

## **Sensoriamento remoto e o monitoramento da degradação florestal por entidades governamentais do Brasil**

Remote sensing and monitoring forest degradation by governmental entities in Brazil

Detección remota y monitoreo de la degradación florestal por entidades gubernamentales en Brasil

Recebido: 21/03/2022 | Revisado: 29/03/2022 | Aceito: 30/03/2022 | Publicado: 07/04/2022

### **Claudio Angelo Correa Gonzaga**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0945-9681>  
Universidade Federal de Rondonópolis, Brasil  
E-mail: [claudio.gonzaga@mpmt.mp.br](mailto:claudio.gonzaga@mpmt.mp.br)

### **Tereza de Assis Fernandes**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0900-8880>  
Universidade Federal de Rondonópolis, Brasil  
E-mail: [tereza.fernandes@mpmt.mp.br](mailto:tereza.fernandes@mpmt.mp.br)

### **Jeferson Lamartine Boldrin**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6747-9613>  
Universidade Federal de Rondonópolis, Brasil  
E-mail: [jeferson.boldrin@mpmt.mp.br](mailto:jeferson.boldrin@mpmt.mp.br)

### **Marcelo dos Santos Alves Correa**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0703-6028>  
Universidade Federal de Rondonópolis, Brasil  
E-mail: [marcelo.correa@mpmt.mp.br](mailto:marcelo.correa@mpmt.mp.br)

### **José Guilherme Roquette**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0645-9173>  
Universidade Federal de Rondonópolis, Brasil  
E-mail: [jose.roquette@mpmt.mp.br](mailto:jose.roquette@mpmt.mp.br)

### **Normandes Matos da Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4631-9725>  
Universidade Federal de Rondonópolis, Brasil  
E-mail: [normandes@ufr.edu.br](mailto:normandes@ufr.edu.br)

### **Domingos Sávio Barbosa**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6793-0956>  
Universidade Federal de Rondonópolis, Brasil  
E-mail: [domingos@ufr.edu.br](mailto:domingos@ufr.edu.br)

### **Dhonatan Diego Pessi**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0781-785X>  
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil  
E-mail: [dhonatan.pessi@gmail.com](mailto:dhonatan.pessi@gmail.com)

### **Antonio Conceição Paranhos Filho**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9838-5337>  
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil  
E-mail: [antonio.paranhos@ufms.br](mailto:antonio.paranhos@ufms.br)

### **Camila Leonardo Mioto**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6951-9527>  
Universidade Federal de Rondonópolis, Brasil  
E-mail: [ea.mioto@gmail.com](mailto:ea.mioto@gmail.com)

### **Fabio Henrique Soares Angeoletto**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3084-3928>  
Universidade Federal de Rondonópolis, Brasil  
E-mail: [fabio\\_angeoletto@yahoo.es](mailto:fabio_angeoletto@yahoo.es)

### **Resumo**

A proteção efetiva dos remanescentes vegetais nativos presentes no território brasileiro, é uma das principais contribuições que o país deve adotar na Década Restauração de Ecossistemas (2021-2030) promulgada pela ONU. O objetivo do trabalho foi apresentar um cenário geral de como entidades governamentais que lidam com a proteção ambiental podem utilizar plataformas digitais construídas a partir de dados remotos satelitais, como suporte ao planejamento estratégico orientado ao controle da degradação ambiental. Cita-se exemplos bem sucedidos de base de dados que apoia o controle da supressão vegetal e incêndios florestais ilegais, tais como projetos brasileiros de emissão de alertas de degradação, como o DETER e PRODES do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, e de plataformas globais, como o Global Forest Watch com finalidades semelhantes. Houve a apresentação de um singelo histórico do uso de ferramentas de geotecnologias sob a forma de plataformas de dados gratuitas, com dados da

cobertura vegetal. Apresentamos estudos de caso de uso de plataformas digitais incorporadas na gestão ambiental dos Ministerios Públicos Estaduais, como o caso de Mato Grosso, e Ministério Público Federal. Ressaltamos a importância da incorporação de tecnologias por parte de entidades públicas que promovem sinergias entre o meio científico e tecnológico e o meio jurídico, a fim de avançarmos na definição de protocolos que tragam mais segurança jurídica, para a devida validação da prova judicial, que pode responsabilizar de forma efetiva quem pratica ilícitos ambientais.

**Palavras-chave:** Gestão ambiental; Ministério público; Geociências; Geotecnologias.

#### **Abstract**

The effective protection of native plant remnants present in Brazilian territory is one of the main contributions that the country must adopt in the Decade of Ecosystem Restoration (2021-2030) promulgated by the UN. The objective of the work was to present a general scenario of how governmental entities that deal with environmental protection can use digital platforms built from remote satellite data, as support for strategic planning aimed at controlling environmental degradation. Examples of successful databases that support the control of plant suppression and illegal forest fires are cited, such as Brazilian projects for issuing degradation alerts, such as DETER and PRODES of the National Institute for Space Research, and global platforms, such as Global Forest Watch with similar purposes. There was a presentation of a simple history of the use of geotechnological tools in the form of free data platforms, with data on vegetation cover. We present case studies of use of digital platforms incorporated in the environmental management of the State Public Ministry, such as the case of Mato Grosso, and the Federal Public Ministry. We emphasize the importance of the incorporation of technologies by public entities that promote synergies between the scientific and technological environment and the legal environment, in order to advance in the definition of protocols that bring more legal certainty, for the due validation of judicial evidence, which can effectively hold those who practice environmental illicit accountable.

**Keywords:** Environmental management; Public ministry; Geosciences; Geotechnologies.

#### **Resumen**

La protección efectiva de los remanentes de plantas nativas presentes en el territorio brasileño es una de las principales contribuciones que el país debe adoptar en la Década de Restauración de Ecosistemas (2021-2030) promulgada por la ONU. El objetivo del trabajo fue presentar un escenario general de cómo las entidades gubernamentales que se ocupan de la protección del medio ambiente pueden utilizar plataformas digitales construidas a partir de datos satelitales remotos, como apoyo para la planificación estratégica encaminada al control de la degradación ambiental. Se citan ejemplos de bases de datos exitosas que apoyan el control de la extinción de plantas y los incendios forestales ilegales, como proyectos brasileños para emitir alertas de degradación, como DETER y PRODES del Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales, y plataformas globales, como Global Forest Watch con propósitos similares. Se presentó una historia sencilla del uso de herramientas geotecnológicas en forma de plataformas de datos libres, con datos de cobertura vegetal. Presentamos estudios de caso del uso de plataformas digitales incorporadas en la gestión ambiental del Ministerio Público del Estado, como es el caso de Mato Grosso, y el Ministerio Público Federal. Resaltamos la importancia de la incorporación de tecnologías por parte de las entidades públicas que promuevan sinergias entre el entorno científico y tecnológico y el entorno legal, a fin de avanzar en la definición de protocolos que brinden mayor seguridad jurídica, para la debida validación de la prueba judicial, que puede responsabilizar efectivamente a quienes practican ilícitos ambientales.

**Palabras clave:** Gestión ambiental; Ministerio público; Geociencias; Geotecnologías.

## **1. Introdução**

A supressão da vegetação nativa ilegal no Brasil responde por 35% das emissões de gases do efeito estufa (GEE) no país, sendo a atividade de maior impacto nas emissões brasileiras, maior que as emissões decorrentes de toda a frota nacional de veículos automotores. Somada ao uso das áreas ilegalmente desflorestadas para o uso da pecuária na Amazônia Legal, esse percentual atinge 49% das emissões brasileiras (Leite, 2015).

De acordo com relatório do Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climáticas (IPCC), o aquecimento global induzido pelos humanos desde o período pré-industrial até 2017, alcançou em média  $1^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ , sendo que algumas regiões o aumento foi na ordem de até  $1,5^{\circ}\text{C}$  (IPCC, 2019). Para desacelerar o aquecimento global devemos reduzir as emissões dos gases do efeito estufa, dentre outros aspectos, recuperando áreas degradadas e protegendo a vegetação nativa que armazena o carbono em sua biomassa (PBMC, 2014; Artaxo, 2020).

O cumprimento efetivo da legislação ambiental, fortalecimento das entidades governamentais e não governamentais

que atuam na proteção de ecossistemas nativos, incluindo forte investimento em tecnologias de detecção de danos à cobertura vegetal nativa, são contribuições que o país pode oferecer para atenuar o cenário de mudanças climáticas extremas, como desertificação, degradação do solo, escassez hídrica e insegurança alimentar (Vargas, 2008; IPCC, 2016; Vacchiano et al, 2019).

Unidades de inteligência que utilizam dados de geotecnologias para planejamento de ações de combate a crimes ambientais, estão cada vez mais presentes nos órgãos públicos brasileiros. Isso é estratégico pois é inviável pautar essas ações de controle a desmatamento e incêndios florestais, apenas com a fiscalização presencial, principalmente em um território tão vasto como o brasileiro (Paranhos et al, 2021).

Um elemento chave nesse processo reside na popularização de plataformas digitais de monitoramento ambiental, dotadas de um vasto acervo de dados remotos, com elevada acurácia posicional na detecção da supressão vegetal e de incêndios florestais, tendo funcionalidades cada vez mais intuitivas para seus usuários. Essas plataformas podem ser encontradas em projetos brasileiros com destaque internacional como o Terra Brasilis <<http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/>>, Deter <<http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/deter/deter>>, e Prodes <<http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>>, conduzidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e o Projeto MapBiomass <<https://mapbiomas.org/>>, conduzido por universidades, empresas de tecnologia e ONGs, bem como as plataformas globais, como o *Global Forest Watch*.

Entidades de defesa do meio ambiente, incluindo o Ministério Público brasileiro, têm utilizado alertas de degradação florestal, como, por exemplo, o Projeto Olhos da Mata, do Ministério Público do estado de Mato Grosso, que utiliza dados de monitoramento do desmatamento anual do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), em sincronia com dados do órgão ambiental estadual e do *Global Forest Watch*. Cabe citar também o Projeto Amazônia Protege, do Ministério Público Federal, que adota ferramentas de sensoriamento remoto na investigação e tomada de decisões, em relação ao desmatamento ilegal.

O Ministério Público sendo uma instituição incumbida da defesa de alguns dos mais relevantes direitos e interesses coletivos, dentre eles, a defesa do meio ambiente, constituído por membros de carreira, com as mesmas garantias que os magistrados (a fim de poderem atuar livres da influência do poder político e econômico), detentor de grande capilaridade (em razão da necessidade da presença do órgão em todo território nacional), pode e deve, aliado à sociedade civil, exercer protagonismo na implementação da Política Nacional sobre Mudança do Clima, contando para isso com o apoio de plataformas digitais de monitoramento ambientais baseadas em dados remotos derivados de imagens de satélite.

A pesquisa abordou como as geotecnologias podem ser utilizadas para promover ações de fiscalização, subsidiando políticas públicas de comando e controle e produzir provas do desmatamento ilegal, a partir de:

1. Alertas de desmatamento voltados para ação imediata de fiscalização;
2. Mapeamento do desmatamento para subsidiar políticas públicas e ações de médio e longo prazo;
3. Laudos periciais ou relatórios técnicos podem subsidiar a prova em procedimentos investigatórios (ex: inquéritos civis ou policiais) e no processo judicial.

## **2. Histórico do Uso do Sensoriamento Remoto para o Monitoramento de Florestas**

Observações periódicas da superfície terrestre se estruturaram a partir da década de 1960, com a utilização de satélites meteorológicos. Em 1972 foi lançado o satélite *Earth Resource Technological Satellites* (ERTS-1), posteriormente denominado Landsat 1, com a finalidade de imagear periodicamente o planeta Terra. O programa, que foi gerenciado pela NASA e pela USGS, foi responsável pelo lançamento de sete satélites e perdura há 30 anos (Wulder et al, 2019; Paranhos et al,

2021).

Em 1969 o INPE lançou, em colaboração com a NASA, o Projeto Sensoriamento Remoto (SERE) e envolveu o treinamento de brasileiros nos Estados Unidos para a realização de missões de mapeamento dos recursos naturais do território brasileiro por meio de fotos aéreas e dados da série de satélites LANDSAT (INPE, 2017).

Em 1970, foi realizada a primeira experiência em sensoriamento remoto orbital visando detectar a ferrugem nos cafezais na região de Caratinga (MG). No ano de 1974 o INPE passou a utilizar as imagens do LANDSAT para mapear o desmatamento na Amazônia e, nos anos 1980, o INPE lançou o projeto de Detecção de Queimadas a partir de imagens de satélites (INPE, 2017).

Na década de 1990, foi iniciado o Projeto de Avaliação da Cobertura Florestal na Amazônia Legal, utilizando dados a partir do ano de 1988, posteriormente denominado Projeto de Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (PRODES), que oferece estimativas anuais oficiais para a taxa de desmatamento na Amazônia Legal brasileira, visando subsidiar as políticas públicas de combate ao desmatamento na Amazônia (INPE, 2019). A área mínima mapeada pelo PRODES é de 6,25 hectares (250m X 250 m) e estudos independentes já realizados indicam que o PRODES possui nível de precisão próximo a 95% (Adami et al., 2017; Maurano et al., 2019).

Em 2004, como resposta ao grande aumento das taxas de desmatamento verificadas no período, o INPE lançou o sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real (DETER), inicialmente voltado para a região amazônica e que mapeia diariamente o desmatamento e processos de degradação florestal, que resultam no desmatamento visando subsidiar ações de fiscalização, em especial do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA).

Em sua primeira fase (2004-2017), o DETER possuía resolução espacial de 250 m e resolução temporal de dois a cinco dias, sendo capaz de detectar alterações de cobertura florestal em áreas superiores a 25 hectares. No entanto, observou-se que o tamanho dos desmatamentos se tornava cada vez menores, o que levou o INPE ao desenvolvimento de novas tecnologias, baseadas em sensores mais modernos (INPE, 2017).

Assim, em agosto de 2015, o INPE começou a operar uma nova versão do DETER, sendo capaz de identificar e mapear, em tempo próximo ao real, desmatamentos e alterações na cobertura florestal com área mínima próxima a um hectare, utilizando imagens com resolução espacial de 56 metros (imagens do sensor AWiFS do satélite IRS - Indian Remote Sensing Satellite) e 64 metros (imagens do sensor WFI do satélite CBERS-4). Segundo informa o sítio eletrônico do Inpe, embora os dados sejam enviados diariamente ao IBAMA sem restrição de área mínima mapeada, para o público em geral são disponibilizados polígonos com dimensão mínima de 6,25 ha (com um atraso de um a dois meses a partir da detecção).

Embora sejam voltados a ações imediatas, os dados do DETER, assim como de outros alertas, podem eventualmente ser utilizados como indícios ou mesmo como elemento probatório de ilícitos ambientais. Nessa hipótese, deve ser considerado que os alertas podem incluir desmatamentos ocorridos em períodos anteriores ao do mês da detecção, criando a chamada oportunidade de detecção, em razão da cobertura de nuvens. Os alertas do DETER ainda são a ferramenta oficial de que dispõe o governo brasileiro para ações de fiscalização e respostas a crises, sendo que parte dos alertas decorrentes de polígonos acima de 6,25 ha estão disponíveis ao público em geral (Maurano et al, 2019).

Num contexto internacional, em sincronia com a metodologia do Projeto DETER, Hansen et al. (2016) desenvolveram metodologia com resolução temporal de oito dias, com a vantagem de se ter uma resolução espacial de 30m x 30m, utilizando-se de imagens do satélite Landsat 8. Isso possibilitou a identificação de desmatamentos em área menores que 1 hectare em tempo próximo ao real permitindo maior eficiência nas ações preventivas ao desmatamento ilegal. Esses alertas por terem sido desenvolvidos no *Global Land Analysis & Discovery Lab*, da *University of Maryland*, USA, receberam o nome de “GLAD”.

Os alertas “GLAD” e “VIIRS *active fire alerts*” são interessantes de serem utilizados para o monitoramento das

florestas, pois apresentam frequência de emissão próxima ao tempo real e resolução espacial que permite identificar a ocorrência de incêndios florestais e desflorestamentos em áreas menores que 1.000m<sup>2</sup>, ou seja, 0,09 ha no caso dos alertas GLAD e de 0,01 ha no caso dos alertas VIIRS<sup>1</sup>(Quadro 1).

**Quadro 1.** Especificação dos alertas GLAD e VIIRS.

Alerta	DETER	DETER B	GLAD	VIIRS
Função	Identificação de perda de cobertura arbórea	Identificação de perda de cobertura arbórea	Identificação de perda de cobertura arbórea	Identificação de incêndios
Resolução espacial	250m x 250m	64m x 56m	30m x 30m	375m x 375m
Cobertura geográfica	Amazônia Legal	Brasil	Entre 30°N e 30°S	Global
Limitações	Nuvens; não distinção entre florestas naturais ou artificiais e perdas por causa antrópica ou natural	Nuvens; não distinção entre florestas naturais ou artificiais e perdas por causa antrópica ou natural	Nuvens; não distinção entre florestas naturais ou artificiais e perdas por causa antrópica ou natural	Nuvens; ocultação por fumaça ou dossel da vegetação
Taxa de revisita	Semanal (divulgado cerca de 30 a 60 dias após a detecção)	Semanal (divulgado cerca de 30 a 60 dias após a detecção)	8 diasSemanal	DiariamenteDiária
Taxa de revisita				
Data do conteúdo	A partir de 2004	A partir de 2015	A partir de janeiro de 2018 (de 2015 em alguns países)	A partir de 2016
Fonte	INPE	INPE	Global Land Analysis and Discovery Lab, University of Maryland, EUA	Fire Information for Resource Management System, National Aeronautics and Space Administration, EUA

Fonte: <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/deter> e <https://www.globalforestwatch.org/>

Os alertas GLAD gerados a partir de imagens do satélite Landsat 8 (Hansen et al., 2022), possuem algoritmo de processamento que identifica alterações em áreas cobertas por árvores acima de cinco metros de altura e com densidade de cobertura do solo acima de 60% (Butturi et al., 2021). A título de entendimento, a validação dos alertas feitas no Peru identificou a ocorrência de aproximadamente 13% de falsos-positivos (emissão de alertas em áreas em que não houve perda de cobertura arbórea) e 33% de falsos-negativos (não emissão de alertas em áreas em que houve perda de cobertura arbórea). Pode-se considerar a rotina considera dados conservadores, se avaliado pela sua acurácia. O detalhamento da metodologia e dos resultados alcançados podem ser consultados em Hansen et al. (2016).

### 3. A Utilização de Plataformas de Monitoramento das Florestas pelo Ministério Público Brasileiro

O uso do sensoriamento remoto para o monitoramento de florestas, no entanto, não ficou restrito às ações estatais. Dada a importância das florestas para a regulação do clima e preservação da biodiversidade do planeta, surgiram diversas iniciativas por parte da sociedade civil organizada, isoladas ou em parceria desta com órgãos estatais, visando monitorar as florestas por meio de alertas.

No que diz respeito aos alertas de desmatamento, uma iniciativa que merece destaque é a *Global Forest Watch* (GFW), uma plataforma *on-line* interativa que fornece dados e ferramentas para o monitoramento de florestas criada pelo

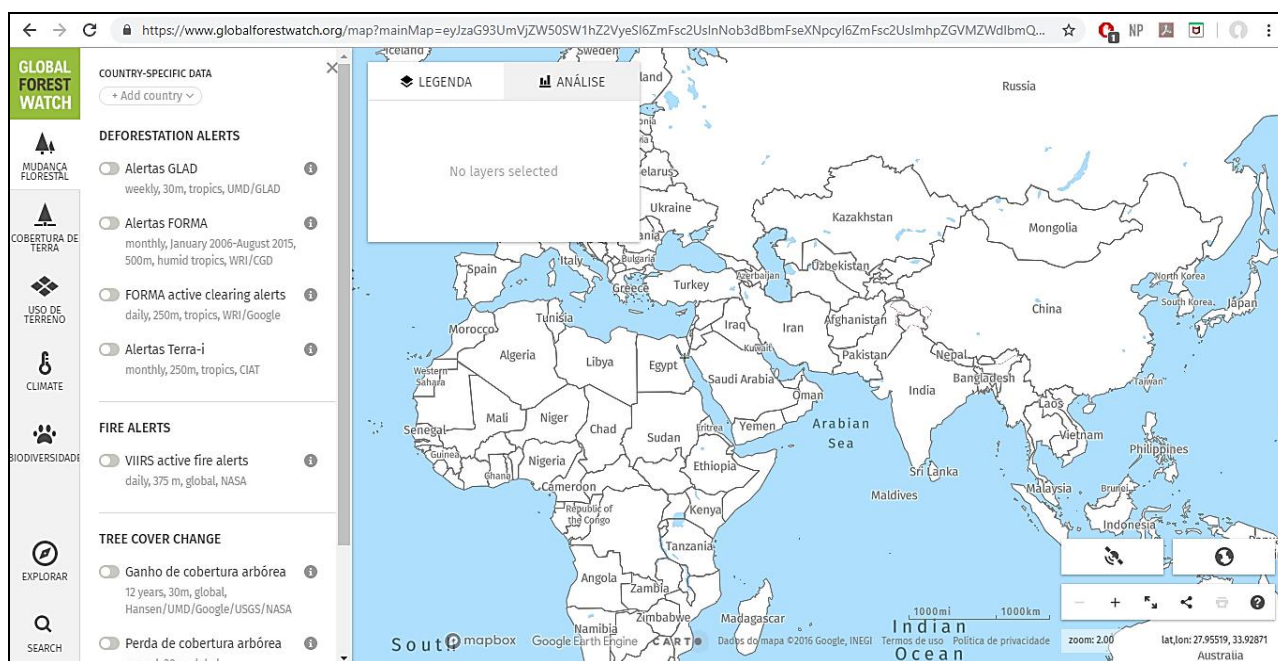
<sup>1</sup>Os alertas VIIRS surgem quando uma área acima de 100m<sup>2</sup> está com uma temperatura superior a 430°C. No entanto, esta área estará dentro dos limites de uma área de 375m x 375m.

World Resources Institute (WRI), com parceiros que incluem Google, USAID, University of Maryland (UMD) e várias outras organizações acadêmicas, além de órgãos públicos e privados (Butturi et al., 2021).

Alguns aspectos chamam a atenção para o GFW: os esforços de agregar todos os alertas em uma única plataforma, e o fato de todos os dados serem abertos a qualquer pessoa do mundo assim que inseridos na plataforma. Isso permite que a plataforma seja usada por milhares de pessoas no mundo para monitoramento de florestas, ampliando a observação sobre desflorestamentos e incêndios florestais ilegais, o que impacta também na produção de pesquisas relacionadas à conservação da natureza (Zalles et al., 2021).

Ao acessar o mapa interativo do GFW é possível visualizar as informações espaciais disponibilizadas pela plataforma. Os conjuntos de dados são agrupados em cinco classes (Mudança Florestal, Cobertura de Terra, Uso de Terreno, Clima e Biodiversidade), cujas as informações sobre a função, resolução, cobertura geográfica, fonte, entre outras, podem ser visualizadas ao clicar no ícone de informações da camada de dados de interesse (Figura 1).

**Figura 1.** Ícone de informação sobre os Alertas GLAD da classe Mudança Florestal.



Fonte: Global Forest Watch <<https://www.globalforestwatch.org/>>

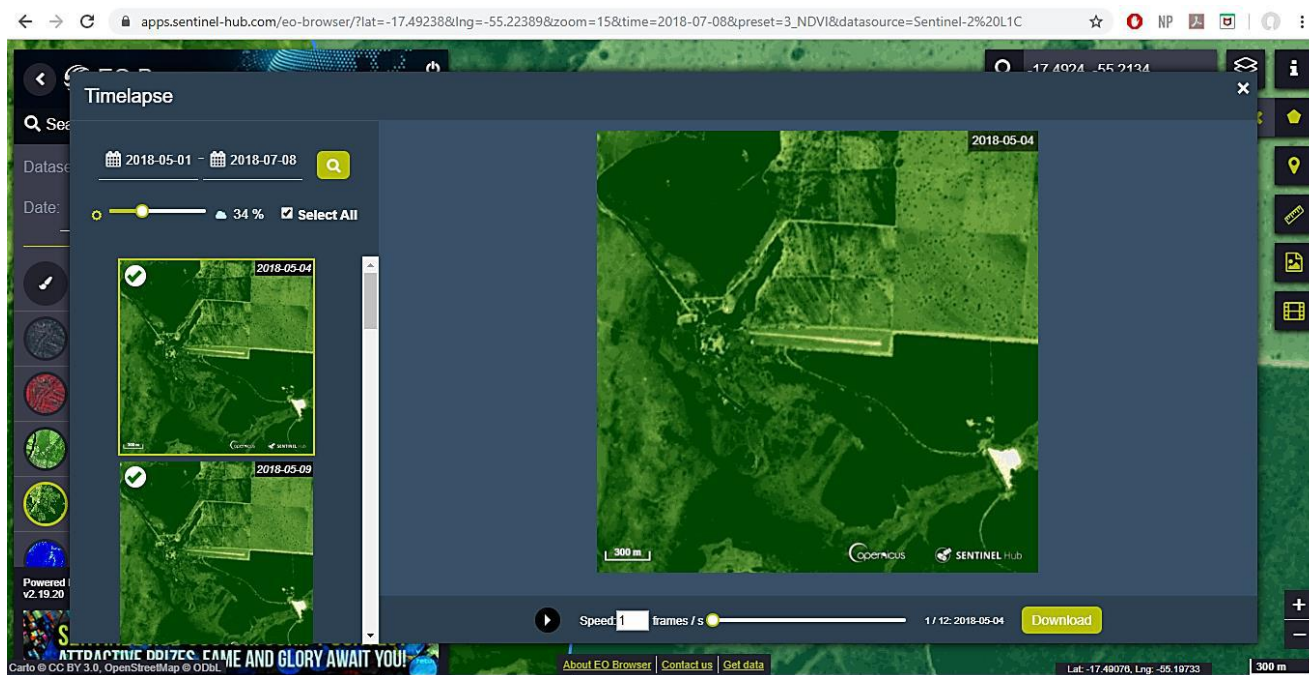
Os alertas de incêndios são gerados a partir do sensor VIIRS (*Visible Infrared Imaging Radiometer Suite*) do satélite Suomi-NPP e detecta a presença de calor em áreas acima de 100 m<sup>2</sup>, com temperatura superior a 400°C, e na fase de validação dos alertas identifica-se a ocorrência de falso-positivos de no máximo 1,2% do total avaliado, indicando que o método possui excelente acurácia (Schroeder et al., 2014).

Outro aspecto da plataforma que aproxima o movimento "cidadão cientista", e também da utilização em órgãos públicos, é a possibilidade do recebimento de alertas via correspondência eletrônica. Para tanto, deve-se selecionar o menu Análise do GFW para cadastramento da área de interesse para o monitoramento. A análise dos alertas pode ser feita a partir das áreas delimitadas que já estão incluídas no mapa interativo, como fronteiras políticas (países, estados ou municípios), bacias hidrográficas ou regiões ecológicas terrestres, mas há também a opção de desenhar ou fazer o upload de uma área específica.

Para o monitoramento de um município, por exemplo, pode-se utilizar a opção "clique em uma camada no mapa", seguida de "fronteira política", para visualização do limite municipal a partir do zoom adequado (Figura 2). Quando o interesse

for no monitoramento de uma área específica, como um imóvel rural ou unidade de conservação, por exemplo, a opção deve ser “desenhar ou fazer o upload da forma” e então desenhar a área no próprio mapa interativo ou incluir um arquivo shapefile, .csv, .json, .geojson, .kml ou .kmz com até 1MB.

**Figura 2.** Comparação de imagens Sentinel-2 com NDVI entre datas de interesse.



Fonte: Sentinel Hub <<https://www.sentinel-hub.com/explore/eobrowser>>.

Existe a possibilidade de algum alerta emitido, sobretudo os alertas GLAD, consistir em um falso-positivo, que indica a ocorrência de perda de cobertura arbórea sem que tenha de fato ocorrido. Isto ocorre porque o algoritmo utilizado detecta alteração de áreas com cobertura arbórea, mas não distingue se a ocorrência se deu por ação humana ou por causa natural, como devido a escorregamentos nas margens de rios e encostas, regime de inundação de florestas aluviais, tempestades, entre outros. Preliminarmente às diligências ou expedição de documentos, é prudente a realização de uma validação prévia dos locais dos alertas com imagens de satélite como CBERS 4, ou imagens derivadas de aeronaves remotamente pilotadas, que sejam recentes e com alta resolução espacial (Butturi et al., 2021). Deve ser observada a quantidade e proximidade dos alertas, bem como a existência de estradas de acesso aos locais indicados.

Essa rotina é viável em razão da disponibilidade cada vez mais maior, de imagens de alta resolução, como por exemplo, as imagens dos satélites Sentinel-2, produzidas pelo Programa Copernicus da União Europeia, com resolução espacial de 10m x 10m e temporal de 5 dias, com qualidade suficiente para identificar alterações na vegetação natural e em tempo também próximo ao real, de maneira rápida e sem custos. Uma possibilidade de visualização dessas imagens, inclusive processadas na falsa-cor e com índices de vegetação aplicado, é pela ferramenta EO Browser, da plataforma Sentinel Hub <<https://www.sentinel-hub.com/explore/eobrowser>> ou pela plataforma do United States Geological Survey (USGS) <<https://earthexplorer.usgs.gov/>> sem a necessidade de fazer o download e processamento das imagens.

Em razão das vantagens do GFW acima descritas, o Ministério Público de Mato Grosso, representado pela Promotoria de Justiça de Itiquira, desenvolveu o Projeto “Olhos da Mata: coibindo o desmatamento ilegal em tempo próximo ao real”. O Olhos da Mata busca, a partir do recebimento de alertas GLAD no município de Itiquira, a validação do desmatamento por meio de imagens de satélite de antes de depois do período do alerta, a identificação do proprietário/posseiro do imóvel rural e a

existência de autorizações ou licenças de desmatamento emitidas pelos órgãos de controle ambiental. Para isso, a Promotoria de Justiça conta com vasta base de dados geográficos disponibilizados, como dados cadastrais dos imóveis rurais no município e restrições ou autorizações para o ato de desmatamento, verificando assim, a ilicitude dos atos. Após confirmado o desmatamento, o órgão de execução ministerial (Promotor de Justiça) entra contato com o infrator pelo telefone e encaminha notificação via correios para cesso e preste os esclarecimentos sobre o ilícito ambiental identificado.

O Ministério Público Federal desenvolveu plataforma própria no âmbito do Projeto “Amazônia Protege” para combater o desmatamento ilegal na Floresta Amazônica Brasileira. Dados anuais do Projeto PRODES servem como base para identificação do desmatamento e são cruzados com banco de dados públicos dos imóveis rurais para identificação dos proprietários/posseiros da área atingida. São realizadas vistorias de campo consubstanciadas em auto de infração ou embargo da área. A cada ano são instauradas novas ações civis públicas contra os desmatamentos ilegais detectados, em áreas de tamanhos variáveis e menores que 60 ha. Essa plataforma foi desenvolvida em parceria com o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) e com a Universidade Federal de Lavras (UFLA). No sítio eletrônico do Projeto Amazônia Protege<sup>2</sup>, pode-se fazer consultas pelo CPF/CNPJ do infrator, por coordenadas geográficas de interesse e por municípios. Os dados são cruzados com informações do PRODES 2017 e 2018, de áreas embargadas, de terras indígenas e de proprietários de imóveis rurais cadastrados no Sistema de Cadastro Ambiental Rural (SICAR) e no Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). O objetivo desta consulta pública é que os consumidores de produtos provenientes da Amazônia não comprem de locais onde ocorreu desmatamento ilegal, tornando-os grande aliados na fiscalização desse tipo de ilícito.

A grande diferença entre os projetos Olhos da Mata e Amazônia Protege, está na resolução temporal da detecção do desmatamento ilegal. Assim, pode-se dizer que o Olhos da Mata busca a atuação mais preventiva no combate ao desmatamento ilegal, enquanto o Amazônia Protege atua visando a responsabilização pelos desmatamentos ilegais ocorridos no ano anterior.

Outra iniciativa importante é o Projeto MapBiomias Alerta, um sistema desenvolvido para validação e refinamento de alertas de desmatamento (entre eles os alertas GLAD e DETER) em imagens de alta resolução. Além dos alertas de desmatamento também são incluídos alertas de degradação e regeneração da vegetação (Abdalla, 2019). Todo o processo é feito com o extensivo uso de algoritmos de aprendizagem de máquina (*machine learning*) por meio da plataforma de processamento em nuvem *Google Earth Engine*.

Da mesma forma que os projetos Amazônia Protege e Olhos da Mata, o MapBiomias Alerta faz o cruzamento de dados validados de desmatamento com dados públicos de “informações fundiárias e de fiscalização, como territórios indígenas, unidades de conservação, assentamentos, áreas do Cadastro Ambiental Rural (CAR), entre elas Áreas de Preservação Permanente (APP) e Reserva Legal (RL), além de áreas de embargos, autorizações de supressão e plano de manejo florestal do Sinaflor do Ibama. Também são localizados os alertas em limites geográficos como municípios, estados, biomas e bacia hidrográfica<sup>3</sup>.

O sensoriamento remoto não apenas subsidia ações de fiscalização, mas também para a adoção de políticas públicas e ações de médio e longo prazo. Existem projetos tanto estatais como da iniciativa privada nesse sentido. Destaca-se o Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite - PRODES, que, como já dito, realiza o monitoramento por satélite do desmatamento por corte raso na Amazônia Legal e publica desde 1988 as taxas anuais de desmatamento na Amazônia Legal. Os dados consolidados do desmatamento são apresentados no primeiro semestre do ano seguinte ao da análise.

---

<sup>2</sup> Disponível em: <http://www.amazoniaprotege.mpf.mp.br/>. Acessado em 27.12.2019.

<sup>3</sup> Disponível em: <http://alerta.mapbiomas.org/>. Acessado em 27.12.2019.



O programa utilizou as imagens LANDSAT-5/TM e, posteriormente, as imagens do CBERS-2/2B (satélite sino-brasileiro), do satélite indiano IRS-1 e do satélite inglês UK-DMC2 foram utilizadas. Atualmente, o programa faz uso das imagens do LANDSAT 8/OLI, CBERS 4 e IRS-2.

#### **4. Provas Periciais Produzidas a partir de Sensoriamento Remoto**

Dados derivados de sensores remotos cada vez são mais utilizados para geração de prova de ilícitos ambientais. Seu uso apresenta muitas vantagens em relação à perícia realizada *in loco*, tais como: escalabilidade, baixo custo e velocidade. Além disso, essa prova é de especial importância em imóveis rurais de grandes dimensões e localizados em áreas remotas - em relação aos quais uma ação perícia teria inadequado custo e efetividade, em razão do tempo e logística envolvida.

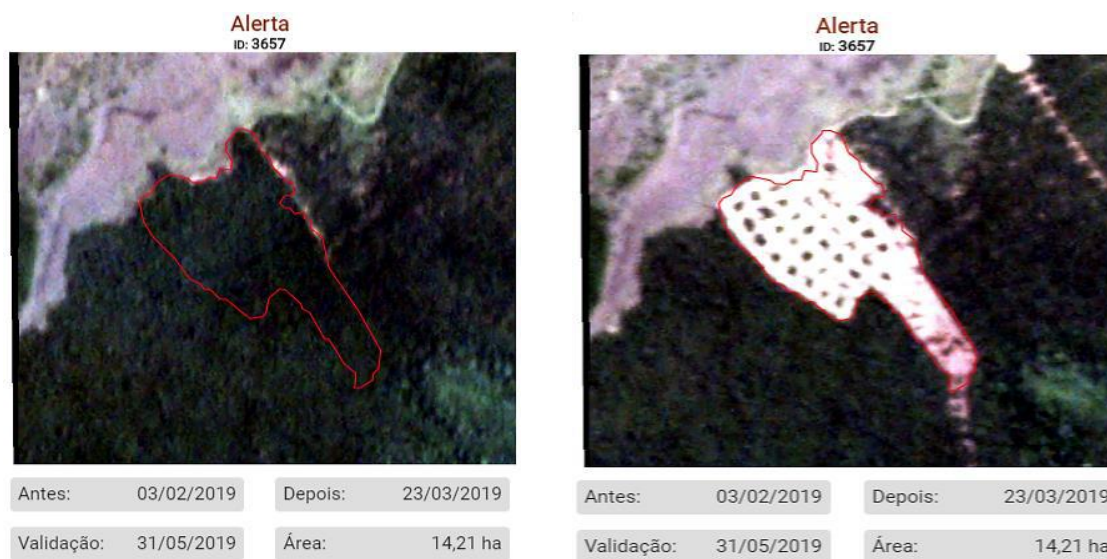
Relatórios técnicos realizados em sistemas de informação geográfica (SIG) tendem a ser ágeis, informativos e de baixo custo, quando utilizamos programas livres e gratuitos como QGIS. Também em razão da disponibilidade gratuita, pode-se utilizar imagens, Landat 8, Sentinel 2 e CBERS 4A, cuja resolução espacial que pode chegar a 2 metros. Esse material é estratégico para ser avaliado na etapa de planejamento da vistoria em campo, para validação da área desmatada.

Recomenda-se que análise por sensoriamento remoto seja feita partir de imagens de satélites com resolução espacial com no mínimo 30m x 30m, para permitir a visualização de alterações na vegetação em resolução igual ou melhor que a dos alertas com melhor resolução espacial (GLAD). A resolução temporal das imagens orbitais não deve ultrapassar 30 dias. O acervo de dados remotos deve ser complementado com imagens de altíssima resolução espacial e temporal, como as imagens de aeronaves remotamente pilotadas (drones). Isso cria múltiplas camadas de dados cada vez mais refinados. Recomenda-se a utilização do histórico de alertas de desmatamento que incidiram no imóvel rural, bem como a utilização de índices de vegetação calculados sobre as imagens de satélite para melhorar a fotointerpretação.

O profissional que elabora laudos de vistoria deve analisar a mudança na cobertura vegetal, na área alvo e no período de interesse, comparando imagens antes e após o evento ilícito, a fim de identificar a área perturbada (Figura 3). Para uma maior precisão e, dependendo do grau de precisão necessária, esse profissional também deverá aferir a acurácia do imageamento a partir do georeferenciamento da imagem utilizada e informa-la no laudo.

Iniciativas como o projeto Alerta MapBiomias utiliza machine learning para a elaboração automatizada de laudos periciais com base em imagens de alta resolução (Planet Labs), nos mais diversos alertas (principalmente GLAD e DETER) e, ainda, consulta às bases de dados públicos. O software utilizado é capaz de desenhar, com razoável (e crescente) precisão os polígonos do desmatamento de determinada área.

**Figura 3.** Imagens Planet utilizadas no projeto Alerta MapBiomias e desenho do polígono realizado por aprendizado de máquina.



Fonte: MapaBiomias <<https://mapbiomas.org/>>

Pela própria natureza das ferramentas de *machine learning* (aprendizagem estatística), o laudo pericial indica uma probabilidade, e, apesar do elevado grau de certeza, não raro a máquina produz erros que parecem simplórios para o especialista. O ideal é que algum tipo de supervisão humana seja realizado (a conferência visual das imagens do laudo automatizado) antes da tomada de uma decisão relevante com base em tais laudos (como a lavratura de um auto de infração, o oferecimento de uma denúncia criminal por um promotor ou uma sentença judicial baseada neles).

Os requisitos de laudo periciais pautados em dados de sensoriamento remoto, são os seguintes:

1. Utilização e identificação de imagens de satélite, preferencialmente, de fontes públicas e abertas (como o CBERS, Landsat ou Sentinel), permitindo com maior facilidade o contraditório;
2. Desenho do polígono do desmatamento a partir da identificação visual, considerando uma composição adequada de bandas da imagem de satélite, que evidencie alteração da cobertura arbórea por duas imagens (uma em data anterior e outra em data posterior a intervenção);
3. Nome, identificação, número de registro no órgão público competente e assinatura do profissional responsável pelo laudo, com a respectiva anotação de responsabilidade técnica (ART);

Um aspecto relevante em relação aos relatórios técnicos realizados no bojo de procedimentos investigatórios (como o inquérito civil ou o inquérito policial) diz respeito ao fato de que, rigorosamente, por serem produzidos sem o crivo do contraditório, possuem a natureza de prova documental (e não pericial). No âmbito penal, no entanto, o art. 19, parágrafo único, da Lei 9605/98 (Lei dos Crimes Ambientais) prevê a possibilidade de seu aproveitamento uma vez estabelecido o contraditório: “A perícia produzida no inquérito civil ou no juízo cível poderá ser aproveitada no processo penal, instaurando-se o contraditório” (Brasil, 1998).

Além da utilização dos alertas para subsidiar a ação de fiscalização do Ibama e dos dados do Prodes para a formulação de políticas públicas pelo Governo Federal, o sensoriamento remoto pode se prestar à investigação do desmatamento ilegal

pelo Ministério Público e, ainda, podem ser utilizados por compradores e consumidores para garantir a compra de produtos programas do Poder Executivo, a utilização de alertas pela comunidade jurídica.

## 5. Responsabilização pelos Danos Ambientais Causados pelo Desmatamento

Após identificado o desmatamento ilegal e o responsável pela área, o legitimado na defesa do meio ambiente adotará medidas visando a responsabilização civil-ambiental, sem prejuízo da responsabilização administrativa e criminal. O Ministério Público, principal protagonista na defesa do meio ambiente e seguindo o Princípio da Precaução, poderá notificar o proprietário para cessar a atividade ilícita de desmatamento, como é feito no Projeto Olhos da Mata, e/ou ainda, instaurar inquérito civil público para colher as provas da conduta ilícita e tentar firmar termos de ajustamento de conduta ou, ainda, ajuizar uma ação civil pública visando a reparação dos danos ambientais. No caso do Projeto Amazônia Protege, constatado o desmatamento ilegal, são instaurados, via de regra, inquéritos civis públicos para em seguida em não havendo acordo, serem ajuizadas ações civis públicas já na primeira etapa dos trabalhos na busca da reparação dos danos ambientais.

A reparação dos danos ambientais poderá ser feita, cumulativamente ou não, mediante a recuperação ambiental da área afetada (reparação *in situ*), compensação por equivalente ecológico (reparação *ex situ*) ou, ainda, a partir da indenização pecuniária, considerando os danos materiais e imateriais (ou extrapatrimoniais). Assim, para definição das medidas adequadas devem ser adotados critérios técnicos, como o tamanho da área afetada, a possibilidade de recuperação ambiental e os prejuízos em termos de bens e serviços ambientais, objetivando uma reparação justa e adequada para reparação integral dos danos causados.

## 6. Considerações Finais

Foi abordado de maneira sucinta o uso de dados de sensoriamento remoto para a investigação de ilícito ambiental de desmatamento ilegal ou incêndios florestais. É importante ressaltar que as geotecnologias têm avançado de modo bastante rápido nos últimos tempos, sendo preciso manter-se atualizado quanto aos avanços obtidos.

Imagens de satélite ou derivadas de aeronaves remotamente pilotadas, com alta resolução espacial, temporal e até espectral, estão cada vez mais acessíveis, assim como plataformas digitais de acesso público, estão sendo construídas cotidianamente pelos órgãos de controle ambiental, instituições de pesquisa e organizações não governamentais, resultando progressivamente em novas oportunidades para proteção dos nossos biomas contra a degradação ambiental.

É preciso acompanhar a jurisprudência que se formará a respeito do assunto, tendo em vista a crescente discussão do sensoriamento remoto como meio de prova nos tribunais. Nesse sentido, faz-se necessária uma maior interação entre o meio científico e o meio técnico-jurídico, a fim de avançarmos na definição de protocolos que tragam cada vez mais robustez técnica e científica, com segurança jurídica para as partes, na definição da prova e efetiva proteção ao meio ambiente.

## Agradecimentos

Acordo Específico de Cooperação N° 0251FUFMTI2018.

Ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Tecnologias Ambientais (PGTA) da Universidade Federal de Rondonópolis (UFR).

Ao CNPq pelo apoio financeiro (Processos 441975/2018-6 -Edital Prev-fogo e 315170/2018-2 -Bolsa Produtividade DT e EI); Ao Ministério Público de MT, pelo apoio financeiro (Projeto Prorad) e UFR, pelo apoio logístico e financeiro.

Tecnológico (CNPq) pela bolsa de produtividade em pesquisa concedida a A. C. Paranhos Filho (Processo CNPq 305013/2018-1).

Agradecemos ainda à CAPES por nos fornecer acesso ao Portal de Periódicos. Gostaríamos também de agradecer à CAPES pela bolsa de doutorado concedida ao Dhonatan Diego Pessi (processo número 88887.494036/2020-00).

## Referências

- Abdalla, L. S. (2019). Modelagem baseada em dados para previsão da emergência de zoonoses: um estudo de caso da febre amarela silvestre no Brasil. Instituto Militar de Engenharia. 308p.
- Adami, M. et al. (2017). A confiabilidade do PRODES: estimativa da acurácia do mapeamento do desmatamento no estado de Mato Grosso. In: *Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBR*.
- Artaxo, P. (2020). As três emergências que nossa sociedade enfrenta: saúde, biodiversidade e mudanças climáticas. *Estud. av.* 34, 53-66.
- Allen, M. R. et al. (2018). Framing and Context. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V. et al. (eds.)]. In Press. 2018.
- Brasil. (1998). lei Nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19605.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19605.htm)
- Butturi, W., Batista, L. A. S., Santos, B. D. C. & Silgueiro, V. F. (2021). Uso do Global Forest Watch (GFW) para coibir desmatamentos e incêndios florestais ilegais em Mato Grosso. Cuiabá: ICV. <https://www.icv.org.br/website/wp-content/uploads/2021/03/tutorial-uso-da-plataforma-global-forest-watch-icv.pdf>.
- Ferreira, L. G., Ferreira, N. C. & Ferreira, M. E. (2008). Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado-da-arte. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 30(4), 379-390.
- Hansen, M. C. A. et al. (2016). Humid tropical forest disturbance alerts using Landsat data. *Environmental Research Letters*, 11(3).
- Hansen, M. C. A. et al. (2022). Global land use extent and dispersion within natural land cover using Landsat data. *Environ. Res. Lett.*, 17, 1-18.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. (2017). A origem do INPE na corrida espacial. [http://www.inpe.br/institucional/sobre\\_inpe/historia.php](http://www.inpe.br/institucional/sobre_inpe/historia.php)
- IPCC, Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. (2019). Sobre o Painel. [http://www.ipcc.ch/news\\_and\\_events/docs/factsheets/FS\\_what\\_ipcc.pdf](http://www.ipcc.ch/news_and_events/docs/factsheets/FS_what_ipcc.pdf)
- Maurano, L. E. P.; Escada, M. I. S.; Renno, C. D. Padrões espaciais de desmatamento e a estimativa da exatidão dos mapas do PRODES para Amazônia Legal Brasileira. *Ciência Florestal*, 29(4), 1763-1775.
- Paranhos, A. C., Miotto, C. L., Pessi, D. D., Gamarra, R. M., Silva, N. M. da, Ribeiro, V. O. & Alves, J. R. (2021). Geotecnologias para aplicações ambientais. UNiedusul. 394p
- Souza, A. et al. (2019). Metodologia utilizada nos Projetos PRODES e DETER. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. [http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes/pdfs/Metodologia\\_Prodes\\_Deter\\_revisada.pdf](http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes/pdfs/Metodologia_Prodes_Deter_revisada.pdf). Acessado em 13.10.2019.
- Vacchiano, M. C., Santos, J. W. C., Angeoletto, F. H. S. & Silva, N. M. (2019). Do Data Support Claims That Brazil Leads the World in Environmental Preservation?. *Environmental Conservation*, 46, 118-120.
- Vargas, E. V. (2008). A mudança do clima na perspectiva do Brasil. *Interesse Nacional*. Ano 1, nº 1.
- Wulder, M. A. et al. (2019). Current status of Landsat program, science, and applications. *Remote Sensing of Environment*, 225, 127-147.
- Zalles, V., Hansen, M. C., Potapov, P. V., Parker, D., Stehman, S. V., Pickens A. H., Leal Parente, L., Ferreira, L. G., Song, X. P., Hernandez-Serna, A. & Kommareddy, I. (2021). Rapid expansion of human impact on natural land in South America since 1985. *Science Advances*, 7(14), 1-10.