
ECOLOGIA

**DHEMERSON ESTEVÃO CONCIANI DA
COSTA**

**OCORRÊNCIA DE FOGO NO CERRADO: UMA
ABORDAGEM DE LONGO PRAZO USANDO
SENSORIAMENTO REMOTO**



Rio Claro
2017

DHEMERSON ESTEVÃO CONCIANI DA COSTA

OCORRÊNCIA DE FOGO NO CERRADO: UMA ABORDAGEM DE
LONGO PRAZO USANDO SENSORIAMENTO REMOTO

Orientador: Dra. Swanni Tatiana Alvarado Romero

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Biociências da Universidade
Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” -
Câmpus de Rio Claro, para obtenção do grau
de Ecólogo.

Rio Claro
2017

581.5
C837o Costa, Dhemerson Estevão Conciani da
Ocorrência de fogo no cerrado : uma abordagem de longo prazo
usando sensoriamento remoto / Dhemerson Estevão Conciani da Costa. -
Rio Claro, 2017
41 f. : il., figs., gráfs., tabs. + CD-ROM

Trabalho de conclusão de curso (Ecologia) - Universidade Estadual
Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro
Orientador: Swanni Tatiana Alvarado Romero

1. Ecologia vegetal. 2. Ecologia do fogo. 3. Regime de fogo. 4.
Cicatriz de queima. 5. Precipitação. 6. Gestão do fogo. I. Título.

Dedico este trabalho a todos aqueles que, em meio as incertezas e desafios de nosso tempo, acreditam e trabalham pela transformação da sociedade através do conhecimento.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, antes de tudo, à minha família. Não apenas pela formação acadêmica, mas pela minha formação enquanto ser humano. Pelos valorosos ensinamentos de meu pai, Estevão da Costa, que além de um professor em assuntos da vida é a minha referência de conduta e ética profissional. Agradeço à minha mãe, Maria Inêz, por todo o amor, carinho, apoio, tempo e trabalho dedicado a cada um de seus filhos. A minha avó, Maria Aparecida e ao meu falecido avô, Natale Conciani, pela sabedoria transmitida no campo e por despertarem em mim o fascínio pela Ecologia. Agradeço aos meus irmãos e irmãs (por ordem alfabética pra não ter briga), Gabriel, Mayara e Mayra pela oportunidade de aprender, ensinar e compartilhar minha vida com vocês. À minha companheira, Nayara Demari, por todo apoio, tempo e carinho dedicado nos últimos cinco anos. São pessoas como vocês que me fazem acreditar, dia após dia, que todos nossos sonhos são possíveis com esforço, dedicação e paciência.

Ciente da minha própria limitação de memória, agradeço a cada uma das pessoas e instituições que ao longo desse tempo contribuíram de forma substancial para minha formação. À pesquisadora Marli dos Santos, da UNESP Rio Claro, pela oportunidade de realizar meu primeiro projeto de pesquisa. Aos pesquisadores do Instituto Florestal, Edgar de Lucca e Denise Zanchetta pela realização da minha iniciação científica e pela oportunidade de contato e trabalho na Estação Ecológica de Itirapina, Unidade de Conservação pela qual desenvolvi um profundo apreço. Ao meu grande amigo e parceiro do Instituto Florestal, pesquisador Paulo Ruffino, por todas as conversas, discussões, experiência transmitida, aos frutos colhidos com o projeto de pesquisa em andamento e, claro, a todas as cervejas e churrascos compartilhados. Ao amigo Yuri Souza pela magnífica colaboração em um recente trabalho publicado. Ao meu parceiro e amigo, Rosendo Martins, pela confiança, apoio e oportunidades. Ao professor Thiago Sanna, da UNESP, pela oportunidade de trabalho e orientação em seu laboratório, à pesquisadora Swanni Alvarado, pela confiança, dedicação, companheirismo e orientação neste trabalho e a todos os membros do *Ecosystem Dynamics Observatory* pelo aprendizado compartilhado.

Ao financiamento do CNPq (138789/2015-0), SMA/IF (13.813/2006 e 008.941/2016) e FAPESP (2014/12728-1).

"O caos é uma ordem por decifrar."

SARAMAGO, 2002

RESUMO

O Cerrado é a Savana tropical mais diversa do globo e a dinâmica da sua vegetação apresenta estreita relação natural com o fogo. As atividades humanas modificam a frequência e outros atributos dessas queimas, alterando seu regime natural. O objetivo deste trabalho foi: *i*) reconstruir o histórico de queimas no período 1985-2016 na Estação Ecológica de Itirapina (EEcl), Estação Experimental (EEI) e seu entorno, e, *ii*) analisar a relação entre a variação temporal e espacial de queimas com a precipitação. A estação de queimas foi definida com o produto de focos de calor do sensor MODIS-MOD14 para o período de 2004-2014. A reconstrução do regime de queimas se deu através da delimitação manual de cicatrizes de queima com imagens dos sensores TM (1985-2011), ETM+ (2012-2015) e OLI (2016) da série Landsat com resolução espacial de 30m e temporal de 16 dias. Considerando as áreas que queimaram pelo menos uma vez ao longo dos 32 anos, foram identificados 1.087 ha de área queimada na EEcl (40,61% de sua área total), 17.852 ha no Buffer (42,16% de sua área total) e, 269 ha na EEI (8,58% de sua área total). A EEcl e o entorno foram os locais mais atingidos por queimas no período. Quando o fogo esteve ausente em longos intervalos de tempo observamos a ocorrência de maior área queimada na EEcl. O entorno apresentou regime de queimas com baixa variação interanual e estritamente moldadas pelas atividades agropecuárias afetando diretamente a EEcl e a EEI. Ao contrario do esperado, a precipitação não foi um fator determinante da variação temporal de área anual queimada ($R^2 < 0.10$, $p \geq 0.05$) indicando alta influência antrópica. Uma vez que as queimas na EEcl são determinadas pelas atividades em sua zona de amortecimento, a gestão do fogo se faz necessária na EEcl como uma importante ferramenta de manejo para manutenção da biodiversidade e a conservação de todas as fisionomias.

Palavras- chave: regime de fogo; cicatriz de queima; precipitação; gestão do fogo

ABSTRACT

Cerrado savanna is the most diverse tropical savanna in the world and its vegetation can be shaped by fire. Human activities can modify the fire frequency and other of its attributes, changing the natural regime. We aim: i) to reconstruct the history of fire occurrence between 1985 and 2016 on the Ecological Station of Itirapina (EEcl); the Experimental Station (EEI) and a buffer area of seven kilometers around the protected areas, and, ii) to analyze the relation between the temporal and spatial variation of fire and rainfall. We determined the length of the fire season using the MODIS active fire product (MOD14) for the period between 2004-2014. We reconstructed the fire regime by visual interpretation and manual delimitation of burn scars of false color composites of Landsat images from the TM (1985-2011), ETM + (2012-2015) and OLI (2016) sensor, with a spatial resolution of 30m and a temporal resolution of 16 days. Considering the areas that burned at least once during the 32 years, we identified 1,087 ha of burned area in the EEcl (40.61% of its total area), 17,852 ha in the buffer (42.16% of its total area) and, 269 ha in the EEI (8.58% of its total area). The EEcl and the buffer area were the most affected zones by fire during the studied period. When fire was absent during long intervals of time, we observed the occurrence of biggest fires on the EEcl. We observed on the buffer a fire regime characterized by a low interannual variation which is strictly shaped by farming activities, affecting directly the EEcl and the EEI. Contrary to what was expected, we could not establish a strong correlation between the annual burned area and rainfall ($R^2 < 0.10$, $p \geq 0.05$), suggesting a high anthropic influence on fire occurrence. Since fire on the EEcl was mainly determined by anthropic activities in its buffer zone, we suggest the implementation of fire management measures to maintain biodiversity and the conservation of the different physiognomies

Key- words: fire regime; burn scars; rainfall; fire management

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	8
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	10
2.1. Área de estudo.....	10
2.2. Vegetação.....	12
2.3. Aquisição de dados orbitais.....	13
2.4. Processamento a análises.....	15
2.4.1. Determinação da estação de queimas.....	15
2.4.2. Reconstrução do regime de queimas.....	16
2.4.3. Relação entre queimadas e precipitação.....	18
2.5 Hipóteses.....	19
3. RESULTADOS.....	19
3.1 Variação espacial e temporal do fogo.....	19
3.2 Sazonalidade de queimas.....	24
3.3 Relações entre precipitação, distribuição de chuvas e área queimada.....	27
4. DISCUSSÃO.....	30
4.1 Variação espacial e temporal do fogo.....	30
4.2 Sazonalidade de queimas.....	32
4.3 Relação entre a precipitação e a área queimada.....	33
4.4 Implicações para a gestão.....	34
5. CONCLUSÕES.....	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36

1. INTRODUÇÃO

O Cerrado ocupa uma área de 2 milhões de km², aproximadamente 25% do território brasileiro (DURINGAN; RATTER, 2016). Devido sua ampla variação de solos e tipos fitofisionômicos, pode ser considerado um mosaico vegetacional (EITEN, 2001). Ao todo estão descritas cerca de 13.127 espécies de plantas (OVERBECK *et al.*, 2015), aproximadamente 4.400 destas espécies são endêmicas (OLIVEIRA; MARQUIS, 2002), sendo a savana mais diversa do planeta. As atividades antrópicas, principalmente a agricultura e a pecuária, exercem forte pressão expandindo cada vez mais a chamada 'fronteira agrícola', constituindo uma grave ameaça para sua conservação (KLINK; MOREIRA, 2002). Apesar disto, apenas 7% da área total do Cerrado no Brasil está sob proteção legal (SOARES-FILHO *et al.*, 2014), fazendo deste um dos *hotspots* globais para conservação da biodiversidade (MYERS *et al.*, 2000).

Em São Paulo, a vegetação do Cerrado já chegou a ocupar 14% da área total do estado (BRITO *et al.*, 1997), atualmente os remanescentes ocupam o equivalente à 0,83% do estado (KRONKA *et al.*, 2005). Destes, apenas 18% estão efetivamente protegidos por Unidades de Conservação e áreas de reserva legal (FIORI; FIORAVANTI, 2001). Segundo Vicente e colaboradores (2005), as Estações Ecológica (EEcl) e Experimental (EEI) de Itirapina representam um dos fragmentos de fisionomias abertas do estado de São Paulo mais significativos. A vegetação da EEcl é caracterizada por vegetação campestre, especialmente Campo Úmido, Campo Limpo, Campo Sujo e Campo Cerrado, além de algumas manchas localizadas de Cerradão e Cerrado *sensu stricto* (TANNUS *et al.*, 2006), enquanto a vegetação da EEI é composta pelo cultivo intensivo de *Pinus* spp., *Eucalyptus* spp., manchas de Cerradão e Cerrado *sensu stricto* (ZANCHETTA *et al.*, 2006).

O fogo ocorre naturalmente nas savanas à milhares de anos, modelando o ambiente e selecionando plantas e animais adaptados (BOND *et al.*, 2005; BOND; KEELEY, 2005). No Cerrado, considerado um tipo de savana, o fogo é uma das perturbações mais importantes, que modifica e reestrutura as comunidades vegetais, determinando sua dinâmica (COUTINHO, 1990; MIRANDA *et al.*, 2009). Contudo, quando o homem passou a viver de maneira agregada, constituindo grupos sociais, estes passaram a ser a principal causa do fogo (GOLDAMMER, 1993; PYNE, 1993),

exercendo grande influência no regime de queimas, alterando ou até mesmo definindo esta dinâmica em detrimento das condições naturais (ARCHIBALD, 2016).

A dinâmica do fogo é determinada por uma gama de fatores, tal como: o nível de influência humana; a sazonalidade e a variação climática a curto, médio e longo prazo; as variações na direção e velocidade das correntes de vento; a topografia e; o acúmulo de biomassa que irá servir de combustível durante a combustão (COCHRANE; RYAN, 2009; TROLLOPE *et al.*, 2002). Deste modo, o estudo do regime de queimas no Cerrado, bem como sua dinâmica a longo prazo, permite entender o padrão de comportamento do fogo ao longo do tempo e fazer previsões sobre cenários futuros, sendo fundamental enquanto subsídio à sua conservação.

Nesse sentido, o Sensoriamento Remoto oferece um importante conjunto de ferramentas para análise de interações em sistemas ambientais, podendo contribuir para o monitoramento a longo prazo das ocorrências de fogo e a reconstrução de até 40 anos do histórico de queimadas. A avaliação de séries temporais dos produtos da série Landsat, em particular a partir do satélite Landsat 5, em serviço desde 1984, permitem a reconstrução consistente dos regimes de queima de áreas relativamente pequenas, dada sua alta resolução espacial (pixel ~30m) e a curta lacuna de tempo deixada entre seu período de revisita (~16 dias), garantindo a aquisição de imagens quase quinzenais para um mesmo ponto de referência do planeta. Além disso, seus sucessores (Landsat 7 e 8) oferecem disponibilidade de uma série temporal contínua, integrando mais de trinta anos de informação.

Este trabalho reconstrói, para o período de 1985 a 2016, a ocorrência de queimas na região de Itirapina e compara, quantitativamente, os padrões de queima em locais com diferentes usos do solo: uma matriz de uso antrópico; uma UC de proteção integral do Cerrado inserida nessa matriz e; uma área protegida dominada por reflorestamento de espécies exóticas. Buscamos responder: 1) Como varia o regime de queimas em áreas com diferentes usos do solo? 2) Existe uma relação entre a distribuição espacial e temporal da ocorrência do fogo nessas áreas e a variação na precipitação ao longo do tempo?

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

As Estações Ecológica e Experimental de Itiraipina (EEcl e EEI, respectivamente) são Unidades de Conservação conjugadas sob administração do Instituto Florestal (IF). Estão localizadas no município de Itiraipina, no estado de São Paulo, com altitudes que variam de 700 à 850 m (Figura 1). Em termos administrativos a Estação Ecológica tem uma área de 2.228ha e a Experimental de 3.581ha. As regiões popularmente conhecidas como "Área USP" (306ha) e "60 alqueires" (143ha) caracterizadas por vegetação de Cerrado, foram consideradas parte da EEcl neste trabalho por serem contíguas e se enquadrarem no mesmo contexto ecológico, dominadas pelo mesmo tipo de vegetação, conferindo no total 2.678 ha para a EEcl

Para comparar os padrões de queima em diferentes usos do solo delimitamos um Buffer abrangendo um raio de 7 km ao redor da EEcl e EEI, com uma área de 42.340 ha. A topografia nessa área varia de 540 à 1.040 m de altitude (Figura 1). Seu uso do solo é caracterizado pela ocupação humana e possui densidade demográfica de aproximadamente 560 hab/km² na zona urbana e 2,82 hab/km² em sua zona rural (IBGE, 2014), abrigando ao longo do tempo um mosaico de cultivos de cana-de-açúcar, soja, milho, arroz, reflorestamentos com espécies exóticas como o *Eucalyptus* sp., *Pinus* sp., representativos fragmentos de Cerradão e indústrias de médio/ grande porte.

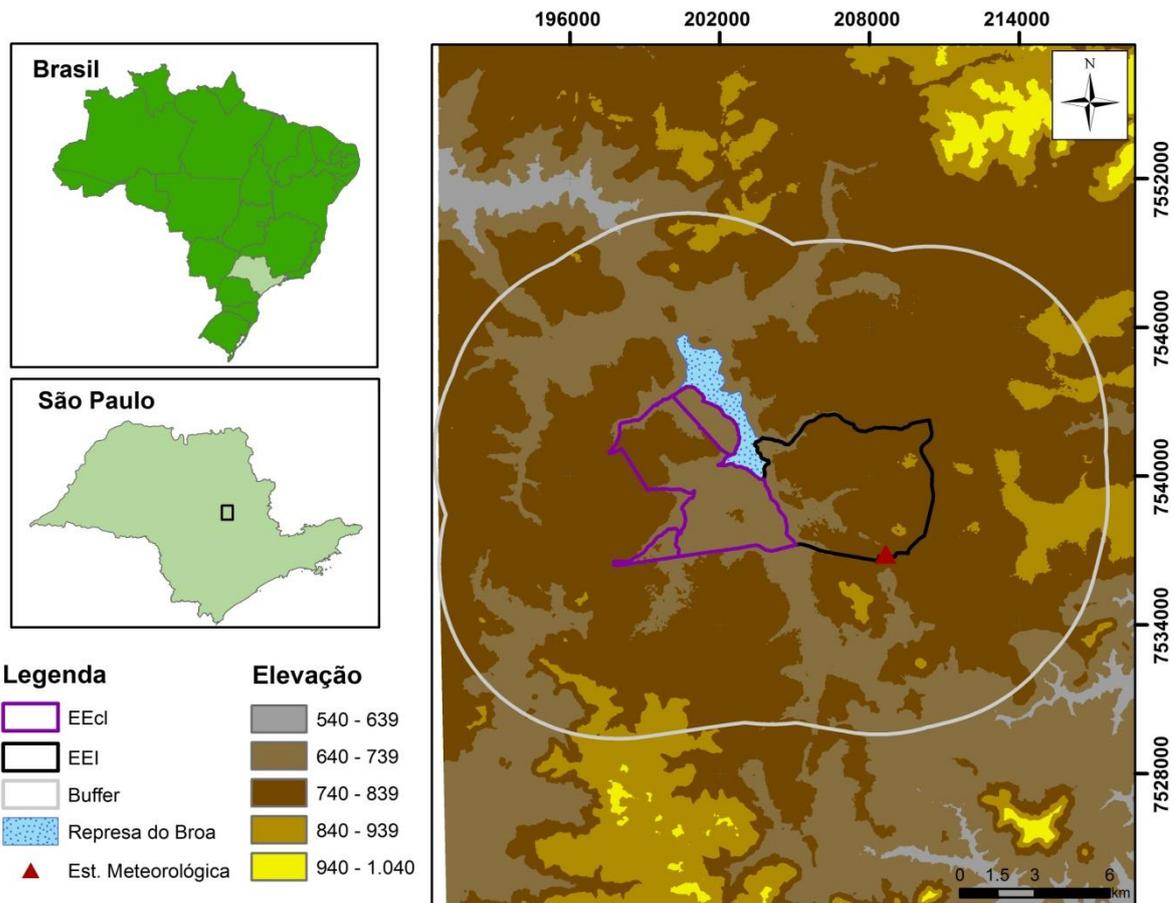


Figura 1. Estação Ecológica (EEcl) e Estação Experimental (EEI) de Itirapina. O modelo digital de elevação usado foi o ASTER GDEM v2, adquirido junto a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e ao Ministério da Economia, Comércio e Indústria do Japão (METI). (Fonte: Elaborado pelo autor).

A precipitação anual média é de 1.442 milímetros para o período entre 1985 - 2016. No período chuvoso (Outubro a Março) a precipitação acumulada média é de 1.139 mm (79% do total anual) com valores mensais que vão de 101,3 mm a 294,5 mm, enquanto no período seco (Abril a Setembro) a precipitação acumulada média é de 302,9 mm (21% do total anual) com valores mensais que vão de 22,7 mm a 74,6 mm (Figura 2). A temperatura média anual é 21,9°C. O mês mais quente é Janeiro com temperatura média de 24,8°C, mínima de 17,2°C e máxima de 27,3°C. O mês mais frio é Junho com temperatura média de 17,8°C, mínima de 10,2°C e máxima de 22°C (ZANCHETTA et al., 2006).

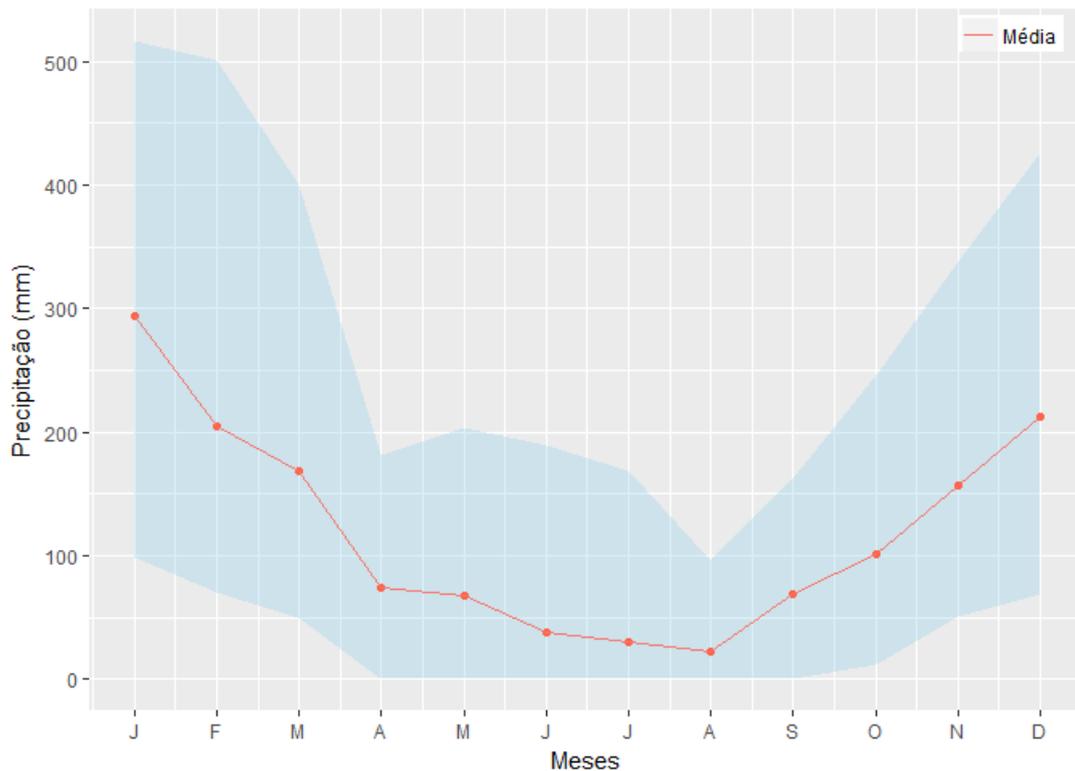


Figura 2. Médias de precipitação no período de 1985- 2016. A área em azul representa a variação entre os máximos e mínimos mensais. Os dados de precipitação foram obtidos na base de dados da Agência Nacional de Águas (ANA) através do portal Hidroweb (<http://hidroweb.ana.gov.br>) e referem-se a uma Estação Meteorológica situada dentro da EEI (Estação Meteorológica "Construfan", Figura 1).

2. 2 VEGETAÇÃO

A vegetação das Unidades foi caracterizada de acordo com aspectos fisionômicos (densidade e estratificação), florísticos (presença de espécies indicadoras) e edáficos (tipos de solo, geologia e padrões de drenagem) e constam no plano de manejo das Unidades (ZANCHETTA *et al.*, 2006). A classificação dos tipos vegetais seguiu as definições de Coutinho (1978), Ribeiro e Walter (1998) e Rodrigues (1999). Cerca de 93% da Estação Ecológica (aproximadamente 2.068 ha) é coberta por fisionomias abertas. Fragmentos de Cerrado *sensu stricto*, Cerradão e faixas de mata de galeria completam o mosaico da paisagem. Dois talhões anteriormente reflorestados com *Pinus spp* (aproximadamente 61 ha) são hoje caracterizados como áreas em processo de regeneração, com elementos típicos da flora do Cerrado e figuram como fisionomias abertas (ZANCHETTA *et al.*, 2006). Uma exceção na Estação Ecológica é o pequeno fragmento de *Cerradão*, localizado na porção nordeste, próximo à Represa do Lobo, caracterizado por uma densa

cobertura arbórea, que determina uma condição de baixa luminosidade em seu interior e a rara ocorrência de herbáceas. Algumas espécies epifíticas (orquídeas e bromélias) e de hábito trepador (lianas) são particularmente abundantes (ZANCHETTA *et al.*, 2006).

A Estação Experimental é caracterizada pelo intenso cultivo de *Pinus* sp. e, em menores proporções de *Eucalyptus* sp.. Apresenta também significativos fragmentos de Cerradão (121 ha) e Cerrado *sensu stricto* (177 ha). O Buffer apresenta predominância de cultivos agrícolas e pastagens. Estão presentes significativos fragmentos de Cerradão em sua área sul e nas regiões com maior declividade e em sua porção oeste encontram-se vastos cultivos de *Eucalyptus* sp. para produção de celulose.

2.3 AQUISIÇÃO DE DADOS ORBITAIS

A estação de queima foi definida com o produto de focos de calor do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectro radiometer* (Terra MODIS) - MOD14, no período de 2004 a 2014 para o Estado de São Paulo (Tabela 1, Figura 3).

Para o mapeamento de cicatrizes de queima foram adquiridas imagens multiespectrais da série Landsat (Tabela 1, Anexo 1), referentes a órbita 220 e ponto 75 da coleção 1 (*Higher level science data*) do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, <http://earthexplorer.usgs.gov>), *Datum* WGS84, *Projeção* Universal Transversa de Mercator (UTM) e zona 23S, sendo:

- i. 239 imagens para o período de 1985 a 2011 a partir do sensor TM (*Thematic Mapper*), do satélite Landsat 5;
- ii. 38 imagens para o período de 2012 a 2015 a partir do sensor ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) do satélite Landsat 7. Vale ressaltar que a região da imagem que responde pela área de estudo não foi atingida pela falha do sistema corretor de linhas (*system line corrector* - SLC), assim, não foi necessária nenhuma correção utilizando outro produto de satélite para determinar a área queimada;
- iii. 10 imagens para o ano de 2016 a partir do sensor OLI (*Operation Land Imager*), do satélite Landsat 8.

2.4 PROCESSAMENTO E ANÁLISES

2.4.1. DETERMINAÇÃO DA ESTAÇÃO DE QUEIMAS

Em relação ao efeito do clima na variação espacial e temporal de queimas, Alvarado e colaboradores (2017) apontam que a distribuição da precipitação nas estações de crescimento e de queimas explica 38% da variação anual de área queimada no Parque Nacional da Serra do Cipó (MG). Com o intuito de testar se o regime de queimas da região de Itirapina e, especialmente da EEcl, seguem este mesmo padrão do Cerrado e campos rupestres de Minas Gerais, cruzamos as informações dos focos de calor no Estado de São Paulo com a precipitação média mensal para determinar a estação de queimas da região de Itirapina (Figura 3). Tomando como referência a distribuição dos focos de calor acumulados para o período 2004 - 2014 ao longo do ano, aplicamos um limiar de 70 mm para a precipitação mensal para delimitar a estação seca, onde esperava-se encontrar concentrada a ocorrência de fogo. As queimas ocorreram durante todo o ano no Estado de São Paulo, com uma incidência elevada de queimas entre novembro e março (plena época de chuvas) superior à observada no início e no meio da estação seca, não sendo possível definir uma estação única e contínua de queimas (Figura 3). Contudo, com exceção do mês de Março, o pico de queimas ocorreu no final da estação seca (Setembro).

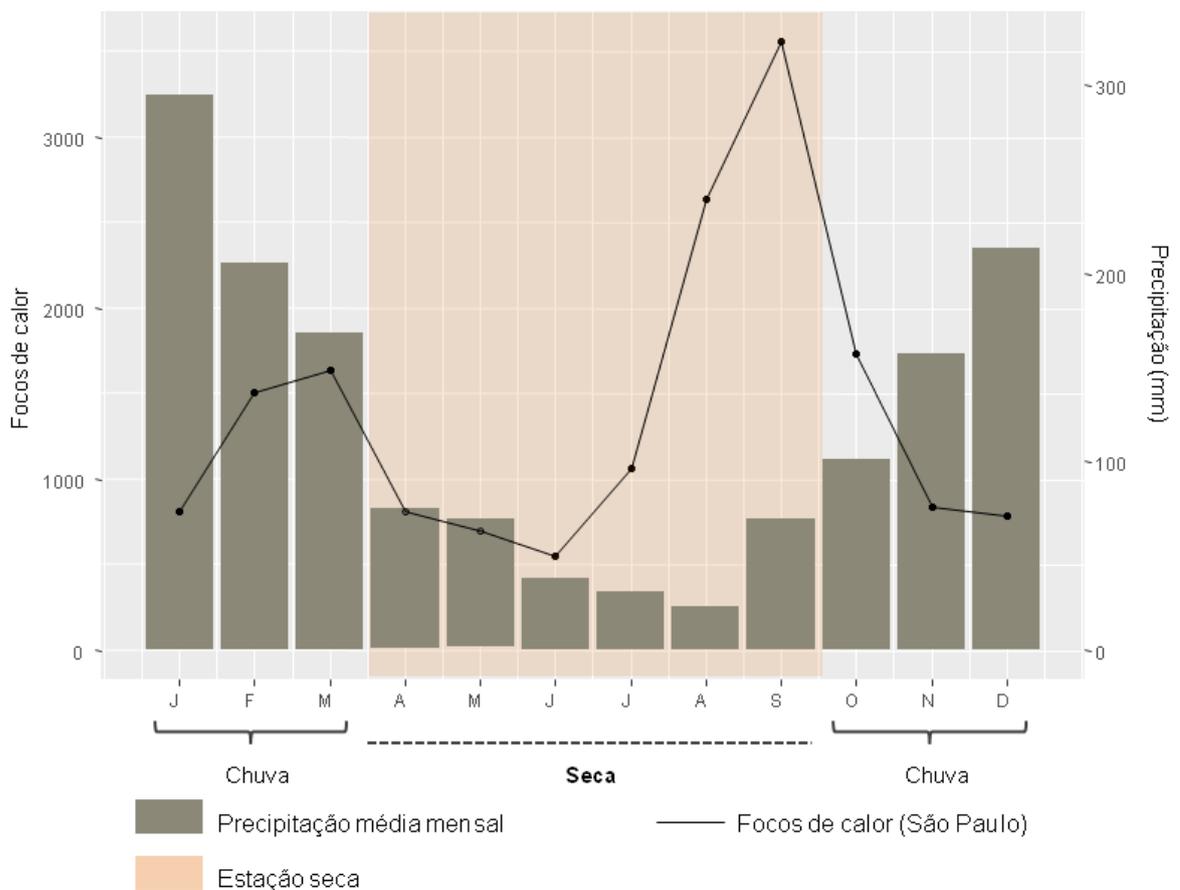


Figura 3. Precipitação anual e distribuição dos focos de calor para o Estado de São Paulo. As barras em marrom representam a precipitação média mensal; a área sombreada em tom laranja refere-se à estação seca; a linha preta mostra a soma mensal de focos de calor detectados pelo Terra MODIS entre 2004 e 2014 em todo Estado de São Paulo. (Fonte: Elaborado pelo autor)

2.4.2. RECONSTRUÇÃO DO REGIME DE QUEIMAS

A detecção e delimitação de queimadas foi feito seguindo o método proposto por Alvarado e colaboradores (2017), usando as bandas de radiação eletromagnética no espectro do vermelho de ondas curtas ao infravermelho médio, que permitem evidenciar áreas atingidas por queimadas. Nesse sentido, para os produtos do sensor TM e ETM+ foi realizada a fusão das bandas 5 (infravermelho médio, 1,55 - 1,75 μm), 4 (infravermelho próximo, 0,76 - 0,90 μm) e 3 (vermelho visível, 0,63 - 0,69 μm) com a finalidade de se obter uma imagem composta em cores falsas (Tabela 1). Nos produtos do sensor OLI foi realizada a fusão das bandas 6 (Infravermelho médio, 1,57 - 1,65 μm), 5 (infravermelho próximo, 0,85 -

0,88 μm) e 4 (vermelho visível, 0,64 - 0,67 μm), intervalo espectral equivalente ao utilizado para os sensores TM e ETM (Tabela 1).

Tabela 1. Satélites e sensores empregados para o mapeamento das cicatrizes de queima.

Satélite	Sensor	Resolução espacial	Bandas usadas	Período estudado
Landsat 5	TM	30 m	5 - 4 - 3	1985 - 2011
Landsat 7	ETM+	30 m	5 - 4 - 3	2012 - 2015
Landsat 8	OLI	30 m	6 - 5 - 4	2016
MODIS (MOD14)	Terra	1 km	1 - 2	2004 - 2014

As composições tiveram brilho e contraste padronizados entre si (Tabela 2), de modo a minimizar as flutuações na intensidade da refletância e reduzir o erro de observação, sendo:

Tabela 2. Valores máximos e mínimos de contraste adotados como padrão para todas as imagens (Fonte: ALVARADO, comunicação pessoal).

	Mínimo	Máximo
R	300	4700
G	300	3600
B	200	2700

Em cada uma das imagens processadas foi realizada detecção visual e delimitação manual das cicatrizes com escala gráfica padronizada em 1:15.000. As cicatrizes foram delimitadas como vetores e constituíram o banco de dados deste trabalho. Além da geometria, cada cicatriz recebeu o valor de área (em hectares), ano, mês e dia de detecção.

Apesar da delimitação manual de cicatrizes de queima resultarem em arquivos de vetores, convertemos os dados em *bitmaps* com pixel de 30 m, com a finalidade de preservar a resolução original do mapeamento. O mapa de frequência de queimas foi o resultado da somatória de pixels que foram identificados como queimados ao longo da série temporal analisada (Pixel queimado = 1; Pixel não queimado = 0). O mapa de ano de última queima foi calculado a partir do valor máximo da variável ano em cada pixel.

Outras medidas derivadas das informações vetoriais e raster foram calculadas:

- **Área queimada (ha e %):** A área anual queimada foi determinada em hectares a partir dos vetores anuais de queima. Esses valores foram normalizados em porcentagem para comparar locais com diferentes tamanhos. A porcentagem de área queimada foi calculada considerando $\frac{\text{área total queimada}}{\text{área total do local}} \times 100$. Também foi calculada a área queimada acumulada considerando a somatória ao longo do tempo (1985 - 2016) a partir dos vetores anuais de queima. Por último, a área média da cicatriz foi calculada a partir das delimitações vetoriais de cada cicatriz de queima e considera $\frac{\text{área queimada acumulada}}{\text{número de cicatrizes}}$ para cada ano.
- **Densidade de ignições (ignições/ha):** Valores normalizados que representam a densidade queimas em locais com diferentes tamanhos. Foi calculado considerando $\frac{\text{número de cicatrizes}}{\text{área total do local}}$ para cada ano.

2.4.3. RELAÇÃO ENTRE QUEIMADAS E PRECIPITAÇÃO

Foram propostos modelos lineares simples e múltiplos para testar a relação entre a área queimada na região de Itirapina e a precipitação (mm), bem como sua distribuição (em dias) durante a estação seca e chuvosa (Tabela 3 e 4).

Alguns autores sugerem que a variação na precipitação acumulada entre os anos (de 1 à 2 anos) precedentes à estação de queima responda significativamente pela área queimada (BALFOUR; HOWISON, 2001; ARCHIBALD, 2010). Deste modo, propomos modelos lineares para testar a influência da precipitação acumulada em 12 e 24 meses na quantidade de área queimada anual (Tabela 3 e 4).

Foi calculado o sinal da correlação de Pearson para todos os modelos lineares simples que cumpriram os pressupostos de normalidade.

Todas as análises espaciais foram calculadas com uso dos pacotes *raster* (HIJMANS; VAN ETTEN, 2012) e *rgdal* (BIVAND et al., 2013). As estatísticas descritivas, modelos lineares simples e múltiplos foram calculados no R software version 3.3.1 (R Core Team, 2016). Os mapas foram elaborados a partir do software ArcGIS v10.4.1 (ESRI, 2016).

2.5 HIPÓTESES

Em relação à variação de queimas intra e interanuais, ao longo dos 32 anos, esperamos: 1) que a área do entorno das áreas protegidas (Buffer) apresente maior porcentagem de área queimada e uma maior densidade de ignições em relação a EEcl, em razão da constante atividade agropecuária na região; 2) que a EEcl tenha uma maior densidade de ignições em relação a EEI, dada a alta inflamabilidade da vegetação da EEcl, composta, principalmente, por gramíneas que constituem significativa biomassa seca disponível para queima durante a estação seca comparada com a vegetação da EEI que se caracteriza essencialmente pelo plantio de *Pinus* spp; e 3) que a variação temporal da ocorrência de queimadas seja determinada pela distribuição e quantidade de chuva nas estações de crescimento e de queima.

3. RESULTADOS

3.1. VARIAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DO FOGO

Considerando as áreas que queimaram pelo menos uma vez ao longo dos 32 anos, foram identificados 1.087 ha de área queimada na EEcl (40,61% de sua área total), 17.852 ha no Buffer (42,16% de sua área total) e, 269 ha na EEI (8,58% de sua área total) (Figura 4).

Região de Itirapina - Buffer

O Buffer apresenta predominante regularidade geométrica nas cicatrizes de queima em sua extensão Norte, Leste e Oeste (Figura 4a). A recorrência do fogo foi mais frequente nas áreas de pastagem e cultivos da região norte e nas áreas de baixa altitude da região sul (Figura 4a). As áreas com queima mais recente (Figura 5a) coincidem com as áreas onde a queima foi mais frequente (Figura 4a). Ao longo dos 32 anos a área média de cada cicatriz de queima no Buffer pouco variou em relação a média (desvio padrão = 12,27 ha). Os anos com maior área queimada foram 1985 (10% da área total da Buffer), 1988 (9,2% da área total do Buffer) e 1994 (7% da área total do Buffer). A somatória da área queimada durante estes três anos equivalem à 26% da área total acumulada do Buffer (Figura 6c).

Estação Ecológica (EEcl) e Estação Experimental (EEI)

Ao contrário do esperado, as cicatrizes de queimas na EEcl apresentaram geometrias regulares (Figura 4b). A recorrência do fogo foi mais frequente na região norte da EEcl (Figura 7b) bem como as queimas mais recentes (Figura 5b), sobretudo, nas áreas de Campo Sujo e Campo Cerrado. Não foram identificadas queimas em 10 dos 32 anos analisados. Os anos com maior área queimada foram 2001 (14,1% da área total de EEcl), 2002 (14,8% da área total da EEcl) e 2009 (16,9% da área total da EEcl), totalizando 45,8% acumulado em relação a área total da EEcl (Figura 6d). Essas queimas ocorreram na região norte da EEcl, foram antecedidas por períodos de 6 à 9 anos com pouca ou nenhuma queima e tiveram início nas pastagens limítrofes (2001 e 2002) e em uma antiga via de acesso entre o bairro "*Lagoa Dourada*" e a UC (2009). Ocorreram nos meses de Julho e Agosto e são resultado de apenas duas ignições (2001 e 2009) e uma única ignição em 2002 (Figura 6a). Historicamente as maiores queimas na EEI são anteriores ao ano 2000 (Figura 6b) e ocorreram nos fragmentos de Cerradão e Cerrado *sensu stricto*. Contudo, as queimas após este período ocorreram em talhões de *Pinus* spp. as margens da ferrovia e da estrada.

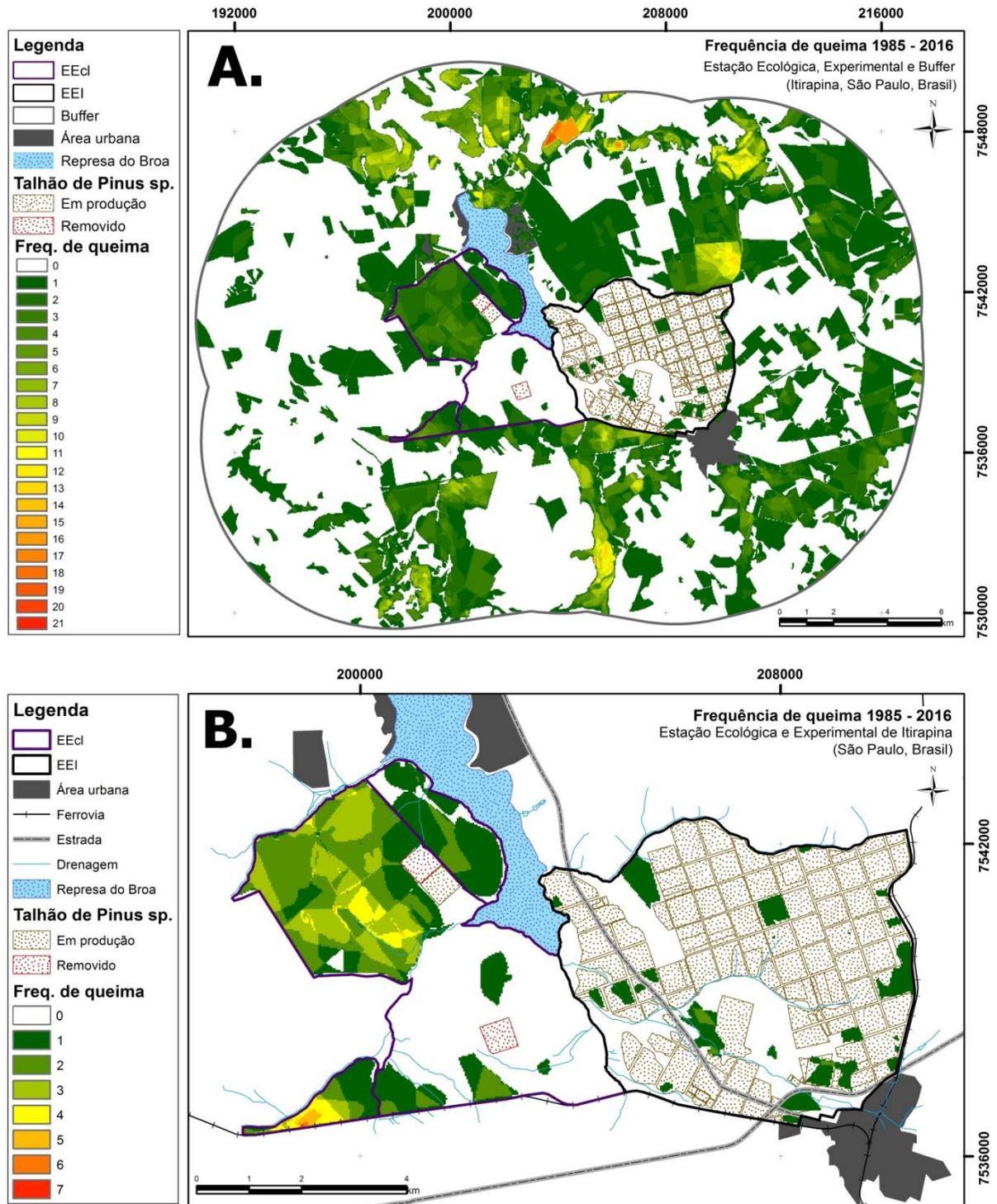


Figura 4. (A) Frequência de queima na região de Itirapina para o período de 1985 à 2016. (B) Recorte para frequência de queima na EEcl e EEI no período de 1985 à 2016. (Fonte: Elaborado pelo autor).

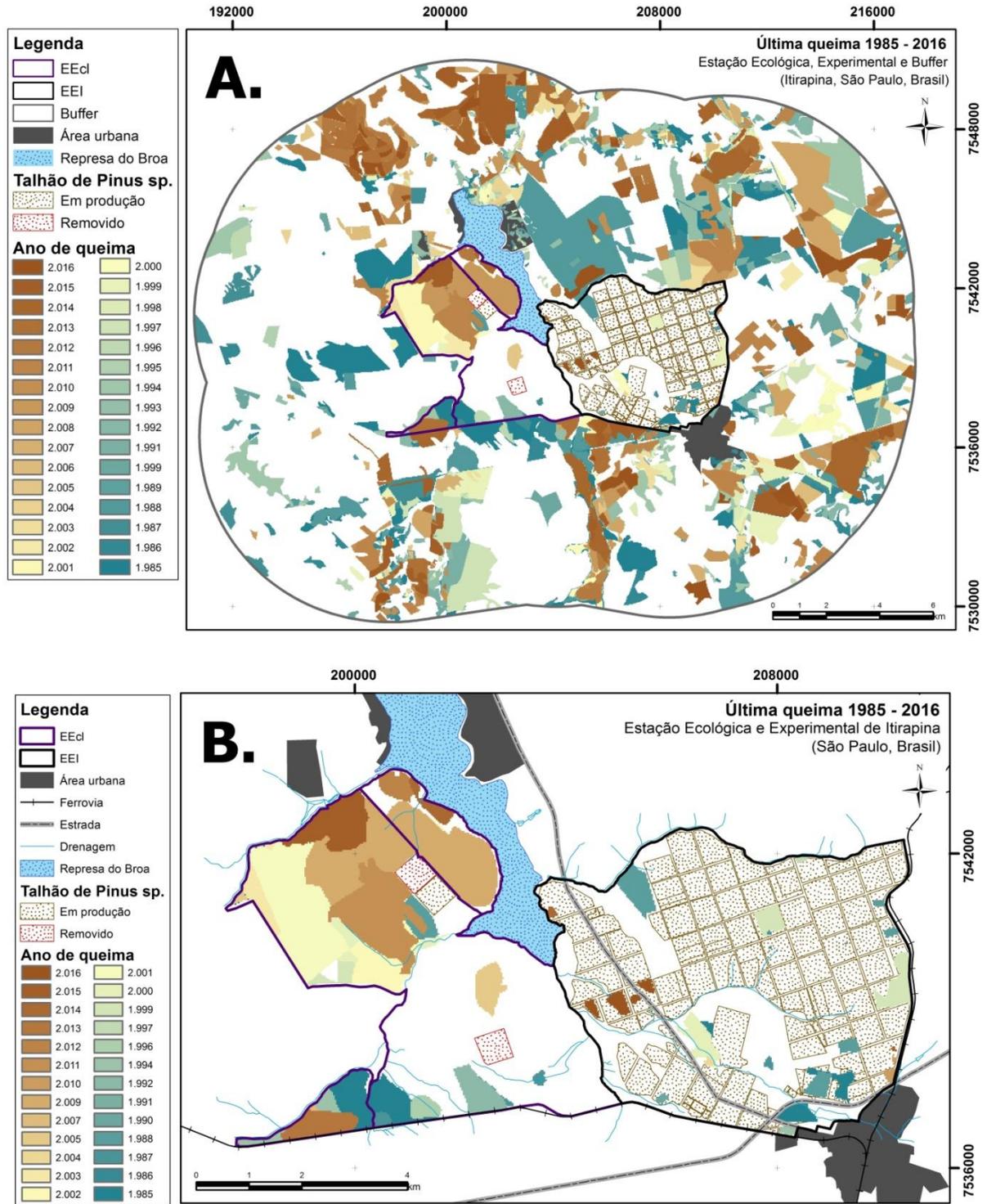


Figura 5. (A) Último ano de queima na região de Itirapina para o período de 1985 à 2016. (B) Recorte para o último ano de queima na EEcl e EEI no período de 1985 à 2016. (Fonte: Elaborado pelo autor).

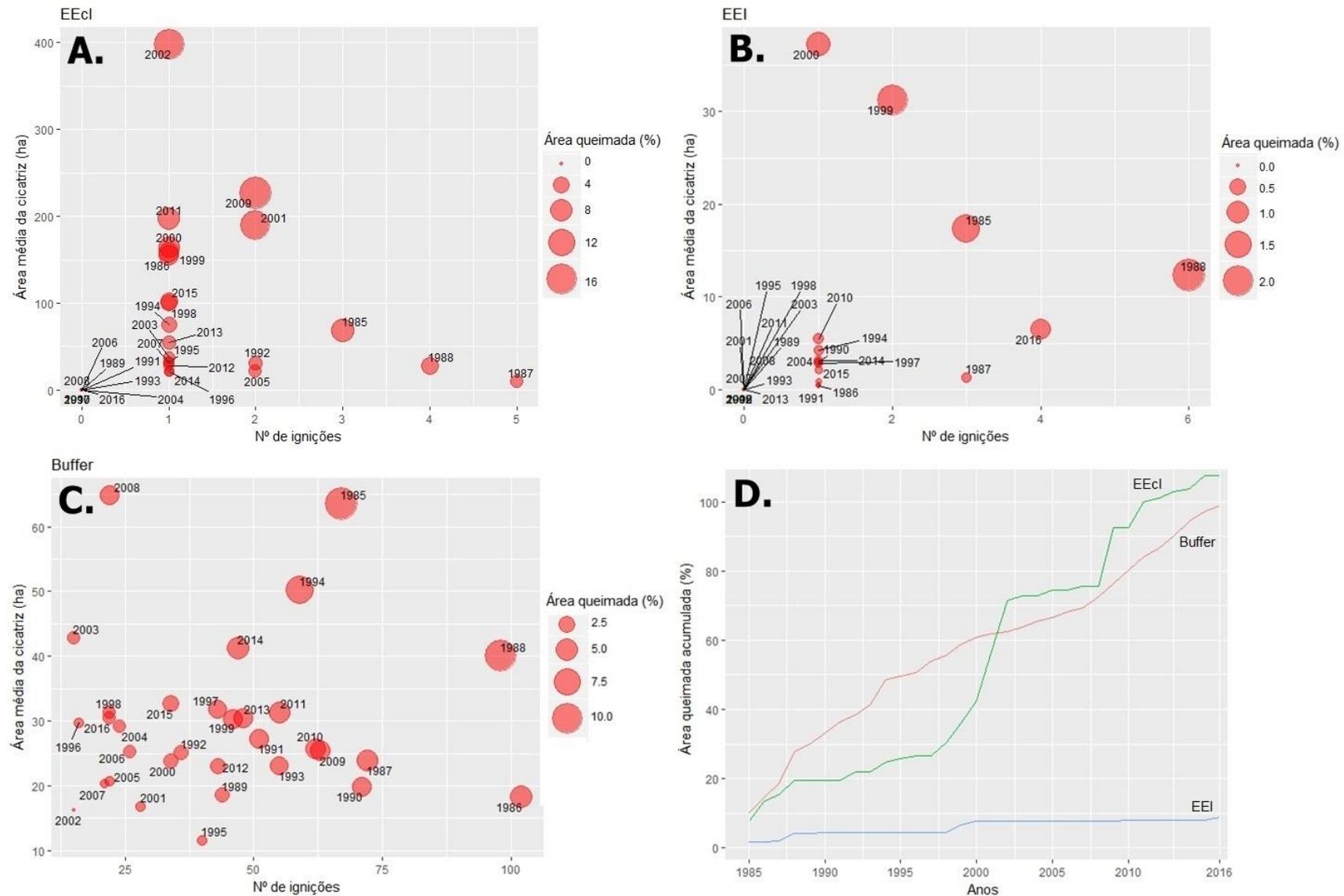


Figura 6. Relação entre o número de ignições e a área média das cicatrizes de queima ao longo do período estudado para (A) Estação Ecológica, (B) Estação experimental e (C) Buffer. (D) Área queimada acumulada (%) ao longo do tempo na EECl (verde), EEI (azul) e o Buffer (vermelho). (Fonte: Elaborado pelo autor).

Foram identificadas 35 ignições e 2.881 ha de cicatrizes de queima acumulada na EEcl (107,5% de sua área total); 1403 ignições e 41.831 ha de cicatrizes de queima acumulada no Buffer (98,7% de sua área total) e; 28 ignições e 278 ha de cicatrizes de queima acumulada na EEI (8,8% de sua área total) (Figura 7D)

3.2. SAZONALIDADE DE QUEIMAS

Região de Itirapina - Buffer

Considerando dados acumulados no período de 1985 à 2016, durante a estação chuvosa (Outubro à Março) o Buffer teve um total de 414 ignições e a área de queima acumulada foi de 9572,5 ha, representando 22,5% da área total do Buffer (Figura 7A e B), com queimas ocorrendo nas áreas de várzea, pastagens e cultivos de cana-de-açúcar. Durante a estação seca (Abril à Setembro) o Buffer teve um total de 989 ignições e a área de queima acumulada foi 32.259,2 ha, representando 76,2% da área total do Buffer (Figura 7A e B). O pico de queimas ocorreu no fim da estação seca (Agosto e Setembro), queimando, além das áreas de cultivo e pastagens, áreas naturais de Cerradão e talhões de Silvicultura.

Estação Ecológica - EEcl

Durante a estação chuvosa (Outubro à Março) a EEcl apresentou um total de 10 ignições e a área total queimada foi 775,8 ha, representando 28,9% de sua área total (Figura 7A e B). Atipicamente, o mês de Março apresentou uma grande zona de área queimada (549,2 ha - 20,5% da área total da EEcl) no final da estação chuvosa, com queimas ocorrendo no interior da UC, contrapondo o resultado encontrado para o Buffer e para a EEI. Durante a estação seca (Abril à Setembro) a EEcl teve um total de 25 ignições e a área total queimada foi 2106,1 ha, representando 78,6% de sua área total (Figura 7A e B). O pico de queimas aconteceu no final da estação seca (Agosto e Setembro). O mês que teve a maior área queimada acumulada durante a estação seca foi Agosto, com 1012,3 ha (37,8% da área total da EEcl) distribuídos em 9 ignições. Essas queimas aconteceram majoritariamente no limite norte da EEcl e consumiram grandes áreas, com destaque para as grandes queimas de 2000 (165 ha), 2001 (340,5 ha) e 2009 (453,5 ha).

Estação Experimental - EEI

Durante a estação chuvosa (Outubro à Março) a EEI apresentou um total de 12 ignições e a área total queimada foi 98,5 ha, representando 3,1% de sua área total (Figura 7A e B). O mês mais atípico no período analisado foi Outubro (4 ignições), afetando 26,05 ha (0,8%) em uma série de incêndios criminosos em 2016, com origem em ocupações ilegais a beira da estrada intermunicipal que corta a EEI. Durante a estação seca (Abril à Setembro) a EEI teve um total de 16 ignições e a área total queimada foi 176,9 ha, representando 3,5% de sua área total (Figura 7A e B). O pico de queimas se deu no final da estação seca, sendo Agosto o mês com mais ignições (7 ignições) e maior área queimada (90,8 ha), equivalente a 2,9% da EEI. Essas queimas ocorreram no contato entre a EEI, estradas e trilho do trem.

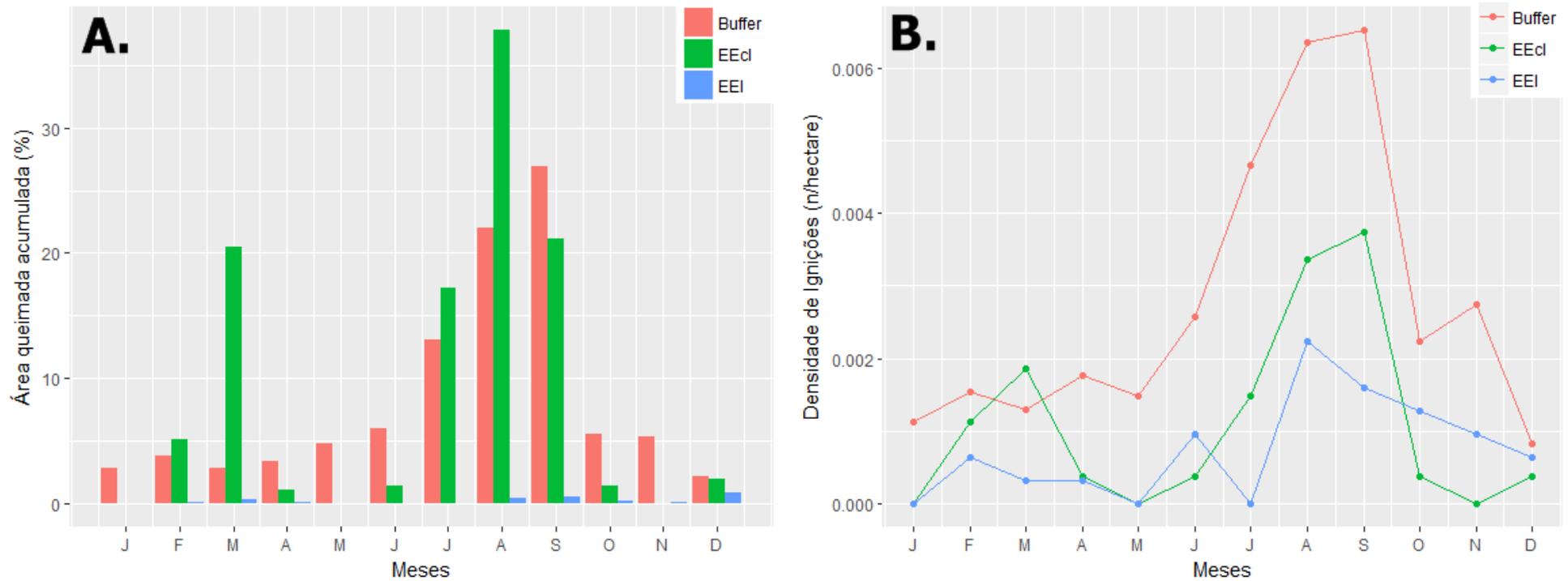


Figura 7. Sazonalidade das queimas entre o Buffer (vermelho), a Estação Ecológica (verde) e a Estação Experimental (azul). (A) Área queimada acumulada (%) em cada um dos meses ao longo do período de 1985 à 2016. (B) Densidade de ignições acumulada em cada um dos meses ao longo do período de 1985 à 2016. Os locais comparados apresentam área e perímetro diferentes, portanto, a área queimada e o número de ignições foram normalizados para porcentagem (%) e densidade de ignições, com o intuito de tornar as áreas comparáveis entre si. (Fonte: Elaborado pelo autor).

3.3. RELAÇÕES ENTRE A PRECIPITAÇÃO, DISTRIBUIÇÃO DE CHUVAS E A ÁREA QUEIMADA

Contrariando os resultados encontrados por Alvarado *et al.* (2017), a área queimada durante o ano de queima (Outubro à Setembro) não apresentou nenhuma relação estatisticamente significativa com a precipitação total anual acumulada e os dias de chuva, nem com a distribuição da quantidade e número de dias de chuva entre as estações secas e de chuva, explicando em todos os casos menos do 5% da ocorrência de queimas (Tabela 3). Quando consideramos a precipitação total acumulada e sua distribuição durante o ano cronológico (Janeiro à Dezembro) no médio (12 meses) e longo prazo (24 meses), a relação se mostrou igualmente não significativa (Tabela 4). Apenas a precipitação acumulada durante 12 meses do ano cronológico (Jan- Dez) teve uma relação positiva e marginalmente significativa ($R^2=0,12$; $p=0,05$), explicando 12 % do total de área queimada na EEcl em função da precipitação.

Tabela 3. Resultados dos modelos lineares entre a área anual queimada (Σ AAQ) em função da precipitação acumulada (precip.) e dias de chuva (dias chuva) no período de 1985 à 2016. As variáveis foram consideradas para intervalos de tempo que correspondem a estação de chuva (Outubro à Março); estação seca (Abril à Setembro) e ano de queima (Σ chuva + seca).

Área	Período avaliado	Variável explicativa	n (anos)	Δt (meses)	formula	p	R ²	Pearson
Buffer	ano queima (Out- Set)	precipitação	32	12	Σ AAQ ~ precip. + erro	0.64	0.00	- 0.08
	ano queima (Out - Set)	dias de chuva	32	12	Σ AAQ ~ dias chuva + erro	0.47	0.01	- 0.13
	seca (Abr - Set)	precipitação	32	6	Σ AAQ ~ precip. + erro	0.71	0.02	- 0.06
	seca (Abr - Set)	dias de chuva	32	6	Σ AAQ ~ dias chuva + erro	0.58	0.00	- 0.09
	chuva (Out - Mar)	precipitação	32	6	Σ AAQ ~ precip. + erro	0.73	0.00	- 0.06
	chuva (Out - Mar)	dias de chuva	32	6	Σ AAQ ~ dias chuva + erro	0.58	0.00	- 0.09
	chuva + seca	precipitação	32	6 + 6	Σ AAQ ~ precip. (chuva + seca) + erro	0.88	0.00	NA
	chuva + seca	dias de chuva	32	6 + 6	Σ AAQ ~ dias chuva (chuva + seca) + erro	0.77	0.04	NA
EEcl	ano queima (Out- Set)	precipitação	32	12	Σ AAQ ~ precip. + erro	0.39	0.02	+ 0.15
	ano queima (Out - Set)	dias de chuva	32	12	Σ AAQ ~ dias chuva + erro	0.43	0.02	+ 0.14
	seca (Abr - Set)	precipitação	32	6	Σ AAQ ~ precip. + erro	0.75	0.00	+ 0.05
	seca (Abr - Set)	dias de chuva	32	6	Σ AAQ ~ dias chuva + erro	0.42	0.02	+ 0.14
	chuva (Out - Mar)	precipitação	32	6	Σ AAQ ~ precip. + erro	0.42	0.02	+ 0.14
	chuva (Out - Mar)	dias de chuva	32	6	Σ AAQ ~ dias chuva + erro	0.67	0.00	+ 0.07
	chuva + seca	precipitação	32	6 + 6	Σ AAQ ~ precip. (chuva + seca) + erro	0.69	0.02	NA
	chuva + seca	dias de chuva	32	6 + 6	Σ AAQ ~ dias chuva (chuva + seca) + erro	0.68	0.02	NA
EEI	ano queima (Out- Set)	precipitação	32	12	Σ AAQ ~ precip. + erro	0.29	0.00	- 0,13
	ano queima (Out - Set)	dias de chuva	32	12	Σ AAQ ~ dias chuva + erro	0.83	0.00	- 0.03
	seca (Abr - Set)	precipitação	32	6	Σ AAQ ~ precip. + erro	0.34	0.02	- 0.17
	seca (Abr - Set)	dias de chuva	32	6	Σ AAQ ~ dias chuva + erro	0.36	0.02	- 01.6
	chuva (Out - Mar)	precipitação	32	6	Σ AAQ ~ precip. + erro	0.46	0.01	- 0.13
	chuva (Out - Mar)	dias de chuva	32	6	Σ AAQ ~ dias chuva + erro	0.70	0.00	- 0.06
	chuva + seca	precipitação	32	6 + 6	Σ AAQ ~ precip. (chuva + seca) + erro	0.50	0.04	NA
	chuva + seca	dias de chuva	32	6 + 6	Σ AAQ ~ dias chuva (chuva + seca) + erro	0.59	0.03	MA

Tabela 4. Resultados dos modelos lineares entre área queimada (Σ AAQ) em função da precipitação acumulada (precip.) e dias de chuva (dias chuva) no período de 1985 à 2016. As variáveis foram consideradas para intervalos de tempo que correspondem ao ano cronológico (Janeiro à Dezembro) considerando a precipitação acumulada e os dias de chuva em 12 e 24 meses.

Área	Variável explicativa	n (anos)	Δt (meses)	formula	p	R ²	Pearson
Buffer	precipitação	32	12	Σ AAQ ~ precip. + erro	0.65	0.00	- 0.08
	dias de chuva	32	12	Σ AAQ ~ dias chuva + erro	0.27	0.03	- 0.19
	precipitação	32	24	Σ AAQ ~ precip. + erro	0.36	0.02	- 0.16
	dias de chuva	32	24	Σ AAQ) ~ dias chuva + erro	0.81	0.00	- 0.04
EEcl	precipitação	32	12	Σ AAQ ~ precip. + erro	0.05	0.12	+ 0.34
	dias de chuva	32	12	Σ AAQ ~ dias chuva + erro	0.22	0.01	+ 0.22
	precipitação	32	24	Σ AAQ ~ precip. + erro	0.30	0.03	+ 0.18
	dias de chuva	32	24	Σ AAQ) ~ dias chuva + erro	0.53	0.01	+ 0.11
EEI	precipitação	32	12	Σ AAQ ~ precip. + erro	0.83	0.00	- 0.03
	dias de chuva	32	12	Σ AAQ ~ dias chuva + erro	0.49	0.01	- 0.12
	precipitação	32	24	Σ AAQ ~ precip. + erro	0.89	0.00	- 0.02
	dias de chuva	32	24	Σ AAQ) ~ dias chuva + erro	0.56	0.01	+ 0.10

4. DISCUSSÃO

4.1. VARIAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DO FOGO

O padrão de cicatrizes de queimas com formatos regulares encontrado na região de Itirapina está, geralmente, associado a fragmentação da vegetação pelas atividades humanas, e corresponde as áreas de cultivos que são queimadas periodicamente como parte do manejo agrícola (ARCHIBALD *et al.*, 2010). A coincidência entre as áreas de queimas mais recorrentes e recentes, o uso do solo caracterizado por pastagens, cultivos de cana-de-açúcar e milho, ea baixa variação interanual, confirmam que o regime de queimas no Buffer é de natureza antrópica, moldado essencialmente pelas atividades econômicas e agropecuárias. O mosaico criado por estas atividades e a alternância entre áreas queimadas e não queimadas ao longo do tempo e do espaço podem estar reduzindo a propagação do fogo na paisagem, refletindo em uma baixa frequência de queimas na região (ARCHIBALD, 2016). A distribuição espalhada de áreas queimadas e não queimadas em uma matriz agrícola pode fragmentar a paisagem e atuar como uma barreira na propagação do fogo, servindo como aceiros (ANDELA; VAN DER WERF, 2014). No entanto, este tipo de uso do solo representa, além da alteração no regime do fogo em seu próprio perímetro, grave ameaça a Unidades de Conservação que fazem limite com essas propriedades, alterando o regime de queimas em relação ao regime natural do Cerrado (e.x. queimas fora da estação natural de queimas), uma vez que muitos destes incêndios acabam adentrando os limites das UC's (PIVELLO; COUTINHO, 1992). Esta ocorrência de fogos antrópicos tem sido tratada como uma das principais ameaças para conservação do Cerrado Paulista (Durigan *et al.*, 2007).

A questão do uso do fogo para o manejo e gestão do Cerrado têm sido amplamente discutida. Por um lado, alguns trabalhos demonstram que a reincidência do fogo em curtos intervalos de tempo acarretam em empobrecimento da flora, eliminando plantas sensíveis e favorecendo plantas tolerantes (COUTINHO, 1990; HOFFMANN; MOREIRA, 2002). Por outro lado, outras pesquisas demonstraram que grandes períodos sem queima no Cerrado podem ocasionar incidentes de grandes queimas que fogem do controle e atingem uma grande área em virtude do acúmulo de biomassa seca (Coutinho 1990). Assim, apesar da discussão científica convergir para os benefícios do fogo periódico em Unidades de

Conservação do Cerrado (MEDEIROS, 2002) como mitigador de eventos de maior intensidade e na manutenção da flora (COUTINHO, 1990), a ocorrência do fogo tem sido historicamente tratada como uma grave ameaça para a conservação induzindo diversas UC's de Cerrado a adotarem medidas de extremo controle ou supressão, independente da origem do fogo (RAMOS-NETO; PIVELLO, 2000). Zanchetta e colaboradores (2006) apontam no plano de manejo destas UC, que no contexto da EEcl, cuja origem do fogo é geralmente criminosa e provem de invasão ilegal da UC, a reincidência de queimas em uma mesma área pode estar dificultando o processo de regeneração natural, especialmente nos fragmentos em estágio inicial de sucessão ecológica, tendo efeitos possivelmente negativos.

É assim que em virtude da origem antrópica do fogo a EEcl possui, desde sua fundação, uma ampla rede de aceiros delimitados pelas estradas internas e externas da UC e uma brigada de incêndio preparada para atuar no combate direto e supressão do fogo. Estas medidas de gestão são provavelmente a causa de períodos longos sem queimas (6-9 anos) seguidos de grandes incêndios dentro da UC, explicando assim as formas regulares das queimas dentro das UCs. França e Setzer (1997) ao analisar o regime de queimas entre 1973 e 1995 no Parque Nacional das Emas (Goiás), encontraram um padrão similar ao que encontramos para a EEcl, onde grandes incêndios são antecidos por períodos de extremo controle do fogo. Este Parque possui vegetação, contexto e estratégia de manejo similar à EEcl, com uma ampla rede de aceiros e contenção imediata de ignições. Além disso, realiza desde 1981, aceiros negros que consistem na queima controlada da vegetação em faixas, como forma de consumir a biomassa seca e criar barreiras naturais de vegetação queimada. Contudo, mesmo com este tipo de queima controlada, a biomassa acumulada nas demais áreas atinge seu ponto crítico em ciclos de 3 à 4 anos, implicando na recorrência de grandes queimas (FRANÇA; SETZER, 1997).

Historicamente, a área da EEcl foi usada como pastagem para o gado nos períodos anteriores a instituição da UC (antes de 1984 e, na área da 'USP' até 2007), onde o gênero de gramíneas invasoras *Uroclhoa* foi introduzido para satisfazer a nutrição do gado (Zanchetta *et al.*, 2006). Esse gênero é caracterizado pela alta produção de biomassa em relação as gramíneas nativas e possui resistência ao fogo, favorecendo-se destes distúrbios e alterando o comportamento do fogo (GORGONE-BARBOSA *et al.*, 2016; PIVELLO, 2006). Contudo, no caso da

EEcl, antes da criação da UC esse balanço era possivelmente compensado pela herbívora do gado, reduzindo o acúmulo de biomassa. Com a conversão da área de pastagem para UC e a remoção do gado, as espécies do gênero *Uroclhoa* deixaram de ser controladas, possivelmente adensaram sua ocupação e aumentaram a biomassa disponível para queima no sistema, encurtando o tempo de acúmulo crítico, diminuindo o intervalo entre grandes queimas.

4.2. SAZONALIDADE DE QUEIMAS

A análise da sazonalidade de queimas indicou dois picos de queimas ao longo do ano na EEcl: um no final da estação de chuvas (Março) e outro no final da estação seca (Setembro). Este pico em época de chuva foi inicialmente considerado como atípico para a região. As queimas de Março ocorreram no interior da UC (longe das bordas), apresentaram predominância de geometrias irregulares e queimaram pequenas áreas, pelo que podem ser consideradas, possivelmente, como queimas naturais (ARCHIBALD, 2010; RAMOS-NETO; PIVELLO, 2000), causadas por raios ou associadas a eventos climáticos extremos nesses anos. Ramos-Neto e Pivello (2000) ao analisar o regime de queimas do Parque Nacional das Emas entre 1995 e 1999 apontaram que as queimas naturais, geralmente causadas por raios, ocorreram no mês de Março e afetaram pequenas manchas, sendo rapidamente apagadas pela chuva.

O período com predominância de queimas na EEcl e nas áreas de Cerrado da EEI foi o final da estação seca (Agosto e Setembro), coincidindo com o período de incremento nas queimas de pastagens e cultivos agrícolas do Buffer. A estação seca representa para as áreas de Cerrado o período com maior probabilidade de ignição devido ao acúmulo de biomassa seca (COUTINHO, 1990; RAMOS-NETO; PIVELLO, 2000; ALVARADO *et al.*, 2017). Resultado similar também foi encontrado no Parque Nacional das Emas, onde os incêndios causados pelo homem ocorreram principalmente na estação seca, queimando extensas áreas (Ramos-Neto e Pivello 2000). Estas queimas antrópicas que ocorrem no final da estação seca tendem a ser de maior intensidade e severidade, consumindo grandes áreas devido ao acúmulo de biomassa seca e altamente inflamável (PIVELLO, 2006). Este padrão de queimas antrópicas associadas ao final da estação seca foi observado também no Parque Nacional da Serra da Canastra (FIEDLER *et al.*, 2004), no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (FIEDLER *et al.* 2006), no Parque Nacional da Serra do

Cipó (ALVARADO *et al.*, 2017) e na Estação Ecológica de Itirapina (EEcl) com este trabalho. Além disso, as queimas na EEcl e nas áreas de Cerrado da EEI distribuíram-se majoritariamente em regiões limítrofes a pastagens, estradas e a zona urbana, indicando que a provável causa da ignição nessas áreas foi antrópica.

4.3. RELAÇÕES ENTRE A PRECIPITAÇÃO E A ÁREA QUEIMADA

Nosso trabalho esperava confirmar o efeito da precipitação, modulando processos fundamentais como a produção de biomassa e teor de umidade desta biomassa, definindo probabilidade de ignição e atuando como principal direcionador da ocorrência de queimas em áreas de Cerrado (ALVARADO *et al.*, 2017; FIDELIS; PIVELLO, 2011; COCHRANE; RYAN, 2009; TROLLOPE *et al.*, 2002). Porém, o regime interanual de queimas nesta área pouco variou entre o período de 1985 à 2016 e as baixas correlações entre a área queimada e a precipitação, bem como a distribuição de chuvas nas estações seca e chuvosa, contradizem o encontrado em outros sistemas savânicos no mundo. Assim, nossos resultados ressaltaram que o caráter antrópico do regime de queimas, determinado principalmente pelas atividades agropecuárias da região de Itirapina, pode estar definindo o regime de queima. Archibald (2016) aponta que as atividades humanas exercem grande influência nos regimes de fogo em áreas naturais, alterando e até mesmo definindo as queimas em detrimento das condições climáticas. A EEcl apresentou uma exceção na relação da área queimada que foi positiva e marginalmente significativa com a precipitação acumulada em 12 meses, indicando que quanto mais chuva, maior a produção de biomassa e, conseqüentemente, maior a área queimada. Archibald (2010) sugere que a variação anual na precipitação seja capaz de moldar a produção de biomassa nas savanas, respondendo assim pela área queimada em séries temporais. Contudo, a baixa correlação somada à ocorrência de queimas acompanhando o regime antrópico, confirma que, no caso, da EEcl, embora a precipitação acumulada em 12 meses responda marginalmente pela área queimada, essa relação seja determinada essencialmente por fatores antrópicos.

A EEI respondeu ao esperado para esta área e apresentou o regime de queimas mais discreto entre os locais analisados, mantendo o padrão regional de baixa correlação com a precipitação. O plano de manejo das Unidades de Itirapina prevê que, após a exploração de resina e madeira, estes reflorestamentos sejam convertidos em áreas de regeneração natural do Cerrado (ZANCHETTA *et al.*,

2006). Contudo, estudos apontam que nessas áreas ocorra uma severa supressão nas comunidades vegetais naturais do sub-bosque (DE ABREU; DURIGAN, 2011) em função da competição com o *Pinus*, podendo em casos mais severos, levar a completa descaracterização fisionômica muito além da área de cultivo, invadindo áreas próximas (CONCIANI et al., *accepted*). Além disso, Glitzenstein (2003) ao analisar atributos da severidade do fogo em florestas de *Pinus* concluiu que esses incêndios tem duração prolongada e atingem altas temperaturas. Essa alta liberação de energia em forma de calor pode danificar as estruturas subterrâneas das plantas do Cerrado e dificultar o processo de regeneração natural, atuando como fator esterilizante do solo e contrapondo os objetivos de conservação dessas áreas.

4.4. IMPLICAÇÕES PARA A GESTÃO

A política e as medidas de controle do fogo na EEcl foram eficientes em minimizar a ocorrência de queimas, sendo que em 31% dos anos analisados ele sequer ocorreu. Apenas 40% da EEcl foi atingida pelo fogo durante o período estudado, comparado ao Parque Nacional da Serra do Cipó (onde 90% da área foi atingida pelo fogo), que possui política similar de supressão do fogo, mas que não realiza o combate direto (Alvarado et al. 2017). Contudo, a ausência do fogo propiciou o acúmulo de biomassa, fornecendo abundância de combustível para queima, e inevitavelmente, incêndios de grandes proporções. Este tipo de fogo é o que possui maior velocidade de espalhamento e maiores temperaturas, oferecendo um risco eminente para a fauna que fica sem abrigo ou não tem tempo suficiente para se abrigar, além de danificar severamente os tecidos vegetais. Assim, dificultando o trabalho dos funcionários que atuam no combate direto, e aumentando o risco que o fogo ganhe força e atinja propriedades vizinhas. Além disso, a comunidade de plantas de fisionomias abertas, estritamente dependentes do fogo para completarem seu ciclo fenológico, são prejudicadas pela ausência do fogo em grandes intervalos de tempo, podendo levar ao aumento de componente lenhoso e ao empobrecimento florístico, em detrimento das fisionomias abertas (HOFFMANN, 2002).

Esta política de supressão de fogo foi justificada por muito tempo devido ao caráter antrópico e criminoso das queimas na EEcl (ZANCHETTA *et al.*, 2006), contudo, os padrões encontrados neste trabalho permitem sugerir ações de manejo

que podem, do ponto de vista da prevenção de grandes incêndios, serem mais eficientes:

I) A elaboração de aceiros negros periódicos nos últimos meses da estação chuvosa no limite entre a extremidade norte da EEcl e sua zona de amortecimento, fonte de propagação de significativa quantidade dessas queimas. A umidade presente no solo e na vegetação neste período do ano reduz o risco de proliferação do fogo para o interior da UC e consumiria a biomassa acumulada nessa extremidade, impedindo que, caso o fogo escape das pastagens adjacentes, este não se propague dentro da UC.

II) Queima controlada em mosaicos, sobretudo na área norte da EEcl, onde as queimas foram mais extensas. A queima em mosaicos pode consumir a biomassa seca e, caso os aceiros negros sejam ineficientes, estes mosaicos atuariam como aceiros naturais impedindo a propagação do fogo, além de estimular a rebrota da vegetação nessas áreas.

III) Monitoramento da vegetação e da fauna após as queimas controladas e experimentação com fogo como meio de documentar e analisar a resposta da biodiversidade, desmistificando o falso conceito de que o fogo é prejudicial para conservação e, embasando o manejo com o método científico.

Vale ainda ressaltar que, ao aplicar tratamentos distintos entre as áreas (fogo anual nos aceiros negros e regimes diferenciados para os mosaicos) será possível observar a resposta da vegetação em diferentes condições e adequar o manejo aquelas que melhor satisfazem os objetivos da UC.

5. CONCLUSÕES

A política de supressão do fogo adotada na Estação Ecológica de Itirapina, baseada no modelo nacional de conservação, satisfaz sua proposta no curto e médio prazo, controlando significativamente a área queimada nesta UC. Contudo, foram observadas alterações profundas em seu regime de queimas, ligadas essencialmente a influência antrópica, de modo que não foram observadas relações entre a área queimada e o regime climático. A área relativa queimada na Estação Ecológica ao longo do tempo teve uma diferença de apenas 1,5% em comparação

ao seu entorno de pastagens e áreas de produção agrícola, indicando que este tipo de política não surte efeito no longo prazo. É necessário repensar estratégias de manejo que sejam mais adequadas ao contexto e aos objetivos da EEcl.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARADO, S., *et al.* Drivers of fire occurrence in a mountainous Brazilian Cerrado savanna: Tracking long-term fire regimes using remote sensing. **Ecological Indicators**, v. 78, p. 270-281, 2017.

ANDELA, Niels; VAN DER WERF, Guido R. Recent trends in African fires driven by cropland expansion and El Niño to La Niña transition. **Nature Climate Change**, v. 4, n. 9, p. 791, 2014.

ARCHIBALD, S. Managing the human component of fire regimes: lessons from Africa. **Phil. Trans. R. Soc. B**, v. 371, n. 1696, p. 20, 2016.

ARCHIBALD, Sally *et al.* Climate and the inter - annual variability of fire in southern Africa: a meta - analysis using long - term field data and satellite - derived burnt area data. **Global Ecology and Biogeography**, v. 19, n. 6, p. 794-809, 2010.

BALFOUR, D. A.; HOWISON, O. E. Spatial and temporal variation in a mesic savanna fire regime: responses to variation in annual rainfall. **African Journal of Range and Forage Science**, v. 19, n. 1, p. 45-53, 2002.

BIVAND, Roger *et al.* rgdal: Bindings for the Geospatial Data Abstraction Library (2013). **R package** version 0.8-13, 2016.

BRITO, Maria Cecilia Wey de *et al.* Cerrado: bases para a conservação e uso sustentável das áreas de Cerrado do Estado de São Paulo. **SMA**, 1997.

BOND, William J.; KEELEY, Jon E. Fire as a global 'herbivore': the ecology and evolution of flammable ecosystems. **Trends in ecology & evolution**, v. 20, n. 7, p. 387-394, 2005.

BOND, William J.; WOODWARD, F. Ian; MIDGLEY, Guy F. The global distribution of ecosystems in a world without fire. **New phytologist**, v. 165, n. 2, p. 525-538, 2005.

COCHRANE, M. A.; RYAN, K. C. Fire and fire ecology: Concepts and principles. In: Tropical Fire Ecology. **Springer Berlin Heidelberg**, 2009. p. 25-62.

- CONCIANI, Dhemerson; SOUZA, Yuri S.; RUFFINO, Paulo H. P.; ZANCHETTA, Denise. Temporal analysis of biological invasion of Pinus sp. in humid fields of Cerrado Domain. **Revista Brasileira de Geografia Física**. (accepted)
- COUTINHO, L. M. O conceito de Cerrado. **Revista Brasileira de Botânica**, v.1, p. 17-23, 1978.
- COUTINHO, L.M. O Cerrado - Ecologia do fogo. **Ciência Hoje**, 12(68):23-29, 1990.
- DE ABREU, Rodolfo CR; DURIGAN, Giselda. Changes in the plant community of a Brazilian grassland savannah after 22 years of invasion by Pinus elliottii Engelm. **Plant Ecology & Diversity**, v. 4, n. 2-3, p. 269-278, 2011.
- DURIGAN, Giselda; SIQUEIRA, Marinez Ferreira de; FRANCO, Geraldo Antonio Daher Correa. Threats to the Cerrado remnants of the state of São Paulo, Brazil. **Scientia Agricola**, v. 64, n. 4, p. 355-363, 2007.
- DURIGAN, G.; RATTER, J. A. The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation. **Journal of Applied Ecology**, v. 53, n. 1, p. 11-15, 2016.
- EITEN, G. Vegetação natural do Distrito Federal. Brasília: **Sebrae**, 2001. 162 p.
- ESRI, ArcGIS. Release 10. Redlands, CA: **Environmental Systems Research Institute**, 2011.
- FIDELIS, Alessandra; PIVELLO, Vânia Regina. Deve-se usar o fogo como instrumento de manejo no Cerrado e Campos Sulinos?. **Biodiversidade brasileira**, n. 2, p. 12-25, 2011.
- FIEDLER, Nilton Cezar *et al.* Incêndios florestais no Parque Nacional da Serra da Canastra: desafios para a conservação da biodiversidade. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 2, 2004.
- FIEDLER, Nilton César; ARAÚJO MERLO, Daniela; BRILHANTE DE MEDEIROS, Marcelo. Ocorrência de incêndios florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, Goiás. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 2, 2006.
- FIORI, A. M.; FIORAVANTI, C. Os caminhos para salvar o Cerrado paulista. **Pesquisa FAPESP**, n. 63, p. 38, 2001.

- FRANÇA, H.; SETZER, A. Regime de Queimadas no Parque Nacional das Emas, GO: 1973–1995. Relatório de **Pesquisa FAPESP**: Processo, n. 95/2674, p. 9, 1997.
- GLITZENSTEIN, Jeff S.; STRENG, Donna R.; WADE, Dale D. Fire frequency effects on longleaf pine (*Pinus palustris* P. Miller) vegetation in South Carolina and northeast Florida, USA. **Natural Areas Journal**. 23 (1): 22-37. 2003., 2003.
- GOLDAMMER, J. G. Historical biogeography of fire: tropical and subtropical. Fire in the environment: the ecological atmospheric, and climatic importance of vegetation fires. **Wiley**, New York, p. 297-314, 1993.
- GORGONE-BARBOSA, Elizabeth et al. Disturbance as a factor in breaking dormancy and enhancing invasiveness of African grasses in a Neotropical Savanna. **Acta Botanica Brasilica**, v. 30, n. 1, p. 131-137, 2016.
- HIJMANS, Robert J.; VAN ETTEN, Jacob. raster: Geographic analysis and modeling with raster data. **R package** version 2.0–12. 2012.
- HOFFMANN, William A.; MOREIRA, Adriana G. The role of fire in population dynamics of woody plants. The Cerrados of Brazil. **Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna**, p. 159-177, 2002.
- IBGE, Censo Demográfico. Disponível em: (<http://ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2014>). Acesso em: Setembro de 2017.
- KLINK, C. A.; MOREIRA, A. G. Past and current human occupation, and land use. The Cerrados of Brazil: **Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna**, p. 69-88, 2002.
- KRONKA, Francisco José Nascimento et al. Monitoramento da vegetação natural e do reflorestamento no Estado de São Paulo. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 12, p. 16-21, 2005.
- MEDEIROS, M. B. Manejo de fogo em unidades de conservação do Cerrado. **Boletim do Herbário Ezequias Paulo Heringer**, v. 10, n. 1, p. 76-89, 2002.

MIRANDA, Heloisa S. et al. Queimadas de Cerrado: caracterização e impactos. Cerrado: ecologia e caracterização.(LMS Aguiar, & AJA Camargo, eds.). Brasília, **Embrapa Cerrados**, p. 69-123, 2004.

MIRANDA, Heloisa Sinátora et al. Fires in the Cerrado, the Brazilian savanna. In: **Tropical Fire Ecology**. Springer Berlin Heidelberg, 2009. p. 427-450.

MYERS, Norman et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000.

OLIVEIRA, Paulo S.; MARQUIS, Robert J. The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna. **Columbia University Press**, 2002.

OVERBECK, Gerhard E. et al. Conservation in Brazil needs to include non-forest ecosystems. **Diversity and Distributions**, v. 21, n. 12, p. 1455-1460, 2015.

PIVELLO, Vania R.; COUTINHO, Leopoldo M. Transfer of macro-nutrients to the atmosphere during experimental burnings in an open Cerrado (Brazilian savanna). **Journal of Tropical Ecology**, v. 8, n. 4, p. 487-497, 1992.

PIVELLO, Vânia R. Fire management for biological conservation in the Brazilian Cerrado. Savannas and Dry Forests: Linking people with Nature. **Aldershot, England: Ashgate Publishing**, p. 129-154, 2006.

PYNE, Stephen J. Keeper of the flame: a survey of anthropogenic fire. Fire in the environment: the ecological, atmospheric, and climatic importance of vegetation fires, New York, **John Wiley and Sons**, p. 245-266, 1993.

R. Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria: **R Foundation for Statistical Computing**. 2016.

RAMOS-NETO, Mário Barroso; PIVELLO, Vânia Regina. Lightning fires in a Brazilian savanna National Park: rethinking management strategies. **Environmental management**, v. 26, n. 6, p. 675-684, 2000.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S.M.; ALMEIDFA, S.P. (Ed.). **Cerrado: ambiente e flora**. Brasília: **EMBRAPA/CPAC**, 1998. p. 89-166.

RODRIGUES, R. R. A vegetação de Piracicaba e municípios do entorno. **Piracicaba: IPEF Circular Técnica**, 1999. v. 189, p. 1-17.

SOARES-FILHO, Britaldo et al. Cracking Brazil's forest code. **Science**, v. 344, n. 6182, p. 363-364, 2014.

TANNUS, João LS; ASSIS, Marco A.; MORELLATO, L. Patrícia C. Fenologia reprodutiva em Campo Sujo e Campo Úmido numa área de Cerrado no sudeste do Brasil, Itirapina-SP. **Biota Neotropica**, v. 6, n. 3, p. 1-27, 2006.

TROLLOPE, W. S. W.; TROLLOPE, L. A.; HARTNETT, D. C. Fire behaviour a key factor in the fire ecology of African grasslands and savannas. **Forest Fire Research and Wildland Fire Safety**, Millpress, Rotterdam, 2002.

VICENTE, L. E; SOUZA FILHO, C. R; PEREZ FILHO, A.; Mapeamento de formações arenosas em fragmentos de Cerrado utilizando dados e produtos do sensor ASTER. **XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. INPE, Goiânia, p. 3419-3426, 2005.

ZANCHETTA, D. et al. Plano de Manejo Integrado-Estações Ecológica e Experimental de Itirapina. Instituto Florestal, **São Paulo** CAPÍTULO, v. 1, 2006.

ANEXOS

Anexo 1. Lista de imagens de satélite usadas neste trabalho.

ANO/MÊS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
1985	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	8
1986	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	7
1987	1	0	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	12
1988	1	1	2	1	0	0	1	1	1	0	1	1	10
1989	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	6
1990	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	9
1991	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	4
1992	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	8
1993	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	2	9
1994	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	7
1995	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	8
1996	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	2	0	7
1997	0	0	0	1	0	1	1	2	2	1	0	0	8
1998	0	1	1	0	1	2	2	1	1	0	2	0	11
1999	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	8
2000	1	0	0	1	2	1	1	1	1	1	1	1	11
2001	0	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	0	11
2002	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	4
2003	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	4
2004	2	1	1	1	1	1	1	2	1	0	1	1	13
2005	0	1	1	1	2	1	1	1	0	1	1	0	10
2006	1	1	1	2	0	2	1	1	1	1	1	1	13
2007	0	1	1	1	1	2	2	1	1	0	0	0	10
2008	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	8
2009	0	1	1	1	1	1	0	2	1	1	1	1	11
2010	0	1	1	1	1	1	1	2	1	0	0	0	9
2011	0	0	1	0	2	1	1	1	2	0	1	0	9
2012	0	2	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	10
2013	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	10
2014	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	10
2015	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	8
2016	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	10
TOTAL	16	17	23	25	25	26	31	33	29	18	22	18	283

Rio Claro, 14 de Dezembro de 2.017

Orientador: Swanni Tatiana Alvarado Romero

Aluno: Dhemerson Estevão Conciani da Costa