



Relação entre ocorrência de fogo e variáveis de distância na região do Matopiba

Trabalho Final apresentado ao curso de Introdução ao Geoprocessamento (SER-300), do programa de pós-graduação em Sensoriamento Remoto, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, como requisito obrigatório para a conclusão do curso.

Docente: Prof. Dr. Antônio Miguel Vieira Monteiro

Discente: Renata Moura da Veiga

São José dos Campos

Junho de 2021

RESUMO

O fogo é um elemento essencial para a manutenção da integridade de ambientes adaptados e/ou dependentes do fogo, como é o caso do Cerrado brasileiro. A região do Matopiba pertence majoritariamente ao Cerrado e é uma fronteira agrícola do Brasil. Assim, é necessário compreender a dinâmica do fogo na região. Este estudo avaliou a relação entre ocorrência de focos de calor e quatro variáveis: uso e cobertura da terra, áreas protegidas, rodovias e rios. *Buffers* de até 20 km foram criados para estimar esta relação. Ao redor dos focos de calor, predominam vegetações naturais, em especial formações savânicas, e áreas de pastagem e agricultura. Além disso, 17% destes *buffers* estão cobertos por áreas protegidas. Nos 20km mais próximos de rodovias e rios se localizaram aproximadamente 80% e 90% dos focos, respectivamente. Foi possível melhor compreender o comportamento do fogo na área de estudo, mas as análises podem ser complementadas com dados de clima, cicatriz e frequência de fogo.

Palavras-chave: Buffer; Cerrado; Focos de calor; Fogo; Matopiba.

Lista de figuras

Figura 1 - Delimitação da região do Matopiba inserida nos estados brasileiros.	8
Figura 2 - Delimitação da região do Matopiba inserida nos biomas brasileiros.....	9
Figura 3 - Focos de calor no Matopiba no ano de 2020.....	10
Figura 4 - Mapa de Calor dos focos de calor de 2020 na região do Matopiba.	11
Figura 5 - Uso e cobertura da terra no Matopiba a partir da reclassificação dos dados do MapBiomas Coleção 5.0.	12
Figura 6 - Áreas protegidas no Matopiba. (a) Terras Indígenas e Unidades de Conservação. (b) Áreas Protegidas.	13
Figura 7 - Rodovias estaduais da região do Matopiba.	14
Figura 8 - Rios navegáveis na região do Matopiba.....	15
Figura 9 - Distância mínima entre rios e focos de calor de 2020 na região do Matopiba. (a) Delimitação do Matopiba, com foco na área de exemplo. (b) Área de exemplo de distância mínima entre rio e foco.	16
Figura 10 - Buffers nos focos de calor. (a) Buffers de focos em toda a região do Matopiba. (b) Ênfase em uma área da região de estudo com os focos de calor sobrepostos aos buffers.....	18
Figura 11 - Classes de Uso e Cobertura da Terra dentro dos buffers de um foco de calor. (a) Localização do foco de calor no Matopiba. (b) Classes de Uso e Cobertura da Terra dentro dos buffers deste foco.	19
Figura 12 - Porcentagem de uso e cobertura da terra nos quatro buffers ao redor dos focos de calor.....	20
Figura 13 - Área Protegida dentro dos buffers de um foco de calor. (a) Localização do foco de calor no Matopiba. (b) Área Protegida dentro dos buffers deste foco.	22
Figura 14 - Buffers nas rodovias estaduais. (a) Buffers de rodovias em toda a região do Matopiba. (b) Ênfase em uma área da região de estudo com os focos de calor sobrepostos aos buffers.	23
Figura 15 - Buffers nos rios navegáveis. (a) Buffers de rios em toda a região do Matopiba. (b) Ênfase em uma área da região de estudo com os focos de calor sobrepostos aos buffers.....	24

Lista de tabelas

Tabela 1 - Reclassificação das classes de uso e cobertura da terra. As IDs se referem aos identificadores estabelecidos pelo MapBiomas coleção 5.0, assim como os nomes das classes, exceto pela classe Outros.	12
Tabela 2 - Porcentagem de área por classe de uso e cobertura da terra no Matopiba.....	17
Tabela 3 - Número total de focos e porcentagem de focos dentro dos buffers de rodovias.	22
Tabela 4 - Número total de focos e porcentagem de focos dentro dos buffers de rios.	24

Sumário

1. Introdução	6
2. Objetivos	7
3. Materiais e Métodos.....	8
3.1. Área de estudo	8
3.2. Base de dados e pré-processamento.....	10
3.2.1. Focos de calor	10
3.2.2. Uso e Cobertura da Terra	11
3.2.3. Áreas Protegidas	13
3.2.4. Rodovias	13
3.2.5. Rios.....	14
3.3. Processamento de dados	15
3.3.1. Criação dos <i>buffers</i>	15
3.3.2. Preenchimento dos <i>buffers</i>	17
4. Resultados e Discussão	17
4.1. Uso e Cobertura da Terra	17
4.2. Áreas Protegidas.....	21
4.3. Rodovias	22
4.4. Rios	23
5. Considerações finais.....	25
6. Referências Bibliográficas.....	26

1. Introdução

Os impactos do fogo na vegetação são em geral considerados negativos pelos seres humanos, que tendem a eliminá-los (Fidelis, 2020). Políticas de fogo-zero, que excluem o fogo dos ecossistemas, persistem em ambientes adaptados e/ou dependentes do fogo desde a colonização, eliminando o uso do fogo antes praticado por populações tradicionais (Moura, Scariot, Schmidt, Beatty, & Russell-Smith, 2019). As savanas são exemplos destes ambientes, também chamados de pirofíticos. Assim, ambientes pirofíticos coevoluíram com o fogo, fazendo dele um elemento essencial para a manutenção da sua integridade ecológica e das populações tradicionais que os habitam (Gomes, Miranda, Silvério, & Bustamante, 2020; Lamont & He, 2017; Mistry, Schmidt, Eloy, & Bilbao, 2019; Pilon et al., 2020).

No Brasil, só em 2012, a partir do chamado ‘Novo Código Florestal’, a legislação brasileira permitiu o uso controlado de fogo em Unidades de Conservação (UCs) para fins de conservação em ambientes que coevoluíram com o fogo (Lei 12.651/2012, Artigo 38), como o Cerrado. A partir daí, programas de fogo controlado começaram a se desenvolver no país, que muitas vezes se baseiam no uso tradicional do fogo como forma de manejo, integrando os conhecimentos científico e tradicional (Mistry, Bilbao, & Berardi, 2016). Esta prática é conhecida como Manejo Integrado do Fogo (MIF), e um de seus objetivos é diminuir a quantidade de combustível inflamável, evitando assim grandes incêndios florestais no final da estação seca (setembro-outubro) (Eloy, Bilbao, Mistry, & Schmidt, 2019; Schmidt & Eloy, 2020), além de favorecer a biodiversidade (Gomes, Miranda, Soares-Filho, et al., 2020; Pilon et al., 2020).

No Brasil, o manejo de fogo foi iniciado em 2014 a partir do Programa Piloto de MIF, que envolveu três UCs: Parque Nacional da Chapada das Mesas, Parque Estadual do Jalapão e Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins (Schmidt, Fonseca, Ferreira, & Sato, 2016b). Estas UCs estão inseridas na região denominada de Matopiba, acrônimo para a junção dos estados de Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. Mais de 90% da região está inserida no bioma Cerrado, e mais de 21% do seu território está sob forma de área protegida (Embrapa, 2015). Contudo, o Matopiba é uma região de fronteira agrícola, onde a vegetação natural vem sendo altamente convertida em áreas de agricultura e pastagem desde a década de 1980, se destacando pela produção de soja, milho e algodão (Belchior, Alcântara, & Barbosa, 2017). No ano de 2020, quase 70% do desmatamento do Cerrado se deu nos quatro estados que compõem o Matopiba (INPE, 2021b). Assim, o Matopiba

não é um território administrativo, e sim uma região espacial que se refere a esta área de expansão agrícola.

Devido à importância do fogo para o ambiente em que o Matopiba está inserido e ao desenvolvido econômico da região promovido pelo avanço agropecuário, é importante compreender o comportamento do fogo na região. Uma das formas de avançar este conhecimento é através da análise de focos de calor. Os focos de calor são pontos detectados por satélites, que registram temperaturas acima de 47 graus Celsius (Pereira, 2019). Apesar de esforços para evitar falsas-deteções pelos satélites, um foco não necessariamente representa incêndio ou queimada. Além disso, uma mesma queimada ou incêndio pode gerar mais de um foco de calor, dependendo da sua extensão (Pereira, 2019). Mesmo com estas limitações, os focos de calor são amplamente usados para se avaliar queimadas e incêndios (ver Falleiro, Santana, & Berni, 2016; Mcrae & Sharples, 2015; Tedim et al., 2018).

Assim, este trabalho busca explorar variáveis que podem se relacionar com a ocorrência de focos de calor, a partir da análise da proximidade destas com os focos de 2020 na região do Matopiba. 2020 foi um ano de fogo intenso para todo o Brasil, que registrou o maior número de focos de calor desde 2010 (INPE, 2021a). Com intensa atividade antrópica na região e importância das áreas protegidas para a conservação de ecossistemas, as variáveis escolhidas foram (1) uso e cobertura da terra, (2) áreas protegidas, compostas por UCs e TIs, (3) rodovias e (4) rios.

As hipóteses são que há maior número de focos de calor em: formações savânicas e campestres, por possuírem maior quantidade de material inflamável; fora de áreas protegidas, por não aplicarem o MIF e por haver menos controle quanto ao uso do fogo; próximos às rodovias, por serem áreas de alta atividade antrópica, que são, muitas vezes, responsáveis pela ocorrência do fogo; longe de rios, pelas condições climáticas próximas aos corpos d'água serem menos favoráveis ao espalhamento do fogo.

2. Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é relacionar a ocorrência de fogo com a proximidade entre focos de calor e variáveis de interesse, a partir do entendimento da distribuição dos focos ao redor destas variáveis. Os objetivos específicos são:

- Estimar a porcentagem de classes de uso e cobertura da terra ao redor dos focos de calor;
- Estimar a porcentagem de áreas de Unidades de Conservação e de Terras Indígenas ao redor dos focos de calor;
- Quantificar o número total de focos de calor ao redor de rodovias;
- Quantificar o número total de focos de calor ao redor de rios.

3. Materiais e Métodos

3.1. Área de estudo

A região do Matopiba se refere a área de encontro dos estados Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (Figura 1), englobando alguns municípios destes quatro estados. Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), o Matopiba encobre uma área de mais de 73 milhões de hectares, sendo composto por 135 municípios do Maranhão, 139 do Tocantins, 33 do Piauí e 30 da Bahia (Belchior et al., 2017). A região abrange os biomas Cerrado, Amazônia e Caatinga,

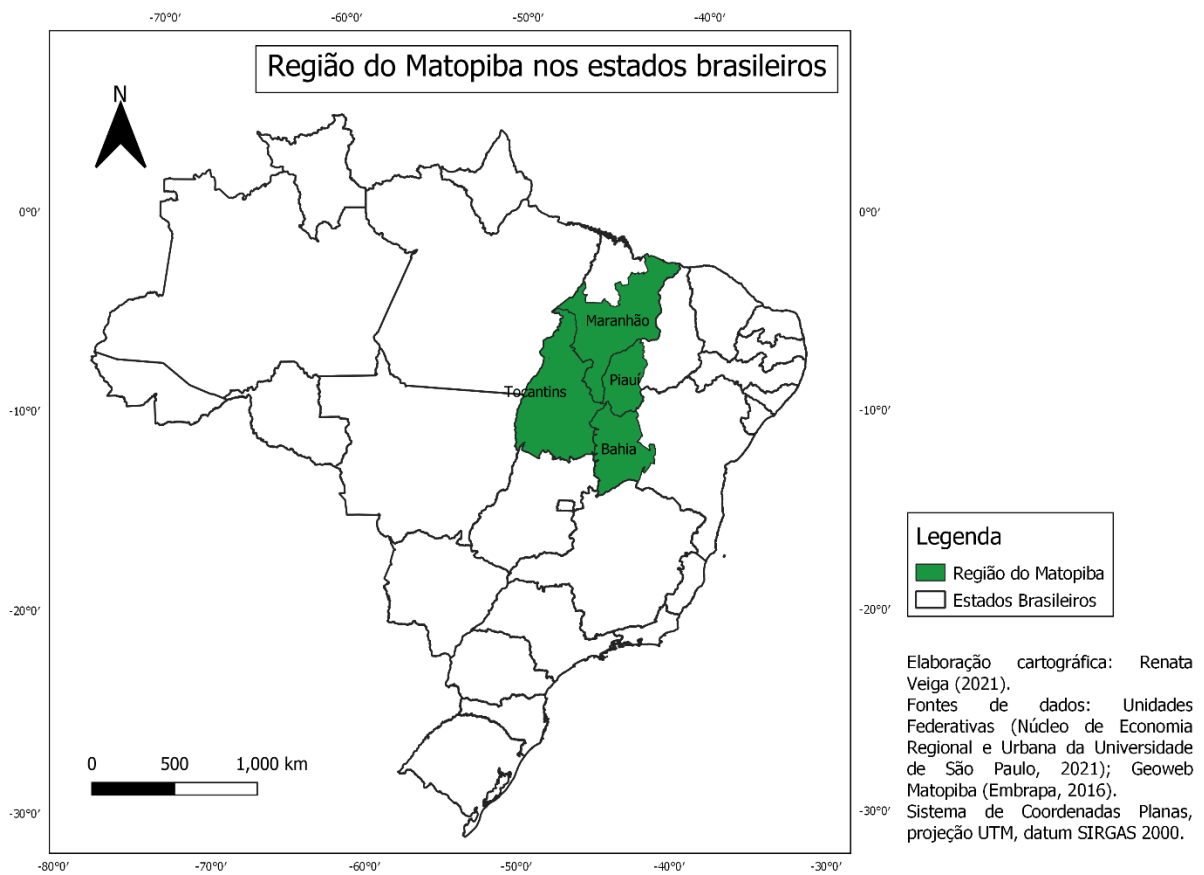


Figura 1 - Delimitação da região do Matopiba inserida nos estados brasileiros.

sendo composta majoritariamente pelo Cerrado: 91%, 7,3% e 1,7%, respectivamente (Figura 2). Assim, estão presentes no Matopiba formações florestais, savânicas e campestres.

O Matopiba abrange seis unidades climáticas, sendo predominado por climas tropical semi-úmido, com períodos de seca de 4 a 5 meses do ano, e semi-árido, com períodos de seca de 6 meses (Embrapa, 2015). Toda a região se caracteriza por temperaturas elevadas, acima de 18°C ao longo de todo o ano (Embrapa, 2015). A área abrange quatro regiões hidrográficas: Tocantins-Araguaia, Parnaíba, Atlântico Nordeste Ocidental e São Francisco (Embrapa, 2015). Na região, encontram-se áreas protegidas que ocupam cerca de 21% do território, distribuídos em Unidades de Conservação, Terras Indígenas, Assentamentos e Quilombolas (Embrapa, 2015).

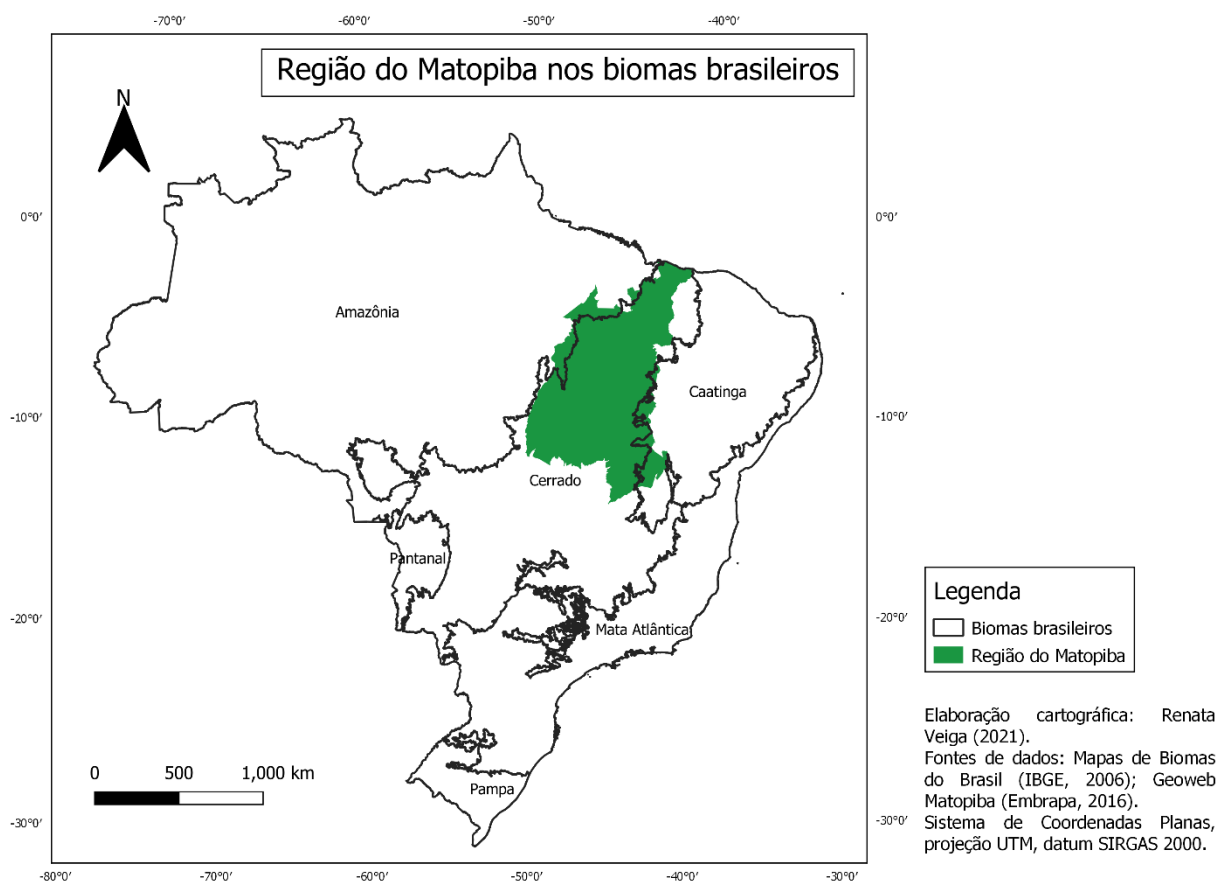


Figura 2 - Delimitação da região do Matopiba inserida nos biomas brasileiros.

Considerado fronteira agrícola, o Matopiba se consolidou a partir da expansão do agronegócio na década de 1980 com modelos de produção altamente mecanizados (Belchior et al., 2017). Desde então, o investimento em logística, que inclui malhas rodoviárias, é crescente a fim

de facilitar a comercialização da produção. Em 2018, a região foi responsável por quase 10% da produção nacional de soja e milho, o equivalente a 15 milhões de toneladas (Embrapa, 2021).

3.2. Base de dados e pré-processamento

O banco de dados utilizado para as análises é composto de: focos de calor, uso e cobertura da terra, áreas protegidas, rodovias e rios.

3.2.1. Focos de calor

Os dados de focos de calor foram extraídos do Programa Queimadas (<https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Foram utilizados todos os focos do ano de 2020 detectados pelo satélite de referência (sensor MODIS satélite AQUA), conforme a Figura 3. Ao todo, foram detectados 33.065 focos de calor na região do Matopiba.

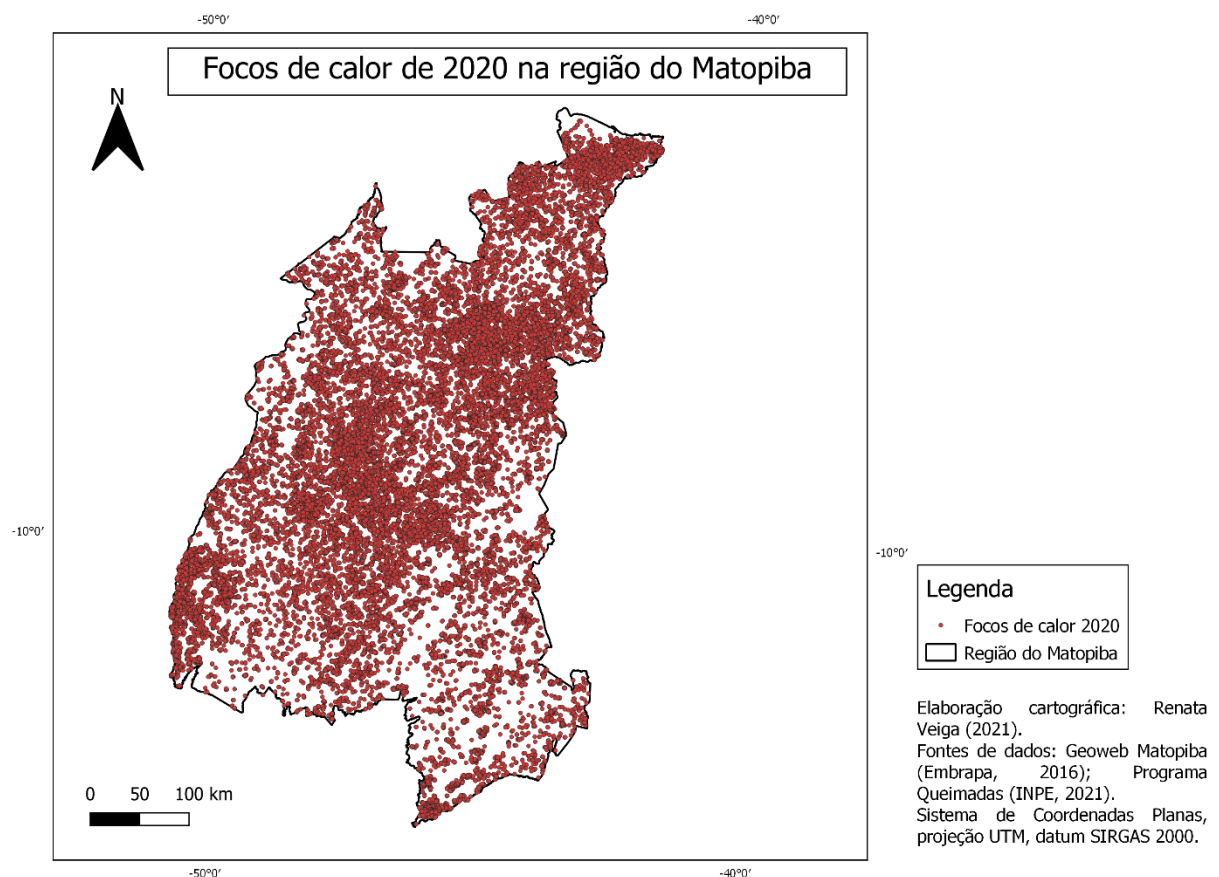


Figura 3 - Focos de calor no Matopiba no ano de 2020.

Para melhor compreender a distribuição e densidade dos focos ao longo da área de estudo, foi gerado um Mapa de Calor (Figura 4), a partir da função *Heatmap (Kernel Density Estimation)*

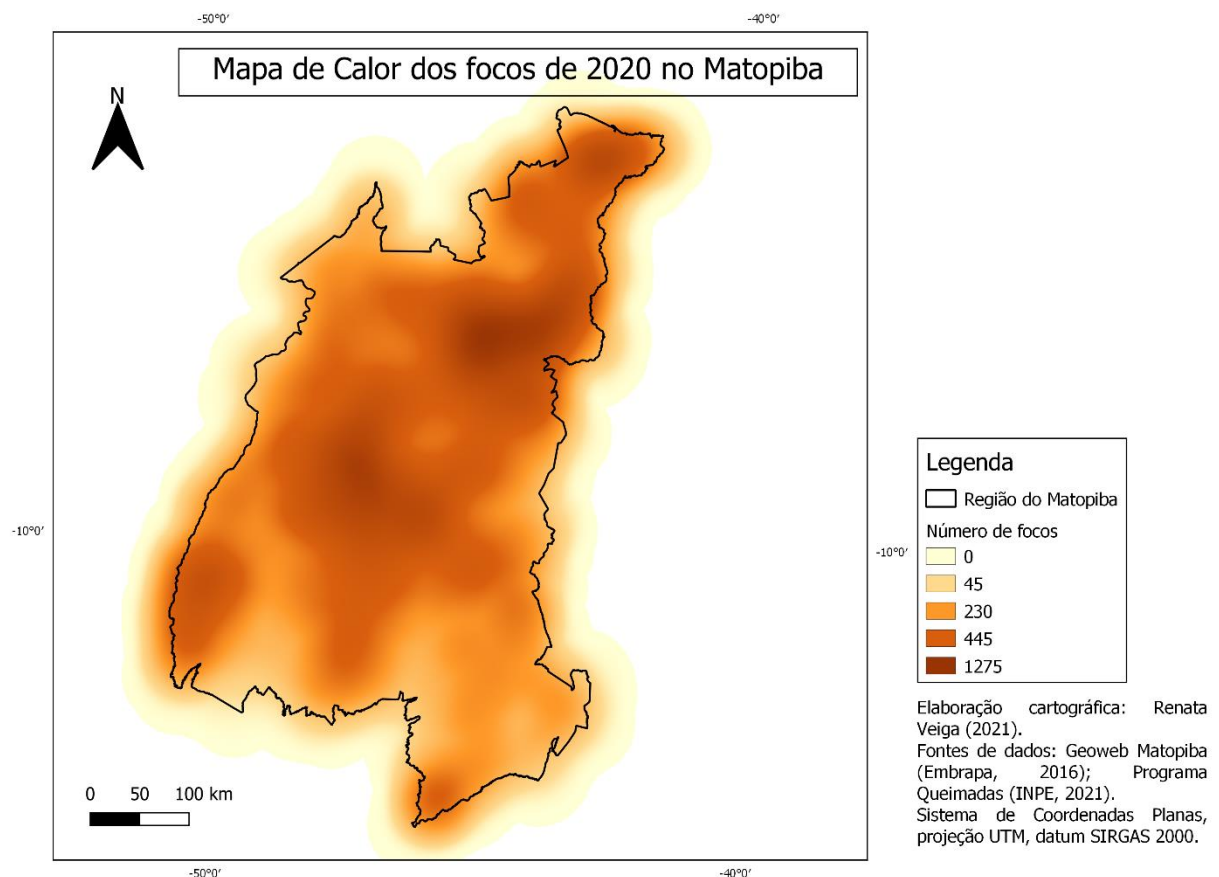


Figura 4 - Mapa de Calor dos focos de calor de 2020 na região do Matopiba.

do QGIS 3.14.01, no qual é possível observar onde há maior concentração de focos: áreas mais escuras indicam maior número de focos de calor.

3.2.2. Uso e Cobertura da Terra

Os dados de Uso e Cobertura da Terra foram extraídos do Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomias - <https://mapbiomas.org/download>), coleção 5.0, referente ao ano de 2019. O MapBiomias utiliza imagens dos satélites Landsat e faz uma classificação pixel a pixel, com resolução espacial de 30 por 30 metros (MapBiomias, 2021). Para este trabalho, as classes foram reagrupadas a partir do operador *r.reclass* do software Grass (Geographic Resources Analysis Support System), utilizado dentro do software QGIS 3.14.1. A reclassificação está detalhada na Tabela 1.

Tabela 1 - Reclassificação das classes de uso e cobertura da terra. As IDs se referem aos identificadores estabelecidos pelo MapBiomias coleção 5.0, assim como os nomes das classes, exceto pela classe Outros.

ID(s) Inicial(is)	ID Reclassificada	Nome da Classe Reclassificada
3	3	Formação Florestal
4	4	Formação Savânica
9	9	Floresta Plantada
12	12	Formação Campestre
15	15	Pastagem
39, 20, 41, 36	18	Agricultura
21	21	Mosaico de Agricultura e Pastagem
24	24	Infraestrutura Urbana
33, 31	26	Corpos d'Água
5, 11, 32, 29, 13, 23, 20, 25	40	Outros

A partir da reclassificação, foi gerado o mapa de Uso e Cobertura da Terra utilizado neste trabalho (Figura 5).

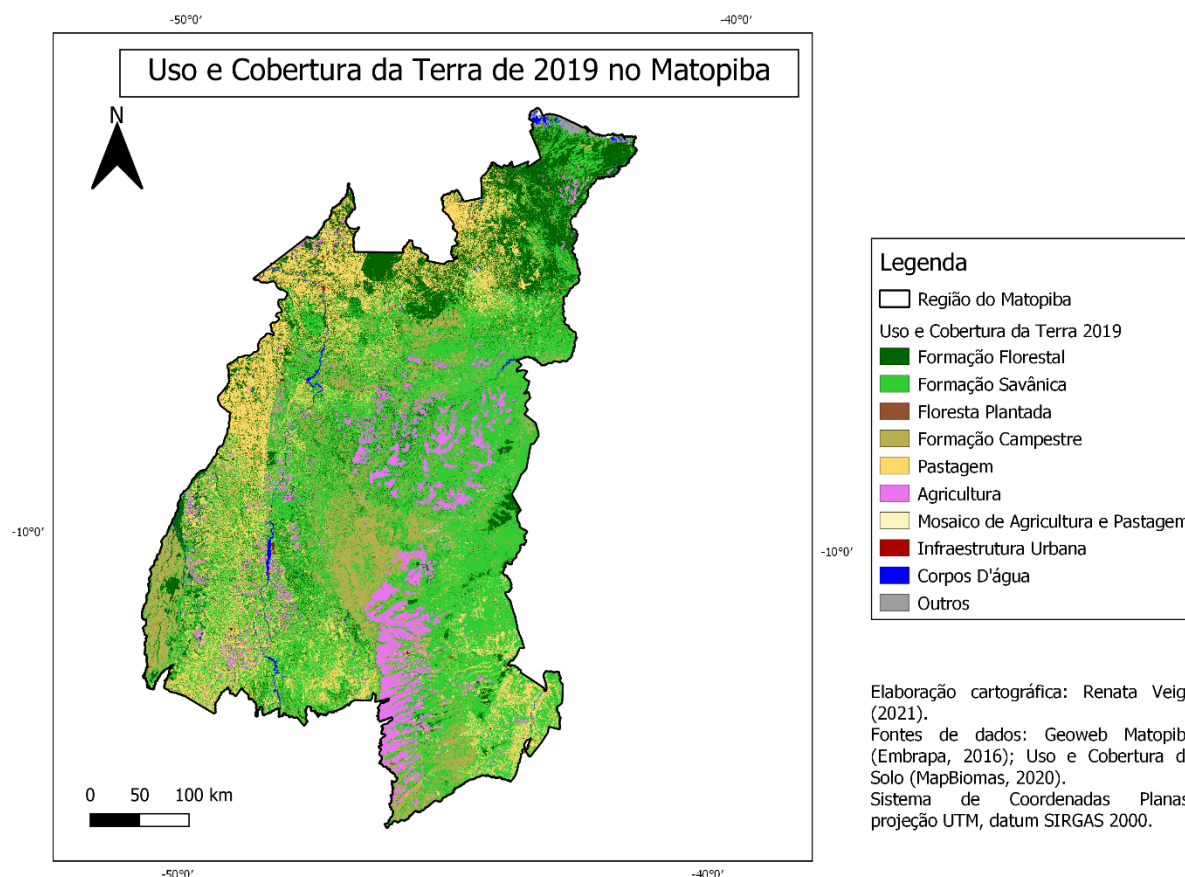


Figura 5 - Uso e cobertura da terra no Matopiba a partir da reclassificação dos dados do MapBiomias Coleção 5.0.

3.2.3. Áreas Protegidas

O dado de Áreas Protegidas foi composto pelos dados de Unidades de Conservação (UC), do Ministério do Meio Ambiente (2021; <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>) e de Terras Indígenas (TI), da Fundação Nacional do Índio (2021; - <http://www.funai.gov.br/index.php/shape>). Os dados vetoriais de UC e TI foram agrupados no QGIS 3.14.1, onde as sobreposições foram eliminadas a partir das funções *Intersecção*, *Diferença* e *Merge*.

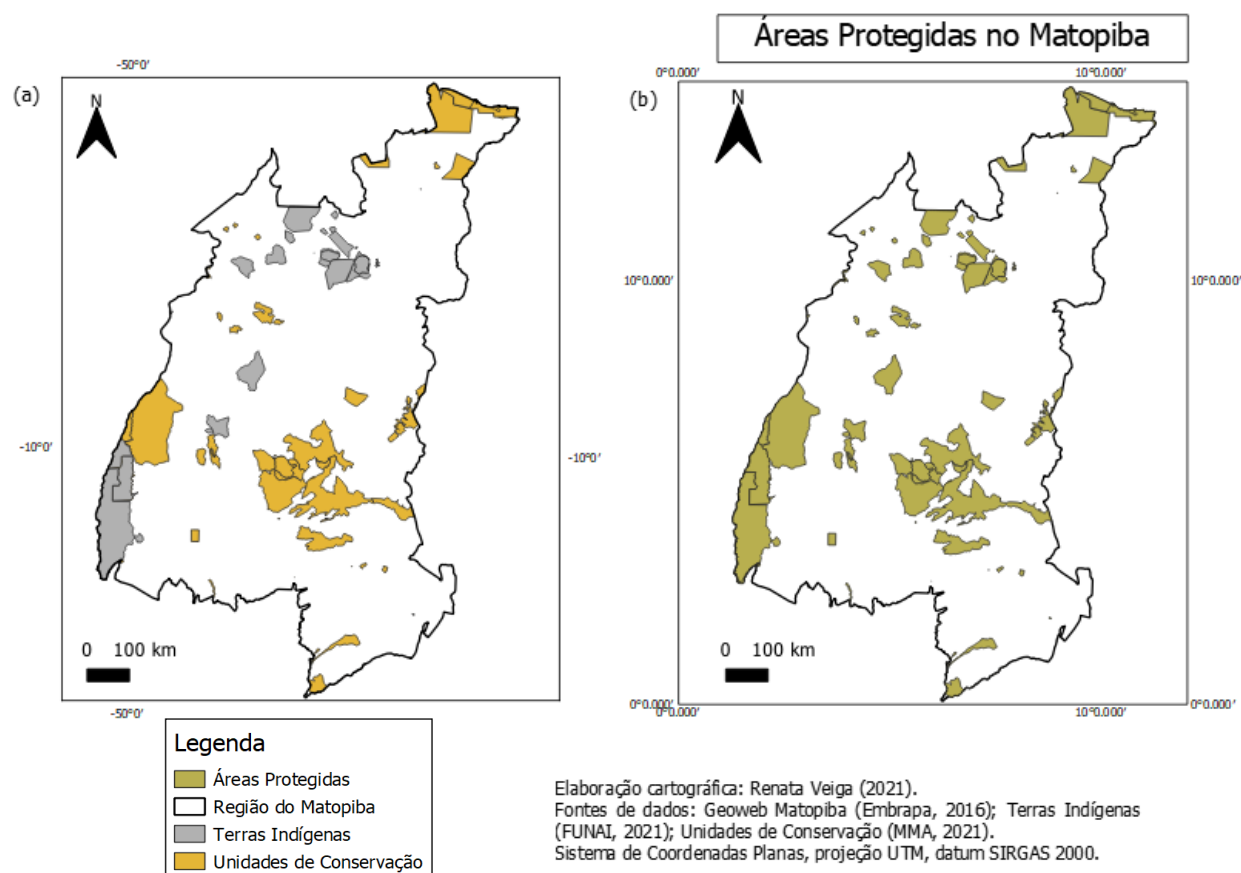


Figura 6 - Áreas protegidas no Matopiba. (a) Terras Indígenas e Unidades de Conservação. (b) Áreas Protegidas.

3.2.4. Rodovias

A camada vetorial de rodovias utilizada neste trabalho englobou as rodovias estaduais da região do Matopiba, e foi importada do Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (2021), a partir do Portal DNITGeo (<http://servicos.dnit.gov.br/vgeo/>), gerando o mapa de rodovias estaduais do Matopiba (Figura 7).

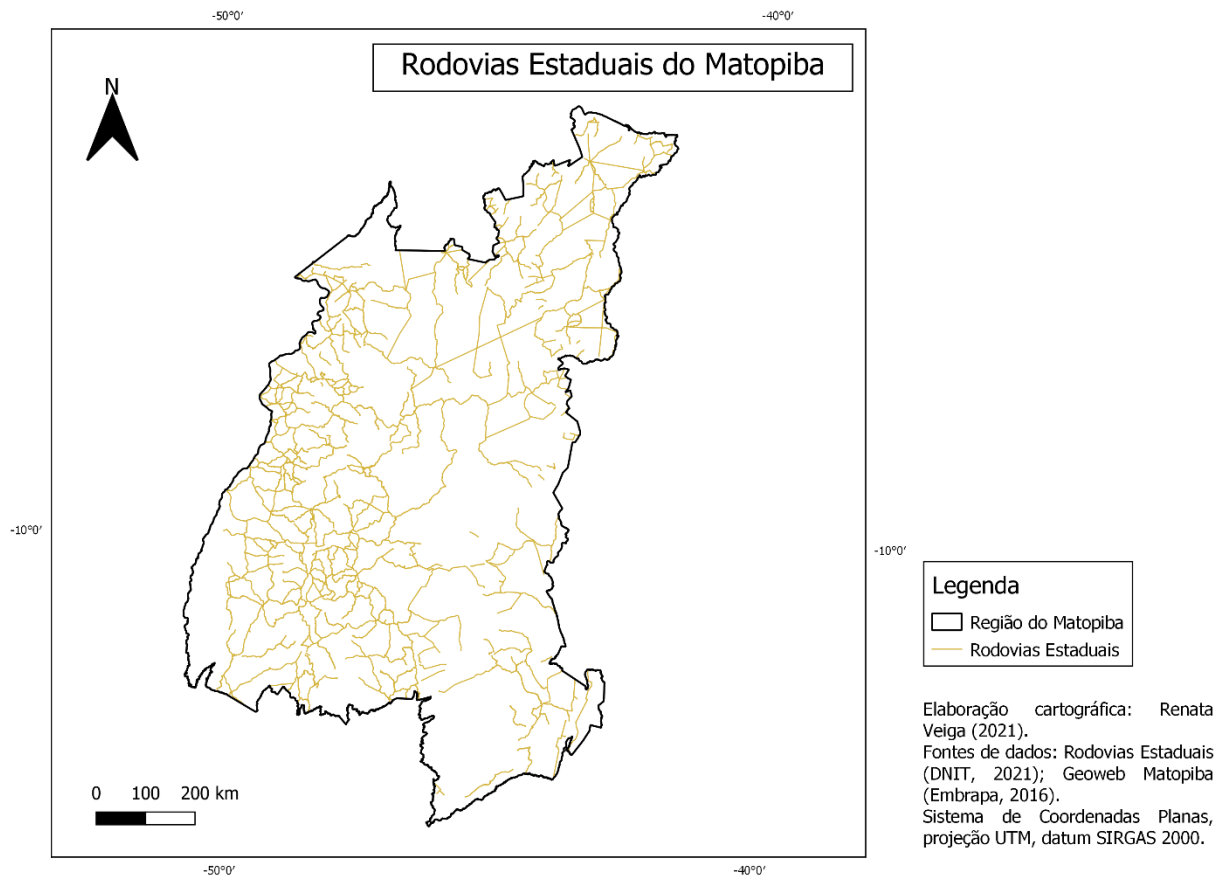


Figura 7 - Rodovias estaduais da região do Matopiba.

3.2.5. Rios

A camada vetorial de rios englobou os rios navegáveis da região, e foi importada do Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT), do Ministério da Infraestrutura, de 2010 (<https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transporte-terrestre/base-de-dados-georreferenciada>) (Figura 8).

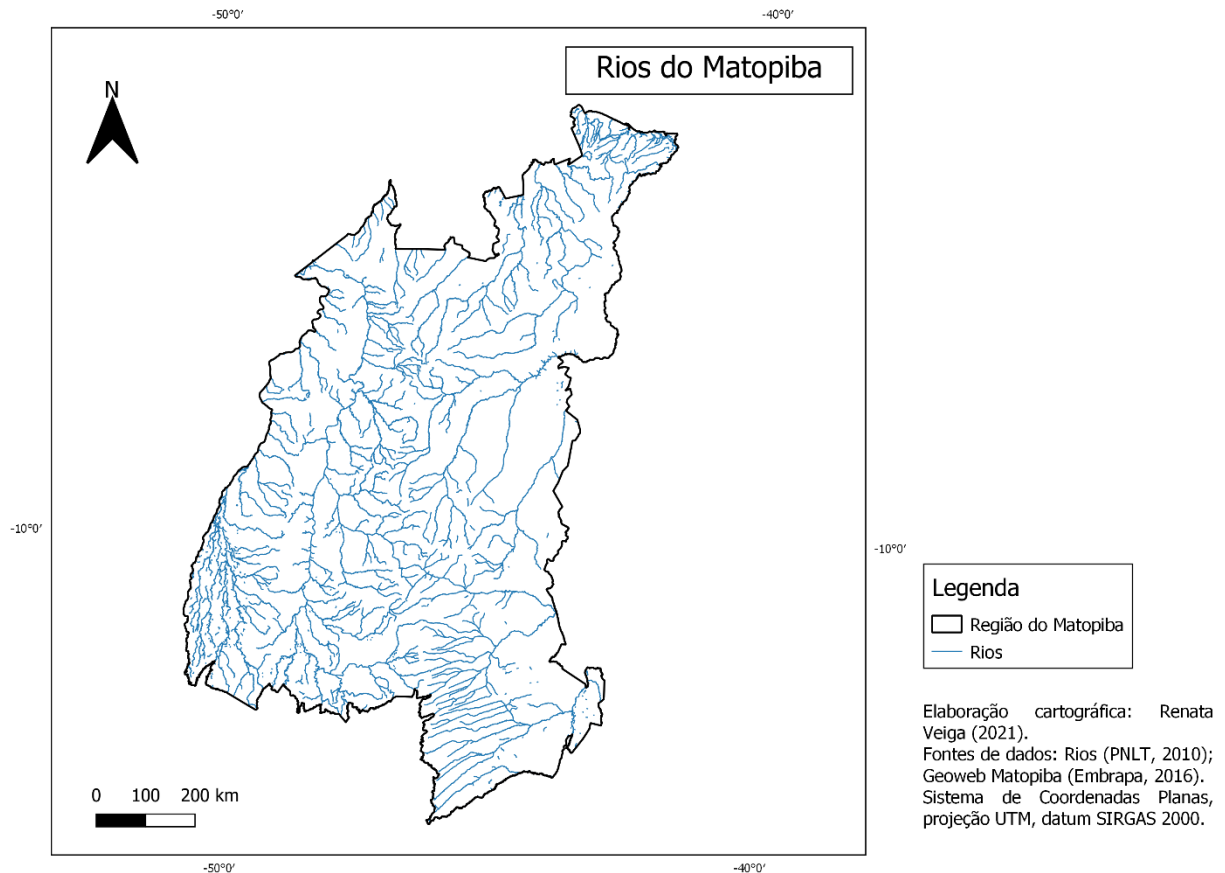


Figura 8 - Rios navegáveis na região do Matopiba.

3.3. Processamento de dados

O processamento de dados se deu a partir da manipulação da base de dados descrita na seção anterior, e foi dividido em duas etapas: criação de bordas de 5, 10, 15 e 20 km, ou *buffers*, e preenchimento dos *buffers*.

3.3.1. Criação dos *buffers*

A escolha do tamanho dos *buffers* ocorreu a partir da análise da distância mínima entre as linhas de rodovias e rios e os focos de calor. A distância mínima foi encontrada a partir de duas operações:

- Transformação da camada de linhas de rodovias e rios em camadas de pontos, onde foram colocados pontos a cada 100 metros, a partir do operador *points along geometry* do QGIS 3.14.01;

- Distância entre foco e ponto mais próximo no rio ou rodovia através do operador *distance to nearest hub (line to hub)* do QGIS 3.14.01.

A Figura 9 exemplifica o resultado das operações descritas acima a partir dos dados de rios. A camada de rodovias seguiu o mesmo procedimento.

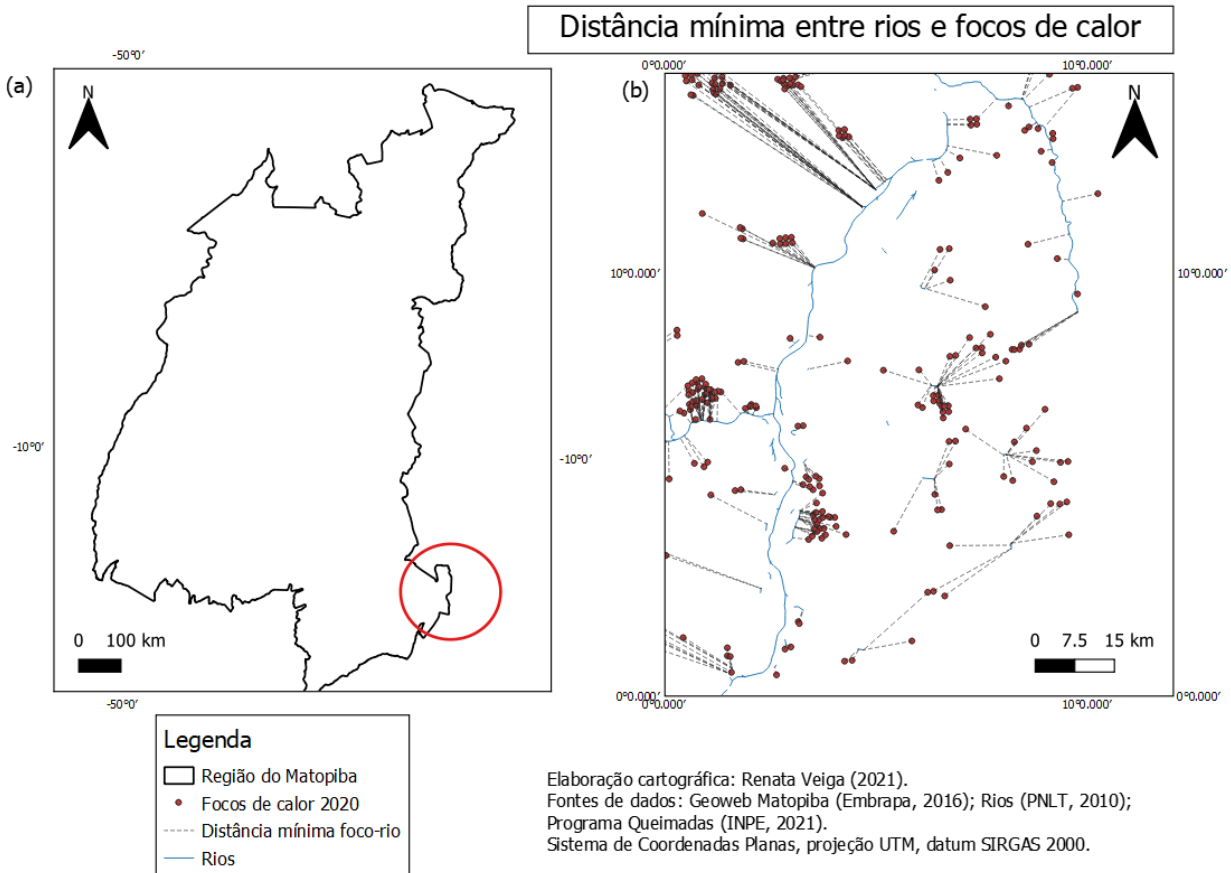


Figura 9 - Distância mínima entre rios e focos de calor de 2020 na região do Matopiba. (a) Delimitação do Matopiba, com foco na área de exemplo. (b) Área de exemplo de distância mínima entre rio e foco.

As distâncias mínimas entre rios e focos variaram entre 0,08 e 58 km. Entre rodovias e focos, estas distâncias variaram entre 0,01 e 133 km. Em ambos, mais da metade dos focos estavam nos primeiros 10 km. Assim, optou-se por utilizar quatro *buffers* de mesmo tamanho, sendo o tamanho máximo igual ao dobro de 10 km, resultando em *buffers* de 5, 10, 15 e 20 km.

Os *buffers* foram desenvolvidos nos dados de rodovias e rios, onde foi realizada a contagem de focos dentro de cada *buffer*, e no dado de focos de calor, onde foram calculadas as porcentagens de área de cada classe de uso e cobertura da terra e de áreas protegidas dentro de cada *buffer*. Todos os *buffers* foram feitos a partir do *plug-in Multi Ring Buffer* do QGIS 3.14.01.

3.3.2. Preenchimento dos *buffers*

A contagem da quantidade de focos de calor dentro dos *buffers* de 5, 10, 15 e 20 km nas camadas de rodovia e rio foi feita a partir do operador *Total Number of Values* do processo de preenchimento de camada vetorial para camada vetorial, disponível no *software* TerraView 5.5.1. As porcentagens de área coberta por área protegida e por classes de uso e cobertura da terra foram calculadas no mesmo *software*. Para as áreas protegidas, o operador utilizado foi *Percentage of Total Area*, de camada vetorial para vetorial. Já para as classes de uso e cobertura da terra, foi utilizado o operador *Percentage of Each Class by Area*, de camada matricial para vetorial.

Os valores resultantes dos preenchimentos são agregados nas tabelas de atributos das respectivas camadas de *buffers*. A interpretação destes valores se deu a partir da elaboração de mapas, tabelas e gráficos, no *software* QGIS 3.14.01 e no editor de planilhas Microsoft Excel, gerando os resultados deste trabalho.

4. Resultados e Discussão

4.1. Uso e Cobertura da Terra

A região do Matopiba é composta majoritariamente por Formação Savânica, seguida de Pastagem, Formação Florestal e Formação Campestre, conforme tabela a seguir (Tabela 2). As Formações Florestal, Savânica e Campestre correspondem à 72,47% do Matopiba, indicando que a maior parte da região ainda é ocupada por uso natural. Agrupando as demais classes, com exceção da classe Outros, que pode incluir tanto usos naturais quanto antrópicos, tem-se que 28,24% do território pertence à usos antrópicos, dos quais 96,67% são destinados à Agricultura e Pastagem.

Tabela 2 - Porcentagem de área por classe de uso e cobertura da terra no Matopiba.

Classe de Uso e Cobertura da Terra	Porcentagem de Área
Formação Savânica	44,75%
Pastagem	19,60%
Formação Florestal	16,39%
Formação Campestre	11,33%
Agricultura	7,70%
Outros	0,71%
Corpos d'Água	0,67%

Mosaico de Agricultura e Pastagem	0,25%
Infraestrutura Urbana	0,15%
Floresta Plantada	0,07%

Quando as classes são avaliadas dentro dos *buffers* de focos (Figura 10), como exemplificado na Figura 11, tem-se que as cinco primeiras classes da Tabela 2 se mantêm em todas as extensões de *buffers*.

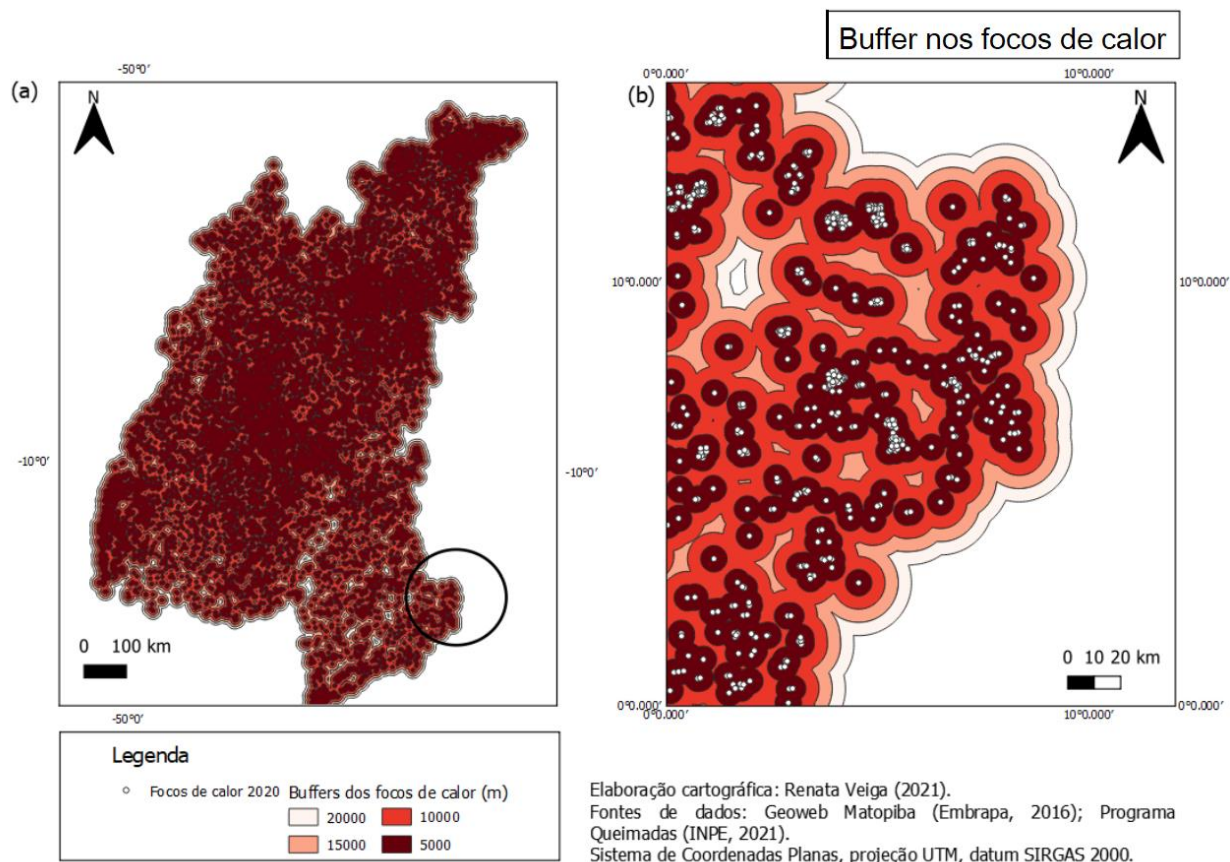


Figura 10 - *Buffers* nos focos de calor. (a) *Buffers* de focos em toda a região do Matopiba. (b) Ênfase em uma área da região de estudo com os focos de calor sobrepostos aos *buffers*.

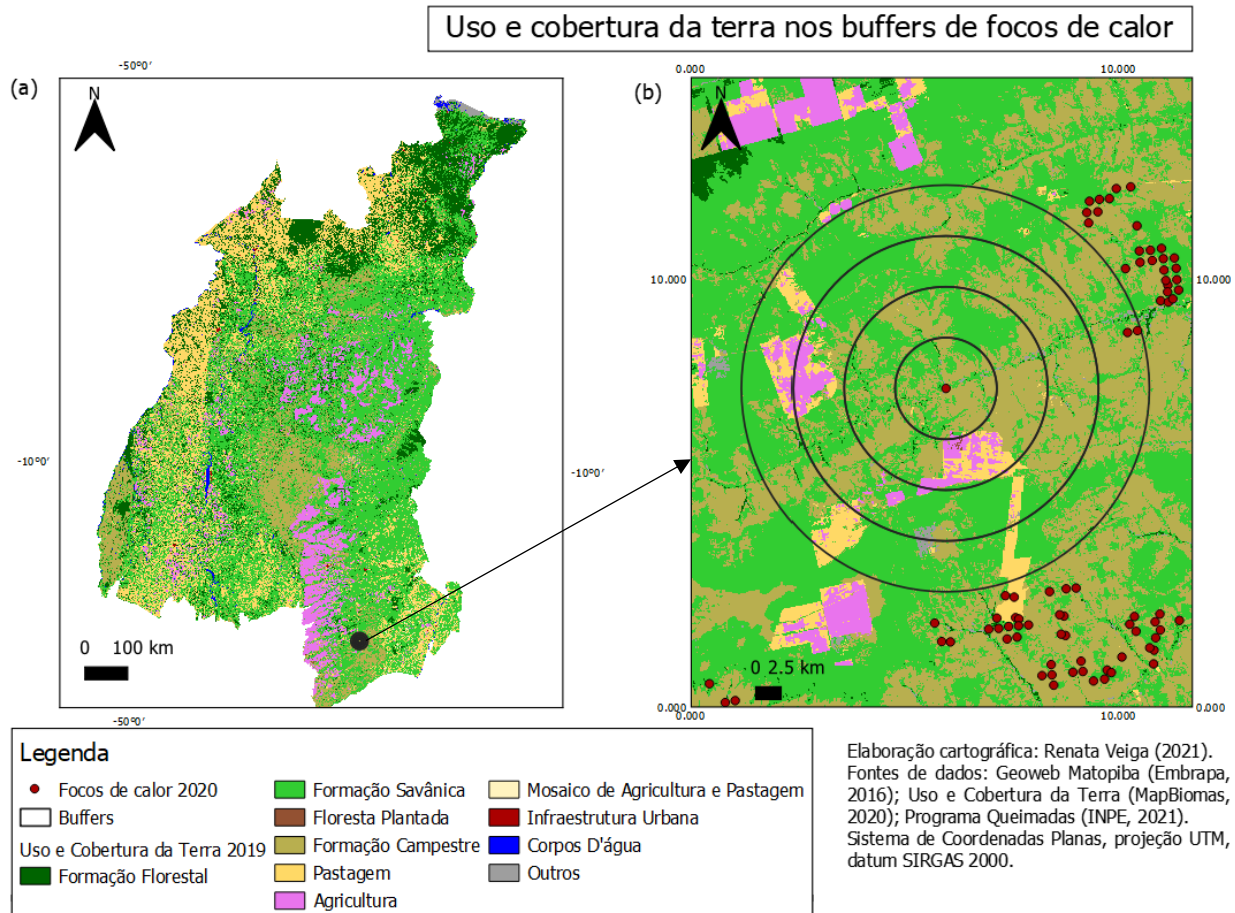


Figura 11 - Classes de Uso e Cobertura da Terra dentro dos *buffers* de um foco de calor. (a) Localização do foco de calor no Matopiba. (b) Classes de Uso e Cobertura da Terra dentro dos *buffers* deste foco.

Nos quatro *buffers* (5, 10, 15 e 20 km), as classes de maior representatividade são a Formação Savânica, que decresce à medida que os *buffers* aumentam, seguida de Pastagem. As outras três classes (Agricultura e Formações Florestal e Campestre) se alternam, conforme mostra o gráfico (Figura 12).

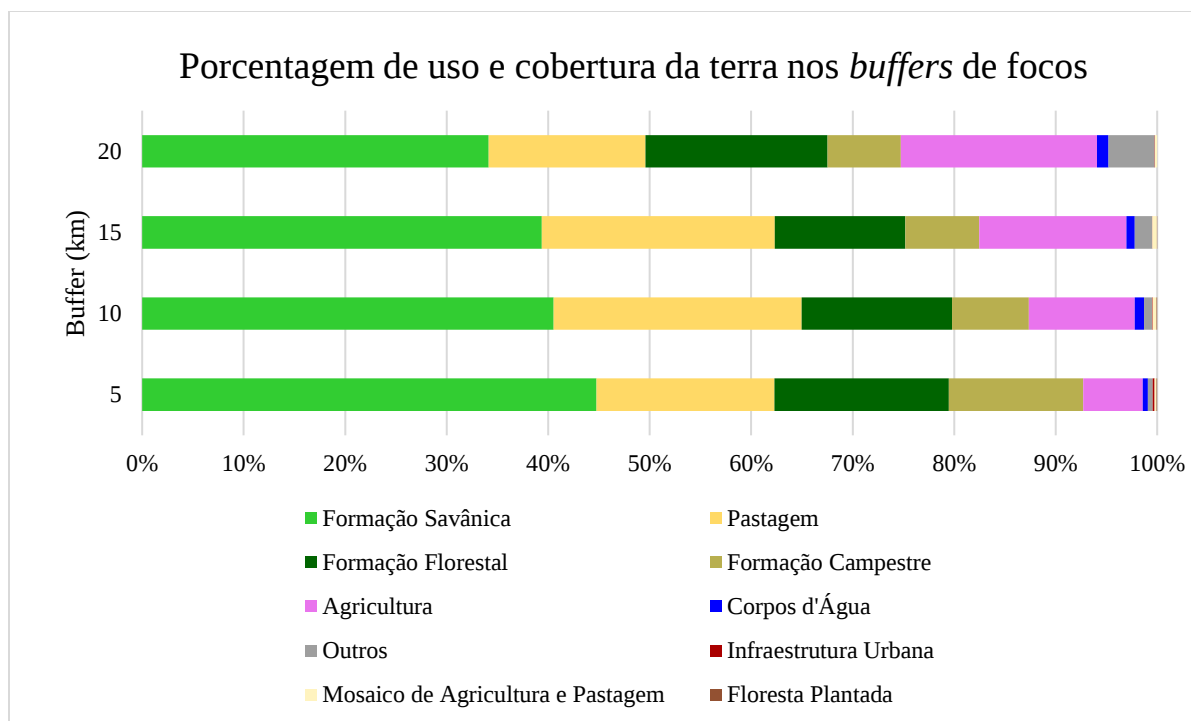


Figura 12 - Porcentagem de uso e cobertura da terra nos quatro *buffers* ao redor dos focos de calor.

As Formações Savânica e Campestre são as que mais queimam no Cerrado devido ao fato do material combustível ser altamente inflamável (predominantemente composto por gramíneas), e à abertura das áreas, que favorece o espalhamento do fogo (Fidelis, 2020). Além disso, a prática de fogo como forma de limpeza de área para implementação de pasto e agricultura é muito comum no Brasil, especialmente em áreas florestais por estas possuírem vegetação mais densa (Fidelis, 2020; Pivello, 2011).

A ocorrência de focos em áreas classificadas como Corpos d'Água pode indicar um erro na classificação do MapBiomas. No MapBiomas, a classificação das imagens é feita a partir de algoritmos de aprendizagem de máquinas (MapBiomas, 2021), ou *Machine Learning*, o que pode levar a classificação errônea de uso e cobertura da terra, como também observado em outros trabalhos (ver Barreto, da Silva, de Araújo, & Teixeira, 2021) e nas análises de acurácia e matrizes de erro do MapBiomas (Souza et al., 2020).

As porcentagens de classes próximas aos *buffers* se mostraram proporcionais às classes de todo o Matopiba. Uma análise climática, de tamanho de cicatriz de fogo e de frequência de fogo, em conjunto com os dados de uso e cobertura da terra, poderia contribuir para uma interpretação mais detalhada dos resultados. Na estação seca, formações vegetais abertas estão mais propensas

ao fogo natural, em geral causado por raios (Pausas & Keeley, 2009), queimando grandes áreas. Caso estas três outras variáveis fossem consideradas neste trabalho, uma maior concentração de focos em áreas campestres poderia ter sido observada durante a estação seca.

4.2. Áreas Protegidas

Da área total do Matopiba, 16,7% estão sob Área Protegida, sendo 5,7% em forma de Terra Indígena (TI) e 11,8% em forma de Unidade de Conservação (UC), subdividida em Proteção Integral (4,5%) e Uso Sustentável (7,3%). Como algumas áreas de TI e UC se sobrepõem e estas sobreposições foram excluídas, como descrito na seção de Materiais e Métodos, a soma das porcentagens de TI e UC ultrapassam os 16,7%.

Nos *buffers* de foco de calor (Figura 10), 17,6% do *buffer* de 5 km está coberto por área protegida, seguido de 11,9%, 8,6% e 5,9% para os respectivos *buffers* de 10, 15 e 20 km. A Figura 13 exemplifica esta proporção, onde a cobertura de área protegida decresce à medida que o *buffer* aumenta.

No Brasil e no mundo, é comum que áreas de vegetação natural estejam restritas a áreas protegidas, principalmente a Unidades de Conservação (Isabel Belloni Schmidt, Fonseca, Ferreira, & Sato, 2016a). Com o artigo 38 da Lei 12.651/2012, o uso do fogo controlado foi autorizado apenas dentro de UCs. Assim, é comum que queimadas iniciadas fora de áreas protegidas se espalhem para dentro delas (Isabel Belloni Schmidt et al., 2016a).

Assim, os focos de calor dentro das áreas protegidas e/ou próximos a elas podem ser explicados pela aplicação do MIF e de práticas tradicionais de fogo, e pela ocorrência de vegetação natural dentro destas áreas, uma vez que, como visto na seção 4.1, as áreas de vegetação natural foram representativas em números de focos de calor. Novamente, a correlação com dados climáticos, de cicatriz e de frequência de fogo poderiam contribuir para esta análise, indicando quando as queimadas estão ocorrendo (início ou final da estação seca), quantas vezes o fogo ocorreu em uma mesma área e qual o tamanho da área afetada pelas queimas.

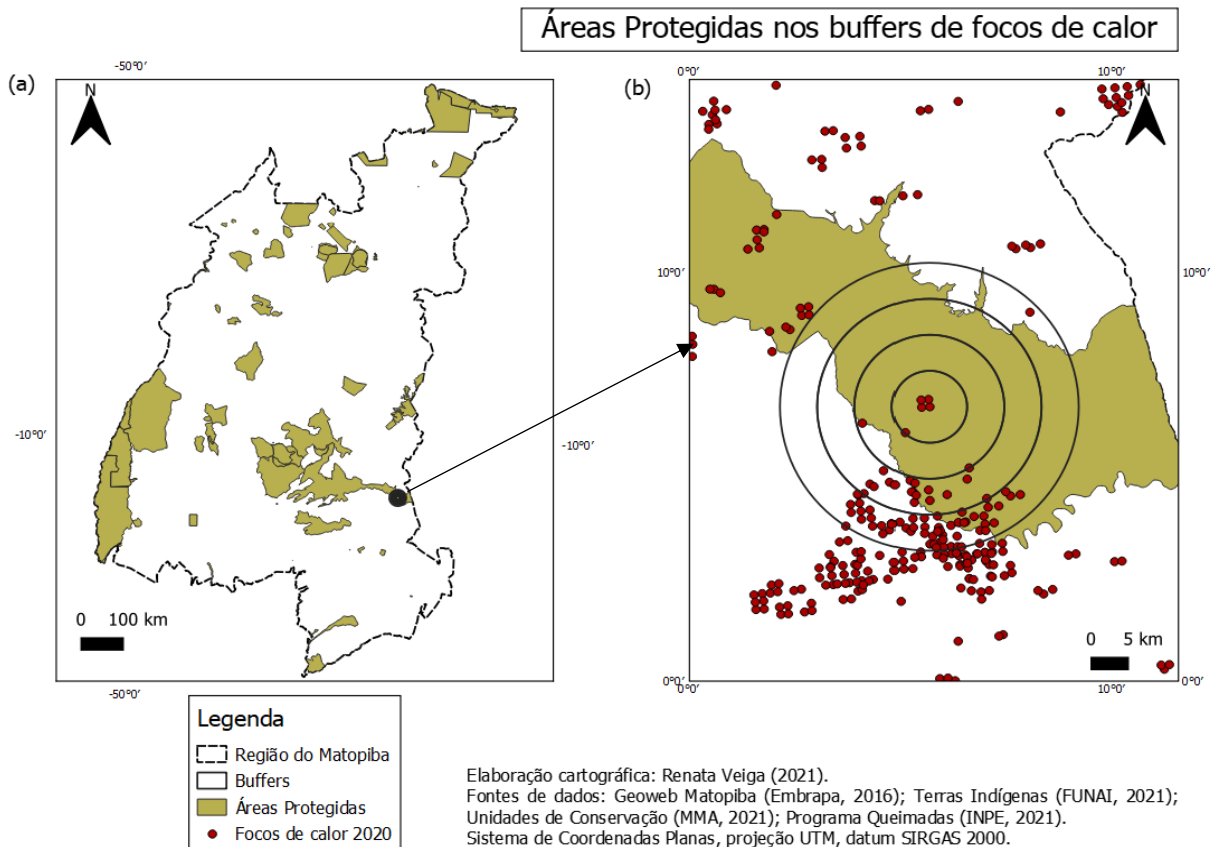


Figura 13 - Área Protegida dentro dos *buffers* de um foco de calor. (a) Localização do foco de calor no Matopiba. (b) Área Protegida dentro dos *buffers* deste foco.

4.3. Rodovias

Os *buffers* criados nas rodovias estaduais (Figura 14) mostraram que mais da metade dos focos de calor ocorreram nos 10km mais próximos das mesmas, e quase 80% nos 20km mais próximos, como indica a Tabela 3.

Tabela 3 - Número total de focos e porcentagem de focos dentro dos *buffers* de rodovias.

Buffer (km)	Contagem de focos	Porcentagem do número total de focos
5	10.216	30,90%
10	7.509	22,71%
15	5.143	15,55%
20	3.187	9,64%
Soma	26.055	78,80%

A ocorrência de focos de calor mais próxima de rodovias já foi observada em outros estudos (ver Pereira, França, & Santo, 2003). Isso tende a ocorrer porque o fogo iniciado de forma antrópica, proposital ou não, é comum em áreas de Cerrado (Fidelis, 2020; Pausas & Keeley, 2009). Assim, como as rodovias são de uso antrópico, é esperado que haja maior quantidade de focos de calor próximo à elas.

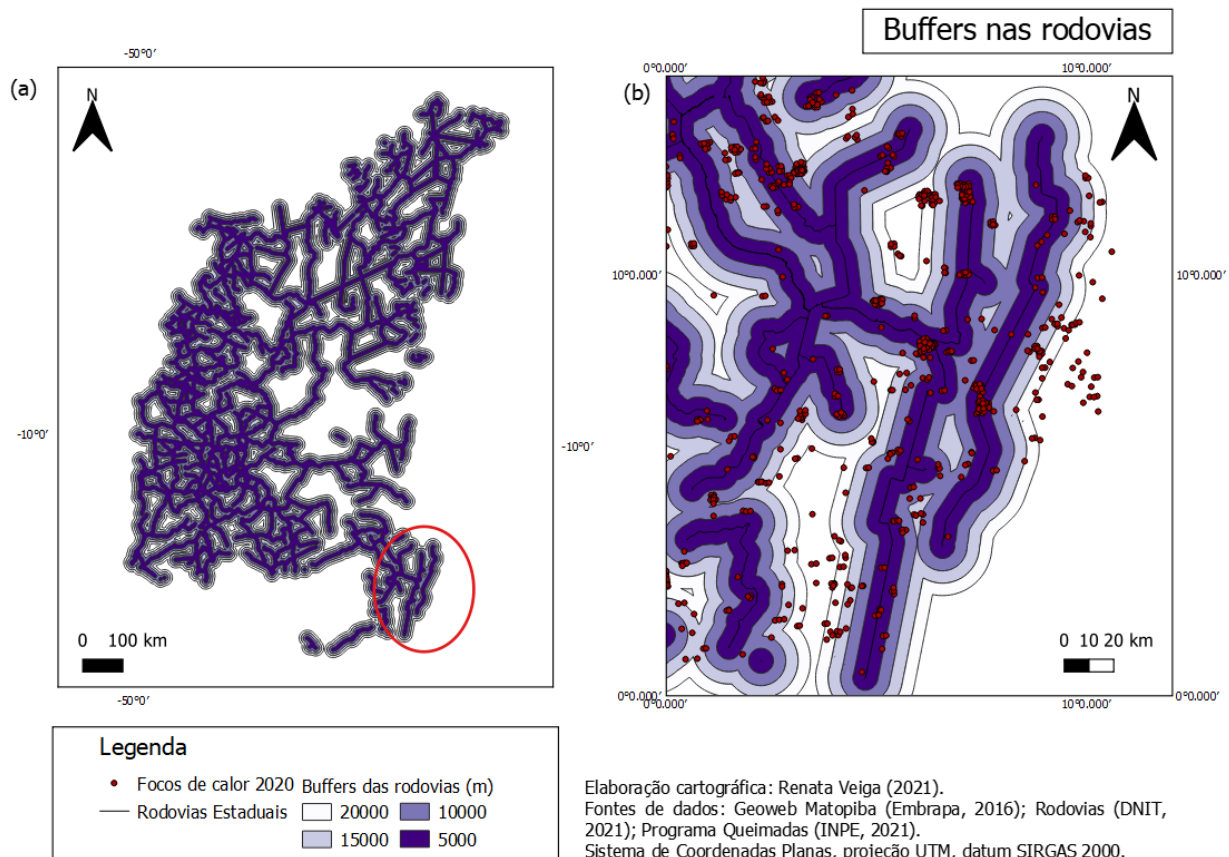


Figura 14 - *Buffers* nas rodovias estaduais. (a) *Buffers* de rodovias em toda a região do Matopiba. (b) Ênfase em uma área da região de estudo com os focos de calor sobrepostos aos *buffers*.

4.4. Rios

Os *buffers* criados nos rios navegáveis (Figura 15) indicam que quase metade dos focos de calor ocorreram nos 5 km mais próximos dos rios, e mais de 90% nos 20 km mais próximos (Tabela 4).

Tabela 4 - Número total de focos e porcentagem de focos dentro dos *buffers* de rios.

Buffer (km)	Contagem de focos	Porcentagem do número total de focos
5	15.062	45,55%
10	9.227	27,91%
15	4.513	13,65%
20	2.217	6,70%
Soma	31.019	93.81%

A ocorrência de focos de calor próxima de rios pode ser explicada pela vegetação que os cerca. No Cerrado, as fitofisionomias que beiram corpos d'água são, em geral, florestais (como Mata de Galeria e Mata Ciliar) e savânicas (como Veredas) (Ribeiro & Walter, 2008). Essas duas formações encobrem mais de 60% da área do Matopiba (Tabela 2).

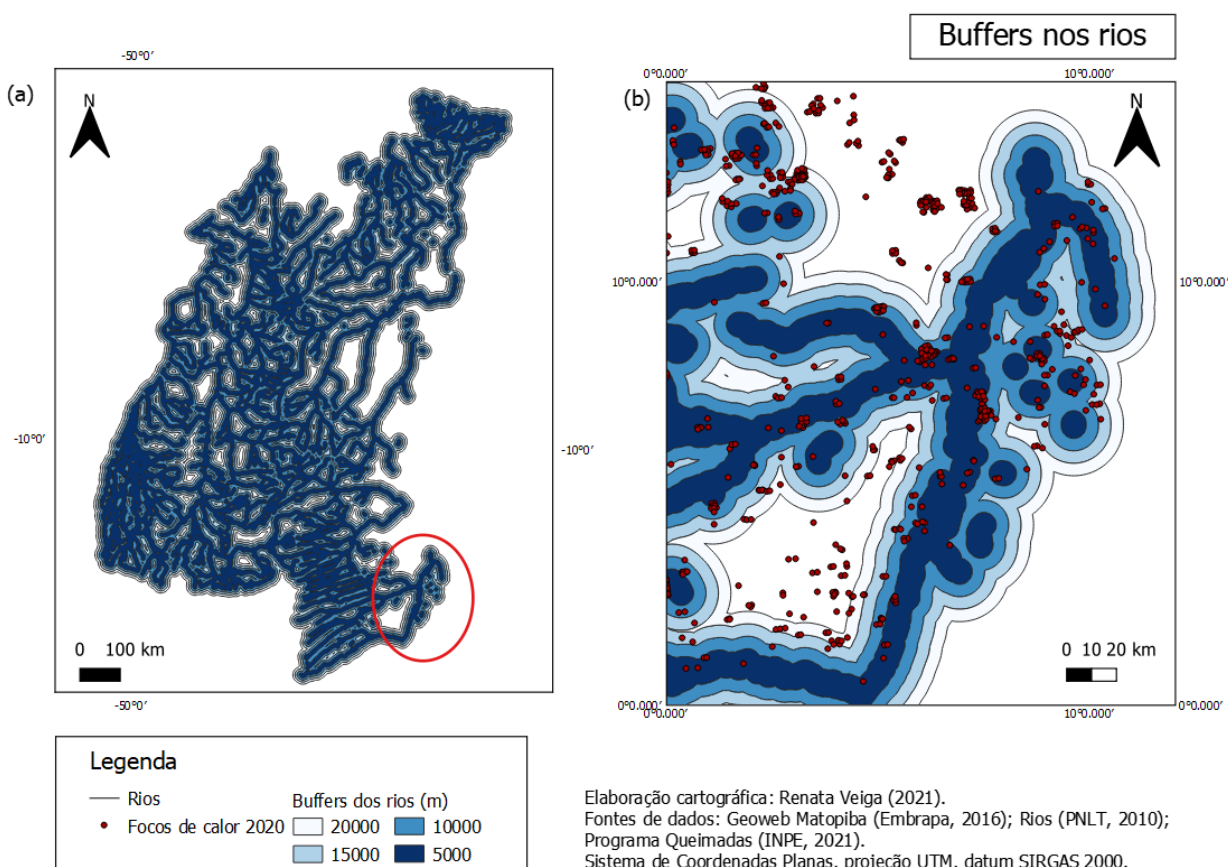


Figura 15 - *Buffers* nos rios navegáveis. (a) *Buffers* de rios em toda a região do Matopiba. (b) Ênfase em uma área da região de estudo com os focos de calor sobrepostos aos *buffers*.

Além disso, é esperado que as áreas queimadas próximas aos rios sejam menores do que áreas queimadas no interior da vegetação, devido à diferença das condições climáticas de umidade

e temperatura destas áreas, tendendo a ser mais úmido e frio próximo aos rios. Assim, apesar do número de focos ser maior nos *buffers* de menor raio, isso não indica uma maior severidade de fogo ou maior impacto nos ecossistemas que beiram corpos d'água (ver Schmidt, Fidelis, Miranda, & Ticktin, 2017). Mais uma vez, a agregação dos dados de cicatrizes de fogo poderia contribuir para esta análise.

5. Considerações finais

Neste trabalho foram exploradas quatro variáveis e suas relações com a proximidade de ocorrência de focos de calor: uso e cobertura da terra, áreas protegidas, rodovias e rios. Durante o ano de 2020, focos de calor afetaram toda a região do Matopiba. Essa região está majoritariamente inserida no Cerrado brasileiro, com mais de 70% da área coberta por vegetação natural, sendo a formação savânica a predominante no Matopiba. Além disso, a região é conhecida por ser uma fronteira agrícola e tem mais de 27% do território sob uso de pastagem e agricultura. Quando analisamos as áreas ao redor dos focos, as proporções de uso e cobertura da terra se mantêm.

Aproximadamente 17% da área está sob áreas protegidas, que neste trabalho englobou Unidades de Conservação e Terras Indígenas. Nos *buffers*, a área coberta por áreas protegidas diminui à medida que o raio do *buffer* aumenta. Isso pode estar relacionado com atividades de manejo de fogo e de práticas tradicionais de fogo, e com o predomínio de vegetação natural dentro destas áreas.

Os focos de calor se concentraram próximas às rodovias estaduais e aos rios navegáveis da região do Matopiba. Quase 80% dos focos ocorreram nos 20km mais próximos das rodovias. Esta relação era esperada, uma vez que é comum o fogo ser iniciado por ações antrópicas. Quanto aos rios, mais de 90% dos focos ocorreram nos primeiros 20 km, o que pode ser explicado pelas fitofisionomias que ocorrem perto de água que, no Cerrado, são em geral florestais e savânicas, duas formações que, juntas, encobrem mais de 60% da região do Matopiba.

Dados climáticos, de cicatriz de fogo e de frequência de fogo poderiam ser também analisados para melhor entender a ocorrência de fogo na região. Para uma análise ainda mais detalhada, os resultados poderiam ser explorados por estado que compõe o Matopiba, e os tipos de áreas protegidas, avaliados separadamente, favorecendo assim uma análise político-institucional mais adequada para cada território.

6. Referências Bibliográficas

- Barreto, J. B., da Silva, J. B., de Araújo, S. M. S., & Teixeira, R. O. (2021). Análise do sistema de validação e refinamento de alertas do Mapbiomas e do laudo de área desmatada em Altamira - PA, Brasil (2018 – 2021). *Research, Society and Development*, 10(6), 1–16.
- Belchior, E. B., Alcântara, P. H. R., & Barbosa, C. F. (2017). *Perspectivas e desafios para a região do Matopiba. Fronteira Agrícola* (Vol. 16).
- Eloy, L., A. Bilbao, B., Mistry, J., & Schmidt, I. B. (2019). From fire suppression to fire management: Advances and resistances to changes in fire policy in the savannas of Brazil and Venezuela. *Geographical Journal*, 185(1), 10–22. <https://doi.org/10.1111/geoj.12245>
- Embrapa. (2015). Delimitação e Caracterização Territorial do MATOPIBA. Retrieved from https://www.embrapa.br/gite/projetos/matopiba/150317_MATOPIBA_WEBSITE.pdf
- Embrapa. (2021). Matopiba - Perguntas e Respostas. Retrieved June 8, 2021, from <https://www.embrapa.br/tema-matopiba/perguntas-e-respostas>
- Falleiro, R. de M., Santana, M. T., & Berni, C. R. (2016). As contribuições do manejo integrado do fogo para o controle dos incêndios florestais nas Terras Indígenas do Brasil. *Biodiversidade Brasileira*, 6(2), 88–105.
- Fidelis, A. (2020). Is fire always the “bad guy”? *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 268(May), 151611. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2020.151611>
- Gomes, L., Miranda, H. S., Silvério, D. V., & Bustamante, M. M. C. (2020). Effects and behaviour of experimental fires in grasslands, savannas, and forests of the Brazilian Cerrado. *Forest Ecology and Management*, 458, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117804>
- Gomes, L., Miranda, H. S., Soares-Filho, B., Rodrigues, L., Oliveira, U., & Bustamante, M. M. C. (2020). Responses of Plant Biomass in the Brazilian Savanna to Frequent Fires. *Frontiers in Forests and Global Change*, 3(November), 1–11. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.507710>
- INPE. (2021a). Monitoramento dos Focos Ativos por País. Retrieved June 9, 2021, from https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal-static/estatisticas_paises/
- INPE. (2021b). TerraBrasilis - PRODES Cerrado. Retrieved June 9, 2021, from <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/cerrado/increments>
- Lamont, B. B., & He, T. (2017). Fire-Prone as a Prerequisite for the Evolution of Fire-Adapted Traits. *Trends in Plant Science*, 22(4), 278–288. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.11.004>
- MapBiomas. (2021). Visão Geral da Metodologia. Retrieved June 8, 2021, from <https://mapbiomas.org/visao-geral-da-metodologia>
- Mcrae, R., & Sharples, J. (2015). Assessing mitigation of the risk from extreme wildfires using MODIS hotspot data. In *21st International Congress on Modelling and Simulation*. Gold

- Coast, Australia. Retrieved from www.mssanz.org.au/modsim2015
- Mistry, J., Bilbao, B. A., & Berardi, A. (2016). Community owned solutions for fire management in tropical ecosystems: case studies from Indigenous communities of South America. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 371, 1–10. <https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0174>
- Mistry, J., Schmidt, I. B., Eloy, L., & Bilbao, B. (2019). New perspectives in fire management in South American savannas: The importance of intercultural governance. *Ambio*, 48, 172–179. <https://doi.org/10.1007/s13280-018-1054-7>
- Moura, L. C., Scariot, A. O., Schmidt, I. B., Beatty, R., & Russell-Smith, J. (2019). The legacy of colonial fire management policies on traditional livelihoods and ecological sustainability in savannas: Impacts, consequences, new directions. *Journal of Environmental Management*, 232, 600–606. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.057>
- Pausas, J. G., & Keeley, J. E. (2009). A burning story: The role of fire in the history of life. *BioScience*, 59(7), 593–601. <https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.7.10>
- Pereira, A., França, H., & Santo, J. E. (2003). Métodos para Avaliação da Susceptibilidade da Vegetação do Cerrado ao Fogo em Relação a Indicadores Antrópicos. In *Anais XI SBSR* (pp. 501–508).
- Pereira, Augusto. (2019). Entenda as diferenças entre queimadas, incêndios florestais e focos de calor. Retrieved June 9, 2021, from <http://www.mt.gov.br/-/12486299-entenda-as-diferencas-entre-queimadas-incendios-florestais-e-focos-de-calor>
- Pilon, N. A. L., Cava, M. G. B., Hoffmann, W. A., Abreu, R. C. R., Fidelis, A., & Durigan, G. (2020). The diversity of post-fire regeneration strategies in the cerrado ground layer. *Journal of Ecology*, 109(1), 154–166. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13456>
- Pivello, V. R. (2011). The use of fire in the cerrado and Amazonian rainforests of Brazil: Past and present. *Fire Ecology*, 7(1), 24–39. <https://doi.org/10.4996/fireecology.0701024>
- Ribeiro, J. F., & Walter, B. M. T. (2008). As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In *Cerrado: Ecologia e flora* (pp. 151–212).
- Schmidt, Isabel B., Fidelis, A., Miranda, H. S., & Ticktin, T. (2017). How do the wets burn? Fire behavior and intensity in wet grasslands in the Brazilian savanna. *Revista Brasileira de Botanica*, 40(1), 167–175. <https://doi.org/10.1007/s40415-016-0330-7>
- Schmidt, Isabel Belloni, & Eloy, L. (2020). Fire regime in the Brazilian Savanna: Recent changes, policy and management. *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 268, 151613. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2020.151613>
- Schmidt, Isabel Belloni, Fonseca, C. B., Ferreira, M. C., & Sato, M. N. (2016a). Experiências Internacionais de Manejo Integrado do Fogo em Áreas Protegidas – Recomendações para Implementação de Manejo Integrado de Fogo no Cerrado. *Biodiversidade Brasileira*, 6(2), 41–54. Retrieved from <http://www.icmbio.gov.br/revistaelectronica/index.php/BioBR/article/view/586>
- Schmidt, Isabel Belloni, Fonseca, C. B., Ferreira, M. C., & Sato, M. N. (2016b). Implementação

do Programa Piloto de Manejo Integrado do Fogo em três Unidades de Conservação do Cerrado. *Biodiversidade Brasileira*, 6(2), 55–70. Retrieved from <http://www.icmbio.gov.br/revistaelectronica/index.php/BioBR/article/view/656>

- Souza, C. M., Z. Shimbo, J., Rosa, M. R., Parente, L. L., A. Alencar, A., Rudorff, B. F. T., ... Azevedo, T. (2020). Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. *Remote Sensing*, 12(17), 2735. <https://doi.org/10.3390/rs12172735>
- Tedim, F., Leone, V., Amraoui, M., Bouillon, C., Coughlan, M., Delogu, G., ... Xanthopoulos, G. (2018). Defining Extreme Wildfire Events: Difficulties, Challenges, and Impacts. *Fire*, 1(1), 9. <https://doi.org/10.3390/fire1010009>