representam a precipitação média mensal entre 1984 e 2018, as barras representam o número de cicatrizes por mês e o gradiente colorido representa a soma da área queimada por mes.....57
- Figura 3.8.** Mapa da recorrência de fogo desde 1999 até 2017 no Mosaico Capivara-Confusões e entorno. A paleta de cores representa o número de vezes que a mesma área foi queimada. As áreas brancas não queimaram durante o período. Foram utilizadas imagens Landsat 5 TM, 7 ETM+ e 8 OLI para a delimitação das áreas queimadas. A resolução dos pixels é representada por células quadradas de 210 m.....61
- Figura 3.9.** A) Representação dos valores *NDVI* obtidos ao extrair as médias da área amostrada (44.1 ha) que queimou seis vezes, do banco de dados de imagens disponíveis; e B) representa o Q_{NDVI} , quociente entre os valores *NDVI* extraídos da área queimada e a média de quatro áreas controle. As linhas intermitentes verticais atravessando os dois gráficos representam a data da imagem onde o fogo foi visto pela primeira vez. A linha horizontal em B) representa o valor do quociente 1. Os painéis da direita representam box-plots que correspondem a cada gráfico. Triângulos são os outliers e rombos são a média.....62

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Tipos e Categorias das Unidades de Conservação do Brasil e sua função.....	31
Tabela 3.1. Informação sobre os satélites e os respectivos sensores utilizados como fonte para a análise das imagens.....	46
Tabela 3.2. Descrição da informação espectral das diferentes bandas e sensores utilizados para gerar as composições coloridas RGB para a delimitação das cicatrizes e para o cálculo do NDVI para a análise espectral.....	48
Tabela 3.3. Área (ha) e fração (%) de área queimada dividida por estação e categorizada nos Parques Nacionais, corredor e área de estudo total. A área dos parques apresentada é a que se encontra dentro da área de estudo delimitada, e portanto, é considerada para o cálculo das porcentagens junto com um entorno de 2 km (em parêntesis).....	52
Tabela 4.1. Diferentes conceitos sobre a utilização do fogo. Aboram-se conceitos de saber tradicional, técnico e científico.....	74
Tabela 4.2. Órgãos do governo brasileiro que tem injerência em diferentes aspectos do uso do fogo, sua função e alguns projetos vinculados.....	76
Tabela 4.3. Características das Unidades de Conservação (UCs) no Piauí.....	81

LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
BAMS	Burned Area Mapping Software
CBMPI	Corpo de Bombeiros Militar do Piauí
DNOCS	Departamento Nacional de Obras contra as Secas
EC	Estação chuvosa
EMATER	Instituto de Assistência e Extensão Rural
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENSO	El Niño Southern Oscillation
ES	Estação seca
ESI	Estação seca inicial
ESM	Estação seca média
EST	Estação seca tardia
ETM+	Enhanced Thematic Mapper Plus
FUMDHAM	Fundação Museu do Homem Americano
GTI	Grupo de Trabalho Interministerial
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ITCZ	Intertropical Convergence Zone
LaSRC	Landsat 8 Surface Reflectance Code
LEDAPS	Landsat Ecosystem Disturbance Adaptive Processing System
MCC	Mosaico Capivara-Confusões
MIF	Manejo Integrado do Fogo
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NEB	Nordeste Brasileiro
NIR	Near Infrared
OLI	Operational Land Imager

ONG	Organização Não Governamental
PARNA	Parque Nacional
PN	Parque Nacional
PNSCa	Parque Nacional Serra da Capivara
PNSCo	Parque Nacional Serra das Confusões
PREVFOGO	Centro Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais
QNDVI	Quocient of Normalized Difference Vegetation Index
RGB	Red Green Blue
SAB	Semiárido Brasileiro
SAT	Semiárida Tropical
SEMAR	Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SLC	Scan Line Corrector
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
SWIR	Short Wave Infrared
TM	Thematic Mapper
TSM	Temperatura Superficial do Mar
UC	Unidade de Conservação
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1 O Semiárido Brasileiro.....	16
2.2 O fenômeno da Seca no Nordeste do Brasil.....	20
2.3 A vegetação da Caatinga.....	25
2.4 Unidades de Conservação.....	30
2.5 Uso do fogo e incêndios florestais.....	32
2.6 Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento.....	34
3 REGIME DE FOGO NA TRANSIÇÃO CERRADO-CAATINGA.....	36
Resumo.....	38
3.1 Introdução.....	39
3.2 Materiais e Métodos.....	42
3.2.1 <i>Área de estudo</i>	42
3.2.2 <i>Aquisição e processamento dos dados</i>	45
3.2.2.1 <i>Imagens de satélite e banco de dados da área queimada</i>	45
3.2.2.2 <i>Classificação das estações climáticas</i>	48
3.2.2.3 <i>Avaliação do mapa de recorrência de fogo e índices espectrais</i>	50
3.3 Resultados e discussão.....	51
3.3.1 <i>Padrões anuais de área queimada</i>	51
3.3.2 <i>Distribuição espacial e sazonal da área queimada</i>	55
3.3.3 <i>Mapa da recorrência de fogo</i>	59
3.3.4 <i>Resposta espectral</i>	61
3.4 Conclusões.....	64
Agradecimentos.....	65
Referências.....	66
4 O FOGO EM UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DO PIAUÍ.....	72
4.1 Introdução.....	72
4.2 Manejo do fogo.....	73
4.3 A função dos distintos órgãos de gestão sobre o fogo.....	74
4.3.1 <i>Nível federal</i>	75
4.3.2 <i>Nível estadual (Piauí)</i>	79
4.4 A importância das áreas protegidas no MIF.....	80
4.4.1 <i>Brigadas do ICMBio e o papel no MIF das UCs</i>	82
4.5 Recomendações e conclusão.....	84
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	87
REFERÊNCIAS.....	89
ANEXOS.....	96

1 INTRODUÇÃO GERAL

Os regimes de fogo podem ser entendidos como uma combinação entre padrões de frequência, sazonalidade, tipo, severidade e extensão do fogo em uma paisagem. Estes padrões variam ao longo das diferentes paisagens, como varia também a vegetação consumida pelo fogo e sua propagação; por sua parte, os diferentes regimes de fogo modelam a paisagem e condicionam os atributos da vegetação presente (BOND; KEELEY, 2005).

A importância ecológica do fogo varia segundo o ecossistema, sendo as vezes fundamental para a manutenção da heterogeneidade da paisagem, o que determina a composição das espécies e a estrutura das comunidades (DANTAS *et al.*, 2016). Nos últimos anos, o estudo em escala global do comportamento e do que determina os regimes de fogo nos diferentes ecossistemas têm incrementado conjuntamente com o desenvolvimento de novas abordagens do sensoriamento remoto que facilitaram a sua análise ao longo do tempo e em dimensões globais (DWYER *et al.*, 2000; CHUVIECO *et al.*, 2016).

Os incêndios no Neotrópico foram estudados em grande medida nos ecossistemas de savana como o Cerrado, mas menor atenção foi dada às florestas secas, como a Caatinga, onde a frequência e intensidade do fogo são menores (DANTAS *et al.*, 2016). Esta região semiárida com marcada sazonalidade é atravessada pelo particular fenômeno da seca que pode influenciar indiretamente na dinâmica de incêndios devido às flutuações na produção de biomassa, no conteúdo hídrico da vegetação e na umidade do solo (ARAGÃO *et al.*, 2018).

Uma abordagem sobre a interação entre processos climáticos, como a precipitação, e os regimes de fogo pode contribuir com o entendimento dos incêndios nesse ecossistema. Portanto, o estudo da quantidade de incêndios, sua extensão, os padrões espaciais e temporais, sazonalidade e recorrência é importante para o planejamento de ações de prevenção e combate, e o consequente estabelecimento de políticas adequadas de proteção.

Os incêndios na Caatinga ainda ocorrem por causa do mal uso do fogo em atividades agrícolas, mesmo nas imediações de áreas protegidas. Esta prática coloca em risco a preservação deste ecossistema considerando a sua baixa proporção de área protegida. No sudoeste do estado de Piauí, Nordeste do Brasil, o Mosaico Capivara-Confusões, composto pelos Parques Nacionais da Serra da Capivara e da Serra das Confusões e o corredor ecológico entre eles, representa a maior área protegida da Caatinga, e ainda sofre as consequências do mal uso do fogo que provoca incêndios no entorno e no interior.

Tendo em vista os fatos apresentados, considera-se a hipótese de que em áreas de transição entre Caatinga e Cerrado a qualidade das estações chuvosas e secas está diretamente

relacionada com a atividade do fogo, devido, em parte, à quantidade de biomassa produzida e ao consequente conteúdo hídrico desse fitocombustível. Nesse sentido, objetivou-se de forma geral analisar o regime de fogo por meio do estudo dos padrões espaciais e temporais resultantes da relação entre as precipitações e os incêndios ocorridos no Mosaico Capivara-Confusões e entorno, no período 1999-2017, visando subsidiar políticas de controle e manejo de fogo para a Caatinga. Para a análise foi utilizada a série temporal das imagens Landsat (resolução 30 m) disponíveis nos últimos 19 anos, e teve por objetivos específicos: i) gerar um banco de dados dos incêndios identificando e delimitando as cicatrizes; ii) analisar os padrões espaciais, temporais, sazonais e anuais da ocorrência e recorrência dos incêndios; iii) analisar a evolução espectral da vegetação em áreas queimadas recorrentemente; iv) e propor ações de orientação dirigidas para o Manejo do Fogo em Unidades de Conservação da Caatinga.

O presente documento encontra-se estruturado em cinco segmentos. O primeiro é a presente Introdução, seguido de um segmento onde realizamos a Fundamentação Teórica onde são abordados os diferentes conceitos transversais ao objeto de pesquisa. O terceiro segmento corresponde ao artigo desenvolvido e submetido para revisão, onde são descritos detalhadamente a metodologia, os resultados e a discussão. Um quarto segmento abrange uma abordagem integrada entre os resultados obtidos e sua aplicação na gestão. Como uma conclusão, finalizamos com um quinto segmento com as considerações finais do trabalho completo.

Cabe ressaltar que a presente dissertação forma parte de um projeto de pesquisa¹ mais abrangente que surgiu da combinação de interesses pelo estudo da sazonalidade e os incêndios, graças ao edital para o desenvolvimento de pesquisas em Unidades de Conservação da Caatinga. Nele, estão sendo realizadas atividades paralelas, como a caracterização climática, a classificação do uso e cobertura da terra e o estudo da regeneração pós-fogo da vegetação. Os resultados deste projeto e os bancos de dados gerados serão disponibilizados por meio de um sistema *SIGWeb*, que encontra-se em construção.

1 Projeto intitulado "Diagnóstico da ocorrência de incêndios florestais nos Parques Nacionais Serra das Confusões e Serra da Capivara (PI)", financiado pelo CNPq e pelo ICMBio - Chamada CNPQ/ICMBIO/FAPs nº 18/2017 - Linha 1 - Caatinga, processo Nº 421178/2017-5, coordenadora: G. Espindola

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste segmento pretendeu-se contextualizar a área de estudo a nível regional a partir do entendimento de sua realidade social e econômica, como também por meio de uma abordagem ambiental e dos fenômenos climáticos para ter uma visão geral sobre a influência destes aspectos nos incêndios (seções 2.1 e 2.2). O conhecimento geral e atualizado da vegetação da Caatinga e da sua dinâmica foi abordada na seção 2.3. Já as particularidades deste ecossistema na área de estudo são abordadas no segmento posterior (artigo). As seções subsequentes permitem compreender o funcionamento das áreas protegidas brasileiras (2.4) e as questões sociais sobre o uso do fogo e os incêndios na região (2.5). A última seção deste segmento (2.6) traz informações relevantes sobre aspectos técnicos que são a base para o desenvolvimento da metodologia desta pesquisa. Assim, estes seis eixos formam parte da base necessária para o desenvolvimento dos próximos segmentos, tanto na questão metodológica como na de propostas para formulação de políticas.

2.1 O Semiárido Brasileiro

O clima semiárido é considerado anômalo da região tropical, sendo encontrado sobretudo em regiões de maiores latitudes (LIU *et al.*, 1994). Mesmo assim, existem algumas regiões tropicais particulares na Ásia (Índia e Tailândia), África (Sahel), Oceania (Austrália) e América (Nordeste do Brasil – NEB) que apresentam clima semiárido (REDDY, 1983). Além dos trópicos, o clima semiárido na América do Sul está presente na região *La Guajira* na Venezuela e na Colômbia, e na diagonal seca do Cone Sul na Argentina, Chile e Equador (AB’SABER, 1999).

Houve diversas definições da classe climática semiárida tropical (SAT) ou região semiárida tropical, sendo a mais aceita a descrita na revisão de Reddy (1983). A autora descreve que o clima semiárido tem temperatura média anual superior a 18°C, com precipitação média anual que alcança entre 25 e 75% da evapotranspiração potencial média anual. Além das características climáticas, a delimitação do clima SAT está diretamente relacionada com a distribuição da vegetação, particularmente as de interesse agrícola.

O processo de delimitação das regiões semiáridas tropicais ao redor do globo é relevante para a agricultura. Por um lado, são importantes os trópicos porque as plantas reagem ao fotoperíodo e às temperaturas das baixas latitudes que intervêm no desenvolvimento e no crescimento. Por outro lado, em razão da ocupação e esgotamento das

áreas úmidas, que foram historicamente cultivadas e exploradas de forma extensiva e intensiva ao longo do tempo, acabou resultando na expansão da agricultura para terras semiáridas (REDDY, 1983). Para estas questões agroclimáticas, são também importantes fatores meteorológicos vinculados ao fornecimento e necessidade de água, como são a precipitação e a evapotranspiração potencial, respectivamente.

O NEB apresenta clima SAT, controlado pela Zona de Convergência Intertropical (*Intertropical Convergence Zone* – ITCZ), onde convergem os ventos dos dois cinturões de alta pressão dos hemisférios Norte e Sul. Desta forma, a precipitação tem marcada sazonalidade com chuvas concentradas no verão, de outubro a abril no hemisfério sul, e são controladas pelas mudanças na posição latitudinal dos cinturões de ventos (REDDY, 1983). Assim, é possível caracterizar o clima da região SAT por apresentar: curta estação chuvosa, distribuição errática da precipitação, secas frequentes e tormentas de alta intensidade de duração variável, grandes variações entre regiões e estações, e no início e final do período de chuvas, com evapotranspiração potencial anual maior depois das chuvas, e sempre maior do que a precipitação anual (REDDY, 1983).

O Semiárido Brasileiro (SAB) é uma das regiões mais populosas presente no trópico de um país em desenvolvimento, recebendo assim muita pressão antrópica. Com uma população de 27.870.241 habitantes, o SAB ocupa 13 % do território do Brasil, em uma área total de 1.154.510 km², distribuídos em 1.262 municípios dos nove estados do NEB (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE) e um do Sudeste (MG) (SUDENE, 2017). Devido às diferentes características físicas, a região está dividida em quatro sub-regiões: meio-norte, sertão, agreste e zona da mata (AB'SABER, 1999; ROSSATO *et al.*, 2017).

Originalmente, o SAB foi denominado Polígono das Secas e seus limites foram demarcados oficialmente por primeira vez em 1936 (ALENCAR, 2010). Em 1988 foi estabelecido o conceito técnico de Semiárido, regulamentado pela Lei nº 7.827, de 27 de setembro de 1989, como a região inserida na área de atuação da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), com precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm (SILVA, 2010; SUDENE, 2017). Sua primeira atualização ocorreu em 1995, por meio da Portaria nº 1.181 da SUDENE. Em 29 de março de 2004, por meio da Portaria Interministerial nº 6 foi constituído o Grupo de Trabalho Interministerial (GTI) para delimitação do novo Semiárido brasileiro. Em 9 de março de 2005, a Portaria Interministerial nº 1 definiu critérios para a inclusão de municípios no Semiárido: precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 mm, índice de aridez de até 0,5, considerando o período entre 1961 e 1990, e risco de seca maior que 60% (SUDENE, 2017). De acordo com as recomendações

do relatório do GTI, em razão de possíveis mudanças climáticas, a delimitação do Semiárido deveria ser revista a cada década. No ano 2017 foram adicionados 127 novos municípios nas Resoluções nº 107 de julho e nº 115 de novembro, incluindo dois municípios do Maranhão, sendo a primeira vez que o estado forma parte do semiárido (SUDENE, 2017).

As novas delimitações do SAB consideram três critérios: a precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 mm; um índice de aridez de até 0,5, no período entre 1981-2010, calculado pelo balanço hídrico que relaciona a precipitação e a evapotranspiração potencial; e o risco de seca maior que 60% no período entre 1970 e 1990 (SILVA, 2010; SUDENE, 2017). A inclusão dos municípios dentro desta delimitação pode resultar vantajosa devido às políticas públicas destinadas exclusivamente ao desenvolvimento do semiárido.

Assim, o SAB está caracterizado por apresentar grandes variações na precipitação no tempo e no espaço, e temperaturas médias anuais muito elevadas e constantes (AB'SABER, 1999; SILVA, 2010). As precipitações são irregulares e insuficientes, e estão concentradas em períodos de meses consecutivos, estendendo-se de fevereiro a maio no norte, de abril a julho na costa leste e de novembro a janeiro na zona sul (RAO *et al.*, 1995; MARENGO, 2008; SILVA, 2010). Mesmo que algumas zonas costeiras recebam 1.600 mm de precipitação anual, alguns vales interiores têm em média de 400 a 750 mm ou até menos que 400 mm (KOUSKY; CHUG, 1978; SILVA, 2004). A ocorrência de chuvas fortes no SAB é devido à ação de sistemas sinóticos, como o sistema frontal (ciclone vórtice de altos níveis) e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ROSSATO *et al.*, 2017). A razão entre a precipitação anual e a evapotranspiração potencial está compreendida entre 0,05 e 0,65 (SAMPAIO *et al.*, 2005). No sentido hidrológico, os rios e riachos endógenos, que nascem e correm dentro do semiárido, são intermitentes e sazonais porque dependem do ritmo das estações, pelo que ocorre uma limitação hídrica anual que leva à desperenização dos cursos de água no período seco (AB'SABER, 1999; SILVA, 2010).

A heterogeneidade ambiental é evidente ao se observar os diferentes cenários que apresenta o SAB. Qualquer uma das duas estações, seca ou chuvosa, pode se prolongar, durando mais do que normal; podem ocorrer chuvas erráticas durante a estação seca; podem ocorrer secas durante a estação chuvosa (*veranicos*); podem ocorrer anos sem estação seca, geralmente nas áreas mais próximas ao litoral. Estes modelos de distribuição das chuvas agem como uma força seletiva porque influenciam no comportamento reprodutivo das plantas e causam mortalidade diferenciada nas populações, constituindo fatores-chave na dinâmica ecossistêmica (ALBUQUERQUE *et al.*, 2012).

Os solos do SAB têm uma distribuição espacial complexa, sendo formados por um

mosaico de solos rasos e pedregosos, solos arenosos e profundos, de baixa ou alta fertilidade, degradados ou em processo de desertificação, e podem ser considerados problemáticos desde o ponto de vista físico até o geoquímico (AB'SABER, 1999; VELLOSO *et al.*, 2002). Outra característica importante é a compactação que, devido à capacidade de retenção de água e à profundidade das raízes, intervêm no desenvolvimento das plantas. As zonas muito compactadas impedem a penetração de água e das raízes. Os solos arenosos têm baixa capacidade de retenção de água (menos de 50 mm), e os argilosos alta capacidade de retenção (mais de 250 mm), e a profundidade pode variar de poucos centímetros a vários metros (REDDY, 1983).

O desconhecimento da complexidade do SAB conduziu à introdução de práticas agropecuárias inadequadas, provocando ou agravando desequilíbrios ambientais. Devido ao curto tempo de duração da estação chuvosa com altas taxas evapotranspiração e baixa capacidade de captação de umidade dos solos, o sistema mais importante de cultivo é a interplantação, onde os principais cultivos são milho (*Zea mays* L.), feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) e arroz (*Oryza sativa* L.) (REDDY, 1983; ROSSATO *et al.*, 2017).

A degradação ambiental é destacada na extensão das áreas em processo de desertificação, onde ocorre a perda gradual da fertilidade do solo, resultado da combinação do cultivo inadequado da terra, às variações climáticas, e às características do solo pedregoso ou impermeável, piorada pelas práticas de corte e queima (GLANTZ; KATZ, 1977; AB'SABER, 1999; SILVA, 2010). Assim, é preciso ressaltar a importância da geração de novas tecnologias de produção de alimentos nas regiões semiáridas dos trópicos. Para isso, a convivência com o Semiárido se encaixa entre os desafios para o desenvolvimento sustentável. Silva (2010) aponta a combinação dos princípios e valores desta convivência com a viabilização de atividades econômicas com capacidade de aproveitamento sustentável das potencialidades naturais e culturais e atividades produtivas apropriadas ao meio ambiente.

Este panorama pode ser confrontado aos valores do Índice de Desenvolvimento Humano (IDHM) dos municípios inseridos no SAB. O IDHM é uma medida que visa avaliar o progresso em três dimensões básicas do desenvolvimento humano: uma vida-longa e saudável, acessibilidade ao conhecimento e a um padrão de vida decente. Os municípios do SAB apresentaram IDHM com média de 0,659, inferior à média do Brasil (0,727), onde 60% apresenta valor variando de Muito Baixo a Baixo em 2010. Apenas 1,6 milhão de habitantes residiam em municípios com IDHM considerado Alto nessa data (IDHM, 2010; ROSSATO *et al.*, 2017).

2.2 O fenômeno da Seca no Nordeste do Brasil

Uma destacada característica climática do SAB é a seca, um fenômeno natural, periódico e recorrente, caracterizado pela ocorrência tardia das chuvas, com valores inferiores aos normais, com distribuição irregular, que provoca desequilíbrio hídrico, causando grandes impactos negativos tanto sociais, quanto econômicos (sobretudo nos sistemas de produção dependentes dos recursos da terra) e ambientais (RAMOS, 1975; LIU *et al.*, 1994; SILVA, 2004; SAMPAIO *et al.*, 2005 CLAVAL; DE FREITAS, 2007;). Quando a seca ocorre de maneira intensa em zonas muito populosas, é considerado um ‘desastre natural’, pelo dano material e social e pelas perdas socioeconômicas (GLANTZ; KATZ, 1977; ROSSATO *et al.*, 2017). Mas, ao ser um fenômeno recorrente, não deveria ser tratado como evento inesperado, já que forma parte das zonas com clima árido e semiárido (GLANTZ; KATZ, 1977).

Em um sentido geral, a seca origina-se da interação entre o evento natural, que é a deficiência das precipitações devido a uma variabilidade climática natural, durante um longo período de tempo, geralmente uma estação ou mais, e a demanda, tanto de água, quanto de outros recursos naturais, para serem usados nos sistemas antrópicos (WILHITE *et al.*, 2007; MARENGO *et al.*, 2017a). Desta forma, são as atividades humanas as que podem exacerbar os impactos da seca, considerando que a população local deveria estar adequadamente subsidiada à convivência com esta instabilidade climática. O principal motivo para se pensar em formas de convivência está relacionado à baixa produtividade dos cultivos e ao abastecimento de água nos centros urbanos e nas comunidades rurais, o que tem resultado hoje na necessidade da aplicação de políticas governamentais (SILVA, 2004).

A seca provoca inúmeras perdas para a sociedade, sendo que as vezes as perdas indiretas superam as diretas. Os impactos negativos ou perdas diretas podem ser, a redução da safra, da terra de pastagem, da produtividade da floresta, a maior probabilidade de incêndios, reduzidos níveis de água, aumento das taxas de mortalidade do gado e de animais silvestres e dos danos nos diferentes habitats. Estes efeitos desencadeiam situações indiretas, como a redução da renda dos agricultores, incremento nos preços dos alimentos e da lenha, desemprego, incremento do crime, migrações, entre outras (WILHITE *et al.*, 2007).

Mais precisamente, dependendo das implicações relacionadas, as secas, podem ser classificadas em cinco tipos: meteorológica, hidrológica, agrícola, socioeconômica e edáfica (PAREDES *et al.*, 2015; ARAÚJO; BRONSTERT, 2016; BRITO *et al.*, 2017). *Seca meteorológica*, é definida pelo nível de aridez em uma área específica, quando a precipitação ocorre muito abaixo da média, representando um desvio da normal (GLANTZ; KATZ, 1977;

WILHITE, 2000). *Seca hidrológica*, ocorre quando o fluxo dos rios não pode responder às demandas de um dado sistema, estando associada a uma redução no nível médio de água na superfície e no subsolo (açudes, lagos, lençóis freáticos, aquíferos), e geralmente ocorre no período posterior à seca meteorológica (VAN LOON *et al.*, 2016). *Seca agrícola*, quando o solo não tem a umidade suficiente para o desenvolvimento dos cultivos em nenhum estágio do crescimento, levando à redução da biomassa (SON *et al.*, 2012; BACHMAIR *et al.*, 2016). *Seca socioeconômica*, quando tem uma redução na disponibilidade de água, causando danos e impactos nas atividades humanas e na população, incluindo impactos diretos e indiretos na produção agrícola e outras atividades econômicas (UDMALE *et al.*, 2014; MAIA *et al.*, 2015). E a *seca edáfica*, que está relacionada à secura do solo, causando a perda de cultivos em sistemas agrícolas dependentes da chuva (CAMPOS, 2015).

As secas também são descritas por meio de outras características, como a intensidade, severidade, duração e cobertura espacial (LIU; JUÁREZ, 2001; REBELLO *et al.*, 2017). Ecologicamente, as secas afetam a estrutura da vegetação e a fisiologia das plantas, impactando em todo o ecossistema ao reduzir o sequestro de CO₂, o que aumenta sua concentração na atmosfera (REBELLO *et al.*, 2017). A severidade da seca pode ser intensificada quando a redução das chuvas é combinada com ondas de calor, fortes ventos e céus ensolarados que incrementem o estresse evaporativo da vegetação (MARENGO *et al.*, 2013; REBELLO *et al.*, 2017).

A ocorrência das secas está vinculada a diferentes fenômenos meteorológicos que influenciam direta ou indiretamente nas quantidades de precipitação (LIU *et al.*, 1994; MARENGO *et al.*, 2018). O principal evento associado às secas é o fenômeno “El Niño”, quando diminuem as precipitações sobre o NEB, aumentando a vulnerabilidade das populações rurais mais pobres (MARENGO *et al.*, 2017).

Um caso excepcional onde a seca coincidiu com o fenômeno “La Niña” nessa região, que geralmente está associado a anomalias positivas na precipitação, foi a seca de 2011-2012. Ademais, um intenso gradiente de temperatura superficial do mar meridional (TSM) sobre o Atlântico tropical, que determina a posição da ITCZ, acaba provocando secas no NEB. Todavia, nem todos os anos nos quais ocorreram estes episódios resultaram em seca no SAB (MARENGO *et al.*, 2013; 2018; BRITO *et al.*, 2017; ROSSATO *et al.*, 2017).

Outro possível mecanismo para a ocorrência de secas severas no NEB é o estabelecimento de uma circulação local termicamente direta que tem seu ramo ascendente perto dos 10°N e seu ramo descendente sobre o NEB e na região oceânica adjacente (SILVA, 2004). A atmosfera sobre o NEB apresenta condições de estabilidade média que inibem em

grande escala os processos convectivos, causados pelo ramo descendente da célula de circulação de Walker. O anticiclone permanente do Atlântico Sul induz uma situação de estabilidade atmosférica média, mas os distúrbios do leste criam instabilidade e chuvas (SILVA, 2004).

A periodicidade das secas não pode ser definida e o prognóstico precoce ainda não está desenvolvido. Alguns autores descreveram que as secas prolongadas acontecem aproximadamente a cada 10 ou 12 anos, podendo durar até cinco anos, e no intervalo entre elas ocorrem secas anuais notadamente irregulares no espaço e na duração (AB’SABER, 1999; CLAVAL; DE FREITAS, 2007). Baseados no estudo de anomalias nas precipitações, Kousky e Chug (1978) descreveram os picos de precipitação, para poder entender o fenômeno antagônico. Precipitação maior do que o normal acontece nos intervalos de períodos de 2-3 anos, 3-5 anos e 10-20 anos no NEB, causado por mudanças nos padrões de circulação do hemisfério Sul (KOUSKY; CHUG, 1978).

A volta dos valores normais de precipitação, ou seja, a valores similares à média, está associada à volta a condições meteorológicas, agrícolas e sociais favoráveis para a região (GLANTZ; KATZ, 1977). Em um ano úmido, 90% do NEB terá disponível a quantidade suficiente de água para a agricultura. Mas em um ano muito seco, perto do 80% da região sofrerá o déficit de água potável em média sete meses, e 40% da região sofrerá a seca severa ao longo do ano inteiro (LIU *et al.*, 1994).

As secas são conhecidas no Brasil desde o século XVI, quando os primeiros assentamentos observaram o dano causado a suas atividades econômicas e sociais (CLAVAL; DE FREITAS, 2007, MARENGO *et al.*, 2017; 2018). A falta de acesso ao recurso água e as secas recorrentes afetaram as atividades da agricultura por séculos, causando, dentre outros problemas, má nutrição e migrações (ROSSATO *et al.*, 2017). É interessante destacar que o fenômeno da seca aparenta ser um infortúnio na percepção da opinião pública brasileira, motivando o desenvolvimento do “discurso da seca no Nordeste”, – no qual o clima semiárido é responsável pela agricultura fraca, que provoca fome e pobreza, e como resultado, o atraso econômico – concebido da incapacidade de compreender a natureza como um sistema que não se encaixe no modelo agrário tipicamente sazonal (CLAVAL; DE FREITAS, 2007).

Além das distorções que existem ao redor das projeções das mudanças climáticas e suas influências no NEB, estima-se que as chuvas vão diminuir, aumentando os eventos prolongados com baixas taxas de precipitação, ao tempo que as temperaturas aumentarão na estação chuvosa (MARENGO *et al.*, 2017; MARTINS, E. *et al.*, 2018). Isto já vem acontecendo há décadas, e pode ser evidenciado na tendência de aumento na temperatura do

ar, da evapotranspiração e do índice de aridez, enquanto a umidade relativa do ar e a precipitação tendem a decrescer em séries climáticas temporais antigas (SILVA, 2004; SPARACINO *et al.*, 2019).

Um aumento de 3° C ou mais na temperatura média deixaria ainda mais secos os locais que hoje têm maior déficit hídrico e aumentaria a evaporação nos reservatórios e lagos, afetando a irrigação e a umidade do solo e impactando a agricultura de subsistência, na Caatinga, na população e no desenvolvimento sustentável do SAB (MARENGO, 2008; MARENGO *et al.*, 2017). Secas mais extremas e prolongadas e até novas condições ambientais nunca antes experimentadas são esperadas com as mudanças climáticas (LINDOSO *et al.*, 2018). Desta forma, a superfície dos solos secaria, os dias e noites esquentariam, a quantidade de dias secos consecutivos apresentariam um aumento gradual, passando de 100 dias em 1901 a 140 dias em 2100 (MARENGO *et al.*, 2017). Os efeitos não serão sentidos apenas pelos agricultores no semiárido, mas pelas populações das grandes cidades da região que dependem do abastecimento de alimentos. Essa situação pode levar ao aumento da desigualdade socioeconômica da região, com o encarecimento dos produtos no caso da ausência de ações de mitigação resultantes de políticas públicas (MARENGO, 2008).

As secas dos últimos anos no SAB motivaram numerosas pesquisas para o entendimento do funcionamento e de suas consequências. Brito *et al.* (2017) estudaram a intensidade das secas nos últimos 36 anos (1981-2016), avaliando a severidade, frequência e duração, e concluíram que a seca mais severa e prolongada ocorreu entre 2011-2016. Desta forma, é factível afirmar que em 2012 foram observadas precipitações e conteúdo de água no solo com os menores valores, tendo como consequência as menores colheitas o que ocasionou o aumento dos preços dos alimentos (MARENGO *et al.*, 2013; REBELLO *et al.*, 2017; ROSSATO *et al.*, 2017).

A seca de 2011-2012, que coincidiu com um evento de “La Niña” (REBELLO *et al.*, 2017; AZEVEDO *et al.*, 2018), foi uma seca meteorológica e agrícola, onde as precipitações e o influxo foram de 40 a 70% menor que a média, respetivamente (ARAÚJO; BRONSTERT, 2016). Os primeiros sinais dessa seca começaram em 2010 (MARENGO *et al.*, 2017), e o impacto na vegetação se estendeu para o Maranhão e o Espírito Santo, fora do SAB no período 2015-2016 (ALVALA *et al.*, 2017). O ano hidrológico 2015-2016 foi considerado como o segundo período mais seco depois de 2011-2012 (ALVALA *et al.*, 2017).

Martins, E. *et al.* (2018) demonstraram a severidade desta última seca, ao calcular o período de recuperação. Para a seca de 2016 seriam necessários ao redor de quatro anos, mas considerando a seca contínua de 2012-2016, seriam necessários pelo menos 135 anos de

recuperação, concluindo que uma seca de cinco anos é, na real, uma combinação de secas de um ano. Desde meados dos anos 90 até 2016, 16 anos dos 25 experimentaram chuvas abaixo da média, sugerindo que a última seca pode ter começado na segunda metade dos anos 90, e essa sequência de anos secos pode ter afetado os níveis dos reservatórios da região (MARENGO *et al.*, 2018).

A seca tem sido objeto de preocupação da sociedade e do governo ao longo dos anos. Antigamente, as secas acarretavam a morte do gado por falta de água e as pessoas morriam de sede e desnutrição. Mas, desde 1970, não foram registradas mortes humanas por causa das secas (MARENGO *et al.*, 2017).

Assim, em 1909 foi criado o Departamento Nacional de Obras contra as Secas (DNOCS, antigamente IOCS e IFOCS) que foi o primeiro órgão a estudar a problemática das secas no SAB. Até por volta de 1959 foi a única agência governamental que executou obras de engenharia: açudes, estradas, pontes, portos, ferrovias, hospitais e campos de pouso, implantou redes de energia elétrica e telegráficas, usinas hidrelétricas e foi responsável pelo socorro às populações flageladas pelas secas. A construção de açudes, cisternas e canais, programas sociais para pessoas afetadas pelas secas também estiveram na agenda do governo desde 1950 (MARENGO *et al.*, 2017). A construção dos primeiros reservatórios hídricos datam do final do século XIX, e o século XX foi um dos mais áridos, registrando nada menos que 27 anos de estiagem (MARENGO, 2008). Também foram criados barragens, barragens subterrâneas nos leitos dos rios secos, poços de água ou mesmo aqueodutos, disponibilizados caminhões de água (*carros-pipa*). A mais recente grande obra foi a transposição do rio São Francisco que começou no ano 2007.

Estes reservatórios de água cumprem um papel central em reduzir a vulnerabilidade nas bacias do SAB, sendo os mais efetivos os de maior tamanho (ARAÚJO; BRONSTERT, 2016). Mesmo que os reservatórios pequenos sejam menos eficientes, são os principais sistemas de fornecimento de água nas comunidades rurais, mas torna-se necessário a implementação de sistemas complementares como cisternas, poços e grandes reservatórios. Os reservatórios sofreram o esgotamento de mais de 50 e 45% durante as secas de 2015 e 2016, respectivamente, com respeito a junho de 2011 (AZEVEDO *et al.*, 2018).

A partir de julho de 2014 teve início o programa “Monitor de Secas do Nordeste de Brasil” (<http://monitordesecas.ana.gov.br/>), que tem como objetivo integrar o conhecimento técnico e científico já existente em diferentes instituições estaduais e federais para alcançar um entendimento comum sobre as condições de seca, como: sua severidade, sua evolução espacial e no tempo, e seus impactos sobre os diferentes setores envolvidos. O Monitor

facilita a tradução das informações em ferramentas e produtos utilizáveis por instituições tomadoras de decisão e indivíduos, de modo a fortalecer os mecanismos de Monitoramento, Previsão e Alerta Precoce (MARTINS *et al.*, 2015).

Um estudo baseado somente em aspectos meteorológicos não é suficiente para fazer relatórios para decisões públicas (MARTINS, M. *et al.*, 2018). Pelo que, uma integração entre o monitoramento da seca e da desertificação e o prognóstico sazonal pode representar um subsídio na tomada de decisões para adotar medidas diante da variabilidade climática a curto, mediano e longo prazo e para as mudanças climáticas futuras. A produtividade é extremamente vulnerável a alta variabilidade de chuvas intrasazonal e interanual. Isto ainda provoca o êxodo populacional da região semiárida durante as secas, embora seja em menor grau. Por isso, enquanto mais cedo é predita a seca, mais eficientes e efetivos serão os fundos públicos para as ações de mitigação (MARTINS, M. *et al.*, 2018).

2.3 A vegetação da Caatinga

As terras semiáridas do NEB estão cobertas por um tipo de vegetação exclusiva do Brasil, conhecida localmente como Caatinga (PRADO, 2003). A sua extensão abrange 844.453 km², representando aproximadamente 10% do território brasileiro (IBGE, 2016), estando distribuída em oito estados do Nordeste (AL, BA, CE, PB, PE, PI, RN, SE) e um da região Sudeste (MG). Constitui o domínio fitogeográfico menos protegido do país, onde menos de 4% está sob algum tipo de proteção, contendo a menor quantidade e cobertura de áreas protegidas do Brasil (REDO *et al.*, 2013). A Caatinga foi considerada uma área biologicamente pobre devido à escassez de água (CASTELLETTI *et al.*, 2003), e na bibliografia era citada como pouco estudada, menos conhecida e mais negligenciada dos domínios vegetais brasileiros (SANTOS *et al.*, 2011). Mesmo assim, os últimos estudos realizados mudaram esta visão, já que está recebendo a atenção digna de um ambiente único no mundo (ALBUQUERQUE *et al.*, 2012).

A Caatinga pode ser caracterizada como uma floresta tropical sazonal pelo seu regime de chuvas e de temperaturas (ARAÚJO *et al.*, 2007; ALBUQUERQUE *et al.*, 2012), e abrange a maior área das Florestas Secas Tropicais Sazonais da América do Sul (BEUCHLE *et al.*, 2015). As vezes também é descrita como uma savana estépica, com vegetação xerófila, espinhosa, caducifólia, com microfilia (folhas pequenas que reduzem a transpiração). Está constituída por espécies arbóreas, arbustivas e herbáceas, bem adaptadas à escassez hídrica sazonal, com diminuição do metabolismo, caules suculentos para armazenar água e raízes

espalhadas para capturar o máximo de água durante as chuvas (COLE, 1960; LEMOS; RODAL, 2001; ARAÚJO *et al.*, 2007; SILVA, 2010; ALBUQUERQUE *et al.*, 2012). Além da Caatinga, o NEB também inclui pequenos fragmentos de floresta montana ombrófila ou semicaducifólia com alturas de até 30 m (brejos de altitude), e também de vegetação do Cerrado (savana tropical) que estão condicionadas pela topografia e os solos (ARAÚJO *et al.*, 2007; BEUCHLE *et al.*, 2015).

A vegetação da Caatinga é ainda adaptada às queimas recorrentes, pois as plantas lenhosas têm uma alta capacidade de regeneração por rebrota, e, conseqüentemente, de regeneração por meio de propagação vegetativa que permite uma rápida colonização durante a estação seca, a manutenção de algumas frequências alélicas e do tamanho populacional em anos com *veranicos* (ARAÚJO *et al.*, 2007; GARIGLIO, 2010). Por outro lado, a vegetação herbácea desaparece totalmente na época da estiagem e tem pouca resiliência às práticas de corte e queima (LEMOS; RODAL, 2001; MAMEDE; ARAÚJO, 2008). As taxas de crescimento são maiores na estação chuvosa e a resposta da vegetação é mais rápida, mesmo assim, existe uma taxa positiva de crescimento na estação seca, o que pode ser interpretado como uma evidência de fotossíntese nos caules (ARAÚJO *et al.*, 2007).

A sazonalidade climática induz um estado de estresse nas plantas na Caatinga, que apresentam respostas ecofisiológicas que favorecem a capacidade de sobrevivência. As precipitações são o fator de maior influência na fenologia das plantas, mesmo que algumas espécies iniciem suas fenofases independentemente da ocorrência das chuvas (ALBUQUERQUE *et al.*, 2012). A distribuição da vegetação da Caatinga está controlada principalmente pela ocorrência das secas (COLE, 1960). As variabilidades nas precipitações na estação chuvosa influenciam diretamente a variabilidade dos ciclos de crescimento da vegetação (BUSTAMANTE-BECERRA *et al.*, 2014). A ocorrência de anos sem seca é extremamente raro, mas, quando acontece, as plantas mantêm suas folhas (ARAÚJO *et al.*, 2007). E nos anos de secas severas pode ocorrer a morte de alguns indivíduos.

Existem estratégias muito variadas implementadas pelas espécies vegetais da Caatinga para superar as condições climáticas extremas. Albuquerque *et al.* (2012) enumeram algumas destas estratégias, como por exemplo, o momento que ocorre a germinação do banco de sementes. A germinação predomina na estação chuvosa que minimiza a mortalidade causada pela deficiência de água, mas pode ocorrer como consequência de uma chuva errática na estação seca, com alta taxa de mortalidade. Mesmo assim, as chuvas podem causar mortalidade indiretamente porque, devido ao peso das gotas, os galhos secos das lenhosas podem cair nas plântulas frágeis (ARAÚJO *et al.*, 2007; ALBUQUERQUE *et al.*, 2012).

A senescência das folhas é outra das estratégias para impedir a perda excessiva de água durante a época seca, e também na estação chuvosa restringem sua transpiração durante metade do dia (COLE, 1960). As árvores deixam cair suas folhas e depois de atravessar o período seco, ao caírem as primeiras chuvas, a Caatinga responde rapidamente, perde seu aspecto cinza e se torna verde e florida (ARAÚJO *et al.*, 2007; SILVA, 2010). Desta maneira, algumas espécies brotam em resposta a chuvas esporádicas durante a estação seca, enquanto outras permanecem dormentes, representando diferentes respostas às variações na disponibilidade da água no solo (ALBUQUERQUE *et al.*, 2012).

A ecofisiologia das plantas tem marcadas evidências de sua adaptação à seca. O tegumento rígido e a dormência física das sementes para evitar a germinação na época seca e como proteção contra predadores, ou a presença de clorofila nos caules para fotossintetizar na estação seca; uma cutícula cerosa que funciona de barreira para a difusão; a capacidade de manutenção do turgor das células para o controle dos estômatos; eficiência fotossintética e manutenção do metabolismo das folhas sob baixa disponibilidade de água, e órgãos para armazenamento de água, são algumas características (COLE, 1960; ARAÚJO *et al.*, 2007; ALBUQUERQUE *et al.*, 2012; SANTOS *et al.*, 2014).

As precipitações incrementam a diversidade e abundância de polinizadores da época chuvosa, já que provocam a floração. Mesmo assim, os valores das precipitações podem variar entre anos afetando a germinação, o recrutamento, o crescimento e a produção de flores e frutos, modificando os caracteres demográficos das populações (ARAÚJO *et al.*, 2007). A frutificação depende das precipitações e está relacionada à síndrome de dispersão. As espécies zoocóricas produzem frutos entre as estações seca e chuvosa, as autocóricas na estação chuvosa, e as anemocóricas na estação seca, quando a circulação do vento é maximizada (TABARELLI *et al.*, 2003).

Dependendo do tipo de sedimento onde a vegetação está assentada, podem-se diferenciar dois tipos, sedimentos arenosos em áreas de bacias sedimentárias dão lugar às Caatingas de areia, e solos derivados do embasamento cristalino, associados a imagem típica do *sertão* seco coberto de cactáceas (VELLOSO *et al.*, 2002; ARAÚJO *et al.*, 2007; CARDOSO; QUEIROZ, 2007). A maior parte da área do semiárido nordestino ocorre sobre o embasamento cristalino, formado por uma grande superfície de aplainamento entre 300 e 500 m de altitude que contrasta com as ladeiras residuais escarpadas que alcançam os 1.000 m de altitude, na forma de planaltos e chapadas (LEMONS; RODAL, 2001; ARAÚJO *et al.*, 2007).

Sobre o embasamento cristalino, geralmente ocorrem solos rasos e com boa fertilidade natural, argilosos e rochosos, classificados como Litossolos, Regossolos e Brunos não-

Cálcicos, enquanto nas áreas sedimentares, predominam Latossolos, Podzólicos e Areias Quartzosas, em geral, profundos e com baixa fertilidade natural (LEMOS; RODAL, 2001). Nas maiores altitudes existe uma tendência a maior umidade e fertilidade, com maior disponibilidade de nutrientes, embora os solos sejam geralmente mais rasos do que os das menores altitudes, os quais têm maior quantidade de areias grossas e argila, e são mais densos (NOGUEIRA FERRAZ *et al.*, 2003).

A Caatinga é relativamente rica em biodiversidade e endemismos favorecida pela heterogeneidade ambiental que a caracteriza, sendo considerada uma das florestas secas mais ricas no mundo (LEAL *et al.*, 2003; SILVA *et al.*, 2010). Já foram reconhecidas 4.846 espécies de angiospermas, das quais 1.102 são lenhosas com 218 endemismos, ao redor de 240 espécies de peixes, 175 de herpetofauna, 515 aves e 156 mamíferos (LEAL *et al.*, 2003; ARAÚJO *et al.*, 2007; SANTOS *et al.*, 2011; HAUFF, 2010; ALBUQUERQUE *et al.*, 2012; FLORA DO BRASIL, 2018).

A Caatinga está representada por vegetação de diferentes fisionomias: arbustiva, arbórea, arbustiva-arbórea e de savana, esta última caracterizada por grandes quantidades de Poaceae e Cyperaceae, e árvores distribuídas por fragmentos deslocados (ARAÚJO *et al.*, 2007). As famílias mais representadas nas chapadas sedimentares são Caesalpiniaceae, Euphorbiaceae e Mimosaceae (LEMOS; RODAL, 2001). Destacam-se as famílias Leguminosae, Cactaceae e Anacardiaceae e espécies de *Caesalpinia pyramidalis* Tul., *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan, *Schinopsis brasiliensis* Engl. e *Myracrodruon urudeuva* Allemão que apresentam ampla distribuição (ARAÚJO *et al.*, 2007).

Apesar de sua importância biológica, a Caatinga enfrenta fortes pressões por parte de atividades antrópicas, estando aproximadamente 46% desflorestada (MMA, 2015). Já na década de 1960 foi reportado por COLE (1960) que como resultado de séculos de ocupação e cultivo, restava pouco da vegetação nativa e a maioria provavelmente em crescimento secundário. Os distintos tipos de solo e a disponibilidade de água, junto com as atividades agrícolas, resultaram em uma cobertura vegetal atual caracterizada por um mosaico de diferentes estágios de regeneração, onde os fragmentos originais de Caatinga são muito escassos (VELLOSO *et al.*, 2002; PEREIRA *et al.*, 2003).

Alguns estudos indicam que a área de cobertura da vegetação natural da Caatinga decresceu de 67% a 63% entre 1990 e 2010, a uma taxa líquida anual de 0,32%, com taxa anual menor na primeira década (1990-2000) com 0,19% por ano, aumentando para 0,44% na década seguinte (BEUCHLE *et al.*, 2015). Segundo o MMA-IBAMA (2010) a vegetação nativa da Caatinga em 2002 era de 56%, caindo para 53% em 2009 (BEUCHLE *et al.*, 2015).

Uma questão controversa ante estas afirmações de diminuição da cobertura da Caatinga é que Redo *et al.* (2013) acharam que a vegetação lenhosa está experimentando grandes incrementos. Os autores atribuíram isto a influências climáticas, como o aumento nas precipitações anuais devido à ocorrência de extensos períodos de chuva (como os experimentados desde 1995 até 2005), mas sobretudo, à ação antrópica referida ao declínio de áreas de cultivo.

É evidente que nos anos de maior produção de algodão (*Gossypium barbadense* L.) e cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) a área de vegetação lenhosa decresceu marcadamente, mas ultimamente foram perdendo competitividade econômica. As áreas de agricultura geralmente são abandonadas entre dois a sete anos depois de terem sido cultivadas (KAUFFMAN *et al.*, 1993). Por isso, o decréscimo em áreas de cultivo é o que melhor explica o retorno da vegetação lenhosa, seguido pela redução da produção de carvão e dos quatro principais cultivos da região milho, arroz, caju (*Anacardium occidentale* L.) e cera de carnaúba (*Copernicia prunifera* (Mill.) H.E. Moore) (REDO *et al.*, 2013).

A variabilidade nas temperaturas, a pauperização das terras, e as pragas, parecem provocar a diminuição da agricultura, mas também pode ser que se esteja evitando estas áreas porque o cultivo é muito arriscado pelos longos períodos de seca, a crescente transição do rural ao urbano, ou devido aos altos custos da mão de obra rural (REDO *et al.*, 2013).

Mesmo que benéfico, o processo de recuperação da vegetação da Caatinga é lento, os sítios abandonados onde foi praticada a agricultura podem levar várias décadas para reestabelecerem a vegetação similar à original e atingirem a maturidade completa (PEREIRA *et al.*, 2003; REDO *et al.*, 2013). Mesmo assim, áreas que atravessam mais de 60 anos de processo de regeneração natural são capazes de manter maior quantidade de água disponível no solo, beneficiando seu crescimento e conseguindo resistir a secas fortes e prolongadas (SANTOS *et al.*, 2014).

Os diferentes grupos de populações humanas exploram os recursos biológicos da Caatinga de forma diferenciada, como função de aspectos sociais, culturais, econômicos e/ou ecológicos (ARAÚJO *et al.*, 2007). Historicamente, a Caatinga esteve exposta a muitas ameaças, e algumas atualmente continuam. As principais ameaças são o desmatamento para as terras de pastagem de gado geralmente caprino, a extração de lenha, a agricultura, a caça e a fragmentação pela criação de caminhos ou o mal-uso do fogo (ALBUQUERQUE *et al.*, 2012). As florestas de maior porte foram exploradas para a construção de casas, de cercas para delimitação dos terrenos e currais das fazendas de gado (GARIGLIO, 2010; ALBUQUERQUE *et al.*, 2012; SANTOS *et al.*, 2014). Centenas de anos de sobre-exploração

agropecuária, desflorestamento e sobre-pastoreio de gado, resultaram na degradação dos solos, levando algumas áreas ao processo de desertificação (VELLOSO *et al.*, 2002). Atualmente, 62% das áreas que enfrentam processos de desertificação no Brasil encontram-se na Caatinga (SANTOS *et al.*, 2014).

Assim, a história de uso da terra e a forma com que as pessoas relacionam-se com as plantas influenciam os processos ecológicos na Caatinga. O estabelecimento de pastagens e a expansão da agricultura são distúrbios que modificam a estrutura e a diversidade do ecossistema (ARAÚJO *et al.*, 2007). Quanto mais distúrbios presentes no ambiente, menor diversidade florística pode ser constada, como também menor quantidade e tamanho de plantas (PEREIRA *et al.*, 2003). Também, as estradas como forma de acesso, e as cidades, têm um papel importante na perda do habitat e na fragmentação na vegetação da Caatinga (SANTOS; TABARELLI, 2002). A redução da porcentagem da vegetação remanescente e do número de fragmentos de grande tamanho são provavelmente devidos às facilidades que as cidades e os caminhos oferecem na exploração de recursos naturais adjacentes.

2.4 Unidades de Conservação

As Unidades de Conservação (UCs) cumprem uma função fundamental na preservação *in situ* da biodiversidade, ecossistemas e paisagem. No Brasil, para o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), as UCs são o espaço territorial e seus recursos ambientais, legalmente instituídos pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos. O Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), um ente autárquico pertencente ao Ministério de Meio Ambiente (MMA) é o responsável pelo manejo e gestão das UCs. No país, aproximadamente 18% do território é considerada área protegida do tipo UCs, divididas dentro de duas categorias: de proteção integral ou de uso sustentável (EMBRAPA, 2017). Os diferentes tipos de UCs estão descritos na Tabela 2.1.

As UCs de *proteção integral* têm o intuito principal de garantir a manutenção dos ecossistemas, impedindo alterações causadas por interferência humana por meio do uso indireto dos recursos naturais, que não envolvem consumo, coleta ou dano. Turismo, recreação, pesquisa e educação são alguns exemplos das atividades que são permitidas de exercer neste tipo de UCs. As UCs de *uso sustentável*, por sua parte visam conciliar a conservação da natureza com o uso sustentável dos recursos naturais. São permitidas atividades de coleta e uso direto dos recursos naturais, sempre que praticadas garantindo a perenidade dos recursos renováveis e dos processos ecológicos.

Tabela 2.1. Tipos e Categorias das Unidades de Conservação do Brasil e sua função.

Unidades de Conservação		
Categoria	Tipo	Função
Proteção integral	Estação Ecológica (EE)	Área destinada à preservação da natureza e à realização de pesquisas científicas, podendo ser visitadas apenas com o objetivo educacional.
	Reserva Biológica (REBIO)	Área destinada à preservação da diversidade biológica, na qual as únicas interferências diretas permitidas são a realização de medidas de recuperação de ecossistemas alterados e ações de manejo para recuperar o equilíbrio natural e preservar a diversidade biológica, podendo ser visitadas apenas com o objetivo educacional.
	Parque Nacional (PARNA)	Área destinada à preservação dos ecossistemas naturais e sítios de beleza cênica. O parque é a categoria que possibilita uma maior interação entre o visitante e a natureza, pois permite o desenvolvimento de atividades recreativas, educativas e de interpretação ambiental, além de permitir a realização de pesquisas científicas.
	Monumento Natural (MN)	Área destinada à preservação de lugares singulares, raros e de grande beleza cênica, permitindo diversas atividades de visitação. Essa categoria de UC pode ser constituída de áreas particulares, desde que as atividades realizadas nessas áreas sejam compatíveis com os objetivos da UC
	Refúgio de Vida Silvestre (RVS)	Área destinada à proteção de ambientes naturais, no qual se objetiva assegurar condições para a existência ou reprodução de espécies ou comunidades da flora local e da fauna. Permite diversas atividades de visitação e a existência de áreas particulares, assim como no monumento natural.
	Área de Proteção Ambiental (APA)	Área dotada de atributos naturais, estéticos e culturais importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas. Geralmente, é uma área extensa, com o objetivo de proteger a diversidade biológica, ordenar o processo de ocupação humana e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais. É constituída por terras públicas e privadas.
Uso sustentável	Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE)	Área com o objetivo de preservar os ecossistemas naturais de importância regional ou local. Geralmente, é uma área de pequena extensão, com pouca ou nenhuma ocupação humana e com características naturais singulares. É constituída por terras públicas e privadas.
	Floresta Nacional (FLONA)	Área com cobertura florestal onde predominam espécies nativas, visando o uso sustentável e diversificado dos recursos florestais e a pesquisa científica. É admitida a permanência de populações tradicionais que a habitam desde sua criação.
	Reserva Extrativista (RESEX)	Área natural utilizada por populações extrativistas tradicionais onde exercem suas atividades baseadas no extrativismo, na agricultura de subsistência e na criação de animais de pequeno porte, assegurando o uso sustentável dos recursos naturais existentes e a proteção dos meios de vida e da cultura dessas populações. Permite visitação pública e pesquisa científica.
	Reserva de Fauna (RF)	Área natural com populações animais de espécies nativas, terrestres ou aquáticas; adequadas para estudos técnico-científicos sobre o manejo econômico sustentável de recursos faunísticos.
	Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS)	Área natural onde vivem populações tradicionais que se baseiam em sistemas sustentáveis de exploração de recursos naturais desenvolvidos ao longo de gerações e adaptados às condições ecológicas locais. Permite visitação pública e pesquisa científica.
	Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN)	Área privada com o objetivo de conservar a diversidade biológica, permitida a pesquisa científica e a visitação turística, recreativa e educacional. É criada por iniciativa do proprietário, que pode ser apoiado por órgãos integrantes do SNUC na gestão da UC.

Fonte: Elaborado pela autora, adaptado do SNUC, MMA (2019).

O Brasil é considerado um dos países com maior quantidade de áreas protegidas no mundo, mas sua distribuição não é equitativa. Dentro do SAB, na Caatinga, 157 UCs de diferentes níveis de proteção, distribuídas em federais, estaduais e municipais, cobrem 7,5% da região. Mas, da superfície total protegida na categoria proteção integral no território brasileiro, só o 4,4% pertence ao SAB, isto significa que só 1,5% do território forma parte de alguma UC. Este percentual ínfimo de proteção dos sistemas naturais da Caatinga pode ser entendido como uma justificativa para o incipiente conhecimento científico de sua diversidade biológica (SILVA, 2010).

No Piauí, mais especificamente na região sudoeste, têm destaque duas UCs de proteção integral, que cobrem a maior superfície da Caatinga, Os PARNAs da Serra da Capivara e da Serra das Confusões que destinam-se à preservação integral de áreas naturais com características de grande relevância sob os aspectos ecológico, científico, de beleza cênica, sítios arqueológicos em cavernas e grutas, com litogravuras de valor histórico, cultural, educativo e recreativo, vedadas às modificações ambientais e à interferência humana direta.

Segundo Figueredo (2017) esses PARNAs também representam uma significativa barreira para o avanço da fronteira agrícola, que encontra-se ativa no sudoeste piauiense (mapa da localização na Figura 3.1). Nos últimos anos, tem se expandido desde o sul do estado em direção ao leste passando de áreas de Cerrado a áreas de transição com a Caatinga. Os PARNAs encontram-se unidos por meio de um corredor ecológico formando o chamado Mosaico Capivara-Confusões. Informação detalhada sobre os parques, o corredor e o Mosaico encontra-se na descrição da área de estudo, na seção 3.2.1.

2.5 Uso do fogo e incêndios florestais

O uso do fogo como ferramenta de trabalho na Caatinga já era feito pelas populações indígenas, cuja agricultura era baseada na abertura de clareiras no final da época seca, quando a cobertura vegetal estava pronta para se queimar para a preparação do roçado (CLAVAL; DE FREITAS, 2007). A agricultura era geralmente itinerante por causa da exaustão dos solos, que eram utilizados durante dois ou três períodos de produção e logo os campos eram abandonados para que naturalmente recuperem sua cobertura, virando *capoeiras*, que é o estágio inicial da regeneração da Caatinga.

Essas práticas são comuns na atualidade, sendo que a agricultura tradicional de rotação e a preparação do terreno para pastagem envolvem as típicas práticas de corte e queima da

vegetação (KAUFFMAN *et al.*, 1993). A preparação do terreno para o cultivo consiste em cortar as árvores na época seca antes da perda das folhas, quando logo são removidos os restantes de madeira que as vezes são aproveitados para construção de cercas ou como fitocombustível (KAUFFMAN *et al.*, 1993). As áreas cortadas são queimadas no final da época seca e o plantio ocorre no começo da época chuvosa. Dentro da pecuária, muitas espécies vegetais usadas como forrageiras pelas populações tradicionais foram submetidas a eventos sucessivos de corte e queima, contribuindo com a diminuição da capacidade de carga do gado (MAMEDE; ARAÚJO, 2008).

As atividades antrópicas do uso do fogo, da maneira como são desenvolvidas, não são compatíveis com as condições do ambiente ou com o regime pluviométrico da região e podem representar ameaças para a biodiversidade da Caatinga (MAMEDE; ARAÚJO, 2008; GARIGLIO, 2010). Também existem diferenças na resposta da vegetação à queima, podendo ser algumas espécies dizimadas durante o processo, agravando o processo de perda de biodiversidade (SAMPAIO *et al.*, 1993). Mesmo que a maioria das plantas da Caatinga rebrote após o corte, o seu crescimento diminui progressivamente se a queima é utilizada sucessivamente (SAMPAIO *et al.*, 1998).

Uma das maiores ameaças no SAB é a ocorrência de incêndios florestais decorrentes das atividades antrópicas acidentais ou criminosas. Mesmo assim, o estudo deste fenômeno não foi realizado com profundidade para a vegetação da Caatinga, como foi para a vegetação do Cerrado. Pode-se destacar que no Cerrado, o fogo é considerado como um fenômeno natural, devido, em parte, a que algumas espécies vegetais precisarem do fogo em fases de seu desenvolvimento ou por apresentarem estruturas resistentes ao fogo, como também devido ao registro de incêndios decorrentes de raios (SIMON *et al.*, 2009).

Os incêndios são intensificados com a presença de herbáceas que geram muita biomassa disponível como combustível, e diminuem com a ocorrência de pastagem (GARIGLIO, 2010). Consequentemente, os períodos mais prolongados de seca na Caatinga resultam em incêndios de maior intensidade e consumo de grande quantidade de biomassa original (SAMPAIO *et al.*, 1993), devido à baixa umidade relativa do combustível (KAUFFMAN *et al.*, 1993).

Os incêndios causam numerosos impactos negativos, como a perda da biodiversidade, e a mudança na ciclagem de nutrientes ligada à produtividade. Uma das propostas para diminuir estes impactos e regenerar a vegetação nativa é a supressão do fogo, especialmente em áreas onde a vegetação encontra-se no estágio inicial de recuperação posterior ao abandono de terras de pastagem (SANTOS *et al.*, 2014).

Geralmente, para se provocar um incêndio, deve-se coincidir três condições: deve existir um evento de ignição, tem que haver combustível inflamável, e as condições meteorológicas têm que ser adequadas (STOTT, 2000). Nesse sentido, as características do material inflamável, como a umidade e a quantidade, são definidas pela duração da estação chuvosa, a quantidade de precipitações, a cobertura vegetal, etc. Em resumo, muitas são as circunstâncias que propiciarão a ocorrência de incêndios florestais e definirão sua intensidade, severidade e frequência.

A ocorrência de incêndios na Caatinga acontece em maior medida, embora não exclusivamente, na estação seca, quando a umidade do solo é relativamente menor (NOGUEIRA *et al.*, 2017). E em contraste com outros ecossistemas, como as florestas úmidas, pode ter limitação de combustível por ser um dos ecossistemas mais secos do Brasil. Isto se dá porque a produção primária da estação chuvosa precedente à estação seca afeta a disponibilidade de combustível para queimar (STOTT, 2000).

Nos diferentes ecossistemas secos ou semiáridos ao redor do mundo, o incremento da umidade do solo na estação chuvosa tem uma correlação positiva com a atividade do fogo, refletindo que o processo de acumulação de combustível é um fator limitante para a ocorrência de incêndios (ARCHIBALD *et al.*, 2009). Desta forma, mesmo que a época de maior ocorrência de incêndios não seja definida pela quantidade de água acumulada na estação chuvosa, esta última vai ter forte influência na extensão das áreas incendiadas.

Os incêndios em áreas protegidas são particularmente graves quando localizados em áreas de ecótono, por serem geralmente regiões muito sensíveis, em áreas isoladas, ou em áreas com espécies raras e/ou ameaçadas de extinção (MOURA; RAMOS, 2004).

2.6 Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento

Sensoriamento remoto é a ciência que permite obter informação da superfície terrestre por meio da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície (FLORENZANO, 2007). Por meio deste, é possível o monitoramento de grandes extensões da Terra e em escala temporal ampliada, permitindo, sobretudo, o estudo da dinâmica da vegetação e as mudanças do uso da terra.

Atualmente, encontram-se disponíveis diversas bases de dados geradas a partir de satélites orbitais e servem como bases para o Geoprocessamento, que é a disciplina que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica. Assim, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são um conjunto de elementos especializados em

adquirir, armazenar, recuperar, transformar e emitir informações espaciais. São sistemas computacionais para armazenar, processar, analisar, integrar e representar informações georreferenciadas, em forma de mapas (FLORENZANO, 2007). São SIGs as imagens de satélite, modelos numéricos de terreno, mapas temáticos, redes e dados tabulares.

A combinação das diferentes bandas espectrais de sensores passivos, que representam a quantidade de energia eletromagnética refletida pelos diversos alvos da superfície da terra, possibilita a visualização, entendimento e análise de determinados fenômenos, como as mudanças dos corpos de água, expansão de cidades ou de terras cultivadas, mudanças na vegetação como senescência, vigorosidade, atividade fotossintética, incêndios, desmatamento, entre outros.

Particularmente, na Caatinga, a vegetação tem uma rápida resposta às precipitações no começo da estação chuvosa, mas na medida que diminuem, as respostas são observadas depois de transcorridas algumas semanas, um mês ou até três meses (LIU; JUÁREZ, 2001; BUSTAMANTE-BECERRA *et al.*, 2014; BARBOSA *et al.*, 2019). Nesse sentido, a importante influência da sazonalidade sobre a vegetação pode ser detectada utilizando de dados espaciais, sobretudo por meio de índices espectrais.

A baixa produção de biomassa, a medida que avança a época seca, quando passa de momentos de excesso hídrico para momentos de déficit hídrico, provoca uma imediata resposta espectral das folhas (KAZMIERCZAK, 1996). Os índices espectrais podem assim ser utilizados para indicar a densidade de biomassa foliar fotossinteticamente ativa por unidade de área, como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI (ROUSE *et al.*, 1974).

Entre outras funções, os índices espectrais podem contribuir com avanços na pesquisa sobre o fenômeno da seca, quando consideradas as anomalias do NDVI (REBELLO *et al.*, 2017), o qual indica o verdor da vegetação, e valores perto de zero podem representar vegetação sob condições de seca (LIU *et al.*, 1994), o que pode contribuir com a detecção das épocas propensas a incêndios.

Também possibilitam a identificação e quantificação de áreas queimadas, que podem depois ser confrontadas com dados obtidos no campo. Nesse sentido, o Sensoriamento Remoto contribui para detecção das áreas queimadas e para a identificação da severidade dos incêndios, e na bibliografia pode-se encontrar diversas técnicas e estudos sobre o tema (MENG; ZHAO, 2017).

3 REGIME DE FOGO NA TRANSIÇÃO CERRADO-CAATINGA

O desenvolvimento da metodologia empregada nesta dissertação, com os correspondentes resultados e discussão, são apresentados em formato de artigo científico. Assim, neste segmento está concentrada a informação mais relevante sobre o contexto conceptual, metodológico e científico no qual está embasado esta pesquisa. Foi elaborado pela autora desta dissertação e contou com a participação da sua orientadora e de um membro colaborador do projeto do qual este trabalho forma parte.

O artigo é intitulado: “**Análise de longo período dos regimes de fogo em áreas protegidas de savana e floresta tropical sazonal da América do Sul**”, e foi submetido em idioma inglês, originalmente intitulado: “**A long-term assessment of fire regimes in protected areas of South American savannah and seasonally dry tropical forests**”. Apresenta-se aqui uma versão em português para manter a coerência do manuscrito.

O mesmo foi estruturado segundo as diretrizes da revista *Ecological Indicators*, Qualis A1 para Ciências Ambientais (Anexo-B) e enviado para revisão no dia 18 de fevereiro de 2019. No final desta seção apresentamos as referências citadas no artigo segundo as normas estabelecidas pela revista.

Análise de longo período dos regimes de fogo em áreas protegidas de savana e floresta tropical sazonal da América do Sul²

Daihana S. Argibay^a, Javier Sparacino^a, Giovana Mira de Espindola^a

^aPRODEMA, Universidade Federal do Piauí, 64049-538, Teresina, Brasil

Resumo

O fogo é um fenômeno recorrente em ecossistemas semiáridos sazonais. O estudo da relação entre a seca, a sazonalidade e o fogo pode prover novas aproximações para o entendimento da dinâmica do fogo em regiões semiáridas, sendo útil para manejar estrategicamente a perda e recuperação dos recursos naturais sob ameaças. Aqui, avaliaram-se os padrões do fogo no ecótono semiárido de vegetações de Caatinga e Cerrado no Nordeste do Brasil, caracterizando-se as dinâmicas espaço-temporais associadas com condições climáticas e ecológicas. Utilizando séries temporais de 306 imagens Landsat, mapeou-se uma base de dados de áreas queimadas de resolução espacial fina (30 m), e avaliaram-se os padrões e relações com as estações, chuvas, secas e índices espectrais, desde 1999 até 2017 no Mosaico Capivara-Confusões de áreas protegidas e seu entorno. Como resultado, foram criados mapas anuais/sazonais e de recorrência de área queimada para avaliar os regimes climáticos. Os resultados mostraram que 48 % da área foi queimada durante o período, o Parque Nacional da Serra das Confusões teve 302.644 ha queimados, o Parque Nacional da Serra da Capivara queimou 2.056 ha, e o corredor ecológico queimou 215.718 ha. 36 % dos fogos registrados ocorreram durante a estação seca média, quase nenhum fogo aconteceu na estação seca inicial, enquanto a estação seca tardia e a estação chuvosa tiveram dimensões queimadas similares. Os anos nos quais foram detectados maiores áreas queimadas estiveram relacionados com a acumulação de anos secos (2007) ou com ENSO (2010, 2012, 2015). Foi encontrado para o período o padrão de um ano úmido com pouca área queimada, seguido de um ano seco com grandes extensões de área queimada (1999-2000, 2008-2010, 2010-2012). Áreas de alta recorrência foram sempre perto de estradas, assentamentos ou cidades e os fogos foram muitas vezes limitados pela topografia abrupta e não vegetada. O intervalo de recorrência de fogo foi sempre maior que dois anos, o que significa que uma área que

2 Artigo submetidos em inglês para a revista *Ecological Indicators*. Este capítulo se refere a uma tradução livre do artigo submetido. A versão submetida em inglês encontra-se no Anexo A, e recomenda-se, sempre que possível, a leitura do artigo original.

queimou um ano vai delimitar a área que queimará no ano seguinte. A curva do *NDVI* apresentou um marcado padrão sazonal e a do Q_{NDVI} mostrou vales profundos para datas que coincidiram com fogos, separando os vales das estações secas sem fogo. Os padrões que descrevemos aqui constituem o primeiro passo para o entendimento dos regimes do fogo na região para estabelecer direções com o fim de melhorar estratégias de manejo e orientar políticas de mitigação na área.

Palavras chave: Sazonalidade; Recorrência de fogo; Caatinga; Cerrado; Precipitação; Índices espectrais.

3.1 Introdução

A ação do fogo altera a estrutura e composição da vegetação ao redor do mundo, afetando a distribuição dos ecossistemas (Bond *et al.*, 2004). Ao mesmo tempo, a vegetação é um dos fatores chaves na atividade do fogo, em relação à produtividade (biomassa como combustível), flamabilidade (composição química e estrutura), capacidade de queimar (úmido/seco) e a fenologia (caducifólio, semi-caducifólio ou perene) (Archibald *et al.*, 2018). Junto com a vegetação e a variação no combustível, o clima, o tempo durante o fogo e as taxas de ignição determinam a atividade do fogo (Bradstock, 2010), portanto o fogo é considerado um fenômeno multidimensional (Archibald *et al.*, 2018).

Os regimes de fogo podem ser descritos como a combinação particular das características do fogo, como a frequência, intensidade, severidade, tamanho, estação, tipo, extensão e o padrão espacial sua ocorrência (Bond e Keeley, 2005). Os regimes de fogo têm modelado os processos da Terra por milhões de anos, muito antes das queimadas antrópicas (Scott, 2000). Apesar disso, os regimes de fogo são alterados pelas atividades humanas que desempenham um papel similar ao clima, influenciando o número e tempo das ignições, suprimindo os fogos, afetando a quantidade de combustível e a conectividade da vegetação, e alterando o clima (Archibald *et al.*, 2013; Bowman *et al.*, 2009; 2011; Flanningan *et al.*, 2009; Mayr *et al.*, 2018).

Mundialmente, a variabilidade espacial dos regimes de fogo podem ser explicados, em parte, pela sazonalidade das chuvas, a variabilidade interanual e a chuva efetiva (Archibald *et al.*, 2013; Argañaraz *et al.*, 2015). Estas variáveis climáticas estão relacionadas com a presença de secas de longo prazo e a duração da estação seca, as oportunidades anuais da ocorrência do fogo e a produtividade que determina a quantidade de combustível, respectivamente (Archibald *et al.*, 2009; 2013). Atualmente, os regimes de fogo podem estar

geralmente associados com a vegetação atual e o clima, mas as complexas interações entre o fogo, o clima, a vegetação e as atividades humanas bloqueiam a capacidade de predição da emergência do fogo (Archibald *et al.*, 2018).

Alguns autores analisaram as variáveis climáticas e ecológicas que influenciam ou alteram os regimes de fogo (e.g. Argañaraz *et al.*, 2018; Mayr *et al.*, 2018; Moreno *et al.*, 2014; Nogueira *et al.*, 2017a; Pourtaghi *et al.*, 2016). Entre outras variáveis identificadas, a precipitação anual e sua distribuição (Chen *et al.*, 2017), como também os dias quentes e secos depois de um período de abundantes chuvas (Archibald *et al.*, 2009; Bradstock, 2010), podem ser mencionados. As influências humanas regulando os regimes de fogo também foram estudadas. Distância de estradas, mudanças no uso da terra, e o uso do fogo para práticas agrícolas, são os principais fatores antrópicos que levam à ocorrência de fogos ao redor do mundo (Pourtagui *et al.*, 2016). Além disso, a continuidade da camada de serrapilheira determina a difusão do fogo que pode ser limitada não só pela topografia (natural) mas também pela alta densidade de estradas (humano) (Archibald *et al.*, 2009).

Por outro lado, a sazonalidade junto com a concentração das chuvas, de períodos de pronunciada falta de água e fogos, são as principais características de ambientes semiáridos (Archibald *et al.*, 2013; Kousky e Chug, 1978; Murphy *et al.*, 2013, Reddy 1983). Os ecossistemas semiáridos no Neotrópico abrangem áreas de savana e floresta seca tropical sazonal, em particular Cerrado e Caatinga no Centro e Nordeste do Brasil, respectivamente (Collevati *et al.*, 2013).

A vegetação do Cerrado consiste em um mosaico que varia de ecossistemas de pastagem a arbustais ou florestas abertas ou fechadas (Eiten, 1972). Enquanto os fogos naturais devido a raios foram registrados durante a estação chuvosa (Ramos-Neto e Pivello, 2000), a maioria dos fogos é de origem antrópica (Pivello, 2011). O ecossistema da Caatinga é restringido aos limites do Brasil e é climaticamente caracterizado por ter as chuvas concentradas em uma estação chuvosa curta com grandes variações espaciais e espaço-temporais (Reddy, 1983). Foi descrito como a região semiárida com maior biodiversidade e habitada do mundo. As áreas de transição entre Cerrado e Caatinga adicionam complexidade ao sistema, já que os ambientes de transição entre pastagem e florestas fechadas representam uma situação interessante de gradiente de flamabilidade (Hoffman *et al.*, 2012).

Apesar da regular sazonalidade, as flutuações na precipitação e a presença de secas nos ambientes semiáridos estão frequentemente relacionados a anomalias climáticas específicas, como El Niño (ENSO) (Liu e Juárez, 2001). As secas são caracterizadas como a chegada tardia das chuvas ou o final antecipado das estações chuvosas, com precipitações

menores à média anual (Ramos, 1975; Sampaio *et al.*, 2005). Estas anomalias nas precipitações e a sua redistribuição, quando causadas por episódios de ENSO resultam em uma alteração na resposta do fogo, embora com um atraso entre a anomalia na precipitação que acumula-se durante a estação chuvosa e a atividade do fogo, que acontece na estação seca (Chen *et al.*, 2017). Segundo Sampaio *et al.* (1993, 1998), os longos períodos de seca na Caatinga causam um aumento na severidade do fogo que também reduz a diversidade de espécies, mesmo que a ignição seja limitada pela redução na produção primária na estação chuvosa que precede a estação das queimadas (Nogueira *et al.*, 2017a).

Neste contexto, a aplicação de imagens de satélite combinadas com dados climáticos permite o estudo dos regimes de fogo em associação com a sazonalidade, devido ao monitoramento contínuo da superfície terrestre e o clima (ver Meng e Zhao, 2017 e Mouillot *et al.*, 2014 por revisões). Durante os anos recentes, estes produtos de sensoriamento remoto foram utilizados para mapear áreas queimadas como o primeiro passo para caracterizar dinâmicas de fogo (Key e Benson, 2006). As séries de dados de longa duração dos sensores a bordo dos satélites Landsat de resolução espacial fina foram usados para descrever os regimes climáticos de diferentes áreas protegidas do Cerrado brasileiro (Alvarado *et al.*, 2017; Alves e Pérez-Cabello, 2017; Daldegan *et al.*, 2014; Lemes *et al.*, 2014; Melchiori *et al.*, 2014), no entanto, não existem estudos de longo prazo sobre fogo na Caatinga. As séries MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) oferecem informação diária desde 2000 com baixa resolução espacial e são frequentemente utilizadas para o mapeamento de áreas queimadas em escala global (Bastarrika *et al.*, 2018; Chuvieco *et al.*, 2016; Nogueira *et al.*, 2017a; 2017b, entre outros).

Logo, o mapeamento dos regimes de fogo é útil para avaliar condições ecológicas fornecendo um entendimento mais aprofundado sobre os processos espaciais e temporais (como clima, topografia, disponibilidade de combustível e a estrutura e dinâmica da vegetação) que influenciam as dinâmicas do fogo (Morgan *et al.*, 2001). Os mapas de regimes de fogo proporcionam informação apropriada para entender e avaliar as mudanças no ecossistema, caracterizar os riscos de fogo, identificar combustíveis e o manejo do fogo e as decisões dos gestores.

Apesar da existência de alguns estudos referidos às dinâmicas do fogo em ambientes semiáridos, pouco se conhece sobre o fenômeno na Caatinga e sua transição com o Cerrado. Desta forma, a informação da importância relativa de vários fatores ambientais afetando as áreas queimadas na região é atualmente ausente, particularmente quando são consideradas as áreas protegidas. Neste trabalho, objetivou-se realizar o mapeamento da combinação entre

área queimada e clima em uma escala espacial fina para contribuir com o entendimento do regime de fogo e suas implicações a respeito das estratégias de manejo de dois Parques Nacionais do sudoeste do Piauí, Nordeste do Brasil. Aqui, avaliou-se a influência de variáveis climáticas no regime de fogo, para obter uma aproximação sobre o efeito das mudanças globais nos regimes de fogo. Analisou-se os padrões espaço-temporais da incidência do fogo em uma área de transição do semiárido brasileiro de 1999 a 2017. Utilizando imagens de satélite Landsat e a subdivisão das estações seca e chuvosa no período, objetivou-se: i) criar uma base de dados de área queimada de resolução espacial fina; ii) avaliar os padrões de recorrência e espaço-temporais do fogo; e, iii) avaliar o comportamento espectral das áreas queimadas ao longo do tempo.

3.2 Materiais e Métodos

3.2.1 Área de estudo

O presente estudo foi desenvolvido no Mosaico Capivara-Confusões (MCC, Fig. 2.1), composto pelos Parques Nacionais da Serra da Capivara (PNSCa) e da Serra das Confusões (PNSCo) e o corredor ecológico entre eles. Localizado no sudoeste do Piauí no Nordeste brasileiro, nossa área de estudo inclui 84 % da área de cada Parque Nacional e todo o corredor. A área de estudo foi definida incluindo um entorno de 25 km de raio ao redor do MCC e recortada para caber nos limites do Piauí ao sul e a cena Landsat órbita/ponto 219/066 ao este e sudoeste, totalizando uma área de 2.213.643 ha, localizada entre 8°9'-9°25' S e 44°13'-42°22' O (Fig. 2.1).

O PNSCa foi criado em 1979 e cobre uma superfície de 134.973 ha. O parque foi declarado como Patrimônio da Humanidade pela UNESCO em 1991 devido ao seu legado arqueológico. Apresenta evidências e artefatos relacionados à origem dos assentamentos humanos no continente, incluindo a maior concentração de pinturas rupestres e sítios arqueológicos na América (Pessis e Guidon, 2009). Todo o parque é atravessado por uma rede de estradas de terra que atuam como corta-fogo e dão acesso aos diferentes sítios arqueológicos para visitação (Olmos e Albano, 2012).

O PNSCo foi criado em 1998, originalmente cobrindo 502.000 ha, mas depois de uma extensão, a área protegida passou a cobrir 834.129 ha. Mesmo sendo a caça proibida, o parque apresenta alguns problemas de caça ilegal devido às suas dimensões e   falta de pessoal de monitoramento. Além disso,   atravessado por estradas de terra que unem as cidades do

sudoeste com o nordeste, e tem algumas vilas e assentamentos nos seus limites. Ambos os parques são administrados pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) que pertence ao Ministério do Meio Ambiente (MMA).

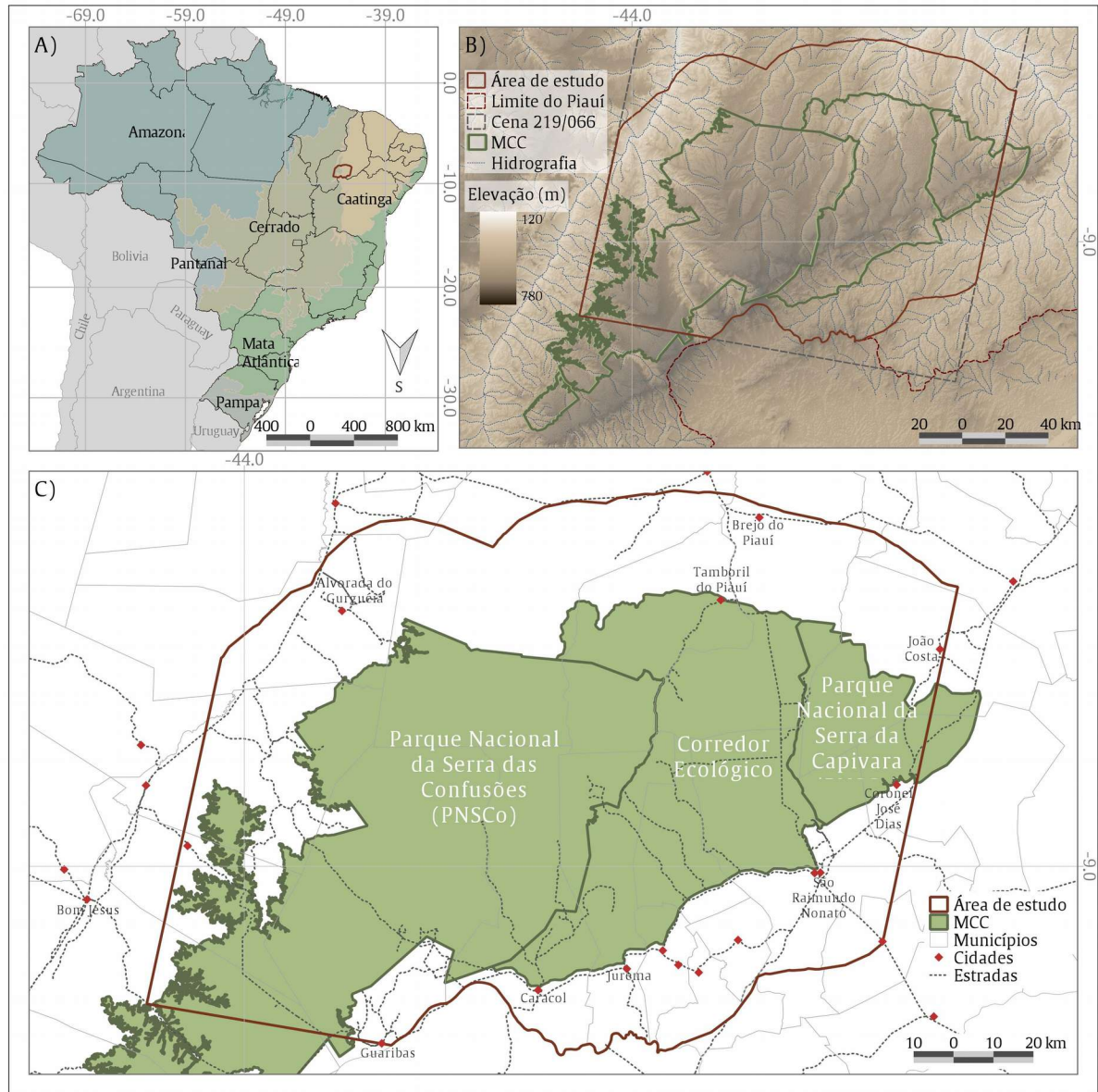


Figura 3.1. Mapa da área de estudo, onde: A) localização da área de estudo no contexto do Brasil representando os diferentes biomas reconhecidos pelo MMA (2017); B) altimetria extraída do modelo digital de elevação SRTM (Jarvis et al., 2008) e cursos hidrológicos (ANA, 2017); e, C) contexto do Mosaico Capivara-Confusões no estado de Piauí, municípios e estradas (IBGE, 2017).

O MCC foi criado por meio de um decreto federal em 2005 para integrar o manejo dos dois Parques Nacionais, uma área de entorno e o corredor ecológico entre eles. Os principais motivos de sua criação foram a conservação e o uso sustentável dos recursos naturais para prover uma efetiva preservação da biodiversidade. Mesmo assim, o corredor é atravessado por estradas de asfalto e tem vários assentamentos com agricultura extensiva e criação de gado, e é nestes lugares, onde o fogo é comumente utilizado como uma prática de manejo para a

preparação da terra para cultivo.

Esta área de estudo está localizada entre as duas formações geológicas maiores do nordeste do Brasil: a bacia sedimentar do rio Parnaíba, que é uma formação arenosa do Siluriano-Devoniano, e a depressão periférica do rio São Francisco, com pequenas formações argilosas do Percâmbrico (Lemos e Rodal, 2002). A chapada arenosa principal alcança os 700 m e está rodeada por falésias de 50 a 200 m e separado por vales e cânions (Fontugne *et al.*, 2013; Silveira *et al.*, 2009). As formações argilosas emergem como ilhas montanhosas entre as chapadas e são profundamente erodidas com grande quantidade de cavidades e cavernas (Fontugne *et al.*, 2013). Os solos das chapadas são geralmente latossolos amarelo-vermelhos, enquanto nos vales e cânions predomina a areia branca (Olmos, 1992). Dentro dos parques não há cursos de água perenes, mas há alguns olhos de água natural no PNSCo e alguns rios itinerantes durante a estação chuvosa; também são mantidos reservatórios artificiais no PNSCa que são enchidos na estação seca para distribuir água à fauna como prática de manejo (Olmos e Albano, 2012).

Toda a região é caracterizada por um clima semiárido com um longo período seco e uma estação úmida curta, e 90 % da precipitação anual está concentrada entre novembro e abril (Sparacino *et al.*, 2019). A vegetação está adaptada ao déficit hídrico anual (Reddy, 1983). Portanto, a maioria da área apresenta um mosaico de diferentes assembleias de vegetação espinhosa, xerofítica e/ou caducifólia da Caatinga (Emperaire, 1989; Olmos, 1992; Silveira *et al.*, 2009). A vegetação das chapadas tem uma estrutura arbustiva-arbórea com baixa estatura (6-10 m); os cânions, que são mais úmidos, apresentam enclaves de floresta semidecídua com vegetação mais alta (até 30 m). As falésias apresentam uma Caatinga arbórea com indivíduos de até 15 m de altura, e separam às chapadas dos baixões que apresentam florestas de mediana altura (5-10 m) (Emperaire, 1989; Moura, A., 2005). A vegetação lenhosa começa a perder suas folhas em maio, produzindo abundante serrapilheira, e em agosto a maioria das árvores não tem mais folhas (Moura, A., 2005). Também tem um componente herbáceo que desaparece durante a estação seca (Lemos e Rodal, 2002).

A região sudoeste do MCC (Fig. 2.1) é uma área ecotonal entre os ecossistemas Cerrado e Caatinga, com predominância de florestas caducifólias e Caatinga arbórea (Dinersein *et al.*, 2017; Olson *et al.*, 2001). As bordas ao sul e oeste do PNSCo são separados por afloramentos rochosos dispersos sobre solos arenosos, cânions com rios intermitentes e florestas perenes (Dal Vechio *et al.*, 2016).

Com o propósito de validar os dados obtidos, foram procedidas duas campanhas de campo aos parques em maio e junho de 2018, quando foram visitadas três cicatrizes de

incêndio em cada parque. Esses incêndios ocorreram em 2010/2011, 2015 e 2017, tornando possível o reconhecimento das diferenças no dano e recuperação da vegetação ao longo do tempo. As cicatrizes de incêndio foram delimitadas previamente por meio da interpretação visual de dados de sensoriamento remoto, e foi feita a verificação de alguns pontos dos limites das cicatrizes. Também foi comprovada a existência de ilhas não queimadas dentro da cicatriz do incêndio de 2017 no PNSCo.

3.2.2 Aquisição e processamento dos dados

Os passos seguidos durante este trabalho estão graficamente resumidos na Fig. 3.2.

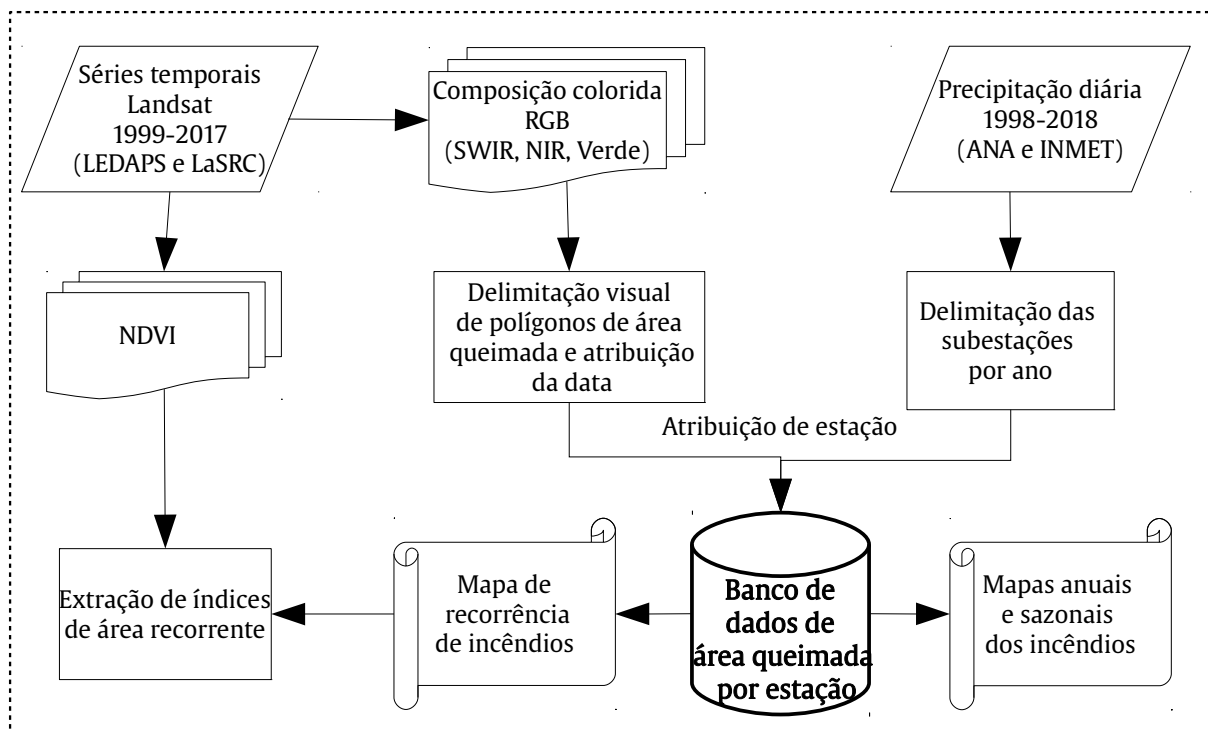


Figura 3.2. Fluxograma sobre os procedimentos metodológicos.

3.2.2.1 *Imagens de satélite e banco de dados da área queimada*

Para a delimitação das áreas queimadas, trabalhou-se com séries temporais dos sensores Landsat 4 e 5 TM (Thematic Mapper), Landsat 7 ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus), e Landsat 8 OLI (Operational Land Imager), com resolução espacial de 30 m (Tabela 3.1). Um total de 306 imagens Landsat (órbita/ponto 2019/066) foram utilizadas cobrindo o período entre 1999 e 2017 (Fig. 3.3), excluindo-se as que estavam completamente cobertas por nuvens. A maioria dos incêndios acontece durante a estação seca, quando não há nuvens, permitindo a visão da superfície terrestre para a identificação das cicatrizes de incêndio

(Feeley *et al.*, 2005; Sano *et al.*, 2007). As áreas queimadas foram, em primeiro lugar, identificadas por meio de interpretação visual, e quando uma cicatriz estava parcialmente coberta por nuvens, obstruindo sua correta delimitação espacial, sua data foi registrada mas foram utilizadas as imagens posteriores para sua delimitação, dado que as cicatrizes permanecem visíveis nas imagens consecutivas durante as estações secas e chuvosas (Alvarado *et al.*, 2017). A resolução temporal dos satélites Landsat é de 16 dias, mas foi possível reduzi-la a oito dias para alguns períodos, utilizando-se imagens de satélites que estiveram em órbita simultaneamente (Fig. 3.3). Portanto, foram analisadas em média 16 imagens por ano (mínimo 7 e máximo 22), dependendo da disponibilidade de imagens sem nuvens. O sensor ETM+ teve uma falha no espelho SLC (Scan Line Corrector) em 2003, pelo que as imagens foram combinadas entre elas e com as dos sensores TM e OLI para preencher as lacunas utilizando uma simples superposição na interpretação das imagens.

Tabela 3.1. Informação sobre os satélites e os respectivos sensores utilizados como fonte para a análise das imagens.

	Satélite	Sensor	Resolução espacial	Resolução temporal	Disponibilidade
LT4	Landsat 4	TM	30 m	16 dias	julho 1982– dezembro 1993
LT5	Landsat 5	TM	30 m	16 dias	março 1984– janeiro 2013
LE7	Landsat 7	ETM+	30 m	16 dias	abril 1999–presente
LC8	Landsat 8	OLI	30 m	16 dias	fevereiro 2013–presente

Foram utilizados dados dos produtos de LEDAPS (Landsat Ecosystem Disturbance Adaptive Processing System, Masek *et al.*, 2006) para Landsat 4, 5 e 7 e de LaSRC (Landsat 8 Surface Reflectance Code, Vermote *et al.*, 2016) para Landsat 8, pertencentes à Coleção-1 que estão radiometricamente calibrados e ortoretificados utilizando-se pontos de controle e modelos digitais do terreno para corrigir os deslocamentos do relevo, e também os produtos Nível-2 (*on-demand*), nos quais as imagens são corrigidas dos efeitos atmosféricos retornando-se os valores de reflectância ao nível do solo (USGS, 2018). Todas as imagens foram adquiridas gratuitamente pela plataforma do USGS (U.S. Geological Survey).

Para a identificação das áreas queimadas, foram geradas imagens falsa cor RGB, utilizando as bandas de comprimento de onda do infra-vermelho de onda curta (SWIR), infra-vermelho próximo (NIR) e verde (Tabela 3.2). Desta maneira, as cicatrizes de incêndio foram visualizadas em tons de magenta, rodeados por uma matriz verde, com nuvens brancas e sombras de nuvens pretas. As bandas NIR e SWIR são geralmente utilizadas para estudar o comportamento do fogo, como a severidade de área queimada, porque o NIR reage

naturalmente de forma positiva à área foliar e à produtividade, e o SWIR reage de forma positiva à seca e às superfícies não vegetadas (Key e Benson, 2006). Portanto, a combinação do NIR de alta reflectância com o SWIR de baixa reflectância permite distinguir entre a vegetação queimada e não queimada (Meng e Zhao, 2017).

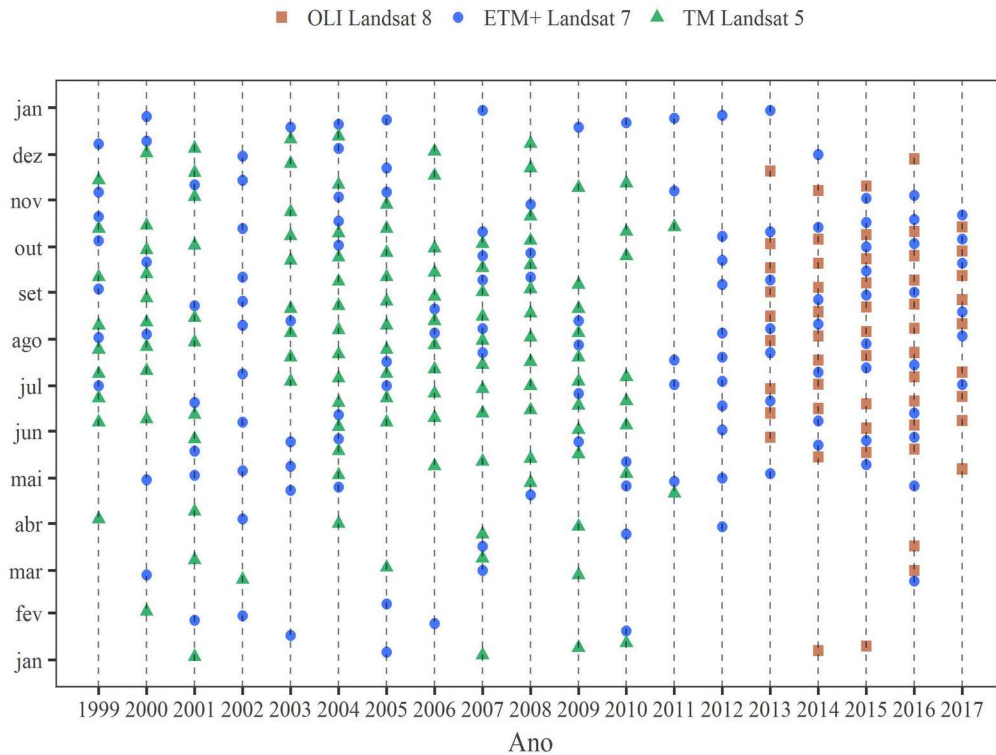


Figura 3.3. Representação do banco de dados das 306 imagens utilizadas para a delimitação das cicatrizes e a extração dos índices espectrais pertencentes à cena 219/066 de 1999 até 2017. É descrita a informação da data, o satélite e o sensor de cada imagem.

Cada cicatriz foi visualmente identificada, primeiro na escala 1:180.000, e manualmente vetorizada utilizando a escala 1:24.000 (Key e Benson, 2006) para construir o banco de dados espaço-temporal dos polígonos de área queimada. Este método exaustivo foi utilizado por alguns autores para a identificação de áreas queimadas (Alvarado *et al.*, 2017; Alves e Pérez-Cabello, 2017; Eidenshink *et al.*, 2007), por algumas agências de governo (Portugal: ICNF, 2018; Estados Unidos, MTBS: Eidenshink *et al.*, 2007), e também foi utilizado para validar a precisão de algoritmos de detecção automática de área queimada (Bastarrika *et al.*, 2014; 2018, Cardozo *et al.*, 2014; Libonati *et al.*, 2014; Melchiori *et al.*, 2014) para estimar erros e omissão e comissão. Essa técnica foi escolhida dentre os diferentes produtos que encontram-se disponíveis para a detecção de área queimada (MODIS: MCD45A1 e MCD64A1, GFED4 e GFD4s; INPE: AQM: Libonati *et al.*, 2015; BAMS: Bastarrika *et al.*, 2011; 2014; ESA Fire_cci project: Chuvieco *et al.*, 2016) porque nenhum

deles foi desenvolvido exclusivamente para este tipo de ambiente de ecótono entre savana e floresta seca.

Depois, atribuiu-se a cada polígono de cicatrizes delimitado a data da imagem na qual apareceu pela primeira vez. Os fogos que estiveram ativos durante o momento da aquisição da informação do satélite (imagem) foram portanto registrados por partes, cada um com uma data diferente. Por esta razão, a análise foi limitada ao total de área queimada por ano e por estação, e foram evitadas as análises sobre número de queimadas ou classificação por tamanho.

Tabela 3.2. Descrição da informação espectral das diferentes bandas e sensores utilizados para gerar as composições coloridas RGB para a delimitação das cicatrizes e para o cálculo do NDVI para a análise espectral.

Sensor\Banda	Verde	Vermelho	NIR	SWIR2
TM/4-5	Banda 2 0,52-0,60 µm	Banda 3 0,63-0,69 µm	Banda 4 0,76-0,90 µm	Banda 7 2,08-2,35 µm
ETM+/7	Banda 2 0,52-0,60 µm	Banda 3 0,63-0,69 µm	Banda 4 0,77-0,90 µm	Banda 7 2,09-2,35 µm
OLI/8	Banda 3 0,533- 0,590 µm	Banda 4 0,636-0,673 µm	Banda 5 0,851-0,879 µm	Banda 7 2,107- 2,294 µm

O banco de dados de polígonos de cicatrizes foi utilizado para avaliar os padrões espaciais e temporais de área queimada. Trabalhou-se com polígonos maiores a 5 ha para evitar erros de omissão. A dinâmica espacial foi analisada para a área de estudo como um todo e de forma separada para cada parque e o corredor ecológico para que seja utilizado para os devidos fins de manejo. Já que as queimadas externas nas bordas dos parques podem afetar o interior, foram analisadas as áreas queimadas dos parques com um entorno de 2 km de raio. A dinâmica temporal foi analisada por mês, ano e estação.

3.2.2.2 Classificação das estações climáticas

Os fogos foram classificados em estações segundo a sua data de ocorrência. Para isso, foi utilizada a caracterização das estações secas e chuvosas feita por Sparacino *et al.* (2019) para a mesma área de estudo. Os autores, baseados em Liebmann *et al.* (2007), separaram as estações chuvosas (EC) e secas (ES) utilizando a análise de acumulação anômala, que é uma quantidade construída para identificar as variações na precipitação diária. Logo, a estação seca foi subdividida para diferenciar entre três períodos segundo Alves e Pérez-Cabello (2017): estação seca inicial, média e tardia. O período com maior quantidade de dias

consecutivos com precipitações diárias menores a 5 mm foi identificado como a estação seca média (ESM), e o resto dos dias ao começo e ao final da estação seca como a estação seca inicial (ESI) e estação seca tardia (EST), respectivamente. Os detalhes desta classificação das estações e outras análises climáticas para a área de estudo foram descritas por Sparacino *et al.* (2019).

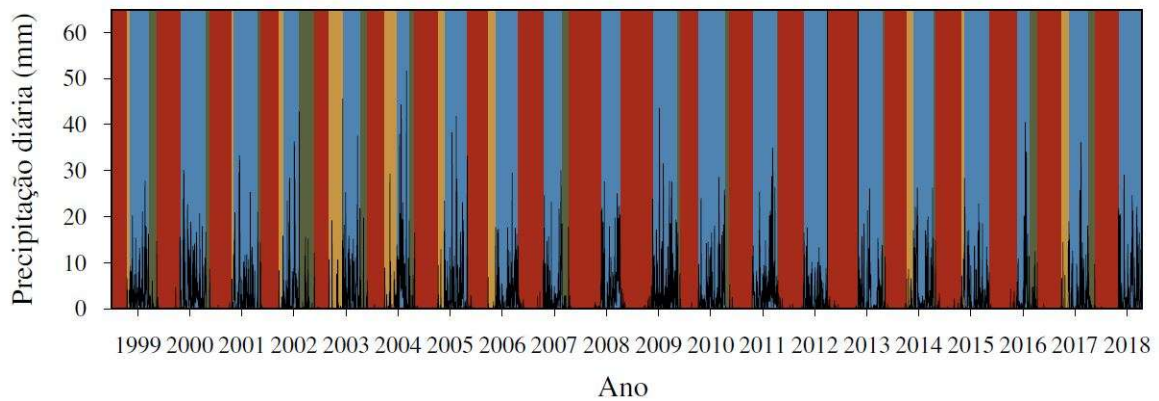


Figura 3.4. Precipitação diária e classificação das estações desde 1999 até 2017 no Mosaico Capivara-Confusões. Estação seca inicial (ESI) está em cor verde; estação seca média (ESM) está em cor vermelho; estação seca tardia (EST) está em cor amarelo; estação chuvosa (EC) está em cor azul. Estações I, M e T juntas representam a estação seca (ES) completa.

A sazonalidade do período completo está representada na Fig. 3.4, onde estão identificadas a estação chuvosa e as três sub-estações secas. Cada polígono de cicatriz foi associado com sua respectiva estação segundo a data de ocorrência do fogo previamente atribuída. A resolução temporal e, portanto, a precisão desta classificação em estações depende da disponibilidade das imagens de satélite (menor tempo entre imagens é 8 dias).

Dado que a atribuição da data do fogo corresponde a sua primeira visualização, sua data de ocorrência genuína pode ter sido qualquer uma entre o dia depois da imagem prévia disponível e o dia da imagem na qual a cicatriz foi vista por primeira vez. Se a data da imagem anterior corresponde à mesma estação na qual o fogo foi identificado, a classificação da estação é determinada inequivocamente, este foi o caso em 84 % das cicatrizes. Por outro lado, 16 % dos fogos ocorreram perto de uma transição de estações, quer dizer, a imagem anterior pertence a uma estação diferente e portanto sua estação correspondente não pode ser determinada inequivocamente. Esses casos foram distribuídos desta forma: 0,02 % associados à ESI, 0,45 % à ESM, 8,74 % à EST, e 7,10 % à EC.

Na sequência da aquisição da classificação sazonal dos fogos foram desenvolvidos mapas da distribuição espacial das cicatrizes segundo a estação ao longo dos anos. Estes mapas foram utilizados para um melhor entendimento dos padrões e as condições de cada fogo, sua proximidade aos parques, e a sazonalidade dos fogos.

3.2.2.3 Avaliação do mapa de recorrência de fogo e índices espectrais

Para a compilação do mapa de recorrência de fogo foram, em primeiro lugar, construídos mapas anuais a partir do banco de dados de cicatrizes de fogo, e em seguida, cada um destes mapas foi transformado em uma grade regular de células quadradas. Trabalhou-se com células de 210 m de resolução espacial, por este ser múltiplo da resolução do pixel Landsat (30 m), sendo escolhida em decorrência da eficiência computacional. Cada célula recebeu um valor singular entre 0 (não queimado) e 1 (completamente queimado), que corresponde à proporção da célula coberta por uma cicatriz de fogo. Os valores menores a 0,2 foram transformados a 0 (não queimado) e os maiores ou iguais a 0,2 foram transformados a 1 (queimado). Desta forma, o parâmetro de ocorrência associado a cada célula da grade foi calculado como o número de anos com valores 1 (fogos).

Para estimar a resposta da vegetação ao fogo foi analisada a evolução ao longo do tempo do *NDVI* (Normalized Difference Vegetation Index, Rouse *et al.*, 1974). Do banco de dados foi identificado um polígono de dez células contíguas (44,1 ha) ao nordeste dos limites do PNSCo. O polígono selecionado foi queimado completamente em seis oportunidades durante o período estudado, em 2001, 2003, 2005, 2007, 2009 e 2012. Outros quatro polígonos das mesmas dimensões e de topografia similar que não queimaram durante o período de estudo (segundo nossa base de dados) foram utilizados como controles. O *NDVI* foi calculado segundo a equação:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}$$

onde ρ representa os valores de refletância para cada banda utilizada (ver Tabela 3.2 para o detalhe das bandas), e foram extraídos valores médios de *NDVI* para cada polígono ao longo do período, utilizando nosso banco de dados de imagens Landsat. Para reduzir as variações fenológicas devido à sazonalidade, foi analisado o Q_{NDVI} , que é o quociente entre o *NDVI* da área queimada e das áreas de controle (Díaz-Delgado *et al.*, 2003), calculado como:

$$Q_{NDVI} = \frac{NDVI_{\text{queimado}}}{NDVI_{\text{controle}}}$$

Para definir o valor do controle, foram utilizados valores médios entre os quatro polígonos de controle. Se algum dos polígonos em uma determinada imagem esteve coberto por aerossóis, nuvens ou sombra de nuvens, a imagem foi excluída da análise.

Foram utilizados os softwares Quantum-GIS 2.18.14 ‘Las Palmas’ (QGIS Development Team, 2018) para a compilação dos diferentes mapas, TerraView 4.2.2 (INPE,

2013) para o cálculo do parâmetro de recorrência, e R 3.5.1 (R Core Team, 2018), com os pacotes 'rgdal' (Bivand *et al.*, 2015) e 'raster' (Hijmans, 2018), para a geração das imagens falsa cor, o cálculo dos índices espectrais e análises estatísticos.

3.3 Resultados e discussão

3.3.1 Padrões anuais de área queimada

De 1999 a 2017, a área queimada no Mosaico Capivara-Confusões (MCC) e entorno foi 1.056.764 ha distribuídos em 4.824 cicatrizes de fogo (Tabela 3.3). Desse total, 880.629 ha queimaram pelo menos uma vez, representando 40 % da área de estudo, esta extensão queimada tem uma significância crucial no que concerne a estas áreas protegidas. Foi registrada uma leve diminuição na área queimada total depois da criação de áreas protegidas no Cerrado da região central do Brasil (Área de Proteção Ambiental Morro da Pedreira, ver Alvarado *et al.*, 2017), mas não se pode fazer uma análise da eficiência do MCC porque o período estudado foi posterior à criação dos parques.

A área queimada anual foi bem diferente entre os 19 anos considerados. Entre os anos que tiveram menos e mais área queimada, teve duas ordens de magnitude de diferença. Os anos 2015 e 2010 foram os que tiveram maior área queimada, com 188.452 e 174.553 ha, respectivamente; seguidos por 2012 (107.197 ha), 2007 (106.452 ha) e 2001 (84.275 ha) (Tabela 3.3 e Fig. 3.5). Ao contrário, os anos 2006, 2003 e 2014 registraram as menores áreas queimadas com 9.575, 13.893 e 13.156 ha, respectivamente.

A análise da área queimada anual demonstrou que os anos com maiores extensões queimadas foram sempre seguidos de anos com pouca área queimada (Fig. 3.5). Isto pode significar que de um ano para o outro, não há suficiente biomassa acumulada para agir como combustível para causar grandes incêndios porque já foi queimada. Segundo Alves e Pérez-Cabello (2017), a área queimada um ano controla e delimita a área que vai queimar no ano seguinte, provavelmente porque as cargas de combustível são limitados pela propagação do fogo do ano anterior. Essa tendência, no MCC, pode ser observada comparando os cinco anos que mais queimaram com seu ano próximo correspondente (2001-2002, 2007-2008, 2010-2011, 2012-2013, e 2015-2016, Fig. 3.5).

Tabela 3.3. Área (ha) e fração (%) de área queimada dividida por estação e categorizada nos Parques Nacionais, corredor e área de estudo total. A área dos parques apresentada é a que se encontra dentro da área de estudo delimitada, e portanto, é considerada para o cálculo das porcentagens junto com um entorno de 2 km (em parêntesis).

Área (ha)	PNSCa (2 km buffer)				PNSCo (2 km buffer)				Corredor Ecológico				Área de estudo					
	ES		EC		ES		EC		ES		EC		ES		EC			
	I	T	I	T	I	M	T	Total	I	M	T	Total	I	M	T	Total		
	114.091 (143.049)				690.823 (813.038)				397.706				2.213.643					
1999	509		509		133.501		247	13.748	7.184		467	7.65	50.251		944	51.195		
2000	15	40	55		2.413		388	2.801	5.3		859	6.16	24.635		3.768	28.403		
2001	309	164	473		6.797	12.175	597	19.569	510	5.76	5.607	11.877	19.293	54.332	10.649	84.275		
2002		9	9		200	5.933		6.133	90	4.873		4.963	8.431	30.449		38.88		
2003					17.25	623		2.348	840	443		1.283	7.005	6.887		13.893		
2004					4.385	2.195	744	7.324	769	2.248	918	3.936	26.861	13.938	2.994	43.793		
2005		95	95		201	10.655	427	11.283	618	4.323	783	5.723	4.29	33.441	2.038	39.769		
2006					414		50	464		1.717	496	2.213	6.04		3.535	9.575		
2007					25.125		11.444	36.569	20.619		993	21.612	93.645		12.806	106.452		
2008					11.211		208	11.419	4.876		710	5.586	21.319		1.076	22.395		
2009	8		8		65		667	732	347		2.42	2.767	2.238		15.299	17.537		
2010	381		381		52.547		58.068	53	45.49		1.721	47.264	53	162.909	11.591	174.553		
2011					4.722		3.062	7.784	390		1.414	1.804	14.421		5.574	19.995		
2012					9.439		13.459	22.898	7.091			7.091	90.856		16.341	107.197		
2013					1.114	542		1.656	2.609	2.766		5.375	7.583	10.027		17.61		
2014					2.173	3.475		5.648	1.519	25		1.544	8.514	4.642		13.156		
2015	187		187		79.503		79.503		56.695			56.695	188.452			188.452		
2016					2.346	3.479	1.947	7.771	10.806	4.817	1.807	17.43	40.42	11.394	7.212	59.026		
2017	339		339		6.926		6.926		4.744			4.744	20.606			20.606		
A. queimada (ha)	1.748	104	2.056		224.807	39.076	38.761	302.644	53	172.216	25.255	18.194	215.718	53	797.772	165.112	93.828	
%	-	1,22	,07	0,14	1,44	0	27,65	4,81	4,77	37,22	,0	44,42	6,51	4,69	55,64	,0	36,04	4,24

ES: estação seca; I: estação seca inicial; M: estação seca média; T: estação seca tardia; EC: estação chuvosa.

Além disso, é notório que aqueles anos com grandes extensões de área queimada aconteceram em intervalos de um ou dois anos, similar a alguns ambientes de Cerrado (Alvarado *et al.*, 2017; Alves e Pérez-Cabello, 2017). Este curto intervalo de retorno pode ser explicado pelas características intrínsecas dos ecossistemas tropicais, com altas taxas de recuperação e produção líquida (Field *et al.*, 1998). Devido a isto, existiria uma grande acumulação de biomassa no solo, proveniente das folhas senescentes, propensa ao fogo como combustíveis finos da serrapilheira. Nas florestas secas tropicais sazonais, a produção da biomassa ocorre durante a EC e aumenta com o incremento das quantidades de precipitações, sobretudo depois da ES (Martínez-Ramos *et al.*, 2018). Presume-se que a biomassa produzida durante a EC e não consumida por fogo na imediata ES, será acumulada junto com a nova biomassa gerada na seguinte EC, virando combustível com alta probabilidade de se queimar devido ao baixo conteúdo de umidade.

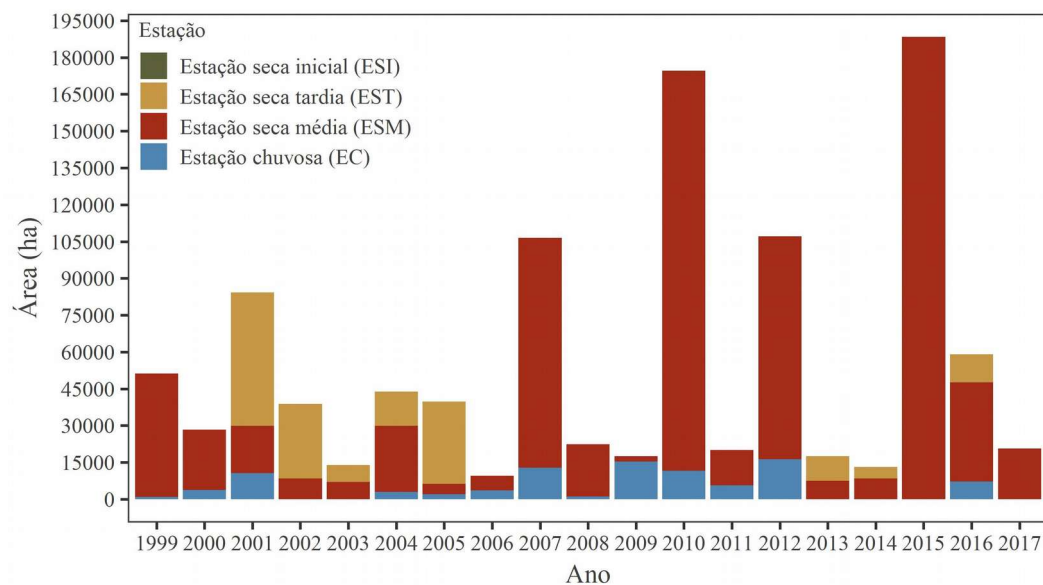


Figura 3.5. Distribuição anual da área queimada diferenciada por estação no MCC. A estação chuvosa dor identificada para cada ano climatológico, mas aquí é representado por totais de área queimada no ano calendário. As estações chuvosas são geralmente divididas se considerado o ano calendário, mas foram apilhadas juntos para uma melhor visualização.

A precipitação controla indiretamente a atividade do fogo pela produção de biomassa e, portanto, pela disponibilidade de combustível (Mayr *et al.*, 2018). Não achou-se uma relação entre a precipitação da EC e a área anual queimada do ano consecutivo (regressão linear simples, $p = 0,380$, $R^2 = 0,046$). Isto demonstra que a quantidade de biomassa produzida (em termos de quantidade de precipitação) não é o único parâmetro que vai definir a quantidade de área queimada durante a ES imediata, especialmente porque a precipitação vai determinar a umidade do combustível que limita a extensão dos fogos (Argañaraz *et al.*,

2018). Este é o caso do ano 2012 que teve grandes extensões de área queimada durante a ES (estação de ignição) apesar de sua baixa produção na EC (estação de crescimento). A precipitação da EC 2011-2012 foi a menor dos últimos 34 anos com 433 mm (Sparacino *et al.*, 2019), como resultado de uma seca no Nordeste brasileiro. Mesmo que nessa região a redução das precipitações está associadas ao El Niño, a seca de 2011-2012 ocorreu excepcionalmente durante La Niña, que normalmente está associada a um incremento nas precipitações (Marengo *et al.*, 2017; Rodrigues e McPhaden, 2014).

Encontrou-se um padrão repetido que poderia explicar as grandes dimensões de área queimada de alguns anos, que envolve três anos consecutivos. Primeiramente, todas as ECs com precipitações acima da média foram seguidas de uma ES com pouca área queimada. Mas quando depois dessa EC úmida continuava uma EC pobre com precipitação abaixo da média, detectou-se que a ES seguinte apresentava grandes extensões de área queimada. Isto pode ter sido o que aconteceu em 2012, com o combustível queimado nesse ano provavelmente gerado na EC de 2010-2011 que teve precipitação de 854 mm, maior que a média anual (749 mm). Então, 2011 foi um ano úmido que quase não queimou, e, portanto acumulou combustível; e a EC 2011-2012 foi especialmente seca com baixa produção e biomassa com baixa umidade, dando lugar às grandes extensões de área queimada na ES de 2012. Um padrão similar pode se encontrar entre os anos 1999 e 2001, quando a biomassa queimada em 2001, produzida durante a EC úmida de 1999-2000, foi presumivelmente seca por causa da EC pobre de 2000-2001. O mesmo padrão foi achado começando na estação chuvosa úmida de 2008-2009 que teve como consequência a grande área queimada em 2010.

A área queimada em 2007 pode estar relacionada à acumulação de biomassa produzida nas estações chuvosas úmidas de 2002-2003, 2003-2004 e 2004-2005, com provável alta produtividade e alto conteúdo de umidade na biomassa. Seguindo este período, uma seca associada a El Niño ocorreu em 2005 e resultou nos dois anos secos precedendo ao mais queimado 2007. No entanto, este padrão de acumulação de biomassa devido às altas taxas de precipitação não esteve presente durante os últimos anos estudados, isto pode dever-se ao fato de que desde 2012 até 2016 o Nordeste brasileiro sofreu uma seca de longo prazo. Foi considerada uma das secas mais severas e alguns autores explicam sua relação com eventos de La Niña (2011-2012) e El Niño (2015) ENSO (Marengo *et al.*, 2017; Barbosa *et al.*, 2019), que são também foram descritos por Chen *et al.* (2017) como impulsores do fogo. Estes fenômenos causaram uma redução na precipitação e um aumento no número de dias secos consecutivos (Sparacino *et al.*, 2019), pelo que o alto nível de área queimada em 2015 pode ser explicado devido à acumulação gradual de biomassa acumulada como serrapilheira que

esteve particularmente seca (devido às baixas precipitações nos anos anteriores) durante a ES de 2015.

3.3.2 Distribuição espacial e sazonal da área queimada

A área que queimou dentro do MCC representou aproximadamente a metade da área total queimada na área de estudo desde 1999 até 2017, correspondendo a outra metade à área que queimou no entorno (Tabela 3.3). É notável que a maioria dos fogos começou fora dos parques e se espalhou para dentro grande parte das vezes, especialmente quando localizados nas bordas ou no corredor. O PNSCo teve um total de 302.644 ha queimados, com a maior cicatriz de fogo de 55.423 ha em 2015. Durante a inspeção visual das imagens, esse fogo foi visto crescendo com focos ativos em três pontos de ignição diferentes. A primeira detecção da cicatriz foi na imagem do dia 22 de agosto e manteve-se crescendo durante nove imagens até o dia 02 de novembro, sua área total foi obtida pela soma da superfície das cicatrizes separadas. O PNSCa teve 2.056 ha queimados, a maioria durante 1999, 2001, 2010 e 2017. As cicatrizes maiores nesse parque foram sempre de aproximadamente 300 ha. Finalmente, o corredor teve 215.718 ha queimados, com os dois maiores fogos em 2010 (15.692 ha) e em 2015 (14.070 ha).

Apesar disso, o maior contribuinte para a área queimada no MCC foi o PNSCo, talvez devido às suas grandes dimensões (Tabela 3.3). Algumas cicatrizes foram detectadas completamente dentro dos limites desse parque, sugerindo que existem algumas atividades que conduzem as ignições internamente aos seus limites, que podem advir do uso do fogo para cozinhar durante acampamento de caça ilegal, do seu uso para a colheita de mel silvestre, ou a queima intencional da terra para o cultivo do solo. Evidências deste tipo de atividades foram detectadas durante as campanhas de campo onde houve episódios de encontros com caçadores e visualizações de remanescentes de fogueiras, uma prática já descrita por Moura, L. (2005). Junto a isso, as estradas de terra do PNSCo são pouco conservadas e apresentam buracos, voçorocas e árvores atravessando a estrada, o que dificulta o acesso para o combate dos fogos. Caso contrário foi observado no PNSCa, onde as instituições envolvidas no manejo parecem ser mais efetivas nos seus esforços de conservação, pois tem muito mais pessoal envolvido trabalhando em campo (Oliveira e Bernard, 2017) e existe um estrito controle em cada ingresso, resultando em uma área queimada menor. Vale mencionar que os fogos que acontecem dentro dos parques mobilizam as brigadas de fogo do ICMBio que envolve pessoal treinado empregado anualmente durante a ES para a manutenção das estradas, abertura de

aceiros e o combate dos incêndios.

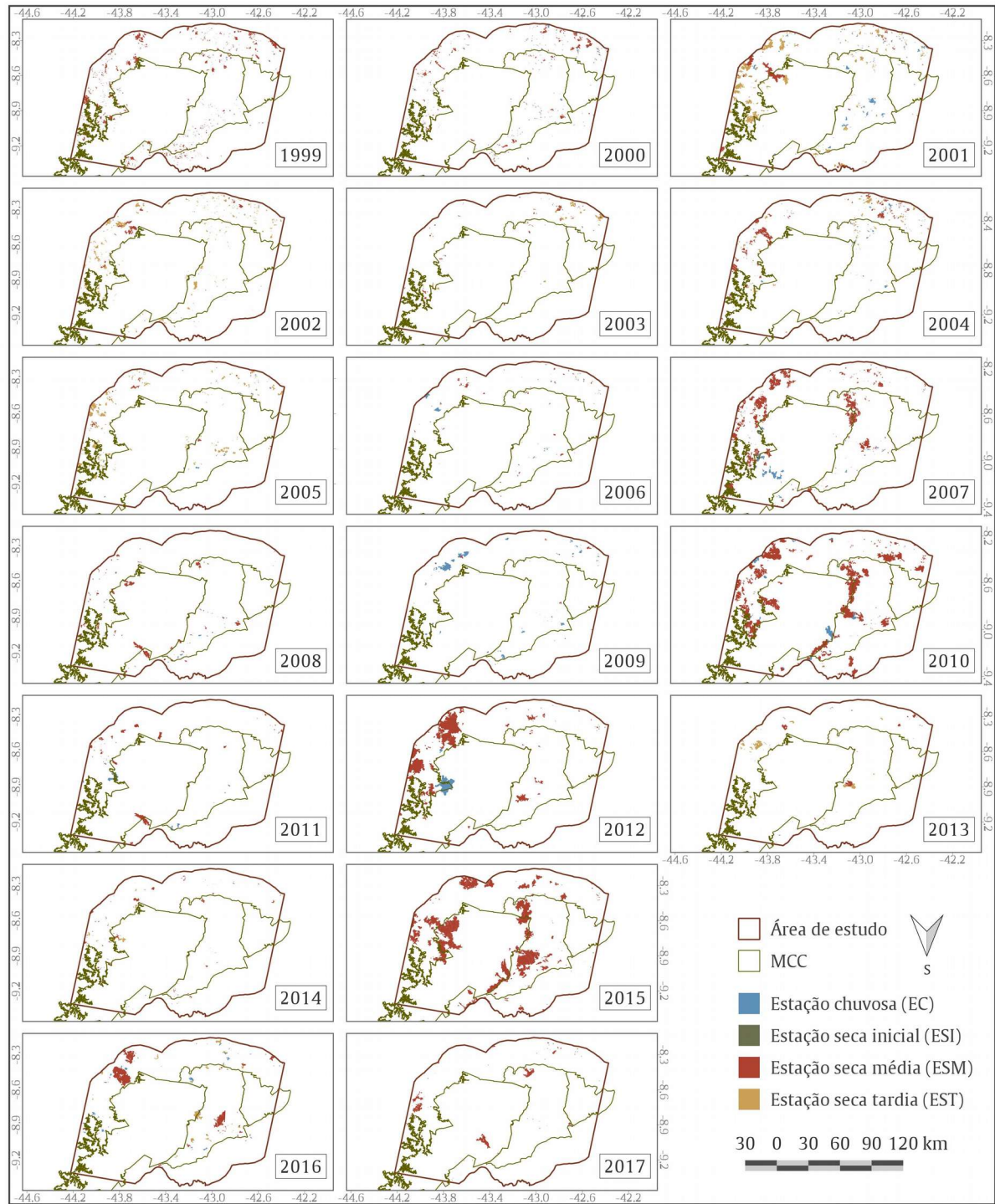


Figura 3.6. Mapas da distribuição anual e sazonal das cicatrizes de incêndio dentro da área de estudo desde 1999 até 2017 no Mosaico Capivara-Confusões (MCC). As áreas em branco representam setores não queimados durante cada ano.

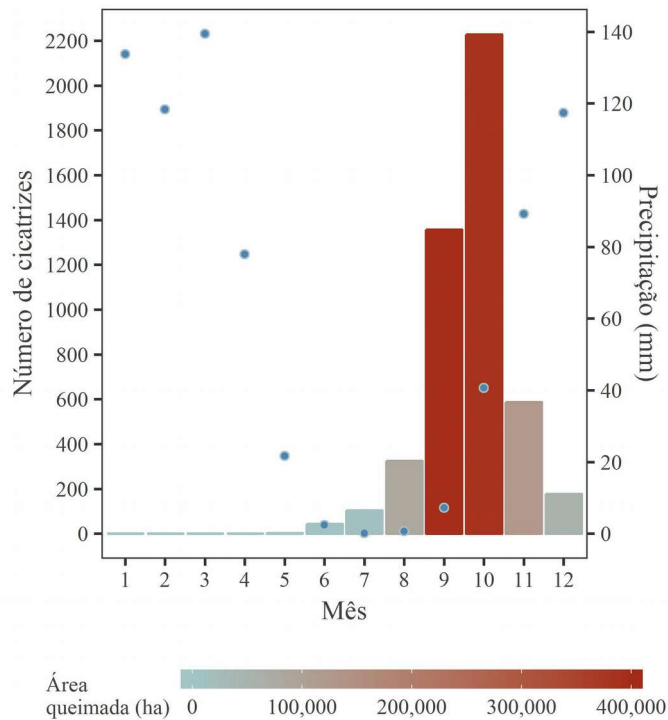


Figura 3.7. Relação entre a precipitação média mensal com a área queimada mensal e a quantidade mensal de cicatrizes desde 1999 até 2017 no MCC e entorno. Os pontos azuis representam a precipitação média mensal entre 1984 e 2018, as barras representam o número de cicatrizes por mês e o gradiente colorido representa a soma da área queimada por mes.

Proporcionalmente, o corredor foi o mais afetado pelo fogo com 56 % da sua área queimada. Os fogos que ocorreram no corredor foram provavelmente devidos à preparação da terra para o cultivo, pois o seu uso é empregado para limpar o material vegetal depois de cortado, uma prática conhecida como “corte e queima”. Quando é praticada perto dos limites do parque é provável que, dependendo da disponibilidade de combustível, a umidade do combustível e o tempo, o fogo se espalhe causando incêndios de grandes dimensões e dificilmente controláveis, como em 2017 perto ao PNSCa, ou os grandes fogos que ocorreram em 2015 no PNSCo. Por causa disso, o corredor parece não estar cumprindo com os seus propósitos de criação de maneira efetiva.

Os mapas anuais de distribuição espacial dos fogos classificados por estação podem ser vistos na Fig. 3.6. Estes mapas permitem uma análise visual do tamanho das cicatrizes, sua distribuição espacial ao longo das diferentes partes do MCC e entorno, e especialmente os padrões sazonais de ocorrência. Desta forma, pode-se visualizar que as maiores cicatrizes

ocorreram sempre durante a ESM, como a de grande extensão em 2015 no PNSCo, e as duas que ocorreram no corredor em 2010 e 2015, mencionadas anteriormente, e também no entorno em 2007, 2010, 2012, 2015 e 2016. Igualmente, a maior quantidade de área queimada ocorreu durante a ESM para cada ano em particular e em geral (~3.000 fogos e 797.772 ha) (Tabela 3.3 e Fig. 3.5). Exceções ocorreram em 2001, 2002, 2005 e 2013 onde a maior área queimada foi durante a EST e em 2009 com a maior área queimada durante a EC.

Como o esperado, o período mais seco de cada ano, com precipitações diárias abaixo de 5 mm, favoreceu a ocorrência da maioria das ignições (Fig. 3.5 e 3.6), como já foi reportado para outros ecossistemas (Alves e Pérez-Cabello, 2017), e pode ser devido ao baixo conteúdo de umidade da biomassa acumulada. A ESM estendeu-se mais (~165 dias de duração média anual) do que as outras ES pelos 19 anos estudados (Fig. 3.4). Porém, exceções foram detectadas nos anos de 2002 e 2003, quando as ESI, ESM e EST tiveram durações similares. Mas mesmo assim, ainda não há uma correlação significativa entre a duração da ESM e a área queimada anual ($p = 0,225$, $R^2 = 0,085$), e os anos com maior área queimada tiveram ESM intermédia ou de longa duração (2007, 2012 e 2015, duraram 224, 219 e 195 dias, respectivamente).

A marcada sazonalidade da área é refletida no fato que a ESI e a EST, os dois estágios de transição entre o período mais seco e o mais úmido do ano, estão ausentes em vários anos dos considerados (Fig. 3.4). Os anos 2005, 2006, 2008, 2012 e 2015 não tiveram ESI e 2011 teve uma muito curta com cinco dias de duração (os outros anos durou mais de 15 dias, ~40 dias de duração média), geralmente podendo começar entre fevereiro/maio e durar até abril/junho. Ao contrário, só nove anos apresentaram EST com aproximadamente 46 dias de duração média (2000-2005, 2013, 2014 e 2016), que pode durar até outubro/novembro, excepcionalmente até dezembro (Fig. 3.4). Os anos 2006, 2008, 2012 e 2015 apresentaram só ESM. Isto não pode ser diretamente associado a maior área queimada, enquanto 2012 e 2015 apresentaram grandes áreas queimadas, 2006 e 2008 foram pouco queimados.

Durante a ESI quase não houve cicatrizes de incêndios. Só um singular e pequeno (53 ha) evento de fogo ocorreu em 2010 no corredor ecológico (Tabela 3.3 e Fig. 3.6). Apesar de sua curta duração, os atenuados níveis de chuva parecem ser suficientes para manter a biomassa úmida durante esta estação, prevenindo a ocorrência de fogos (Fig. 3.7). Hoffmann *et al.* (2012) também acharam que os fogos que ocorrem durante a ESI no Cerrado brasileiro são raramente grandes devido à alta umidade e à ausência de uma contínua camada de pastos nas áreas de floresta. Também pode ser explicado pela ausência de eventos de ignição associados à prática de corte e queima durante esta estação, já que se encontra na etapa na

qual a vegetação verde é cortada para se secar durante a próxima ES (Claval e de Freitas, 2007).

A EST foi a segunda mais queimada (165.112 ha), depois da ESM. Parece razoável que comparando os dois estágios de transição, a EST tenha se representado a mais propensa ao fogo, desde que a seca acumulada durante a estação prévia não pode ser contrabalançada pelas precipitações que começaram a cair (Fig. 3.7). A EC, que é a mais úmida, apresentou um total de 93.828 ha queimados com maioria de cicatrizes pequenas, com a única exceção no ano 2012 com uma grande cicatriz maior que 10.000 ha (Fig. 3.6). Desta forma, a EC resultou ser só um pouco menos propensa ao fogo do que a EST (a porcentagem da área de estudo queimada para cada estação foi: 4,24 % e 7,46 %, respectivamente; Tabela 3.3).

Deve ser salientado que os fogos detectados na EC ocorreram em sua maioria no começo desta estação, entre novembro e dezembro (Fig. 3.7), quando a vegetação encontra-se ainda presumivelmente seca (situação similar à da EST). Ademais, de janeiro até maio (EC) não houve detecção de novas cicatrizes de fogo e só ficaram visíveis as que aconteceram o ano anterior. Os fogos frequentemente começam em junho (ES) e sua ocorrência estende-se até novembro ou dezembro (começo da EC, Fig. 3.7). Setembro é o mês no que começa a chover, mas com taxas baixas, enquanto de outubro a dezembro as precipitações aumentam progressivamente até março, quando começa a diminuir junto com o começo da ES (Sparacino *et al.*, 2019). A maioria dos fogos ocorreu entre setembro e novembro, com o pico máximo em outubro. Isto sugere que a biomassa produzida durante a EC precisa pelo menos quatro meses sem chuvas para ficar o suficientemente seca para virar combustível propenso a se queimar.

3.3.3 Mapa da recorrência de fogo

O mapa de recorrência de fogo é apresentado na Fig. 3.8, a qual diferentes cores representam o número de fogos durante os 19 anos estudados. O parâmetro de recorrência variou entre um e dez, o que significa que as áreas mais queimadas tiveram um fogo aproximadamente a cada dois anos, e 25 % da área total queimada apresentou algum nível de recorrência. As áreas que queimaram entre sete e dez vezes foram proporcionalmente menores das que queimaram seis vezes ou menos. Uma interpretação preliminar destes resultados sugere que uma área que queimou, provavelmente queimará novamente com o passar dos anos. A biomassa morta e o carvão resultantes dos fogos podem atuar como combustível ainda mais propenso a se queimar. E de novo, pode-se reforçar a teoria, argumentada antes, sobre o

curto intervalo de retorno e a tendência de que grandes áreas queimadas estejam separadas dois ou mais anos.

De acordo com Lemes *et al.* (2014), o mapeamento de todas as cicatrizes juntas permite a descrição de padrões gerais da ocorrência/recorrência de fogo e sua associação com os diferentes parâmetros espaciais, com o fim de construir um mapa de risco. Por exemplo, todos os fogos nas proximidades do PNSCa queimaram só uma vez, pelo menos durante os anos estudados. Desses fogos (três deles foram visitados durante as campanhas de campo), geralmente foram observados perto de estradas e assentamentos, e foram provavelmente acidentais. O fogo de 2017 que aconteceu na esquina sul desse parque (Fig. 6) recebeu grande repercussão midiática e social e foram mobilizadas brigadas de incêndio, voluntários, aviões extintores e bombeiros para controlá-lo. Pessoal do PNSCo também contribuiu, mas, apesar disso, essa colaboração entre os parques nem sempre acontece.

O contrário ocorreu na área interior do PNSCo, na qual a recorrência de fogo alcançou quatro vezes. A maioria dos fogos que começou e acabou dentro dos limites do parque foram nas proximidades das estradas que o atravessam (Fig. 3.8), e pode ser interpretado como de ação antrópica. As estradas de terra geralmente acompanham o leito natural plano (*baixão*) que são rodeados por alcantilados, como os que ficam no limite sul do parque onde alguns fogos começaram perto de pequenas vilas, e pararam quando alcançaram os alcantilados contíguos (fogos de 2008 e 2011).

Fora do limite oeste do PNSCo, foram registradas várias áreas de alta recorrência de fogo. Esta área pertence a um ecossistema de ecótono entre Caatinga e Cerrado, e apesar que os fogos foram descritos como fenômenos naturais no Cerrado, nesta área de transição foram causados provavelmente por ações humanas. Durante os anos 2004, 2007, 2012 e 2016, os fogos que começaram nessa área não atingiram o parque, o que era de se esperar já que aconteceram durante a ESM, quando as maiores cicatrizes foram registradas (Fig. 3.6). Esta limitação espacial pode dever-se às características da topografia presente na área. No seu setor oeste, o PNSCo encontra-se localizado principalmente em um grande planalto (*chapada*), com limites abruptos nessa direção e sem vegetação aparente. Estas características particulares representam uma barreira natural que limita a propagação do fogo devido às diferenças de declividade. Em vez disso, outros fogos que afetaram o PNSCo nessa *chapada* provavelmente foram iniciados dentro do parque (e.g. 2001, 2010, 2012, 2015). A grande extensão de fogos que ocorreram em 2010 e 2015 ao sudeste do PNSCo durante a ESM espalhou-se cobrindo quase as mesmas regiões. Isto pode representar uma advertência para o risco que configura um intervalo de cinco anos para áreas queimadas de grandes dimensões.

Um padrão similar aconteceu no *baixão* norte do corredor que apresentou uma área com alta recorrência de fogo que foi ao longo das bordas do PNSCo e é limitada pela topografia (2007, 2010 e 2015), impedindo a propagação ao interior do parque. Desde que as áreas de *baixão* conservam a umidade nessa paisagem, são frequentemente utilizados como terras de cultivo, pelo que muitos fogos promovidos aí podem ter sido originados como consequência de fogos fora de controle, usados para o preparo da terra. Padrões similares foram encontrados na porção sul do corredor onde tem assentamentos localizados nas *chapadas* irregulares.

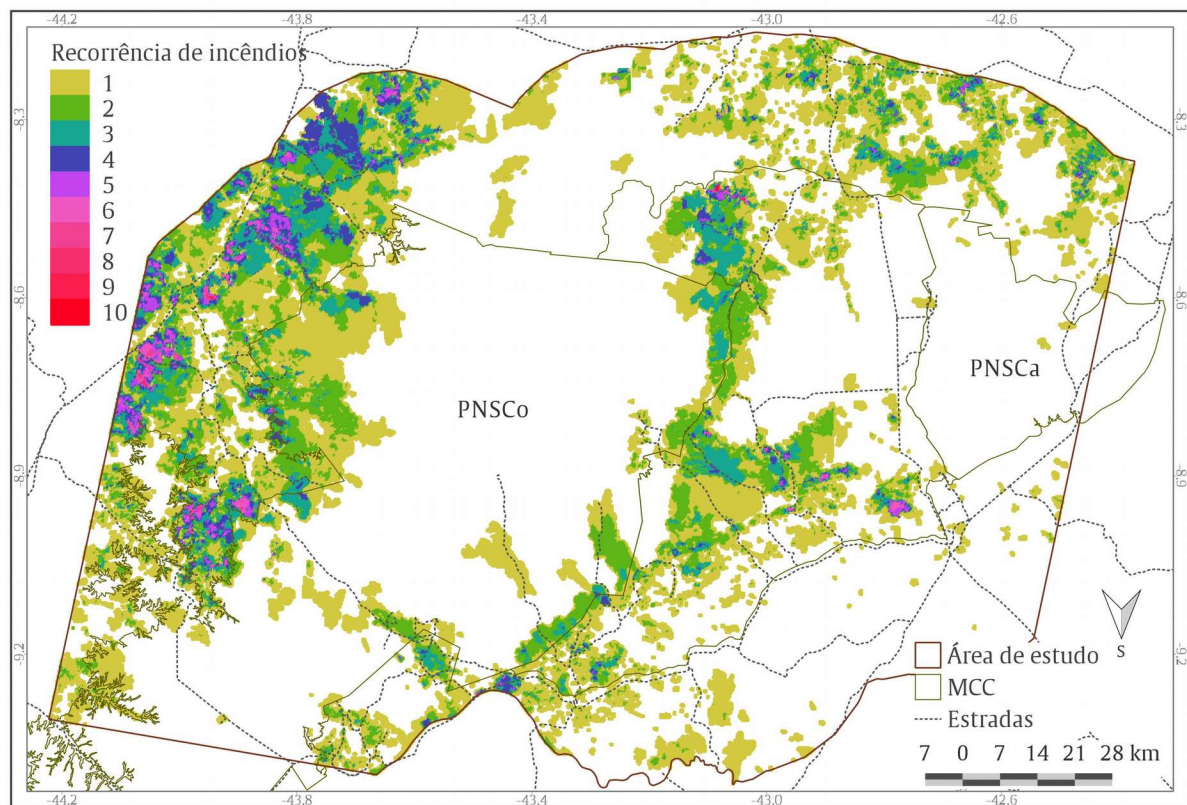


Figura 3.8. Mapa da recorrência de fogo desde 1999 até 2017 no Mosaico Capivara-Confusões e entorno. A paleta de cores representa o número de vezes que a mesma área foi queimada. As áreas brancas não queimaram durante o período. Foram utilizadas imagens Landsat 5 TM, 7 ETM+ e 8 OLI para a delimitação das áreas queimadas. A resolução dos pixels é representada por células quadradas de 210 m.

3.3.4 Resposta espectral

Na curva do *NDVI*, os valores apresentaram um padrão anual sazonal previsível com picos altos (durante a EC) e vales profundos (durante a ES) que pode ser interpretado no seu comportamento tipo sinusoidal na Fig. 3.9. Para sua construção foram utilizadas as imagens disponíveis de Landsat no período, por esta razão, a distância entre dois pontos consecutivos na curva não é sempre igual (ver Fig. 3.3 para a data das imagens). As maiores lacunas de

tempo são devidas às imagens de baixa qualidade na área amostrada, correspondendo à presença nuvens, sombra de nuvens ou aerossóis, que são comuns durante as estações chuvosas. Mesmo assim, os padrões sazonais continuam claros, exceto em 2011 e 2012, quando só imagens de um satélite estavam disponíveis. Os diagramas de caixa (*box-plots*) dos painéis da direita permitem a interpretação da variabilidade dos dados e a identificação dos valores extremos (*outliers*).

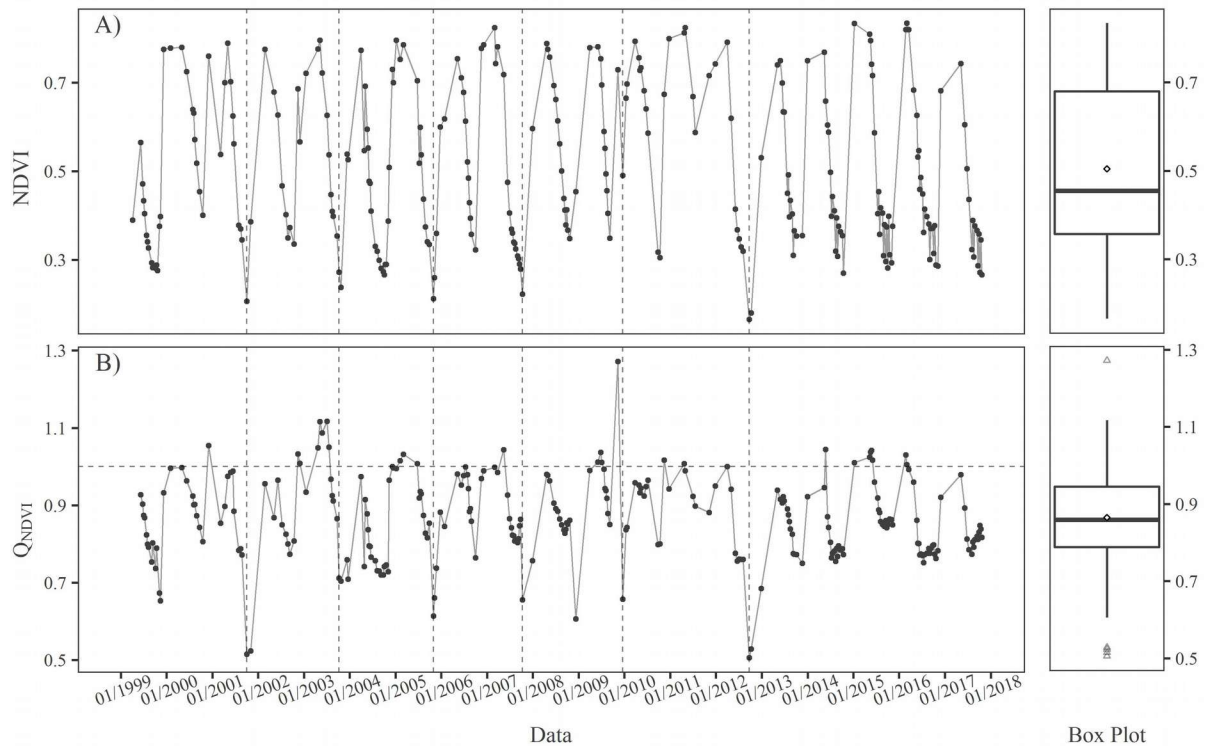


Figura 3.9. A) Representação dos valores $NDVI$ obtidos ao extrair as médias da área amostrada (44.1 ha) que queimou seis vezes, do banco de dados de imagens disponíveis; e B) representa o Q_{NDVI} , quociente entre os valores $NDVI$ extraídos da área queimada e a média de quatro áreas controle. As linhas intermitentes verticais atravessando os dois gráficos representam a data da imagem onde o fogo foi visto pela primeira vez. A linha horizontal em B) representa o valor do quociente 1. Os painéis da direita representam *box-plots* que correspondem a cada gráfico. Triângulos são os *outliers* e rombos são a média.

A cada ano com o começo da ES a curva de $NDVI$ para a área amostrada apresentou diminuições escalonadas (Fig. 3.9-A). Isto é explicado pela perda gradual da atividade fotossintética das plantas devido à senescência das folhas como reação à escassez de água. Depois de alcançado o valor mínimo e com a chegada das chuvas, a curva apresentou incrementos repentinos nos valores de $NDVI$ que ficaram como máximos até o próximo ciclo. Por um lado, fisiologicamente, isto pode ser atribuído à rápida resposta no recrutamento e produção de folhas com a chegada das chuvas na vegetação da Caatinga, favorecendo as condições para o desenvolvimento das plantas (Araújo *et al.*, 2007; Barbosa *et al.*, 2019). Barbosa *et al.* (2006), em um estudo de longo período do $NDVI$ no Nordeste do Brasil

sugeriram que as variações contrastantes nos valores podem refletir o efeito da variabilidade da precipitação na dinâmica da vegetação, e ser indicativo das mudanças ambientais.

A área amostrada foi completamente queimada em seis oportunidades e as datas dos eventos do fogo são indicados como linhas verticais intermitentes na Fig. 3.9. Todos os valores máximos de *NDVI* que ocorreram durante cada EC não apresentaram uma grande variação mesmo depois de ES com fogo. Aparentemente, os valores de *NDVI* saturam, então, a vegetação que se recupera depois do fogo apresenta uma resposta espectral similar durante as EC seguintes. Isto aconteceu mesmo depois de vários eventos de fogo entre médio ou maior tempo para se recuperar. De outra forma, a maioria dos vales que corresponderam às ES sem fogo ficou com valores acima dos eventos do fogo identificados anteriormente. O fogo de 2009 foi a única exceção, como ocorreu durante a EC, teve um valor intermediário entre as EC e ES.

A identificação dos eventos de fogo por meio da resposta espectral é mais clara quando é considerado o Q_{NDVI} (Fig. 3.9-B), porque parte das variações sazonais e fenológicas da vegetação são reduzidas quando comparado com o *NDVI*, ao fazer o quociente entre a área queimada e os controles apropriadamente selecionados (Díaz-Delgado *et al.*, 2003). Em uma situação ideal, quando a vegetação pré-fogo e as condições topográficas são similares entre as áreas queimadas e de controle, os valores de Q_{NDVI} deveriam oscilar perto de 1. Neste caso, como a área queimada ao redor da amostra foi muito grande, as áreas mais próximas não queimadas, selecionadas como controles, estiveram entre cinco e dez km de distância, e por isso pode ter diferenças com a vegetação, e também as chuvas podem ter ocorrido em diferentes momentos nas áreas amostradas. A topografia da área apresenta cânions escarpados com importantes diferenças na declividade, e alguns vales apresentam enclaves de vegetação de floresta semi-caducifólia. Portanto, a curva de Q_{NDVI} apresentou flutuações com alguns picos e vales diferentes de 1. Apesar disso, as datas quando os fogos ocorreram tiveram os vales mais profundos e foram facilmente reconhecíveis dentre os outros, incluso o fogo de 2009 que ocorreu durante a EC. Durante o final de dezembro de 2008 houve um vale marcado que não esteve relacionado ao fogo mas pode ser explicado pela chegada retardada da chuva à área amostrada ou a antecipação da chegada da chuva às áreas de controle. Finalmente, a maioria dos valores foi menor que 1, significando que a vegetação que é queimada recorrentemente é sempre menos verde que os controles, mais notória durante a ES, mesmo depois de vários anos sem fogo (três, quatro ou cinco anos sem fogo em 2015, 2016 e 2017, respectivamente). Isto pode indicar que a vegetação da Caatinga não atinge seu maior vigor depois de repetidos fogos, mesmo depois da supressão do fogo. Exceções aconteceram

durante algumas EC (curva por cima da linha intermitente, Fig. 3.9-B), particularmente durante dezembro de 2009 na imagem anterior à detecção do fogo durante a EC e na EC de 2003, uma das mais úmidas dos anos estudados (Sparacino *et al.*, 2019). Todos os fogos estiveram representados como *outliers* no *box-plot* da Fig. 3.9-B.

A análise da resposta espectral da área recorrentemente queimada demonstrou que os incêndios ocorreram em intervalos de um ano e nenhum fogo aconteceu em anos consecutivos desde 2001 até 2009. Em 2010 ocorreu um grande fogo ao redor da área amostrada, que ficou como uma ilha não queimada, e em 2011 nem essa área nem o entorno queimaram, mas queimaram completamente em 2012.

A resposta espectral da vegetação depois do fogo já foi estudada para diferentes ecossistemas. A savana e as florestas secas tropicais sazonais, que são frequentemente queimadas, reagem de forma diferente, já que a estrutura da vegetação varia de áreas de pastagem a florestas fechadas (e seus estados de transição), respectivamente. Barbosa *et al.* (2019) encontraram que a vegetação da Caatinga tem três meses de atraso entre as chuvas e a resposta do *NDVI* e nossos resultados provaram que imediatamente depois das chuvas que começam em outubro, os valores de *NDVI* aumentam e se mantiveram estáveis até maio, quando começam a decrescer novamente.

3.4 Conclusões

Neste artigo, foi apresentado pela primeira vez um banco de dados de cicatrizes de área queimada para o Mosaico Capivara-Confusões e para um ecossistema de transição Caatinga-Cerrado. Esta informação contribuiu na confirmação de que o fogo é uma realidade nas áreas protegidas de diferentes ambientes. Os padrões que foram encontrados permitem o entendimento dos regimes de fogo e da relação entre as dimensões da ocorrência do fogo e o clima. Apresentaram-se os padrões anuais e sazonais do fogo como também sua dinâmica de recorrência, e discutiram-se as diferentes interações entre precipitação, produtividade, umidade da biomassa, proximidade a estradas e assentamentos, eficiência das áreas protegidas, entre outros. Também foi introduzida a avaliação da resposta espectral do fogo da vegetação da Caatinga por meio do uso de índices de vegetação simples, como o *NDVI* e o quociente entre áreas queimadas e não queimadas (Q_{NDVI}).

Explorou-se a importância do monitoramento dos regimes de fogo por meio da integração de variáveis climáticas e de sensoriamento remoto em um ecótono Caatinga-Cerrado. A integração das imagens de satélite com dados meteorológicos terrestres permitiram

uma abordagem de longo prazo, com resolução espacial fina e em escala de paisagem. A disponibilidade das séries temporais de Landsat foi utilizada para cobrir um estudo de 19 anos e sua resolução de 30 m permitiu a identificação de pequenas áreas queimadas. Também, a informação fornecida por estes satélites ópticos foi utilizada para o estudo da resposta espectral para o entendimento da dinâmica da vegetação. A utilização dos dados de precipitação diária das estações meteorológicas locais foi uma aproximação efetiva para descrever a heterogeneidade climática interanual e sazonal. Os estudos relacionando o fogo com dados climáticos são de grande interesse, já que o clima é um dos principais determinantes da atividade do fogo, porque limita a produção de biomassa e sua secura.

Foi feita uma abordagem da interação entre fenômenos climáticos distintivos e os regimes de fogo para encontrar influências que possam fazer os fogos mais previsíveis para reduzir sua incidência ou melhorar decisões de manejo. Incentiva-se novos estudos que inspecionem outras variáveis climáticas e de tempo para um melhor entendimento dos fogos de grandes dimensões e a melhora nas práticas de combate do fogo. A base de dados de área queimada gerada aqui, e a descrição do regime de fogo e a resposta espectral, podem assistir a estudos sobre a dinâmica pós-fogo da vegetação da Caatinga que até agora foi pouco explorada, como a análise da resposta da vegetação ao fogo e à recorrência fogo, estratégias de regeneração ou o efeito do fogo na estrutura e biodiversidade florística da vegetação.

Finalmente, a identificação das regiões com alta recorrência de fogo nestas duas áreas protegidas e o entorno, poderão contribuir para a implementação de políticas preventivas e ferramentas de manejo. Particularmente, poderia ajudar na proteção de sítios arqueológicos que podem estar em risco de perder suas evidências devido aos fogos.

Agradecimentos

Este trabalho foi levado a cabo dentro do projeto “Diagnóstico da ocorrência de incêndios florestais nos Parques Nacionais da Serra da Capivara e da Serra das Confusões, Piauí, Brasil”, financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, [processo 421178/2017-5]. Agradecemos ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) pela licença para pesquisa e à Fundação Museu do Homem Americano (FUMDHAM) por prover material digital. DSA recebeu uma bolsa de mestrado de PAEC/OEA. JS recebeu uma bolsa do CNPq.

Referências

- Alvarado, S.T., Fornazari, T., Cóstola, A., Morellato, L.P.C., Silva, T.S.F., 2017. Drivers of fire occurrence in a mountainous Brazilian cerrado savanna: Tracking long-term fire regimes using remote sensing. *Ecol. Indic.* 78, 270–281. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.02.037>
- Alves, D.B., Pérez-Cabello, F., 2017. Multiple remote sensing data sources to assess spatio-temporal patterns of fire incidence over Campos Amazônicos Savanna Vegetation Enclave (Brazilian Amazon). *Sci. Total Environ.* 601–602, 142–158. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.194>
- ANA-Agencia Nacional das Águas, 2017. Available online: <http://snirh.gov.br/> (accessed on 13 September 2017)
- Araújo, E. de L., de Castro, C.C., de Albuquerque, U.P., 2007. Dynamics of brazilian caatinga: a review concerning the plants environment and people. *Functional Ecosystems and communities*, Global Science Books, 1(1), 15-28.
- Archibald, S., Lehmann, C.E.R., Belcher, C.M., Bond, W.J., Bradstock, R.A., Daniau, A.-L., Dexter, K.G., Forrester, E.J., Greve, M., He, T., Higgins, S.I., Hoffmann, W.A., Lamont, B.B., McGlenn, D.J., Moncrieff, G.R., Osborne, C.P., Pausas, J.G., Price, O., Ripley, B.S., Rogers, B.M., Schwilk, D.W., Simon, M.F., Turetsky, M.R., Van der Werf, G.R., Zanne, A.E., 2018. Biological and geophysical feedbacks with fire in the Earth system. *Environ. Res. Lett.* 13, 033003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa9ead>
- Archibald, S., Lehmann, C.E.R., Gomez-Dans, J.L., Bradstock, R.A., 2013. Defining pyromes and global syndromes of fire regimes. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 110, 6442–6447. <https://doi.org/10.1073/pnas.1211466110>
- Archibald, S., Roy, D.P., van WILGEN, B.W., Scholes, R.J., 2009. What limits fire? An examination of drivers of burnt area in Southern Africa. *Glob. Change Biol.* 15, 613–630. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01754.x>
- Argañaraz, J.P., Landi, M.A., Scavuzzo, C.M., Bellis, L.M., 2018. Determining fuel moisture thresholds to assess wildfire hazard: A contribution to an operational early warning system. *PLOS ONE* 13, e0204889. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204889>
- Argañaraz, J.P., Pizarro, G.G., Zak, M., Bellis, L.M., 2015. Fire Regime, Climate, and Vegetation in the Sierras de Córdoba, Argentina. *Fire Ecol.* 11, 55–73. <https://doi.org/10.4996/fireecology.1101055>
- Barbosa, H.A., Huete, A.R., Baethgen, W.E., 2006. A 20-year study of NDVI variability over the Northeast Region of Brazil. *J. Arid Environ.* 67, 288–307. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.02.022>
- Barbosa, H.A., Lakshmi Kumar, T.V., Paredes, F., Elliott, S., Ayuga, J.G., 2019. Assessment of Caatinga response to drought using Meteosat-SEVIRI Normalized Difference Vegetation Index (2008–2016). *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 148, 235–252. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.12.014>
- Bastarrika, A., Alvarado, M., Artano, K., Martinez, M., Mesanza, A., Torre, L., Ramo, R., Chuvieco, E., 2014. BAMS: A Tool for Supervised Burned Area Mapping Using Landsat Data. *Remote Sens.* 6, 12360–12380. <https://doi.org/10.3390/rs61212360>
- Bastarrika, A., Barrett, B., Roteta, E., Akizu, O., Mesanza, A., Torre, L., Anaya, J.A., Rodriguez-Montellano, A., Chuvieco, E., 2018. Mapping Burned Areas in Latin America from Landsat-8 with Google Earth Engine. <https://doi.org/10.20944/preprints201805.0480.v1>

- Bastarrika, A., Chuvieco, E., Martín, M.P., 2011. Mapping burned areas from Landsat TM/ETM+ data with a two-phase algorithm: Balancing omission and commission errors. *Remote Sens. Environ.* 115, 1003–1012. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.12.005>
- Bivand, R., Keitt, T., Rowlingson, B., Pebesma, E., Sumner, M., & Hijmans, R., 2015. *rgdal: Bindings for the Geospatial Data Abstraction Library 2017*. R package version 0.8-13.
- Bond, W., Keeley, J., 2005. Fire as a global ‘herbivore’: the ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends Ecol. Evol.* 20, 387–394. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.04.025>
- Bond, W.J., Woodward, F.I., Midgley, G.F., 2004. The global distribution of ecosystems in a world without fire. *New Phytol.* 165, 525–538. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01252.x>
- Bowman, D. M., Balch, J. K., Artaxo, P., Bond, W. J., Carlson, J. M., Cochrane, M. A., Johnston, F. H., 2009. Fire in the Earth system. *Science*, 324(5926), 481-484. <https://doi.org/10.1126/science.1163886>
- Bowman, D.M.J.S., Balch, J., Artaxo, P., Bond, W.J., Cochrane, M.A., D’Antonio, C.M., DeFries, R., Johnston, F.H., Keeley, J.E., Krawchuk, M.A., Kull, C.A., Mack, M., Moritz, M.A., Pyne, S., Roos, C.I., Scott, A.C., Sodhi, N.S., Swetnam, T.W., 2011. The human dimension of fire regimes on Earth: The human dimension of fire regimes on Earth. *J. Biogeogr.* 38, 2223–2236. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2011.02595.x>
- Bradstock, R.A., 2010. A biogeographic model of fire regimes in Australia: current and future implications: A biogeographic model of fire in Australia. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 19, 145–158. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2009.00512.x>
- Cardozo, F., Pereira, G., Shimabukuro, Y., Moraes, E., 2014. Analysis and Assessment of the Spatial and Temporal Distribution of Burned Areas in the Amazon Forest. *Remote Sens.* 6, 8002–8025. <https://doi.org/10.3390/rs6098002>
- Chen, Y., Morton, D.C., Andela, N., van der Werf, G.R., Giglio, L., Randerson, J.T., 2017. A pan-tropical cascade of fire driven by El Niño/Southern Oscillation. *Nat. Clim. Change* 7, 906–911. <https://doi.org/10.1038/s41558-017-0014-8>
- Chuvieco, E., Yue, C., Heil, A., Mouillot, F., Alonso-Canas, I., Padilla, M., Pereira, J.M., Oom, D., Tansey, K., 2016. A new global burned area product for climate assessment of fire impacts. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 25, 619–629. <https://doi.org/10.1111/geb.12440>
- Claval, P., de Freitas, I.A., 2007. Seasonality in Brazil: Rain, Mud and Drought, in: Palang, H., Sooväli, H., Printsman, A. (Eds.), *Seasonal Landscapes*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 61–83. https://doi.org/10.1007/1-4020-4990-0_3
- Collevatti, R.G., Terribile, L.C., de Oliveira, G., Lima-Ribeiro, M.S., Nabout, J.C., Rangel, T.F., Diniz-Filho, J.A.F., 2013. Drawbacks to palaeodistribution modelling: the case of South American seasonally dry forests. *J. Biogeogr.* 40, 345–358. <https://doi.org/10.1111/jbi.12005>
- Dal Vechio, F., Teixeira Jr., M., Recoder, R.S., Rodrigues, M.T., Zaher, H., 2016. The herpetofauna of Parque Nacional da Serra das Confusões, state of Piauí, Brazil, with a regional species list from an ecotonal area of Cerrado and Caatinga. *Biota Neotropica* 16. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2015-0105>
- Daldegan, G., de Carvalho, O., Guimarães, R., Gomes, R., Ribeiro, F., McManus, C., 2014. Spatial Patterns of Fire Recurrence Using Remote Sensing and GIS in the Brazilian Savanna: Serra do Tombador Nature Reserve, Brazil. *Remote Sens.* 6, 9873–9894. <https://doi.org/10.3390/rs6109873>

- Díaz-Delgado, R., Lloret, F., Pons, X., 2003. Influence of fire severity on plant regeneration by means of remote sensing imagery. *Int. J. Remote Sens.* 24, 1751–1763. <https://doi.org/10.1080/01431160210144732>
- Dinerstein, E., Olson, D., Joshi, A., Vynne, C., Burgess, N.D., Wikramanayake, E., Hahn, N., Palminteri, S., Hedao, P., Noss, R., Hansen, M., Locke, H., Ellis, E.C., Jones, B., Barber, C.V., Hayes, R., Kormos, C., Martin, V., Crist, E., Sechrest, W., Price, L., Baillie, J.E.M., Weeden, D., Suckling, K., Davis, C., Sizer, N., Moore, R., Thau, D., Birch, T., Potapov, P., Turubanova, S., Tyukavina, A., de Souza, N., Pintea, L., Brito, J.C., Llewellyn, O.A., Miller, A.G., Patzelt, A., Ghazanfar, S.A., Timberlake, J., Klöser, H., Shennan-Farpón, Y., Kindt, R., Lillesø, J.-P.B., van Breugel, P., Graudal, L., Voge, M., Al-Shammari, K.F., Saleem, M., 2017. An Ecoregion-Based Approach to Protecting Half the Terrestrial Realm. *BioScience* 67, 534–545. <https://doi.org/10.1093/biosci/bix014>
- Eidenshink, J., Schwind, B., Brewer, K., Zhu, Z.-L., Quayle, B., Howard, S., 2007. A Project for Monitoring Trends in Burn Severity. *Fire Ecol.* 3, 3–21. <https://doi.org/10.4996/fireecology.0301003>
- Eiten, G., 1972. The cerrado vegetation of Brazil. *Bot. Rev.* 38, 201–341. <https://doi.org/10.1007/BF02859158>
- Empeaire, L., 1989. Végétation et gestion des ressources naturelles dans la Caatinga du Sud-Est du Piauí (Brésil) Doctorat d'Etat ès Sciences Naturelles, Université Pierre et Marie Curie. Paris, 378p.
- Feeley, K.J., Gillespie, T.W., Terborgh, J.W., 2005. The Utility of Spectral Indices from Landsat ETM+ for Measuring the Structure and Composition of Tropical Dry Forests¹. *Biotropica* 37, 508–519. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2005.00069.x>
- Field, C.B., 1998. Primary Production of the Biosphere: Integrating Terrestrial and Oceanic Components. *Science* 281, 237–240. <https://doi.org/10.1126/science.281.5374.237>
- Flannigan, M.D., Krawchuk, M.A., de Groot, W.J., Wotton, B.M., Gowman, L.M., 2009. Implications of changing climate for global wildland fire. *Int. J. Wildland Fire* 18, 483. <https://doi.org/10.1071/WF08187>
- Fontugne, M., Shao, Q., Frank, N., Thil, F., Guidon, N., Boeda, E., 2013. Cross-dating (Th/U-¹⁴C) of calcite covering prehistoric paintings at Serra da Capivara National Park, Piauí, Brazil. *Radiocarbon*, 55(3), 1191–1198. <https://doi.org/10.1017/S0033822200048104>
- Hijmans, R., 2017. raster: geographic data analysis and modeling version 2.5–2. 2015.
- Hoffmann, W.A., Jaconis, S.Y., Mckinley, K.L., Geiger, E.L., Gotsch, S.G., Franco, A.C., 2012. Fuels or microclimate? Understanding the drivers of fire feedbacks at savanna-forest boundaries. *Austral Ecol.* 37, 634–643. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2011.02324.x>
- IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2017. Available online: <http://downloads.ibge.gov.br/> (accessed on 13 September 2017)
- ICNF-Institute for Nature Conservation and Forests of Portugal, 2018. Cartografia nacional de áreas ardidas. <http://www.icnf.pt/portal/florestas/dfci/inc/info-geo> (accessed 15 August 2018).
- INPE-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2010. TerraView 4.1.0. São José dos Campos, SP. Available online: www.dpi.inpe.br/terraview/ (accessed on 01 November 2018)
- Jarvis, A.; Reuter, H.I.; Nelson, A.; Guevara, E., 2008. Hole-Filled Seamless SRTM Data V4. International Centre for Tropical Agriculture (CIAT): Palmira, Colombia.
- Key, C.H., Benson, N.C., 2006. Landscape Assessment (LA) 55. FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-164-CD, Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.

- Kousky, V. E.; Chug, P. S., 1978 Fluctuations in Annual Rainfall for Northeast Brazil. *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, vol. 56, no 5, p. 457-465.
https://doi.org/10.2151/jmsj1965.56.5_457
- Lemes, G.P., Matricardi, E.A.T., Costa, O.B., Leal, F.A., 2014. Spatiotemporal assessment of forest fires occurred in the Serra da Canastra National Park between 1991 and 2011. *Ambiência* 10.
<https://doi.org/10.5935/ambiencia.2014.supl.03>
- Lemos, J.R., Rodal, M.J.N., 2002. Fitossociologia do componente lenhoso de um trecho da vegetação de caatinga no Parque Nacional Serra da Capivara, Piauí, Brasil. *Acta Bot. Bras.* 16, 23–42.
<https://doi.org/10.1590/S0102-33062002000100005>
- Libonati, R., Camara, C.C. da, Setzer, A.W., Morelli, F., Jesus, S.C. de, Candido, P.A., Melchiori, A.E., 2014. Validation of the burned area “(V,W)” Modis algorithm in Brazil, in: *Advances in Forest Fire Research*. Imprensa da Universidade de Coimbra, pp. 1774–1785. https://doi.org/10.14195/978-989-26-0884-6_197
- Libonati, R., DaCamara, C., Setzer, A., Morelli, F., Melchiori, A., 2015. An Algorithm for Burned Area Detection in the Brazilian Cerrado Using 4 μm MODIS Imagery. *Remote Sens.* 7, 15782–15803.
<https://doi.org/10.3390/rs71115782>
- Liebmann, B., Camargo, S.J., Seth, A., Marengo, J.A., Carvalho, L.M.V., Allured, D., Fu, R., Vera, C.S., 2007. Onset and end of the rainy season in South America in observations and the ECHAM 4.5 atmospheric general circulation model. *J Clim.* 20(10), 2037-2050, <https://doi.org/10.1175/JCLI4122.1>
- Liu, W.T., Juárez, R.I.N., 2001. ENSO drought onset prediction in northeast Brazil using NDVI. *Int. J. Remote Sens.* 22, 3483–3501. <https://doi.org/10.1080/01431160010006430>
- Marengo, J.A., Torres, R.R., Alves, L.M., 2017. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. *Theor. Appl. Climatol.* 129, 1189–1200. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1840-8>
- Martínez-Ramos, M., Balvanera, P., Arreola Villa, F., Mora, F., Maass, J.M., Maza-Villalobos Méndez, S., 2018. Effects of long-term inter-annual rainfall variation on the dynamics of regenerative communities during the old-field succession of a neotropical dry forest. *For. Ecol. Manag.* 426, 91–100.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.04.048>
- Masek, J. G., Vermote, E. F., Saleous, N. E., Wolfe, R., Hall, F. G., Huemmrich, K. F., Lim, T. K., 2006. A Landsat surface reflectance dataset for North America, 1990-2000. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 3(1), 68-72. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2005.857030>
- Mayr, M.J., Vanselow, K.A., Samimi, C., 2018. Fire regimes at the arid fringe: A 16-year remote sensing perspective (2000–2016) on the controls of fire activity in Namibia from spatial predictive models. *Ecol. Indic.* 91, 324–337. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.022>
- Melchiori, A.E., W. Setzer, A., Morelli, F., Libonati, R., Cândido, P. de A., Jesús, S.C. de, 2014. A Landsat-TM/OLI algorithm for burned areas in the Brazilian Cerrado: preliminary results, in: *Advances in Forest Fire Research*. Imprensa da Universidade de Coimbra, pp. 1302–1311. https://doi.org/10.14195/978-989-26-0884-6_143
- Meng, R., Zhao, F, 2017. Remote sensing of fire effects : A review for recent advances in burned area and burn severity mapping. In: *Remote Sensing of Hydrometeorological Hazards*. [s.l.] Petropolis, G. P.; ISLAM, T., p. 261–281.
- MMA-Ministério do Meio Ambiente, 2017. Available online: <http://mma.gov.br/> (accessed on 13 September

2017).

- Moreno, M.V., Conedera, M., Chuvieco, E., Pezzatti, G.B., 2014. Fire regime changes and major driving forces in Spain from 1968 to 2010. *Environ. Sci. Policy* 37, 11–22. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.08.005>
- Morgan, P., Hardy, C.C., Swetnam, T.W., Rollins, M.G., Long, D.G., 2001. Mapping fire regimes across time and space: Understanding coarse and fine-scale fire patterns. *Int. J. Wildland Fire* 10, 329. <https://doi.org/10.1071/WF01032>
- Mouillot, F., Schultz, M.G., Yue, C., Cadule, P., Tansey, K., Ciais, P., Chuvieco, E., 2014. Ten years of global burned area products from spaceborne remote sensing—A review: Analysis of user needs and recommendations for future developments. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinformation* 26, 64–79. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2013.05.014>
- Moura, A. C. D. A., 2005. Capuchin monkey and the Caatinga dry forest: a hard life in a harsh habitat (Doctoral dissertation, University of Cambridge).
- Moura, L. S., 2005. Estudo da Paisagem da Caatinga Piauiense: Parque Nacional Serra das Confusões-PI. *Geografia* (Master dissertation, UFPI), Teresina-PI, 9, 1-26.
- Murphy, B.P., Bradstock, R.A., Boer, M.M., Carter, J., Cary, G.J., Cochrane, M.A., Fensham, R.J., Russell-Smith, J., Williamson, G.J., Bowman, D.M.J.S., 2013. Fire regimes of Australia: a pyrogeographic model system. *J. Biogeogr.* 40, 1048–1058. <https://doi.org/10.1111/jbi.12065>
- Nogueira, J., Rambal, S., Barbosa, J., Mouillot, F., 2017a. Spatial Pattern of the Seasonal Drought/Burned Area Relationship across Brazilian Biomes: Sensitivity to Drought Metrics and Global Remote-Sensing Fire Products. *Climate* 5, 42. <https://doi.org/10.3390/cli5020042>
- Nogueira, J., Ruffault, J., Chuvieco, E., Mouillot, F., 2017b. Can We Go Beyond Burned Area in the Assessment of Global Remote Sensing Products with Fire Patch Metrics? *Remote Sens.* 9, 7. <https://doi.org/10.3390/rs9010007>
- Oliveira, A.P.C., Bernard, E., 2017. The financial needs vs. the realities of in situ conservation: an analysis of federal funding for protected areas in Brazil's Caatinga. *Biotropica* 49, 745–752. <https://doi.org/10.1111/btp.12456>
- Olmos, F., Albano, C., 2012. As aves da região do Parque Nacional Serra da Capivara (Piauí, Brasil). *Rev. Bras. Ornitol.* 20(3), 173-187.
- Olmos, F., 1992. Serra Da Capivara National Park and the conservation of north-eastern Brazil's caatinga. *Oryx* 26, 142. <https://doi.org/10.1017/S0030605300023565>
- Olson, D.M., Dinerstein, E., Wikramanayake, E.D., Burgess, N.D., Powell, G.V.N., Underwood, E.C., D'amico, J.A., Itoua, I., Strand, H.E., Morrison, J.C., Loucks, C.J., Allnutt, T.F., Ricketts, T.H., Kura, Y., Lamoreux, J.F., Wettengel, W.W., Hedao, P., Kassem, K.R., 2001. Terrestrial Ecoregions of the World: A New Map of Life on Earth. *BioScience* 51(11), 933. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0933:TEOTWA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0933:TEOTWA]2.0.CO;2)
- Pessis, AM.; Guidon, N., 2009. Dating rock art paintings in Serra de Capivara National Park. *Adoranten*, 1, 49-59.
- Pivello, V.R., 2011. The use of fire in the cerrado and amazonian rainforests of Brazil: past and present. *Fire Ecol.*, 7: 24. <https://doi.org/10.4996/fireecology.0701024>
- Pourtaghi, Z.S., Pourghasemi, H.R., Aretano, R., Semeraro, T., 2016. Investigation of general indicators

- influencing on forest fire and its susceptibility modeling using different data mining techniques. *Ecol. Indic.* 64, 72–84. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.12.030>
- QGIS Development Team, 2018. Quantum GIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project.
- R Core Team, 2017. R: a language and environment for statistical computing (version 3.4.2). R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Ramos, R.P.L., 1975. Precipitation characteristics in the Northeast Brazil dry region. *J. Geophys. Res.* 80, 1665–1678. <https://doi.org/10.1029/JC080i012p01665>
- Ramos-Neto, M.B.; Pivello, V.R., 2000. Lightning fires in a Brazilian savanna national park: rethinking management strategies. *Environmental Management*, 26: 675. <https://doi.org/10.1007/s002670010124>
- Reddy, S. J., 1983. Climatic classification: the semi-arid tropics and its environment a review. *Embrapa Semiárido. Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 18(8):823-847.
- Rodrigues, R. R., McPhaden, M. J., 2014. Why did the 2011–2012 La Niña cause a severe drought in the Brazilian Northeast?. *Geophysical Research Letters*, 41(3), 1012-1018. <https://doi.org/10.1002/2013GL058703>
- Rouse, W., Haas, R.H. , Schell, J. A., & Deering, D. W., 1974. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. *Proc. 3rd ERTS Symp. NASA SP-351*, pp. 309-317.
- Sampaio, E.V.S.B., Salcedo, I.H., Kauffman, J.B., 1993. Effect of Different Fire Severities on Coppicing of Caatinga Vegetation in Serra Talhada, PE, Brazil. *Biotropica* 25, 452. <https://doi.org/10.2307/2388868>
- Sampaio, E. V. D. S. B., de Lima Araújo, E., Salcedo, I. H., Tiessen, H., 1998. Regeneração da vegetação de caatinga após corte e queima, em Serra Talhada, PE. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 33(5), 621-632.
- Sampaio, E.V.S.B.; Araújo, M.S.B.; Sampaio, Y.S. B., 2005. Impactos ambientais da agricultura no processo de desertificação no Nordeste do Brasil, *Revista de Geografia*, Recife, 22(1), 90-112.
- Sano, E.E., Ferreira, L.G., Asner, G.P., Steinke, E.T., 2007. Spatial and temporal probabilities of obtaining cloud-free Landsat images over the Brazilian tropical savanna. *Int. J. Remote Sens.* 28, 2739–2752. <https://doi.org/10.1080/01431160600981517>
- Scott, A., 2000. The Pre-Quaternary history of fire. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 164, 281–329. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(00\)00192-9](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(00)00192-9)
- Silveira, L., Jácomo, A.T.A., Astete, S., Sollmann, R., Tôrres, N.M., Furtado, M.M., Marinho-Filho, J., 2009. Density of the Near Threatened jaguar *Panthera onca* in the caatinga of north-eastern Brazil. *Oryx* 44, 104. <https://doi.org/10.1017/S0030605309990433>
- Sparacino, J., Argibay, D. S., Espindola, G., 2019. Rainy and dry season caracterizarion in a semiarid region of northeastern Brazil. Unpublished manuscript.
- U.S.G.S., 2018, Landsat collections: U.S. Geological Survey Fact Sheet 2018–3049, 2 p., <https://doi.org/10.3133/fs20183049>.
- Vermote, E., Justice, C., Claverie, M., Franch, B., 2016. Preliminary analysis of the performance of the Landsat 8/OLI land surface reflectance product. *Remote Sens. Environ.*, 185, 46-56. <http://doi.org/10.1016/j.rse.2016.04.008>

4 O FOGO EM UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DO PIAUÍ

4.1 Introdução

O estudo dos incêndios nos Parques Nacionais da Serra da Capivara e da Serra das Confusões apresentado nesta dissertação, é o primeiro realizado em UCs com área de transição entre o Cerrado e a Caatinga no Piauí. Ao contrário do Cerrado, na Caatinga não foram reportados incêndios de origem natural, sendo sempre produto da ação antrópica mesmo dentro das Unidades de Conservação (UCs) (SAMPAIO *et al.*, 2005). As causas destes incêndios estão geralmente vinculadas ao uso do fogo nas práticas agrícolas, nas quais o fogo ou faíscas atingem a vegetação seca circundante provocando incêndios. A prática mais utilizada nesse ecossistema é a preparação do terreno para o plantio por meio do sistema de corte e queima. Também foram descritos incêndios decorrentes da abertura de clareiras para a criação de gado ou de estradas para extração de madeira, a colheita de mel silvestre utilizando fumaça, acampamentos clandestinos de caça onde o fogo é utilizado para cozinhar no meio da floresta, entre outros.

Por sua parte, o estudo do fogo no Cerrado encontra-se muito mais avançado do que na Caatinga e na área de transição entre eles. Nos últimos anos, foram desenvolvidos diversos projetos de pesquisa focados nos incêndios do Cerrado, e é onde há maior ação dos órgãos governamentais. Por exemplo, a partir do ano 2012, iniciaram algumas pesquisas sobre incêndios e o uso do fogo no contexto do “Projeto Cerrado-Jalapão” (Projeto Prevenção, Controle e Monitoramento de Queimadas Irregulares e Incêndios Florestais no Cerrado). Este projeto foi criado para aprimorar o Manejo Integrado do Fogo (MIF) no Cerrado, com o fim de conservar a biodiversidade e manter o ecossistema como sumidouro de carbono para a redução de emissões de gases de efeito estufa.

Já em 2018, abriu-se uma chamada para projetos de pesquisa sobre manejo do fogo em Terras Indígenas e Quilombolas, como parceria entre o Prevfogo (IBAMA) e o *CNPq*, objetivando aprofundar o conhecimento sobre o MIF, ecologia e impacto do fogo, monitoramento, prevenção e combate de incêndios florestais no Cerrado, ampliando o escopo aos ecossistemas da Amazônia e o Pantanal, mas sem considerar estudos sobre o fogo na Caatinga.

Nesta seção, visou-se refletir sobre as bases para a formulação de uma proposta para um Plano do MIF exclusivo para UCs da Caatinga piauiense. As considerações finais deste capítulo são baseadas nos resultados obtidos ao longo do desenvolvimento desta dissertação e do projeto desenvolvido pela equipe. Os resultados aqui apresentados possibilitarão a discussão sobre questões na dimensão espacial e temporal ao nível paisagístico, podendo fazer aproximações sobre questões sociais, de educação, econômicas, políticas ou culturais, já que uma análise espaço-temporal é transversal a estes temas.

Antes de apresentar as propostas, dedica-se uma seção às UCs e ao conhecimento atual dos incêndios na região, baseado em estudos prévios e apresenta-se a vinculação de diferentes órgãos ambientais e governamentais a este respeito. Finalmente, se estabelece uma série de diretivas e orientações focadas no MIF na Caatinga.

4.2 Manejo do fogo

O manejo de incêndios e queimadas abrange características ecológicas de diversos biomas e o seu uso tradicional por uma variedade de povos e comunidades com objetivos distintos. A definição dos diferentes termos utilizados para se referir às ações de utilização do fogo e seu resultado foram descritos por Gonçalves (2005). O autor fez um estudo comparativo entre o saber tradicional e o técnico/científico sobre o uso do fogo, onde define *queimada*, *queima controlada*, *incêndio florestal*, *queima natural controlada* e *queima controlada* ou *queima prescrita*. Os conceitos são resumidos na Tabela 4.1.

Assim, o fogo pode ser tanto benéfico, quanto prejudicial, dependendo de como, onde, quando e por que é utilizado. O MIF busca um equilíbrio entre diversos aspectos com enfoque na conservação da biodiversidade e na proteção do clima, além de oferecer benefícios às comunidades locais, considerando aspectos ambientais, sociais e econômicos. Refere-se ao espectro de decisões técnicas e ações disponíveis para evitar, preservar, controlar ou utilizar o fogo em uma determinada paisagem (MYERS, 2006). A análise de regimes do fogo apropriados para o ecossistema, a prevenção de incêndios, a preparação para o combate, o controle e a supressão de incêndios e a restauração, são algumas das ações abordadas pelo MIF.

Nesta dissertação, tendo analisado o regime de fogo em duas UCs da Caatinga com transição com o Cerrado, visou-se incrementar o conhecimento sobre o manejo do fogo na área. O estudo do regime de fogo implica na caracterização do comportamento e da intensidade do fogo durante as diferentes estações, a análise dos impactos do fogo sobre a

biodiversidade e o monitoramento da regeneração de carga de combustível. Aqui, trabalhamos sobre o primeiro aspecto mencionado.

Tabela 4.1. Diferentes conceitos sobre a utilização do fogo. Aboram-se conceitos de saber tradicional, técnico e científico.

Termo	Definição
Queimada	Queima da vegetação, praticada pela grande maioria dos produtores rurais, cujo sentido é atribuído à prática de uso do fogo sem planejamento nem controle quanto à mesma.
Queima controlada	Técnica de uso do fogo de forma planejada, com objetivos definidos e planejamento prévio em que devem ser considerados os aspectos legais, as técnicas de queima, as condições climáticas, a previsão do comportamento do fogo, os equipamentos, as ferramentas apropriadas e os confrontantes. É a aplicação controlada do fogo em combustíveis, tanto no estado natural, como no alterado sob determinadas condições de clima, de umidade, de material combustível, de umidade do solo, entre outros, de tal forma que o mesmo seja confinado a uma área predeterminada e produza a intensidade de calor e a taxa de propagação para favorecer certos objetivos do manejo.
Incêndio florestal	Caracterizado pela ocorrência do fogo em qualquer formação vegetal, cujas causas variam de naturais a criminosas, podendo também estar associadas à forma acidental mas inesperada pelo responsável.
Queima natural controlada	Incorpora novos conceitos sobre a relação do fogo com o ambiente natural, e que consiste em manejar o fogo, cuja origem foi decorrente de fenômeno natural, nas áreas previamente estabelecidas nos planos de manejo.
Queima prescrita ou controlada	Pode ser usada em vários fins no manejo florestal. Seu maior emprego está relacionado com o manejo do material combustível para reduzir os riscos dos grandes incêndios florestais. O decreto que regulamentou os Parques Nacionais proibiu a prática de atos que pudessem provocar incêndios nas UCs, permitindo que o fogo pudesse ser utilizado em certas circunstâncias como técnica de manejo. Um dos principais objetivos da queima controlada é reduzir o acúmulo de material combustível em povoamentos florestais.

Fonte: Elaborado pela autora, adaptado de Gonçalves (2005)

4.3 A função dos distintos órgãos de gestão sobre o fogo

Dentro do Brasil, diversos são os órgãos do Estado responsáveis pela prevenção e combate aos incêndios florestais e pela educação e extensão ambiental para o controle e redução do uso do fogo nas práticas agrícolas a nível nacional e regional. Destes, os mais importantes a nível federal são a EMBRAPA, o IBAMA e o ICMBio, e a nível estadual, no Piauí, os encarregados são a SEMAR, a EMATER e o CBMPI (Tabela 4.2). A seguir, faremos uma revisão geral das políticas e ações focadas exclusivamente à gestão do fogo, lembrando que alguns destes órgãos, ainda, desenvolvem outras funções.

4.3.1 *Nível federal*

A **EMBRAPA**, pertencente ao Ministério da Agricultura e do Abastecimento, é responsável pelo desenvolvimento de tecnologias para a redução da utilização do fogo nas práticas agrícolas. Dispõe de várias tecnologias que, se devidamente usadas, e com apoio governamental, podem reduzir de forma expressiva, a prática das queimadas como instrumento de manejo, trazendo benefícios ao meio ambiente e à sociedade.

Desta forma, desenvolveram-se alguns direcionamentos para serem aplicados, sobretudo, na agricultura familiar. A prática da queimada na agricultura familiar para preparação do solo é habitual, já que é a que tem menor acesso às tecnologias. São os pequenos e medianos agricultores os responsáveis pelo uso do fogo, mas como os pequenos são mais numerosos, recai sobre eles a culpa pelo maior número de focos de incêndio.

Promovendo uma campanha de alternativas para a prática das queimadas na agricultura na Amazônia, duas tecnologias já foram geradas. Uma trata do enriquecimento da *capoeira* (floresta secundária) com árvores leguminosas, visando aumentar a produção de biomassa durante o período de pousio entre os ciclos agrícolas. A outra tecnologia alternativa à agricultura de derruba e queima diz respeito ao preparo de área sem o uso do fogo, por meio da trituração da biomassa da *capoeira* com a utilização de uma máquina que permite incorporar essa biomassa como cobertura da terra (EMBRAPA, 2000).

Principalmente, é recomendada a exclusão do uso do fogo no manejo do solo, para diminuir o dano e os impactos negativos tanto ao solo, quanto à paisagem vegetal. A queima apresenta aspectos positivos, mas pode ser substituída pelo uso dessas e outras tecnologias alternativas. No caso de ser indispensável, recomendam realizar aceiros no início da seca de forma manual ou mecânica, fazer a limpeza de uma faixa de no mínimo dois metros de cada lado ao longo das cercas, para diminuir o risco da perda do controle do fogo. Recomenda-se aos que ainda precisam utilizar o fogo que estes devem obter autorização do IBAMA.

Finalmente, como a EMBRAPA cumpre a função de fazer pesquisa, e de acordo com a demanda treinar e capacitar aos extensionistas e técnicos agrícolas, o acompanhamento e assistência técnica não são seu foco. Apesar disso, no Piauí existe uma desconexão entre a pesquisa e a extensão, pelo que em alguns projetos as vezes se faz necessário o acompanhamento direto por meio de vistoria às localidades onde são desenvolvidos (CARCARÁ, 2012).

Tabela 4.2. Órgãos do governo brasileiro que tem injerência em diferentes aspectos do uso do fogo, sua função e alguns projetos vinculados.

Órgão	Função	Projetos
EMBRAPA  Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária	 Pesquisa e desenvolvimento de tecnologias	 Roça sem fogo (Amazônia)  Tecnologias para reduzir a prática das queimadas em sistemas de agricultura familiar
IBAMA  Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis	 Controle, prevenção e combate dos incêndios  Educação ambiental	 Do IBAMA surgiu o Prevfogo
Prevfogo  Centro Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais	 Prevenção e combate aos incêndios florestais em todo o território nacional, campanhas educativas, treinamento e capacitação de produtores rurais e brigadistas  Monitoramento e pesquisa	 Projeto Cerrado-Jalapão  Pesquisas em Ecologia, Monitoramento e Manejo Integrado do Fogo
ICMBio  Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade	 Preservação dos ecossistemas por meio da criação e monitoramento de UCs  Formação de brigadas contra incêndios nas UCs	 Brigadas de Prevenção e Combate a Incêndios Florestais nas UCs Federais
SEMAR  Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos	 Controle, prevenção e combate aos incêndios a nível estadual  Educação ambiental	 Programa Cerrado Piauí
EMATER  Instituto de Assistência e Extensão Rural	 Extensão rural, apoio a agricultores familiares	 Comitê Estadual de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais e Controle de Queimadas
CBMPI  Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Piauí	 Defesa civil, prevenção e combate a incêndios  Perícias e atividades relativas à segurança	 Comitê Estadual de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais e Controle de Queimadas

Fonte: Elaborado pela autora.

O **IBAMA**, então, é o encarregado da investigação dos atos criminosos, de emitir a autorização para a utilização do fogo, preservação e conservação do patrimônio natural, exercendo o controle e a fiscalização sobre o uso dos recursos naturais, realizar estudos ambientais e conceder licenças ambientais. Cabe ao IBAMA ainda atuar na proteção dos municípios críticos devido à incidência do fogo, próximos às UCs.

Os incêndios florestais cabem dentro das responsabilidades de fiscalização e proteção ambiental do IBAMA. Segundo este, e de acordo com o Código Florestal, a *queima controlada* é permitida nas práticas de prevenção e combate aos incêndios e nas de agricultura de subsistência exercidas pelas populações tradicionais e indígenas, e em outros locais e regiões, sempre monitorado e controlado e mediante prévia aprovação (IBAMA, 2016). Nas UCs, visando ao manejo conservacionista da vegetação nativa, cujas características ecológicas estejam associadas evolutivamente à ocorrência do fogo, pode se exercer o emprego da *queima controlada*. E por último, é permitido o uso do fogo em atividades de pesquisa científica. A decisão de executar uma *queima* implica em uma análise detalhada das condições do terreno, especialmente topografia, características da vegetação (quantidade, condição e distribuição) e variáveis meteorológicas (intensidade e direção do vento predominante, temperatura, umidade, incidência de luz, dentre outros).

Apesar do processo de *queima controlada* ser legalmente permitido e atuar como prevenção a incêndios florestais, não se pode negar a existência de amplas externalidades negativas com a utilização do fogo, que envolvem danos à saúde, empobrecimento gradual do solo, perda de biodiversidade, danos à rede de transmissão elétrica, entre outros. Sendo assim, a utilização de alternativas ao uso do fogo deve ser vista como um procedimento relevante quando se busca a realização de atividades agropecuárias com vistas à sustentabilidade ambiental, social e econômica.

O Prevfogo, pertencente ao IBAMA, é responsável pela política de prevenção e combate aos incêndios florestais em todo o território nacional, o que inclui atividades relacionadas com campanhas educativas, treinamento e capacitação de produtores rurais e brigadistas, monitoramento e pesquisa. A partir da desregulação do IBAMA no ano 2007, o ICMBio ficou responsável pela preservação dos ecossistemas por meio da criação e monitoramento das UCs, e pela formação de brigadas contra incêndios nas mesmas.

Por sua parte, o **Prevfogo** visa integrar todos os setores da sociedade, considerando que o fogo é configurado por uma rede complexa de integrações sistêmicas de fundo social, político, cultural, econômico, tecnológico, científico, ético e ecológico; e as suas consequências refletem-se negativamente na sociedade e nos ecossistemas, com danos para

ambos. Atualmente, o Prevfogo tem como missão promover, apoiar, coordenar e executar atividades de educação, pesquisa, monitoramento, controle de queimadas, prevenção e combate aos incêndios florestais no Brasil, avaliando seus efeitos sobre os ecossistemas, a saúde pública e a atmosfera (PREVFOGO, 2017).

Além disso, o Prevfogo desenvolve, aplica e avalia diversos recursos didático-pedagógicos destinados à formação de brigadistas, professores, coordenadores de projetos, representantes de Organizações Não Governamentais (ONGs), comunidades rurais, formadores de opiniões e outras representações comunitárias. É responsável pela política de prevenção e combate aos incêndios florestais em todo o território nacional, incluindo atividades relacionadas com campanhas educativas, treinamento e capacitação de produtores rurais e brigadistas, monitoramento e pesquisa.

Também são atribuições do Prevfogo atender aos pedidos de informação sobre o uso do fogo em atividades agrosilvopastoris, nas UCs gerenciadas pelo ICMBio e de particulares preocupados com a problemática das queimadas e dos incêndios florestais.

O **ICMBio**, com o período de seca chegando, se prepara com ações preventivas nas UCs implementando o MIF. Sobretudo em ambientes de Cerrado são aplicadas *queimas prescritas* como instrumentos para diminuir o volume de material combustível acumulado no solo. Elas são realizadas entre o final das chuvas e o início da seca, época de ocorrência do fogo natural causado pelos raios, em áreas previamente mapeadas por especialistas. Dessa forma, o fogo é mais controlável e os danos são diminuídos.

Outras ações de prevenção incluem a confecção de aceiros e a gestão de combustível vegetal seco com a utilização do fogo em pontos estratégicos, selecionados de forma criteriosa e levando em consideração o histórico de ocorrência de incêndios florestais, proximidade de áreas com maior pressão antrópica e proteção de vegetações sensíveis.

Todos os anos o ICMBio divulga processos de seleção para a formação das brigadas de prevenção e combate a incêndios florestais nas UCs federais. Os participantes atravessam avaliações físicas e de habilidades com o uso de ferramentas agrícolas. Depois de selecionados, são os brigadistas os responsáveis pela abertura ou limpeza das estradas e o combate do fogo, dirigidos por um chefe de brigada que é eleito no mesmo processo.

4.3.2 Nível estadual (Piauí)

Carcará (2012) realizou diferentes entrevistas aos membros dependentes do Estado responsáveis pelos incêndios no Piauí. Baseados neste documento, resumiremos os pareceres do EMATER, SEMAR e CBMPI ao respeito.

O **EMATER** desenvolve trabalhos na área de agropecuária do meio rural, social e industrial, divulgando tecnologia e ensinando técnicas de trabalho e organização, visando a melhoria na qualidade de vida. Como parte de extensão rural, desenvolve o papel de alertar os cuidados que devem ser tomados para evitar o alastramento de incêndios. Além disso, recomenda diferentes técnicas de conservação do solo, mas admite que a queimada é imprescindível no estágio tecnológico atual.

Segundo Carcará (2012), o representante do EMATER entrevistado descreve que o agricultor do Piauí, descapitalizado, trabalha com instrumentos rudimentares como foice, machado, facão e enxada; e que a introdução do uso de máquinas, mesmo que benéficas, utilizadas de maneira errada acarreta sérias consequências pelo que se faz necessária uma orientação técnica. Sobre isto, existe uma distância entre a pesquisa e o agricultor, porque a pesquisa e tecnologia gerada não chega ao trabalhador mesmo encontrando-se à sua disposição. Diante da necessidade de plantar para produzir, o pequeno agricultor toma as providências que estão ao seu alcance, que é derrubar e queimar para a limpeza do terreno. A prática das queimadas continua na agricultura familiar, mas o agronegócio já utiliza técnicas que não fazem uso do fogo, às quais o pequeno agricultor não tem acesso. Para isso precisa de um investimento financeiro, que mesmo existindo programas de financiamento e de crédito, a burocracia dificulta o acesso a estas tecnologias e eles não têm capacidade de endividamento.

Por sua parte, a **SEMAR** é responsável pelo controle, fiscalização, vigilância e proteção ambiental e pelo estímulo ao desenvolvimento científico e tecnológico voltado para o uso racional dos recursos naturais renováveis e educação ambiental. Em 2012, sentenciava que não trabalha no combate ao fogo, e responsabilizava aos bombeiros pelos incêndios na zona urbana e ao IBAMA na zona rural; sendo suas ações voltadas para o controle por meio da expedição de licenças para o desmatamento ou queimadas (CARCARÁ, 2012).

Atualmente, realiza o monitoramento diário das queimadas no Piauí, por meio da análise dos focos de calor do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e das condições meteorológicas em áreas prioritárias do estado. O fim é divulgar diariamente a informação, apresentando as situações de risco de fogo da vegetação. Também gestora o Programa Cerrado Piauí para o uso do fogo e prevenção de incêndios florestais no Cerrado,

cujo objetivo é reduzir a ocorrência de incêndios florestais na região dos Cerrados causados pelo mal uso do fogo como ferramenta produtiva e por práticas criminosas. Nele, durante o período seco e mais propenso a incêndios (localmente conhecido como *b-r-o-bró*), a SEMAR executa ações de prevenção e combate aos incêndios florestais junto a instituições parceiras.

As funções do **CBMPI**, vinculadas aos incêndios, referem-se à execução de atividades de prevenção, combate e perícia. No Piauí, os incêndios são geralmente registrados no segundo semestre do ano, durante os meses que atravessam a estação seca. Segundo os membros do CBMPI, a incidência dos incêndios é agravada pela baixa umidade e altas temperaturas, por isso, acham importante a realização de um estudo para verificar quais são os fatores climáticos que influenciam neste aumento.

O fogo é utilizado para limpeza, para o preparo do solo ou reforma de pastagens. Se não houver aceiros e vigilância, em épocas críticas de seca o fogo pode tomar proporções incontroláveis atingindo propriedades vizinhas e causando prejuízos. São estes tipos de queimas as que são produzidas geralmente no Piauí, podendo ser urbana ou rural (CARCARÁ, 2012).

O fato de não existirem incêndios naturais, como os causados por raios, é afirmada pelos diferentes órgãos de gestão. No Piauí, as condições climáticas que acontecem em parte do segundo semestre de cada ano, alta temperatura e baixa umidade, que determina o período de maior ocorrência de incêndios, não há incidência de raios. Mas sim, uma maior propensão a incêndio culposo, provocado por imprudência, imperícia ou negligência.

A utilização do fogo para o preparo do solo não é recomendada pelos técnicos, mas ainda persiste na zona rural do Piauí. Mas, muitos médios e grandes produtores e pecuaristas já se preparam para o fogo acidental fazendo aceiros – faixas onde a vegetação é removida, geralmente localizada ao longo de cercas, matas, divisas, ou estradas rodoviárias e servem para impedir a passagem do fogo e incêndios indesejáveis.

Mesmo com estas precauções, as áreas de agricultura (roças) de pequenos produtores nas vizinhanças das UCs são uma ameaça porque existe alta probabilidade de que o fogo atinja a vegetação, sobretudo se esta se encontrar suficientemente seca.

4.4 A importância das áreas protegidas no MIF

O Piauí possui 16 Unidades de Conservação (UCs) que cobrem 4.755.588 ha, representando aproximadamente um 15 % da superfície do estado. São cinco de proteção

integral e onze de uso sustentável (Tabela 4.3), distribuídas entre os ecossistemas Caatinga e Cerrado. O sul do Piauí está coberto pelo ecossistema Cerrado que avança até o norte do estado por uma área de transição com a Caatinga que cobre o restante. Na América do Sul, o Cerrado é uma das maiores ecorregiões onde o fogo é considerado um dos fatores mais importantes para a dinâmica da vegetação. Esta savana diversa cobre quase 200 milhões de ha e se estende pelo 24 % do território brasileiro (EITEN, 1972), com não mais que 9 % protegido por UCs (FRANÇOSO *et al.*, 2015; STRASSBURG *et al.*, 2017).

Tabela 4.3. Características das Unidades de Conservação (UCs) no Piauí.

Tipo	Categoria de Manejo	Bioma	Nome da UC	Área (ha)
Proteção integral	Parque Nacional	Caatinga	Sete Cidades	6.303
		Caatinga	Serra da Capivara	100.761
		Caatinga, Cerrado	Serra das Confusões	823.837
		Cerrado	Nascentes do Rio Parnaíba	749.765
	Estação Ecológica	Cerrado	Uruçuí-UNA	135.125
Uso sustentável	Área de Proteção Ambiental	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Marinho	Delta do Parnaíba	309.584
		Cerrado	Serra da Ibiapaba	1.624.173
	Reserva Particular do Patrimônio Natural	Caatinga	Chapada do Araripe	972.593
		Caatinga	Fazenda Boqueirão	580
		Caatinga	Fazenda Boqueirão dos Frades	27
		Caatinga	Fazenda Centro	139
		Caatinga	Santa Maria de Tapuã	238
		Caatinga	Marvão	5.097
		Caatinga	Recanto da Serra Negra	172
		Floresta Nacional	Caatinga, Cerrado	Palmares
Reserva Extrativista	Caatinga, Cerrado, Marinho	Delta do Parnaíba	27.022	

Fonte: Elaborado pela autora, adaptado de MMA – Departamento de Áreas Protegidas (2019)

A ocorrência de incêndios naturais na estação chuvosa dentro de uma UC do Cerrado foi estudada por Ramos-Neto e Pivello (2000), no Parque Nacional das Emas (GO), onde 91% dos incêndios foram decorrentes de raios. Estes incêndios naturais que ocorrem na estação chuvosa contribuem para a criação de um mosaico de áreas com baixa quantidade de combustível, que podem atuar como *corta-fogo* natural. Eventos similares foram reportados em outras UCs, alcançando 44% dos incêndios no Parque Nacional da Serra da Canastra/MG

(MEDEIROS; FIEDLER, 2004), e 11,76% dos incêndios no Parque Nacional Chapada dos Veadeiros/GO (FIEDLER *et al.*, 2006). O fato de existirem incêndios naturais no Cerrado permitiram a aplicação de queimas prescritas para assim evitar os incêndios florestais descontrolados e de grandes dimensões.

Os incêndios que têm lugar nas UCs de todo o território brasileiro estão sob responsabilidade do órgão encarregado da gestão destas áreas protegidas, o ICMBio. Todas as UCs que apresentam risco de incêndio na época seca contam com brigadas para a realização de atividades de prevenção e combate, exclusivamente dentro das UCs e o entorno.

4.4.1 Brigadas do ICMBio e o papel no MIF das UCs

Durante o desenvolvimento desta dissertação e como parte do projeto do qual forma parte, foram visitados os dois Parques Nacionais que são objeto de estudo, são o Parque Nacional da Serra da Capivara (PNSCa) e o Parque Nacional da Serra das Confusões (PNSCo). Nas visitas, pôde-se arrecadar uma ideia geral sobre o funcionamento das brigadas e as funções desenvolvidas na hora de responder aos incêndios.

Ambos os PNs contam com o serviço de brigadas de incêndios, contratadas pelo IBAMA e administradas pelo ICMBio. No PNSCa, tem um gerente do fogo que é o encarregado de organizar as brigadas e no PNSCo, é o chefe do parque o encarregado da seleção. Os processos seletivos começam em junho, onde os candidatos atravessam diversos testes. Os brigadistas começam a trabalhar a partir do dia primeiro de julho, quando começam a desenvolver atividades várias, já que a época de risco de incêndios começa aproximadamente em setembro. A maioria é contratada por seis meses, com possibilidade de renovação a cada dois anos, e têm entre um e dois chefes de brigada. No PNSCa são 16 brigadistas, divididos em dois grupos de trabalho e revezam a cada sete dias de trabalho. A partir de 2018 existem contratos por um ano com possibilidade de renovação por mais um ano, sem gerar vínculo empregatício.

Os cursos e oficinas oficiais que recebem os brigadistas ensinam técnicas de combate ao fogo que são aplicadas no Cerrado, mas geralmente, essas técnicas não são úteis para apagar o fogo da Caatinga, como a extinção por meio da utilização de água, também utilizada pelos bombeiros. O acompanhamento das queimadas agrícolas entra também na agenda dos brigadistas, mas a maioria das vezes a brigada não é informada por esta prática.

Nos primeiros meses de trabalho, no PNSCo, os brigadistas são encarregados da limpeza e manutenção das estradas e acessos para facilitar a chegada para o combate aos

incêndios, para ter uma resposta rápida (ações de pré-supressão). No entanto, no PNSCa esse serviço é realizado por pessoal que cumpre exclusivamente com a manutenção das estradas, contratado pela Fundação Museu do Homem Americano (FUMDHAM). A FUMDHAM é uma entidade civil, sem fins lucrativos, declarada de interesse público pelo governo brasileiro que realiza atividades científicas interdisciplinares, culturais e sociais. Como medida preventiva, desde a FUMDHAM, alertados da incidência dos fogos desde fora, foi mandado a construir uma rede de corta-fogo de 100 m ao redor do perímetro, que era mantido anualmente antes do recorte no orçamento, quando o pessoal foi reduzido à metade.

Os brigadistas são geralmente das cidades que ficam ao redor dos PNs para ficarem alertados e comunicarem a presença de fumaça. Mas a principal forma de detecção de incêndios é por meio de satélites. O IBAMA, na sede central de Brasília, alerta sobre os focos de calor presentes dentro da UC e o pessoal em campo, utilizando GPS, visita os possíveis focos e mobiliza os brigadistas para o combate. Os chefes de brigada, que estão disponíveis 24h com contato permanente, são avisados pelo chefe do parque ou pelo gerente de fogo. Os chefes de brigada reúnem os brigadistas e planejam as estratégias de combate.

Para chegar no incêndio, realizam a abertura de uma linha para entrar e conseguir sair. A ferramenta mais utilizada para apagar o fogo é a pá, que é usada para jogar areia acima das brasas. A água que se leva é só para consumo dos combatentes. Também utilizam contra-fogo, acendem fogo desde a estrada para que o fogo não avance ao outro lado.

As vezes há queima em um local, mas a fumaça encontra-se longe do ponto de ignição, pelo que o GPS e a localização do foco de calor é importante, porque é o satélite que vai ter maior precisão sobre a localização do fogo. O chefe do parque comunica-se com o brigadista que tem o mapa das estradas, indica as coordenadas do fogo e o brigadista procura as estratégias para chegar nele. O trabalho é geralmente feito de noite porque durante o dia as temperaturas e as chamas do fogo são muito altas e é impossível encostar a frente de fogo.

4.5 Recomendações e conclusão

O uso do fogo no entorno das UCs da Caatinga teria que ser evitado para impedir o seu alastramento que causa incêndios florestais, além de prejudicar o solo, a vegetação, a fauna, o ar, a água e até as cidades. Mesmo assim, o seu uso na atualidade não pode ser suprimido já que resulta em uma prática economicamente viável e de rápido efeito. Para diminuir seus impactos negativos devem-se tomar todas as precauções possíveis. As recomendações da EMBRAPA na hora de utilizar fogo são:

- Reunir e mobilizar aos vizinhos para se fazer queimada em mutirões.
- Não queimar grandes áreas de uma só vez.
- Sempre fazer aceiros, ficando estes completamente limpos.
- Só queimar quando o vento estiver fraco e nunca em sua direção contrária.
- Queimar somente em horas de clima mais ameno.
- Não deixar árvores altas no meio da área a ser queimada.
- Permanecer no local pelo menos duas horas após o fogo.
- Ter sempre perto enxadas, abafadores, foice, bomba costal e baldes com água.

Considerando os padrões descritos no capítulo anterior e com a finalidade de se estabelecer direcionamentos voltados a melhoras nas estratégias de manejo e na orientação de políticas de mitigação na área, propomos o seguinte sumário para tomadores de decisão:

- **Conhecer e entender o regime de fogo em função do clima possibilita o prognóstico do seu comportamento na frente das mudanças climáticas, que junto com as mudanças no uso da terra são pressões que resultam na perda de biodiversidade e de serviços ecossistêmicos.** O regime de fogo da região foi descrito para um período de 19 anos pela primeira vez, o que habilita novas abordagens para agir frente dos aspectos relacionados com os incêndios, sobretudo incursionando na utilização dos produtos gerados: banco de dados de cicatrizes de área queimada e a caracterização climática. Este tipo de conhecimento é a base para se implementar estratégias de ação de mitigação dos impactos negativos desse fenômeno. Sabe-se que as mudanças climáticas prevêm um aumento na frequência e intensidade dos incêndios, pelo que seu conhecimento atual e histórico permitirá uma análise da evolução das dinâmicas. Por sua parte, as mudanças no uso da terra acarretam transformações na biodiversidade e nos serviços ecossistêmicos, sobretudo a diminuição e perda destes. Os incêndios contribuem nestes aspectos negativos na área, pelo que se faz necessário um aumento do controle dos impactos.

- **Ter um registro da área queimada nos diferentes anos permite estimar o intervalo de retorno do fogo.** Os incêndios são muitas vezes limitados pela topografia da área, sendo importante se avaliar a presença dessas barreiras naturais para considerá-las como estratégias para o planejamento das ações de combate. Existe maior risco de incêndios de grandes dimensões depois dos anos com pouca área queimada devido ao acúmulo de biomassa. Os anos com maior área queimada foram sempre depois de anos que queimaram pouco, pelo que nesses anos seria necessário reforçar as práticas de prevenção e as equipes de combate. Entende-se também que as áreas que queimaram em um determinado ano, não queimarão no ano seguinte e que essas cicatrizes demarcarão os limites de possíveis novas áreas a serem incendiadas. Sugere-se destinar maior atenção nessas áreas, já que ao ficar perto de uma área incendiada o ano anterior, pode estar perto da causa desse incêndio, isto é, perto do foco de ignição. A identificação de áreas que tem recorrência de incêndios alertam sobre a perigosidade e as altas chances de uma área queimada voltar a se queimar nos anos posteriores, com probabilidade de incêndios reiterados em um período prolongado.
- **Identificar a sazonalidade dos incêndios contribui para conceituar as causas, no sentido de se avaliar a temporalidade das atividades que contribuem nas ignições.** Uma vez estabelecido um calendário das épocas ao longo do ano nas que ocorrem os incêndios e sua relação com as características climáticas dessas épocas, facilita-se a concentração da atenção para esses períodos. A estação seca média e sobretudo os meses de setembro e outubro constituem o momento com maior risco de ignições e é quando os incêndios alastram-se por maiores extensões. Dever-se-ia avaliar aspectos sociais e econômicos que acarretam o uso do fogo nestas épocas, para assim, por meio de divulgação e educação ambiental, conscientizar sobre o perigo do seu uso nesse período. Se bem fora dessa época os incêndios foram menos e menores, a chegada das precipitações a partir de novembro nessa área não garante a nulidade de incêndios pelo que o risco continua até dezembro.
- **Atualmente, a maioria dos incêndios é acidental, mas sabe-se de alguns incêndios criminosos. Identificar a distribuição espacial dos incêndios nos parques e no entorno permite o estabelecimento de ações de prevenção e punição.** A maioria dos incêndios acontece ao longo de estradas e assentamentos, começando sobretudo no exterior dos parques e quase sempre espalhando-se ao interior. Dever-se-ia focar nas populações circundantes aos parques para informar sobre as consequências ambientais e legais do uso do fogo e dos prováveis incêndios, de modo a motivar a diminuição do

seu uso em situações de risco. Um incremento nas ações de prevenção poderia levar a uma diminuição nas ações de combate, ocasionado talvez, pela diminuição das práticas do uso do fogo.

- **O incremento de pesquisas voltadas às geociências nas últimas décadas e o desenvolvimento de tecnologias na área indicam a importância do seu uso em diferentes dimensões, sobretudo devido a sua acessibilidade, facilidade e economia.** A aplicação de geotecnologias na gestão de UCs é hoje fundamental para o funcionamento adequado das grandes extensões que abarcam algumas áreas. Desta forma, possibilitar-se-ia o monitoramento de mudanças no uso da terra, controle dos assentamentos nos limites e no entorno, manter um controle sobre as estradas e caminhos, entre outras funções. Recomenda-se o investimento em equipamento e pessoal capacitado para o desenvolvimento destas práticas, que já demonstraram ser eficientes para o manejo de áreas protegidas.

Para amenizar os efeitos do fogo, podem ser realizados trabalhos de estimacão de risco de incêndios para orientar ações de prevençãõ até os locais mais vulneráveis. É recomendável que cada unidade gestora tenha a capacidade do estudo e avaliaçãõ de partes proporcionais à sua área de monitoramento. O sensoriamento remoto, que neste trabalho foi utilizado para a detecçãõ *a posteriori* de áreas queimadas, pode também ser utilizado para as estimativas de intensidade do fogo, acúmulo de biomassa e biomassa queimada, que são essenciais para planejar o manejo do fogo do ano seguinte, especialmente por identificar locais estratégicos para estabelecer aceiros.

Na medida do possível, depois do incêndio, recomenda-se praticar a retirada das árvores queimadas mortas para evitar que em um próximo incêndio ardam ainda mais devido a que encontram-se extremadamente secas. Esta prática precisa de muita mão de obra e considerando que deveria ser realizada depois dos incêndios, é previsível que o esforço seja ainda maior, devido às altas temperaturas da região.

Tendo em vista os aspectos abordados ao longo deste capítulo, considera-se de fundamental importância a educaçãõ ambiental orientada a todas as gerações. Os adultos são os que praticam o uso do fogo e é necessário que sejam conscientes do risco que implica e quais são as precauções que devem tomar para evitar os incêndios. E, o talvez mais importante, é o repasse desses conhecimentos e outros ensinamentos em criançãs, que são as gerações futuras. Alertados pelas consequências do uso do fogo, é provável a negaçãõ do seu uso.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A problemática dos incêndios é conhecida popularmente nas comunidades do entorno do Mosaico Capivara-Confusões, mas mesmo assim, os resultados desta dissertação permitem compreender vários aspectos chave do regime de incêndios nessa área. Entre os anos 1999 e 2017, se queimaram 1.056.764 ha no Mosaico e entorno, o que equivale quase o 40 % da superfície da área estudada em um lapso de 19 anos. No entanto, é recomendável estender a janela temporal do banco de dados gerado nesta dissertação para assim melhorar o conhecimento e entendimento sobre o regime do fogo.

A abordagem metodológica aplicada para a análise do regime de fogo permitiu estabelecer questões gerais sobre o comportamento deste fenômeno na transição Cerrado-Caatinga. Estas aproximações contribuem a dimensionar objetivamente as implicações, os riscos e consequências ecológicas e sociais desta perturbação, assim como estabelecer uma linha base para a tomada de decisões de manejo realistas.

Estabeleceu-se que existe um curto intervalo de retorno de um a dois anos e um certo grau de recorrência, que alerta sobre que uma área queimada pode queimar novamente ou já foi queimada antigamente. Encontrou-se um interessante padrão para explicar por que alguns anos tiveram grandes extensões de área queimada, relacionando anos úmidos com altas taxas de produtividade de biomassa, seguidos de anos secos nos quais essa biomassa é seca e queimada; também conseguiu-se relacionar com fenômenos climáticos como El Niño devido ao seu vínculo com a seca da região.

Descreveu-se um período de, pelo menos, quatro meses, no qual a biomassa produzida na estação chuvosa consegue se secar e vira fitocombustível para se queimar na estação seca, com as maiores áreas queimadas entre setembro e outubro, que corresponde à estação seca média. Conseguiu-se determinar que mesmo começadas as precipitações na estação seca tardia ou começo da estação chuvosa, a vegetação permanece seca e com probabilidades de se queimar até dezembro.

Encontraram-se importantes padrões de bloqueio da propagação do fogo devido à existência de mudanças abruptas na declividade, faltantes de cobertura vegetal, que atuam como aceiros (ou corta-fogos) naturais. Este achado é fundamental para ser aplicado como estratégia de manejo no combate dos incêndios. Por outro lado, a análise de índices espectrais permitiu estabelecer questões básicas do comportamento espectral sazonal da vegetação da Caatinga em sua transição com o Cerrado, como assim também sobre a sua resposta a incêndios recorrentes, pela primeira vez.

Por último, estabeleceram-se várias diretrizes básicas focadas na aplicação desses resultados em planos de manejo e gestão do fogo para essas unidades de conservação, que são particulares por estarem incluídas dentro de um ambiente ecotonal de grande importância ecossistêmica. Cabe ressaltar a sua importância histórica devido à grande concentração de sítios arqueológicos e pinturas rupestres, para os quais o fogo representa uma ameaça.

Em conclusão, foram apresentados aportes ao conhecimento de alguns dos aspectos do regime de incêndios, como a recorrência, sazonalidade, área e padrão espacial e resposta espectral, enquanto ainda não existe muita informação acerca da intensidade e severidade dos incêndios na Caatinga nem sobre a regeneração da vegetação. Estes aspectos do regime são necessários para relacionar os efeitos do fogo sobre a estrutura da paisagem, a estrutura da vegetação e os processos ecológicos. Por sua vez, esta informação será útil para avaliar as estratégias para o manejo para o controle de cargas de combustível.

Sugere-se a continuação do estudo de incêndios nessa área, que pode ser facilitado devido ao banco de dados gerado. Assim, o estudo da resposta espectral para avaliar a regeneração da vegetação pode ser feito por meio da utilização de novos índices, ou o estudo particular do intervalo de retorno; modelos de simulações do comportamento do fogo podem ser desenvolvidos utilizando as cicatrizes delimitadas; como também, modelos de predição segundo previsões de mudanças climáticas, entre outros. Por outro lado, em um sentido mais ecológico, poderiam ser feitas pesquisas *in situ* para a avaliação do conteúdo hídrico da biomassa, tanto da serrapilheira quanto da vegetação em pé, a umidade do solo a diferentes profundidades, o impacto na sobrevivência e regeneração da vegetação queimada, entre outros aspectos, que contribuiriam a um maior entendimento do fogo no ecótono Cerrado-Caatinga.

REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A. N. Sertões e sertanejos: uma geografia humana sofrida. **Estudos Avançados**, v. 13, n. 36, p. 7–59, 1999.
- ALBUQUERQUE, U. P. et al. Caatinga revisited: ecology and conservation of an important seasonal dry forest. **The Scientific World Journal**, v. 2012, p. 1–18, 2012.
- ALENCAR, P. G. D. Caracterização da macrorregião do semiárido piauiense. **Semiárido piauiense: Educação e Contexto**, ed. 1, p. 15-34, 2010.
- ALVALÁ, R. C. S. et al. Drought monitoring in the Brazilian Semiarid region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 2017.
- 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, 2018.
- ARAÚJO, E. DE L.; DE CASTRO, C. C.; DE ALBUQUERQUE, U. P. Dynamics of Brazilian Caatinga: A Review Concerning the Plants, Environment and People. **Functional Ecosystems and Communities**, v. 1, n. 1, p. 15-28, 2007.
- ARAÚJO, J. C.; BRONSTERT, A. A method to assess hydrological drought in semi-arid environments and its application to the Jaguaribe River basin, Brazil. **Water International**, v. 41, n. 2, p. 213–230, 2016.
- ARCHIBALD, S. et al. What limits fire? An examination of drivers of burnt area in Southern Africa. **Global Change Biology**, v. 15, n. 3, p. 613–630, 2009.
- AZEVEDO, S. C. et al. Analysis of the 2012-2016 drought in the northeast Brazil and its impacts on the Sobradinho water reservoir. **Remote Sensing Letters**, v. 9, n. 5, p. 438–446, 2018.
- BACHMAIR, S., et al. Drought indicators revisited: the need for a wider consideration of environment and society. **WIREs Water**, v. 3, p. 516-536, 2016.
- BARBOSA, H. A. et al. Assessment of Caatinga response to drought using Meteosat-SEVIRI Normalized Difference Vegetation Index (2008–2016). **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 148, p. 235–252, 2019.
- BEUCHLE, R. et al. Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. **Applied Geography**, v. 58, p. 116–127, 2015.
- BOND, W.; KEELEY, J. Fire as a global ‘herbivore’: the ecology and evolution of flammable ecosystems. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 20, n. 7, p. 387–394, 2005.
- BRITO, S. S. B. et al. Frequency, duration and severity of drought in the Semiarid Northeast Brazil region. **International Journal of Climatology**, v. 38, n. 2, p. 517–529, 2018.
- BUSTAMANTE-BECERRA, J. A. B; CARVALHO, S.; OMETTO, J. P. Influence of the rainfall seasonal variability in the caatinga vegetation of NE Brazil by the use of time-series.

Journal of Hyperspectral Remote Sensing, v. 4, n. 1, p. 31–44, 2014.

CAMPOS, J.N.B. Paradigms and public policies on drought in Northeast Brazil: a historical perspective. **Environmental Management**, v. 55, n. 1052, 2015.

CARCARÁ, M. S. M. **As queimadas na cobertura da mídia impressa do Piauí**. Dissertação de Mestrado (Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2012.

CARDOSO, D. B. O. S.; QUEIROZ, L. P. Diversidade de Leguminosae nas caatingas de Tucano, Bahia: implicações para a fitogeografia do semi-árido do Nordeste do Brasil. **Rodriguésia**, v. 58, n. 2, p. 379–391, 2007.

CASTELLETTI, C. H. M. et al. Quanto ainda resta da Caatinga? Uma estimativa preliminar. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. C. (Eds.). **Ecologia e Conservação da Caatinga**. Recife: Universitária da UFPE, p. 719–734, 2003.

CHUVIECO, E. et al. A new global burned area product for climate assessment of fire impacts: A new global burned area product. **Global Ecology and Biogeography**, v. 25, n. 5, p. 619–629, 2016.

CLAVAL, P.; DE FREITAS, I. A. Seasonality in Brazil: rain, mud and drought. In: PALANG, H.; SOOVÄLI, H.; PRINTSMANN, A. (Eds.). **Seasonal Landscapes**. Dordrecht: Springer Netherlands, p. 61–83, 2007.

COLE, M. M. Cerrado, caatinga and pantanal: the distribution and origin of the savanna vegetation of Brazil. **The Geographical Journal**, v. 126, n. 2, p. 168, 1960.

DANTAS, V. L. et al. Disturbance maintains alternative biome states. **Ecology Letters**, v. 19, n. 1, p. 12–19, 2016.

DWYER, E. et al. Global spatial and temporal distribution of vegetation fire as determined from satellite observations. **International Journal of Remote Sensing**, v. 21, n. 6–7, p. 1289–1302, 2000.

EITEN, G. The cerrado vegetation of Brazil. **The Botanical Review**, v. 38, n. 2, p. 201–341, 1972.

EMBRAPA. **Alternativas para a prática das queimadas na agricultura**: recomendações tecnológicas. Brasília, 2000.

EMBRAPA. **Atribuição das terras do Brasil**, 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/gite/projetos/atribuicao/index.html>>. Acesso em: 10 set. 2018.

FIEDLER, N.C.; MERLO, D.A.; MEDEIROS, M.B. Ocorrência de incêndios florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, Goiás. **Ciência Florestal**, v. 16, p. 153–161, 2006.

FIGUEREDO, E. D. S. **Mapeamento do potencial de expansão agrícola na região sudoeste piauiense**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Cartográfica e De

Agrimensura) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal Do Piauí, Teresina, 2017.

FLORA DO BRASIL. **Flora do Brasil 2020 em construção**, 2018. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>>. Acesso em: 20 mar. 2018

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. São Paulo: Oficina de textos, 2007.

FRANÇOSO, R. D. et al. Habitat loss and the effectiveness of protected areas in the Cerrado Biodiversity Hotspot. **Natureza & Conservação**, v. 13, n. 1, p. 35-40, 2015.

GARIGLIO, M. A. et al. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Brasília, DF: Serviço Florestal Brasileiro, 2010.

GLANTZ, M. H.; KATZ, R. W. When is a drought a drought? **Nature**, v. 267, n. 5608, p. 192–193, 1977.

GONÇALVES, J. D. S. **A prática da queimada no saber tradicional e na concepção científica de risco: estudo sobre o uso do fogo por pequenos produtores rurais do norte do estado de Minas Gerais**. 2005. Dissertação de Mestrado (Pós-graduação em Extensão Rural) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

HAUFF, S. N. **Representatividade do sistema nacional de unidades de conservação na Caatinga**. Brasília: PNUD, 2010.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Queima controlada**, 2016. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/incendios-florestais/queima-controlada>>. Acesso em: 15 jan. 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2016. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 16 fev. 2018

IDHM. **Atlas do Desenvolvimento Humano do Brasil**, 2010. Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/>>. Acesso em: 15 mar. 2018

KAUFFMAN, J. B. et al. Biomass and nutrient dynamics associated with slash fires in neotropical dry forests. **Ecology**, v. 74, n. 1, p. 140–151, 1993.

KAZMIERCZAK, M. L. Uso de dados AVHRR/NOAA GAC para análise da sazonalidade da caatinga. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8., 1996, Salvador, Brasil, **Anais [...]**. INPE, 1996, p. 513-518.

KOUSKY, V. E.; CHUG, P. S. Fluctuations in annual rainfall for Northeast Brazil. **Journal of the Meteorological Society of Japan**. Ser. II, v. 56, n. 5, p. 457-465, 1978.

LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. C. (Eds.). **Ecologia e Conservação da Caatinga**. Recife: Universitária da UFPE, 2003.

LEMOS, J. R.; RODAL, M. J. N. Fitossociologia do componente lenhoso de um trecho da vegetação de caatinga no Parque Nacional Serra da Capivara, Piauí, Brasil. **Acta Botanica**

Brasilica, v. 16, n. 1, p. 23–42, 2002.

LINDOSO, D. et al. Harvesting water for living with drought: insights from the Brazilian human coexistence with semi-aridity approach towards achieving the sustainable development goals. **Sustainability**, v. 10, n. 3, p. 622, 2018.

LIU, W. T. H.; MASSAMBANI, O.; NOBRE, C. A. Satellite recorded vegetation response to drought in Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 14, n. 3, p. 343–354, 1994.

LIU, W. T.; JUÁREZ, R. I. N. ENSO drought onset prediction in northeast Brazil using NDVI. **International Journal of Remote Sensing**, v. 22, n. 17, p. 3483–3501, 2001.

MAIA, R., et al. Socioeconomic evaluation of drought effects. Main principles and application to Guadiana and Algarve case studies. **Water Resource Management**, v. 29, n. 2, p. 575–588, 2015.

MAMEDE, M. A.; DE ARAÚJO, F. S. Effects of slash and burn practices on a soil seed bank of caatinga vegetation in Northeastern Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 72, n. 4, p. 458–470, 2008.

MARENGO, J. A. et al. Two contrasting severe seasonal extremes in tropical South America in 2012: flood in Amazonia and drought in Northeast Brazil. **Journal of Climate**, v. 26, n. 22, p. 9137–9154, 2013.

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 129, n. 3-4, p. 1189-1200, 2017.

MARENGO, J. A. et al. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 2 suppl 1, p. 1973–1985, 2018.

MARENGO, J. A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil. **Parcerias Estratégicas**. Brasília, DF, n. 27, p. 28, 2008.

MARTINS, E. S. P. R., et al. **Monitor de Secas do Nordeste, em busca de um novo paradigma para a gestão de secas**. 1. ed. Brasília: Série Água, 2015.

MARTINS, E. S. P. R. et al. A multimethod attribution analysis of the prolonged Northeast Brazil hydrometeorological drought (2012–16). **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 99, n. 1, p. 65–69, 2018.

MARTINS, M. A. et al. Improving drought management in the Brazilian semiarid through crop forecasting. **Agricultural Systems**, v. 160, p. 21–30, 2018.

MEDEIROS, M.B.; FIEDLER, N.C. Incêndios florestais no Parque Nacional da Serra da Canastra: desafios para a conservação da biodiversidade. **Ciência Florestal**, v. 14, p. 157-168, 2004.

MENG, R.; ZHAO, F. Remote sensing of fire effects: a review for recent advances in burned

area and burn severity mapping. In: PETROPOLUS, G. P.; ISLAM, T. **Remote Sensing of Hydrometeorological Hazards**. p. 261–281, 2017.

MMA, IBAMA. Ministério do Meio Ambiente, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite e acordo de cooperação técnica MMA/IBAMA**, 2010. Disponível em: <http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/caatinga/relatrio_tcnico_caatinga_72.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2018

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Iniciativas de Conservação**, 2015. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/caatinga/iniciativas-de-conservacao>>. Acesso em: 12 abr. 2018.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Departamento de áreas protegidas**, 2019. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiMDNmZTA5Y2ItNmFkMy00Njk2LWI4YjYtZDJIInZkOGM5NWQ4IiwidCI6IjJiMjY2ZmE5LTNmOTMtNGJiMS05ODMwLTYzNDY3NTJmMDNlNCIsImMiOiJF9>>. Acesso em: 01 fev. 2019.

MOURA, A. S.; RAMOS, G. C. C. **Cenários para o Bioma Caatinga**. Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da caatinga, Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente de Pernambuco, Recife, 2004.

MYERS, R.L. **Convivendo com o fogo – Manutenção dos ecossistemas & subsistência com o Manejo Integrado do Fogo**. The Nature Conservancy, 2006.

NOGUEIRA FERAZ, E. M.; NOGUEIRA RODAL, M. J.; SAMPAIO, E. V. S. B. Physiognomy and structure of vegetation along an altitudinal gradient in the semi-arid region of northeastern Brazil. **Phytocoenologia**, v. 33, n. 1, p. 71–92, 2003.

NOGUEIRA, J. et al. Spatial pattern of the seasonal drought/burned area relationship across Brazilian biomes: sensitivity to drought metrics and global remote-sensing fire products. **Climate**, v. 5, n. 2, p. 42, 2017.

PAREDES, F. J.; BARBOSA, H.; GUEVARA, E. Análisis espacial y temporal de las sequías en el nordeste de Brasil. **Agriscientia**, v. 32, n. 1, p. 1-14, 2015.

PEREIRA, I. M. et al. Use-history effects on structure and flora of caatinga. **Biotropica**, v. 35, n. 2, p. 154, 2003.

PRADO, D. E. As caatingas da América do Sul. In: LEAL, R.; TABARELLI, MM; SILVA, J. M. C. (Eds.). **Ecologia e conservação da Caatinga**. Recife: Universitária da UFPE, 2003.

PREVFOGO. **Centro Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais**. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/prevfogo>>. Acesso em: 12 abr. 2018.

RAMOS, R. P. L. Precipitation characteristics in the Northeast Brazil dry region. **Journal of Geophysical Research**, v. 80, n. 12, p. 1665–1678, 1975.

RAMOS-NETO, M.B.; PIVELLO, V.R. Lightning fires in a Brazilian savanna national park:

- rethinking management strategies. **Environmental Management**, v. 26, p. 675-684, 2000.
- RAO, V. B.; HADA, K.; HERDIES, D. L. On the severe drought of 1993 in north-east Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 15, n. 6, p. 697–704, 1995.
- REBELLO, V. P. A. et al. Monitoring drought in Brazil by remote sensing. In: LAKSHMI, V. (Ed.). **Remote Sensing of Hydrological Extremes**. Switzerland: Springer International Publishing, p. 197–218, 2017.
- REDDY, S. J. Climatic classification: the semi-arid tropics and its environment – a review. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 18, n. 8, p. 823-847, 1983.
- REDO, D.; AIDE, T. M.; CLARK, M. L. Vegetation change in Brazil's dryland ecoregions and the relationship to crop production and environmental factors: Cerrado, Caatinga, and Mato Grosso, 2001–2009. **Journal of Land Use Science**, v. 8, n. 2, p. 123–153, 2013.
- ROSSATO, L. et al. Impact of soil moisture on crop yields over Brazilian Semiarid. **Frontiers in Environmental Science**, v. 5, n. 73, 2017.
- ROUSE, J. W. et al. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. Proc. 3rd ERTS Symp. NASA SP-351, pp. 309-317, 1974
- SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H.; KAUFFMAN, J. B. Effect of different fire severities on coppicing of caatinga vegetation in Serra Talhada, PE, Brazil. **Biotropica**, v. 25, n. 4, p. 452, 1993.
- SAMPAIO, E. V. A. et al. Regeneração da vegetação de caatinga após corte e queima em serra talhada, PE. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 5, p. 621-632 1998.
- SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, M. S. B.; SAMPAIO, Y. S. B. Impactos ambientais da agricultura no processo de desertificação no Nordeste do Brasil. **Revista de Geografia**, Recife, v. 22, n. 1, p. 90-112, 2005.
- SANTOS, A. M.; TABARELLI, M. Distance from roads and cities as a predictor of habitat loss and fragmentation in the caatinga vegetation of Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 62, n. 4b, p. 897–905, 2002.
- SANTOS, J. C. et al. Caatinga: The scientific negligence experienced by a dry tropical forest. **Tropical Conservation Science**, v. 4, n. 3, p. 276–286, 2011.
- SANTOS, M. G. et al. Caatinga, the Brazilian dry tropical forest: can it tolerate climate changes? **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 26, n. 1, p. 83–99, 2014.
- SILVA, V. P. R. On climate variability in Northeast of Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 58, n. 4, p. 575–596, 2004.
- SILVA, R. M. A. **Entre o combate à seca e a convivência com o semiárido: transições paradigmáticas e sustentabilidade do desenvolvimento**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2010.

SIMON, M. F. et al. Recent assembly of the Cerrado, a neotropical plant diversity hotspot, by in situ evolution of adaptations to fire. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 106, n. 48, p. 20359–20364, 2009.

SNUC, MMA. **Sistema Nacional de Unidades de Conservação**, 2019. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/unidades-de-conservacao/sistema-nacional-de-ucs-snuc.html>>. Acesso em: 10 fev. 2019.

SON, N. T., et al. Monitoring agricultural drought in the Lower Mekong Basin using MODIS NDVI and land surface temperature data. **International Journal of Applied Earth Observation**, v. 18, p. 417–427, 2012.

STOTT, P. Combustion in tropical biomass fires: a critical review. **Progress in Physical Geography**, v. 24, n. 3, p. 355-377, 2000.

STRASSBURG, B. N. et al. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology & Evolution**, v. 1, n. 4, p. 00-99, 2017.

SUDENE. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Delimitação do Semiárido**, 2017. Disponível em: <<http://sudene.gov.br/planejamento-regional/delimitacao-do-semiarido>>. Acesso em: 01 jun. 2017.

TABARELLI, M.; VICENTE, A.; BARBOSA, D. C. A. Variation of seed dispersal spectrum of woody plants across a rainfall gradient in north-eastern Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 53, n. 2, p. 197–210, 2003.

UMDALE, P., et al. Farmer's perception of drought impacts, local adaptation and administrative mitigation measures in Maharashtra state, India. **International Journal of Disaster Risk Science**, v. 10, p. 250–269, 2014.

VAN LOON, A. F., et al. Drought in the Anthropocene. **Nature Geoscience**, v. 9, p. 89-91, 2016.

VELLOSO, A. L.; SAMPAIO, E. S. B. V.; PAREYN, F. G. C. **Ecorregiões propostas para o Bioma Caatinga**. Recife: TNC-Brasil, Associação Plantas do Nordeste, 2003.

WILHITE, D. A. Drought as a natural hazard: concepts and definitions. In: DONALD, A.; WILHITE, A. (eds). **Drought: a global assessment**. New York: Routledge, 2000.

WILHITE, D. A.; SVOBODA, M. D.; HAYES, M. J. Understanding the complex impacts of drought: a key to enhancing drought mitigation and preparedness. **Water Resources Management**, v. 21, n. 5, p. 763–774, 2007.

ANEXOS

ANEXO – A

Manuscript Number:

Title: A long-term assessment of fire regimes in protected areas of South American savannah and seasonally dry tropical forests

Article Type: Research paper

Keywords: Seasonality; Fire recurrence; Caatinga; Cerrado; Precipitation; Spectral indices

Corresponding Author: Miss Daihana Soledad Argibay,

Corresponding Author's Institution: Universidade Federal do Piauí

First Author: Daihana Soledad Argibay

Order of Authors: Daihana Soledad Argibay; Javier Sparacino; Giovana Espindola

Abstract: Fire is a recurrent phenomena in semiarid seasonal ecosystems. The study of the relationship between drought, seasonality and fire could provide new approaches for the understanding of fire dynamic in semiarid regions, being useful for strategically managing the lost and recovery of natural resources under threat. Here, we evaluated the patterns of fires in a semiarid Caatinga-Cerrado ecotone in the northeast of Brazil by characterizing their spatio-temporal dynamics associated with climatic and ecological conditions. Using temporal series of 306 Landsat images we mapped a burned area database of fine spatial resolution (30 m) and we assessed the patterns and relations with seasons, rainfall, droughts and spectral indices, from 1999 to 2017 in the Capivara-Confusões Mosaic of protected areas and its surroundings. As result, we created yearly/seasonal and recurrence maps of burned area in order to assess the fire regimes. Results showed that 47.74 % of the area was burned during the whole period, Serra das Confusões National Park had 302,644 ha burned, Serra da Capivara National Park had 2,056 ha burned and the ecological corridor had 215,718 ha burned. The 36.04 % of the fire was registered during the middle dry season, almost no fires occurred in the early dry season, while late dry and rainy season had similar dimensions burned. The years that burned the most were related with accumulated dry years (2007) or were related with ENSO (2010, 2012, 2015). We found for the period a pattern of a wet year followed by low burned area, succeeded by a dry year with great burned area (1999-2000, 2008-2010, 2010-2012). High recurrence areas were always near roads, settlements or cities and fires were limited by topography. The fire recurrence interval was always more than two years, meaning that an area that burned a year will be delimiting the area burned the next year. NDVI presented a marked seasonal pattern and QNDVI showed fires identified by the lowest valleys, distinguishing them from valleys related to dry seasons exclusively. The patterns that we described here constitute the first step for understanding the fire regimes of the region in order to establish directions for improving management strategies and also orienting mitigation policy in the area.

Highlights

- Almost the half of the Capivara-Confusões Mosaic burned during the last 19 years
- It burned the most in the middle dry season and related with ENSO events
- A large area burned can be consequence of a rainy year followed by a dry year
- High fire recurrence are near roads and settlements and are limited by topography
- *NDVI* showed seasonal patterns and Q_{NDVI} showed deep valleys in burned years

1 A long-term assessment of fire regimes in protected areas of South American savannah and seasonally 2 dry tropical forests

3

4 Daihana S. Argibay^a, Javier Sparacino^a, Giovana Mira de Espindola^a5 ^aPRODEMA, Federal University of Piauí, 64049-538, Teresina, Brazil

6

7 Abstract

8 Fire is a recurrent phenomena in semiarid seasonal ecosystems. The study of the relationship between drought,
9 seasonality and fire could provide new approaches for the understanding of fire dynamic in semiarid regions,
10 being useful for strategically managing the lost and recovery of natural resources under threat. Here, we
11 evaluated the patterns of fires in a semiarid Caatinga-Cerrado ecotone in the northeast of Brazil by
12 characterizing their spatio-temporal dynamics associated with climatic and ecological conditions. Using
13 temporal series of 306 Landsat images we mapped a burned area database of fine spatial resolution (30 m) and
14 we assessed the patterns and relations with seasons, rainfall, droughts and spectral indices, from 1999 to 2017
15 in the Capivara-Confusões Mosaic of protected areas and its surroundings. As result, we created yearly/seasonal
16 and recurrence maps of burned area in order to assess the fire regimes. Results showed that 47.74 % of the area
17 was burned during the whole period, Serra das Confusões National Park had 302,644 ha burned, Serra da
18 Capivara National Park had 2,056 ha burned and the ecological corridor had 215,718 ha burned. The 36.04 %
19 of the fire was registered during the middle dry season, almost no fires occurred in the early dry season, while
20 late dry and rainy season had similar dimensions burned. The years that burned the most were related with
21 accumulated dry years (2007) or were related with ENSO (2010, 2012, 2015). We found for the period a pattern
22 of a wet year followed by low burned area, succeeded by a dry year with great burned area (1999-2000, 2008-
23 2010, 2010-2012). High recurrence areas were always near roads, settlements or cities and fires were limited by
24 topography. The fire recurrence interval was always more than two years, meaning that an area that burned a
25 year will be delimiting the area burned the next year. $NDVI$ presented a marked seasonal pattern and Q_{NDVI}
26 showed fires identified by the lowest valleys, distinguishing them from valleys related to dry seasons
27 exclusively. The patterns that we described here constitute the first step for understanding the fire regimes of
28 the region in order to establish directions for improving management strategies and also orienting mitigation
29 policy in the area.

30

31 *Keywords:* Seasonality; Fire recurrence; Caatinga; Cerrado; Precipitation; Spectral indices

32

33 1. Introduction

34

35 Fires alter the structure and composition of vegetation around the world, affecting the distribution of
36 ecosystems (Bond *et al.*, 2004). At the same time, vegetation is one of the key drivers in fire activity, regarding
37 its productivity (biomass as fuel), flammability (chemical composition and structure), availability to burn
38 (moisture/dryness) and its phenology (deciduous, semi-deciduous or evergreen) (Archibald *et al.*, 2018).
39 Together with vegetation and fuel variation, climate, weather during fire, and ignition rates determine fire
40 activity (Bradstock, 2010), consequently fire is considered a multi-dimensional phenomena (Archibald *et al.*,
41 2018).

42 Fire regimes can be described as a particular combination of fire characteristics, like frequency,
43 intensity, severity, size, season, type, extent and spatial pattern of fire occurrence (Bond and Keeley, 2005). Fire
44 regimes had been modelling the Earth processes for hundreds of millions of years, long before anthropogenic
45 burnings (Scott, 2000). In spite of that, fire regimes are altered by human activities that play an equal role to
46 climate, influencing the number and timing of ignitions, suppressing fires, affecting the fuel amount and
47 vegetation connectivity, and altering climate (Archibald *et al.*, 2013; Bowman *et al.*, 2009; 2011; Flannigan *et*
48 *al.*, 2009; Mayr *et al.*, 2018).

49 Worldwide, the spatial variability of fire regimes has been explained, in part, by rainfall seasonality,
50 interannual variability and effective rainfall (Archibald *et al.*, 2013; Argañaraz *et al.*, 2015). These climatic
51 variables are related with the presence of long-term droughts and dry season length, the annual opportunities of
52 fire occurrence and the productivity that determines the amount of fuel, respectively (Archibald *et al.*, 2009;
53 2013). Nowadays, fire regimes are mostly associated to current vegetation and climate, but the complex
54 interactions among fire, climate, vegetation and human activities block the capacity of prediction of fire
55 emergence (Archibald *et al.*, 2018).

56 Several authors have analysed climate and ecological variables that influence or alter fire regimes (e.g.
57 Argañaraz *et al.*, 2018; Mayr *et al.*, 2018; Moreno *et al.*, 2014; Nogueira *et al.*, 2017a; Pourtaghi *et al.*, 2016).
58 Among other identified variables, annual precipitation and its distribution (Chen *et al.*, 2017), as well as hot and
59 dry days after a period of abundant rains (Archibald *et al.*, 2009; Bradstock, 2010) are mentioned. Human
60 influences ruling fire regimes have also been studied. Distance to roads, land use changes and the employment
61 of fire for agricultural practices, are the main anthropic factors that drive fire occurrence worldwide (Pourtaghi
62 *et al.*, 2016). Furthermore, the continuity of the fuel bed determines the spread of fire and it can be confined not
63 only by topography (natural) but also by roads (human) (Archibald *et al.*, 2009).

64 In turn, seasonality, together with rainfall concentration, periods of pronounced water shortage, and fires
65 are the main characteristics of semiarid environments (Archibald *et al.*, 2013; Kousky and Chug, 1978; Murphy
66 *et al.*, 2013, Reddy 1983). Semiarid ecosystems in the Neotropics encompass areas of savannah and seasonally
67 dry tropical forest (SDTF), in particular Cerrado and Caatinga in central and northeast Brazil, respectively
68 (Collevati *et al.*, 2013).

69 The Cerrado vegetation consists of a mosaic that ranges from grasslands to open or closed shrublands
70 and woodlands (Eiten, 1972). While natural fires due to lightning have been recorded during the rainy season
71 (Ramos-Neto and Pivello, 2000), currently most fires are anthropic (Pivello, 2011). The Caatinga ecosystem is
72 restricted to the limits of Brazil and is climatically characterised for having the rainfall concentrated in a short
73 rainy season with high spatial and interannual variation (Reddy, 1983). It was described as the most biodiverse
74 and populated semiarid region of the world. The transition areas between Cerrado and Caatinga add complexity
75 to the system, as transition environments between grassland and closed forest represent an interesting situation
76 of flammability gradient (Hoffman *et al.*, 2012).

77 Besides the regular seasonality, the variations of precipitation and the presence of droughts in semiarid
78 environments are frequently related to specific climatic anomalies, like El Niño Southern Oscillation (ENSO)
79 (Liu and Juarez, 2001). Droughts are characterised by the delayed arrival of rains or the anticipated end of rainy
80 seasons, with precipitation values below the annual mean (Ramos, 1975; Sampaio *et al.*, 2005). These
81 precipitation anomalies and redistribution, when caused by ENSO episodes, return into an alteration on the fire
82 response, nevertheless, with a time delay between the anomalous precipitation that accumulate during the rainy
83 season and fire activity, that occurs in the dry season (Chen *et al.*, 2017). According to Sampaio *et al.* (1993),
84 long drought periods in the Caatinga cause an increase of fire severity that also reduces species diversity,
85 although ignition is determined by the decreasing of the primary production in the rainy season preceding the
86 fire season (Nogueira *et al.*, 2017a).

87 In this context, the application of satellite imagery combined with climatic data allows the study of fires
88 in association with seasonality, regarding the continuous monitoring of land surface and climate (see Meng and
89 Zhao, 2017 and Mouillot *et al.*, 2014 for revisions). During recent years, these remote sensing products were
90 used to map burned areas as the first step to characterise fire dynamics (Key and Benson, 2006). Long time
91 series data from sensors aboard Landsat satellites of fine spatial resolution were used to describe fire regimes
92 for protected areas in Brazilian Cerrado (Alvarado *et al.*, 2017; Alves and Pérez-Cabello, 2017; Daldegan *et al.*,
93 2014; Lemes *et al.*, 2014; Melchiori *et al.*, 2014), contrarily, no long-term study of fire has been made in
94 Caatinga regions. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) series offer daily information
95 from 2000 to the present with lower spatial resolution and is frequently used for mapping burned areas in a
96 global scale (Bastarrika *et al.*, 2018; Chuvieco *et al.*, 2016; Nogueira *et al.*, 2017a; 2017b, among others).

97 Accordingly, mapping fire regimes are useful for evaluating ecological conditions providing a deeper
98 understanding of how spatio-temporal processes (like climate, topography, fuel availability and vegetation
99 dynamic and structure) influence fire dynamics (Morgan *et al.*, 2001). Maps of fire regimes provide appropriate
100 information for understanding and evaluating the ecosystem changes, for characterising fire risk, identifying
101 fuels and fire management and for policy-makers decisions.

102 Despite the existence of some studies regarding fire dynamics in semiarid environments, little is known
103 about fires in Caatinga and its transition with Cerrado ecosystem. This way, information of the relative

104 importance of several environmental factors affecting burned area in this region is currently lacking,
105 particularly when protected areas are considered. In this work, the mapping of the combination between burned
106 area and climate in a fine scale resolution is expected to assist the understanding of fire regime and its
107 implications on management requirements within two National Parks in southwest Piauí, northeast Brazil. Here,
108 we evaluate the influence of climatic variables on fire regimes to gain insights into how global change will
109 affect fire regimes. We analyse the spatio-temporal patterns of fire incidence in a transition area of the northeast
110 Brazilian semiarid region from 1999 to 2017. Using Landsat satellite images and a subdivision of dry and rainy
111 seasons over the entire period, we aim to: i) create a burned area database of fine spatial resolution; ii) assess the
112 recurrence and spatio-temporal patterns of fire; iii) evaluate the spectral behaviour of burned area over the time.

113

114 **2. Materials and methods**

115

116 *2.1. Study area*

117

118 The present study was conducted in the Capivara-Confusões Mosaic (CCM, Fig. 1), composed by Serra
119 da Capivara (SCaNP) and Serra das Confusões (SCoNP) National Parks and the ecological corridor between
120 them. Located in the southwestern section of Piauí state in Brazilian northeast region, our study area includes
121 approximately 84% of each National Park and the whole of the corridor. It was defined including a surrounding
122 area of 25 km radius around the CCM and cropped to fit the limits of the state of Piauí at the south and the
123 Landsat scene path/row 219/66 to the east and southwest. The total area is 2,213,643 ha, placed between 8°9'-
124 9°25' S and 44°13'-42°22' W (Fig. 1).

125 The SCaNP was created in 1979 and covers a surface of 134,973 ha. The park has been declared as a
126 World Heritage site by the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) in
127 1991 due to its archaeological legacy. It presents evidence and artefacts related to the origins of human
128 settlement in the continent, including the biggest concentration of rock paintings and archaeological sites of the
129 Americas (Pessis and Guidon, 2009). The whole park is crossed by a web of dust roads that act as firebreak and
130 give access to the different archaeological sites for visitation (Olmos and Albano, 2012).

131 The SCoNP was created in 1998, originally covering 502,000 ha, but after an extension, the protected
132 area now covers 834,129 ha. Even prohibited, the park presents some hunting problems due to its dimensions
133 and lack of monitoring staff. Moreover, it is crossed by dust roads that link the cities from the southeast to the
134 northwest and has some villages in its boundaries. Both parks are managed by the Chico Mendes Institute for
135 Biodiversity Conservation that belongs to the Brazilian Ministry of Environment (ICMBio and MMA –
136 acronyms in Portuguese, respectively).

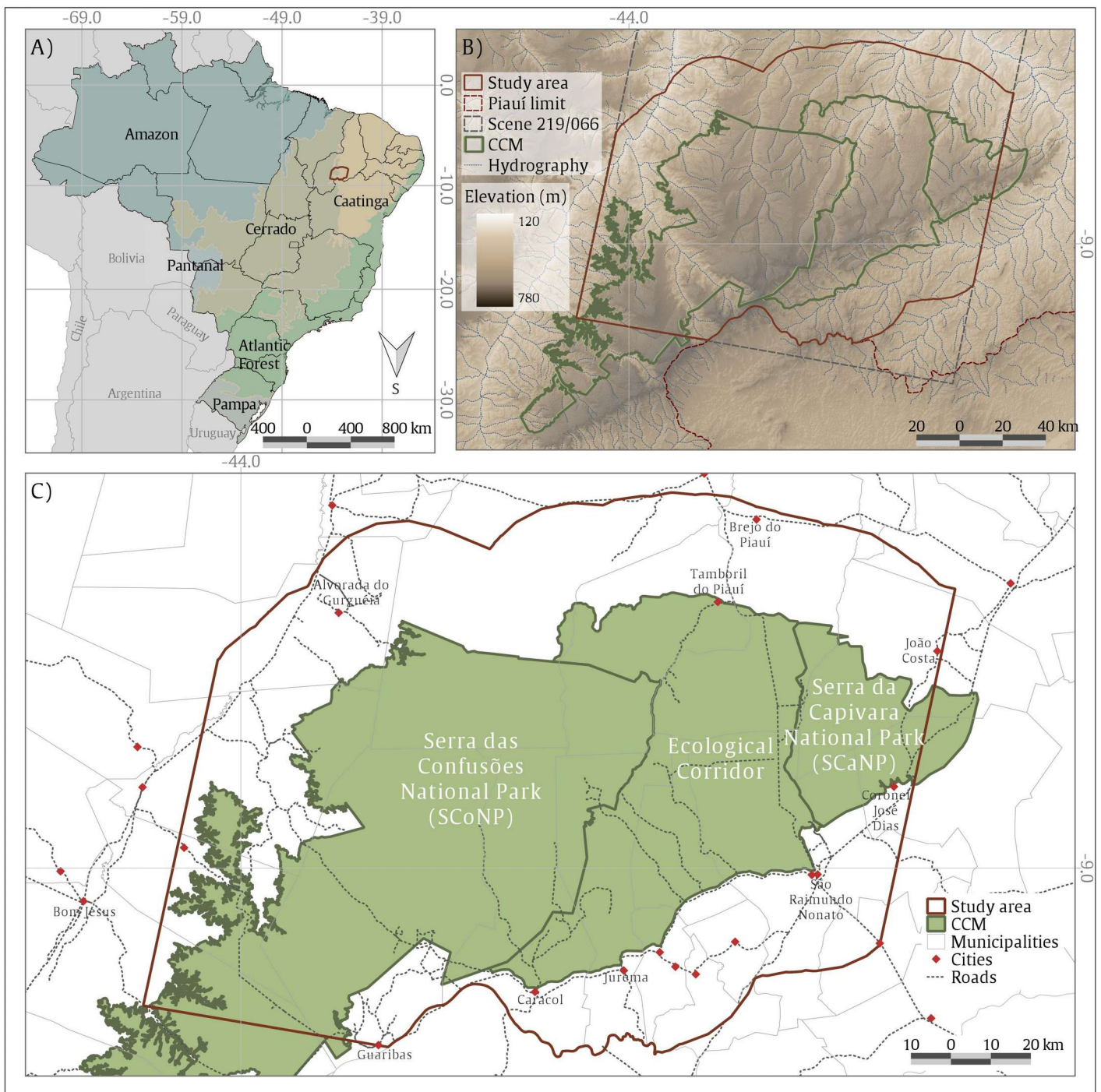


Fig. 1. Map of the study area, where: (A) location of the study area in the context of Brazil representing the different fitophysiognomies recognised by the Brazilian Ministry of the Environment (MMA, 2017); (B) altimetric ranges extracted from the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) digital elevation model (Jarvis et al., 2008) and hydrologic courses (ANA, 2017); and, (C) context of the Capivara-Confusões Mosaic in the state of Piauí municipalities and roads (IBGE, 2017).

137

138

139

140

141

142

143

The CCM was created through a federal decree in 2005 to integrate the management of the two National Parks, their buffer areas and the ecological corridor between them. The principal purposes for its creation was the conservation and sustainable use of natural resources to provide an effective preservation of the biodiversity. Nevertheless, the corridor is crossed by some paved roads and there exist several settlements with extensive agriculture and cattle raising, and there, the fire is commonly used as a management practice for the preparation of the land for cultivation.

144 This study area is located between the two biggest geological formations of northeast region of Brazil:
145 the Parnaíba River sediment basin, which is a Silurian-Devonian sandstone formation, and the peripheral
146 depression of the São Francisco River, with small limestone formations of Precambrian (Lemos and Rodal,
147 2002). The main sandstone plateau, locally known as *chapada* (Fontugne *et al.*, 2013) reaches 700 m and is
148 bounded by 50 to 200 m cliffs and dissected by valleys and canyons (Silveira *et al.*, 2009). The limestone
149 formations emerge as island mountains between the *chapada* and are deeply eroded with many cavities, rock-
150 shelters and caves (Fontugne *et al.*, 2013). Soils from the *chapadas* are mainly yellow-red latosols, while in the
151 valleys and canyons predominates white sand (Olmos, 1992). There are not perennial water courses inside none
152 of the parks, but there are perennial natural sources in SCoNP and some itinerant rivers during rainy season;
153 also artificial reservoirs are maintained in SCoNP and filled in the dry season to supply fauna as a management
154 practice (Olmos and Albano, 2012).

155 The whole region is characterized by a semiarid climate with a long dry period and a short wet season,
156 and 90% of the annual precipitation is concentrated between November and April (Sparacino *et al.*, 2019). The
157 vegetation is adapted to the annual water shortage (Reddy, 1983). Therefore, the vast majority of the area
158 presents a mosaic of different assemblages of thorny, xerophyte and/or deciduous Caatinga vegetation
159 (Emperaire, 1989; Olmos, 1992; Silveira *et al.*, 2009). The vegetation within the *chapadas* has a shrubby-
160 arboreal structure with low stature (6-10 m); the canyons, which are wetter, present semi-deciduous forest
161 enclaves with taller vegetation (up to 30 m). The cliffs present an arboreal Caatinga with individuals reaching
162 more than 15 m height, and separate the *chapadas* from the plains that present medium-height forest (5-10 m)
163 (Emperaire, 1989; Moura, 2005a). The woody vegetation starts to lose their leaves in May, producing abundant
164 leaf litter, and by August most of the trees are leafless (Moura, 2005a). There is also a seasonal herbaceous
165 component that disappears during the dry season (Lemos and Rodal, 2002).

166 The southwestern region of the CCM (Fig. 1) is an ecotonal area among Cerrado and Caatinga
167 ecosystems, with predominance of deciduous forest and arboreal Caatinga (Dinerstein *et al.*, 2017; Olson *et al.*,
168 2001). The southern and western borders of the SCoNP are deeply dissected with scattered rocky outcrops over
169 sandy soil, canyons with intermittent rivers and evergreen forest (Dal Vechio *et al.*, 2016).

170 For validation purposes, we made two field campaigns to the parks in May and June 2018, and we
171 visited three fire scars of different ages in each park. These fires occurred in 2017, 2015 and 2010/2011, so we
172 were able to recognise the differences in vegetation damage and recovering over time. The fire scars were
173 delimited previously by visual interpretation of remote sensing data, and the verification in field of some points
174 of the scars limits were made. We also checked some not burned islands in the 2017 SCoNP fire scar to prove
175 their existence.

176
177 2.2. *Data acquisition and processing*

178

179 The steps followed during the course of this work are graphically resumed in Fig. 2.

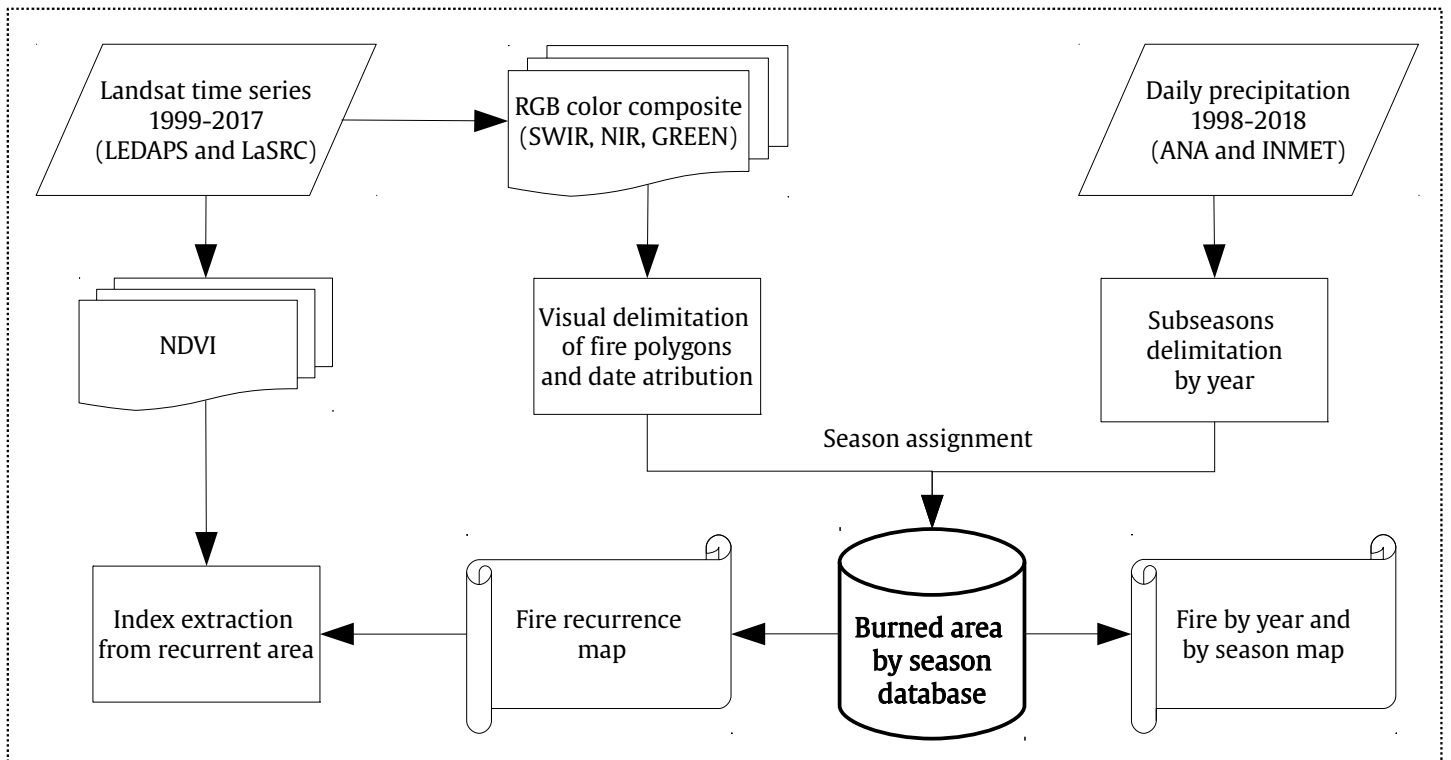


Fig. 2. Flow chart of methodological procedures.

2.2.1. Satellite imagery and burned area database

182

183

184

185 For the delimitation of the burned areas, we worked with temporal series of Landsat 5 Thematic Mapper

186 (TM), Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+), and Landsat 8 Operational Land Imager (OLI)

187 sensors with spatial resolution of 30 m (Table 1). A total of 306 Landsat images (path/row 219/66) were used

188 covering the time period between 1999 and 2017 (Fig. 3), excluding those completely covered by clouds. The

189 vast majority of fires occurs during the dry season, when is mainly cloudless, allowing the view of land surface

190 for fire scars identification (Feeley *et al.*, 2005; Sano *et al.*, 2007). The burned areas were primarily identified

191 by visual interpretation, and when a scar was partially covered by clouds, obstructing its correct spatial

192 delimitation, its date was registered but posterior images were used for the delimitation, as the scars remain

193 visible in the next consecutive images during the dry and wet seasons (Alvarado *et al.*, 2017). The temporal

194 resolution of the Landsat satellites is 16 days, but we were able to reduce it to 8 days for some periods using the

195 images from satellites that are in orbit simultaneously (Fig. 3). Thus, we analysed in average 16 images per year

196 (minimum 7 and maximum 22), depending on cloud-free image availability. ETM+ sensor had a failure on its

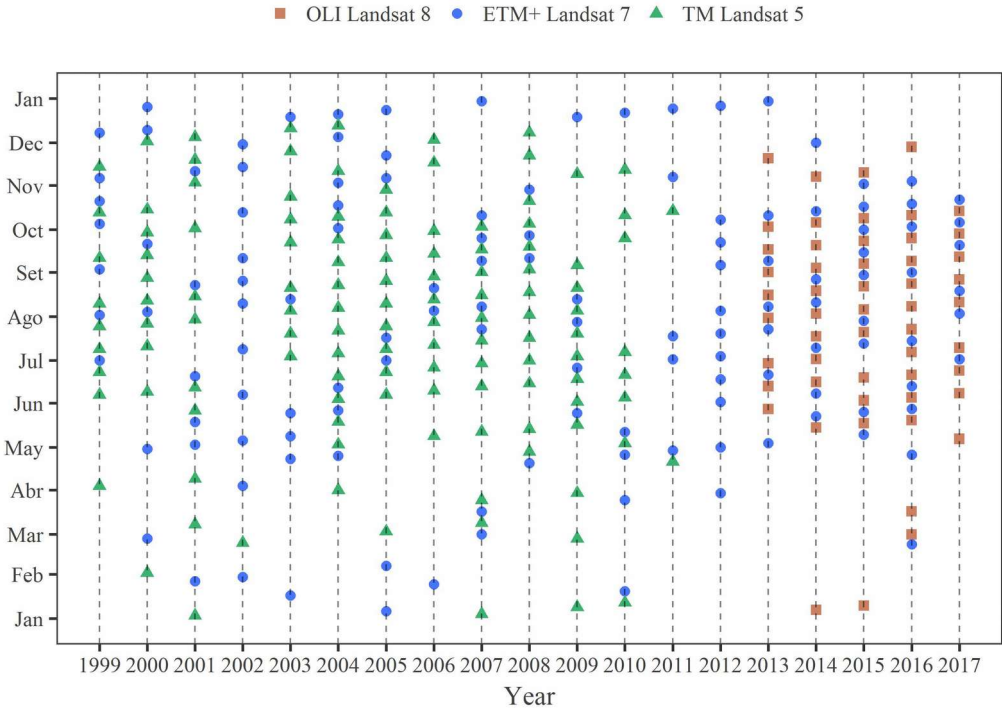
197 Scan Line Corrector mirror in 2003, so images were matched each other and with TM and OLI sensors to fill

198 the gaps using a simple overlay for image interpretation purposes.

200 Table 1. Information about satellites and respective sensors used as source for images analysis.

	Satellite	Sensor	Spatial resolution	Temporal resolution	Availability
LT4	Landsat 4	TM	30 m	16 days	July 1982–December 1993
LT5	Landsat 5	TM	30 m	16 days	March 1984–January 2013
LE7	Landsat 7	ETM+	30 m	16 days	April 1999–present
LC8	Landsat 8	OLI	30 m	16 days	February 2013–present

201 We used LEDAPS data (Landsat Ecosystem Disturbance Adaptive Processing System, Masek *et al.*,
 202 2006) for Landsat 5 and 7 and LaSRC data (Landsat 8 Surface Reflectance Code, Vermote *et al.*, 2016) for
 203 Landsat 8 products, both from the Collection-1 that are radiometrically calibrated and orthorectified using
 204 ground points and digital elevation model data to correct for relief displacement, and also the on-demand Level-
 205 2 products interface that corrects the images for atmospheric effects at surface reflectance level (USGS 2018).
 206 All images were ordered and downloaded from the USGS (U. S. Geological Survey web page).



207 Fig. 3. Representation of database used for scars delimitation and indices extraction. Date, satellite and sensor information of the images are described.

208 For the identification of burned areas, we generated RGB false colour composites for each image, using
 209 short wave infra-red (SWIR), near infra-red (NIR) and green wavelengths (Table 2). In this way, fire scars were
 210 visualized in magenta hues rounded by a green matrix, with white clouds and black cloud shadows. The NIR
 211 and SWIR bands are often used to study fire behaviour, such as the severity of the burned areas, as the NIR
 212 naturally reacts positively to the foliar area and productivity and the SWIR reacts positively to the drought and
 213 no vegetated surfaces (Key and Benson, 2006). Therefore, the combination of the high reflectance NIR with the
 214 low reflectance SWIR allow to distinguish between burned and unburned vegetation (Meng and Zhao, 2017).

215 Table 2. Description of spectral information of the different bands and sensors used to generate the RGB colour composite for scars
 216 delimitation and NDVI calculation for spectral analysis.

Sensor\Band	GREEN	RED	NIR	SWIR2
TM/4-5	Band 2 0,52-0,60 μm	Band 3 0,63-0,69 μm	Band 4 0,76-0,90 μm	Band 7 2,08-2,35 μm
+ETM/7	Band 2 0,52-0,60 μm	Band 3 0,63-0,69 μm	Band 4 0,77-0,90 μm	Band 7 2,09-2,35 μm
OLI/8	Band 3 0,533-0,590 μm	Band 4 0,636-0,673 μm	Band 5 0,851-0,879 μm	Band 7 2,107-2,294 μm

217 Each fire scar was visually identified, first at a 1:180,000 scale, and manually vectorized using a
 218 1:24,000 scale (Key and Benson, 2006) in order to build a spatial-time fire scar polygons database. This
 219 exhaustive method was already used for some authors for the identification of burned areas (Alvarado *et al.*,
 220 2017; Alves and Pérez-Cabello, 2017; Eidenshink *et al.*, 2007), for some government agencies (Portugal: ICNF
 221 2018; United States, MTBS: Eidenshink *et al.*, 2007), and was also used to validate the accuracy of automatic
 222 detection of burned area algorithms (Bastarrika *et al.*, 2014; 2018, Cardozo *et al.*, 2014; Libonati *et al.*, 2014;
 223 Melchiori *et al.*, 2014) to estimate the omission/commission errors. This technique was preferred over the
 224 different products now available for burned areas detection (MODIS: MCD45A1 and MCD64A1, GFED4 and
 225 GFD4s; INPE: AQM: Libonati *et al.*, 2015; BAMS: Bastarrika *et al.*, 2011; 2014; ESA Fire_cci project:
 226 Chuvieco *et al.*, 2016) because none of them was exclusively designed for this kind of ecotonal among
 227 savannah and dry forest environments.

228 We then assigned to each delimited scar polygon the date of the image when it appeared for the first
 229 time. The fires that were active during the satellite data acquisition (image) are thus registered by parts, each
 230 one having a different date. For this reason, we limited our analysis to total burned area by year and season, and
 231 avoided to asses and compare the number of fires or fire-size classification.

232 The fire scar polygons database was used to assess the spatial and temporal patterns of burned area. We
 233 worked with polygons bigger than 5 ha to avoid omission errors. The spatial dynamic was analysed for the
 234 complete study area and separately for each park and the ecological corridor in order to be best suited for
 235 management purposes. Since external fires can affect the boundaries of the parks, we analysed their burned area
 236 using a 2 km buffer from its borders. The temporal dynamic was analysed by month, year and seasons.

237
 238 *2.2.2. Climatic seasons classification*

239
 240 We classified fires into seasons in line with its date of occurrence. For that purpose, we divided the
 241 period under study (1999-2017) in climatic seasons according to the daily precipitation of the region. Rainy
 242 (RS) and dry (DS) seasons were separated by analysing the anomalous accumulation which is a quantity
 243 constructed to identify variations on daily precipitation (Liebmann *et al.*, 2007). Then, the dry season was
 244 subdivided to differentiate three different periods following Alves and Pérez-Cabello (2017): early, middle and
 245 late dry season. The longest period of consecutive days with daily precipitations below 5 mm was identified as

246 the middle dry season (MDS), and the remaining days at the beginning and at the end of the dry season as the
247 early dry season (EDS) and the late dry season (LDS), respectively. The details of this season classification as
248 well as other climatic analysis for the region were described by Sparacino *et al.* (2019).

249 The seasonality of the entire time period under study can be seen in Fig. 4, where not only rainy and dry
250 seasons are identified, but also early, middle and late dry seasons. Each fire scar polygon was associated with
251 its respective season according to the date of fire occurrence that was previously attributed. The temporal
252 resolution and, thus, the accuracy of this season classification of fires depends of satellite image availability
253 (minimal time between images was 8 days).

254 Since fire date attribution corresponded to its first visualization, its genuine date of occurrence could be
255 any one between the day after the previous available image and the day of the image where the scar was first
256 seen. If the date of the previous available image corresponds to the same season classification as the one in
257 which fire was determined, the season classification is unambiguously determined, this was the case for 84 %
258 of the scars. On the other hand, 16 % of fires occurred near a season transition, i.e., previous available image
259 belongs to a different season and thus its correspondent season cannot be determined unambiguously. Those
260 cases were distributed as follows: 0.02 % associated to EDS, 0.45 % to MDS, 8.74 % to LDS, and 7.10 % to the
261 rainy season.

262 Following the acquirement of this fire seasonal classification we developed maps of the spatial
263 distribution of the scars across the climatic seasons over the years. These maps were used to better understand
264 the patterns and conditions of each fire, its proximity to the parks, and the seasonality of fires.

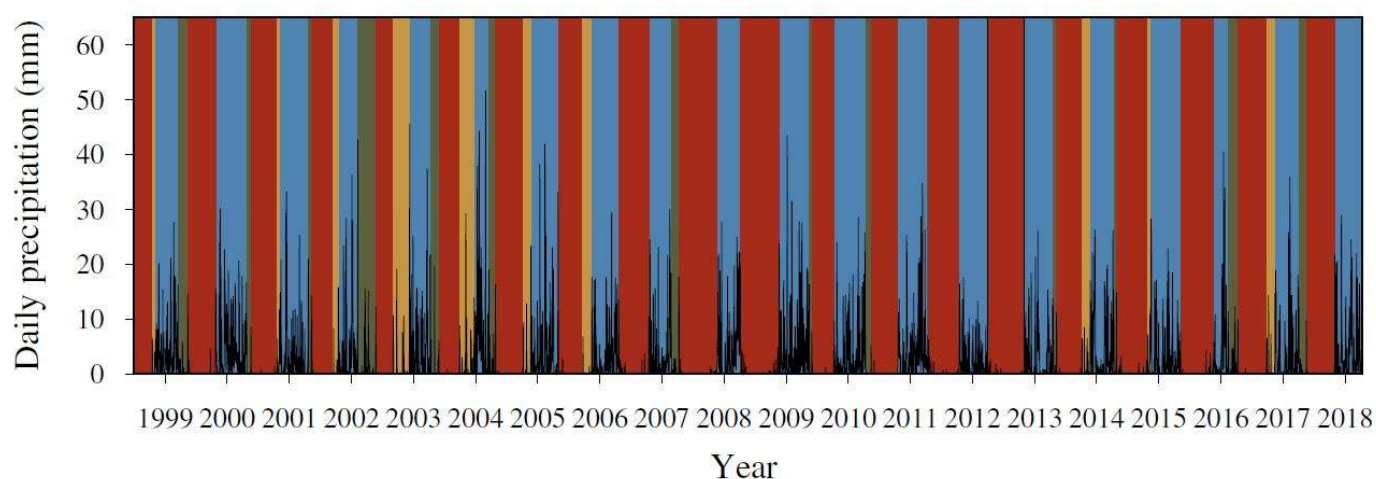


Fig. 4. Daily precipitation and season classification from 1999 to 2017. Early dry season (EDS), is coloured in green; middle dry season (MDS), in red; late dry season (LDS), in yellow; rainy season (RS), in blue. E, M and L together represent the whole dry season (DS).

265 2.2.3. Fire recurrence map and spectral indices assessment

266

267 For the compilation of the fire recurrence map we first constructed annual maps from the fire database
268 and then transformed each one into a grid of regular square cells. We worked with a 210 m cells spatial
269 resolution, that is a multiple of Landsat pixel resolution (30 m), and was chosen for computational efficiency.

270 Each cell received a single value between 0 (unburned) and 1 (completely burned), which corresponds to the
271 proportion of the cell covered by a fire scar. Values lower than 0.2 were transformed to 0 (unburned) and those
272 greater or equal to 0.2 were transformed to 1 (burned). This way, the recurrence parameter associated to each
273 grid cell was calculated as the number of years with 1 values (fire).

274 To estimate the response of the vegetation to fire we also analysed long term evolution of Normalized
275 Difference Vegetation Index (*NDVI*, see Rouse *et al.*, 1974). A sample polygon of ten contiguous neighbour
276 cells of the grid (44.1 ha) in the northeast boundaries of SCoNP was selected from our scars of fire database.
277 The polygon was burned six times during the studied period, in 2001, 2003, 2005, 2007, 2009 and 2012 (the
278 area of the polygon was 100 % burned in those six years). Other four polygons, with the same dimension and
279 similar topography, that were never burned between 1999 and 2017 (in accordance to our fire scars database)
280 were selected and used as controls. *NDVI* was calculated with the following equation:

$$281 \quad NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}$$

282 where ρ represents the reflectivity values for each band used (see Table 2 for bands details), and averaged *NDVI*
283 values were extracted for each polygon along the whole period, using our Landsat images database. To reduce
284 phenological variations due to seasonality, we analysed Q_{NDVI} , that is, the quotient between the *NDVI*
285 corresponding to burned and control areas (Díaz-Delgado *et al.*, 2003), calculated as:

$$286 \quad Q_{NDVI} = \frac{NDVI_{burned}}{NDVI_{control}}$$

287 To define the value of the control, we use the averaged value of the four control polygons. If one polygon in a
288 particular image was covered by aerosols, clouds or cloud shadows, we excluded the image out of the analysis.

289 For data manipulation, we used Quantum-GIS 2.18.14 ‘Las Palmas’ (QGIS Development Team, 2018),
290 TerraView 4.2.2 (INPE, 2013) and R 3.5.1 (R Core Team, 2018), with packages ‘rgdal’ (Bivand *et al.*, 2015)
291 and ‘raster’ (Hijmans, 2018).

292

293 **3. Results and discussion**

294

295 *3.1. Yearly patterns of burned area*

296

297 From 1999 to 2017, the total burned area in the Capivara-Confusões Mosaic (CCM) and its
298 surroundings was 1,056,764 ha, distributed in 4,824 fire scars (Table 3). From that, 880,629 ha burned at least
299 once, representing 39.78 % of the study area, this extension burned has a crucial significance for the concern of
300 these protected areas. It was registered a slight reduction in total burned area after the creation of a protected
301 area in a Cerrado region of central Brazil (Morro da Pedreira Environmental Protected Area, see: Alvarado *et*

302 *al.*, 2017), but we could not make an analysis about CCM efficiency because the period under study was
303 posterior to the parks creation.

304 The annual burned area was very dissimilar for the 19 years considered. Between the years with least
305 and most burned area, there were two orders of magnitude of difference. The years 2015 and 2010 had the most
306 area burned, with 188,452 and 174,553 ha, respectively; followed by 2012 (107,197 ha), 2007 (106,452 ha) and
307 2001 (84,275 ha) (Table 3 and Fig. 5). On the opposite, the years 2006, 2003 and 2014 registered the three
308 lower annual burned areas with 9,575, 13,893 and 13,156 ha, respectively.

309 The analysis of annual burned area demonstrated that the years with the largest extensions burned were
310 always followed by a year with few area burned (Fig. 5). This could mean, that from one year to the next one,
311 there were not enough biomass accumulated to act as fuel to cause fires of large dimensions because it was
312 already burned. According Alves and Pérez-Cabello (2017), the area burned in a year controls and delimits the
313 area that will burn the next one, probably because the fuel loads are limited by the propagation of the fire from
314 the previous year. That trend can be observed comparing the five most burned years with its corresponding
315 following year (2001-2002, 2007-2008, 2010-2011, 2012-2013, and 2015-2016, Fig. 5).

316 Furthermore, it is noticeable that those years with large extensions of burned area happened one or two
317 years in between, similar to some Cerrado environments (Alvarado *et al.*, 2017; Alves and Pérez-Cabello,
318 2017). This short fire return interval can be explained by the intrinsically characteristics of tropical ecosystems,
319 with high rates of recovery and net production (Field *et al.*, 1998), meaning fast accumulation of fire-prone
320 biomass as fine fuels. Over SDTF, the biomass production occurs during the RS and increases with the amount
321 of precipitations, overwhelmingly after the DS (Martínez-Ramos *et al.*, 2018). We assume that the biomass
322 produced during a RS and not consumed by a fire in the immediate DS, would be accumulated together with the
323 new biomass generated in the following RS, and will become fuel with high probabilities to burn because of its
324 low moisture content.

325 Precipitation indirectly controls fire activity by the production and, thus, by the availability of fuels
326 (Mayr *et al.*, 2018). We could not found a relation between the precipitation of the RS and the annual burned
327 area of the consecutive year (simple linear regression, $p = 0.380$, $R^2 = 0.046$). This give us a quick
328 demonstration that the amount of biomass produced (by terms of amount of precipitation) is not the only
329 parameter that will define the amount of burned area during the immediate DS, especially because precipitation
330 will determine the fuel moisture that limits the extension of fires (Argañaraz *et al.*, 2018). This is the case of the
331 dry year 2012 that had large extensions of area burned during DS (ignition/fire season) in spite of its low
332 production RS (growing season). The precipitation of the 2011-2012 RS was the lowest for the last 34 years
333 (433.13 mm, Sparacino *et al.*, 2019) as a result of a drought in Brazilian northeast. Despite in this area reduced
334 precipitation is associated to El Niño, the 2011-2012 drought occurred exceptionally during La Niña, that is
335 normally associated to enhanced precipitation (Marengo *et al.*, 2017; Rodrigues and McPhaden, 2014).

336 Table 3. Amount in hectares and percentage of burned area divided by season and categorized by National Park, corridor and total
 337 study area. The area of the parks presented is the one that was inside the limits of the study area, therefore, the area considered for the
 338 percentage calculation was that area with a 2 km buffer (in brackets).

Area (ha)	SCaNP (2 km buffer)						SCoNP (2 km buffer)						Ecological Corridor						Study area				
	Dry season			Rainy			Dry season			Rainy			Dry season			Rainy			Dry season		Rainy		
	E	M	L	Total	E	M	L	Total	E	M	L	Total	E	M	L	Total	E	M	L	Total	E	M	L
114,091 (143,049)	690,823 (813,038)						397,706						2,213,643										
1999	509			509	133,501			247	13,748			7,184			467	7,65			50,251			944	51,195
2000	15	40	55	55	2,413		388	2,801	2,801	5,3		859	6,16			24,635			24,635			3,768	28,403
2001	309		164	473	6,797	12,175	597	19,569	19,569	510	5,76	5,607	11,877			19,293	54,332	10,649	84,275				
2002		9		9	200	5,933		6,133	6,133	90	4,873	4,963			8,431	30,449			38,88				
2003					17,25	623		2,348	2,348	840	443	1,283			7,005	6,887			13,893				
2004					4,385	2,195	744	7,324	7,324	769	2,248	918	3,936			26,861	13,938	2,994	43,793				
2005		95		95	201	10,655	427	11,283	11,283	618	4,323	783	5,723			4,29	33,441	2,038	39,769				
2006					414		50	464	464		1,717	496	2,213			6,04			9,575				
2007					25,125		11,444	36,569	36,569	20,619		993	21,612			93,645			106,452				
2008					11,211		208	11,419	11,419	4,876		710	5,586			21,319			22,395				
2009	8			8	65		667	732	732	347		2,42	2,767			2,238			17,537				
2010	381			381	52,547		58,068	58,068	58,068	45,49	53	1,721	47,264	53	162,909				174,553				
2011					4,722		3,062	7,784	7,784	390		1,414	1,804			14,421			19,995				
2012					9,439		13,459	22,898	22,898	7,091		7,091	7,091			90,856			107,197				
2013					1,114	542		1,656	1,656	2,609	2,766	5,375	7,583	10,027					17,61				
2014					2,173	3,475		5,648	5,648	1,519	25	1,544	4,642			8,514			13,156				
2015	187			187	79,503		79,503	79,503	79,503	56,695		56,695	56,695			188,452			188,452				
2016					2,346	3,479	1,947	7,771	7,771	10,806	4,817	1,807	17,43			40,42	11,394	7,212	59,026				
2017	339			339	6,926		6,926	6,926	6,926	4,744		4,744	4,744			20,606			20,606				
Burned area (ha)	1,748	104	204	2,056	224,807	39,076	38,761	302,644	302,644	53	172,216	25,255	18,194	215,718	53	797,772	165,112	93,828	1,056,764				
%	-	1.22	.07	1.44	0	27.65	4.81	4.77	37.22	.0	44.42	6.51	4.69	55.64	.0	36.04	7.46	4.24	47.74				

339 E: early dry season; M: middle dry season; L: late dry season.

340 We found a repeated pattern that could explain the large dimensions of burned area in some years, that
 341 involves three consecutive years. First of all, we found that all wet rainy seasons with above average
 342 precipitation were followed by a dry season with few area burned. But when after a wet RS came a poor RS
 343 with below average precipitation, we detected that the following dry season presented large extensions of area
 344 burned. This might be what happened in 2012, with the fuel burned during that year probably generated during
 345 the 2010-2011 RS that had a precipitation of 854.17 mm, higher than the mean annual rainfall (~749 mm).
 346 Then, 2011 was a wet year that almost not burned, and therefore accumulated fuel; and 2011-2012 RS was
 347 especially dry with low production and low biomass moisture, leading to the large extensions of area burned in
 348 2012 DS. A similar pattern can be seen between the years 1999 and 2001, when burned biomass in 2001,
 349 produced during the wet RS of 1999-2000, was presumable dry because of the poor RS of 2000-2001. The
 350 same pattern was also found beginning in the wet rainy season of 2008-2009 that had as consequence the large
 351 area burned in 2010.

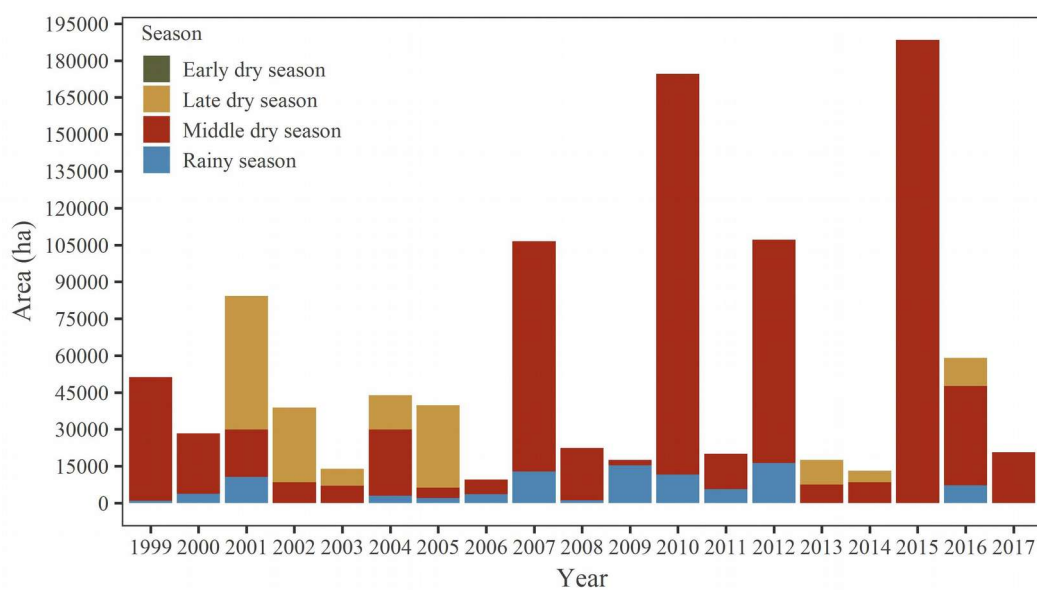


Fig. 5. Yearly distribution of burned area differenced by season. Rainy season was identified for every climatological year, but here is represented by totals of burned area in the calendar year. Actually, the rainy season is split if we consider the calendar year, nevertheless, it was stacked together for better visualization.

352
 353 Burned area of 2007 could be related to biomass accumulation from 2002-2003, 2003-2004 and 2004-
 354 2005 wet RSs, with probable high production rates and high biomass moisture content. Following this period, a
 355 drought associated to El Niño occurred in 2005 and resulted in two dry years preceding the most burned 2007
 356 (Chen *et al.*, 2017). Although, this pattern of biomass accumulation due to high rainfall rates was not present
 357 during the last years studied, this could be because from 2012 to 2016 the Brazilian northeast suffered a long-
 358 term drought. It was considered one of the most severe droughts and some authors explain its relation with La
 359 Niña (2011-2012) and El Niño (2015) ENSO events (Marengo *et al.*, 2017; Barbosa *et al.*, 2019), that are also
 360 described as fire drivers by Chen *et al.* (2017). Those phenomena caused a reduction on precipitation and an
 361 increasing of consecutive dry days (Sparacino *et al.*, 2019), so the high level of area burned in 2015 can be

362 explained due to the gradually accumulation of biomass that was particularly dry (because the low precipitation
363 of the previous years) in the 2015 DS.

364

365 *3.2. Spatial and seasonal distribution of burned area*

366

367 The area burned inside the CCM represented approximately the half of the total area burned in the study
368 area from 1999 to 2017, this means that the same proportion of fires occurred inside the parks and corridor and
369 in its surroundings (Table 3). It is noted that the majority of the fires started outside the parks and spread into
370 them most of the times, especially when located in the boundaries or even in the corridor. The SCoNP had a
371 total of 302,644 ha burned, with the largest fire scar of about 55,423 ha in 2015. During the visual inspection of
372 the images, that fire was sought growing with active fires from three different ignition points. The first
373 detection of the scar was August 22 and it kept growing during nine images until November 02 and its total area
374 was obtained by adding the surface of separate scars. The SCoNP had 2,056 ha burned, most of them during
375 1999, 2001, 2010 and 2017. The largest fire scars on that park were always around 300 ha. Finally, 215,718 ha
376 of the corridor were burned, with the two biggest fires happening in 2010 (15,692 ha) and in 2015 (14,070 ha).

377 Concerning that, the biggest contributor to the burned area of the CCM was the SCoNP, perhaps as a
378 result of its dimension (Table 3). Some scars were detected completely inside the limits of the SCoNP,
379 suggesting that exist some activities that conduce the ignitions there. Those could be the use of fire for cooking
380 and warming during illegal hunting camp, the use of fire for honey recollection, or even the intentional burning
381 of the land for cultivation. Evidence about this kind of activities were found during the field campaigns made
382 by the research team, we met by accident with hunters, and found remains of campfires, a practice also
383 described by Moura (2005b). In addition, SCoNP dust roads are poorly maintained presenting many holes and
384 trees crossing the way, which difficult the access to combat fires. Differently, the institutions involved in the
385 management of the SCoNP seems to be more effective on its conservation efforts. There are much more staff
386 working in the field (Oliveira and Bernard, 2017) and exists strict control at every entrance, resulting in a
387 reduced burned area. It is worth to mention that the fires that take place within the parks mobilise ICMBio fire
388 brigades that involve staff employed yearly during the DS for roads opening and firefighting.

389 Proportionally, the corridor was the most affected by fire with 55.64 % of its area burned. The fires
390 occurred within the corridor were likely due to land preparation for cultivation where fire is used to clean the
391 material after cutting it, a practice known as “slash and burn”. When it is practised near to the forest boundaries
392 is probable that, depending on fuel availability, fuel moisture and weather, fire spreads causing big dimensions
393 and roughly controllable fires, like in 2017 near SCoNP, or the big fires in 2015 in SCoNP. Thereupon, the
394 corridor looks like not being achieving its creation purposes on an effective way.

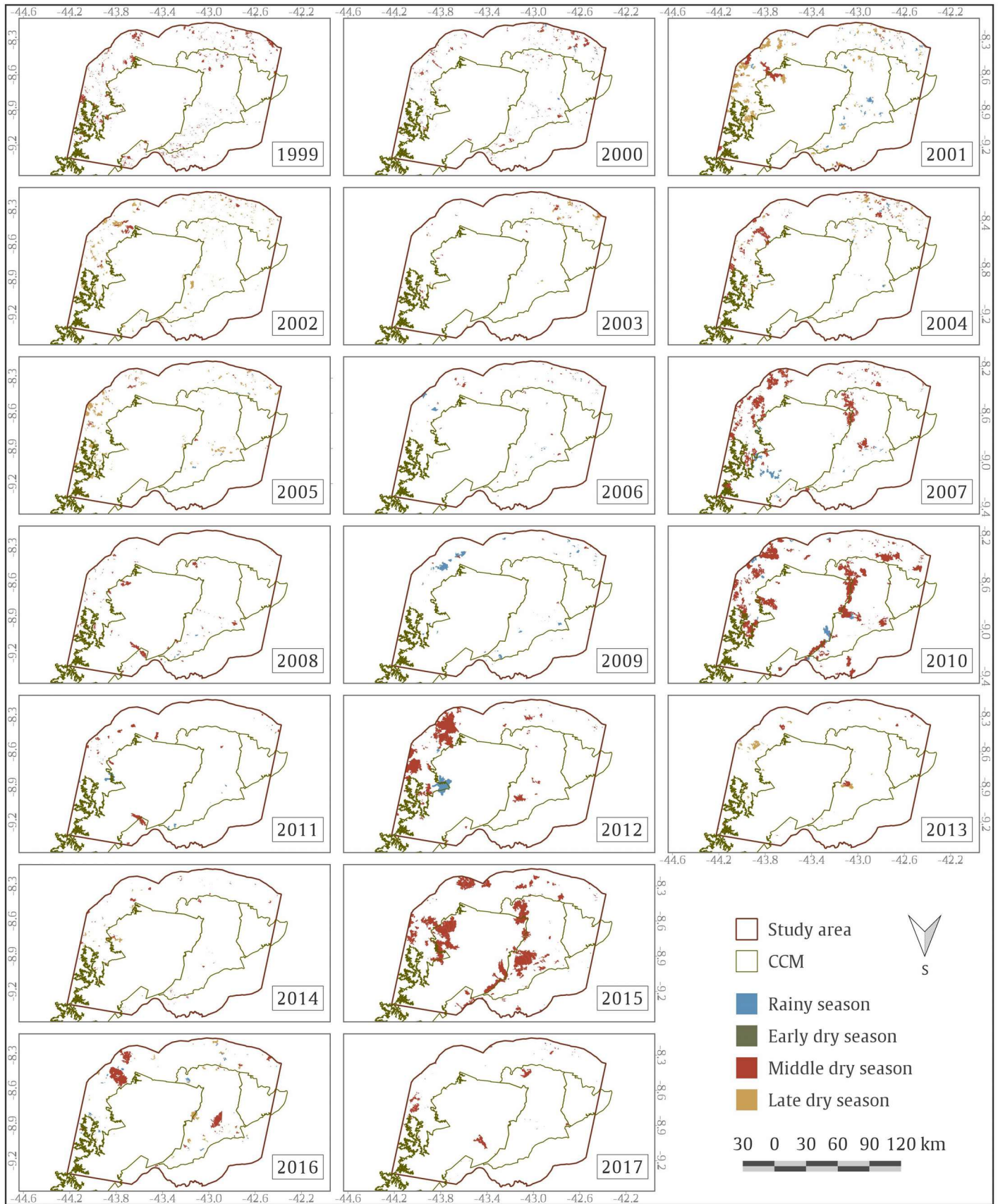


Fig. 6. Mapping of yearly and seasonal distribution of fire scars inside the study area from 1999 to 2017 of the Capivara-Confusões Mosaic (CCM). Areas not coloured represent unburned areas during the respective year.

396 The annual maps of spatial distribution of fires classified by season can be seen in Fig. 6. This maps
397 ensure the visual analysis of the size of the scars, its spatial distribution across the different parts of de CCM
398 and its surroundings, and specially the seasonal patterns of occurrence. This way, we see that the largest scars
399 occurred always during the MDS, like the one of vast extension of 2015 in SCoNP, and the two that occurred in
400 the corridor in 2010 and 2015, mentioned above, and also in the surroundings in 2007, 2010, 2012, 2015 and
401 2016. Likewise, most burned area occurred during MDS both for each particular year and in general (~3,000
402 fires and 797,772 ha) (Table 3 and Fig. 5). Exceptions occurred in 2001, 2002, 2005 and 2013 that had the
403 largest burned area during the LDS and in 2009 with the largest burned area during the RS.

404 As expected, the driest period of each year, with daily precipitation below 5 mm, favoured the
405 occurrence of the vast majority of the ignitions (Fig. 5 and 6), as already reported in other ecosystems (Alves
406 and Pérez-Cabello, 2017), and might be caused by the low moisture content of the accumulated biomass. The
407 MDS extended longer (~165 days mean annual length) than the other DS for the 19 years studied (Fig. 4).
408 Exceptions were the years 2002 and 2003, where EDS, MDS and LDS had similar lengths. Although there is
409 not a significant correlation between the MDS length and the yearly area burned ($p = 0.225$, $R^2 = 0.085$), the
410 most burned years had intermediate or long MDS (2007, 2012 and 2015 lasted 224, 219 and 195 days,
411 respectively).

412 The marked seasonality of the area is reflected on the fact that EDS and LDS, the two transition stages
413 between the driest and the wetter period of the year, are absent in several of the years under consideration (Fig.
414 4). The years 2005, 2006, 2008, 2012 and 2015 did not have EDS and 2011 had a short one with five days
415 length (the other years lasted more than 15 days, ~40 days mean length), and it generally can start between
416 February and May and last until April/June. On the opposite, only nine years presented LDS with
417 approximately 46 days mean duration (2000-2005, 2013, 2014 and 2016), that may last until October and
418 November, exceptionally December (Fig. 4). The years 2006, 2008, 2012 and 2015 presented only MDS. This
419 cannot be directly associated to more burned area, whereas 2012 and 2015 presented large burned areas, 2006
420 and 2008 were poorly burned.

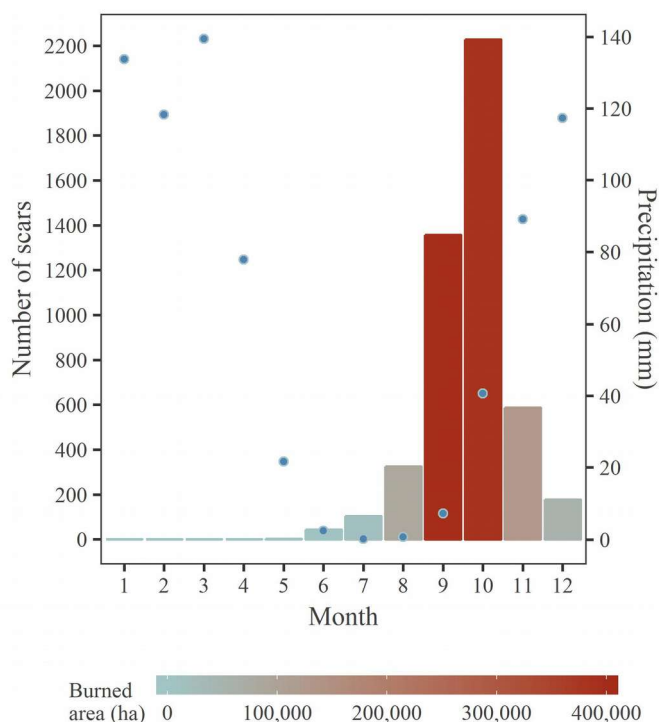
421 There were almost none fire scars during the EDS. Only a single small (53 ha) event of fire took place
422 in 2010 within the ecological corridor (Table 3 and Fig. 6). Besides its short length, the attenuated levels of rain
423 seems to be enough for the biomass to remain wet during this season, preventing fire occurrence (Fig. 7).
424 Hoffmann *et al.* (2012) also find that fires during EDS are rarely large because of high humidity and the
425 absence of a continuous grass layer in forest areas. It could also be explained by the absence of ignition events
426 associated to the slash and burn practice during this season, as it is in the slash stage when alive vegetation is
427 cut to get dry during the following DS (Claval and de Freitas, 2007).

428 The LDS was the second most burned after the MDS (165,112 ha). It seems reasonable that comparing
429 the two transition stages, the LDS represented the most fire-prone, since the dryness accumulated during the
430 previous season cannot be counterbalanced by the precipitations that are starting to fall (Fig. 7). The RS, that is

431 the wetter, presented a total of 93,828 ha burned with majority of small scars, the only exception was in 2012
 432 with a scar larger than 10,000 ha (Fig. 6). This way, the RS resulted to be just a bit less fire-prone than the LDS
 433 (the percentage of the study area burned in each season was: 4.24 % and 7.46 %, respectively; Table 3).

434 It should be pointed out that the fires detected in the RS occurred mostly in the beginning of this season,
 435 during November and December (Fig. 7), when the vegetation is presumable still dry (similar situation as in the
 436 LDS). Furthermore, from January to May (RS) there were no detections of new fire scars and only were visible
 437 the ones that occurred the year before. The fires frequently start in June (DS) and its occurrence extends until
 438 December (beginning of RS; Fig. 7). September is the month when rain starts but at low rates, while from
 439 October to December, the rainfall increases progressively until March, when it starts to diminish together with
 440 the beginning of the DS (Sparacino *et al.*, 2019). Most of the fires took place between September and
 441 November, with maximum peaks in October. This suggests that the biomass produced during the RS needs at
 442 least four months to be enough dry to become fire-prone fuel.

443



444 Fig. 7. Relation between mean monthly precipitation with
 445 monthly burned area and monthly amount of scars from 1999
 446 to 2017 in the Capivara-Confusões Mosaic and its
 447 surroundings. Blue dots represent mean monthly precipitation
 between 1984 and 2018, bars represent number of scars per
 month and coloured gradient represents the sum of the burned
 area per month.

445

446 3.3. Fire recurrence map

447

448 The fire recurrence map is presented in Fig. 8 where, different colours represent the number of fires
 449 during the 19 years studied. The recurrence parameter ranged between one and ten, meaning that the most
 450 burned areas received a fire approximately every two years, and 25.26 % of the total burned area presented
 451 some degree of recurrence. The areas burned between seven and ten times were proportionally smaller than
 452 those that burned six times or less. A preliminary interpretation of these results suggests that an area that was
 453 burned would probably burn again through the passing of the years. The dead biomass or charcoal that resulted
 454 from a fire may act as a more fire-prone fuel. And again, we can reinforce the theory, argued above, about the
 455 short return interval and the tendency of large burned areas occurring separated by two or more years.

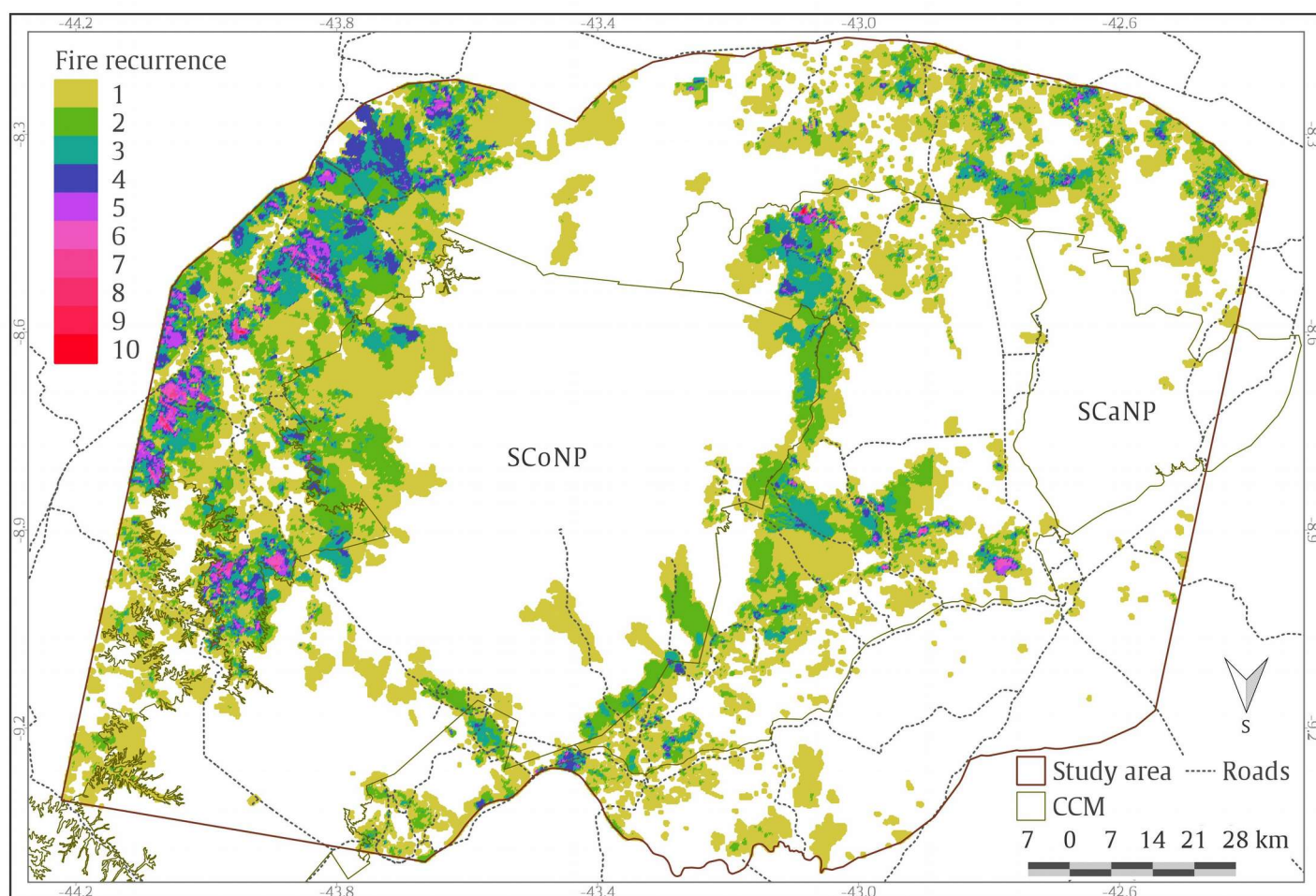


Fig. 8. Mapping of fire recurrence from 1999 to 2017 in the Capivara-Confusões Mosaic and its surroundings. The palette of colours represents the number of times that a same area burned. White areas were never burned during this period. Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ and Landsat 8 OLI images were used for the delimitation of burned areas. Pixel resolution is represented by 210 m square cells.

456 The mapping of all scars together allows the description of general patterns of fire
 457 occurrence/recurrence and its association with different spatial parameters, in order to build a risk map (Lemes
 458 *et al.*, 2014). For instance, all fires in the proximities and interior of SCaNP burned only once, at least during
 459 the years studied. Those fires (three of them visited during the field campaigns) were observed mostly near to
 460 roads and settlements, and were probably accidentals. The fire of 2017 that took place in the southernmost
 461 corner of that park (Fig. 6) received strong media and societal repercussion and thus activated fire brigades,

462 volunteers, fire aircraft and firefighter brigades to control it. Staff from SCoNP also contributed, even though,
463 that collaboration between parks not always happens.

464 The opposite occurred in SCoNP interior area, where fire recurrence reached four times. Most of the fires
465 that started and finished inside the boundaries of the park were in the proximities of the roads that cross it (Fig.
466 8), and could be interpreted as fires caused by humans. Dust roads go mostly through natural mainly plain
467 courses (*baixão*) that are rounded by cliffs, like those on the south limit of the park where some fires started,
468 near small villages, and stopped when reaching the contiguous cliffs (2008 and 2011 fires).

469 Outside the west limit of SCoNP, several areas of high fire recurrences were registered. This area
470 belongs to an ecotonal area among Cerrado and Caatinga ecosystems, and even fires that were described as a
471 natural phenomena in Cerrado, in this transition area are probably caused by human actions. During the years
472 2004, 2007, 2012 and 2016, fires that start in that area did not reach the park, which could be expected, as those
473 fires occurred during MDS, when the biggest scars happen (Fig. 6). This spatial limitation of fire might be due
474 to the topography of the area that is mainly located in a great plateau (*chapada*), with abrupt limits on that way,
475 so the spreading was limited by the slope differences. Instead, other fires that affected the SCoNP in that
476 *chapada* were probably initiated from inside (e.g. 2001, 2010, 2012, 2015). The large extension of fires that
477 occurred in 2010 and 2015 in the southeastern part of SCoNP during MDS spread covering almost the same
478 regions. This may be a warning about the riskiness represented by a five years interval over large dimensions
479 area burned. A similar pattern took place in the northern *baixão* of the corridor which presents an area with high
480 fire recurrence that goes along the boundaries of the SCoNP and is limited by the topography (2007, 2010 and
481 2015), preventing the spreading of fires into the park. Since *baixão* areas conserve humidity in an otherwise dry
482 landscape, they are frequently used as cultivation lands, so many fires originated there might be consequence of
483 out-of-control fires used for land preparation. Similar patterns were found in the southern portion of the
484 corridor where most of the settlements are located within irregular *chapadas*.

485

486 3.4. Spectral response

487

488 The *NDVI* values presented a predictable yearly seasonal pattern of high peaks (during RS) and deep
489 valleys (during DS) that can be seen in the sinusoidal-like curves of Fig. 9. For its construction, we have used
490 the available Landsat images in the period, therefore time intervals between consecutive points are not always
491 the same (see Fig. 3 for images dates). Larger date gaps are due to occasional low quality images in the sampled
492 area, corresponding to clouds, cloud shadows or aerosols, that are more common during rainy seasons. Even
493 though, annual seasonal patterns remain clear, except for 2011 and 2012 when only images from one satellite
494 were available. Box-plots on the right panels allow the interpretation of the variability and outliers values.

495 Every year, with the beginning of DS, the *NDVI* curve for the sampled area presented stepped decreases
496 (Fig. 9-A). This is explained by the gradual loss of photosynthetic activity of plants due to senescence as a

497 reaction to the water shortage. After reaching the minimum value and with the arrival of rains, the curve
 498 presented sudden increases on the *NDVI* values that remained in the top until the next cycle. On the one hand,
 499 physiologically, it could be attributable to the rapidly response on recruitment and leaves production within the
 500 arrival of the rains of Caatinga vegetation, favouring the conditions for plant development (Araújo *et al.*, 2007;
 501 Barbosa *et al.*, 2019). Barbosa *et al.* (2006), in a long-term *NDVI* study for NE Brazil, suggested that the
 502 contrasting variations in the values may reflect the effect of rainfall variability on vegetation dynamics, which
 503 may be indicative of environmental changes.

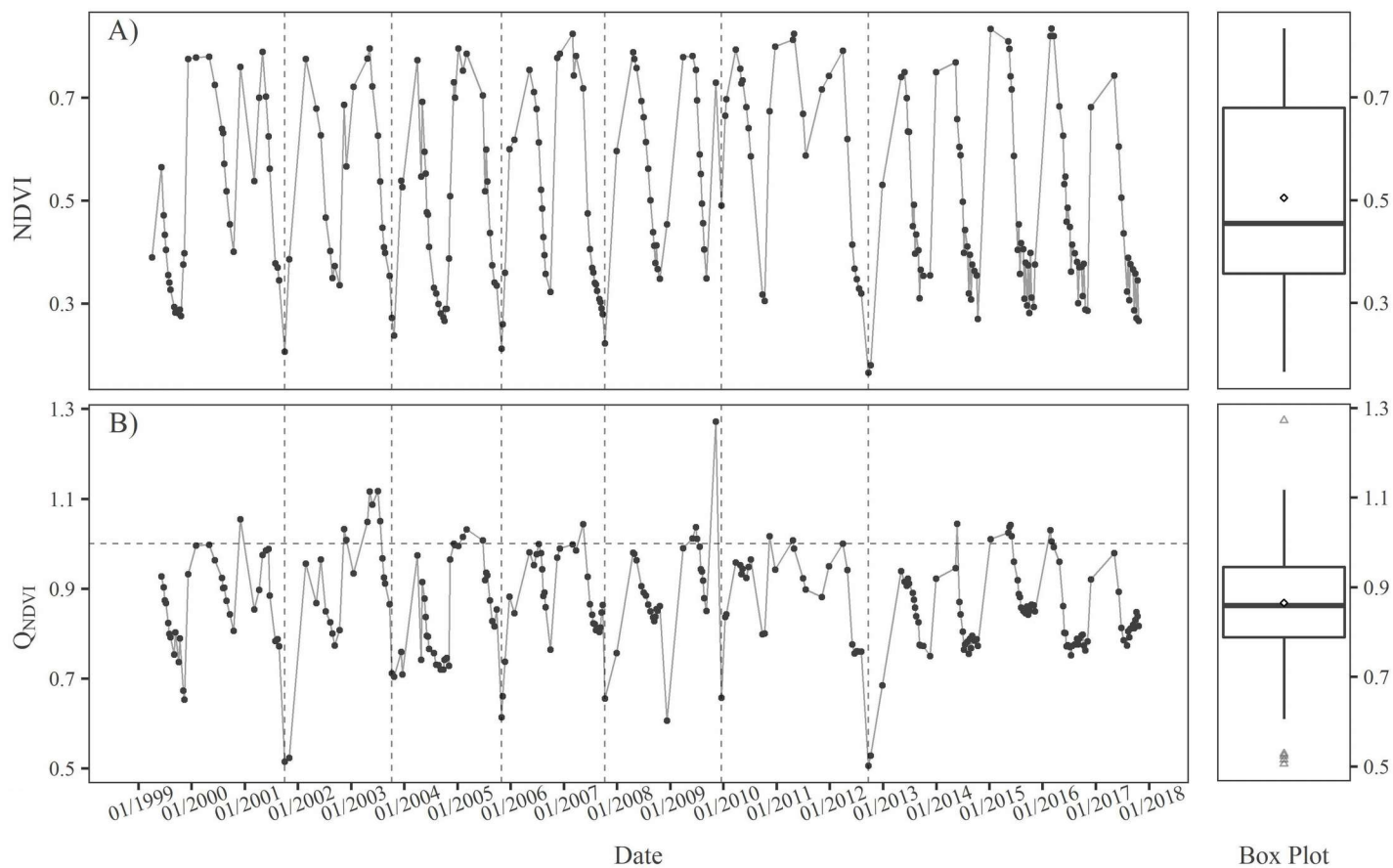


Fig. 9. (A) Representation of *NDVI* values obtained by extracting averages from a sample area (44.1 ha) that burned six times over the pool of images available; and (B) represents the *QNDVI*, quotient between *NDVI* values extracted from the area burned and the averaged four control areas. Vertical dashed lines crossing the two graphics represent the date of the image were the fire was seen for the first time. Horizontal line represents the quotient value 1 in (B). Right panels represent box-plots that correspond to each graphic. Triangles are the outliers and diamonds the mean.

504 The sampled area was completely burned during six years and dates of fire events are indicated with
 505 dashed vertical lines in Fig. 9. All maximum *NDVI* values, that occurred during every RS, did not present a
 506 great variation even after a DS with fire. It seems that the *NDVI* values saturate, thus the vegetation that
 507 recovers after fire presents a similar spectral response during the following RS. This happens even after several
 508 fires events in between or with more time of recovering. Otherwise, most of the valleys that corresponded to
 509 unburned DS were higher than those that corresponded to the fire events previously identified. The fire of 2009
 510 was the only exception, as it happened during the RS, so it had an intermediate value between rainy and dry
 511 seasons.

512 The identification of fire events through the spectral response is clearest when considering the Q_{NDVI}
513 (Fig. 9-B), because part of the seasonal and phenological variations on vegetation are reduced when compared
514 to $NDVI$, by making the quotient between the burned area and the appropriately selected controls (Díaz-
515 Delgado *et al.*, 2003). In an ideal situation, when the pre-fire vegetation and topographic conditions are similar
516 between the burned and control areas, Q_{NDVI} values are expected to oscillate near 1. In our case, as the burned
517 area around the sampled was too big, the nearest unburned areas selected as controls were about 5 to 10 km,
518 and thus there could be differences on vegetation, and also the rains could be arriving at different times to each
519 area. The topography of this region presents steep canyons with important slope differences, and some of the
520 valleys present semi-deciduous forest enclaves vegetation. Therefore, Q_{NDVI} curve presented fluctuations with
521 some peaks and valleys that differ from 1. Despite of it, the dates when fires occurred had the deepest valleys
522 and were easily recognisable among the others, even the fire of 2009 that occurred during the RN. During the
523 end of December 2008 there were a marked valley that is not related to a fire but that could be explained by the
524 delayed arrival of rain to the sampled area or the anticipated arrival of rain to the control areas. Finally, most of
525 the values were lower than 1 meaning that vegetation of the recurrently burned area was less greener than the
526 controls, noticeably during DS even after several years without fire (three, four or five years without fire in
527 2015, 2016 and 2017, respectively). This might indicate that Caatinga vegetation do not reach its highest vigour
528 after repeated fires although fire suppression. Exceptions happened during some RS (curve above the dashed
529 line, Fig. 9-B), particularly during December 2009 in the previous image of the fire detection during RS and in
530 2003 RS, one of the most wet years studied (Sparacino *et al.*, 2019). All fires were represented as outliers in the
531 box-plot of Fig. 9-B.

532 The analysis of the spectral response of the recurrently burned area showed that the fires occurred one
533 year in between and none fire took place in consecutive years from 2001 to 2009. Interestingly, during 2010 a
534 big fire occurred around the sampled area, which remained as a not burned island, and in 2011 neither the area
535 nor its surroundings burned. But in 2012 all sampled area and its surrounding burned.

536 The spectral response of vegetation after fire was already studied for different ecosystems. Savannah
537 and SDTF, that are frequently burned, react differently as its vegetation structure ranges from a more grassy to a
538 closed woody (and its transition states), respectively. Barbosa *et al.* (2019) found that Caatinga vegetation has a
539 three months lag between rains and $NDVI$ response and our results proved that immediately after rains start in
540 October, the $NDVI$ values starts to increase and remain stable until May when it commences to decrease again.

541

542 **4. Conclusions**

543

544 In this article, we presented a fire scars database of burned area for the first time in the Capivara-
545 Confusões Mosaic and for a Caatinga-Cerrado transition ecosystem. This information contributed to confirm
546 that fire is actually a reality in lot of protected areas from different environments. The patterns that we found

547 allow the understanding of fire regimes and the relationship between the dimensions of the fires occurrence and
548 the climate. We showed the yearly and seasonal patterns of fire as well as its recurrence dynamic, and discussed
549 the different interactions between precipitation, productivity, biomass moisture, proximity to roads and
550 settlements, protected areas efficiency, among others. We also introduced the assessment of the spectral
551 response to fire of Caatinga vegetation through the use of simple vegetation indices, as *NDVI* and *Q_{NDVI}*.

552 We explored the importance of monitoring fire regimes through integrated remote sensed and climatic
553 variables in a Caatinga-Cerrado ecotone. The integration of satellite imagery with ground-based meteorological
554 data allowed a long-term, fine-spatial resolution and a landscape-scale approach. Landsat long-time series
555 availability was used to cover a 19-years study and its 30 m resolution supported the identification of small
556 burned patches. Also, the information provided for these optical satellites was used to study the spectral
557 response in order to understand vegetation dynamics. Using the daily precipitation data from local
558 meteorological stations was an effective approximation to describe interannual and seasonal climatic
559 heterogeneity. Studies relating fire with climatic data are of main interest, as climate is one of the principal
560 determinants of fire activity, as it limits biomass production and its dryness (Argañaraz *et al.*, 2018).

561 We made an approach to the interaction between distinctive climate phenomena and fire regimes in
562 order to find out influences that could make fires more predictable to reduce its incidence or to improve
563 management decisions. We encourage new studies that inspect other climatic and weather variables for a better
564 understanding of the largest fires and the improvement of fire fighting practices. The burned area database
565 generated here, and the fire regime and spectral response description, could assist studies about post-fire
566 Caatinga vegetation dynamics that until now have been poorly explored (Sampaio *et al.*, 1993; 1997), like the
567 analysis of vegetation response to fire and fire recurrence, regeneration strategies or the effect of fire in
568 vegetation structure and floristic biodiversity.

569 Finally, the identification of the regions with high recurrence of fire within the two protected areas and
570 its surroundings, will hopefully aid to the implementation of preventive policies and management tools.
571 Particularly, it could help on the protection of the archaeological sites that might be in risk of lose its evidences
572 because of fires.

573

574 **Acknowledgements**

575

576 This study was carried out within the project "Diagnosis of forest fires occurrence in the Serra das
577 Confusões and Serra da Capivara National Parks, Piauí, Brazil", funded by the National Council for Scientific
578 and Technological Development – CNPq, [grant number Proc 421178/2017-5]. We thank ICMBio (Instituto
579 Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade) for the research licence and the FUMDHAM (Fundação
580 Museu do Homem Americano) for providing digital material. DSA received a master's scholarship from
581 PAEC/OEA. JS received a scholarship from CNPq.

582

583 **References**

584

- 585 Alvarado, S.T., Fornazari, T., Cóstola, A., Morellato, L.P.C., Silva, T.S.F., 2017. Drivers of fire occurrence in a
586 mountainous Brazilian cerrado savanna: Tracking long-term fire regimes using remote sensing.
587 *Ecol. Indic.* 78, 270–281. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.02.037>
- 588 Alves, D.B., Pérez-Cabello, F., 2017. Multiple remote sensing data sources to assess spatio-temporal patterns of
589 fire incidence over Campos Amazônicos Savanna Vegetation Enclave (Brazilian Amazon). *Sci.*
590 *Total Environ.* 601–602, 142–158. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.194>
- 591 ANA-Agencia Nacional das Águas, 2017. Available online: <http://snirh.gov.br/> (accessed on 13 September
592 2017)
- 593 Araújo, E. de L., de Castro, C.C., de Albuquerque, U.P., 2007. Dynamics of brazilian caatinga: a review
594 concerning the plants environment and people. *Functional Ecosystems and communities*, Global
595 Science Books, 1(1), 15-28.
- 596 Archibald, S., Lehmann, C.E.R., Belcher, C.M., Bond, W.J., Bradstock, R.A., Daniau, A.-L., Dexter, K.G.,
597 Forrester, E.J., Greve, M., He, T., Higgins, S.I., Hoffmann, W.A., Lamont, B.B., McGlenn, D.J.,
598 Moncrieff, G.R., Osborne, C.P., Pausas, J.G., Price, O., Ripley, B.S., Rogers, B.M., Schwilk, D.W.,
599 Simon, M.F., Turetsky, M.R., Van der Werf, G.R., Zanne, A.E., 2018. Biological and geophysical
600 feedbacks with fire in the Earth system. *Environ. Res. Lett.* 13, 033003.
601 <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa9ead>
- 602 Archibald, S., Lehmann, C.E.R., Gomez-Dans, J.L., Bradstock, R.A., 2013. Defining pyromes and global
603 syndromes of fire regimes. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 110, 6442–6447.
604 <https://doi.org/10.1073/pnas.1211466110>
- 605 Archibald, S., Roy, D.P., van WILGEN, B.W., Scholes, R.J., 2009. What limits fire? An examination of drivers
606 of burnt area in Southern Africa. *Glob. Change Biol.* 15, 613–630. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01754.x>
- 608 Argañaraz, J.P., Landi, M.A., Scavuzzo, C.M., Bellis, L.M., 2018. Determining fuel moisture thresholds to
609 assess wildfire hazard: A contribution to an operational early warning system. *PLOS ONE* 13,
610 e0204889. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204889>
- 611 Argañaraz, J.P., Pizarro, G.G., Zak, M., Bellis, L.M., 2015. Fire Regime, Climate, and Vegetation in the Sierras
612 de Córdoba, Argentina. *Fire Ecol.* 11, 55–73. <https://doi.org/10.4996/fireecology.1101055>
- 613 Barbosa, H.A., Huete, A.R., Baethgen, W.E., 2006. A 20-year study of NDVI variability over the Northeast
614 Region of Brazil. *J. Arid Environ.* 67, 288–307. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.02.022>

- 615 Barbosa, H.A., Lakshmi Kumar, T.V., Paredes, F., Elliott, S., Ayuga, J.G., 2019. Assessment of Caatinga
616 response to drought using Meteosat-SEVIRI Normalized Difference Vegetation Index (2008–2016).
617 ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. 148, 235–252. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.12.014>
- 618 Bastarrika, A., Alvarado, M., Artano, K., Martinez, M., Mesanza, A., Torre, L., Ramo, R., Chuvieco, E., 2014.
619 BAMS: A Tool for Supervised Burned Area Mapping Using Landsat Data. Remote Sens. 6, 12360–
620 12380. <https://doi.org/10.3390/rs61212360>
- 621 Bastarrika, A., Barrett, B., Roteta, E., Akizu, O., Mesanza, A., Torre, L., Anaya, J.A., Rodriguez-Montellano,
622 A., Chuvieco, E., 2018. Mapping Burned Areas in Latin America from Landsat-8 with Google Earth
623 Engine. <https://doi.org/10.20944/preprints201805.0480.v1>
- 624 Bastarrika, A., Chuvieco, E., Martín, M.P., 2011. Mapping burned areas from Landsat TM/ETM+ data with a
625 two-phase algorithm: Balancing omission and commission errors. Remote Sens. Environ. 115,
626 1003–1012. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.12.005>
- 627 Bivand, R., Keitt, T., Rowlingson, B., Pebesma, E., Sumner, M., & Hijmans, R., 2015. rgdal: Bindings for the
628 Geospatial Data Abstraction Library 2017. R package version 0.8-13.
- 629 Bond, W., Keeley, J., 2005. Fire as a global ‘herbivore’: the ecology and evolution of flammable ecosystems.
630 Trends Ecol. Evol. 20, 387–394. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.04.025>
- 631 Bond, W.J., Woodward, F.I., Midgley, G.F., 2004. The global distribution of ecosystems in a world without fire.
632 New Phytol. 165, 525–538. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01252.x>
- 633 Bowman, D. M., Balch, J. K., Artaxo, P., Bond, W. J., Carlson, J. M., Cochrane, M. A., Johnston, F. H., 2009.
634 Fire in the Earth system. Science, 324(5926), 481-484. <https://doi.org/10.1126/science.1163886>
- 635 Bowman, D.M.J.S., Balch, J., Artaxo, P., Bond, W.J., Cochrane, M.A., D’Antonio, C.M., DeFries, R., Johnston,
636 F.H., Keeley, J.E., Krawchuk, M.A., Kull, C.A., Mack, M., Moritz, M.A., Pyne, S., Roos, C.I.,
637 Scott, A.C., Sodhi, N.S., Swetnam, T.W., 2011. The human dimension of fire regimes on Earth: The
638 human dimension of fire regimes on Earth. J. Biogeogr. 38, 2223–2236.
639 <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2011.02595.x>
- 640 Bradstock, R.A., 2010. A biogeographic model of fire regimes in Australia: current and future implications: A
641 biogeographic model of fire in Australia. Glob. Ecol. Biogeogr. 19, 145–158.
642 <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2009.00512.x>
- 643 Cardozo, F., Pereira, G., Shimabukuro, Y., Moraes, E., 2014. Analysis and Assessment of the Spatial and
644 Temporal Distribution of Burned Areas in the Amazon Forest. Remote Sens. 6, 8002–8025.
645 <https://doi.org/10.3390/rs6098002>
- 646 Chen, Y., Morton, D.C., Andela, N., van der Werf, G.R., Giglio, L., Randerson, J.T., 2017. A pan-tropical
647 cascade of fire driven by El Niño/Southern Oscillation. Nat. Clim. Change 7, 906–911.
648 <https://doi.org/10.1038/s41558-017-0014-8>

- 649 Chuvieco, E., Yue, C., Heil, A., Mouillot, F., Alonso-Canas, I., Padilla, M., Pereira, J.M., Oom, D., Tansey, K.,
650 2016. A new global burned area product for climate assessment of fire impacts. *Glob. Ecol.*
651 *Biogeogr.* 25, 619–629. <https://doi.org/10.1111/geb.12440>
- 652 Claval, P., de Freitas, I.A., 2007. Seasonality in Brazil: Rain, Mud and Drought, in: Palang, H., Sooväli, H.,
653 Printsman, A. (Eds.), *Seasonal Landscapes*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 61–83.
654 https://doi.org/10.1007/1-4020-4990-0_3
- 655 Collevatti, R.G., Terribile, L.C., de Oliveira, G., Lima-Ribeiro, M.S., Nabout, J.C., Rangel, T.F., Diniz-Filho,
656 J.A.F., 2013. Drawbacks to palaeodistribution modelling: the case of South American seasonally
657 dry forests. *J. Biogeogr.* 40, 345–358. <https://doi.org/10.1111/jbi.12005>
- 658 Dal Vechio, F., Teixeira Jr., M., Recoder, R.S., Rodrigues, M.T., Zaher, H., 2016. The herpetofauna of Parque
659 Nacional da Serra das Confusões, state of Piauí, Brazil, with a regional species list from an ecotonal
660 area of Cerrado and Caatinga. *Biota Neotropica* 16. [https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2015-](https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2015-0105)
661 0105
- 662 Daldegan, G., de Carvalho, O., Guimarães, R., Gomes, R., Ribeiro, F., McManus, C., 2014. Spatial Patterns of
663 Fire Recurrence Using Remote Sensing and GIS in the Brazilian Savanna: Serra do Tombador
664 Nature Reserve, Brazil. *Remote Sens.* 6, 9873–9894. <https://doi.org/10.3390/rs6109873>
- 665 Díaz-Delgado, R., Lloret, F., Pons, X., 2003. Influence of fire severity on plant regeneration by means of
666 remote sensing imagery. *Int. J. Remote Sens.* 24, 1751–1763.
667 <https://doi.org/10.1080/01431160210144732>
- 668 Dinerstein, E., Olson, D., Joshi, A., Vynne, C., Burgess, N.D., Wikramanayake, E., Hahn, N., Palminteri, S.,
669 Hedao, P., Noss, R., Hansen, M., Locke, H., Ellis, E.C., Jones, B., Barber, C.V., Hayes, R., Kormos,
670 C., Martin, V., Crist, E., Sechrest, W., Price, L., Baillie, J.E.M., Weeden, D., Suckling, K., Davis, C.,
671 Sizer, N., Moore, R., Thau, D., Birch, T., Potapov, P., Turubanova, S., Tyukavina, A., de Souza, N.,
672 Pintea, L., Brito, J.C., Llewellyn, O.A., Miller, A.G., Patzelt, A., Ghazanfar, S.A., Timberlake, J.,
673 Klöser, H., Shennan-Farpón, Y., Kindt, R., Lillesø, J.-P.B., van Breugel, P., Graudal, L., Vogé, M.,
674 Al-Shammari, K.F., Saleem, M., 2017. An Ecoregion-Based Approach to Protecting Half the
675 Terrestrial Realm. *BioScience* 67, 534–545. <https://doi.org/10.1093/biosci/bix014>
- 676 Eidenshink, J., Schwind, B., Brewer, K., Zhu, Z.-L., Quayle, B., Howard, S., 2007. A Project for Monitoring
677 Trends in Burn Severity. *Fire Ecol.* 3, 3–21. <https://doi.org/10.4996/fireecology.0301003>
- 678 Eiten, G., 1972. The cerrado vegetation of Brazil. *Bot. Rev.* 38, 201–341. <https://doi.org/10.1007/BF02859158>
- 679 Emperaire, L., 1989. *Végétation et gestion des ressources naturelles dans la Caatinga du Sud-Est du Piauí*
680 (Brésil) Doctorat d'Etat ès Sciences Naturelles, Université Pierre et Marie Curie. Paris, 378p.
- 681 Feeley, K.J., Gillespie, T.W., Terborgh, J.W., 2005. The Utility of Spectral Indices from Landsat ETM+ for
682 Measuring the Structure and Composition of Tropical Dry Forests¹. *Biotropica* 37, 508–519.
683 <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2005.00069.x>

684 Field, C.B., 1998. Primary Production of the Biosphere: Integrating Terrestrial and Oceanic Components.
685 Science 281, 237–240. <https://doi.org/10.1126/science.281.5374.237>

686 Flannigan, M.D., Krawchuk, M.A., de Groot, W.J., Wotton, B.M., Gowman, L.M., 2009. Implications of
687 changing climate for global wildland fire. *Int. J. Wildland Fire* 18, 483.
688 <https://doi.org/10.1071/WF08187>

689 Fontugne, M., Shao, Q., Frank, N., Thil, F., Guidon, N., Boeda, E., 2013. Cross-dating (Th/U-¹⁴C) of calcite
690 covering prehistoric paintings at Serra da Capivara National Park, Piauí, Brazil. *Radiocarbon*, 55(3),
691 1191-1198. <https://doi.org/10.1017/S0033822200048104>

692 Hijmans, R., 2017. raster: geographic data analysis and modeling version 2.5–2. 2015.

693 Hoffmann, W.A., Jaconis, S.Y., Mckinley, K.L., Geiger, E.L., Gotsch, S.G., Franco, A.C., 2012. Fuels or
694 microclimate? Understanding the drivers of fire feedbacks at savanna-forest boundaries. *Austral
695 Ecol.* 37, 634–643. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2011.02324.x>

696 IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2017. Available online: <http://downloads.ibge.gov.br/>
697 (accessed on 13 September 2017)

698 INPE-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2010. TerraView 4.1.0. São José dos Campos, SP. Available
699 online: www.dpi.inpe.br/terraview/ (accessed on 01 November 2018)

700 Jarvis, A.; Reuter, H.I.; Nelson, A.; Guevara, E., 2008. Hole-Filled Seamless SRTM Data V4. International
701 Centre for Tropical Agriculture (CIAT): Palmira, Colombia.

702 Key, C.H., Benson, N.C., 2006. Landscape Assessment (LA) 55. FIREMON: Fire effects monitoring and
703 inventory system. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-164-CD, Fort Collins, CO: US Department of
704 Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.

705 Kousky, V. E.; Chug, P. S., 1978 Fluctuations in Annual Rainfall for Northeast Brazil. *Journal of the
706 Meteorological Society of Japan. Ser. II*, vol. 56, no 5, p. 457-465.
707 https://doi.org/10.2151/jmsj1965.56.5_457

708 Lemes, G.P., Matricardi, E.A.T., Costa, O.B., Leal, F.A., 2014. Spatiotemporal assessment of forest fires
709 occurred in the Serra da Canastra National Park between 1991 and 2011. *Ambiência* 10.
710 <https://doi.org/10.5935/ambiencia.2014.supl.03>

711 Lemos, J.R., Rodal, M.J.N., 2002. Fitossociologia do componente lenhoso de um trecho da vegetação de
712 caatinga no Parque Nacional Serra da Capivara, Piauí, Brasil. *Acta Bot. Bras.* 16, 23–42.
713 <https://doi.org/10.1590/S0102-33062002000100005>

714 Libonati, R., Camara, C.C. da, Setzer, A.W., Morelli, F., Jesus, S.C. de, Candido, P.A., Melchiori, A.E., 2014.
715 Validation of the burned area “(V,W)” Modis algorithm in Brazil, in: *Advances in Forest Fire
716 Research*. Imprensa da Universidade de Coimbra, pp. 1774–1785. [https://doi.org/10.14195/978-
717 989-26-0884-6_197](https://doi.org/10.14195/978-989-26-0884-6_197)

718 Libonati, R., DaCamara, C., Setzer, A., Morelli, F., Melchiori, A., 2015. An Algorithm for Burned Area
719 Detection in the Brazilian Cerrado Using 4 μm MODIS Imagery. *Remote Sens.* 7, 15782–15803.
720 <https://doi.org/10.3390/rs71115782>

721 Liebmann, B., Marengo, J., 2001. Interannual Variability of the Rainy Season and Rainfall in the Brazilian
722 Amazon Basin. *J. Climate*, v. 14, p. 4308–4318.

723 Liu, W.T., Juárez, R.I.N., 2001. ENSO drought onset prediction in northeast Brazil using NDVI. *Int. J. Remote*
724 *Sens.* 22, 3483–3501. <https://doi.org/10.1080/01431160010006430>

725 Marengo, J.A., Torres, R.R., Alves, L.M., 2017. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. *Theor.*
726 *Appl. Climatol.* 129, 1189–1200. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1840-8>

727 Martínez-Ramos, M., Balvanera, P., Arreola Villa, F., Mora, F., Maass, J.M., Maza-Villalobos Méndez, S.,
728 2018. Effects of long-term inter-annual rainfall variation on the dynamics of regenerative
729 communities during the old-field succession of a neotropical dry forest. *For. Ecol. Manag.* 426, 91–
730 100. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.04.048>

731 Masek, J. G., Vermote, E. F., Saleous, N. E., Wolfe, R., Hall, F. G., Huemmrich, K. F., Lim, T. K., 2006. A
732 Landsat surface reflectance dataset for North America, 1990-2000. *IEEE Geoscience and Remote*
733 *Sensing Letters*, 3(1), 68-72.

734 Mayr, M.J., Vanselow, K.A., Samimi, C., 2018. Fire regimes at the arid fringe: A 16-year remote sensing
735 perspective (2000–2016) on the controls of fire activity in Namibia from spatial predictive models.
736 *Ecol. Indic.* 91, 324–337. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.022>

737 Melchiori, A.E., W. Setzer, A., Morelli, F., Libonati, R., Cândido, P. de A., Jesús, S.C. de, 2014. A Landsat-
738 TM/OLI algorithm for burned areas in the Brazilian Cerrado: preliminary results, in: *Advances in*
739 *Forest Fire Research*. Imprensa da Universidade de Coimbra, pp. 1302–1311.
740 https://doi.org/10.14195/978-989-26-0884-6_143

741 Meng, R., Zhao, F., 2017. Remote sensing of fire effects : A review for recent advances in burned area and burn
742 severity mapping. In: *Remote Sensing of Hydrometeorological Hazards*. [s.l.] Petropolis, G. P.;
743 ISLAM, T., p. 261–281.

744 MMA-Ministério do Meio Ambiente, 2017. Available online: <http://mma.gov.br/> (accessed on 13 September
745 2017).

746 Moreno, M.V., Conedera, M., Chuvieco, E., Pezzatti, G.B., 2014. Fire regime changes and major driving forces
747 in Spain from 1968 to 2010. *Environ. Sci. Policy* 37, 11–22.
748 <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.08.005>

749 Morgan, P., Hardy, C.C., Swetnam, T.W., Rollins, M.G., Long, D.G., 2001. Mapping fire regimes across time
750 and space: Understanding coarse and fine-scale fire patterns. *Int. J. Wildland Fire* 10, 329.
751 <https://doi.org/10.1071/WF01032>

- 752 Mouillot, F., Schultz, M.G., Yue, C., Cadule, P., Tansey, K., Ciais, P., Chuvieco, E., 2014. Ten years of global
753 burned area products from spaceborne remote sensing—A review: Analysis of user needs and
754 recommendations for future developments. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinformation* 26, 64–79.
755 <https://doi.org/10.1016/j.jag.2013.05.014>
- 756 Moura, A. C. D. A., 2005a. Capuchin monkey and the Caatinga dry forest: a hard life in a harsh habitat
757 (Doctoral dissertation, University of Cambridge).
- 758 Moura, L. S., 2005b. Estudo da Paisagem da Caatinga Piauiense: Parque Nacional Serra das Confusões-PI.
759 *Geografia* (Master dissertation, UFPI), Teresina-PI, 9, 1-26.
- 760 Murphy, B.P., Bradstock, R.A., Boer, M.M., Carter, J., Cary, G.J., Cochrane, M.A., Fensham, R.J., Russell-
761 Smith, J., Williamson, G.J., Bowman, D.M.J.S., 2013. Fire regimes of Australia: a pyrogeographic
762 model system. *J. Biogeogr.* 40, 1048–1058. <https://doi.org/10.1111/jbi.12065>
- 763 Nogueira, J., Rambal, S., Barbosa, J., Mouillot, F., 2017. Spatial Pattern of the Seasonal Drought/Burned Area
764 Relationship across Brazilian Biomes: Sensitivity to Drought Metrics and Global Remote-Sensing
765 Fire Products. *Climate* 5, 42. <https://doi.org/10.3390/cli5020042>
- 766 Nogueira, J., Ruffault, J., Chuvieco, E., Mouillot, F., 2016. Can We Go Beyond Burned Area in the Assessment
767 of Global Remote Sensing Products with Fire Patch Metrics? *Remote Sens.* 9, 7.
768 <https://doi.org/10.3390/rs9010007>
- 769 Oliveira, A.P.C., Bernard, E., 2017. The financial needs vs. the realities of in situ conservation: an analysis of
770 federal funding for protected areas in Brazil's Caatinga. *Biotropica* 49, 745–752.
771 <https://doi.org/10.1111/btp.12456>
- 772 Olmos, F., 2012. As aves da região do Parque Nacional Serra da Capivara (PiauÍ, Brasil). *Rev. Bras. Ornitol.*
773 20(3), 173-187.
- 774 Olmos, F., 1992. Serra Da Capivara National Park and the conservation of north-eastern Brazil's caatinga. *Oryx*
775 26, 142. <https://doi.org/10.1017/S0030605300023565>
- 776 Olson, D.M., Dinerstein, E., Wikramanayake, E.D., Burgess, N.D., Powell, G.V.N., Underwood, E.C., D'amico,
777 J.A., Itoua, I., Strand, H.E., Morrison, J.C., Loucks, C.J., Allnutt, T.F., Ricketts, T.H., Kura, Y.,
778 Lamoreux, J.F., Wettengel, W.W., Hedao, P., Kassem, K.R., 2001. Terrestrial Ecoregions of the
779 World: A New Map of Life on Earth. *BioScience* 51(11), 933. [https://doi.org/10.1641/0006-
780 3568\(2001\)051\[0933:TEOTWA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0933:TEOTWA]2.0.CO;2)
- 781 Pessis, AM.; Guidon, N., 2009. Dating rock art paintings in Serra de Capivara National Park. *Adoranten*, 1, 49-
782 59.
- 783 Pivello, V.R., 2011. The use of fire in the cerrado and amazonian rainforests of Brazil: past and present. *Fire*
784 *Ecol.*, 7: 24. <https://doi.org/10.4996/fireecology.0701024>

785 Pourtaghi, Z.S., Pourghasemi, H.R., Aretano, R., Semeraro, T., 2016. Investigation of general indicators
786 influencing on forest fire and its susceptibility modeling using different data mining techniques.
787 *Ecol. Indic.* 64, 72–84. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.12.030>

788 QGIS Development Team, 2018. Quantum GIS Geographic Information System. Open Source Geospatial
789 Foundation Project.

790 R Core Team, 2017. R: a language and environment for statistical computing (version 3.4.2). R Foundation for
791 Statistical Computing, Vienna, Austria.

792 Ramos, R.P.L., 1975. Precipitation characteristics in the Northeast Brazil dry region. *J. Geophys. Res.* 80,
793 1665–1678. <https://doi.org/10.1029/JC080i012p01665>

794 Ramos-Neto, M.B.; Pivello, V.R., 2000. Lightning fires in a Brazilian savanna national park: rethinking
795 management strategies. *Environmental Management*, 26: 675.
796 <https://doi.org/10.1007/s002670010124>

797 Reddy, S. J., 1983. Climatic classification: the semi-arid tropics and its environment a review. *Embrapa*
798 *Semiárido. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília*, 18(8):823-847.

799 Rodrigues, R. R., McPhaden, M. J., 2014. Why did the 2011–2012 La Niña cause a severe drought in the
800 Brazilian Northeast?. *Geophysical Research Letters*, 41(3), 1012-1018.
801 <https://doi.org/10.1002/2013GL058703>

802 Rouse, W., Haas, R.H. , Schell, J. A., & Deering, D. W., 1974. Monitoring Vegetation Systems in the Great
803 Plains with ERTS. *Proc. 3rd ERTS Symp. NASA SP-351*, pp. 309-317.

804 Sampaio, E.V.S.B., Salcedo, I.H., Kauffman, J.B., 1993. Effect of Different Fire Severities on Coppicing of
805 Caatinga Vegetation in Serra Talhada, PE, Brazil. *Biotropica* 25, 452.
806 <https://doi.org/10.2307/2388868>

807 Sampaio, E. V. D. S. B., de Lima Araújo, E., Salcedo, I. H., Tiessen, H., 1998. Regeneração da vegetação de
808 caatinga após corte e queima, em Serra Talhada, PE. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília*,
809 33(5), 621-632.

810 Sampaio, E.V.S.B.; Araújo, M.S.B.; Sampaio, Y.S. B., 2005. Impactos ambientais da agricultura no processo de
811 desertificação no Nordeste do Brasil, *Revista de Geografia, Recife*, 22(1), 90-112.

812 Sano, E.E., Ferreira, L.G., Asner, G.P., Steinke, E.T., 2007. Spatial and temporal probabilities of obtaining
813 cloud-free Landsat images over the Brazilian tropical savanna. *Int. J. Remote Sens.* 28, 2739–2752.
814 <https://doi.org/10.1080/01431160600981517>

815 Scott, A., 2000. The Pre-Quaternary history of fire. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 164, 281–329.
816 [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(00\)00192-9](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(00)00192-9)

817 Silveira, L., Jácomo, A.T.A., Astete, S., Sollmann, R., Tôrres, N.M., Furtado, M.M., Marinho-Filho, J., 2010.
818 Density of the Near Threatened jaguar *Panthera onca* in the caatinga of north-eastern Brazil. *Oryx*
819 44, 104. <https://doi.org/10.1017/S0030605309990433>

- 820 Sparacino, J., Argibay, D. S., Espindola, G., 2019. Rainy and dry season characterizarion in a semiarid region of
821 northeastern Brazil. Unpublished manuscript.
- 822 U.S. Geological Survey, 2018, Landsat collections: U.S. Geological Survey Fact Sheet 2018–3049, 2 p.,
823 <https://doi.org/10.3133/fs20183049>.
- 824 Vermote, E., Justice, C., Claverie, M., Franch, B., 2016. Preliminary analysis of the performance of the Landsat
825 8/OLI land surface reflectance product. *Remote Sens. Environ.*, 185, 46-56.
826 <http://doi.org/10.1016/j.rse.2016.04.008>

ANEXO – B



ECOLOGICAL INDICATORS

Integrating Sciences for Monitoring, Assessment and Management

AUTHOR INFORMATION PACK

TABLE OF CONTENTS

•	Description	p.1
•	Audience	p.2
•	Impact Factor	p.2
•	Abstracting and Indexing	p.2
•	Editorial Board	p.2
•	Guide for Authors	p.4



ISSN: 1470-160X

DESCRIPTION

The ultimate aim of *Ecological Indicators* is to integrate the **monitoring** and **assessment** of **ecological** and **environmental indicators** with **management** practices. The journal provides a forum for the discussion of the applied scientific development and review of traditional indicator applications as well as for theoretical, modelling and quantitative approaches such as index development. Research into the following areas will be published.

- All aspects of ecological and environmental indicators and indices.
- New indicators, and new approaches and methods for indicator development, testing and use.
- Development and modelling of indices, e.g. application of indicator suites across multiple scales and resources.
- Analysis and research of resource, system- and scale-specific indicators.
- Methods for integration of social and other valuation metrics for the production of scientifically rigorous and politically-relevant assessments using indicator-based monitoring and assessment programs.
- Approaches on how research indicators can be transformed into direct application for management purposes.
- Broader assessment objectives and methods, e.g. biodiversity, biological integrity, and sustainability, through the use of indicators.
- Resource-specific indicators such as landscape, agroecosystems, forests ecosystems, aquatic ecosystems, wetlands, etc.

The journal seeks innovative papers which provide new developmental and methodological steps for environmental indication. Submissions of results from simple monitoring programs or single case studies, resulting in descriptive approaches without any exploration from the theory of indication, from the methodology of indication, or from the management points of view are not considered suitable for publication in *Ecological Indicators*.

The following contributions will be accepted:

- Original research papers;
- Review articles;
- Special themed issues;
- Short notes and case studies;
- Viewpoints;
- Letters to the Editor;

Book reviews.

AUDIENCE

Scientists, decision-makers and resource managers working with or using ecological and environmental indicators for the long-term goals of assessing extent, condition and trends within the environment.

IMPACT FACTOR

2017: 3.983 © Clarivate Analytics Journal Citation Reports 2018

ABSTRACTING AND INDEXING

Scopus
ScienceDirect
Aluminium Industry Abstracts
Biological Abstracts
BIOSIS
Chemical Abstracts
Current Contents / Physical, Chemical & Earth Sciences
Engineered Materials Abstracts
Excerpta Medica
Life Sci
Mass Spectrometry Bulletin
Material Business Alerts
Metals Abstracts
Science Citation Index

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief

J.C. Marques, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal

Associate Editors:

R. Achtziger, Technische Universität Bergakademie Freiberg, Freiberg, Germany
C. Bryant, University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada
C. Fürst, Martin Luther University Halle-Wittenberg, Halle, Germany
A. Kaklauskas, Vilnius Gediminas Technical University, Vilnius, Lithuania
P. L. Pert, CSIRO Land and Water, Brisbane, Queensland, Australia
S. Ripp, University of Tennessee, Knoxville, Tennessee, USA
F. Xu, Peking University, Beijing, China
G. Zurlini, University of Salento, Lecce, Italy

Editorial Board

T.R. Angradi, U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Duluth, Minnesota, USA
J. Aroviita, Finnish Environment Institute (SYKE), Finland
S. Bastianoni, Università degli Studi di Siena, Siena, Italy
S. Bell, Edinburgh College of Art, Edinburgh, Scotland, UK
J. P. Bennett, University of Wisconsin at Madison, Madison, Wisconsin, USA
T. Blaschke, Universität Salzburg, Salzburg, Austria
A. Borja, Marine Research Division, Pasaia, Spain
O.T. Bouman, Cape Breton University, Sydney, Nova Scotia, Canada
A. Cano-Orellano, Universidad de Sevilla, Sevilla, Spain
K.W. Chau, The Hong Kong Polytechnic University, Hung Hom, Kowloon, Hong Kong
G.Q. Chen, Peking University, Beijing, China
M. Convertino, Hokkaido University, Sapporo, Hokkaido, Japan
R.M.V. Cortes, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal
L. Costa, Universidade de Lisboa, Lisbon, Portugal

R. Costanza, Australian National University, Canberra, Australian Capital Territory, Australia
M. Devescovi, Ruđer Bošković Institute, Rovinj, Croatia
B.D. Fath, Towson University, Towson, Maryland, USA
A. Feest, University of Bristol, Bristol, England, UK
V. Ferretti, London School of Economics and Political Science (LSE)
A. Gnauck, Brandenburgische Technische Universität (BTU), Cottbus, Germany
A.M. Gonçalves, University of Coimbra, Coimbra, Portugal
G. Gonzalez Barbera, CSIC-University of the Balearic Islands, Espinardo, Murcia, Spain
M.B. Griffith, U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Cincinnati, Ohio, USA
J.G. Holmquist, University of California at Los Angeles (UCLA), Bishop, California, USA
E. Hyatt, Ecological Indicators, Athens, Georgia, USA
C. Jacoby, Indian River Lagoon National Estuary Program, Palatka, Florida, USA
K.B. Jones, U.S. Geological Survey (USGS), Reston, Virginia, USA
J.C. Kurtz, U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Gulf Breeze, Florida, USA
U. Mander, University of Tartu, Tartu, Estonia
W.J. Mitsch, Florida Gulf Coast University, Naples, Florida, USA
J.C. Munch, Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt, Neuherberg / München, Germany
S. N. Nielson, Aalborg University, Copenhagen, Denmark
R. Pandey, Forest research institute Dehradun, Dehradun, Uttarakhand, India
V. Rao, Indian Institute of Chemical Technology, Hyderabad, India
D.J. Rapport, EcoHealth Consulting, Salt Spring Island, British Columbia, Canada
J.C. Rodgers, Mississippi State University, Starkville, Mississippi, USA
F. Schanz, Universität Zürich, Zürich, Switzerland
K. Summers, U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Gulf Breeze, Florida, USA
R. Virtanen, University of Oulu, Oulu, Finland
B.G. Wiersma, University of Maine, Orono, Maine, USA

GUIDE FOR AUTHORS

Your Paper Your Way

We now differentiate between the requirements for new and revised submissions. You may choose to submit your manuscript as a single Word or PDF file to be used in the refereeing process. Only when your paper is at the revision stage, will you be requested to put your paper in to a 'correct format' for acceptance and provide the items required for the publication of your article.

To find out more, please visit the Preparation section below.

INTRODUCTION

DESCRIPTION

The ultimate aim of Ecological Indicators is to integrate the **monitoring** and **assessment** of **ecological** and **environmental indicators** with **management** practices. The journal provides a forum for the discussion of the applied scientific development and review of traditional indicator applications as well as for theoretical, modelling and quantitative approaches such as index development. Research into the following areas will be published:

- All aspects of ecological and environmental indicators and indices.
- New indicators, and new approaches and methods for indicator development, testing, and use. Development and modelling of indices, e.g. application of indicator suites across multiple scales and resources.
- Analysis and research of resource, system and scale specific indicators.
- Methods for integration of social and other valuation metrics for the production of scientifically rigorous and politically-relevant assessments using indicator-based monitoring and assessment programs.
- Approaches on how research indicators can be transformed into direct application for management purposes.
- Broader assessment objectives and methods, e.g. biodiversity, biological integrity, and sustainability, through the use of indicators.
- Resource-specific indicators such as landscape, agroecosystems, forest ecosystems, aquatic ecosystems, wetlands, etc.

The journal seeks innovative papers which provide new developmental and methodological steps for environmental indication. Submissions of results from simple monitoring programs or single case studies, resulting in descriptive approaches without any exploration from the theory of indication, from the methodology of indication, or from the management points of view are not considered suitable for publication in Ecological Indicators.

Benefits to authors

We also provide many author benefits, such as free PDFs, a liberal copyright policy, special discounts on Elsevier publications and much more. Please click [here](#) for more information on our author services.

AUDIENCE

The target readership is scientists, policy-makers, and resource managers investigating or applying ecological and environmental indicators, from the molecular to the ecosystem and landscape level, to the long-term goal of assessing the condition and trends within the environment towards ecological sustainability.

INTRODUCTION

The journal is concerned with the development and application of ecological indicators, from the molecular to the ecosystem and landscape level, in the scope of environmental quality assessment and management towards sustainability.

Human activities and well-being depend on our capability to develop proper tools to evaluate and help acting upon ecosystems ecological conditions and long term trends. Ecological and environmental indicators and indices play an essential role with regard to this endeavour and must have biological, methodological, and social relevance: they are expected to extract information from raw data in a very condensed form that is of significance to scientists, decision makers, resource managers, and general public.

From a management point of view, a good ecological indicator should be a) simple to apply and easily understood by laymen, b) relevant in the context, c) scientifically justifiable, d) quantitative, e) acceptable in terms of costs, f) covering all relevant and actual problems, and g) sensitive to possible changes. On the other hand, from a more scientific perspective, it should have h) handling easiness, i) sensibility to small variations of environmental stress and/or ecological conditions, j) independence of reference states, k) applicability in extensive geographical areas and in the greatest possible number of communities or ecological environments, and l) possible and reliable quantification. Ecological Indicators can be applied to a wide range of topics going from basic ecology to human ecology and socio-ecological systems, and the journal welcomes research articles, review articles, short notes and studies, viewpoint articles, letters to the Editor, and book reviews. The journal also publishes Special Themes Issues.

Types of paper

Types of papers

The official language of the journal is English.

The following types of contributions will be accepted:

- Original research papers
- Review articles
- Short notes and studies
- Viewpoint articles
- Letters to the Editor
- Book Reviews

Original research papers are expected to report results of original research, and materials should not have been previously published elsewhere, except in a preliminary form.

Review articles are expected to cover subjects falling within the scope of the journal which are of active current interest. They may be submitted or invited. Review articles are usually up to 12,000 words and must include a Methods section explaining how the literature for review was selected.

Short notes consist of a concise but complete description of a limited or preliminary investigation, which may eventually be included in a later paper. A short note should nevertheless be as completely documented, both by reference to the literature and description of the experimental procedures employed, as a regular paper.

Authors submitting papers focused on the application of existing indicators or indicator systems, on demonstrations, or tests or minor methodological improvements on the basis of regional investigations, as well as condensed articles on new topics concerning ecological indication, are also invited to submit their articles in the form of a short note.

Viewpoint articles provide a forum for authors to present a novel, distinctive or even personal viewpoint on any topic falling within the journal's scope. The article should be well arched in evidence and adequately supported by citations, but may focus on a stimulating and assumed provoking line of arguments representing a significant advance in thinking about indicators problems and solutions.

Letters to the Editor offer a forum for comments or critiques regarding material published in the journal. The decision to publish submitted letters rests purely with the Editor-in-Chief. It is the hope that the publication of such letters will permit an exchange of views beneficial to the journal and its readers.

Book reviews will be solicited by the Editor-in-Chief and will fall upon a range of relevant books no more than 2 years old. Unsolicited reviews will not usually be accepted, but suggestions for appropriate books for review may be sent to the Editor-in-Chief.

Special Issues

Special Issues concentrate on a special topic and should consist of a minimum (usually 10) number of manuscripts, an introduction by the guest editors, where the contents and context of the papers is summarized, and - if possible - some concluding remarks. Those interested in serving as guest editors of a special issue should be in touch with the Editor-in-Chief or the publisher to discuss the objectives and scope of the proposed topic. If more information is requested, guest editors will be asked to include an overview of the contributing authors, planned manuscripts and short summaries of their contents.

Size of papersRegular papers

Generally, manuscripts should be about 7,000 words, the maximum length being 10,000 words.

Short Notes

Short notes should not occupy more than 6 printed pages (about 12 manuscript pages, including figures, tables and references).

This will shorten the reviewing process and will ensure quicker publication times

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 pages on [Ethics in publishing](#) and [Ethical guidelines for journal publication](#).

Declaration of 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 competing interests include employment, consultancies, stock ownership, honoraria, paid expert testimony, patent applications/registrations, and grants or other funding. Authors must disclose any interests in two places: 1. A summary declaration of interest statement in the title page file (if double-blind) or the manuscript file (if single-blind). If there are no interests to declare then please state this: 'Declarations of interest: none'. This summary statement will be ultimately published if the article is accepted. 2. Detailed disclosures as part of a separate Declaration of Interest form, which forms part of the journal's official records. It is important for potential interests to be declared in both places and that the information matches. [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](#).

Use correct, continuous line numbering throughout the document.

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. Articles should make no assumptions about the beliefs or commitments of any reader, should contain nothing which might imply that one individual is superior to another on the grounds of race, sex, culture or any other characteristic, and should use inclusive language throughout. Authors should ensure that writing is free from bias, for instance by using 'he or she', 'his/her' instead of 'he' or 'his', and by making use of job titles that are free of stereotyping (e.g. 'chairperson' instead of 'chairman' and 'flight attendant' instead of 'stewardess').

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.

Article transfer service

This journal is part of our Article Transfer Service. This means that if the Editor feels your article is more suitable in one of our other participating journals, then you may be asked to consider transferring the article to one of those. If you agree, your article will be transferred automatically on your behalf with no need to reformat. Please note that your article will be reviewed again by the new journal. [More information](#).

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.

Subscribers may reproduce tables of contents or prepare lists of articles including abstracts for internal circulation within their institutions. [Permission](#) of the Publisher is required for resale or distribution outside the institution and for all other derivative works, including compilations and translations. If excerpts from other copyrighted works are included, the author(s) must obtain written permission from the copyright owners and credit the source(s) in the article. Elsevier has [preprinted forms](#) for use by authors in these cases.

For gold open access articles: Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete an 'Exclusive License Agreement' ([more information](#)). Permitted third party reuse of gold open access articles is determined by the author's choice of [user license](#).

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.

Funding body agreements and policies

Elsevier has established a number of agreements with funding bodies which allow authors to comply with their funder's open access policies. Some funding bodies will reimburse the author for the gold open access publication fee. Details of [existing agreements](#) are available online.

Open access

This journal offers authors a choice in publishing their research:

Subscription

- Articles are made available to subscribers as well as developing countries and patient groups through our [universal access programs](#).
- No open access publication fee payable by authors.
- The Author is entitled to post the [accepted manuscript](#) in their institution's repository and make this public after an embargo period (known as green Open Access). The [published journal article](#) cannot be shared publicly, for example on ResearchGate or Academia.edu, to ensure the sustainability of peer-reviewed research in journal publications. The embargo period for this journal can be found below.

Gold open access

- Articles are freely available to both subscribers and the wider public with permitted reuse.
- A gold open access publication fee is payable by authors or on their behalf, e.g. by their research funder or institution.

Regardless of how you choose to publish your article, the journal will apply the same peer review criteria and acceptance standards.

For gold open access articles, permitted third party (re)use is defined by the following [Creative Commons user licenses](#):

Creative Commons Attribution (CC BY)

Lets others distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), include in a collective work (such as an anthology), text or data mine the article, even for commercial purposes, as long as they credit the author(s), do not represent the author as endorsing their adaptation of the article, and do not modify the article in such a way as to damage the author's honor or reputation.

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs (CC BY-NC-ND)

For non-commercial purposes, lets others distribute and copy the article, and to include in a collective work (such as an anthology), as long as they credit the author(s) and provided they do not alter or modify the article.

The gold open access publication fee for this journal is **USD 3400**, excluding taxes. Learn more about Elsevier's pricing policy: <https://www.elsevier.com/openaccesspricing>.

Green open access

Authors can share their research in a variety of different ways and Elsevier has a number of green open access options available. We recommend authors see our [open access page](#) for further information. Authors can also self-archive their manuscripts immediately and enable public access from their institution's repository after an embargo period. This is the version that has been accepted for publication and which typically includes author-incorporated changes suggested during submission, peer review and in editor-author communications. Embargo period: For subscription articles, an appropriate amount of time is needed for journals to deliver value to subscribing customers before an article becomes freely available to the public. This is the embargo period and it begins from the date the article is formally published online in its final and fully citable form. [Find out more](#).

This journal has an embargo period of 24 months.

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 WebShop.

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.

Referees

Referees

All authors must suggest 3 potential reviewers per submission, together with their full addresses and email details. Potential reviewers should not include anyone with whom the authors have collaborated closely.

Submission Guide and Checklist for Authors

SUMMARY GUIDE AND CHECKLIST FOR AUTHORS

This page is a summary of essential information which is hoped to be useful as guidance to the authors during the final checking of an article prior to sending it to the journal's Editor for review. Please consult the complete Instructions to Authors for details on any item.

First of all, submitting an article to Ecological Indicators implies that it is an original submission which has not been published previously or has not been submitted to any other journal. All authors must suggest 3 potential reviewers on submission and not forget to include their full addresses and email details. The suggested reviewers should not include anyone with whom the authors have collaborated closely.

Before submitting a manuscript to Ecological Indicators, please read the Editorial Policy carefully, which can be found at "Aims and Scope" in the journal website. Be sure that the answer to the following questions concerning the content of the manuscript is **Yes**: Does the paper focus on the proposal, development, application or evaluation of ecological indicators, considered from the molecular up to the ecosystem and landscape level? Are the results based on ecological/environmental data and observations? Are results explored and discussed from the theory of indication, from the methodology of indication, or from the environmental management points of view, being therefore more than just a descriptive presentation of results from monitoring programs or single case studies? Does the paper emphasize the scientific progress of results in regard to our established knowledge on ecological indicators and in comparison with previously published results? Are all relevant references included?

When submitting the manuscript, please ensure that the following items are not forgotten: Research highlights are identified briefly described; One author has been designated as the corresponding author with the following contact details: E-mail address Full postal address All necessary files have been uploaded, and contain: Keywords All figure captions All tables (including title, description, footnotes) 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) Printed version of figures (if applicable) in colour or black-and-white, indicating clearly whether or not colour or black-and-white in print is required.

For any further information please visit our Support Center.

PREPARATION

NEW SUBMISSIONS

Submission to this journal proceeds totally online and you will be guided stepwise through the creation and uploading of your files. The system automatically converts your files to a single PDF file, which is used in the peer-review process.

As part of the Your Paper Your Way service, you may choose to submit your manuscript as a single file to be used in the refereeing process. This can be a PDF file or a Word document, in any format or layout that can be used by referees to evaluate your manuscript. It should contain high enough quality figures for refereeing. If you prefer to do so, you may still provide all or some of the source files at the initial submission. Please note that individual figure files larger than 10 MB must be uploaded separately.

References

There are no strict requirements on reference formatting at submission. References can be in any style or format as long as the style is consistent. Where applicable, author(s) name(s), journal title/book title, chapter title/article title, year of publication, volume number/book chapter and the article number or pagination must be present. Use of DOI is highly encouraged. The reference style used by the journal will be applied to the accepted article by Elsevier at the proof stage. Note that missing data will be highlighted at proof stage for the author to correct.

Formatting requirements

There are no strict formatting requirements but all manuscripts must contain the essential elements needed to convey your manuscript, for example Abstract, Keywords, Introduction, Materials and Methods, Results, Conclusions, Artwork and Tables with Captions.

If your article includes any Videos and/or other Supplementary material, this should be included in your initial submission for peer review purposes.

Divide the article into clearly defined sections.

Figures and tables embedded in text

Please ensure the figures and the tables included in the single file are placed next to the relevant text in the manuscript, rather than at the bottom or the top of the file. The corresponding caption should be placed directly below the figure or table.

Peer review

This journal operates a single blind 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. [More information on types of peer review.](#)

REVISED SUBMISSIONS

Language

Authors whose native language is not English are advised to seek the help of an English-speaking colleague, if possible, before submitting their manuscripts.

Use of word processing software

Please use correct, continuous line numbering and page numbering throughout the document.

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: <https://www.elsevier.com/guidepublication>). 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.

Use of word processing software

Regardless of the file format of the original submission, at revision you must provide us with an editable file of the entire article. Keep the layout of the text as simple as possible. Most formatting codes will be removed and replaced on processing the article. The electronic text should be prepared in a way very similar to that of conventional manuscripts (see also the [Guide to Publishing with Elsevier](#)). 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.

Article structure

Subdivision - numbered sections

Divide your article into clearly defined and numbered sections. Subsections should be numbered 1.1 (then 1.1.1, 1.1.2, ...), 1.2, etc. (the abstract is not included in section numbering). Use this numbering also for internal cross-referencing: do not just refer to 'the text'. Any subsection may be given a brief heading. Each heading should appear on its own separate line.

Introduction

State the objectives of the work and provide an adequate background, avoiding a detailed literature survey or a summary of the results.

Material and methods

Provide sufficient details to allow the work to be reproduced by an independent researcher. Methods that are already published should be summarized, and indicated by a reference. If quoting directly from a previously published method, use quotation marks and also cite the source. Any modifications to existing methods should also be described.

Theory/calculation

A Theory section should extend, not repeat, the background to the article already dealt with in the Introduction and lay the foundation for further work. In contrast, a Calculation section represents a practical development from a theoretical basis.

Results

Results should be clear and concise.

Discussion

This should explore the significance of the results of the work, not repeat them. A combined Results and Discussion section is often appropriate. Avoid extensive citations and discussion of published literature.

Conclusions

The main conclusions of the study may be presented in a short Conclusions section, which may stand alone or form a subsection of a Discussion or Results and Discussion section.

Appendices

If there is more than one appendix, they should be identified as A, B, etc. Formulae and equations in appendices should be given separate numbering: Eq. (A.1), Eq. (A.2), etc.; in a subsequent appendix, Eq. (B.1) and so on. Similarly for tables and figures: Table A.1; Fig. A.1, etc.

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. They consist of 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. Please use 'Highlights' in the file name and include 3 to 5 bullet points (maximum 85 characters, including spaces, per bullet point). You can view [example Highlights](#) on our information site.

Abstract

A concise and factual abstract is required. The abstract should be not longer than 400 words. 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

Although a graphical abstract is optional, its use is encouraged as it draws more attention to the online article. The graphical abstract should summarize the contents of the article in a concise, pictorial form designed to capture the attention of a wide readership. 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 and 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.

Nomenclature

Authors and editors are, by general agreement, obliged to accept the rules governing biological nomenclature as laid down in the *International Code of Botanical Nomenclature*, the *International Code of Nomenclature of Bacteria*, and the *International Code of Zoological Nomenclature*. All biotica (crops, plants, insects, birds, mammals, etc.) should be identified by their scientific names when the English term is first used, with the exception of common domestic animals. All biocides and other organic compounds must be identified by their Geneva names when first used in the text. Follow internationally accepted rules and conventions: use the international system of units (SI). If other quantities are mentioned, give their equivalent in SI. You are urged to consult IUPAC: Nomenclature of Organic Chemistry: <http://www.iupac.org/> for further information.

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 build footnotes into the text, and this feature may be used. Should this not be the case, indicate the position of footnotes in the text and present the footnotes themselves separately at the end of the article.

Artwork

Electronic artwork

General points

- Make sure you use uniform lettering and sizing of your original artwork.
- Preferred fonts: Arial (or Helvetica), Times New Roman (or Times), Symbol, Courier.
- Number the illustrations according to their sequence in the text.
- Use a logical naming convention for your artwork files.
- Indicate per figure if it is a single, 1.5 or 2-column fitting image.
- For Word submissions only, you may still provide figures and their captions, and tables within a single file at the revision stage.
- Please note that individual figure files larger than 10 MB must be provided in separate source files. 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

Regardless of the application used, 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 the font or save the text as 'graphics'.

TIFF (or JPG): Color or grayscale photographs (halftones): always use a minimum of 300 dpi.

TIFF (or JPG): Bitmapped line drawings: use a minimum of 1000 dpi.

TIFF (or JPG): Combinations bitmapped line/half-tone (color or grayscale): a minimum of 500 dpi is required.

Please do not:

- Supply files that are optimized for screen use (e.g., GIF, BMP, PICT, WPG); the resolution is too low.
- 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) in addition to color reproduction in print. [Further information on the preparation of electronic artwork.](#)

Figure captions

Ensure that each illustration has a caption. 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](#).

Users of Mendeley Desktop can easily install the reference style for this journal by clicking the following link:

<http://open.mendeley.com/use-citation-style/ecological-indicators>

When preparing your manuscript, you will then be able to select this style using the Mendeley plug-ins for Microsoft Word or LibreOffice.

Reference formatting

There are no strict requirements on reference formatting at submission. References can be in any style or format as long as the style is consistent. Where applicable, author(s) name(s), journal title/book title, chapter title/article title, year of publication, volume number/book chapter and the article number or pagination must be present. Use of DOI is highly encouraged. The reference style used by the journal will be applied to the accepted article by Elsevier at the proof stage. Note that missing data will be highlighted at proof stage for the author to correct. If you do wish to format the references yourself they should be arranged according to the following examples:

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>.

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 in Brief

You have the option of converting any or all parts of your supplementary or additional raw data into one or multiple data articles, a new kind of article that houses and describes your data. Data articles ensure that your data is actively reviewed, curated, formatted, indexed, given a DOI and publicly available to all upon publication. You are encouraged to submit your article for *Data in Brief* as an additional item directly alongside the revised version of your manuscript. If your research article is accepted, your data article will automatically be transferred over to *Data in Brief* where it will be editorially reviewed and published in the open access data journal, *Data in Brief*. Please note an open access fee of 500 USD is payable for publication in *Data in Brief*. Full details can be found on the [Data in Brief website](#). Please use [this template](#) to write your Data in Brief.

MethodsX

You have the option of converting relevant protocols and methods into one or multiple MethodsX articles, a new kind of article that describes the details of customized research methods. Many researchers spend a significant amount of time on developing methods to fit their specific needs or setting, but often without getting credit for this part of their work. MethodsX, an open access journal, now publishes this information in order to make it searchable, peer reviewed, citable and reproducible. Authors are encouraged to submit their MethodsX article as an additional item directly alongside the revised version of their manuscript. If your research article is accepted, your methods article will automatically be transferred over to MethodsX where it will be editorially reviewed. Please note an open access fee is payable for publication in MethodsX. Full details can be found on the [MethodsX website](#). Please use [this template](#) to prepare your MethodsX article.

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

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.

Offprints

The corresponding author will, at no cost, receive a customized [Share Link](#) providing 50 days free access to the final published version of the article on [ScienceDirect](#). The Share Link can be used for sharing the article via any communication channel, including email and social media. For an extra charge, paper offprints can be ordered via the offprint order form which is sent once the article is accepted for publication. Both corresponding and co-authors may order offprints at any time via Elsevier's [Webshop](#). Corresponding authors who have published their article gold open access do not receive a Share Link as their final published version of the article is available open access on ScienceDirect and can be shared through the article DOI link.

AUTHOR 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](#).

© Copyright 2018 Elsevier | <https://www.elsevier.com>