MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

ANÁLISE DA EXPOSIÇÃO POTENCIAL DE ESCOLAS A QUEIMADAS E INCÊNDIOS FLORESTAIS NA REGIÃO DE MADRE DE DÍOS-PERU, ACRE-BRASIL E PANDO-BOLÍVIA (MAP)

Cândida Caroline Souza de Santana Leite

INPE
São José dos Campos
2019

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

ANÁLISE DA EXPOSIÇÃO POTENCIAL DE ESCOLAS NA REGIÃO DE MADRE DE DÍOS-PERU, ACRE-BRASIL E PANDO-BOLÍVIA (MAP) A QUEIMADAS E INCÊNDIOS FLORESTAIS

Cândida Caroline Souza de Santana Leite

Trabalho final apresentado como avaliação parcial no curso de Introdução a Geoprocessamento (SER-300), ministrada pelo Dr. Antônio Miguel Vieira Monteiro no curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

INPE
São José dos Campos
2019

Sumário

1. INTRODUÇÃO 3

2. MATERIAIS E MÉTODOS 4

2.1. Caracterização da área de estudo 4

2.2. Dados Utilizados 5

2.2.1. Escolas na região do MAP 5

2.2.2. Focos de queima na vegetação 6

2.2.3. Perda florestal 6

2.3. Geoprocessamento dos dados 6

2.3.1. Exposição potencial das escolas 7

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES 9

3.1. Dinâmica de ocorrência dos incêndios na região do MAP 9

3.2. Dinâmica da perda florestal na região do MAP 12

3.3. Correlação entre os processos de queima e supressão da vegetação 15

3.4. Exposição das escolas a queimadas e incêndios florestais 16

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS 19

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 20

1. INTRODUÇÃO

Os distúrbios ocasionados em diversos ecossistemas, provenientes da ocorrência de queimadas e incêndios florestais, são causa de impactos frequentes a ambientes antrópicos e naturais (ARAGÃO et al., 2018).

Observa-se que esse tipo de desastre natural tem se tornado recorrente no tempo e no espaço, ameaçando diversas regiões do mundo, de modo que, a cada ano milhares de hectares de áreas cobertas por vegetação são consumidos pelo fogo, pondo em risco o meio-ambiente e as comunidades humanas locais (ALMEIDA, 2008).

É importante ressaltar que na literatura brasileira os termos incêndios florestais e queimadas não são sinônimos. De acordo com Kazmierczak (2011), as queimadas consistem no emprego controlado do fogo sobre a vegetação, a fim de, por exemplo, obter a limpeza do terreno para o cultivo de plantações ou formação de pastos. No entanto, estas podem causar grandes incêndios quando fogem do controle em áreas florestais (KAZMIERCZAK, 2011).

Sendo assim, pode-se inferir que na região compreendida por Madre Díos-Peru, Acre-Brasil e Pando- Bolívia (MAP) os incêndios ocorridos são ocasionados pelo manejo inadequado do fogo. Isto porque as taxas anuais de desmatamento na Amazônia brasileira apresentam uma correlação em torno de 84% com as incidências de incêndios, sendo que este último muitas vezes serve de ferramenta para a remoção da biomassa, limpando as áreas para uso agropecuário (ARAGÃO et al., 2008).

Além disso, tem-se os episódios de secas extremas que também contribuem de maneira significativa para o aumento da taxa média de ocorrência de incêndios na Amazônia associada ao aumento da persistência do manejo de pastagens e dos incêndios de desmatamento. Esses fatores aumentam a probabilidade de os incêndios vazarem de áreas abertas para florestas adjacentes modificadas por humanos, as quais tendem a ser mais suscetíveis ao fogo do que em regiões com grande densidade de florestas primárias não perturbadas (ARAGÃO et al., 2018).

Autores como Ignotti et al. (2010) e Gonçalves, Castro e Hacon (2012) afirmam que a queima de biomassa influencia diretamente nas emissões de poluentes atmosféricos em grandes áreas da América do Sul, trazendo grandes impactos negativos na saúde humana, principalemente entre julho e outubro, quando ocorrem altas concentrações de material particulado.

Neste sentido, conhecer os locais ameaçados por esses episódios pode auxiliar na definição de áreas prioritárias para monitoração, bem como em ações de educação ambiental e prevenção, ao mesmo tempo em que possibilita uma resposta mais rápida ao combate destes e, consequentemente, contribui na redução de danos.

Entende-se que a identificação da exposição a uma determinada ameaça, como os incêndios florestais, compõe uma das variáveis-chave para conhecer o risco, assim como um elemento crítico para o desenvolvimento de um sistema de alerta e planejamento de ações mitigatórias.

Dentre as populações expostas incluem-se as comunidades escolares, representadas na presente pesquisa por professores, funcionários e alunos. Esses, apesar de em situação de potencial exposição, podem contribuir para políticas de prevenção e preparação para os desastres, como recomendado no Marco de Ação de Sendai para a Redução de Risco de Desastres.

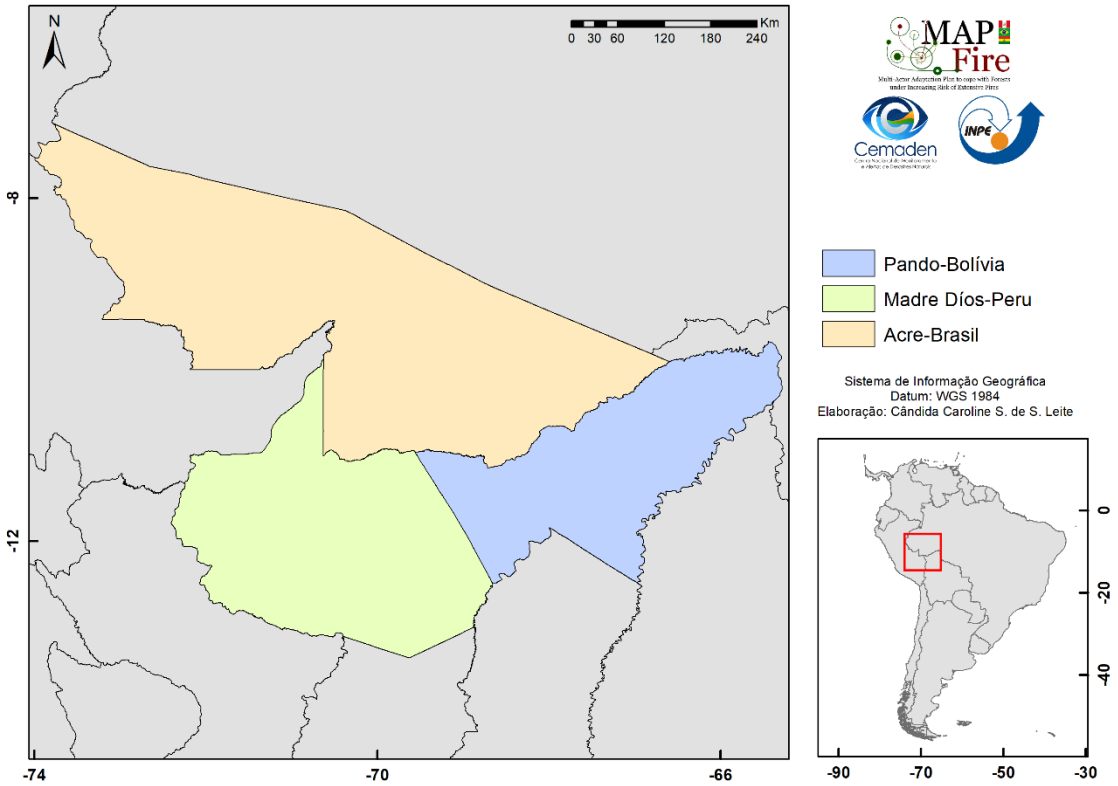
Fischer et al. (2013) define exposição como a probabilidade de que um determinado risco / perturbação afete as populações ou os recursos de que eles dependem. Por conta disso, o objetivo este estudo foi analisar a exposição de escolas em relação a episódios de queimadas e incêndios florestais em Madre de Díos-Peru, Acre-Brasil e Pando-Bolívia (MAP), a fim de subsidiar o planejamento de ações e atividades de formação de uma rede de escolas e comunidades voltadas à prevenção do risco de desastres associados a incêndios florestais.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área de estudo

A fronteira trinacional constituída pelo MAP (Figura 1) foi delimitada através de uma iniciativa de integração biorregional no Sudoeste da Amazônia. A área é coberta por mais de 300 mil km² de florestas tropicais bem preservadas, com alta diversidade biológica, cultural e social, bem como reservas de conservação e indígenas.

Mapa 1: Localização da área de estudo.



Fonte: Elaboração própria.

De acordo com Silva (2015), o Departamento de Pando em 2014 apresentava uma população de aproximadamente 112.799, enquanto o Departamento de Madre de Díos 134.105 e o Estado do Acre 790.101, de modo que o total do contingente populacional de toda a região seria em torno de 1.037.005 pessoas.

2.2. Dados Utilizados

2.2.1. Escolas na região do MAP

A relação das escolas existentes na região do MAP foi coletada a partir dos websites do Ministério de Educação de cada país, em formato de coordenadas X e Y. A quantidade de escolas encontradas em cada estado/departamento da área de estudo é apresentada no Quadro 1.

Quadro 1- Número de escolas por estado/província na região do MAP.

Estado/Província	Quant. de escolas
Madre de Díos	284
Acre	482
Pando	18

Fonte: Elaborado pela autora.

2.2.2. Focos de queima na vegetação

Os dados de focos de queima na vegetação utilizados nesta pesquisa foram adquiridos através do Banco de Informações de incêndio para o sistema de gerenciamento de recursos (*FIRMS- Fire Information for Resource Management System*), através do <website https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/download/create.php>.

O estudo utilizou os focos coletados pelo sensor VIIRS, a bordo da plataforma NPP-375, o qual apresenta resolução espacial de 375 metros e temporal diária, com passagem diurna e noturna. Esse sensor possui 22 canais centrados nos comprimentos de onda de 0.412 a 12.013 μm, sendo 5 no visível, 1 Day-Night-Band (DND) no visível e 16 no infravermelho, o que confere um resultado satisfatório na detecção de vegetação queimada (PROGRAMA QUEIMADAS, 2015).

2.2.3. Perda florestal

Os dados de Perda Florestal utilizados são oriundos da plataforma *Global Forest Change* 2000-2018, desenvolvida pela Universidade de Maryland, e resultado da análise de séries temporais de imagens Landsat, caracterizando a extensão e as mudanças florestais em todo o globo.

De acordo com Hansen (2013), a perda florestal é definida como um distúrbio de substituição de um patamar ou uma mudança de cobertura para um estado não florestal. Codificado como 0 (sem perda) ou como um valor no intervalo 14-18, referindo-se ao ano da perda, no caso desta pesquisa, 2014-2018, respectivamente.

2.3.Geoprocessamento dos dados

À princípio, foi feito o recorte da Perda Florestal para a área de estudo. Em seguida, elaborou-se uma grade envolvendo a área de estudo, com células de 9 km², para que a partir dela fosse possível manter os dados em uma mesma resolução, possibilitando as operações de geoprocessamento.

Com base na grade, foi calculada a quantidade de focos e a porcentagem de Perda Florestal por célula, este cálculo culminou em um raster para cada ano referente a cada um dos dados de entrada.

Posteriormente, aplicou-se a Equação 1 a fim de analisar a correlação entre a ocorrência de focos de queima na vegetação e a perda florestal por célula durante os anos estudados, a partir dos gráficos de dispersão resultantes deste cálculo.

$$y = ax + b \tag{1}$$

Onde a variável independente (b) equivale percentagem de Perda Florestal em cada célula, enquanto a se trata da variável dependente, os focos de queima na vegetação por célula.

O motivo da Perda Florestal ser utilizada como variável independente se dá pelo fato de que a relação antrópica existente entre os dados utilizados ocorre, em geral, da seguinte forma: suprime-se a vegetação, e, em seguida, ateia-se fogo, a fim de obter áreas de pastagens e/ou outros usos.

Os vetores de localização das escolas foram unidos em um mesmo arquivo vetorial a partir da função merge. Após, foi criado um buffer desses vetores subdivido em três diferentes distâncias, 1000 metros, 3000 metros e 5000 metros, a fim de classificar a exposição potencial destas à ocorrência de queimadas e incêndios, assumindo que quanto maior a proximidade dos focos às escolas maior seria o potencial de exposição delas.

2.3.1. Exposição potencial das escolas

A fim de identificar os locais com tendência positiva à ocorrência de focos de queima na vegetação e de Perda Florestal na área de estudo, ao longo dos anos estudados, foi realizado o cálculo do índice de tendência, a partir da aplicação de uma regressão linear simples na série temporal desses dados.

As tendências especializadas, juntamente com o buffer das escolas, serviram de variáveis para o modelo de exposição potencial na área de estudo. Dessa forma, em seguida foram atribuídos pesos para cada uma destas e suas respectivas classes, como é demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1- Matriz de ponderação das variáveis utilizadas no modelo de exposição potencial das escolas do MAP.

Matriz de ponderação		
Variáveis	**Classes**	**Peso**
Localização das escolas	1000 m	**40**
	3000 m	20
	5000 m	10
Tendência de focos de queima na vegetação	Positiva	**40**
	Negativa	0
Tendência de Perda Florestal	Positiva	**20**
	Negativa	0

Fonte: Elaboração própria

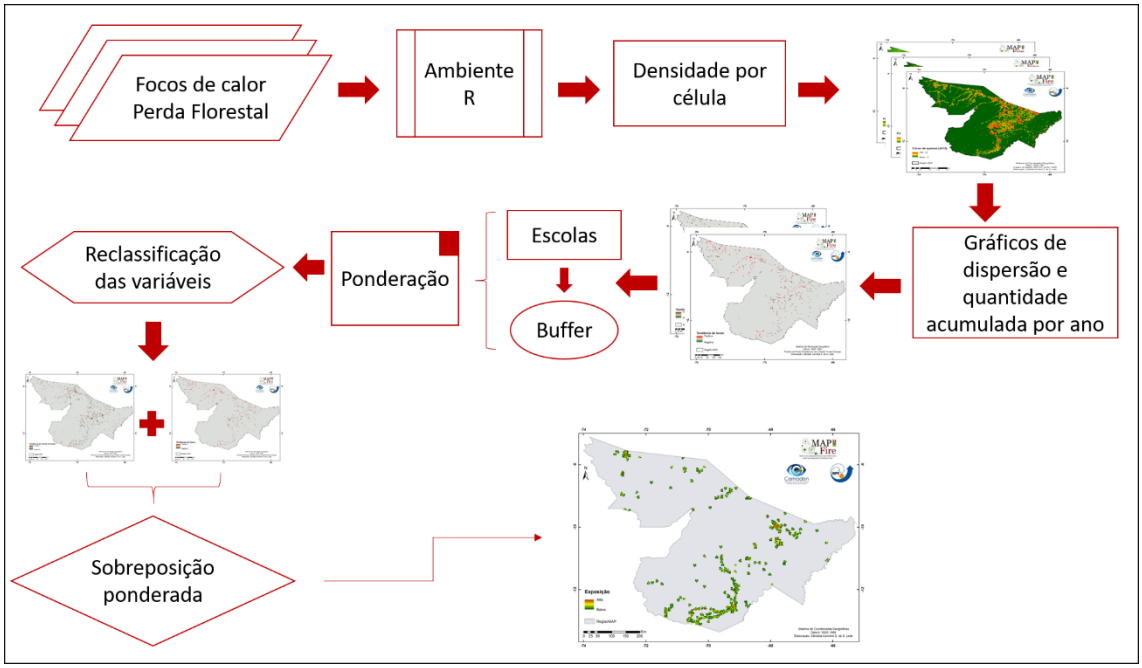
Considerando a prioridade de influência das variáveis do modelo, foi realizada uma reclassificação, para transformar as classes em números, possibilitando a álgebra de mapas. Em seguida, as variáveis reclassificadas foram elevadas ao quadrado, a fim de excluir as ambiguidades.

De acordo com Silva (2003) as ambiguidades de atributos são comumente observadas em estudos realizados com álgebra de mapas, uma vez que, uma classe resultante com o valor 9 pode, por exemplo, significar tanto uma classe que previamente fora classificada com este valor, como a multiplicação de duas classes com o valor 3.

Sendo assim, após esses procedimentos foi realizada a operação de sobreposição por peso, uma álgebra de mapas que leva em consideração tanto os pesos das variáveis do modelo, como os diferentes pesos das classes destas.

Os procedimentos supracitados foram resumidos no Fluxograma 1.

Fluxograma 1- Procedimentos metodológicos utilizados.



Fonte: Elaboração própria.

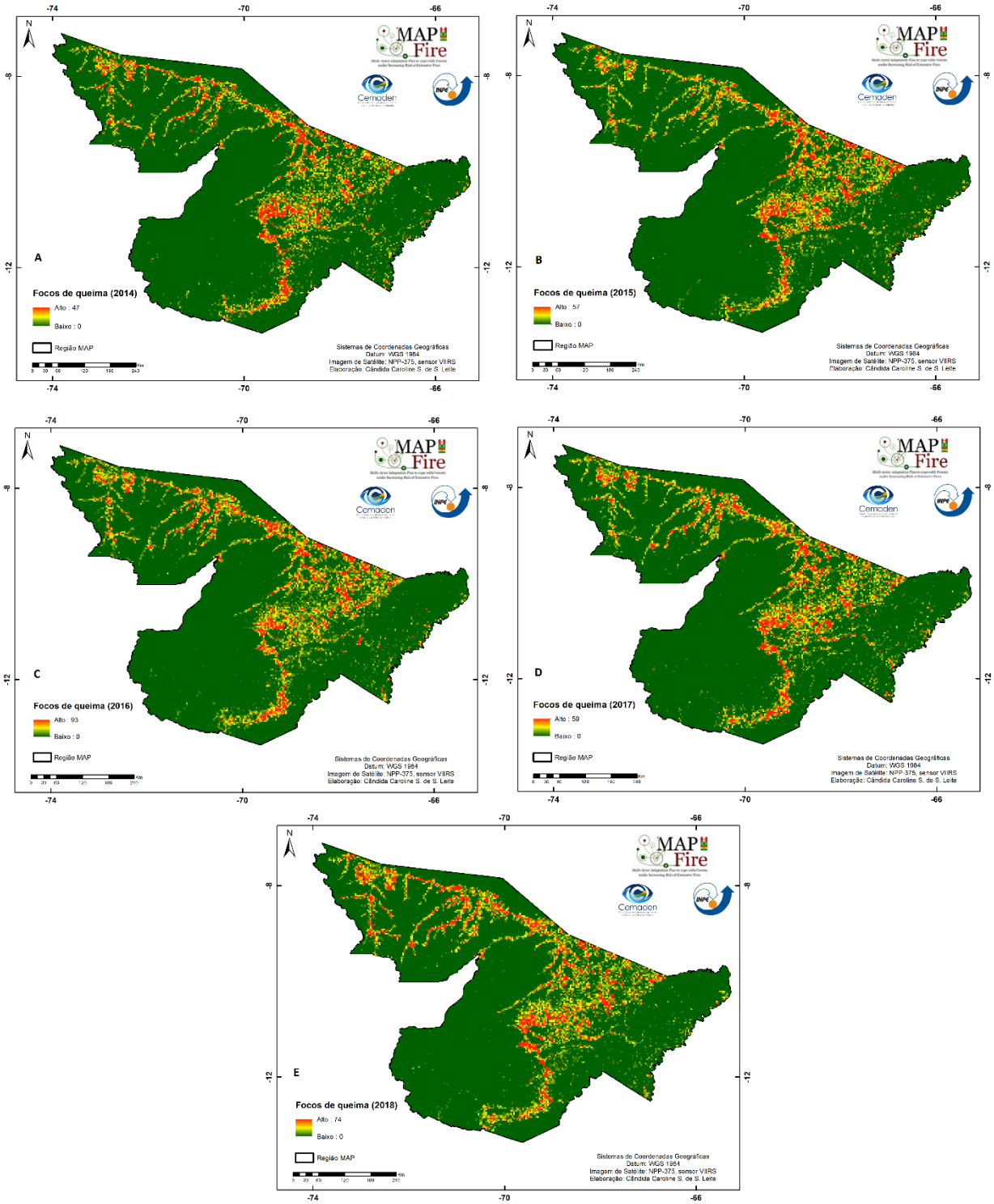
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Dinâmica de ocorrência dos incêndios na região do MAP

Na Figura 1 é possível observar a dinâmica espacial dos focos de queima na vegetação verificados na região do MAP. A Figura, subdividida entre A - E, referente respectivamente aos anos da série temporal analisada, 2014-2018, demonstra um padrão de ocorrência, o qual é percebido na direção NE-SW entre o Acre e Madre de Díos e na porção noroeste do estado brasileiro.

Ao analisar os mapas da Figura 1 se verifica grande recorrência dos episódios de queimadas e/ou incêndios em determinados locais da área de estudos, os quais apesar de apresentarem mais ou menos intensos nos diferentes anos, mantém um padrão espacial significativo.

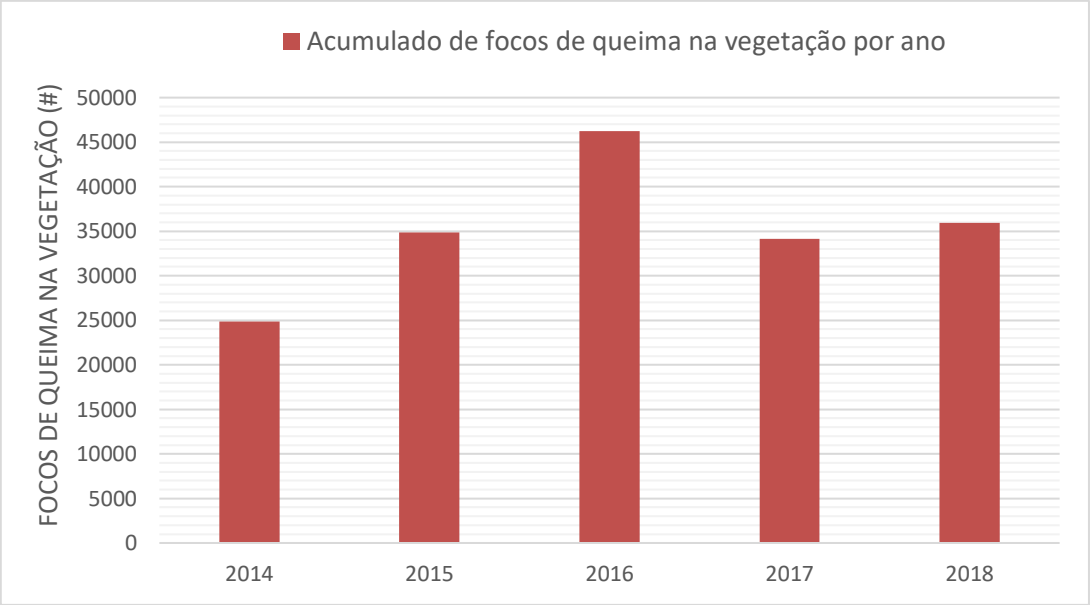
Figura 1: Mapas de quantidade de focos de queima na vegetação por célula na série temporal analisada, sendo A referente ao ano de 2014 e respectivamente B, C, D e E aos anos 2015, 2016, 2017 e 2018.



Fonte: Elaboração própria.

Verifica-se ainda que o ano de 2016 apresentou maior presença de focos, alcançado até 93 focos por célula de 9 km², o que também reflete no acumulado de focos por ano, como demonstra o Gráfico 1.

Gráfico 1- Número de focos de queima na vegetação observados na série temporal analisada.



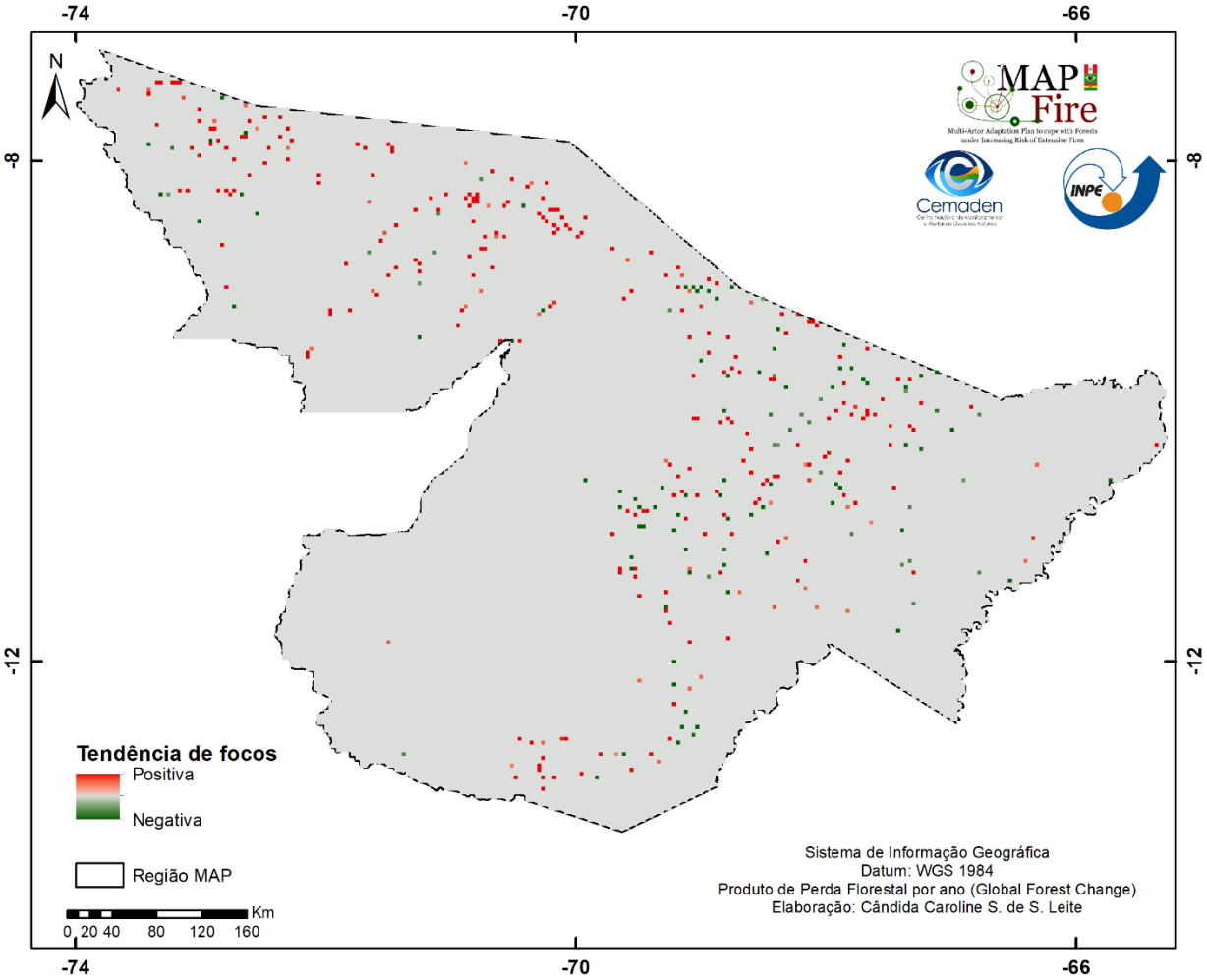
Fonte: Elaborado pela autora.

O gráfico 1 indica que 2016 foi o ano com maior número de focos de queima na vegetação, chegando a mais de 45 mil detecções. Enquanto o ano identificado com menor número de ocorrências foi 2014, mas que mesmo assim ainda demonstrou uma alta quantidade, aproximadamente 25 mil focos.

Dessa forma, a recorrência desses episódios pode ser verificada no Mapa 2, o qual retrata as áreas com tendências positivas e negativas a estes eventos. De acordo com Anderson et al. (2017) as áreas mapeadas com tendência positiva no número de focos ano a ano possuem grande probabilidade de ocorrência de incêndios nos anos subsequentes.

É possível verificar no Mapa 2, grande relação espacial com as áreas mapeadas com maior quantidade de focos de queima na vegetação por célula, apresentada no item anterior. Isso quer dizer que além desses locais estarem apresentando alto número de focos, a frequência com que são atingidos também é alta, causando sérios danos à conservação da biodiversidade e prejudicando a saúde dos habitantes.

Mapa 2: Índice de tendência à ocorrência de queimadas e incêndios florestais para a região do MAP, em função da focos de queima na vegetação entre os anos de 2014 a 2018.

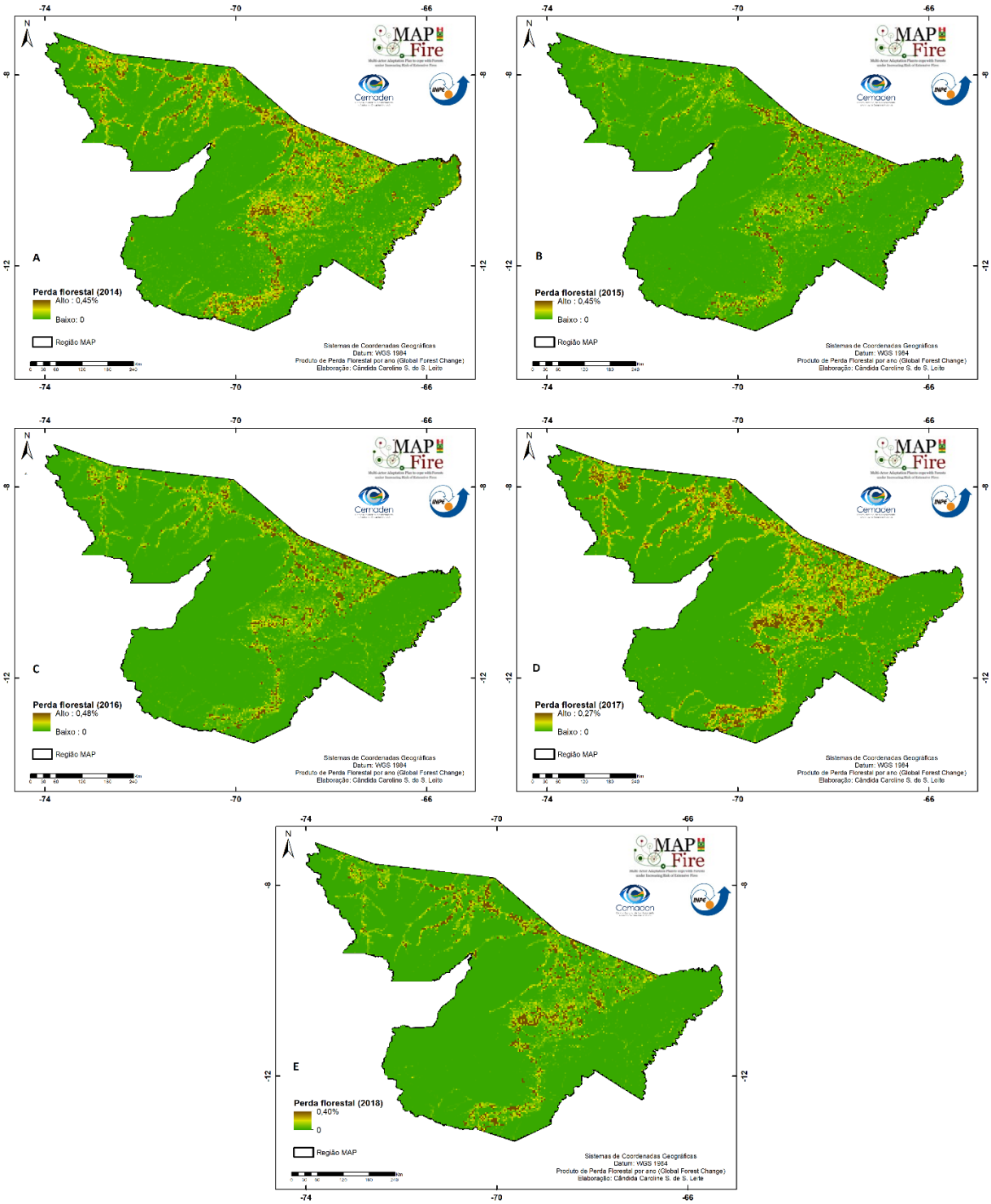


Fonte: Elaboração própria.

3.2.Dinâmica da Perda Florestal na região do MAP

A dinâmica espacial de Perda Florestal na região do MAP é verificada através da Figura 2, subdividida em A-E. Nesses mapas é possível perceber situação semelhante ao que foi conferido na Figura 1, onde se observa um padrão espacial ocorrendo no sentido NE-SW entre o Acre e Madre de Díos, bem como uma ocorrência significativa na porção Noroeste do estado do Acre.

Figura 2: Mapas da percentagem de Perda Florestal por célula na série temporal analisada, sendo A referente ao ano de 2014 e respectivamente B, C, D e E aos anos 2015, 2016, 2017 e 2018.

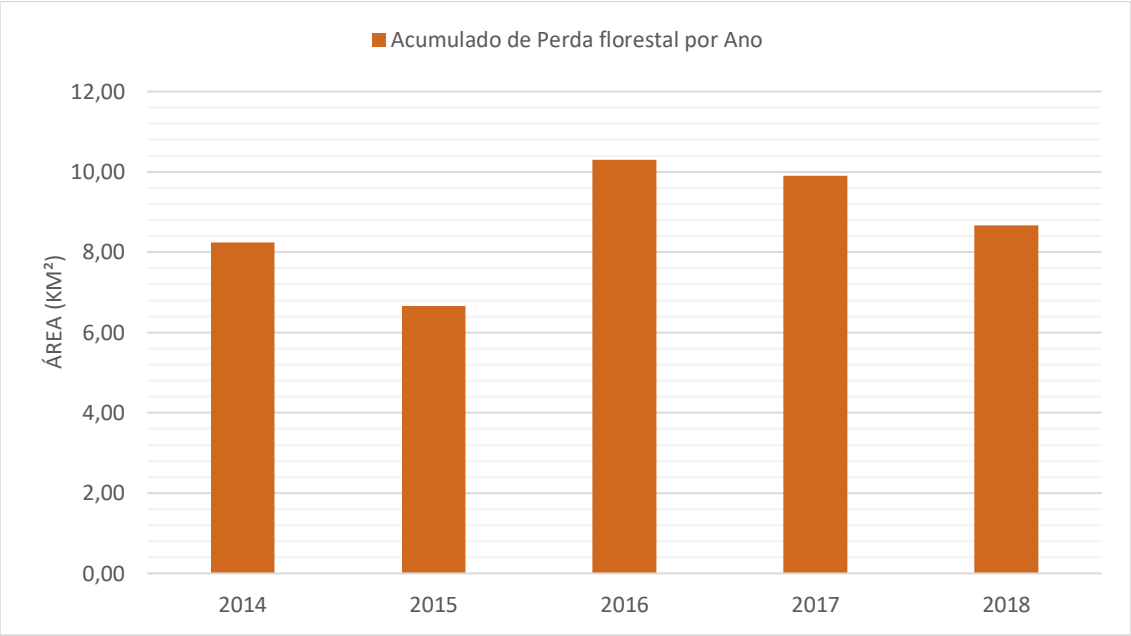


Fonte: Elaboração própria.

Na figura 2 é possível destacar o ano de 2017, no qual é possível perceber uma maior quantidade de células com incidência de Perda Florestal, não querendo dizer, no entanto, que este ano apresenta maior quantidade de área florestal perdida.

Por outro lado, o gráfico referente a quantidade de área de floresta perdida (Gráfico 2) indica os anos de 2016 e 2017 como os de maior prejuízo, alcançando em 2016 um total de aproximadamente 11 km² e em 2017 em torno de 9 km².

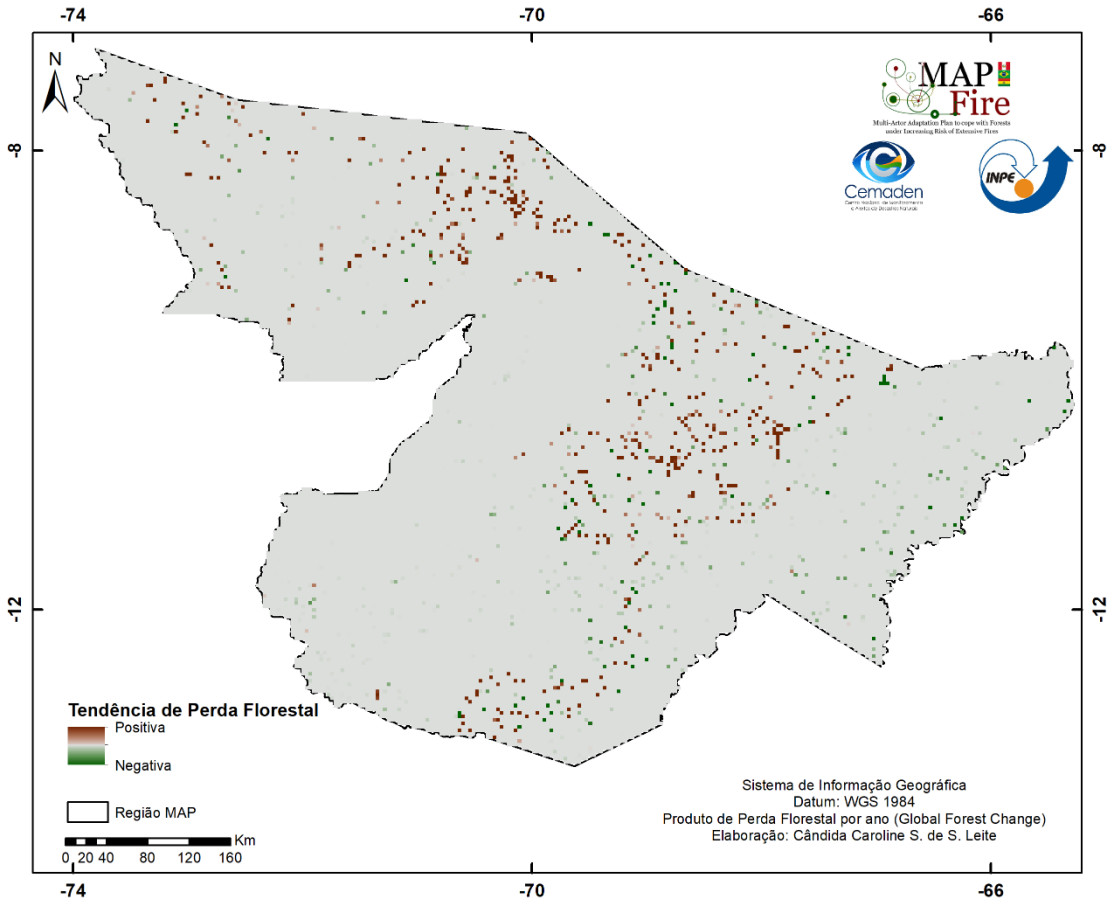
Gráfico 2- Área de Perda Florestal detectada na série temporal analisada.



Fonte: Elaborado pela autora.

A título de verificação da recorrência de Perda Florestal na área de estudo, o Mapa 3 apresenta os locais com tendências positiva e negativa a este problema nos anos subsequentes, com base na ocorrência deste em toda a série temporal. De acordo com Anderson et al. (2017) entender a tendência de ocorrência de um determinado problema ambiental, como a Perda Florestal se faz imprescindível para políticas públicas de preparação e decisões de governos municipais e estaduais durante secas prolongadas e períodos de desmatamento.

Mapa 3- Índice de tendência à ocorrência de supressão da vegetação para a região do MAP, em função da Perda Florestal identificada por Hansen (2013) entre os anos de 2014 a 2018.



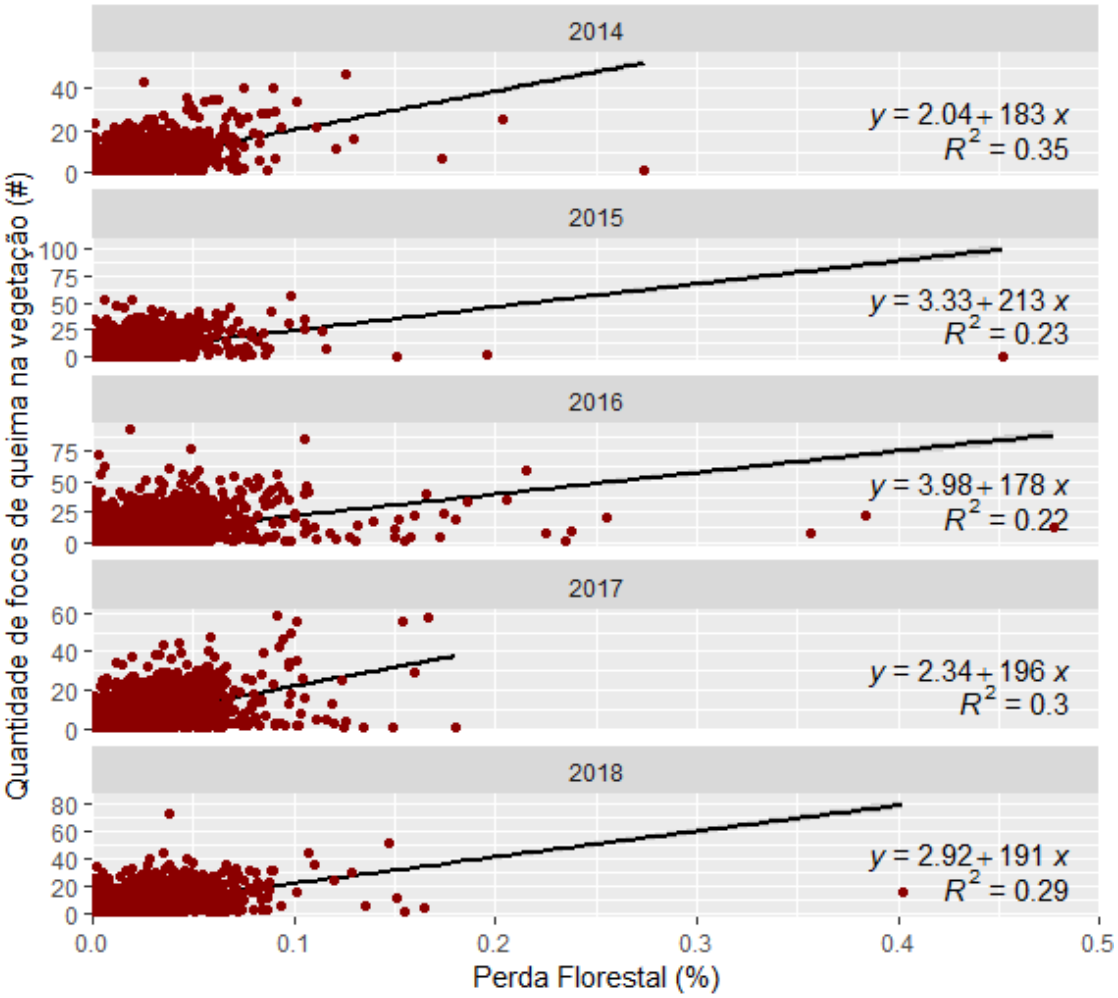
Fonte: Elaboração própria.

3.3.Correlação entre os processos de queima e supressão da vegetação

Como forma de entender a relação da dinâmica de ocorrência entre os dois dados analisados no presente estudo (focos de queima na vegetação e Perda Florestal), observa-se o Gráfico 4. Nele é possível identificar que a mais alta correlação entre ambos os eventos ocorre em células com menor quantidade de Perda Florestal.

Supõe-se com isso, que as ações de desmatamento têm sido feitas de maneira cuidadosa e aos poucos, provavelmente com o intuito de não alertar as autoridades. Observa-se então, que as células com menor abrangência de Perda são, em geral, onde se encontra o maior número de focos. Além disso, o padrão identificado é percebido em todos os anos da série temporal.

Gráfico 4- Correlação entre a ocorrência de focos de queima na vegetação e Perda Florestal por célula na série temporal analisada.

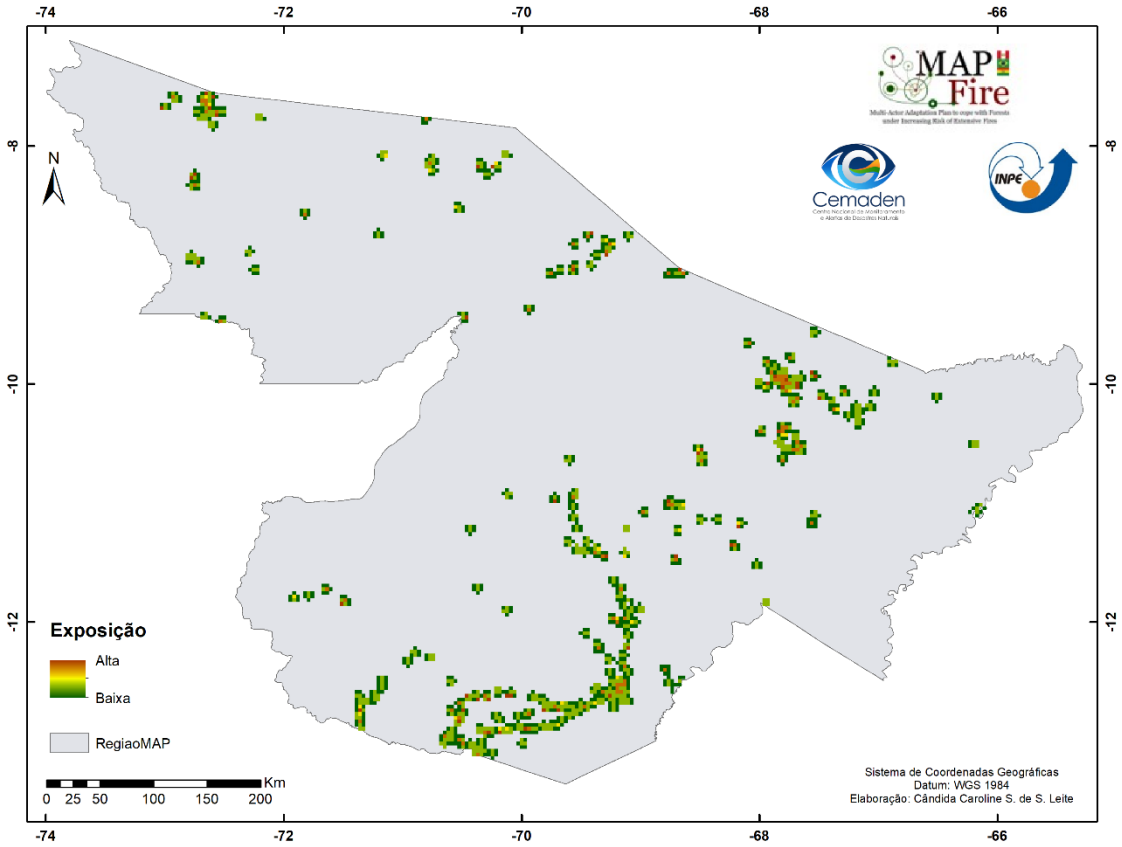


Fonte: Elaborado pela autora.

3.4. Análise da exposição das escolas a queimadas e incêndios florestais

O resultado do modelo de exposição potencial das escolas (Mapa 4), levando em consideração a proximidade destas em relação à ocorrência de queimadas e/ou incêndios florestais, demonstra alta relação espacial com os mapas observados nos itens 3.1 e 3.2. É possível perceber que locais mapeados com baixo potencial de exposição apresentaram tendências positivas a incidência de queimadas e desmatamento, visto que, a localização das escolas tem grande relevância no modelo, resultando que em locais com maior concentração de escolas fossem modelados como áreas de alto potencial de exposição.

Mapa 4- Exposição potencial das escolas a ocorrência de queimadas e incêndios florestais na região do MAP.



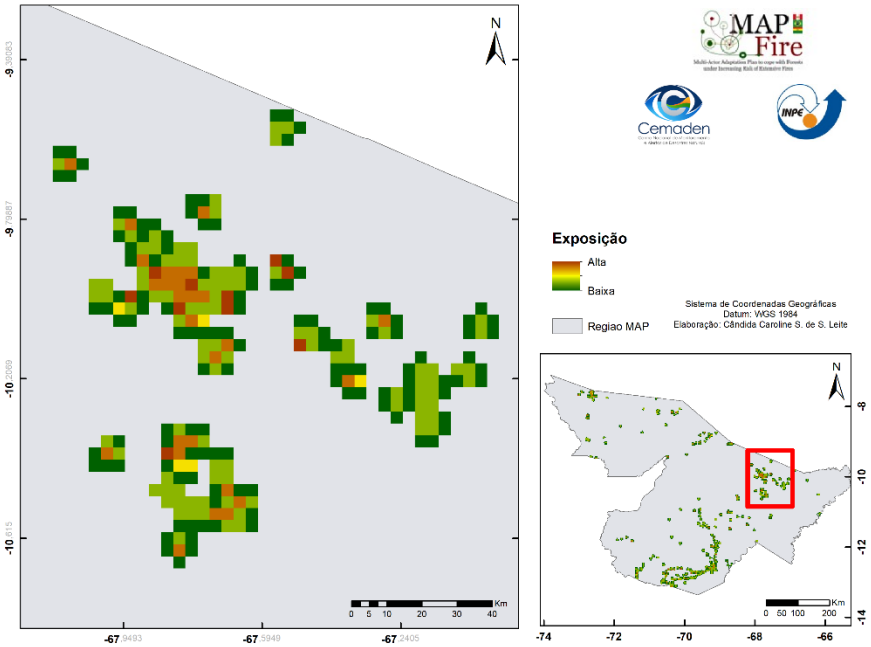
Fonte: Elaboração própria.

No Mapa 4 se verifica que os locais mapeados como de alta exposição potencial ocorrem principalmente nos arredores dos municípios de Rio Branco e Cruzeiro do Sul, ambos no Acre. Estes, são locais com uma alta concentração de escolas o que implica diretamente em uma preocupação ainda maior do problema, uma vez que significa que uma maior quantidade de pessoas será afetada pelos prejuízos causados pelos episódios de queimadas e/ou incêndios.

Nos Mapas 5 e 6 é possível ter uma visão mais detalhada sobre as áreas mais expostas, de acordo com o modelo desenvolvido. Deve-se levar em consideração aqui que a grande quantidade de escolas nesses locais pode ter influenciado o modelo de maneira errônea, uma vez que, levou-se em consideração as distâncias ao redor delas.

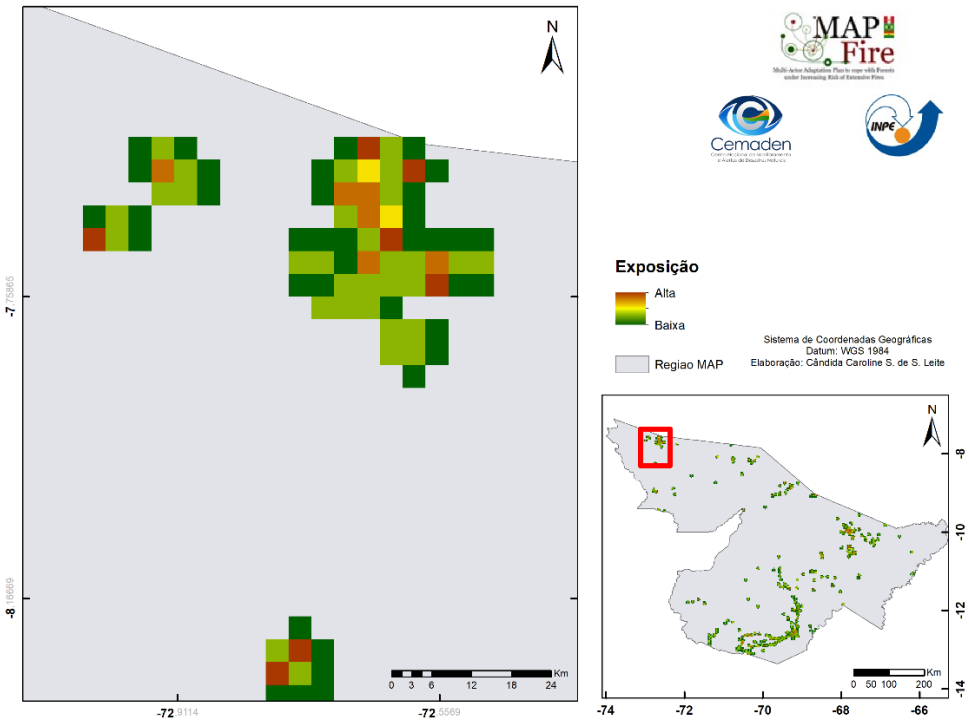
No entanto, o fato de existir grande concentração de escolas próximas umas das outras, não significa de fato uma exposição, mas sim que se houver uma ou mais ocorrências de incêndios em locais próximos, mais escolas serão afetadas.

Mapa 5- Exposição potencial das escolas a ocorrência de queimadas e incêndios florestais na região do MAP (detalhe para os arredores de Rio Branco-AC).



Fonte: Elaboração própria.

Mapa 6- Exposição potencial das escolas a ocorrência de queimadas e incêndios florestais na região do MAP (detalhe para os arredores de Cruzeiro do Sul- AC).

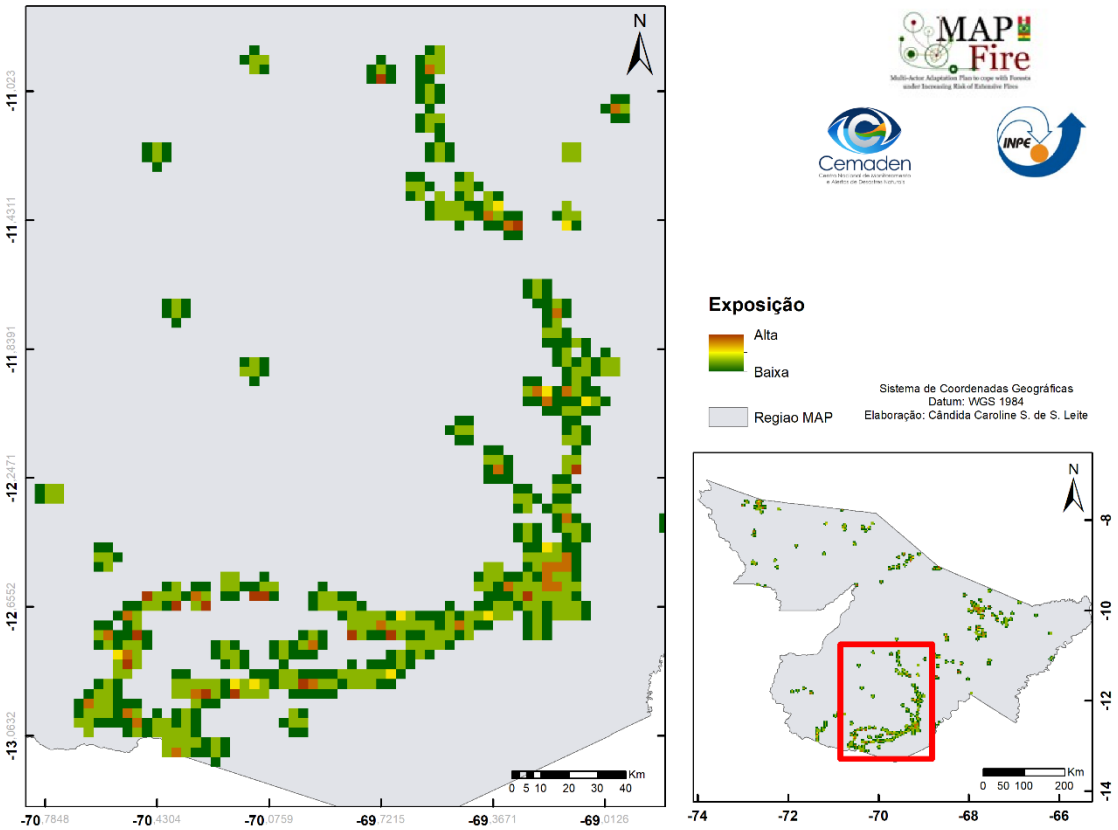


Fonte: Elaboração própria.

Por outro lado, o Mapa 7 destaca uma área nos arredores da rodovia Transoceânica que liga o Acre e Madre de Díos ao litoral ocidental da América do Sul, onde há alta incidência de atividades antrópicas voltadas a expansão rodoviária.

Neste local, apesar de apresentar tendências positivas tanto para ocorrência de queimadas como para a Perda Florestal, observa-se em grande parte um baixa exposição potencial, o que indica mais uma vez que a concentração das escolas influencia de forma negativa neste resultado.

Mapa 7- Exposição potencial das escolas com relação a ocorrência de queimadas e incêndios florestais na região do MAP (detalhe para o entorno da estrada para o Pacífico).



4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao final deste estudo se considera que a metodologia aplicada foi eficaz na identificação de áreas de exposição potencial à ocorrência de incêndios e queimadas, na medida em que se apresenta como uma forma promissora para auxiliar na tomada de decisões referentes ao tema na região do MAP.

Além disso, os resultados trazem auxílio no direcionamento de estudos de impactos nas áreas afetadas pelos incêndios florestais e queimadas. A análise de tendência também chama atenção para os problemas ocasionados pela alta recorrência de episódios em um mesmo local, o que juntamente com a localização das escolas possibilitou a identificação das áreas de exposição potencial.

Por outro lado, é importante uma análise mais aprofundada com relação a influência da localização das escolas no modelo, de modo a sanar o problema da alta concentração destas indicarem uma exposição maior.

Para continuação do estudo, pretende-se estender as análises para uma série temporal maior, bem como a utilização de dados de aerossol, no intuito de verificar a relação destes com a localização dos focos detectados.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, R. M. **Modelo de propagação do fogo em incêndios de superfície baseado no método Nodal.** Dissertação (Mestrado em Computação aplicada) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008. 113 p.

ARAGÃO, I.E.O.C.; ANDERSON, L.O.; FONSECA, M.G.; ROSAN, T.M.; VEDOVATO, L.; WAGNER, F.; SILVA, C.; JUNIOR, C.; ARAI, E.; AGUIAR. A.P.; BARLOW, J.; BERENGUER, E.; DEETER., M.; DOMINGUES, L.; GATTI, L.; GLOOR, M.; MALHI, Y.; MARENGO, J.; MILLER, J.; PHILLIPS, O.; SAATCHI, S. 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. **Nature Communications**, 9, (536), doi:10.1038/s41467-017-02771-y. 2018.

ARAGÃO, L. E. O. C.; MALHI, Y.; BARBIER, N.; LIMA, A.; SHIMABUKURO, Y.; ANDERSON, L.; e SAATCHI, S. Interactions between rainfall, deforestation and fires during recent years in the Brazilian Amazonia. **Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci**. 363, p. 1779–1785, 2008.

FISCHER, A.P., PAVEGLIO, T. B., CARROLL, M.S., BRENKERT-SMITH, H., MURPHY, D.J. Assessing social vulnerability to climate change in rural communities near public lands: elements of a framework for managers. **Journal of Forestry**. 111, 357 e 365. 2013.

GONÇALVES, K. D. S., CASTRO, H. A. D., & HACON, S. D. S. Ground-clearing fires in the amazon and respiratory disease. **Ciência & saúde coletiva**, v. 17, n. 6, p. 1523-1532. 2012.

HANSEN, M. C.; POTAPOV, P. V.; MOORE, R., HANCHER, M.; TURUBANOVA, S. A.; TYUKAVINA, A.; THAU, D.; STEHMAN, S. V.; GOETZ, S. J.; LOVELAND, T. R.; KOMMAREDDY, A.,; EGOROV, A.; CHINI, L.; JUSTICE, C. O.; Townshend, J. R. G. "High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change." **Science**, v. 342 p. 850–53. 2013.

IGNOTTI, E., VALENTE, J. G., LONGO, K. M., FREITAS, S. R., DE SOUZA HACON, S., & NETTO, P. A. Impactos na saúde humana de partículas emitidas por queimadas na Amazônia brasileira. **Revista de Saúde Pública**, v. 44, n. 1, p. 121-130. 2010.

KAZMIERCZAK, M.L. Sensoriamento Remoto para incêndios Florestais. In: SAUSEN, T.M.; LACRUZ M.S.P. (Orgs.) **Sensoriamento Remoto para Desastres**. São Paulo: Oficina de Textos, 288 p. 2015.