



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

VINICIUS POPOLIN

**REGENERAÇÃO NATURAL DA FLORESTA ESTACIONAL
SEMIDECIDUAL EM UMA PAISAGEM COM PREDOMÍNIO
DE CANAVIAIS**

Londrina
2021

VINICIUS POPOLIN

**REGENERAÇÃO NATURAL DA FLORESTA ESTACIONAL
SEMIDECIDUAL EM UMA PAISAGEM COM PREDOMÍNIO
DE CANAVIAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Londrina - UEL, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. José Marcelo Domingues Torezan.

Londrina
2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Popolin, Vinicius .

Regeneração Natural Da Floresta Estacional Semidecidual Em Uma Paisagem Com Predomínio De Canaviais / Vinicius Popolin. - Londrina, 2021. 44 f.

Orientador: José Marcelo Domingues Torezan.

Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, 2021.

Inclui bibliografia.

1. Regeneração Natural - Tese. 2. Cobertura Vegetal - Tese. 3. Incêndios - Tese. 4. Sensoriamento Remoto - Tese. I. Domingues Torezan, José Marcelo. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas. III. Título.

CDU 574

VINICIUS POPOLIN

**REGENERAÇÃO NATURAL DA FLORESTA ESTACIONAL
SEMIDECIDUAL EM UMA PAISAGEM COM PREDOMÍNIO
DE CANAVIAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Londrina - UEL, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. José Marcelo Domingues
Torezan
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. José Antonio Pimenta
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Jerônimo Boelsums Barreto
Sansevero
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro -
UFRRJ

Londrina, 30 de setembro de 2021.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais por toda dedicação em me proporcionar as melhores condições, não somente em relação à educação, mas em diversas áreas da minha vida. Ao meu irmão, por sempre me ajudar nos momentos mais difíceis e por estar ao meu lado nos bons momentos. À minha namorada, por sempre ser carinhosa e me acolher nos momentos de incertezas. Sem vocês eu não teria chegado aonde estou.

Ao professor José Marcelo por ter paciência e dedicação com o meu estudo. Desde a graduação, me admira sua didática, a qual me fez despertar o interesse na ecologia e na restauração.

Aos integrantes do LABRE, que sempre ajudaram nos mais diversos momentos. Me senti acolhido quando entrei. Gostaria de agradecer em especial à Fátima, por sempre me ajudar com as dúvidas na estatística e pelas conversas. Muito obrigado a todos!

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudos, este auxílio possibilitou a minha formação e o desenvolvimento deste trabalho.

POPOLIN, Vinicius. **Regeneração Natural Da Floresta Estacional Semidecidual Em Uma Paisagem Com Predomínio De Canaviais**. 2021. 40 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

RESUMO

A Mata Atlântica sofreu intensa degradação por diversos séculos e, como consequência, restaram apenas pequenos fragmentos florestais, totalizando 11% de seu tamanho. Para restaurar estas florestas, técnicas como reflorestamento com espécies nativas e a regeneração natural são frequentemente utilizadas. Para restauração em larga escala, a regeneração natural tem sido a opção mais indicada, e entender as variáveis que influenciam no seu sucesso é de grande relevância. O presente estudo buscou entender como os incêndios e a proporção de cobertura florestal na vizinhança do sítio de restauração influenciam a cobertura florestal regenerante, com base em uma amostra de 38 áreas impactadas por incêndios e que estão regenerando naturalmente. A cobertura florestal regenerante no interior dos sítios de regeneração natural foi analisada por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, cujo intervalo foi dividido em três classes: áreas abertas, sucessão inicial e cobertura florestal. Houve, em média, 2,3% de áreas abertas (AB), 34% em estágio inicial (pré-florestal) da sucessão e 51% recobertos por florestas. A proporção de cobertura florestal nos polígonos variou de 0 a 91%, representando uma área total de 532 ha, e em 50% dos polígonos (somando 7,75% da área) houve áreas abertas. A proporção de habitat florestal no entorno dos sítios de restauração foi determinante na proporção de cobertura florestal no interior deles. A frequência de incêndios ou o tempo desde o último incêndio não apresentaram correlação com a cobertura florestal regenerante, possivelmente em função da baixa resolução espacial dos dados sobre ocorrência de incêndios; assim, parte dos registros de incêndio são eventos de queima controlada de canavial que não afetaram os sítios de restauração. Preservar os fragmentos remanescentes, ainda que degradados, é de grande importância para a regeneração natural.

Palavras-chave: cobertura vegetal; incêndios; restauração ecológica; sensoriamento remoto; fragmentos florestais.

POPOLIN, Vinicius. **Natural Regeneration of the Semideciduous Seasonal Forest in a Landscape with a Predominance of Sugarcanes**. 2021. 40 p. Thesis Dissertation (Master's degree in Biological Sciences) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

ABSTRACT

The Atlantic Forest suffered intense degradation for several centuries and, consequently, only small fragments remained, totaling 11% of its size. To restore these forests, techniques such as reforestation with native species and natural regeneration are often used. For large-scale restoration, natural regeneration has been the most indicated option, and understanding the variables that influence its success is of great relevance. Thus, the present study sought to understand how fires and the proportion of forest cover in the vicinity of the restoration site influence regenerating forest cover, based on a sample of 38 areas impacted by fires and that are naturally regenerating. The regenerating forest cover inside the natural regeneration sites was analyzed using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), whose range was divided into three classes: open areas, initial succession, and forest cover. There were, on average, 2.3% of open areas (AB), 34% in the initial stage (pre-forestry) of the succession (SI) and 51% covered by forests (CF; Figure 12). The proportion of forest cover in polygons ranged from 0 to 91%, representing a total area of 532 ha, and in 50% of polygons (totaling 7.75% of the area) there were open areas. The proportion of forest habitat around the restoration sites was determinant in the proportion of forest cover within them. The frequency of fires or the time since the last fire did not present correlation with the regenerating forest cover, possibly due to the low spatial resolution of the data on the occurrence of fires; thus, part of the fire records is controlled burning events of sugarcane that did not affect the restoration sites. Preserving the remaining, although degraded, fragments is of great importance for natural regeneration.

Key-words: vegetation cover; fires; ecological restoration; remote sensing; forest fragments.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Localização dos polígonos de regeneração natural amostrados. A área dos polígonos está em vermelho com marcador em verde, e as sedes dos municípios estão marcadas em laranja (Centenário do Sul) e em amarelo (Porecatu), ambos no norte do estado Paraná. Os tons de verde escuro indicam cobertura florestal. Adaptado de imagem de satélite obtida do Google Earth)03
- Figura 2:** Imagem do Sentinel 2 após o cálculo de NDVI, sobreposta a imagem gerada pelo *Google Earth*.....07
- Figura 3:** A imagem A representa o polígono (contornado com linha preta) antes do isolamento do NDVI para o seu interior. Em B temos o resultado do procedimento, com o NDVI isolado somente para o interior do polígono de interesse09
- Figura 4:** *Buffer* de 1km (linha vermelha externa) contendo os focos de incêndio (alfinetes amarelos) para determinado polígono (linha vermelha interna circundando a área verde mais clara). A frequência de incêndios foi obtida através da contagem desses marcadores.10
- Figura 5:** Pontos de incêndios obtidos no Banco de Dados de Queimadas (INPE). Cada marcador amarelo representa uma ou mais ocorrências.....11
- Figura 6:** Informações sobre o incêndio (Data/Hora; Satélite; Localização e Bioma) contidas no banco de dados do INPE.....11
- Figura 7:** Áreas de entorno (“buffers”) com dados de NDVI, em sítios de restauração por meio de regeneração natural (definidos em linha preta). A: *buffer* de 500m. B: *buffer* de 1km.11
- Figura 8:** Remanescentes florestais (fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual, em branco) no Norte do estado do Paraná. Os marcadores amarelos (Porecatu), laranja (Centenário do Sul) e vermelho (Londrina) indicam as sedes de municípios da região.....14
- Figura 9:** Distribuição de focos de incêndios detectados pelo satélite AQUA_M-T do INPE, nos municípios de Centenário do Sul e Porecatu, no norte do Paraná. Os focos estão representados por

	pontos em vermelho e os polígonos em amarelo, sendo que cada ponto pode ter mais de um registro. A linha amarela representa os limites de cada município.	15
Figura 10:	Número de focos de incêndio em polígonos (sítios de restauração de Floresta Estacional Semidecidual), entre os anos de 1999 e 2020, de acordo com o banco de dados BDQueimadas do INPE.....	16
Figura 11:	Tempo em anos decorrido desde a ocorrência do último foco de incêndio detectado para o polígono (sítios de restauração de Floresta Estaciona Semidecidual), entre os anos de 1999 e 2020, de acordo com o banco de dados BDQueimadas do INPE.....	16
Figura 12:	Proporções de vegetação florestal (CF), estágio inicial (pré-florestal) da sucessão (SI) e áreas abertas (recobertas principalmente por gramíneas, AB) em sítios de restauração de Floresta Estaciona Semidecidual, inferidas a partir de um mapa de NDVI (<i>normalized difference vegetation index</i>).	17
Figura 13:	Interação entre a proporção de cobertura florestal no entorno até 500m (CFBF500) e proporção de cobertura no interior dos polígonos (sítios de restauração de Floresta Estacional Semidecidual). A linha pontilhada indica a reta descrita por uma regressão linear simples ($CF = 3,77*BF500 + 0,12$, $r^2= 0.5169$, $p= 3.6*10^{-7}$).....	18
Figura 14:	Interação entre a proporção de cobertura florestal no entorno até 1000m (CFBF1000) e a proporção de cobertura no interior dos polígonos (sítios de restauração de Floresta Estacional Semidecidual). A linha pontilhada indica a reta descrita por uma regressão linear simples ($CF = 5,37*BF1000 + 0,092$, $r^2=0.5098$, $p= 4.8*10^{-7}$).....	19

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Intervalos de NDVI a partir de valores de classificação dos pixels presentes nas categorias de classificação vegetal. AB = áreas abertas; SI = estágio inicial de sucessão; CF= cobertura florestal9

Tabela 2: Modelos para explicar a proporção de cobertura florestal (CF) nos polígonos (sítios de restauração de floresta estacional semidecidual). (BF_500m: *Buffer* de 500 metros de vegetação; BF_1km: *Buffer* de 1km de vegetação; F_I: Frequência de incêndios; T_I: Tempo desde o último incêndio)19

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB:	Áreas Abertas.
SI:	Sucessão Inicial.
CF:	Cobertura Florestal.
BF_500:	Buffer de 500 metros.
BF_1000:	Buffer de 1000 metros.
NDVI:	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	OBJETIVOS	4
1.1.1	Objetivo Geral.....	4
1.1.2	Objetivos Específicos	4
1.2	HIPÓTESES.....	5
2	MATERIAL E MÉTODOS	6
2.1	LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO	6
2.2	CARACTERIZAÇÃO DA VEGETAÇÃO NOS POLÍGONOS	7
2.3	EXTRAÇÃO DOS DADOS.....	9
2.4	FREQUÊNCIA DE INCÊNDIO E TEMPO DESDE O ÚLTIMO INCÊNDIO.....	10
2.5	PROPORÇÃO DA VEGETAÇÃO NO ENTORNO DOS POLÍGONOS.....	13
2.6	MODELOS ESTATÍSTICOS	13
3	RESULTADOS	15
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA PAISAGEM.....	15
3.2	ESTRUTURA FLORESTAL DOS POLÍGONOS	18
3.3	INFLUÊNCIAS SOBRE A COBERTURA VEGETAL.....	18
4	DISCUSSÃO	21
5	CONCLUSÃO	24
6	REFERÊNCIAS	25
7	APÊNDICE A – CARACTERÍSTICAS DOS POLÍGONOS	30

1 INTRODUÇÃO

A Mata Atlântica, bioma localizado no Brasil, é considerada um dos 35 *hotspots* de biodiversidade presentes no mundo, ou seja, apresenta alta diversidade de espécies e endemismo. Apesar de sua importância no contexto ecológico é considerado um dos biomas mais ameaçados e suscetível às mudanças climáticas (MYERS *et al.*, 2005; BELLARD *et al.*, 2014). Possui de 1% a 8% do total de espécies de fauna e flora do planeta, contemplando aproximadamente 20 mil espécies de plantas, 261 espécies de mamíferos, 688 espécies de aves, 200 espécies de répteis e 280 espécies de anfíbios (GOERCK, 1997; MITTERMEIR *et al.*, 1999)

Nos últimos séculos, esse bioma foi reduzido a aproximadamente 11% de seu tamanho original e, atualmente, sua maior parte encontra-se em fragmentos menores que 50 hectares, imersos em uma paisagem agrícola, a qual é considerada como “hostil à biodiversidade” (DE REZENDE *et al.*, 2015; FERRAZ *et al.*, 2014; MELO *et al.*, 2013; WAGNER *et al.*, 2020).

As principais causas da fragmentação, se devem às degradações ambientais causadas por atividades agrícolas. Tais degradações são responsáveis por diversos impactos negativos, como desmatamentos, incêndios, poluição por dejetos, uso intensivo de agrotóxicos e fertilizantes, mecanização, contaminação das águas (superficiais e lençóis freáticos) e desertificação (LEITE; SILVA; HENRIQUES, 2011). As atividades mencionadas geralmente são realizadas para modificar o terreno e tornar a terra “apta” à agricultura moderna e otimizar a produção.

Dentre os impactos supracitados, os incêndios florestais têm chamado atenção da comunidade científica pelo aumento de sua frequência nos últimos anos, sendo que em 2020, foram registrados 222.797 focos de incêndios no Brasil, maior registro em oito anos, destes, 17.512 ocorreram no bioma Mata Atlântica, representando aproximadamente 7,86% do total dos incêndios (INPE, 2021). Em biomas como o Cerrado, o incêndio, quando ocorre naturalmente, atua como um importante fator para a manutenção do ambiente, na medida em que favorece a ciclagem de nutrientes e manutenção da diversidade e da estrutura dos habitats (DURIGAN *et al.*, 2020; FIDELIS; PIVELLO, 2011).

Na Mata Atlântica, a presença de incêndios não faz parte de seu regime natural. O fogo altera estruturas e relações existentes, e essas alterações podem atingir diversos níveis, como:

- Solo: O fogo pode impactar diretamente, alterando características físicas e químicas. Segundo DeBano (1990) e Certini (2005), essas alterações podem variar entre o aumento de pH, redução da porosidade e da matéria orgânica. Essas mudanças podem modificar também as características hidrológicas das regiões afetadas. Solos afetados drasticamente pela alta frequência de incêndios tendem a aumentar a hidrofobicidade, e essa característica desenvolvida, somada à redução da porosidade, diminui a capacidade de infiltração da água, resultando em chances de erosão e desertificação das áreas (FACHIN *et al.*, 2017; MENDONÇA *et al.*, 2009). O impacto do fogo para os microrganismos do solo é ainda mais drástico. Quando em alta frequência, pode esterilizar a superfície do solo e reduzir a eficiência do ciclo de nitrogênio, além de alterar relações entre micorrizas e raízes e aumentar as taxas de oxidação e a liberação de metano (BÁRCENAS-MORENO *et al.*, 2011; GÓMEZ-REY; GONZÁLEZ-PRIETO, 2015; VERMA; JAYAKUMAR, 2012).
- Vegetação: Variando a partir do grau de severidade, os incêndios alteram a estrutura da vegetação de maneira diferente. (LOPES; VALE; SCHIAVINI, 2009). A “secundarização” é um processo citado por Barlow e Peres (2008) e pode ocorrer após a ocorrência de um incêndio. Tal processo ocorre em decorrência da morte de indivíduos adultos que recobriam o dossel, ocasionando o surgimento de clareiras e, conseqüentemente, a chegada de luz até o solo, o que favorece o surgimento de espécies pioneiras e secundárias que estavam presentes no banco de sementes do solo e aumenta a riqueza e abundância de determinadas espécies na região. O processo de secundarização é prejudicado consideravelmente quando os incêndios ocorrem em alta intensidade e com frequência acentuada, assim diminuindo a presença de sementes das espécies neste banco, o que ocasiona também a diminuição do número de regenerantes e da variabilidade do ambiente, tornando-o mais homogêneo na medida em que apenas espécies mais tolerantes ao fogo seriam capazes de sobreviver (COCHRANE, 2003; SANSEVERO *et al.*, 2017).

Diante deste contexto, os estudos sobre as técnicas e ações para mitigar os impactos causados pelo ser humano passam a ser de grande relevância para a área acadêmica, a qual busca entender os melhores caminhos para restaurar, refletindo de maneira positiva em nossa sociedade e economia (GUILHERME; PINTO, 2014).

Técnicas como o reflorestamento ativo e a regeneração natural passaram a ser utilizadas a fim de mitigar a situação encontrada nas áreas degradadas na tentativa de recuperar os serviços ecossistêmicos. Engel e Parrota (2008) enfatizaram que o reflorestamento ativo, isto é, o plantio de mudas e sementes, funciona como um processo “catalítico”, na medida em que proporciona um microclima favorável para a germinação e o estabelecimento de novas mudas. Tal processo favorece o aumento da fertilidade do solo e dificulta o crescimento de gramíneas invasoras que impedem a germinação de novos propágulos, uma vez que ao competirem por luz e recursos do solo com as mudas de plantas nativas atrasam ou mesmo inibem o avanço do processo de sucessão secundária (Gonçalves et al, 2018).

A regeneração natural, por sua vez, é a recuperação das áreas degradadas de maneira passiva e não envolve o plantio de mudas, assim, essa técnica responde às características do ambiente em que se encontra e, desse modo, auxilia na recuperação de um ambiente antropogênico degradado, conectando, por intermédio da interação entre animais e plantas, a paisagem segregada com o fragmento florestal (Birch et al 2010; Garcia et al, 2011).

Chazdon e Guariguata (2016) relatam que a regeneração natural é a técnica mais indicada para a recuperação em larga escala, pois tem se mostrado ecologicamente mais efetiva, em razão do aprimoramento e conservação da biodiversidade local, no que diz respeito à interação entre as espécies e ao aumento da resiliência. Destaca-se também que essa prática, em comparação ao plantio de mudas, apresenta menor custo para ser empregada e utiliza-se de menor intervenção humana (Brancalion *et al*, 2012; Martins, 2013). Assim, concluíram que a regeneração natural pode ser observada quando há mínima interferência humana, mediante a utilização de técnicas, como cercar a área destinada à regeneração e controlar espécies invasoras. Quando necessário, também é possível realizar o enriquecimento das espécies por meio de plantio de mudas nativas (Brancalion *et al*, 2016; Chazdon e Uriarte, 2016). Dessa forma sugere-se que o sucesso da regeneração natural está relacionado com alguns fatores, entre eles: a oferta de propágulos, o banco de sementes, o histórico do uso da área e a presença ou ausência de espécies arbóreas presentes no local (Magnago *et al*, 2012; Martins, 2009; Martins *et al*, 2012).

Aliado às técnicas de restauração, o uso do sensoriamento remoto permite a obtenção de informações, como cobertura florestal e ocupação do solo. Tais informações são importantes, pois agregam conteúdo sobre as técnicas utilizadas,

permitindo o monitoramento e a mensuração das variáveis que interferem para o sucesso da restauração (GONÇALVES; FRANCISCO; MORAES NETO, 2013; LIBERATO, 2011). Uma das ferramentas do sensoriamento remoto permite a criação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, da sigla em inglês, “NDVI”.

Este índice é amplamente utilizado para classificação de meios terrestres, na medida em que permite a classificação da paisagem, utilizando duas bandas espectrais: vermelha e infravermelho próximo, originando como resultado uma imagem com pixels classificados entre o intervalo de -1 a $+1$. Este valor que está relacionado com a presença de clorofila presente no pixel, pode indicar a cobertura florestal e a ocupação do solo (BARBOSA; CARVALHO; CAMACHO, 2017; LAURENTINO *et al.*, 2011; MELO *et al.*, 2011; MILTON, 2018). Sendo assim, o uso do sensoriamento remoto tornou-se um forte aliado para a restauração ecológica, pois permite o seu estudo em larga escala, com diversas variáveis e não há a necessidade de ida ao campo.

Diante da necessidade iminente da restauração dos habitats degradados na Mata Atlântica e da importância da regeneração natural, estudos utilizando a técnica de NDVI, são muito importantes para auxiliar no entendimento de como a restauração natural atua neste bioma. Ações de restauração e de preservação de remanescentes florestais geram impactos positivos para a sociedade, como estocagem de carbono e a preservação da biodiversidade.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar o sucesso da regeneração natural por meio do sensoriamento remoto, a partir da técnica de NDVI, e identificar quais são as variáveis que atuam como modeladoras desta recuperação.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a proporção de áreas abertas, estágio inicial (pré-florestal) da sucessão e de cobertura florestal no interior dos polígonos de regeneração natural
- Verificar a proporção de vegetação florestal na paisagem circunvizinha aos

polígonos de regeneração natural;

- Verificar a relação entre frequência de incêndios e a proporção de cobertura florestal no interior dos polígonos;
- Verificar a relação entre tempo desde a ocorrência do último incêndio e proporção de cobertura florestal desenvolvida no interior dos polígonos.

1.2 HIPÓTESES

1. Quanto menor a proporção da vegetação florestal na vizinhança do polígono de regeneração natural, menor será a probabilidade da presença de cobertura florestal;
2. Quanto maior a frequência de incêndios ocorridos, menor será a proporção de cobertura florestal no interior dos polígonos;
3. Quanto menor o tempo de ocorrência do último incêndio, menor será a proporção de cobertura florestal no interior dos polígonos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

Todos os polígonos estão localizados nos municípios de Centenário do Sul e Porecatu, ambos no norte do estado do Paraná (Figura 1), entre 449 e 515 m acima do nível do mar. A vegetação original é a Floresta Estacional Semidecidual, atualmente reduzida a fragmentos de diferentes tamanhos. O clima da região é do tipo mesotérmico úmido a sub-úmido com verões quentes (tipo CFa, de Köppen¹), embora bastante próxima à zona climática megatérmica com inverno seco (tipo Aw, de Köppen) característica do Brasil central. A temperatura média anual varia entre 21,2 e 21.9° C, e a pluviosidade média anual entre 1200 e 1300mm. Os solos são oriundos de um derrame basáltico, variando entre nitossolos e latossolos eutroféricos, com ocorrência comum de manchas de neossolos e afloramentos de rochas.

A pesquisa foi realizada em 38 áreas, definidas como polígonos de diferentes tamanhos, destinados à restauração da Floresta Estacional Semidecidual, pertencentes a uma empresa do setor sucro-alcooleiro. Nestes polígonos estão contidas tanto as áreas de Preservação Permanente quanto de Reserva Legal, tal qual definidas na lei federal 12.651/2012, tendo como vizinhança predominante talhões de cultivo de cana-de-açúcar.

Os polígonos selecionados apresentam como característica comum o histórico do uso do solo para plantio de cana-de-açúcar e, após o seu abandono, ocorrência(s) de incêndio(s), decorrentes possivelmente de escapes da queima controlada da cana ou tendo sido provocados por terceiros. O tempo de abandono foi considerado como sendo uniforme entre os polígonos selecionados, tendo a remoção da cana e o abandono das áreas ocorrido a partir de 2004, como obrigação decorrente da assinatura de um Termo de Ajustamento de Conduta pela empresa.

¹ As letras deste código representam: C, temperatura média do mês mais frio permanece entre 18° e -3°C; f, o inverno é seco; a, a temperatura média do mês mais quente é superior a 22°C; g, a máxima temperatura média ocorre depois do solstício de verão.



Figura 1: Localização dos polígonos de regeneração natural amostrados. A área dos polígonos está em vermelho com marcador em verde, e as sedes dos municípios estão marcadas em laranja (Centenário do Sul) e em amarelo (Porecatu), ambos no norte do estado do Paraná. O tom de verde mais escuro indica cobertura florestal. Adaptado de imagem de satélite obtida do Google Earth.

Para cada polígono, foram registrados o tamanho, a idade (tempo desde o abandono), informação fornecida pela empresa, a proporção de vegetação no entorno (em *buffers* de 500m e 1km), o tempo desde o último incêndio, a frequência de incêndios nos últimos 20 anos, e caracterização da vegetação presente em seu interior.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DA VEGETAÇÃO NOS POLÍGONOS

A vegetação foi caracterizada utilizando o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, ou, do inglês, *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Para isso, utilizou-se a imagem gerada pelo satélite Sentinel-2, com data de: 10/04/2020. Lançado em 2015 pela Agência Espacial Europeia, este satélite possui 13 bandas, sendo quatro delas com resolução de 10m, seis com resolução de 20m e três com resolução de 60m.

Sua obtenção foi realizada através do *software* QGIS 3.10, utilizando o *plugin* *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP), empregando os seguintes critérios de: 0% de presença de nuvens na imagem, que contemplasse toda a distribuição dos polígonos na imagem gerada e que fosse a mais recente. O *Datum* original da imagem foi alterado para Sirga-2000, o mais utilizado no Brasil.

O cálculo do NDVI para a imagem foi realizado por meio da calculadora presente no SCP, utilizando as bandas 8 (vermelho distante) e banda 4 (vermelho) seguindo a fórmula:

- $NDVI = (Banda\ 8 - Banda\ 4) / Banda\ 8 + Banda\ 4$.

O resultado gerado por este cálculo é uma imagem com pixels classificados em valores de -1 até +1, sendo que os valores próximos ao -1 são considerados como áreas abertas ou com presença de água, e, os valores próximos de +1, áreas com presença de densa vegetação (Figura 2).

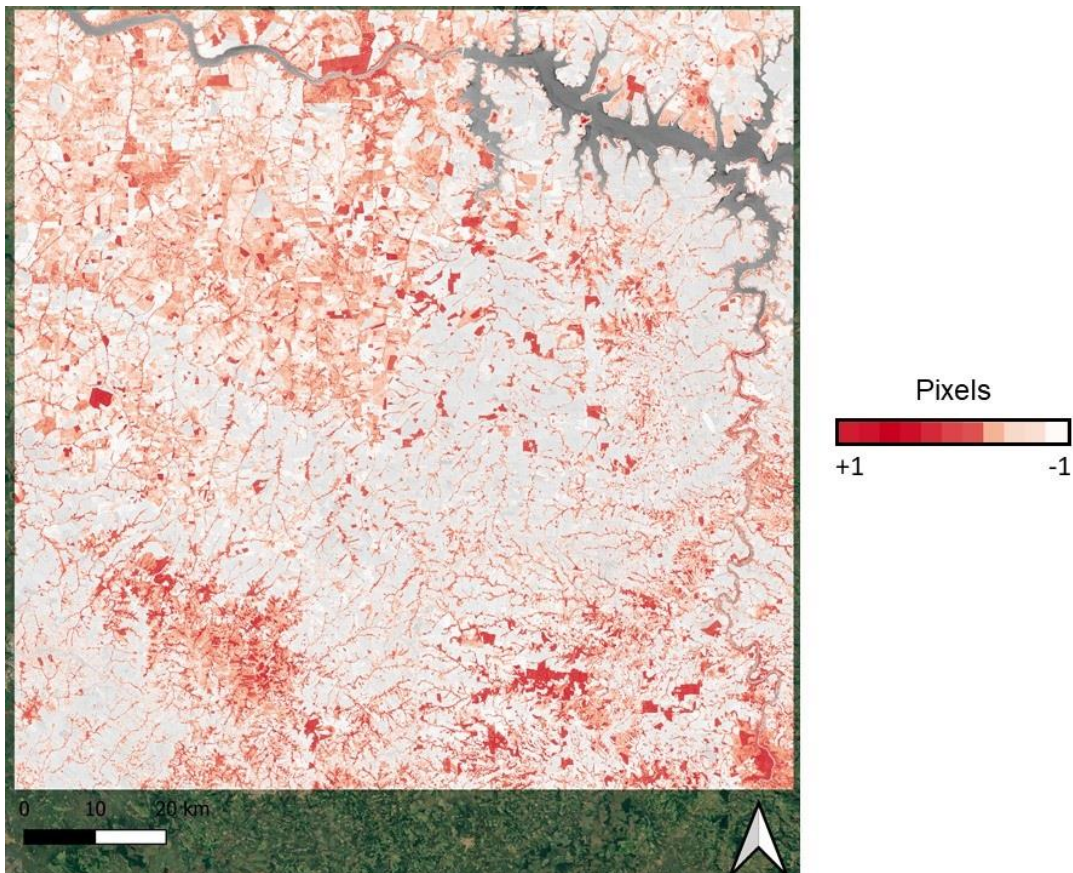


Figura 2: Imagem do Sentinel 2 após o cálculo de NDVI, sobreposta a imagem gerada pelo *Google Earth*.

2.3 EXTRAÇÃO DOS DADOS

De acordo com os polígonos selecionados para o estudo, criou-se um intervalo de classificação, baseado nos valores dos pixels, para que fosse possível estimar a estrutura da vegetação presente nos polígonos. Então, foram definidas três categorias de classificação: Áreas abertas (AB), Sucessão Inicial (SI) e Cobertura Florestal (CF). Essas categorias foram criadas de maneira arbitrária, utilizando o NDVI de cada polígono para criar uma classificação que contemplasse todas as situações. Na Tabela 1 é possível observar faixa de valores de pixels atribuídos a cada grupo de vegetação.

Tabela 1: Intervalos de NDVI a partir de valores de classificação dos pixels presentes nas categorias de classificação vegetal. AB = áreas abertas; SI = estágio inicial de sucessão; CF = cobertura florestal.

Categoria	Intervalo de NDVI
AB	-1 até 0,3
SI	0,31 até 0,5
CF	0,51 até 1

A fim de classificar a vegetação presente nos polígonos de interesse, foi necessário isolar a imagem obtida pelo cálculo do NDVI no interior dos polígonos. Este procedimento foi realizado no *software* QGIS 3.10. Nesse software foi utilizada a ferramenta "recortar *raster* pela camada de máscara", selecionando a imagem do NDVI, gerada pelo cálculo, para "camada de entrada" e a "camada de máscara" o contorno do polígono, isolando então, o resultado obtido do NDVI apenas para o polígono de interesse (figura 3).



Figura 3: A imagem A representa o polígono (contornado com linha preta) antes do isolamento do NDVI para o seu interior. Em B temos o resultado do procedimento, com o NDVI isolado somente para o interior do polígono de interesse.

Para extrair os valores de todos os pixels presentes no interior dos polígonos, utilizou-se o *plugin* no QGIS 3.10 denominado “*Landscape Ecology*”. Nesse *plugin*, ao utilizar a ferramenta *Landscape Statistics*, foi possível extrair os valores dos pixels presentes no interior de um polígono. Ao término deste procedimento, um arquivo Excel, no formato .csv, foi criado para cada polígono. Este contém todos os pixels presentes, na área do polígono, e seus respectivos valores de *NDVI*. Os pixels foram classificados, conforme o critério supracitado e, então, seus valores foram transformados em tamanho (ha) e posteriormente em proporção ao tamanho do polígono. Para isso, as seguintes fórmulas foram utilizadas:

- Para determinar o tamanho da classificação no polígono:

$$X = \frac{(N^{\circ} \text{ de pixels presentes na classificação} \times \text{Tamanho do polígono})}{N^{\circ} \text{ total de pixels do polígono}}$$

- Para determinar a proporção do intervalo:

$$\text{Proporção: } \frac{X}{\text{Tamanho do polígono}}$$

2.4 FREQUÊNCIA DE INCÊNDIO E TEMPO DESDE O ÚLTIMO INCÊNDIO

O INPE possui um Banco de Dados de Queimadas (INPE, 2021). Nele, são utilizados 10 satélites para obter informações diárias sobre a ocorrência dos incêndios por todo o país. O satélite de referência utilizado para este processo é o AQUA_M-T, lançado em maio de 2002, que possui uma resolução espacial (“pixel”) de 1km x 1km, e segundo informações do INPE: “[...] *uma queimada de algumas dezenas de m² será*

identificada como tendo pelo menos 1 km².” (INPE, 2021). De acordo com essa informação, foram considerados todos os focos de incêndio em um buffer de 1km do perímetro do polígono e no interior do polígono, para obter os dados sobre ocorrência e frequência dos incêndios (Figura 4).

As informações foram obtidas para as localizações das áreas (Centenário do Sul e Porecatu), no formato .kml, entre os períodos de 1999 a 2020 e ao serem analisadas via *software* Google Earth (Figura 5), foi possível obter informações, como localização (coordenada geográfica), data e hora, satélite responsável pela detecção do foco de incêndio e o bioma afetado (Figura 6). Para frequência de incêndio, foram contabilizadas a quantidade de focos de incêndios presentes no buffer de 1 km (Figura 4). Para o tempo desde último incêndio, foi subtraído o ano do foco mais recente do ano de amostragem.

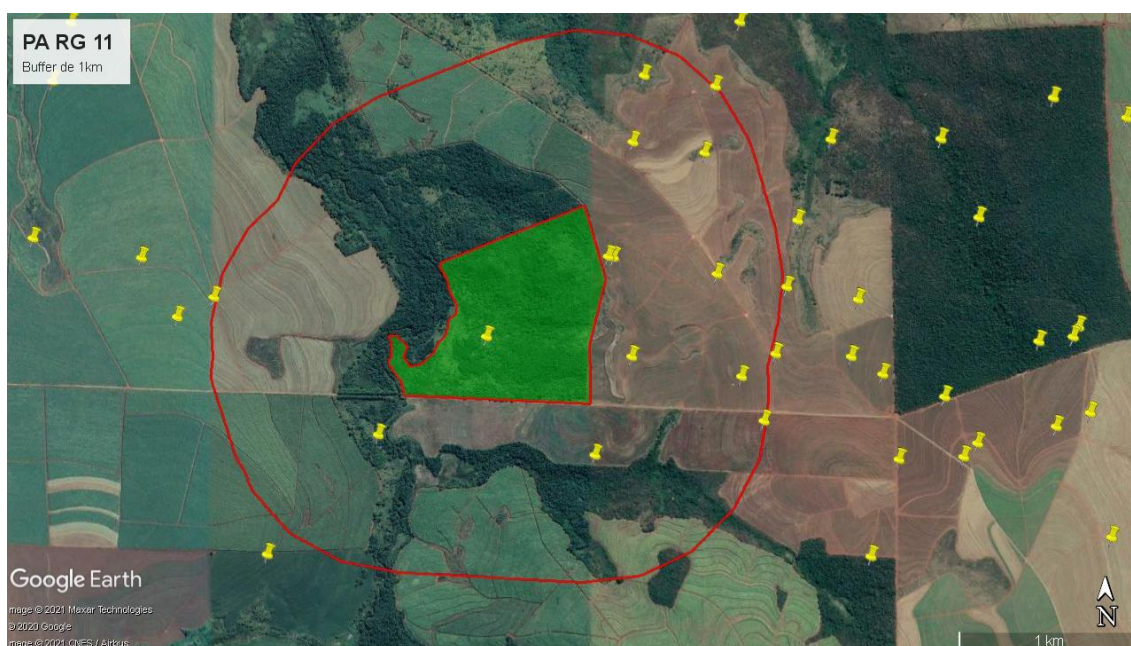


Figura 4: Buffer de 1km (linha vermelha externa) contendo os focos de incêndio (alfinetes amarelos) para determinado polígono (linha vermelha interna circundando a área verde mais clara). A frequência de incêndios foi obtida através da contagem desses marcadores.

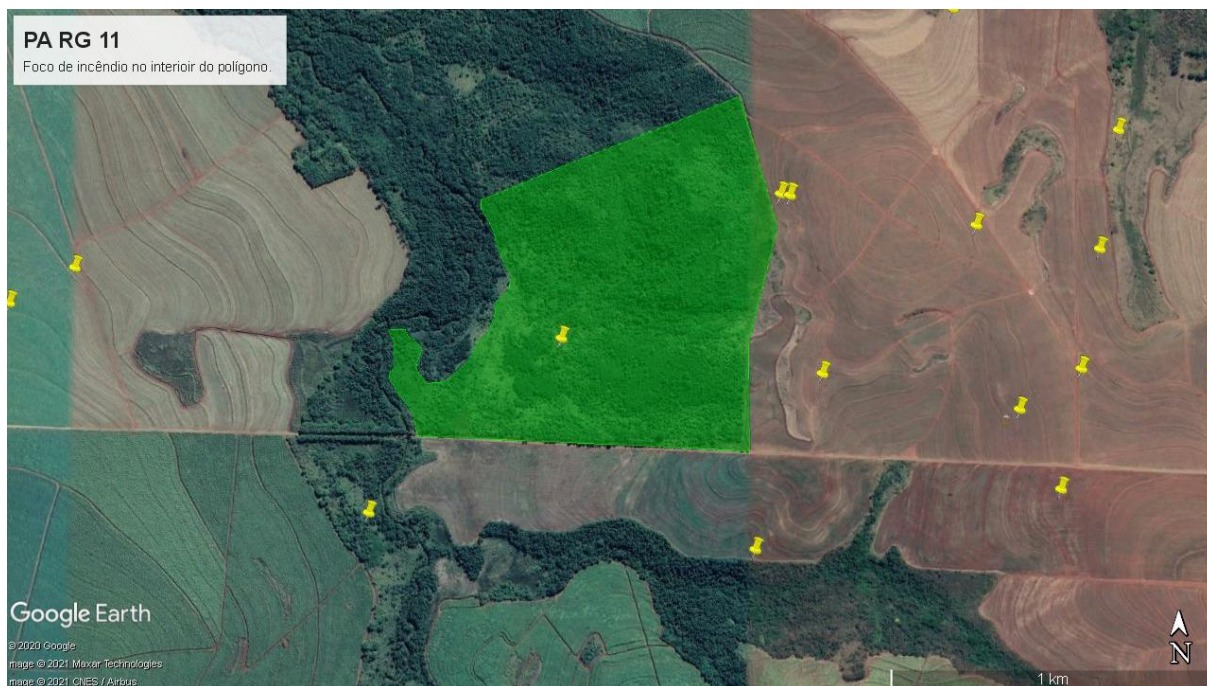


Figura 5: Pontos de incêndios obtidos no Banco de Dados de Queimadas (INPE). Cada marcador amarelo representa uma ou mais ocorrências.



Figura 6: Informações sobre o incêndio (Data/Hora; Satélite; Localização e Bioma) contidas no banco de dados do INPE.

2.5 PROPORÇÃO DA VEGETAÇÃO NO ENTORNO DOS POLÍGONOS

Para aferir a influência da proporção da vegetação na regeneração natural dos polígonos, foi empregado o cálculo de proporção da vegetação no entorno dos polígonos. Foram considerados dois Buffers (500m e 1km), a partir do perímetro dos polígonos. Na área criada, foi estimado o NDVI da vegetação presente, fixando o critério de classificação da vegetação para reter apenas a cobertura florestal. O intervalo foi ajustado para eliminar pequenas plantações de eucalipto, com base em comparações com cobertura florestal nativa presente em unidades de conservação, tomadas como referência, como o Parque Estadual de Ibicatu e Parque Estadual Mata dos Godoy. Com base nestes resultados, foi determinado o limiar de classificação de florestas a partir de valores de NDVI iguais ou superiores a 0,60. O cálculo da proporção de vegetação para o buffer foi realizado com as fórmulas supracitadas (Figura 7).

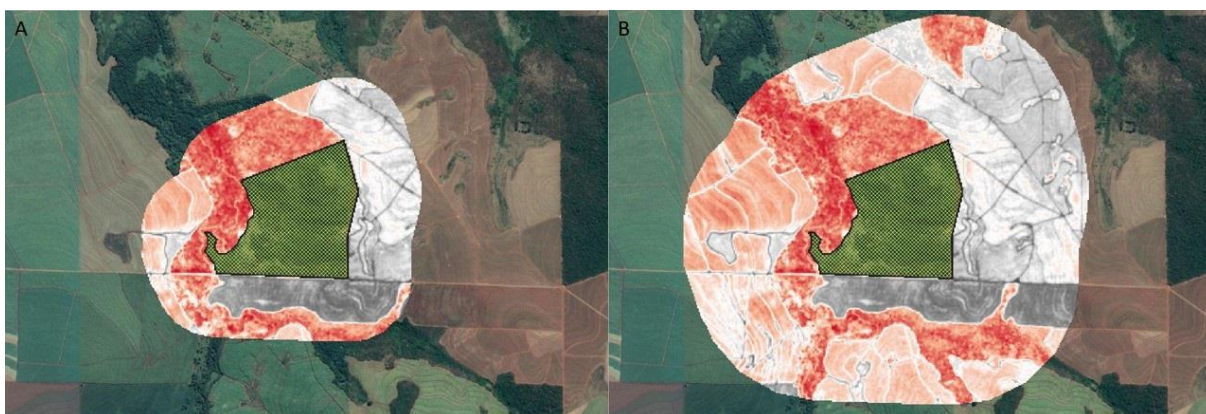


Figura 7: Áreas de entorno (“buffers”) com dados de NDVI, em sítios de restauração por meio de regeneração natural (definidos em linha preta). A: *buffer* de 500m. B: *buffer* de 1km.

2.6 MODELOS ESTATÍSTICOS

Para avaliar os efeitos da proporção de vegetação no entorno (buffers de 500m e 1km) e incêndios (tempo desde o último incêndio e frequência de incêndios), sobre a vegetação no interior dos polígonos (inferida a partir das categorias estabelecidas de NDVI), foram construídos modelos de regressão linear múltipla com diferentes combinações de variáveis independentes:

- Buffer_500m x Frequência de incêndios

- Buffer_500m x Tempo desde o último incêndio
- Buffer_1km x Frequência de incêndios
- Buffer_1km x Tempo desde o último incêndio

Para testar a correlação entre as variáveis independentes com a cobertura florestal presente nos polígonos, foram construídos modelos de regressão linear simples:

- Buffer_500m x Cobertura Florestal
- Buffer_1km x Cobertura Florestal
- Frequência de incêndios x Cobertura Florestal
- Tempo desde o último incêndio x Cobertura Florestal

Para testar a normalidade dos modelos foi utilizado o teste de Shapiro Wilk e para testar a homocedasticidade foi utilizado o teste de Breusch-Pagan.

Utilizou-se o pacote *lme4* (BATES et al., 2015) no ambiente R (RSTUDIO TEAM, 2019), por meio da interface *RStudio* para a execução dos modelos. Adicionalmente o efeito dos incêndios foi estimado por meio da comparação, por meio de ANOVA, de dois grupos, contendo seis polígonos em cada um, sendo um com detecção do foco do incêndio em seu interior, e outro sem focos em até 1km do seu perímetro. Para testar a normalidade do modelo, foi utilizado o teste de Shapiro Wilk ($p > 0,05$) e para testar a homocedasticidade, foi utilizado o teste de Breusch-Pagan ($p > 0,05$).

3 RESULTADOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PAISAGEM

Os polígonos amostrados estão distribuídos em uma paisagem de predomínio agrícola. A partir da análise da imagem de satélite, foi possível detectar apenas 16% (171,4 ha) de remanescentes florestais em uma área de 1.034.167 hectares. Na Figura 8 é possível observar o grau de fragmentação e a sua distribuição entre áreas de plantio, pastagem e urbanas.

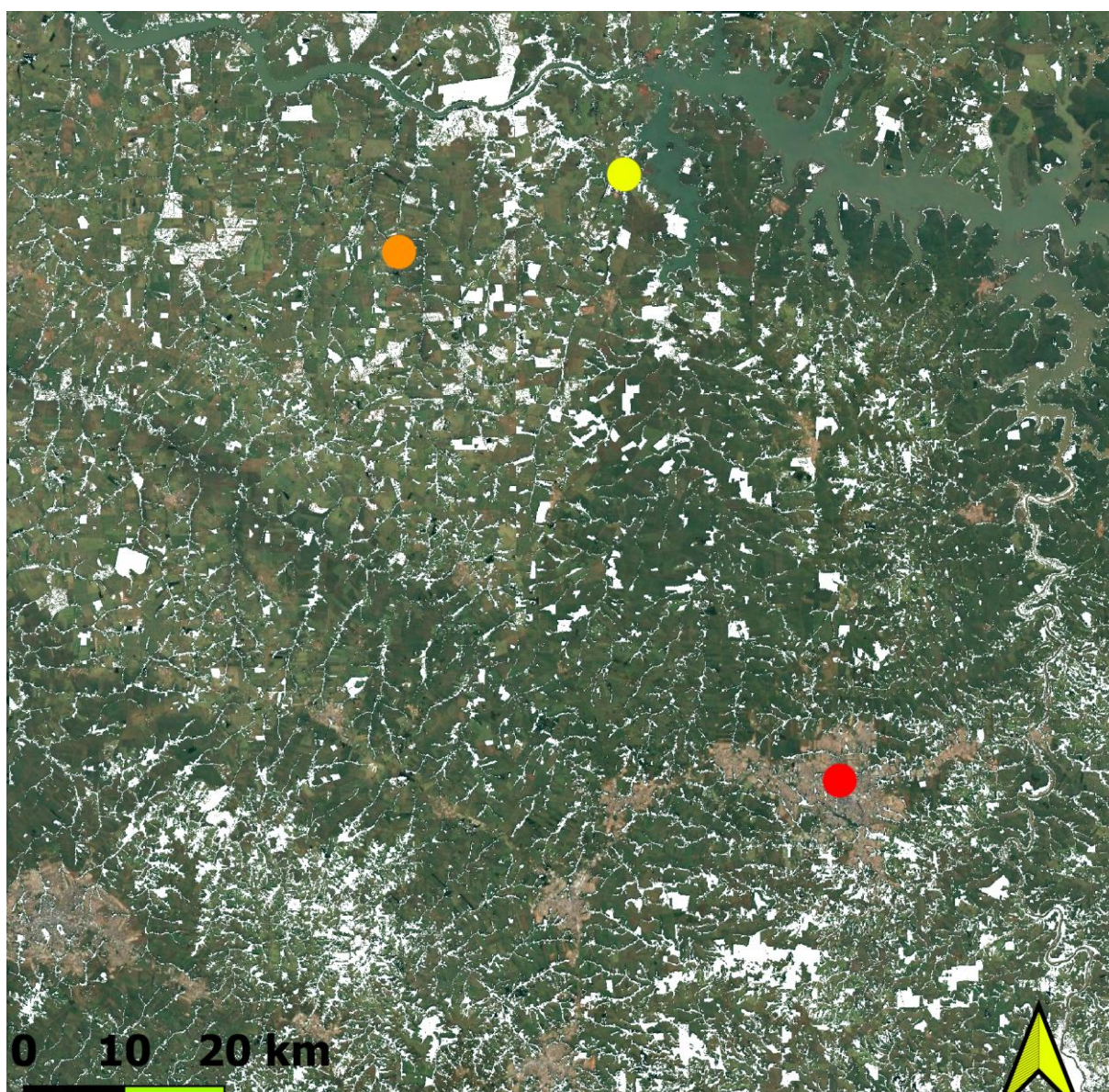


Figura 8: Remanescentes florestais (fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual, em branco) no Norte do estado do Paraná. Os marcadores amarelos (Porecatu), laranja (Centenário do Sul) e vermelho (Londrina) indicam as sedes de municípios da região.

Houve 750 focos de incêndio na região de Porecatu e Centenário do Sul, no período entre 1999 a 2020 (Figura 9), sendo que, entre estes, 403 focos estavam presentes dentro de um raio de 1km dos polígonos. Essa amostra foi utilizada para testar a influência dos incêndios sobre cobertura florestal desenvolvida nos polígonos.

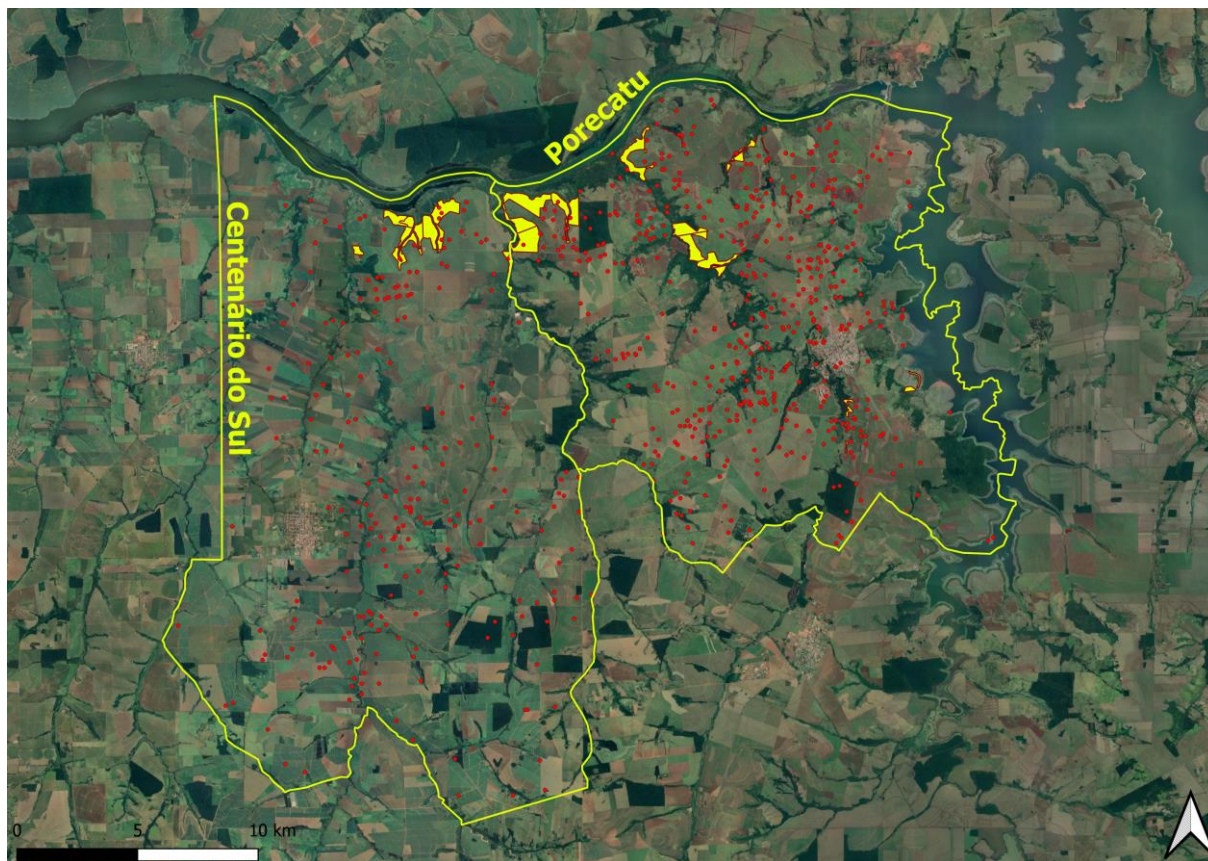


Figura 9: Distribuição de focos de incêndios detectados pelo satélite AQUA_M-T do INPE, nos municípios de Centenário do Sul e Porecatu, no norte do Paraná. Os focos estão representados por pontos vermelhos e os polígonos em amarelo, sendo que cada ponto pode ter mais de um registro. A linha amarela representa os limites de cada município.

Houve de 1 a 20 focos de incêndio nos polígonos avaliados (Figura 10), com média de 11 incêndios no período de 2010 a 2020. É possível observar que em quase todos os polígonos estudados ocorreram incêndios nos últimos 6 anos (Figura 11), e 60,53% dos polígonos sofreram incêndios no ano de 2020.

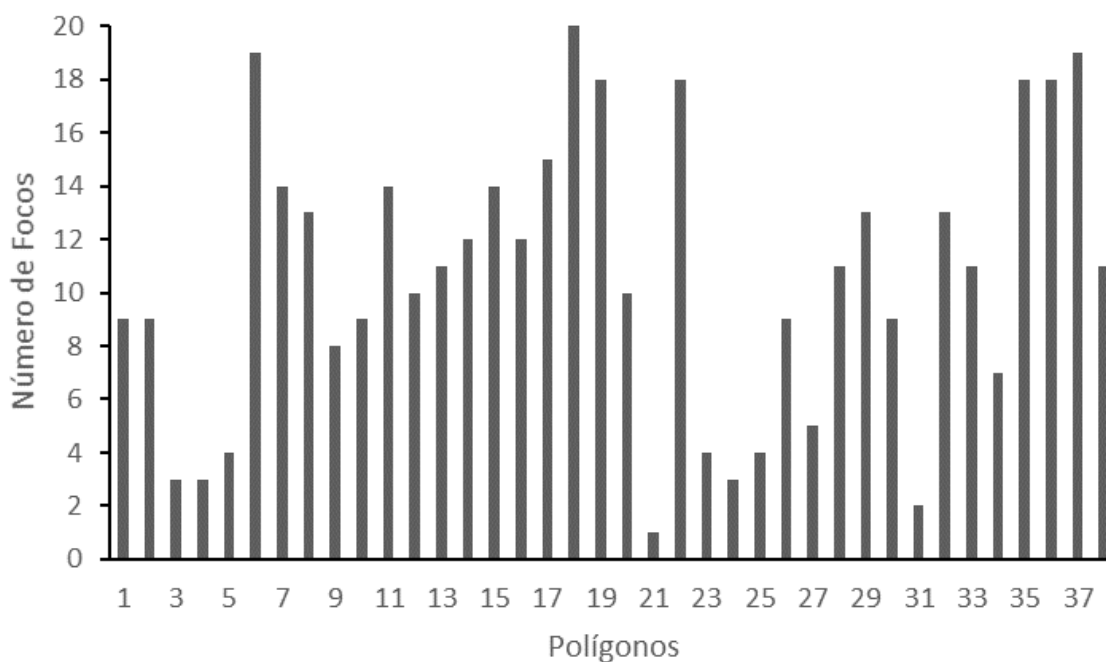


Figura 10: Número de focos de incêndio em polígonos (sítios de restauração de Floresta Estacional Semidecidual), entre os anos de 1999 e 2020, de acordo com o banco de dados BDQueimadas do INPE.

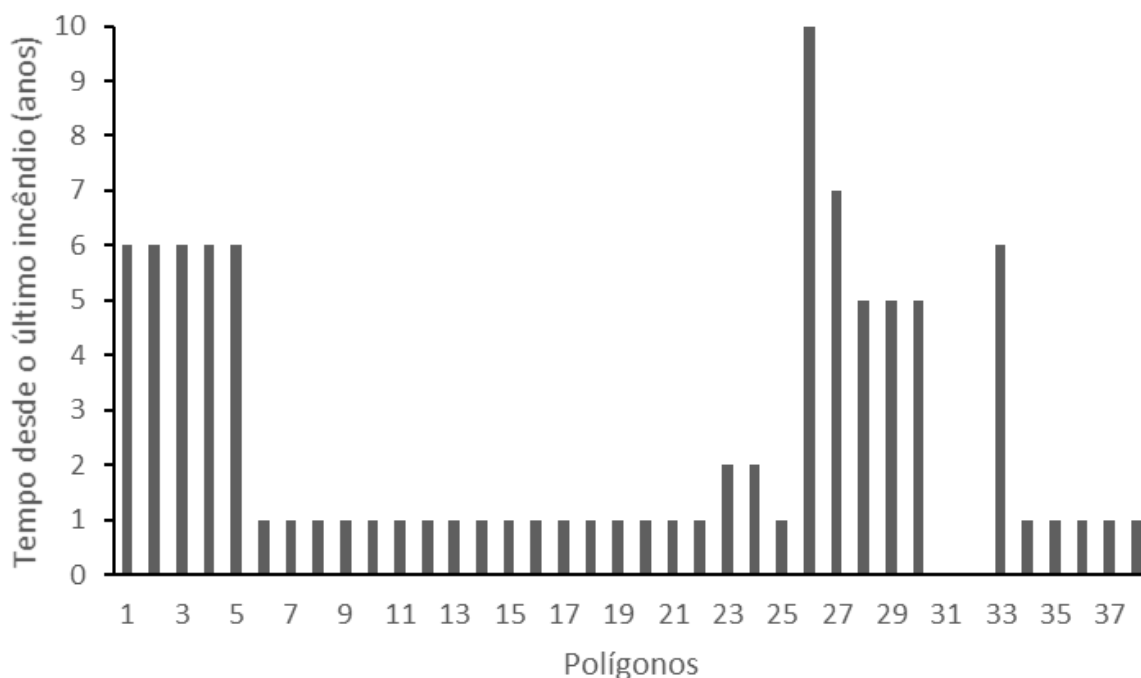


Figura 11: Tempo em anos decorrido desde a ocorrência do último foco de incêndio detectado para o polígono (sítios de restauração de Floresta Estaciona Semidecidual), entre os anos de 1999 e 2020, de acordo com o banco de dados BDQueimadas do INPE.

3.2 ESTRUTURA FLORESTAL DOS POLÍGONOS

Nos polígonos estudados (sítios de restauração de Floresta Estacional Semidecidual) houve, em média, 2,3% de áreas abertas (AB), 34% em estágio inicial (pré-florestal) da sucessão (SI) e 51% recobertos por florestas (CF) (Figura 12). A proporção de cobertura florestal nos polígonos variou de 0 a 91%, representando uma área total de 532 ha, e em 50% dos polígonos (somando 7,75% da área) houve áreas abertas, que são recobertas, principalmente, por gramíneas não nativas como *Urochloa decumbens* e *Megathyrus maximus*. As características dos polígonos estão presentes na tabela 3 (apêndice A).

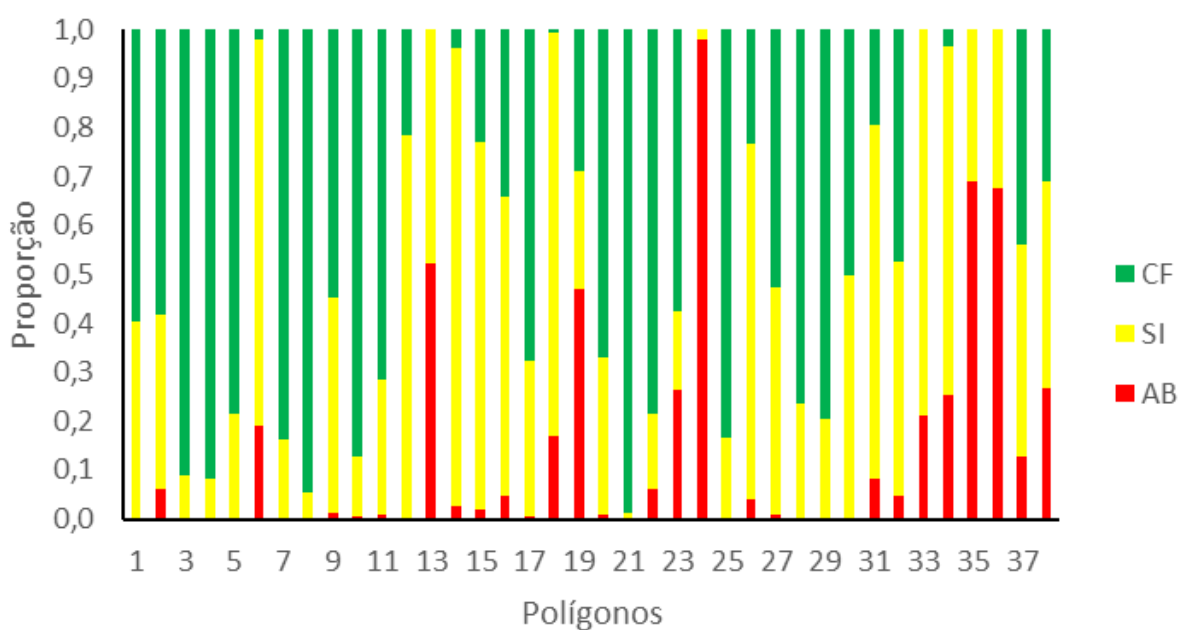


Figura 12: Proporções de cobertura florestal (CF), estágio inicial (pré-florestal) da sucessão (SI) e áreas abertas (recobertas principalmente por gramíneas, AB) em sítios de restauração de Floresta Estacional Semidecidual, inferidas a partir de um mapa de NDVI.

3.3 INFLUÊNCIAS SOBRE A COBERTURA VEGETAL

Não houve influência dos incêndios isoladamente, tanto frequência ($p = 0,36$) quanto o tempo desde o último incêndio ($p = 0,24$), porém contribuíram para o modelo sobre a proporção de cobertura florestal dos polígonos (Tabela 2).

Também não houve diferença na proporção de cobertura florestal na comparação entre polígonos com e sem incêndios recentes ($F = 0.016$; $p = 0.90$).

Os modelos tiveram, em média, coeficientes de determinação (r^2) de 0,51, indicando alta contribuição da vegetação da paisagem circunvizinha para determinar a proporção de floresta nos sítios de restauração, tanto nas vizinhanças de 500m quanto de 1km (Tabela 2).

Tabela 2: Modelos para explicar a proporção de cobertura florestal (CF) nos polígonos (sítios de restauração de floresta estacional semidecidual). (BF_500m: *Buffer* de 500 metros de vegetação; BF_1km: *Buffer* de 1km de vegetação; F_I: Frequência de incêndios; T_I: Tempo desde o último incêndio).

Modelo	r^2	p
$CF = 0.13 + 3.75BF_{500m} - 0,001 F_I$	0.52	0,0029
$CF = 0.11 + 3,71BF_{500m} + 0,006 T_I$	0.52	0,0027
$CF = 0,10 + 5,33 BF_{1km} - 0,001 F_I$	0.51	0,0038
$CF = 0,09 + 5,45 BF_{1km} - 0,004 T_I$	0.51	0,0037

Assim, a proporção de vegetação no entorno dos polígonos tem correlação positiva com a proporção de cobertura florestal em seu interior (Figura 13; Figura 14).

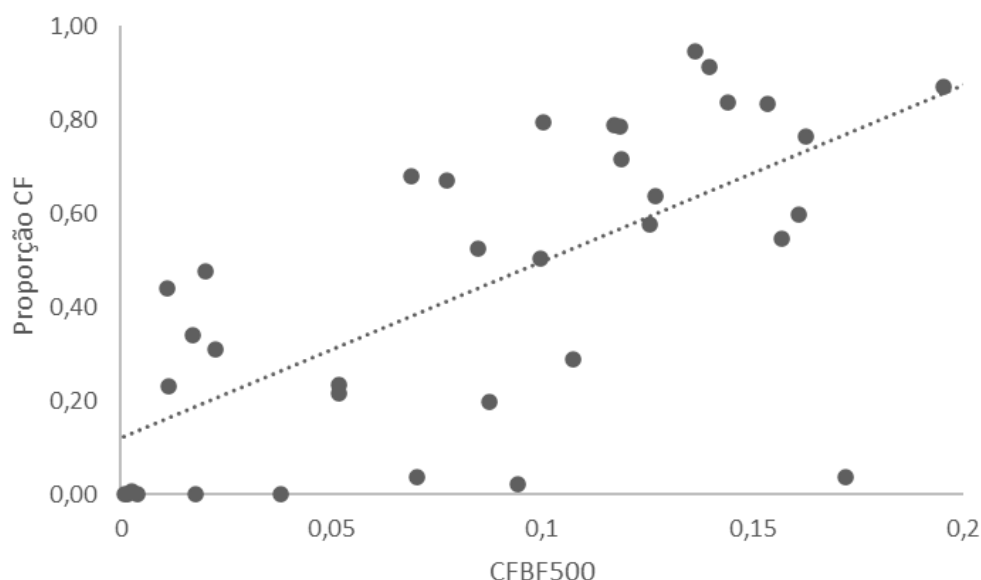


Figura 13: Interação entre a proporção de cobertura florestal no entorno até 500m (CFBF500) e proporção de cobertura no interior dos polígonos (sítios de restauração de Floresta Estacional Semidecidual). A linha pontilhada indica a reta descrita por uma regressão linear simples ($CF = 3,77 \cdot CFBF500 + 0,12$, $r^2 = 0,52$, $p = 3.6 \cdot 10^{-7}$)

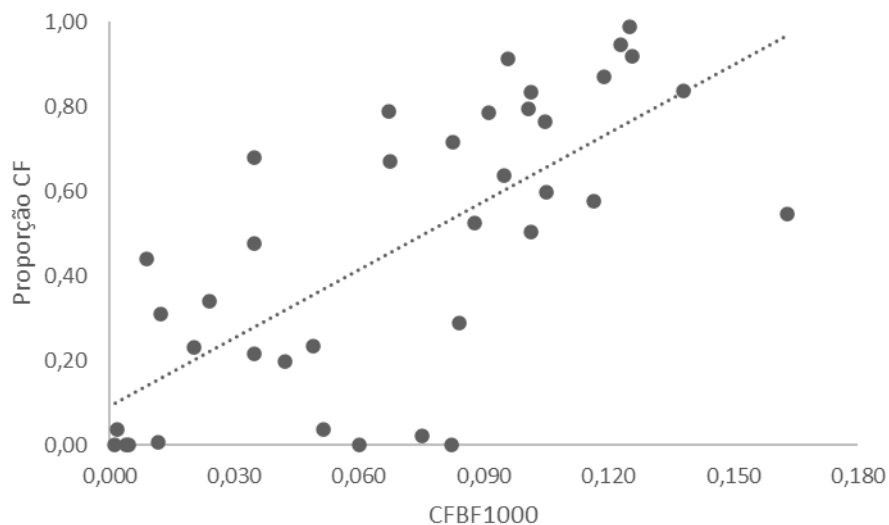


Figura 14: Interação entre a proporção de cobertura florestal no entorno até 1000m (CFBF1000) e a proporção de cobertura no interior dos polígonos (sítios de restauração de Floresta Estacional Semidecidual). A linha pontilhada indica a reta descrita por uma regressão linear simples ($CF = 5,37 \cdot CFBF1000 + 0,092$, $r^2 = 0,51$, $p = 4,8 \cdot 10^{-7}$)

4 DISCUSSÃO

A fragmentação dos remanescentes florestais da paisagem em que os polígonos estão inseridos é resultado da intensa atividade agrária na região, que já data de muitas décadas. Essa atividade, que teve início na colonização do estado, prevalece até hoje. Como visto na Figura 8, apenas 16% da paisagem detectada pelo satélite tem sua ocupação do solo por remanescentes florestais, e esta situação é pior na parte norte da imagem analisada, onde estão os polígonos de sítios de restauração.

Esta paisagem fragmentada pode causar diversos impactos negativos no processo de regeneração, como: extinção local de determinadas espécies, diminuição da variabilidade genética, comprometimento da oferta de propágulos para as regiões vizinhas e homogeneização da composição de espécies (KULEVICZ *et al.*, 2020). No presente estudo, a proporção de vegetação no entorno (fragmentos remanescentes de floresta, tanto secundária quanto madura, conservada ou não) apresenta correlação positiva com a regeneração natural. Trabalhos como o de Chazdon e Guariguata (2016) e Bortoleto (2016), relatam que a proximidade com os fragmentos favorece a chegada de propágulos, e estes são a base da regeneração natural do ambiente. Estes resultados foram semelhantes aos encontrados por Schmerbeck (2015) utilizando a distância como variável. Em seu estudo, a regeneração natural de uma determinada área com histórico de incêndios foi favorecida por fragmentos que estavam até 100m de distância. No presente estudo, é importante destacar que ocorreu influência dos fragmentos remanescentes para a recuperação das áreas degradadas sendo que a distância de 1km apresentou maior influência do que a de 500m, sugerindo que remanescentes podem contribuir com propágulos a uma distância bem maior do que a sugerida por Schmerbeck (2015). Resultados semelhantes foram observados por Curran e Crouzeilles (2016), em que a restauração ecológica foi afetada pela vegetação em até 10km ao redor, uma distância bem maior do no presente estudo. Sendo assim, a hipótese 1 é confirmada, de forma que quanto menor a proporção de cobertura florestal no entorno, menor será a presença de cobertura florestal oriunda de regeneração natural no interior dos sítios de restauração.

O aumento dos incêndios nas últimas décadas (REIS *et al.*, 2018) é observado nos dados encontrados. Essa alta frequência de incêndios para região pode ser observada na Figura 9, que em um período de 20 anos, foram registrados 750 focos.

Como visto na Figura 11, que em média 60% dos polígonos sofreram impactos por incêndios em 2019. Segundo Huesca (2009), incêndios recorrentes impactam negativamente, tornando a paisagem fragmentada, desencadeando a degradação. Tal aspecto pode ser observado também na Figura 8, em que apenas 16% da paisagem possui cobertura florestal, a qual está concentrada em pequenos fragmentos. Estes são de grande importância como fonte de propágulos para a regeneração das áreas abandonadas.

No entanto, a chegada dos propágulos por si só não garante a regeneração. Em áreas abandonadas que sofrem impactos por incêndios o número de espécies regenerantes pode ser severamente limitado, como visto por Sansevero (2017) em áreas com histórico de pastagem, e os incêndios podem manter a sucessão em um estágio pré-florestal, eliminando as plântulas e juvenis de espécies florestais arbóreas, mantendo a área aberta e permitindo a manutenção da cobertura por plantas heliófilas, especialmente gramíneas não nativas (DE MELO; DURIGAN, 2010). Dos Santos *et al.* (2019) sugere que, em uma área afetada por incêndios recorrentes, o fogo foi prejudicial à regeneração natural. Como estas gramíneas produzem uma massa aérea que seca no inverno, consistindo, portanto, em combustível para incêndios, pode se estabelecer uma sinergia entre os incêndios e a presença de gramíneas, especialmente gramíneas de savana com metabolismo C4 (GORGONE-BARBOSA *et al.*, 2016)

Porém, no presente estudo, não houve correlação da cobertura florestal com os dados sobre incêndios obtidos do banco de dados do INPE. Esta ausência de correlação pode ter relação com a resolução de 1km do pixel do satélite que detecta os focos de incêndio. Assim, as queimas controladas em talhões de cana-de-açúcar situados até 1km dos sítios de restauração podem ter gerado o registro de incêndio por meio da imagem do satélite, sem que o fogo tenha necessariamente atingido a área de recuperação, graças a aceiros e/ou atuação da equipe da empresa agrícola. Um banco de dados sobre ocorrência de incêndios, com base em boletins de ocorrência policial registrados pela empresa, não pode ser aproveitado no presente estudo, em função de serem referidas propriedades inteiras e não as coordenadas geográficas ou áreas específicas em que o incêndio teria ocorrido.

Com efeito, a comparação entre dois grupos de polígonos (com ou sem a detecção de incêndios dentro e até 1km do perímetro do polígono), não mostrou diferença na vegetação. Sendo assim, as hipóteses 2 e 3 foram rejeitadas.

Os polígonos amostrados fazem parte de um conjunto de sítios de restauração, que por sua vez fazem parte de um plano ambiental mais abrangente da empresa. Infelizmente, há pouca literatura sobre a eficiência de aceiros como medida de proteção para a regeneração de florestas no contexto de lavouras canavieiras e tampouco especificamente para a Mata Atlântica.

O uso das técnicas de sensoriamento remoto mostrou-se eficiente para o levantamento da cobertura florestal na paisagem e relacionar os processos de recuperação e a proximidade de remanescentes florestais. Através do NDVI, foi possível levantar as informações estruturais dos polígonos estudados e relacionar com as informações obtidas através das análises. Este índice, que é amplamente utilizado na agricultura, mostrou-se promissor para a análise da regeneração natural, resultados semelhantes aos descritos por Leal (2019), Oliveira (2017) e Barbosa (2017), que encontraram resultados satisfatórios ao utilizar o NDVI como ferramenta para análise da vegetação. No entanto, para a avaliação do efeito dos incêndios, é necessário contar ou com um mapeamento de pontos quentes com resolução espacial parecida com a dos satélites que produzem imagens na região do visível, a exemplo do Sentinel e o Landsat (de 20 a 30m) ou então dados de ocorrência de incêndios obtidos em campo e georreferenciados. Outra possibilidade é a obtenção direta de evidências em campo, juntamente com dados sobre a cobertura de gramíneas e da própria vegetação.

5 CONCLUSÃO

A preservação dos fragmentos florestais remanescentes, ou mesmo de florestas secundárias já estabelecidas, é de grande importância para a regeneração natural de florestas. Isso evidencia a necessidade da conservação das áreas florestais e sua expansão, a fim de tornar a paisagem menos fragmentada. Destaca-se também a importância de mais estudos sobre o efeito dos incêndios na regeneração da Mata Atlântica, bem como da sinergia entre os incêndios e a invasão por gramíneas.

6 REFERÊNCIAS

- BARBOSA, A. H. D. S.; CARVALHO, R. G. DE; CAMACHO, R. G. V. Aplicação do NDVI para a Análise da Distribuição Espacial da Cobertura Vegetal na Região Serrana de Martins e Portalegre – Estado do Rio Grande do Norte. **Geography Department University of Sao Paulo**, v. 33, p. 128, 2017.
- BÁRCENAS-MORENO, G. *et al.* Soil microbial recolonisation after a fire in a Mediterranean forest. **Biology and Fertility of Soils**, v. 47, n. 3, p. 261–272, 2011.
- BARLOW, J.; PERES, C. A. Fire-mediated dieback and compositional cascade in an Amazonian forest. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 363, n. 1498, p. 1787–1794, 2008.
- BATES, D. *et al.* Fitting linear mixed-effects models using lme4. **Journal of Statistical Software**, v. 67, n. 1, 2015.
- BELLARD, C. *et al.* Vulnerability of biodiversity hotspots to global change. **Global Ecology and Biogeography**, v. 23, n. 12, p. 1376–1386, 2014.
- BIRCH, J.C. *et al.* Cost-effectiveness of dryland forest restoration evaluated by spatial analysis of ecosystem services. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**. 2010.
- BORTOLETO, L.A, *et al.* Suitability index for restoration in landscapes: An alternative proposal for restoration projects. **Ecological Indicators**. Amsterdam: Elsevier Science Bv, v. 60, p. 724-735, 2016.
- BRANCALION, P.H.S. *et al.* Avaliação e monitoramento de áreas em processo de restauração. In: Martins SV editores. **Restauração ecológica de ecossistemas degradados**. Viçosa: Editora UFV; 2012.
- BRANCALION, P. H. S. *et al.* Balancing economic costs and ecological outcomes of passive and active restoration in agricultural landscapes: the case of Brazil. **Biotropica**, 2016.
- CERTINI G. Effect of fire on properties of soil - A review. **Oecologia**, 2005.
- CHAZDON, R. L. AND GUARIGUATA, M. R., Natural regeneration as a tool for large-scale forest restoration in the tropics: prospects and challenges. **Biotropica**, 2016.
- CHAZDON, R. L. AND URIARTE, M. Natural regeneration in the context of large-scale forest and landscape restoration in the tropics. **Biotropica**, 2016.
- COCHRANE, M. A. Fire science for rainforests. **Nature**, v. 421, n. 6926, p. 913–919, 2003.

- CROUZEILLES, R.; CURRAN, M. Which landscape size best predicts the influence of forest cover on restoration success? A global meta-analysis on the scale of effect. **Journal of Applied Ecology**, v. 53, n. 2, p. 440–448, 2016.
- DE MELO, A. C. G.; DURIGAN, G. Impacto do fogo e dinâmica da regeneração da comunidade vegetal em borda de Floresta Estacional Semidecidual (Gália, SP, Brasil). **Revista Brasileira de Botânica**, v. 33, n. 1, p. 37–50, 2010.
- DE REZENDE, C. L. *et al.* Atlantic Forest spontaneous regeneration at landscape scale. **Biodiversity and Conservation**, v. 24, n. 9, p. 2255–2272, 2015.
- DEBANO, LF. The effect of forest fire on soil properties. Symposium on Management and Productivity of Western- Montane Forest Soil., **Boise**, p. 151-156, 1990.
- DOS SANTOS, J. F. C. *et al.* Wildfires as a major challenge for natural regeneration in Atlantic Forest. **Science of the Total Environment**, v. 650, p. 809–821, 2019.
- DURIGAN, G. *et al.* No Net Loss of Species Diversity After Prescribed Fires in the Brazilian Savanna. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 3, n. February, p. 1–15, 2020.
- ENGEL, V.L. & PARROTTA, J.A. Definindo a restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais. In: P.Y. Kageyama, R.E. Oliveira, L.F.D. Moraes, V.L. Engel & F.B. Gandara (orgs). **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. FEPAF, Botucatu, pp.1-26, 2008.
- FACHIN, P. A. *et al.* O Efeito Da Queimada Na Condutividade Hidráulica Do Solo Em Agricultura De Roça-De-Toco. **Geoambiente On-line**, v. 4, n. 27, p. 1–17, 2017.
- FERRAZ, S. F. B. *et al.* How good are tropical forest patches for ecosystem services provisioning? **Landscape Ecology**, v. 29, n. 2, p. 187–200, 2014.
- FIDELIS, A.; PIVELLO, V. Deve-se usar o fogo como instrumento de manejo no Cerrado e Campos Sulinos? **Biodiversidade Brasileira**, v. 1, n. 2, p. 12–25, 2011.
- GARCIA, C. C. *et al.* Regeneração natural de espécies arbóreas em fragmento de floresta estacional semidecidual montana, no domínio da mata atlântica, em Viçosa, MG. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 4, p. 677–688, 2011.
- GOERCK, J.M., Patterns of rarity in the birds of the Atlantic Forest of Brazil. **Conservation Biology** v. 11, n. 1, p. 112–118. 1997.
- GÓMEZ-REY, M. X.; GONZÁLEZ-PRIETO, S. J. Soil gross N transformation rates after a wildfire and straw mulch application for burned soil emergency stabilisation. **Biology and Fertility of Soils**, v. 51, n. 4, p. 493–505, 2015.
- GONÇALVES, F. L. A. *et al.* Manual crowning versus cardboard in forest restoration: Costs and effect on seedling development. **Planta Daninha**, v. 36, 2018.

- GONÇALVES, J. L. G.; FRANCISCO, P. R. M.; MORAES NETO, J. M. DE. Identificação de áreas degradadas na região semiárida utilizando imagens multiespectral e ndvi. **XLII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, n. 2008, p. 1–4, 2013.
- GORGONE-BARBOSA, E. *et al.* A importância da consideração de espécies invasoras no manejo integrado do fogo. **Biodiversidade Brasileira**, v. 6, n. 2, p. 27–40, 2016.
- GUILHERME, N.; PINTO, M. Análise da Degradação Ambiental nos Municípios e Mesorregiões do Estado do Paraná Analysis of Environmental Degradation in Cities and Mesoregions of Paraná Análisis de la Degradación Ambiental en Municipios y Mesorregiones del Estado de Paraná. p. 191–206, 2014.
- HUESCA, M. *et al.* Assessment of forest fire seasonality using MODIS fire potential: A time series approach. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 149, n. 11, p. 1946–1955, 2009.
- INPE, 2021. Banco de Dados de Queimadas.
<https://prodwwwqueimadas.dgi.inpe.br/bdqueimadas/>, Acesso: 15 de Janeiro de 2021.
- KULEVICZ, R. A. *et al.* Análise Da Vulnerabilidade Genética Das Florestas E Argumentos Para Redução Do Desmatamento. v. 23, 2020.
- LAURENTINO, M. L. S. *et al.* Aplicação dos índices de NDVI e EVI como análise da variação fisionômica da vegetação no Brejo de Altitude de Serra Negra-Bezerros/PE-Brasil. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, n. 1945, p. 3182–3189, 2011.
- LEAL, F. A.; SOUZA, C. M. DE; ALMEIDA, S. Utilização do NDVI na análise da vegetação após ocorrência de incêndio Application of NDVI in vegetation analysis after fire occurrence. p. 226–231, 2019.
- LEITE, S. P.; SILVA, C. R. DA; HENRIQUES, L. C. Impactos ambientais ocasionados pela agropecuária no Complexo Aluízio Campos. **Revista Brasileira de Informações Científicas**, Campina Grande, v. 2, n. 2, p. 59-64, 2011
- LIBERATO, A. M. Estimativa do Albedo e Índice de Área Foliar na Amazônia. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 1, p. 22–32, 2011.
- LOPES, S. DE F.; VALE, V. S. DO; SCHIAVINI, I. Efeito de queimadas sobre a estrutura e composição da comunidade vegetal lenhosa do cerrado sentido restrito em Caldas Novas, GO. **Revista Árvore**, v. 33, n. 4, p. 695–704, 2009.
- MAGNAGO, L. F. S. *et al.* Os processos e estágios sucessionais da mata atlântica como referência para a restauração florestal. In: MMARTINS, S.V. (Ed): **Restauração ecológica de ecossistemas degradados**, Viçosa, MG: Ed. UFV, 2012. p.69-100.

- MARTINS SV. Recuperação de áreas degradadas: Ações em áreas de preservação permanente, voçorocas, taludes rodoviários e de mineração. 3. ed. **Viçosa: Aprenda Fácil**; 2013.
- MARTINS, S.V. Soil seed bank as indicator potential in canopy gaps of a semideciduous Forest in Southeastern Brazil. In: FOURNIER, M.V. (Ed.) **Forest regeneration: ecology, management, and economics**. New York: Nova Science Publishers, p.113-128, 2009.
- MARTINS, S.V.; MIRANDA NETO, A.; RIBEIRO, T.M. Uma abordagem sobre diversidade e técnicas de restauração ecológica. In: MARTINS, S. V. (Ed.) **Restauração ecológica de ecossistemas degradados**. Viçosa: Editora UFV, p.17-40, 2012.
- MELO, E. T. *et al.* Application of the Normalized Difference Vegetation Index (Ndvi) in the Analysis of the Environmental Degradation of the Microbasin of Riacho Dos Cavalos, Crateús – Ce. *Ra´E Ga* 23, v. 23, p. 520–533, 2011.
- MELO, F. P. L. *et al.* On the hope for biodiversity-friendly tropical landscapes. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 28, n. 8, p. 462–468, 2013.
- MENDONÇA, L. A. R. *et al.* Avaliação da capacidade de infiltração de solos submetidos a diferentes tipos de manejo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 14, n. 1, p. 89–98, 2009.
- MILTON, S. Sensoriamento Remoto No Estudo Da Vegetação: Princípios Físicos, Sensores E Métodos. **Sensoriamento Remoto No Estudo Da Vegetação: Princípios Físicos, Sensores E Métodos.**, v. 12, n. 29, p. 127–144, 2018.
- MITTERMEIER, R.A.; MYERS, N.; ROBLES GIL, P.; MITTERMEIER, C.C. Hotspots. Mexico City: CEMEX SA y Agrupación Sierra Madre. 1999.
- MYERS, N. *et al.* Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853–858, 2000.
- OLIVEIRA, I. M. S. *et al.* Análise multitemporal da regeneração natural da candeia após ocorrência de incêndio florestal. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 12, n. 2, p. 192-197, 2017.
- REIS, B. P. *et al.* Influence of fire on the natural regeneration of a semideciduous seasonal rainforest fragment. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 4, 2018.
- REZENDE, C. L. *et al.* From hotspot to hopespot: An opportunity for the Brazilian Atlantic Forest. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 16, n. 4, p. 208–214, 2018.
- RIBEIRO, M. C. *et al.* The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p. 1141–1153, 2009.
- RStudio Team (2019). **RStudio: Integrated Development for R**. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.

- SANSEVERO, J. B. B. *et al.* Past land-use and ecological resilience in a lowland Brazilian Atlantic Forest: implications for passive restoration. **New Forests**, v. 48, n. 5, p. 573–586, 2017.
- SCHMERBECK, J., Fiener, P. Wildfires, Ecosystem Services, and Biodiversity in Tropical Dry Forest in India. **Environmental Management** 56, 355–372 (2015).
- VERMA, S.; JAYAKUMAR, S. Impact of forest fire on physical, chemical and biological properties of soil: A. **Proceedings of the International Academy of ...**, v. 2, n. 3, p. 168–176, 2012.
- WAGNER, F. H. *et al.* Mapping Atlantic rainforest degradation and regeneration history with indicator species using convolutional network. **PloS one**, v. 15, n. 2, p. 1-24, 2020.

7 APÊNDICE A – CARACTERÍSTICAS DOS POLÍGONOS

Polígono	Tempo desde o último incêndio	Frequência de incêndios	Área Aberta	Sucessão Inicial	Cobertura Florestal
1	6	9	0,000	0,404	0,596
2	6	9	0,061	0,358	0,638
3	6	3	0,003	0,085	0,912
4	6	3	0,000	0,083	0,917
5	6	4	0,003	0,213	0,784
6	1	19	0,192	0,787	0,021
7	1	14	0,000	0,163	0,837
8	1	13	0,001	0,054	0,945
9	1	8	0,014	0,440	0,546
10	1	9	0,006	0,123	0,871
11	1	14	0,010	0,274	0,716
12	1	10	0,00	0,784	0,216
13	1	11	0,521	0,479	0,000
14	1	12	0,026	0,937	0,037
15	1	14	0,019	0,750	0,230
16	1	12	0,048	0,611	0,341
17	1	15	0,007	0,315	0,678
18	1	20	0,169	0,825	0,006
19	1	18	0,470	0,240	0,289
20	1	10	0,008	0,323	0,670
21	1	1	0,000	0,012	0,988
22	1	18	0,060	0,153	0,787
23	2	4	0,265	0,158	0,577
24	2	3	0,980	0,020	0,000
25	1	4	0,001	0,164	0,835
26	10	9	0,039	0,729	0,233
27	7	5	0,010	0,465	0,525
28	5	11	0,001	0,236	0,763
29	5	13	0,002	0,204	0,795
30	5	9	0,002	0,495	0,503
31	0	2	0,081	0,723	0,196
32	0	13	0,049	0,475	0,476
33	6	11	0,210	0,790	0,000
34	1	7	0,253	0,712	0,035
35	1	18	0,691	0,309	0,000
36	1	18	0,675	0,325	0,000
37	1	19	0,129	0,433	0,438
38	1	11	0,268	0,421	0,311