

Identificação de Áreas Quentes de Desmatamento no Cerrado por Meio do Estimador de Densidade *Kernel*: Estudo de Caso nas Microrregiões de Gerais das Balsas e Barreiras no MATOPIBA

Yan Breno Azeredo Gomes da Silva¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
São José dos Campos, SP.

yan.silva@inpe.br

Abstract. *The expansion of agribusiness in Brazil, although crucial for the economy, can have significant environmental consequences. This impact is evident in MATOPIBA, a region that stands out as the new agricultural frontier of the Cerrado, characterized by high deforestation rates. In this context, the objective of this study was to identify and analyze deforestation hotspots in the microregions of Gerais de Balsas and Barreiras, in MATOPIBA. For this purpose, data from PRODES Cerrado and TerraClass were used, undergoing preprocessing and geoprocessing stages. The technique of point cloud interpolation with the kernel density estimator was employed to generate heatmaps. The results revealed a progressive increase both in the number of deforestation hotspots and in the deforested area over the years analyzed. Gerais de Balsas had the highest number of hotspots, while Barreiras recorded the largest deforested areas. The hotspots identified in the heatmaps are associated with natural vegetation regions, pastures, and areas near urban centers. The intensity of deforestation is directly related to land use*

Resumo. *A expansão do agronegócio no Brasil, embora crucial para a economia, pode ter consequências ambientais significativas. Esse impacto é evidente em MATOPIBA, uma região que se destaca como a nova fronteira agrícola do Cerrado, caracterizada por altas taxas de desmatamento. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi identificar e analisar os focos de desmatamento nas microrregiões de Gerais de Balsas e Barreiras, em MATOPIBA. Para isso, foram utilizados dados do PRODES do Cerrado e do TerraClass, submetidos a etapas de pré-processamento e geoprocessamento. A técnica de interpolação da nuvem de pontos com o estimador de densidade kernel foi empregada para gerar mapas de calor. Os resultados revelaram um aumento progressivo tanto na quantidade de focos de desmatamento quanto na área desmatada ao longo dos anos analisados. Gerais de Balsas foi a microrregião com maior número de focos, enquanto Barreiras registrou as maiores áreas desmatadas. As áreas quentes identificadas nos mapas de calor estão associadas a regiões de vegetação natural, pastagens e áreas próximas a centros urbanos. A intensidade do desmatamento está diretamente relacionada ao uso da terra.*

1. INTRODUÇÃO

O agronegócio é uma atividade econômica crucial no Brasil, apresentando um superávit acumulado em exportações no ano de 2022 de mais de 43.7 bilhões de dólares¹.

¹ Segundo dados do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Disponível em: <https://static.poder360.com.br/2022/05/comercio-exterior-agro-abr-2022.pdf>

No entanto, essa característica econômica leva à adoção de políticas de expansão da agropecuária, que podem resultar em consequências ambientais significativas no espaço. Em particular, a intensificação da agricultura em importantes biomas brasileiros, como o Cerrado, tem levado à conversão de vegetações naturais em áreas de pastagens e/ou lavouras, o que tem sido um dos principais fatores responsáveis pelos efeitos negativos sobre o meio ambiente, como a perda de habitats naturais, biodiversidade e aumento nas emissões de gases de efeito estufa (MIAZI e FERREIRA, 2008; ROCHA et al., 2011).

Com mais de 20% do território brasileiro, o Cerrado se destaca como o segundo maior bioma da América Latina e é amplamente reconhecido como um dos hotspots de biodiversidade mundial (SANO et al., 2010). O termo "Cerrado" é utilizado para descrever uma variedade de ecossistemas presentes na região do Brasil Central, que abrangem desde pastagens até florestas, sendo influenciados por fatores como umidade, composição do solo e precipitação (KLINK e MACHADO, 2005; ALMEIDA DE SOUZA et al., 2020). Além de sua importância ecológica, o Cerrado possui relevância econômica significativa, representando cerca da metade das terras agrícolas do Brasil (SPERA, 2017).

A partir da década de 1970, essa região passou por um processo gradual de ocupação, transformando-se em uma importante fronteira agrícola e impulsionando de forma significativa a produtividade agropecuária nacional (MAURANO et al., 2019). Entre os anos de 2000 e 2014, as áreas agrícolas no Cerrado apresentaram um crescimento de 87%, sendo o cultivo da soja o principal fator de mudança no uso da terra. Em termos de proporção, na safra 2013/2014, a soja representou aproximadamente 90% de toda a agricultura desenvolvida nesse bioma (CARNEIRO FILHO e COSTA, 2016).

Desse modo, a região enfrenta uma crescente pressão espacial devido à necessidade de expandir as áreas de produção, o que resulta no esgotamento progressivo dos recursos naturais (MAURANO et al., 2019). A situação se agravou com a implementação da Moratória da Soja na Amazônia (SoyM), o primeiro acordo voluntário de desmatamento zero estabelecido pelos principais comerciantes de soja, que se comprometeram a não adquirir grãos cultivados em áreas desmatadas (GIBBS et al., 2015). Embora esse acordo tenha contribuído para reduzir a conversão de florestas tropicais em áreas de cultivo de soja na Amazônia, sua ausência para o Cerrado resultou em taxas de desmatamento atualmente superiores às taxas de conversão de florestas tropicais na região (DOU et al., 2018; NEPSTAD et al., 2019).

Nesse contexto, a região de MATOPIBA, composta pelos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, tem se destacado como a nova e possivelmente última fronteira agrícola do Cerrado, apresentando altas taxas de conversão de vegetação nativa nos últimos anos (SPERA et al., 2016; RAUSCH et al., 2019). Segundo Bolfe et al. (2016), os municípios de Formosa do Rio Preto e São Desidério, na Bahia, e Balsas, no Maranhão, são particularmente mais afetados por esse cenário. Essa realidade é confirmada pelos dados do projeto PRODES disponíveis na plataforma TerraBrasilis, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) desde 2016, que monitora sistematicamente o desmatamento no Cerrado por meio de imagens de satélite.

De acordo com a plataforma, os três municípios registram as maiores taxas de desmatamento da Região de MATOPIBA, bem como do bioma, com um total acumulado de pouco mais de 12.900 km² desde 2001. O período entre 2021 e 2022 apresentou o maior incremento, com cerca de 423 km², uma taxa cinco vezes maior do que no período entre 2020 e 2021, que foi de 88 km². Diante dessa circunstância, compreender a dinâmica de derrubada da vegetação na região mencionada, através da identificação de áreas quentes, torna-se um aspecto importante na elaboração de políticas ambientais que levem em consideração estratégias de preservação.

Assim, o objetivo deste trabalho é identificar e examinar os focos de desmatamento, mediante a mapas de calor em duas microrregiões de MATOPIBA, Gerais de Balsas e Barreiras, que abrangem os municípios de Formosa do Rio Preto, São Desidério e Balsas. Essa análise será conduzida para os anos de 2018, 2019, 2020, 2021 e 2022, utilizando mapas gerados a partir de estimativas de densidade *kernel*, a fim de verificar suas respectivas relações uso e cobertura da terra.

2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende duas microrregiões de MATOPIBA: Gerais das Balsas, localizada no sul do estado do Maranhão, e Barreiras, situada no oeste baiano (Figura 1). A primeira microrregião é uma região de planejamento e possui a maior produção agrícola do Maranhão, destacando-se na produção de soja, milho e algodão. Balsas é o maior município tanto em área como em população, e apresenta uma economia bastante dinâmica em toda a região sul. Outros municípios que compõem a microrregião são: Alto Parnaíba, Feira Nova do Maranhão, Tasso Fragoso e Riacho.

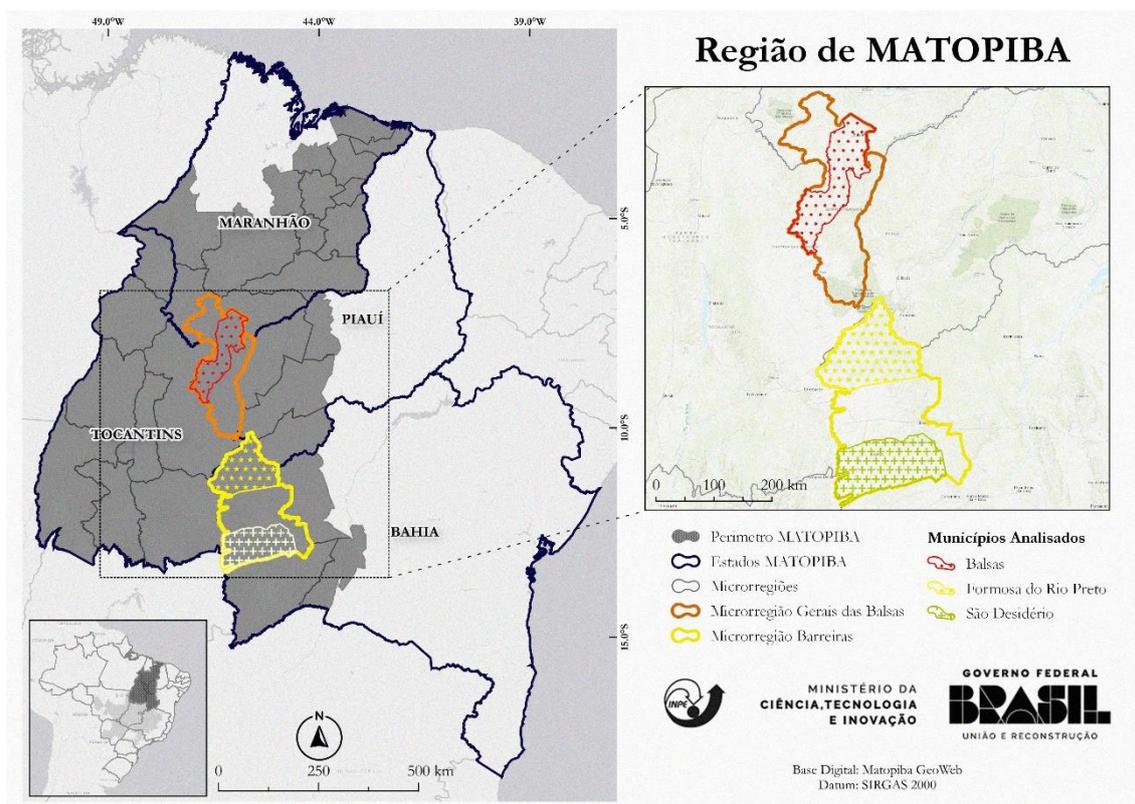


Figura 1. Localização da área de estudo.

A microrregião de Barreiras é uma das três microrregiões que subdividem o extremo oeste baiano. Ela se destaca pelo seu cenário agrícola, apresentando uma agricultura moderna e especializada, assim como Gerais das Balsas, no cultivo da soja, milho e algodão, com destaque para os municípios de Formosa do Rio Preto e São Desidério. Outros municípios que compõem a microrregião são Barreiras, Luís Eduardo Magalhães, Riacho das Neves, Baianópolis e Catolândia (FEITOSA JÚNIOR et al., 2020).

3. MATERIAIS E MÉTODO

Para identificar as áreas quentes de desmatamento e sua relação com o uso da terra, utilizou-se os dados PRODES do Cerrado na versão 20221121, em conjunto com os dados de uso e cobertura da terra do TerraClass, obtidos da plataforma TerraBrasilis, coordenada pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e a Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), respectivamente. A escolha desses dados se baseou em sua confiabilidade e detalhamento, uma vez que tais instituições são amplamente reconhecidos na comunidade científica. Além disso, a atualidade dos dados é essencial para a análise

proposta, permitindo uma compreensão mais precisa da situação atual do desmatamento e do uso da terra no Cerrado.

Após a aquisição dos dados, foi realizado um pré-processamento nos mesmos. Inicialmente, os arquivos rasters foram reprojatados para o sistema de coordenadas UTM, Datum SIRGAS 2000. Essa etapa é necessária para garantir a consistência das coordenadas planimétricas nas etapas seguintes. Em seguida, os dados foram recortados, limitando-os apenas à área de estudo desejada. Por fim, ocorreu a conversão dos dados de desmatamento em polígonos, facilitando sua manipulação e análise.

A etapa subsequente envolveu procedimentos de geoprocessamento. Inicialmente, realizou-se uma correção geométrica nos polígonos convertidos, a fim de lidar com possíveis formas inválidas que poderiam prejudicar o desenvolvimento do método. Em seguida, procedeu-se à seleção e extração das áreas desmatadas dos dados PRODES pré-processados para as duas microrregiões, levando em consideração os anos de análise correspondentes (2018, 2019, 2020, 2021 e 2022). Por fim, obteve-se os centroides dos polígonos selecionados, que serviriam como pontos representativos para a etapa seguinte do estudo.

A geração de dados pontuais desempenha um papel crucial na aplicação da estimativa de densidade, que constitui a etapa subsequente do estudo. Para isso, utilizou-se a técnica de interpolação da nuvem de pontos, representando as informações anuais dos focos de desmatamento, através do estimador de densidade *kernel* disponível na ferramenta "Mapa de Calor" do software QGIS, versão 3.28. Esse tipo de mapa mostra o comportamento padrão de pontos, estimando a intensidade pontual do processo em toda a região de estudo (CAMARA e CARVALHO, 2004; SOUZA et al., 2013).

A fim de atingir esse objetivo, aplicou-se uma técnica bi-dimensional na qual uma função é ajustada aos eventos em análise, resultando em uma superfície que reflete a intensidade das amostras por unidade de área. Essa função realiza uma contagem de todos os pontos dentro de um raio de influência específica, atribuindo um peso com base na distância de cada ponto em relação à localização de interesse. Dessa forma, é possível obter uma representação visual que evidencia a densidade de ocorrências na área estudada (Figura 2) (CAMARA e CARVALHO, 2004).

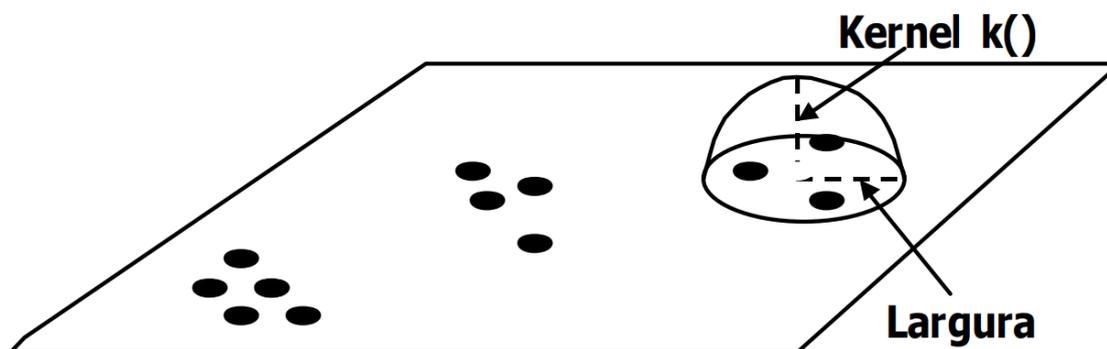


Figure 2. Estimador de intensidade de distribuição de pontos.
 Fonte: CAMARA e CARVALHO, 2004

Essa função de interpolação pode ser representada matematicamente pela seguinte equação:

$$\hat{f}_h(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - X_i}{h}\right)$$

Eq. 1

Nela, temos que K representa a função de kernel, h é o raio de busca, x representa a posição do centro de cada célula no raster resultante, X_i corresponde à posição do ponto i obtido a partir do centroide de cada polígono, e n é o número total de focos considerados. É fundamental destacar que o parâmetro chave para esse processo engloba o raio de busca, pois sua determinação afetará a representação do fenômeno. Se o raio for muito pequeno, a superfície resultante será descontínua, enquanto se for muito grande, a superfície será suavizada em excesso. Para este trabalho, foi definido um raio de busca de 30 km, considerando-o como a área de abrangência mais adequada.

É fundamental destacar a existência de cinco tipos de funções de estimação kernel. A função Gaussiana, também conhecida como função Normal, atribui pesos maiores aos pontos mais próximos dentro de um raio, em comparação com os pontos mais distantes. As funções Quártica e Triangular seguem o mesmo princípio, porém diferem na taxa de decrescimento dos pesos dos pontos dentro dos círculos. A função Quártica apresenta um decrescimento mais gradual, o que resulta em uma representação mais suave, enquanto a Triangular possui um decrescimento mais rápido, o que leva a uma representação mais

abrupta. Por sua vez, a função Uniforme atribui pesos iguais a todos os pontos dentro do círculo. Já a função de Epanechnikov é considerada ideal quando os pontos apresentam pouca variância (KAWAMOTO, 2012). Para este trabalho empregou-se a função Quártica.

Após a geração dos mapas, procedeu-se uma análise qualitativa e quantitativa dos resultados. Estes, foram sobrepostos aos dados de uso e cobertura da terra para a observação da relação desmatamento/uso da terra. A figura 3 a seguir apresenta graficamente toda a metodologia e material utilizado para a realização deste trabalho.

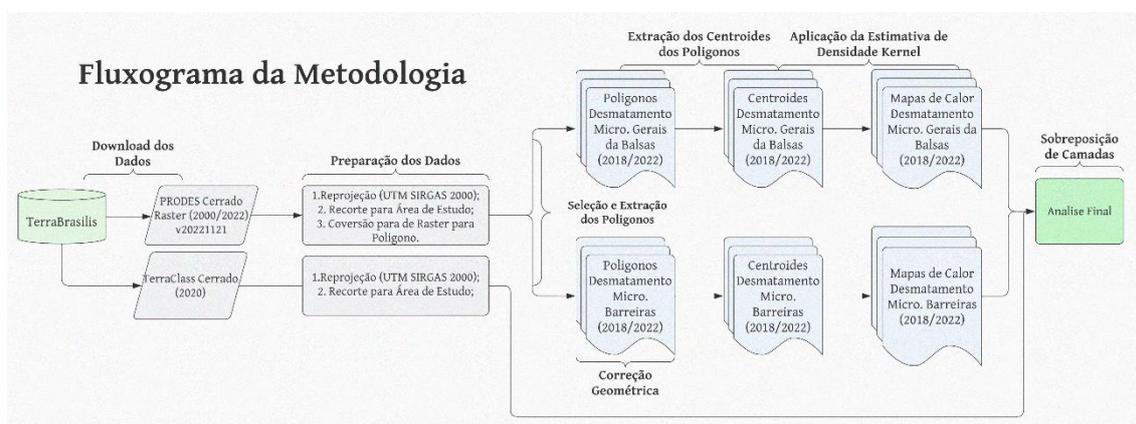


Figure 3. Representação gráfica da metodologia.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise dos Focos de Desmatamento

Através da figura 4, pode-se observar os pontos (focos) de desmatamento oriundos dos polígonos PRODES para as duas microrregiões em seus respectivos anos, como explicado na seção anterior. Esses dados foram utilizados para gerar os mapas de calor, ressaltando a importância de realizar, primeiramente, uma análise inicial desses focos.

Em termos qualitativos, é possível observar um padrão geral na distribuição dos pontos em ambas as microrregiões. No entanto, quando se trata de aspectos quantitativos, nota-se uma relativa disparidade entre Gerais das Balsas e Barreiras. A figura 5 ilustra a evolução dos focos de desmatamento ao longo dos anos selecionados, assim como a diferença percentual bianual.

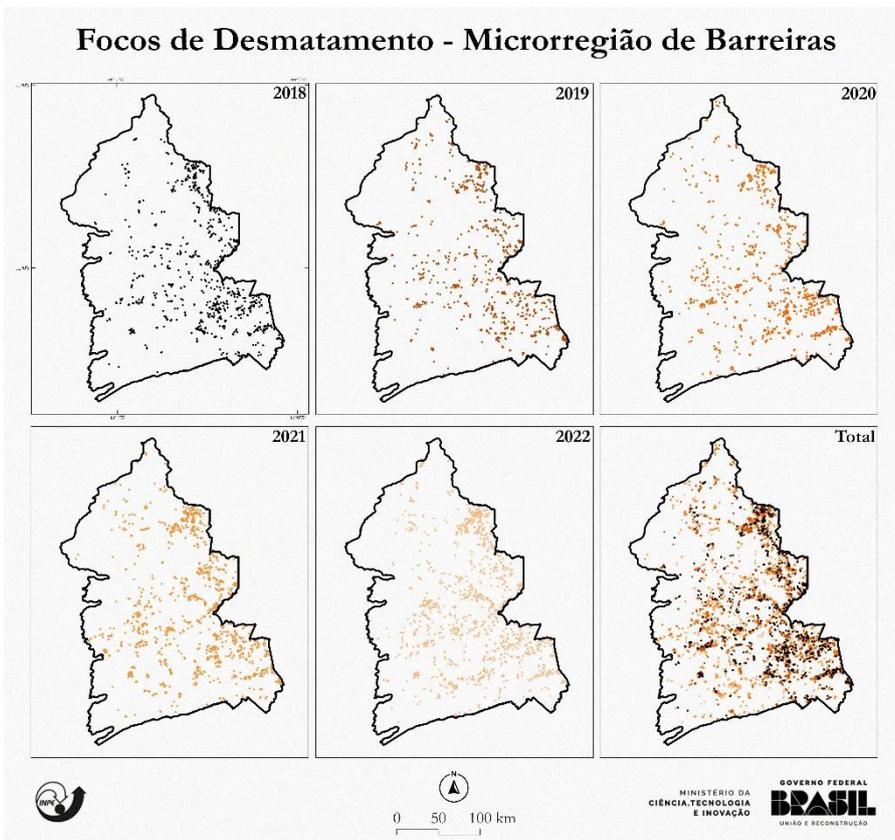
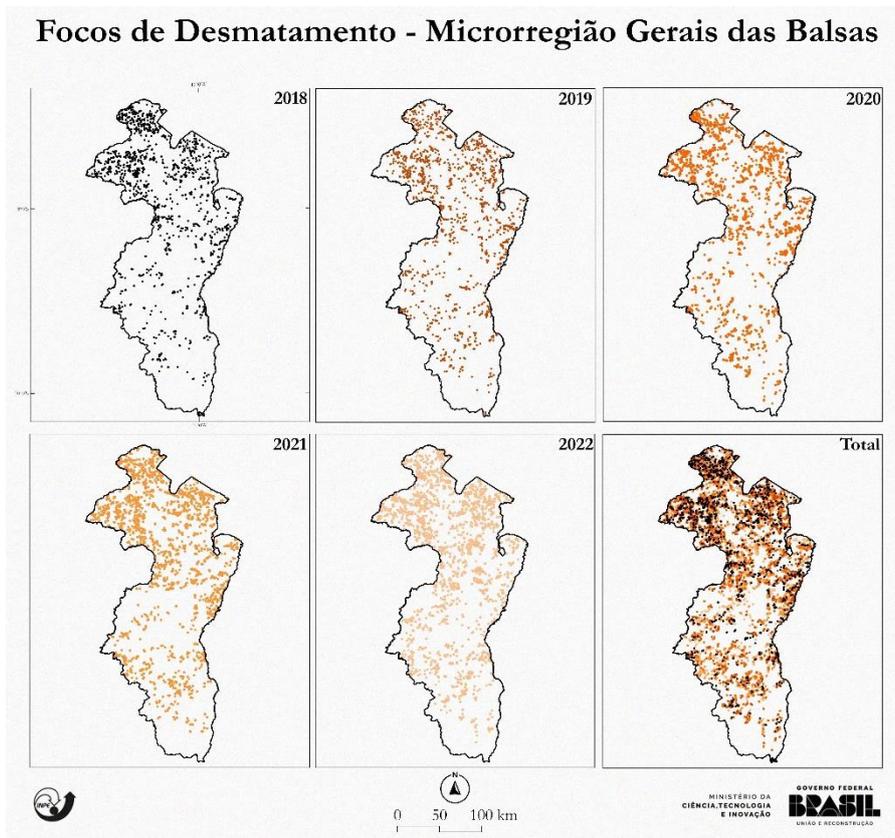


Figure 4. Distribuição dos focos de desmatamento nas microrregiões de Gerais das Balsas e Barreiras (elaborado pelo autor).

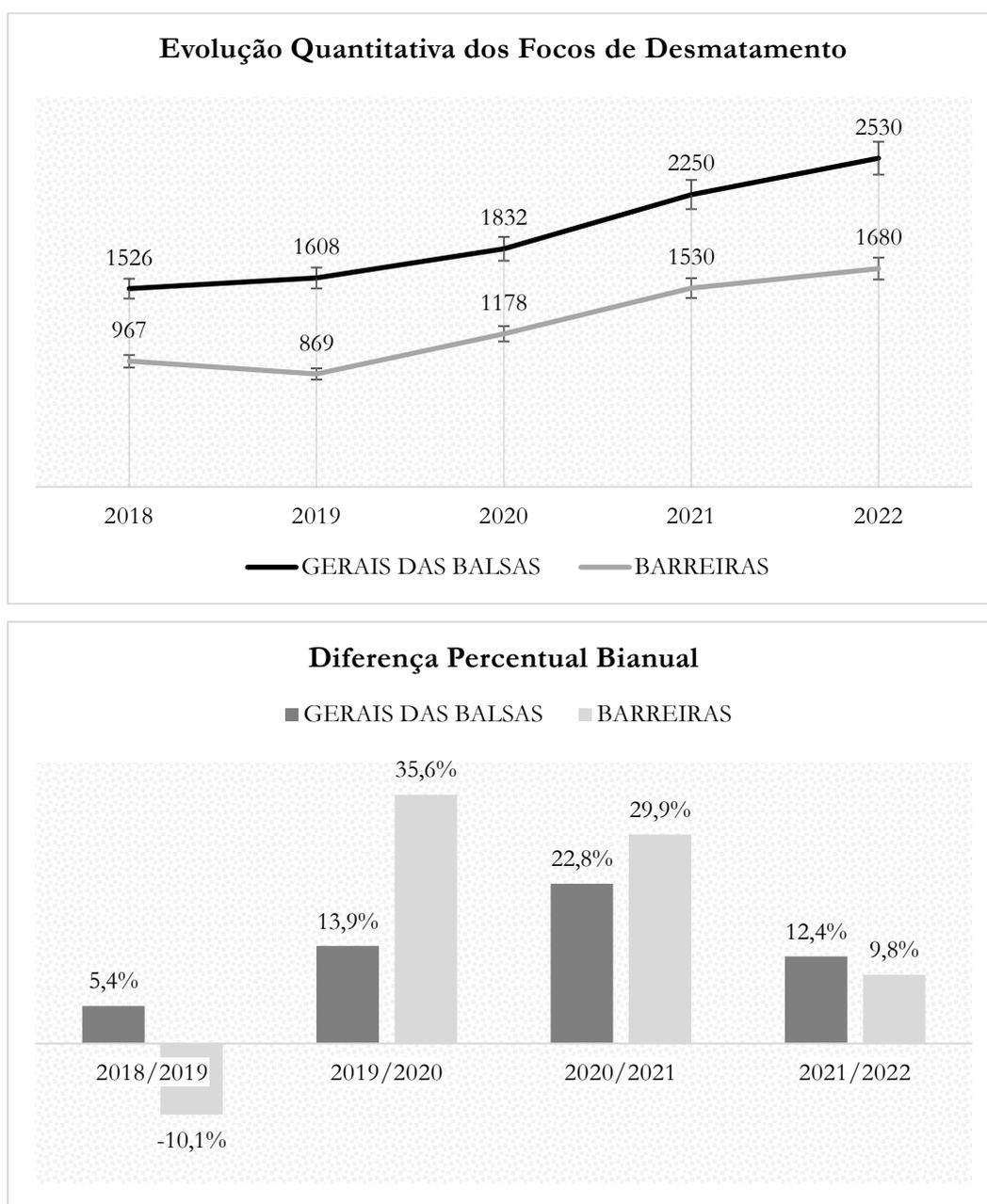


Figure 5. Comportamento do desmatamento na área de estudo.
Elaborado pelo autor.

Identifica-se um crescimento nos focos de desmatamento em ambas as microrregiões. Um destaque significativo é observado em Geraís de Balsas, que apresenta as maiores quantidades, demonstrando um incremento médio geral ao longo dos cinco anos de 1.949 focos, correspondendo a um crescimento de 65%, e um total de 9.746 focos. Por outro lado, a microrregião de Barreiras, embora apresente quantidades relativamente menores, com um total de 6.224 focos, demonstra um aumento médio geral de 73%, saindo de 967 focos em 2018 para 1.680 em 2022.

Ao analisar a diferença percentual bianual, verifica-se esse aumento mais acentuado em Barreiras. Embora o número de focos de desmatamento tenha apresentado uma diminuição de cerca de 10% no intervalo entre 2018 e 2019, no intervalo seguinte, 2019/2020, a microrregião registrou o maior ganho percentual entre todos os intervalos, aproximadamente 35%. Já Gerais de Balsas apresenta seu máximo no intervalo entre 2020 e 2021, com cerca de 22%.

A Figura 6 fornece uma visão geral da quantidade de área desmatada. Além do aumento dos focos de desmatamento ao longo dos anos, há um crescimento progressivo na área desmatada. Nesse contexto, a microrregião de Barreiras se destaca, apresentando uma taxa de desmatamento por unidade de área superior. A área total desmatada nessa região é de 2.747 km², com uma média interanual de 549 km², atingindo o valor máximo em 2022. Em relação a Gerais de Balsas, também é possível observar um aumento, com um total de 2.090 km² de área desmatada e uma média de 418 km². É importante mencionar que houve uma redução mínima de 3 km² nessa microrregião entre os anos de 2020 e 2021.

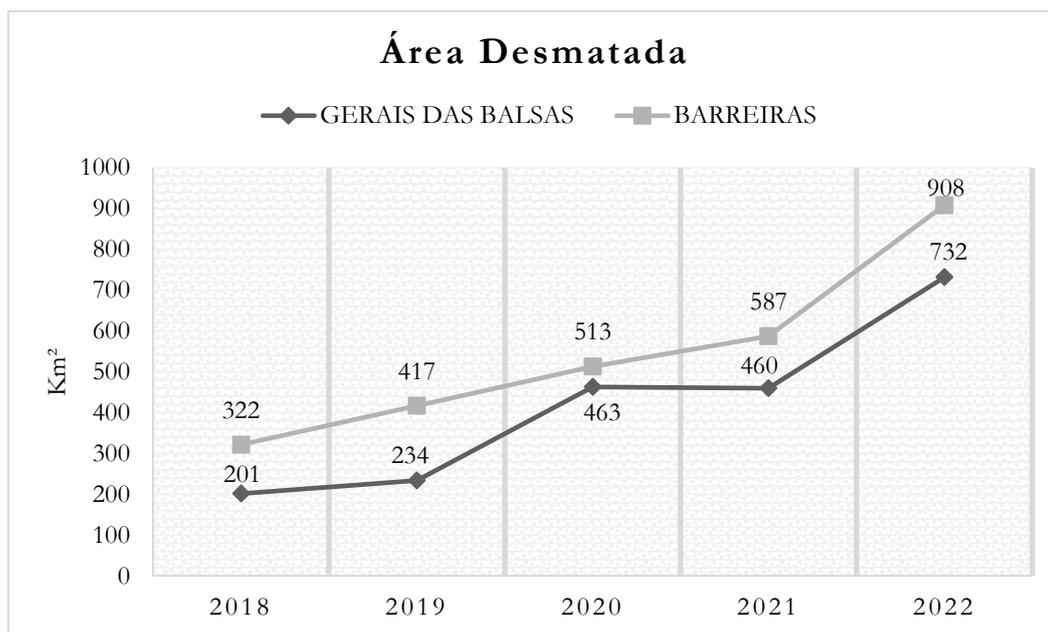


Figure 6. Área desmatada ao longo dos anos analisados.
Elaborado pelo autor.

Portanto, nota-se uma clara tendência de aumento tanto nos focos quanto na quantidade de área desmatada nas áreas de estudo. No entanto, também é possível identificar uma diferença marcante entre as duas microrregiões. É evidente que, embora Gerais de Balsas apresente a maior quantidade de focos, possui as menores áreas desmatadas. Por outro

lado, Barreiras, mesmo registrando a menor quantidade de focos, exibe as maiores áreas convertidas.

4.2 Análise Mapas de Calor

Apoiado na análise anterior, em especial na distribuição dos pontos de desmatamento, pode-se agora avaliar as áreas específicas de maior incidência. As figuras 7, 8, 9 e 10 apresentam os mapas de calor correspondentes aos resultados da aplicação da estimativa *kernel* para ambas as microrregiões. Observa-se, como mencionado anteriormente, um padrão espacial geral de dispersão e densidade dos focos de desmatamento.

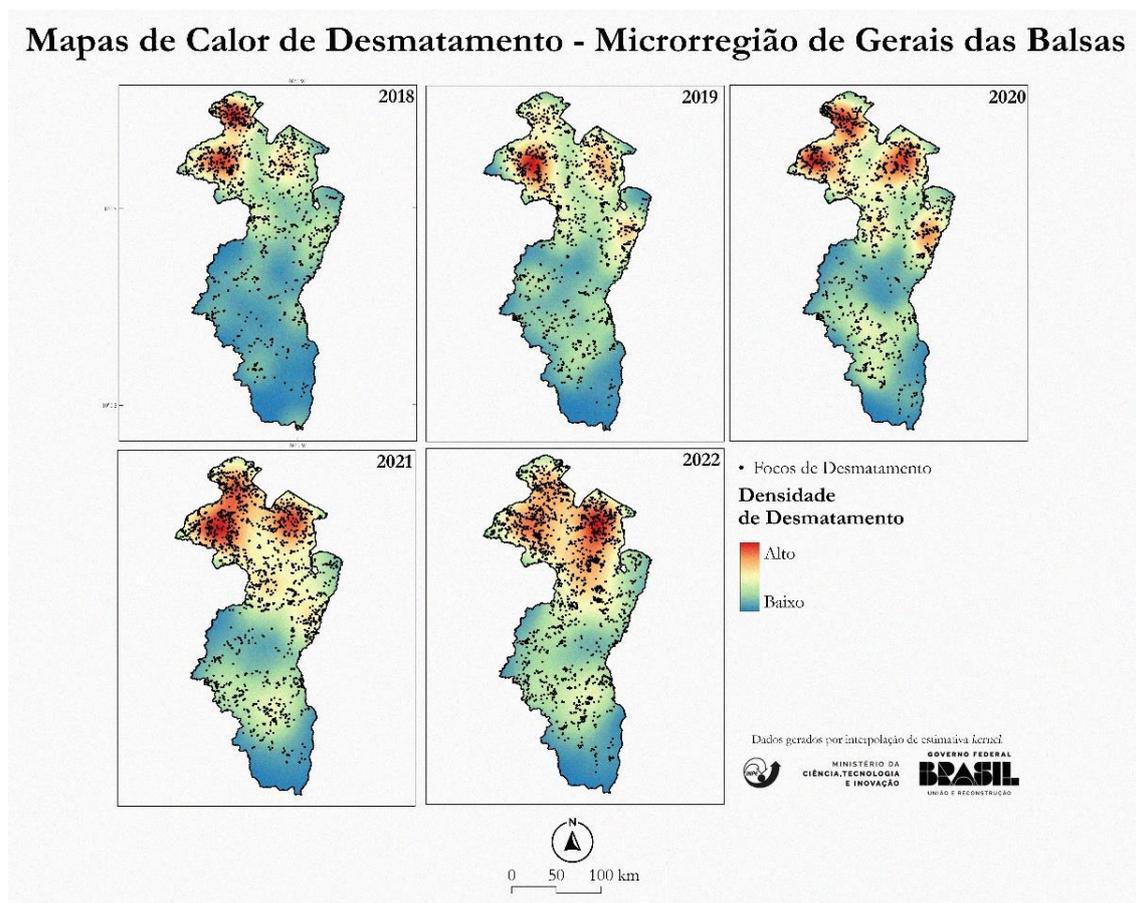


Figure 7. Densidade de desmatamento, microrregião de Gerais de Balsas. Elaborado pelo autor.

A microrregião de Gerais de Balsas (figura 7) apresenta uma densidade de desmatamento significativamente alta em sua parte norte, com três áreas quentes bem definidas. A presença de um dos núcleos densos em 2018 se dissipa em 2019, resultando em uma distribuição mais uniforme dos pontos de desmatamento tanto no extremo norte quanto

nas regiões centro-sul. Em 2020, ocorre a consolidação das três áreas com alta densidade, juntamente com o surgimento de um pequeno núcleo próximo à região central, que se dispersa, aumentando as áreas já consolidadas em 2021 e 2022. Essas áreas correspondem aos municípios de Balsas, Riacho e Feira Nova do Maranhão. A evolução dessas áreas quentes de desmatamento pode ser visualizadas na figura 8.

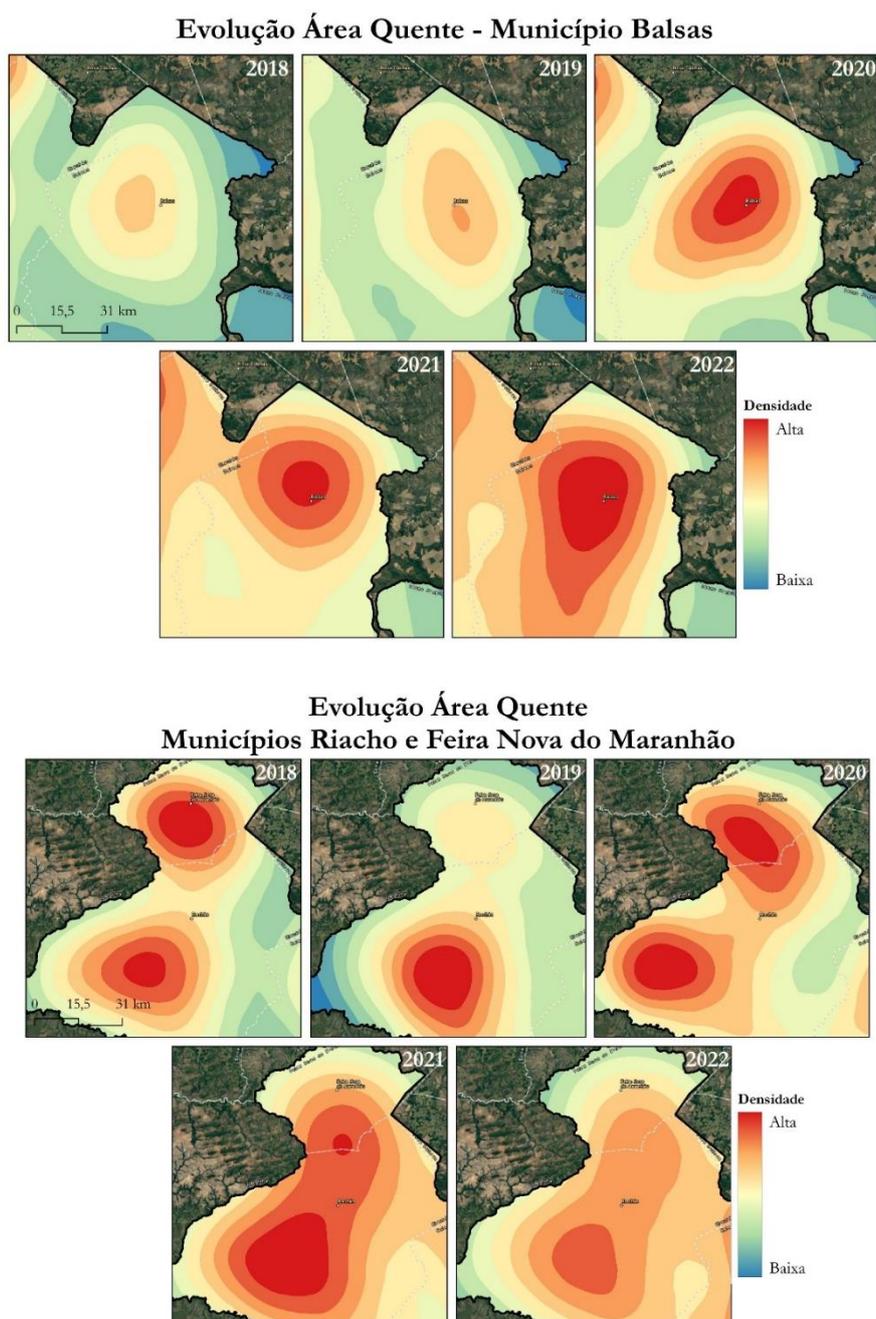


Figure 8. Dinâmica espaço-temporal das áreas quente, municípios de Balsas, Riacho e Feira Nova do Maranhão, Maranhão.
Elaborado pelo autor.

Em Barreiras (Figura 9), ao longo dos anos analisados, é possível identificar uma sequência de expansão, retração e deslocamento da área com alta incidência de desmatamento. Ao examinar o mapa de calor em 2018, destaca-se uma densidade significativa de desmatamento no sudeste da microrregião. No ano seguinte, ocorre uma expansão em direção à região centro-sul, que também se manifesta em 2020. A partir de 2021, observa-se um processo de homogeneização nessa região, embora ainda seja perceptível a permanência da área quente a sudeste. Em 2022, ocorre o deslocamento total dessa área para o nordeste. É relevante mencionar o processo de uniformização dos focos na porção centro-sul. Essas áreas correspondem especificamente aos municípios de São Desidério (região sudeste) e Formosa do Rio Preto (região nordeste), a qual pode ser verificado a evolução das áreas quentes ao longo dos anos na figura 10.

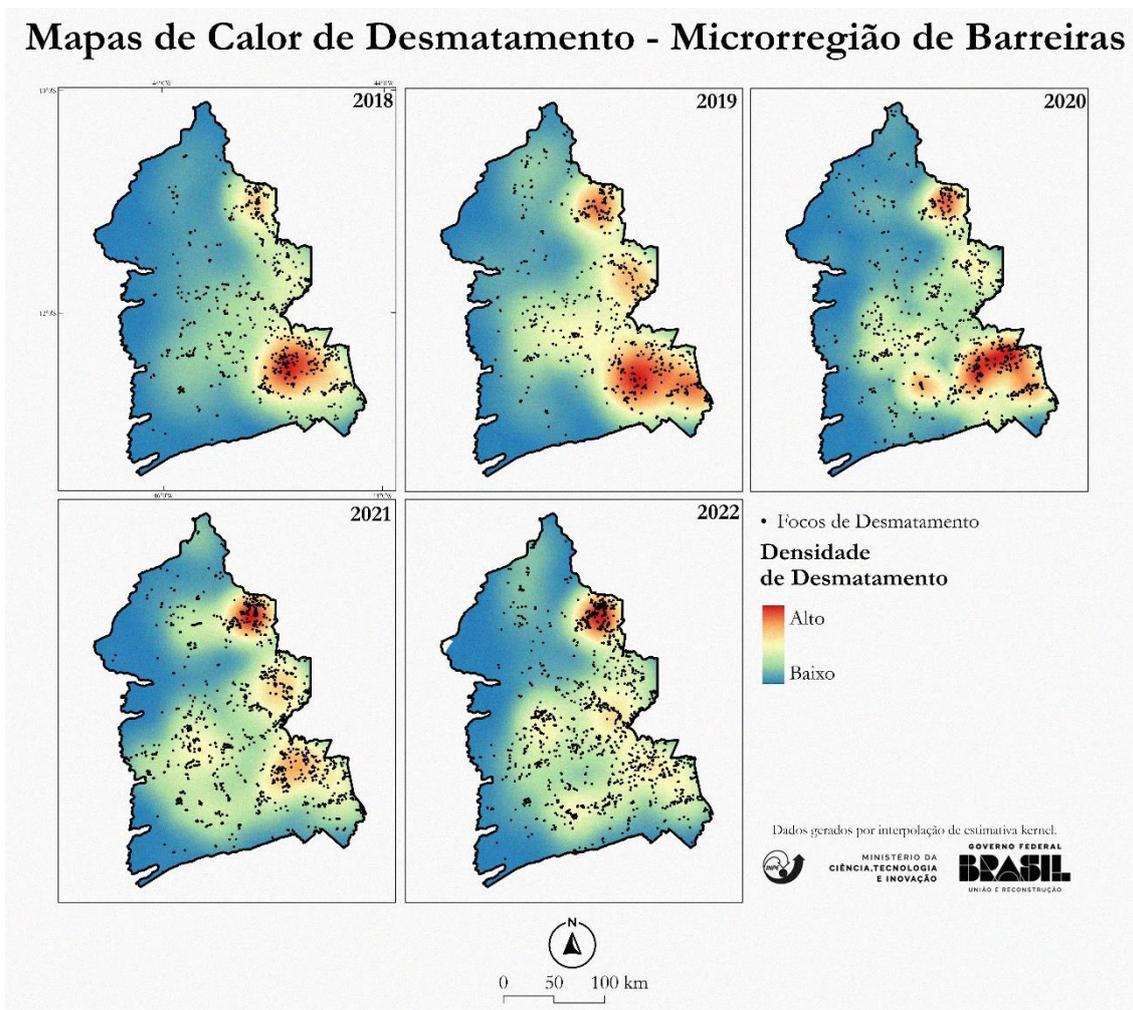


Figure 9. Densidade de desmatamento, microrregião de Barreiras. Elaborado pelo autor.

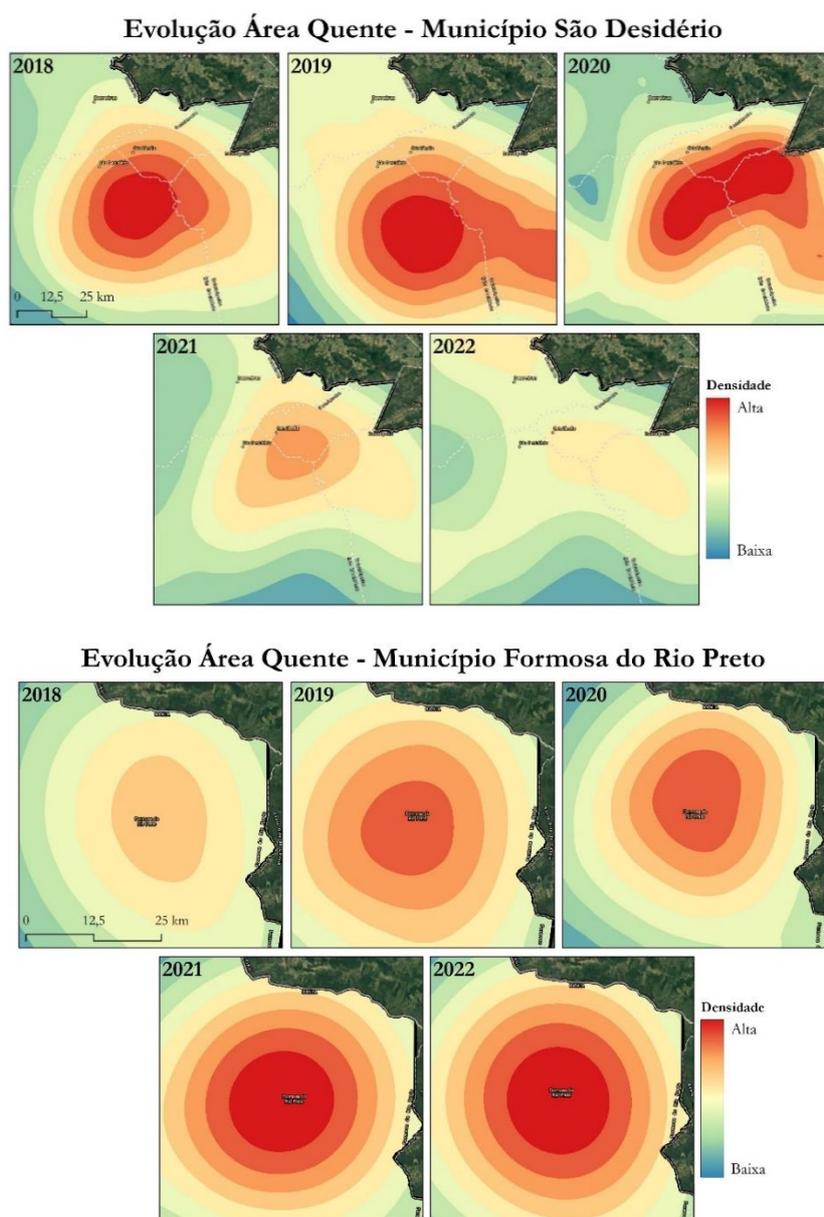


Figure 10. Dinâmica espaço-temporal das áreas quente, municípios de São Desidério e Formosa do Rio Preto, Bahia.
Elaborado pelo autor.

O que chama a atenção nestes mapas é a presença das áreas de alta densidade muito próximos aos núcleos urbanos dos municípios mencionados. Destaca-se o aumento significativo da densidade de desmatamento aos arredores das cidades de Balsas (Gerais de Balsas) e Formosa do Rio Preto (Barreiras). Alternativamente, a cidade de São Desidério (Barreiras), que em 2018 apresentava um status de área quente para o desmatamento, nos anos seguintes perde tal condição, possivelmente devido ao aumento de densidade em Formosa do Rio Preto. Essa dinâmica pode estar associada a interação da expansão urbana e da pressão demográfica. Além disso a conectividade entre os municípios se apresenta como

um fator importante, visto que ambas as cidades compartilham os mesmos eixos viários, como fluxos de pessoas e atividades econômicas.

4.3 Análise Áreas Quentes / Uso e Cobertura

Vale nesse momento analisar as áreas quentes já localizadas juntamente ao uso e cobertura da terra, afim de compreender a dinâmica espacial local. As figuras 11 e 12 demonstram essa relação para o ano de 2020 para ambas microrregiões:

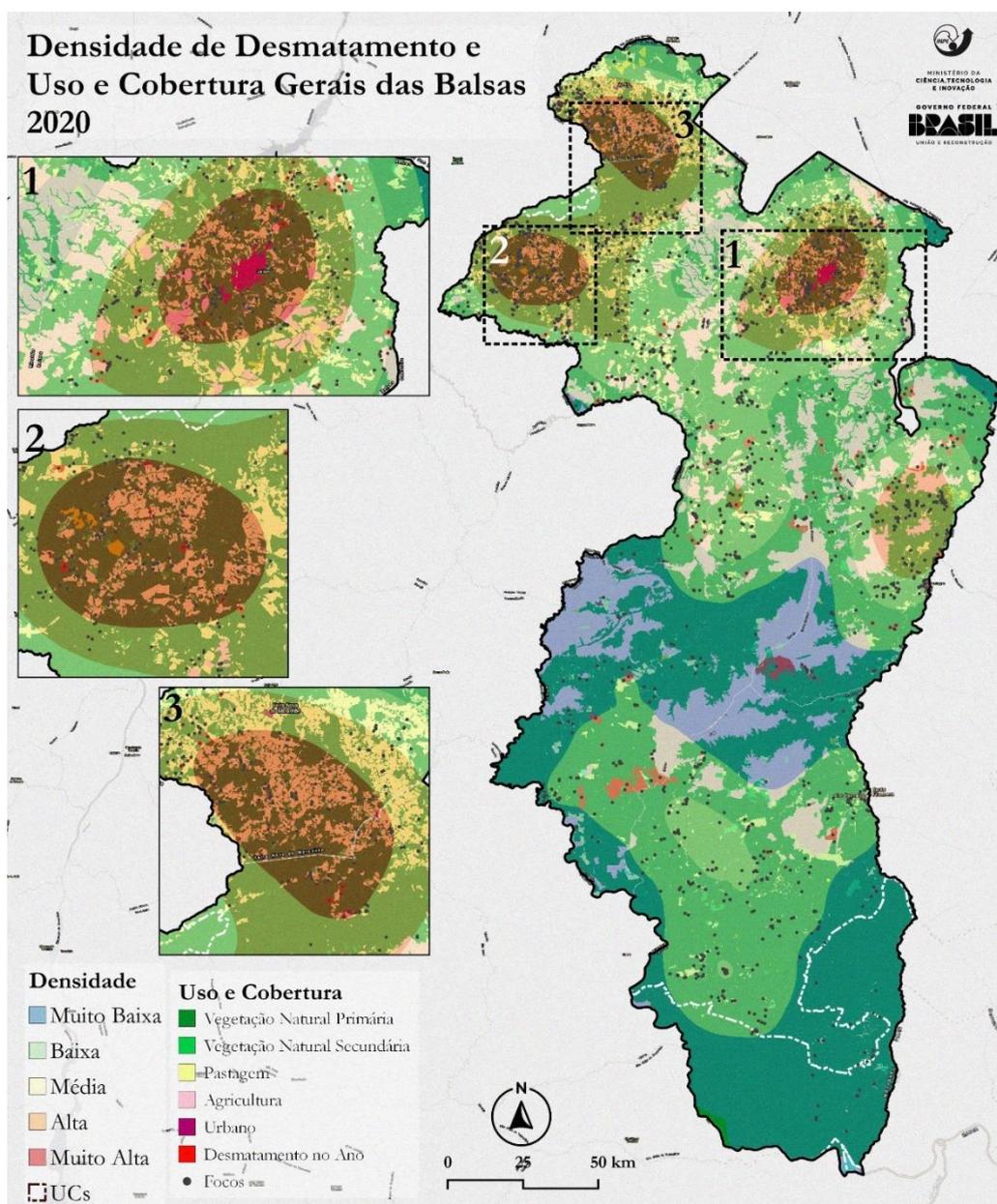


Figure 11. Mapa de calor e uso e cobertura da terra na microrregião de Gerais das Balsas em 2020. Elaborado pelo autor.

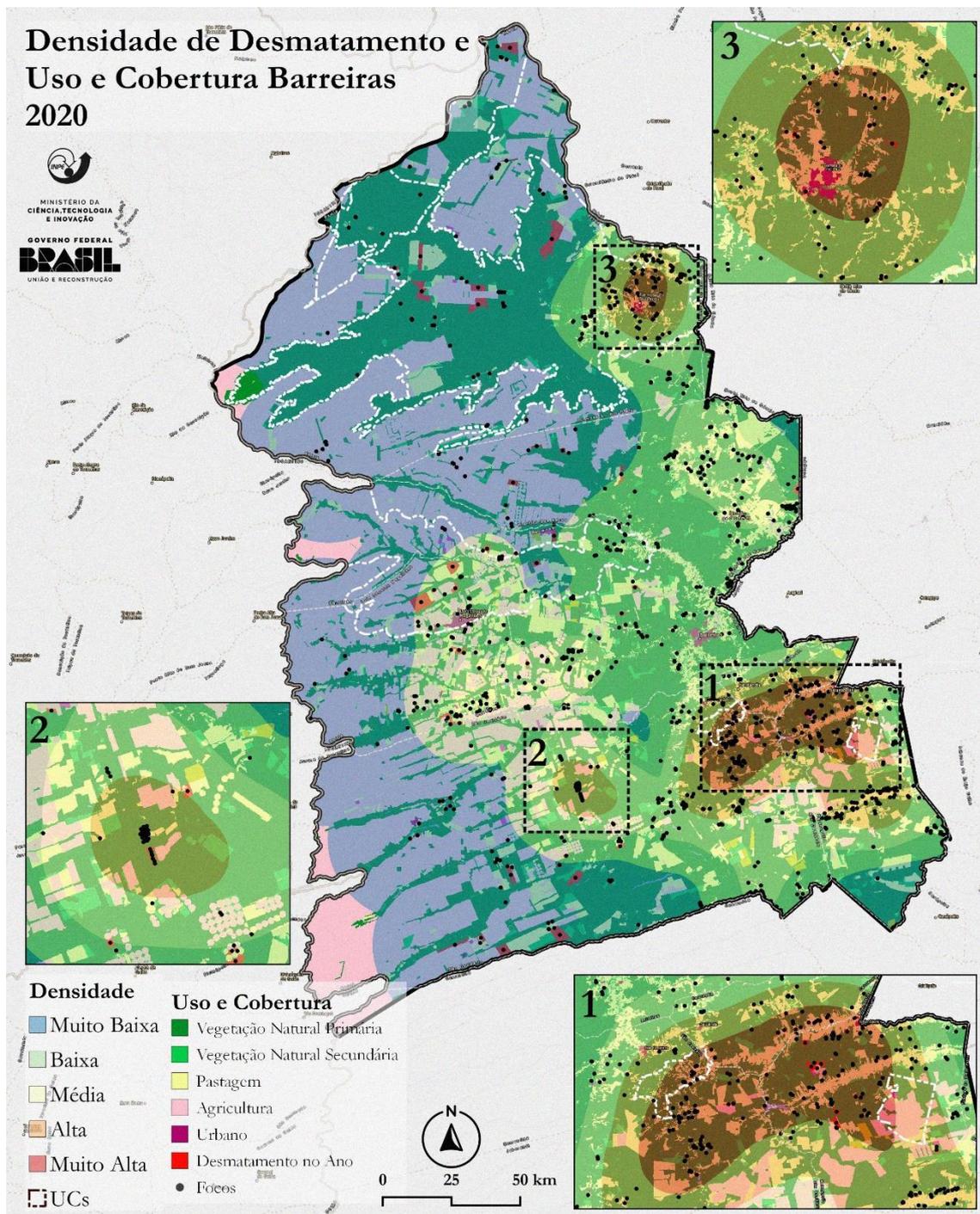


Figure 12. Mapa de calor e uso e cobertura da terra na microrregião de Barreiras em 2020. Elaborado pelo autor.

Observando a configuração espacial para as duas microrregiões, verifica-se que as áreas com elevadas densidades de desmatamento se concentram principalmente em regiões caracterizadas por vegetação natural primária, pastagens e pequenos polígonos de agricultura dispersos próximos a núcleos urbanos. Essa característica é mais específica em Balsas (quadrante 1, figura 11) e São Desidério (quadrante 1, figura 12). Nos municípios de Riacho

e Feira Nova do Maranhão (quadrantes 2 e 3, figura 11) e Formosa do Rio Preto (quadrante 3, figura 12), não se observa a presença de núcleos agrícolas, sendo caracterizados apenas por áreas florestadas e de pastagens.

Ao examinar agora as áreas que apresentam médias e baixas densidades de desmatamento, identifica-se uma característica importante. Percebe-se que ambas as microrregiões possuem núcleos agrícolas mais extensos nessas áreas, em comparação com as áreas de alta e muito alta densidade. Essa característica se torna evidente ao observar a porção centro-norte de Gerais de Balsas, que apresenta focos dispersos de desmatamento nas proximidades de áreas agrícolas, e no centro-leste de Barreiras, onde também são observados focos dispersos, principalmente em áreas remanescentes de floresta natural primária.

Ainda nessa perspectiva, pode-se visualizar um fenômeno interessante nessas áreas de média e baixa densidade em Gerais de Balsas. Na sua porção sul, nota-se um extenso núcleo de desmatamento entre uma região agrícola já consolidada e uma unidade de conservação (UC). Supõe-se que essa região seja uma possível nova área de expansão da atividade agropecuária.

Examinando agora as regiões de muito baixa densidade, entende-se que são predominantemente caracterizadas por extensas áreas agrícolas. Isso é observado na porção central de Gerais de Balsas e em toda a região que abrange o extremo norte, passando pelo oeste e sudoeste de Barreiras. Outro fator importante que influencia essa condição é a presença, como mencionado anteriormente, de algumas unidades de conservação que, de certa forma, limitam o avanço do desmatamento. Isso ocorre no extremo sul de Gerais das Balsas e no norte de Barreiras.

No entanto, vale ressaltar que a delimitação dessas unidades de conservação não impede que o processo de desmatamento retroceda. Ao observar a microrregião de Barreiras, torna-se evidente a presença de áreas com alta e média densidade de conversão florestal dentro dessas unidades, como nos municípios de São Desidério (quadrante 1, figura 12), com duas unidades, e Formosa do Rio Preto (quadrante 3, figura 12).

Dessa forma, é possível compreender que a variação na intensidade de desmatamento nas duas microrregiões está provavelmente relacionada ao uso da terra. Observa-se que a presença ou ausência de áreas agrícolas parece influenciar a alta ou baixa densidade de focos de desmatamento. Nota-se que nas regiões sem ou com poucos núcleos agrícolas, a densidade de desmatamento é alta e muito alta. A explicação possível para esse fenômeno

reside na própria dinâmica agrícola. Nessas áreas sem núcleos agrícolas consolidados, o desmatamento ocorre em maior escala devido à exploração de recursos naturais e à conversão das terras para atividades agropecuárias de menor porte. A falta de infraestrutura e o desenvolvimento econômica nessas regiões muitas vezes contribui para uma pressão mais intensa sobre as florestas.

Por outro lado, nas áreas que apresentam extensas atividades agrícolas, a intensidade do desmatamento é moderada. Isso ocorre porque nessas regiões, tais atividades já ocuparam as áreas mais favoráveis à produção, diminuindo a demanda por novas áreas. Além disso, nas regiões onde a agricultura já está estabelecida e a muito consolidada, a densidade de desmatamento é considerada baixa ou muito baixa. Isso indica que, uma vez consolidada, uma menor pressão significativa de expansão se projeta sobre as áreas florestais remanescentes.

5. CONCLUSÃO

Em conclusão, a análise dos focos de desmatamento nas microrregiões de Gerais das Balsas e Barreiras, inseridas na macrorregião de MATOPIBA, revela um aumento progressivo tanto na quantidade de focos como na área desmatada ao longo dos anos estudados. É interessante observar que Gerais das Balsas apresenta a maior quantidade de focos, enquanto Barreiras exibe as maiores áreas convertidas.

É importante ressaltar a concordância das informações obtidas neste estudo com as evidências encontradas na literatura, como as pesquisas de Bolfe et al (2016) e os dados da plataforma TerraBrasilis. Foi constatado que os municípios de Formosa do Rio Preto e São Desidério, na Bahia, e Balsas, no Maranhão, são bastante afetados pelo desmatamento, além de outros municípios, como Riacho e Feira Nova do Maranhão, que também estão seguindo o mesmo padrão.

Ao analisar os mapas de calor, identificou-se a presença de áreas quentes bem definidas nas microrregiões. Essas áreas de maior densidade estão localizadas principalmente em regiões de vegetação natural, pastagens e próximas a centros urbanos, criando uma configuração espacial que favorece o desmatamento. Nas regiões onde existem núcleos agrícolas mais extensos, a densidade de desmatamento é moderada ou baixa.

A variação na intensidade do desmatamento está diretamente ligada ao uso da terra, sendo influenciada pela presença ou ausência de áreas agrícolas. Em regiões onde não há

núcleos agrícolas consolidados, o desmatamento é mais intenso, enquanto em áreas com atividades agrícolas mais extensas, a intensidade do desmatamento é moderada. À medida que a agricultura se estabelece, a pressão para expandir sobre as áreas florestais remanescentes diminui.

Esses resultados ressaltam a importância de uma análise minuciosa dos padrões de desmatamento e do uso da terra para o desenvolvimento de estratégias eficazes de conservação e mitigação do desmatamento nessas regiões. Nessa perspectiva, a realização de estudos semelhantes em escala macrorregional para a região de MATOPIBA, utilizando abordagens específicas como simulação dinâmica por autômatos celulares, torna-se relevante, uma vez que seus resultados contribuirão para uma melhor compreensão da dinâmica e das perspectivas futuras dessa nova e última fronteira agrícola nacional.

6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA DE SOUZA, Alana et al. Dynamics of savanna clearing and land degradation in the newest agricultural frontier in Brazil. **GIScience & Remote Sensing**, v. 57, n. 7, p. 965-984, 2020. Disponível em: < <https://doi.org/10.1080/15481603.2020.1835080> >

BOLFE, Édson L. et al. Matopiba em crescimento agrícola Aspectos territoriais e socioeconômicos. **Revista de Política Agrícola**, v. 25, n. 4, p. 38-62, 2016. Disponível em: < <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/1202/1025> >

CÂMARA, Gilberto; CARVALHO, Marília Sá. Análise de eventos pontuais. **DRUCK, S.; CARVALHO, MS; CÂMARA, G.; MONTEIRO, AVM Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília, EMBRAPA, 2004.

CARNEIRO FILHO, Arnaldo.; COSTA, Karine. A expansão da soja no cerrado. **Caminhos para a ocupação territorial, uso do solo e produção sustentável. São Paulo, Agroicone**, p. p1-30, 2016. Disponível em: < <https://www.agroicone.com.br/wp-content/uploads/2019/12/Expansao-soja-Cerrado.pdf> >

DOU, Y. et al. “Spillover Effect Offsets the Conservation Effort in the Amazon.” **Journal of Geographical Sciences** 28 (11): 1715–1732, 2018. doi:10.1007/s11442-018-1539-0. Disponível em: < <https://link.springer.com/article/10.1007/s11442-018-1539-0> >

FEITOSA JÚNIOR, F. R.; SOUZA, R. B. B.; CEDRO, T. A. P.; VALÉRIO, R. A.; DIAS, E. S.; SANTOS, J. Y. G.. Queimadas em áreas do Cerrado brasileiro. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.11, n.7, p.587-601, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.007.0046>

GIBBS, Holly K. et al. Brazil's soy moratorium. **Science**, v. 347, n. 6220, p. 377-378, 2015. Disponível em: < <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aaa0181> >

KAWAMOTO, Marcia Tiemi. Análise de técnicas de distribuição espacial com padrões pontuais e aplicação a dados de acidentes de trânsito e a dados da dengue de Rio Claro-SP. 2012. 53 f.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Instituto de Biociências de Botucatu, 2012. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/87495>>.

KLINK, Carlos A.; MACHADO, Ricardo B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 147-155, 2005. Disponível em: <https://professor.pucgoias.edu.br/sitedocente/admin/arquivosUpload/17973/material/Cerrado_conservacao.pdf>

MIZIARA, F.; FERREIRA, N. C. Expansão da fronteira agrícola e evolução da ocupação e uso do espaço no Estado de Goiás: subsídios à política ambiental. In: FERREIRA, L. G. (Org.). **A encruzilhada socioambiental – biodiversidade, economia e sustentabilidade no Cerrado** (pp. 107-125). Goiânia: UFG, 223p., 2008.

NEPSTAD, L. S. et al. “Pathways for Recent Cerrado Soybean Expansion: Extending the Soy Moratorium and Implementing Integrated Crop Livestock Systems with Soybeans.” **Environmental Research Letters** 14 (4), 2019: Disponível em: <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aafb85/meta>>

OLIVEIRA, Ulisses Costa; DE OLIVEIRA, Petrônio Silva. Mapas de kernel como subsídio à gestão ambiental: análise dos focos de calor na bacia hidrográfica do Rio Acaraú, Ceará, nos Anos 2010 a 2015. **Espaço Aberto**, v. 7, n. 1, p. 87-99, 2017. Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6120679>>

RAUSCH, L. L. et al. Soy expansion in Brazil's Cerrado', **Conservation Letters**. 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/conl.12671>>

ROCHA, Genival Fernandes et al. Detecção de desmatamentos no bioma cerrado entre 2002 e 2009: padrões, tendências e impactos. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 63, n. 3, p. 341-349, 2011. Disponível em: <<https://repositorio.bc.ufg.br/handle/ri/17174>>

SANO, E.E., et al. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. *Environ Monit Assess* 166, 113–124 (2010). Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10661-009-0988-4>>

SOUZA, NP de et al. Aplicação do Estimador de Densidade kernel em Unidades de Conservação na Bacia do Rio São Francisco para análise de focos de desmatamento e focos de calor. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 16, p. 4958-4965, 2013. <<http://marte2.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.29.00.28.09/doc/p1135.pdf>>

SPERA, Stephanie A. et al. Land-use change affects water recycling in Brazil's last agricultural frontier. **Global change biology**, v. 22, n. 10, p. 3405-3413, 2016. <<https://doi.org/10.1111/gcb.13298>>

SPERA, Stephanie. Agricultural intensification can preserve the Brazilian Cerrado: Applying lessons from Mato Grosso and Goiás to Brazil's last agricultural frontier. **Tropical Conservation Science**, v. 10, p. 1940082917720662, 2017. Disponível em: <<https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/1940082917720662>>