

Paper do NAEA
Volume 30, Número 1, Edição 526

Identificação de vetores de desmatamento em região hidrográfica por meio de imagens Sentinel-2B

Abraão Levi dos Santos Mascarenhas¹
Maria Rita Vidal²



RESUMO

A perda das características originárias da biodiversidade na Amazônia provocada por processos de corte raso ou pelo uso do fogo é um dos maiores problemas ambientais enfrentado pelo Estado. Metodologias de mapeamentos para monitoramento por meio de sensores orbitais junto às técnicas de geoprocessamento têm demonstrado o poder de análise e controle sobre os impactos das atividades humanas. O presente ensaio busca demonstrar como as técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento de imagens Sentinel-2B por meio de álgebra de mapas e índices de assinatura espectral podem auxiliar na identificação de fenômenos de queima. Foram selecionados ambientes, na região hidrográfica Itacaiúnas-Tocantis para testar o potencial de identificação de eventos e pós-evento de fogo através do sensor MSI (*MultiSpectral Instrument*). Em ambientes fluviais e lacustres, as atividades fotossintéticas ativas identificam prejuízos das ações de fogo, nas pastagens degradadas com ocorrência de vegetação com fitofisionomias secundárias as assinaturas separam significativamente os alvos de queimadas e em ambientes de terras altas, serras com manchas de cerrado possibilitam identificar áreas com cicatrizes de queimadas.

Palavras-chave: Paisagem. Satélites. Sentinel-2. Índice espectral. Região hidrográfica.

¹ Doutor em Geografia e Professor Adjunto da Faculdade de Geografia (UNIFESSPA). Email: abraaolevi@unifesspa.edu.br.

² Doutora em Geografia e Professora Adjunto da Faculdade de Geografia (UNIFESSPA). Email: ritageo@gmail.com.

ABSTRACT

The loss of characteristics originating from biodiversity in the Amazon caused by shallow cutting processes or by the use of fire is one of the biggest environmental problems faced by the State. Mapping/monitoring methodologies using orbital sensors along with geoprocessing techniques have demonstrated the power of analysis and control over the impacts of human activities. The present essay seeks to demonstrate how the techniques of remote sensing and geoprocessing of Sentinel 2B images, through map algebra and spectral signature indices, can assist in the identification of firing phenomena, either at the moment of the fires, or by the marks left in the fire. landscape. Environments were selected in the Amazon region in order to test the potential for identifying events / post-fire events of the MSI (MultiSpectral Instrument) sensor. In fluvial and lake environments active photosynthetic activities identify damage from fire actions, in degraded pastures with vegetation occurring with secondary phytophysionomies the signatures separate goods that are the target of burning and in highland environments with savannah cover, it is possible to identify areas with great potential of fire events.

Keywords: Landscape. Satellites. Spectral index. Hydrographic region.

INTRODUÇÃO

A formação territorial do Brasil foi pautada na exploração dos recursos naturais pelos países Europeus com objetivo de ocupação/invasão do território, a exemplo das atividades extrativista de madeira e ervas, em um primeiro momento e que sucedeu ao desflorestamento possibilitando a inserção da monocultura da cana-de-açúcar.

A contradição entre controle territorial e a proteção dos recursos (Lei de proteção de madeira de 1605 escrita por José Bonifácio – daí a ideia de madeira de lei) versa sobre a criação de uma lista de espécies que só poderiam ser exploradas pela coroa portuguesa, sendo a questão do monopólio a primeira medida de proteção. Só a partir de 1934 há uma maior efetivação da Política Florestal no Brasil.

A preocupação de monitoramento de índices de desmatamento por meio de imagens orbitais com metodologia de sensoriamento remoto é uma tendência consolidada no Brasil, haja vista os trabalhos publicados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Para a análise do desmatamento da região amazônica brasileira, tem-se com propriedade os trabalhos de autores como Shimabukuro (2013), Alves *et al.* (2009), Câmara, Valeriano e Soares (2006), Duarte *et al.* (2003) e Shimabukuro *et al.* (1997).

Porém, tem-se a ausência de medidas de índice de severidade das queimadas, entendida aqui como uma face do desmatamento da qual as pesquisas precisam avançar e hoje depõe-se de recursos técnicos e tecnologia que permitem realizar tais análises das quais podem auxiliar em políticas de monitoramento e de restauração da vegetação (FILIPPONI, 2018; MANSON, MANSON e QUITANO, 2016; KEY, BENSON, 2005).

A partir da premissa que há uma consolidada metodologia de identificação de perda de floresta e a baixa frequência de trabalhos que busque medir graus de severidade, procuramos compreender quais os vetores de desmatamento em regiões hidrográficas do Itacaiúnas-Tocantins e como as imagens do sensor MSI do satélite Sentinel-2B podem indicar alvos de desmatamentos por queimadas.

Os eventos de queimada/incêndios acontecem, na maioria das vezes, entre as estações inverno-primavera no hemisfério sul. Esse período é marcado pela estiagem das chuvas e aumento dos deslocamentos das massas de ar que geram grandes correntes de ventos.

Os incêndios florestais são identificados em vários setores da floresta e, em especial, as estradas e as calhas das redes fluviais (terraços e planícies inundadas em períodos de estiagens) são as rotas de vetores de desmatamentos e, conseqüentemente, os agravos desse fenômeno ocorrem com a grande quantidade de liberação de gases de efeitos estufas que aumenta a degradação dos sistemas ecológicos (REIS *et al.*, 2021).

As relações sinecológicas resultantes das variações climáticas e ações antropogênicas também contribuem para o cenário atual (SILVA *et al.*, 2018; ALENCAR *et al.*, 2015; XAUD, MARTINS, SANTOS, 2013; VIDAL e MASCARENHAS, 2020). O desflorestamento desencadeia processos de queimadas através dos resíduos deixados pelo desmatamento ilegal como já aponta os estudos de (CONDÉ, HIGUCHI e LIMA, 2019). Assim, convertem-se florestas em pastagens, prejudicando as propriedades do solo e deixando fragmentos na paisagem (ALENCAR *et al.*, 2015).

Pela importância conferida aos serviços ambientais da Floresta Amazônica (CONSTANZA *et al.*, 1997) e vastas áreas com endemismo (campos ferruginosos) e sua rica biodiversidade,

essas paisagens são responsáveis pela manutenção de importantes funções geoecológicas (HAFFER; PRANCE, 2002; VIDAL e MASCARENHAS, 2020).

Frente a estes processos, os estudos geoecológicos com uso de ferramentas do sensoriamento remoto como os cálculos de índices de vegetação e queimadas vêm sendo cada vez mais relevantes, uma vez que o entendimento dos aspectos sistêmicos das paisagens levam à compreensão da interligação dos fatores geoambientais e das relações de fluxos de matéria e energia e permite então, apontar para a situação funcional da paisagem em grau de complexidade e integridade sistêmica (RODRIGUEZ; SILVA; 2002; SILVA, RODRIGUES e CAVALCANTI, 2004; VIDAL; MASCARENHAS, 2019; 2020).

MATERIAL E MÉTODOS

Uso de recursos geoinformativos como os acoplados em plataformas de processamento de imagens facilitam o monitoramento ambiental por meio dos conjuntos de ferramentas computacionais de geoprocessamento, daí é possível localizar e espacializar informações importantes sobre a paisagem.

Entre as plataformas mais conhecidas mundialmente, encontra-se o projeto Qgis *open source* que tem desenvolvido um robusto software de geoprocessamento com miríades de ferramentas de manipulação de imagens orbitais.

Nesse ensaio, as ferramentas do Qgis mais utilizadas foram as que possibilitam manipulação de imagens orbitais (ferramenta raster/calculadora raster) a fim de inserir as fórmulas de indexação de vegetação que auxiliam na identificação de áreas de queimadas.

As imagens utilizadas na pesquisa são as do satélite Sentinel-2B a partir do sensor de instrumento multiespectral (*MultiSpectral Instrument/MSI*) com resolução espacial de 10 metros e resolução temporal que podem ser adquiridas de três a cinco dias para áreas localizadas a baixas latitudes, disponibilizando um conjunto de 13 bandas espectrais corrigidas geometricamente e radiometricamente (nível 2A) conforme consta no manual de utilização das imagens (Agência Espacial Europeia-ESA, 2015).

Com relação ao uso dos arquivos digitais com extensão *shapefile* (shp), utilizaram-se dados disponíveis no site do Ministério do Meio Ambiente do Governo Brasileiro (MMA), sendo possível construir o mapa de distribuição dos polos madeireiros e delimitação da região hidrográfica Itacaiúnas -Tocantins.

A realização do índice de queimada “Normalized Burn Ratio (NBR)”, para identificação cicatrizes na paisagem como produto da atividade de manejo do fogo foi realizado usando as concepções teóricas de Key e Benson (2005) e Key et al., (2002), os quais analisaram os efeitos das queimadas por meio das imagens orbitais delimitando metodologicamente o grau de severidade causado por incêndios em florestas. As bandas espectrais utilizadas estão associadas aos espectros infravermelho próximo (NIR) e infravermelho (SWIR), conforme a fórmula 1:

$$NBR = \frac{ST2b8a - STb12}{ST2b8a + STb12} \quad (1)$$

A faixa espectral 865µm da banda 8 está associada à borda do vermelho. Conjuntamente com a banda 12 de faixa espectral de 2190µm, são capazes de detectar o comportamento fisiológico das folhas associado ao estresse por falta de umidade. Esse índice tem sido aplicado em diversas partes do mundo e possibilitam ações de gestão e monitoramento ambiental.

As variáveis envolvendo parcelas de áreas degradadas, pastagens, agricultura familiar, fragmento de florestas nativas, atingidos por eventos de queimada também foram analisados por Xaud, Martins e Santos (2013) usando técnica de sensoriamento remoto na região amazônica e, inventário florestal. Os referidos autores observam fragmentação e perda de biodiversidade, fato esse registrado também por Armenteras, González e Retana (2013), que versam sobre como o fogo afeta a influência de borda florestais e a dinâmica ecológica.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A demanda por madeira pelos mercados internos e externo promotora de riqueza nos anos 1990 gerou uma estimativa de lucro entorno de US\$ 1,3 bilhões, esses valores só perdiam para a atividade mineradora, sendo os valores adquiridos a custos ecológicos incalculados, como bem nos afirma Barros, Veríssimo, (2002) em relatório realizado pelo Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON) relatando o quão lucrativo é o mercado de madeira no Pará.

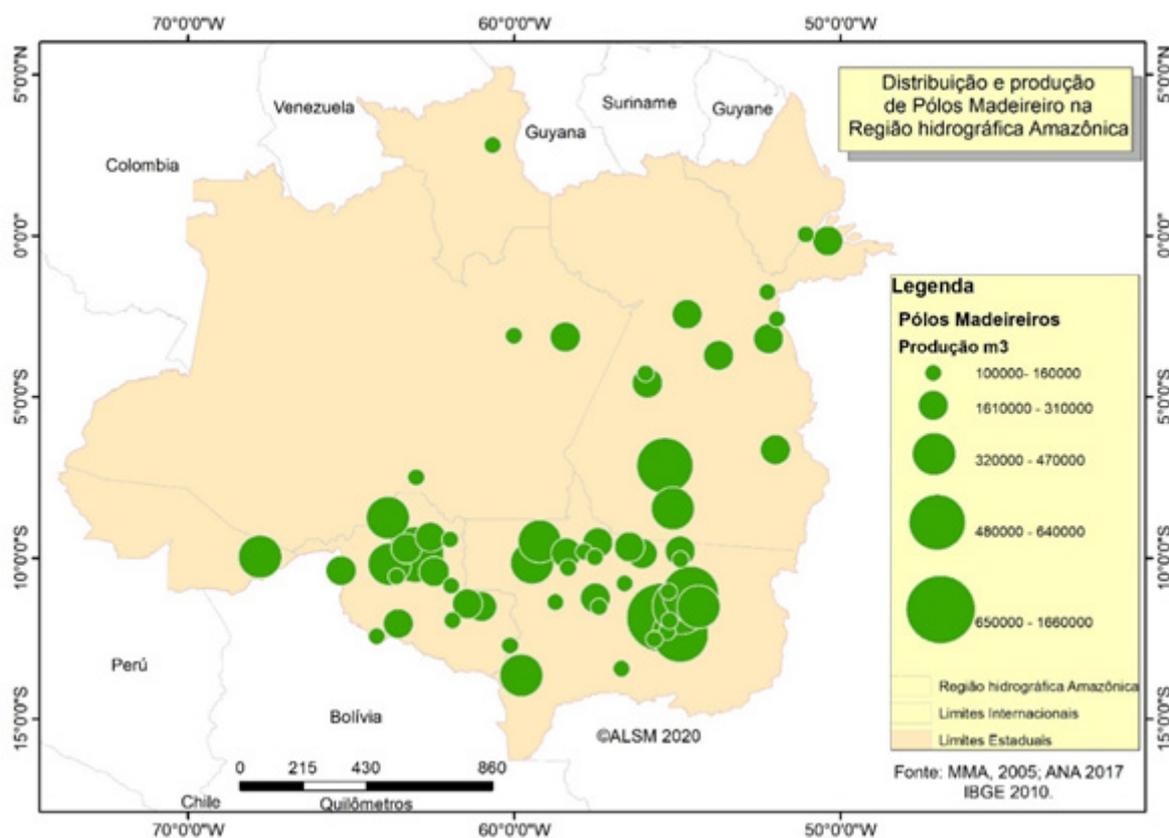
Qual o meio que move esses vetores? Sem dúvida a abertura das rodovias e os transportes tradicionais realizados pelas calhas de drenagem sofrem mudanças significativas nas formas de mobilidade de fluxos, das quais as cidades têm importante elo de ligação (THÉRY, 2005). Contudo, essas mudanças têm rebatimentos sobre os processos ecológicos e serviços ambientais condicionados principalmente pela fragmentação da floresta (BATISTELLA, MORAN, 2007).

No Estado do Pará, a pavimentação da P-A 150 no ano de 1980 foi o meio que impulsionou a exploração da madeira (Figura 1). Municípios como Jacundá, Breu Branco, Tomé-Açu, Tailândia e Paragominas eram responsáveis por volta de 65% da produção de madeira em tora, após três décadas houve uma redução de 55% da produção (VERÍSSIMO, LIMA e LENTINI 2002).

A bacia hidrográfica com seus fluxos hídricos, sedimentos, gênicos e transporte de mercadorias e pessoas formam vetores dos polos madeireiros e as rodovias os focos de desmatamentos. Aqui se estabelece mais uma contradição:

- a) apesar da política de manejo florestal, ainda se tem pelo menos 30% de desmatamento ilegal;
- b) mesmo com o incentivo para desacelerar o desmatamento através do Município Verde - ICMS Ecológico, ainda se tem um descontrole das queimadas.

Figura 1 – Distribuição do polos madeireiros na região hidrográfica amazônica



Fonte: Organização dos autores.

Os mapas temáticos têm o objetivo de comunicar e representar as principais áreas queimadas, servindo de instrumento técnico para possíveis estratégias de controle que eventos de fogo e o seu efetivo controle – assim de posse desse valioso instrumento técnico é possível realizar o monitoramento ambiental atrelado aos recursos de geoprocessamento o monitoramento irá permitir as prefeituras por exemplo, acessarem recursos do ICMS-Ecológico.

A concentração da produção de madeira na região hidrográfica amazônica localiza-se na parte sul-oeste meridional da qual conta com produção de mais de 160 mil m³ de madeira destinada ao mercado externo. Assim, a Amazônia, como era de se esperar, cumpre um papel de destaque na produção nacional de madeira. No estado do Pará destaca-se a produção de madeira nos municípios como Altamira, São Félix do Xingu e Santarém, Belém, sendo este último tanto um polo beneficiador de madeira e concentração desse produto para ser exportado.

No Pará, o avanço e a pressão do desmatamento concentram-se no leste do estado por meio dos polos madeireiros com os municípios como Breu Branco, Tucuruí, Goianésia, Novo repartimento. Uma questão que se coloca são os municípios de Breves e Belém como maiores produtores de madeira em metros cúbicos, o que nos leva a crer que essas cidades são polos concentradores/beneficiários de madeira que desce dos rios Amazonas e Tocantins.

Municípios como Santana do Araguaia, com alta pressão da pecuária e altas taxas de incrementos de focos de incêndios, encontra-se atualmente no rol de municípios com

menores produção de madeira. A figura 1 revela os eixos de transporte rodoviários ligados pelos polos de beneficiamento da madeira; essas malhas articulam e deslocam recursos florestais que variam de 10^3 mil a mais de 160^3 mil de madeira.

Polos madeireiros do estado do Pará oscilam entre 10^3 mil a mais de 60^3 mil de madeira que abastece área de beneficiamento, desses produtos, na região metropolitana de Belém com seus entrepostos comerciais, como os localizados em Santarém, Itaituba, Uruará, Altamira, São Félix do Xingu com baixa capacidade de beneficiamento, dados levantados por Verissimo, Lima e Lentini, (2002) dão conta que apenas 7% dessa madeira é processada.

Muitos dos transportes utilizados são precários e, ao que parece, não tem a pretensão de primar pela qualidade já que muito das vezes a madeira transportada é retirada de forma ilegal e assim sendo, em uma diligência de fiscalização o prejuízo é contabilizado como menor (Figura 2).

Não é difícil encontrar caminhões com motores a vistas, alguns até sem a cabine de motoristas e quiçá motoristas não habilitados para esse tipo de transporte. As estradas sem revestimentos de camadas asfálticas contribuem para a falta de manutenção e cuidado com os veículos.

Então, tem-se uma política de monitoramento e uma política de proteção que pensa a exploração madeireira e os incêndios florestais com muitas dissimetrias das questões regulatórias. Contudo, encontram-se áreas de exploração que vêm se consolidando (arco do desmatamento) a expansão das áreas desmatadas para a floresta ombrófila, que durante muito tempo estava protegida.

Figura 2- Transporte ilegal e vias precárias na Transamazônica no Estado do Pará como rotas de saídas de madeiras retiradas da Floresta Ombrófila aberta e densa



Fotos: Rita Vidal - Trabalho de campo em outubro de 2018.

As causas dos desmatamentos já são bem conhecidas e hoje as pesquisas dão uma guinada para identificação das consequências sobre os serviços ambientais que vão desde as amenidades de temperatura, produtividade agrícola, índices de pluviometria até questões de escoamento superficial.

As cicatrizes na paisagem causadas por desmatamento: imagens Sentinel-2B associadas ao índice normalizado para queima (NBR) para identificação das cicatrizes

Na região amazônica, tradicionalmente, tem se utilizado imagens de satélite para medir a supressão da floresta. Neste caso, as técnicas de aferição mais utilizadas são a classificação supervisionada e não supervisionada além da geração do índice de vegetação com diferença normalizada. Sobre o acrônimo em inglês NDVI, autores renomados já fizeram uso da referida técnica para validar seus trabalhos (LE TOURNEAU, 2015; SHIMABUKURO et al., 2013; CÂMERA, VALERIANO e SOARES, 2006, VIDAL e MASCARENHAS, 2019).

Contudo, no presente ensaio, optou-se pela abordagem de índice normalizado para queima (NBR) com auxílio de imagens orbitais do satélite Sentinel-2B, uma vez que o mesmo oferece faixa espectral na borda do vermelho que ajuda na identificação de áreas queimadas com bastante acurácia (MISRA, CAWKWELL e WINGLER, 2020).

A aplicação de NBR em imagens sentinel-2B foram realizadas em estudos de Llamas et al., (2019) e Yang et al., (2020) que demonstraram resultados consistentes para efeito de severidade de queimadas nas folhas da vegetação do mediterrâneo com limitações para medir severidade no solo. Outras análises foram feitas sobre a severidade de fogo em Quintano, Manso e Manso (2018) para esses mesmos ambientes demonstrou-se melhor acurácia em comparação aos resultados medidos em cenas do Landsat-8, devido principalmente a resolução espacial de 10 metros e a faixa espectral da borda do vermelho dos quais foram analisados em Manso, Manso e Quintano (2016).

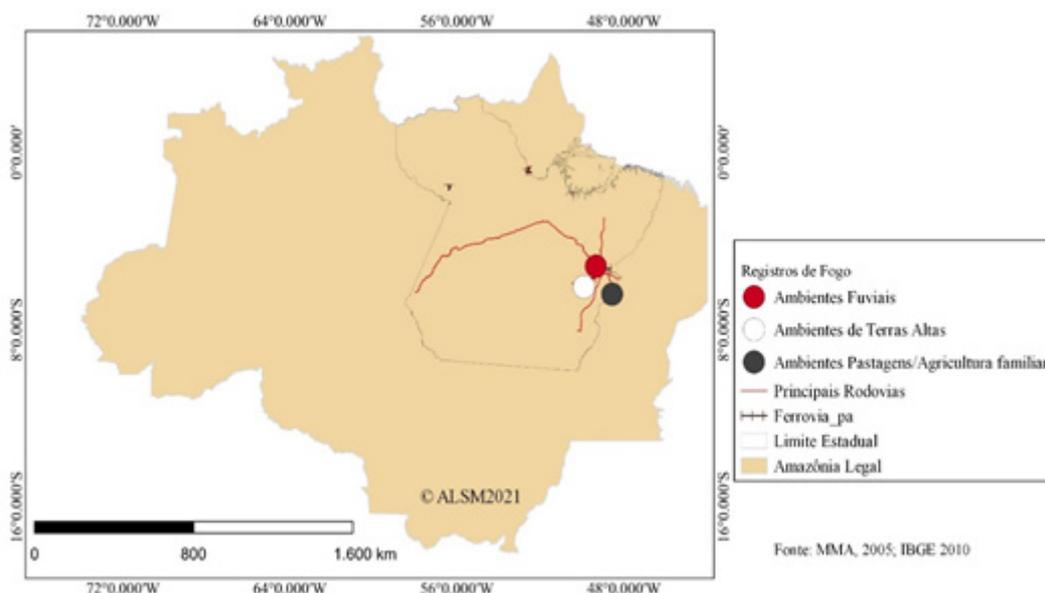
A fragmentação da paisagem nas regiões hidrográficas, tem um agravante por atingir áreas de nascentes e junto com esse impacto tem-se como consequências como a perda de habitat naturais, perda de biodiversidade, aceleração dos processos erosivos (QUINTANO, MANSO e MANSO, 2018).

Os locais de ocorrência de incêndio são acessados por eixos rodoviários e próximos a ferrovia corroborando com os autores que afirmam que, as rodovias, ferrovias, drenagem fluviais, funcionam como vetores de desmatamento e práticas de incêndios florestais (Figura 3).

Ao se utilizar das bandas 8 e 12, são ressaltadas as características de radiância da borda do vermelho, destacando assim os fenômenos fotossintéticos da vegetação. Esse domínio espectral calculado através da normalização diferenciada tem forte aplicação na análise de mudanças da estrutura foliar sendo útil no monitoramento de queimadas. Para além do aspecto visual, a figura 4 apresenta comportamentos espectrais diferentes:

- 1) na cena (a) colorida em falsa cor-verdadeira, a mesma imagem quando calculada os valores de NBR é capaz de identificar as áreas que tiveram maior severidade ao fogo;
- 2) as assinaturas espectrais da cena (b) ressaltam com precisão as cicatrizes deixadas pelo fogo na paisagem.

Figura 2 – Localização das cicatrizes de queimas/incêndios no estado do Pará



Fonte: Organização dos autores.

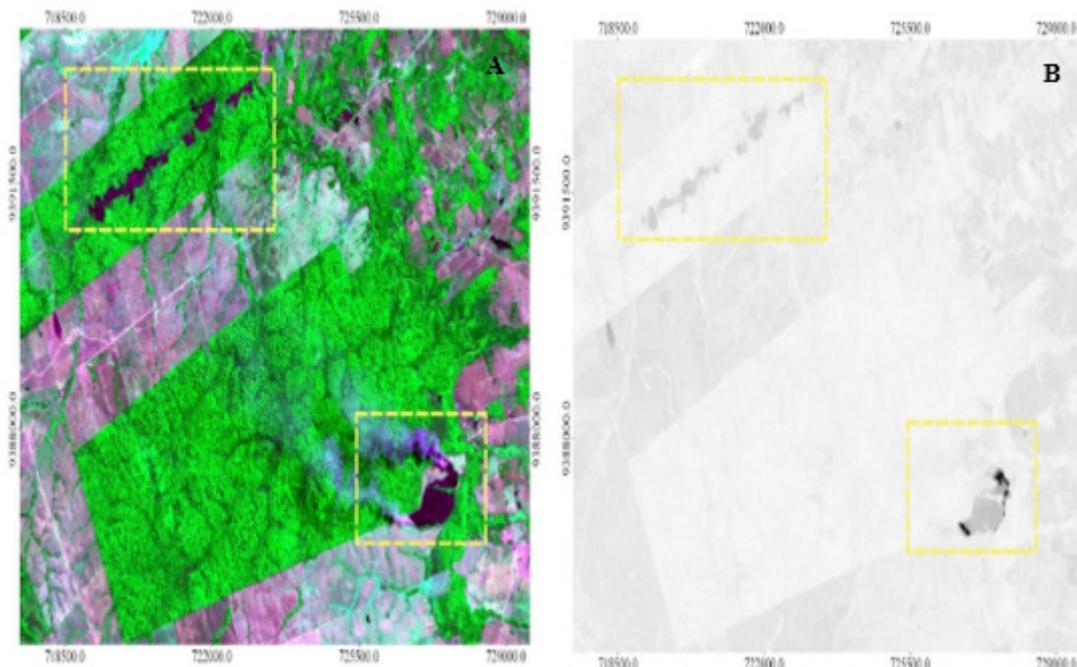
Estas são áreas tradicionalmente destinadas à cultura de subsistência ocupadas por ribeirinhos e pescadores nas paisagem do Município de São Geraldo do Araguaia (Figura 4), onde o cultivo do milho, feijão e macaxeira é realizado utilizando a prática de coivaras. Essa prática tradicional é feita em períodos de estiagem e quando realizada de forma equivocada gera grandes incêndios florestais. As mesmas práticas, são realizadas em projetos de assentamentos por colônias da reforma agrária sendo fiscalizada pelo INCRA o qual é responsável pela liberação de queima por meio de informações sobre o tamanho das áreas e a cultura que vai plantar.

Nos projetos de assentamento, o manejo do fogo é acompanhado pelos órgãos federais e seu monitoramento é constante, mas isso não quer dizer que não aconteçam grandes queimadas, contudo seus registros são controlados pelos agentes públicos, as imagens sentinel-2B usadas nesse estudo demonstrou boa capacidade de localização desses alvos, principalmente na borda do infravermelho próximo.

A exemplo da área do Lago da Usina Hidrelétrica de Tucuruí nas proximidades da cidade Itupiranga-PA, é possível destacar duas grandes áreas que registram eventos de queimadas, das quais o sensor do satélite sentinel-2B foi capaz de registrar, além do mais é possível identificar a supressão da cobertura foliar de parte da floresta ripária (figura 4).

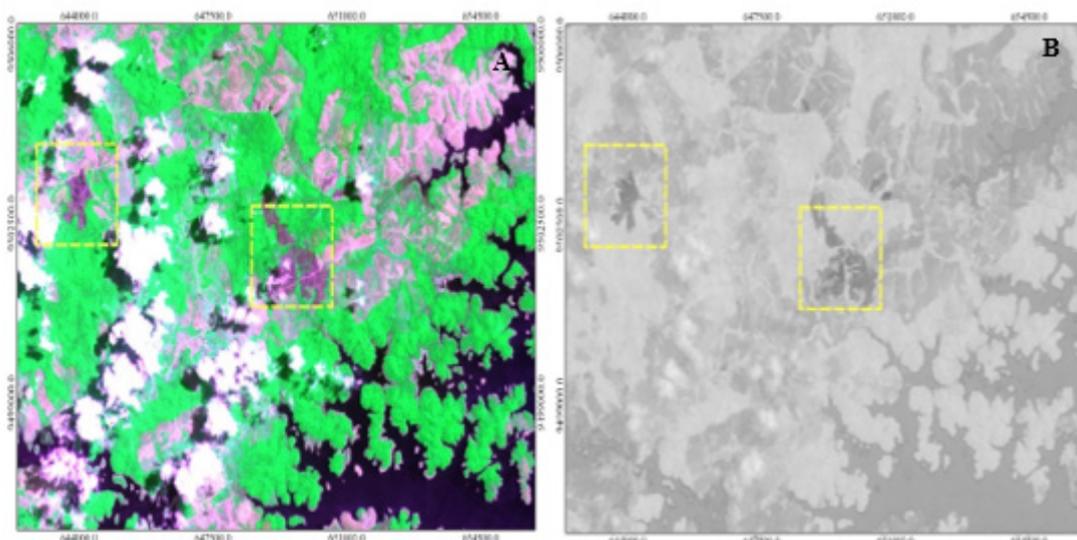
Na mesma perspectiva de manejo do fogo, mas em escala maior, tem-se as pastagens degradadas com ocorrência de vegetação com fitofisionomias secundárias que periodicamente passam por intenso incêndio, só que em maiores extensão, esse processo visa regenerar os pastos e/ou preparar a terra para novos plantios – não é difícil ter-se relatos de descontroles do fogo, já que a diminuição de umidade e ventos fortes passam a ser elementos potencializadores de grandes eventos de queimadas, sendo detectado pelas imagens de satélites.

Figura 4 – Área queimada no município de São Geraldo do Araguaia-PA – ambientes com pastagens voltada para a agricultura familiar



Fonte: (a) Destaque da carta imagem da área queimadas com recurso de filtros de cores (padrão 4RG8aB3); (b) detalhe bem destacado da área, contendo a extensão da severidade da queimada como produto do cálculo de NBR. As imagens Sentinel-2B, foram adquiridas na data de 08/08/2020. Organização dos Autores.

Figura 4 - Área queimada no Município de Itupiranga-PA em ambiente fluvial



Fonte: (a) Destaque da carta imagem da área queimadas com recurso de filtros de cores (padrão 4RG8aB3); (b) detalhe bem destacado da área, contendo a extensão da severidade da queimada como produto do cálculo de NBR. As imagens Sentinel-2B, foram adquiridas na data de 07/09/2020. Organização dos autores.

Nessas áreas de cultivo ou em áreas de pastos existe gestão do preparo da terra para ajuste de falhas no pasto ou mesmo para novos plantios. Tem-se a noção equivocada de que a queima auxilia na produtividade da colheita e no crescimento do capim, a figura 3 na qual apresenta os dois tipos de cultura, em que as formas geométricas revelam a seletividade das áreas das quais resguardam alguns terrenos colinosos, estradas e vias fluviais que permitem o acesso a florestas e a atividades de desmatamentos, geralmente associadas à manutenção das áreas agrícolas e pastagens.

Para ambientes com cobertura florestais e de ecótono, os índices de vegetação têm boas respostas para análise de fitofisionomia como apontadas em Vidal, Mascarenhas (2019; 2020), mas que de outra maneira limitada, pois não é capaz de identificar coberturas de nuvens de plumas de incêndios florestas. Na figura 5, apresentam-se imagens sentinel-2B em composição colorida, um evento de incêndio florestal na Serra da Bocaina na Região de Carajás, onde é possível ver extensa cobertura de nuvem sem ser possível identificar o que seria as plumas das queimadas da floresta.

O poder de identificação de eventos de queimadas pelo NBR permite diferenciar coberturas de nuvens das plumas de queimadas e assim realizar diagnósticos mais precisos da área afetada pelo fogo. Vale destacar que tanto as imagens coloridas quanto as imagens de tons cinzas precisam passar por análise mais detalhadas por meio de algoritmos de classificação ou por reclassificação de pixels a fim espacializar os dados de forma mais assertivas.

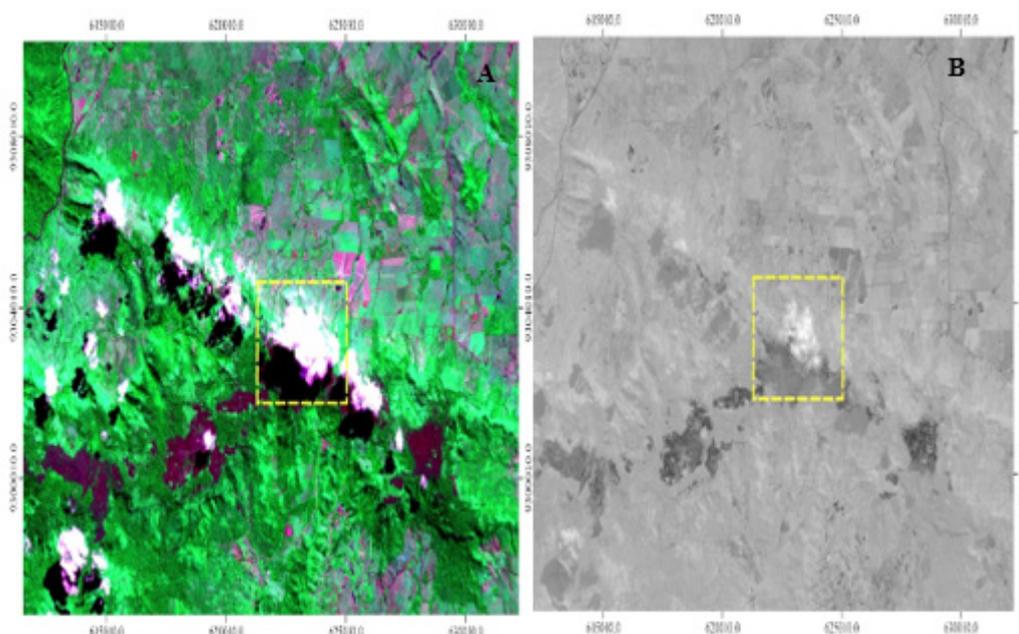
As terras altas guardam uma característica interessante do ponto de vista das interações superfície-atmosfera, fatores de umidade, ventos e gradientes de altimetria, que fornecem trocas de temperatura e pressão gerando formação de nuvens entre o topo das serras ou mesmo a ocorrência de chuvas orográficas. Dessa forma, os componentes meteorológicos podem interferir na qualidade de cobertura de nuvens dificultando a localização da extensão da área queimada, essa limitação é observada nos ambientes mapeados.

Parte da Serra da Bocaina foi elevada à categoria de área protegida (Parque Nacional dos Campos Ferruginosos) por meio de compensações ambientais de atividade de mineração. Essa região guarda as mais significativas áreas cársticas em geologia ferrífera bandada recoberta por vegetal de campos rupestres (Savana Metalófica) do Brasil. Contudo, o entorno da unidade sofre grande pressão, haja vista os constantes relatos de retirada ilegal de madeira, atividades ilegais de pecuária, caça de animais silvestres e as queimadas descontroladas.

A cobertura savânica é a mais susceptível a fenômenos de incêndios devido o manejo inadequado das atividades agropecuárias desenvolvida no entorno da unidade que traz como consequência a perda e fragmentação da biodiversidade, alteração de fluxos bióticos e fluxos hidrológicos, dentre outros.

O evento de incêndio florestal ocorrido em 10 de junho de 2021 pode ser registrado em imagens de satélite como pode ser vista na figura 5, na qual revela que o uso de álgebra de mapas utilizando índices de queima (NBR) o mesmo utilizado por Quintano, Manso e Manso (2018) ajuda na identificação do tamanho da área afetada por eventos de fogo.

Figura 5 – Cicatrizes da paisagem através de queima na Serra da Bocaina, Região de Carajás ambiente terras altas-vegetação Montana



Fonte: (a) Destaque da carta imagem com padrões de cobertura de nuvens a partir de recurso de filtros de cores (padrão 4RG8aB3); (b) detalhe bem destacado das plumas de incêndio como produto do cálculo de NBR. As imagens Sentinel-2B, foram adquiridas na data de 10/06/2021.

As características meteorológicas representadas basicamente pela cobertura de nuvem ainda se têm mostrado problemáticas, pois em eventos de ocorrência de fogo registrado pelos satélites há possibilidade de confusão de mistura de *pixel* nas imagens. Essa confusão pode ser amenizada por técnicas de geoprocessamento, que torna possível separar *pixel* de nuvens naturais de *pixel* de plumas de queimadas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em ambientes fluviais e lacustres, os períodos de secas dos rios ou quando as águas deixam de inundar planícies e os terraços dos rios tornando possível aos ribeirinhos e agricultores desenvolverem atividades de subsistência, essas ditas áreas após o período de cheias, as matas ciliares, passam por processo de rebrota e costumeiramente são “limpas” para dar lugar a plantações de milho, feijão e hortaliças. É nesse período que há intensas queimadas, pois a prática de preparo da terra se dá tradicionalmente através da queima, sendo um recurso menos oneroso, na visão do agricultor, para a retirada da vegetação.

Em ambientes de terras altas com cobertura de Cerrado e Campos Rupestres tornam-se espaços fornecedores de combustíveis naturais, os constantes incêndios florestais na Serra da Bocaina na região de Carajás é consequência direta em muitos casos, do descontrole das queimadas realizadas no entorno da área – aqui também vale registrar que o mosaico de conservação de Carajás é rodeado de áreas de pastagens e que isso vem contribuindo com essas ocorrências.

Não se pode deixar de registrar que os incêndios criminosos ocorrem e as perdas causadas por eles precisam ser melhor avaliadas. As unidades de conservação, nesse cenário, passam a se caracterizar por espaços bastantes vulneráveis já que a falta de contingente de pessoal e baixos recursos para a formação de brigadas de combate aos incêndios, tem sido menor nos últimos anos. As campanhas de conscientização do manejo do fogo e a colaboração da população ainda é o aliado mais efetivo.

No tocante à retirada de madeira ilegal, todas as áreas aqui apontadas e analisadas foram passíveis de registros; contudo, muitas autuações têm sido realizadas, tanto pela Polícia Federal, como os órgãos de fiscalização estaduais, essa atividade ainda é desenvolvida nos pequenos fragmentos de florestas ainda existente na área, aí se observarmos as imagens usadas na presente pesquisa, é possível identificar áreas apresentando fragmentos de florestas em franco processo de regeneração – mas que ainda são vistas como recurso a ser explorado.

Os vetores de desmatamento identificado por imagens Sentinel-2B demonstra ser bastante útil, tanto na coleta da área queimada, como na possibilidade de uso de recursos de geostatística para avaliar a extensão de perda de cobertura vegetal.

A resolução espacial de 10 metros e revisada de até três dias são características técnicas que esse sensor MSI disponibiliza para uso de monitoramento de vegetação, nos ambientes aqui destacados, como os de fragmentos de vegetação ombrófila densa/aberta, como pastagens/ áreas agricultáveis e ambientes de terras altas (vegetação Montana e/ou Cerrado), por apresentarem várias parcelas diferenciadas de cobertura vegetal a composição de imagens em filtros RGB como o uso de escalas de cinzas para as imagens geoprocessadas, observou-se um ganho de qualidade, tanto visual como técnico.

O índice Normalized Burn Ratio (NBR) tem demonstrado ser ideal para as atividades de monitoramento de ocorrência e, de atividades de monitoramento de cálculo de áreas atingidas pelo fogo, pois a associação de parâmetros espectrais (faixa espectral de 865 μm a 2190 μm) tornam possível identificar de forma mais acurada tais eventos, pois essas faixa refletem a borda do vermelho, principal elemento do sensoriamento remoto capaz de determinar fortes atividades fotossintéticas, ou seja, as áreas de rebrotas são perfeitamente analisadas e visualizadas.

Assim, o referido ensaio tem como apontamentos que em paisagens de Serras (terras altas), com florestas ombrófilas densas e abertas e manchas de cerrado (campos rupestres), o sensor possibilitou identificar cicatrizes de queimadas, porém, em momentos do ano com maior cobertura de nuvens, a identificação dos fenômenos de queimadas mostra-se misturado com a cobertura de nuvens, inviabilizando a concretude dos dados para calcular a intensidade dos prejuízos. Já para as áreas de ambientes fluviais e lacustres, as atividades fotossintéticas ativas identificam prejuízos das ações de fogo. Para as áreas antrópicas com pastagens degradadas com ocorrência de vegetação com fitofisionomias secundárias, as assinaturas separam significativamente os alvos de queimadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR. Aner et al. Landscape fragmentation, severe drought, and the new Amazon forest fire regime. *Ecological Applications*. v. 25, n. 6, 2015, p. 1493-1505.

ARMENTERAS. Dolors; GONZÁLEZ. Tania M.; RETANA. Javier. Forest fragmentation and edge influence on fire occurrence and intensity under different management types in Amazon forests. *Biological Conservation*. v. 159, 2013, p. 73-79.

ALVES. Diogenes et al. *The changing rates and patterns of deforestation and land use in Brazilian Amazonia*. In: KELLER, M.; BUSTAMANTE, M.; GASH, J.; DIAS, P. S. (Ed.). Amazonia and global change. Washington: American Geophysical Union. 2009, p.11-24.

BATISTELLA. Mateus; MORAN. Emílio F. *A heterogeneidade das mudanças de uso e cobertura das terras na Amazônia: em busca de um mapa da estrada*. In: (orgs) Wanderley Messias da Costa; Berta Koiffmann Becker. *Dimensões humanas da Biosfera-Atmosfera na Amazônia*. São Paulom EDUSP, 2007.

BARROS. Ana C., VERÍSSIMO. Adalberto. *A Expansão madeireira na Amazônia: Impactos e perspectivas para o desenvolvimento sustentável no Pará*. 2ª. Ed., Belém: Imazon, 2002.

CÂMARA. Gilberto, VALERIANO. Dalton. M., SOARES. João. V. *Metodologia para o Cálculo da Taxa Anual de Desmatamento na Amazônia Legal*, INPE, José dos Campos, 2006.

CONDÉ. Tiago M.; HIGUCHI. Niro; LIMA. Adriano J. N. Illegal Selective Logging and Forest Fires in the Northern Brazilian Amazon, *Journal Forest*, v. 10, n. 61, 2019, p. 2-22.

CONSTANZA, R. et al. The valueoftheworld`secosystemsviceand natural capital. *Nature*, v. 387, n. 17, 1997.

DUARTE. Valdete et al. *Metodologia para criação do PRODES digital e do banco de dados digitais da Amazônia - projeto BADDAM*. INPE, José dos Campos, 2003.

ESA. *SENTINEL-2 User Handbook*. v.1, European Spacey Agency, 2015.

HAFFER, J.; PRANCE, G. T. Impulsos climáticos da evolução na Amazônia durante o Cenozoico: sobre a Teoria dos Refúgios da diferenciação biótica. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 16, n. 46, 2002.

FILIPPONI. Federico. BAIS2: Burned Area Index for Sentinel-2. *Journal Proceedings*, 2018, v2, n.364. Doi:10.3390/ecrs-2-05177.

KEY, Carl H.; BENSON, Nathan. C. *Landscape assessment: ground measure of severity, the composite burn index, and remote sensing of severity, the normalized burn index*. In: LUTES, Ducan; KEANE, Robert; CARATTI, John.; KEY, Carl H.; BENSON, Nathan. C.; SUTHERLAND, Steve.; GANGI, Larry. (Eds). *FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System*. Fort Collins, CO: USDA Forest Service, 2005.

KEY. Carl H. *The normalized burn ratio and relationships to burn severity: ecology, remote sensing and implementation*. proceedings of the Ninth Forest Service Remote Sensing Applications. Conference. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, Ed. Rapid Delivery of Remote Sensing Products, San Diego, 2002.

LE TOURNEAU. François-Michel. *Le Brésil maîtrise-t-il (enfin) la déforestation en Amazonie ? »*, *Cybergeo: European Journal of Geography*, Environnement, Nature, Paysage, document 753, 2015.

LLAMA. Paula G. et al. Evaluation and comparison of Landsat 8, Sentinel-2 and Deimos-1 remote sensing indices for assessing burn severity in Mediterranean fire-prone ecosystems. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol.80, 2019 , p.137-144.

MANSO. Alfonso Fernández, MANSO. Oscar Fernández, QUINTANO. Carmen. SENTINEL-2A red-edge spectral indices suitability for discriminating burn severity. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, n.50, 2016, p.170-75.

MISRA. Gourav, CAWKWELL, Fiona, WINGLER. Astrid. Status of Phenological Research Using Sentinel-2 Data: A Review. *Journal Remote Sensing*, v.12, n.2760, 2020, p. 2-24.

QUINTANO. Carmen. MANSO. Alfonso Fernández, MANSO. Oscar Fernández. Combination of Landsat and Sentinel-2 MSI data for initial assessing of burn Severity. *Int. J. Appl Earth Obs. Geoinformation*, n.64, 2018, p. 221-225.

REIS. Mateus et al. Forest fires and deforestation in the central Amazon: Effects of landscape and climate on spatial and temporal dynamics. *Journal of Environmental Management*, v.288, 2021, p. 1-12.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. da. A classificação das paisagens a partir de uma visão geossistêmica. *Mercator*, a. 1, n. 1, 2002.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. da; CAVALCANTI, A. P. B. *Geoecologia das paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental*. Fortaleza: Editora UFC, 2004.

SILVA. Sonaira. S. et al. Dynamics of forest fires in the southwestern Amazon. *Forest Ecology and Management* v.424, 2018, p. 312-322.

SHIMABUKURO. Yosio E. et al. *Segmentação e classificação da imagem sombra do modelo de mistura para mapear desflorestamento na Amazônia*, INPE, José dos Campos, 1997.

SHIMABUKURO. Yosio E. et al. *The Brazilian Amazon Monitoring Program: PRODES and DETER Projects*. In: (eds) ACHARD. Frederic; HANSEN. Matthew. *Global forest monitoring from earth observation*, Taylor & Francis Group, 2013.

THÉRY. Hérve. Situações da Amazônia no Brasil e no continente, *Rev. Estudos Avançados*, v.19, n.53, 2005.

VIDAL. Maria R.; MASCARENHAS. Abraão L. S. Mapeamento geoecológico no Parque Nacional dos Campos Ferruginosos de Carajás/Pará-Brasil. *Revista Ateliê geográfico*. Goiânia-GO, v. 14, n. 3, 2020, p. 218 – 238.

VIDAL, M. R.; MASCARENHAS, Abraão L. S. Estrutura e funcionamento das paisagens da área de proteção ambiental do estuário do rio Curu/CE. *Confins*, v. 43, 2019.

VERÍSSIMO, Adalberto; LIMA. Eirivelthon; LENTINI. Marco. *Polos Madeireiros do Estado do Pará*. Belém: Imazon. 2002.

XAUD. Haron A. M.; MARTINS. Flora S. R. V.; SANTOS. João R. Tropical forest degradation by mega-fires in the northern Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management*, v. 294, 2013, p. 97-106.

YANG. Xiucheng et al. Mapping of Urban Surface Water Bodies from Sentinel-2 MSI Imagery at 10 m Resolution via NDWI-Based Image Sharpening. *Journal Remote Sensing*, v. 9, n. 596, 2020, p. 2-19.