

# SATÉLITES DE SENSORIAMENTO REMOTO: UTILIZAÇÃO PARA O MONITORAMENTO E PROTEÇÃO DOS RECURSOS NATURAIS BRASILEIROS<sup>1</sup>

## *REMOTE SENSING SATELLITES: UTILIZATION FOR MONITORING AND PROTECTION OF BRAZILIAN NATURAL RESOURCES*

**Matheus Coelho Salomão<sup>2</sup>**  
Alessandro Firmiano de Jesus\*  
Fabiano Amarante de Freitas\*\*

### RESUMO

As dimensões territoriais do Brasil necessitam de recursos tecnológicos para prover uma proteção e um monitoramento adequados dos recursos naturais brasileiros. A complexidade e a responsabilidade da proteção somadas ao avanço tecnológico e à exploração espacial, tornam a utilização de satélites de sensoriamento remoto uma ferramenta que auxilia na manutenção da soberania do país. O Brasil possui parcerias para o desenvolvimento de satélites de sensoriamento remoto com países da Ásia e da América do Sul, como a China e a Argentina, além de possuir capacidade de criar seu próprio satélite, como por exemplo, o Amazônia-1. Os problemas ambientais como o desmatamento, as queimadas e os danos aos recursos hídricos nos biomas brasileiros são algumas das questões que chamam a atenção de outros países, afetando diretamente a Defesa e Segurança Nacional. Dessa forma, o trabalho tem como objetivo verificar a importância do uso dos satélites de sensoriamento remoto para o monitoramento e a proteção dos recursos brasileiros. A metodologia utilizada teve como base uma pesquisa bibliográfica com objetivo descritivo e com abordagem qualitativa. A revisão bibliográfica foi realizada por meio da análise de artigos científicos, dissertações, teses, livros e documentos que abordam o tema, com um levantamento de dados secundários e terciários. O trabalho demonstrou a importância do uso dos satélites de sensoriamento remoto, mencionou os programas utilizados pelo governo que apoiam o uso dessa tecnologia, trouxe como discussão os principais modelos de satélites utilizados pelo Brasil e apresentou algumas aplicações destas ferramentas no monitoramento dos recursos naturais brasileiros. O uso destas tecnologias para monitoramento do território brasileiro contribui sobremaneira com a proteção dos recursos naturais e com a soberania nacional. Por exemplo, a disponibilização do portal TerraBrasilis de dados de monitoramento, quase em tempo real, dos focos de desmatamento ou queimadas acompanhados de gráficos estatísticos. O uso de satélites de sensoriamento remoto mostrou-se eficaz na proteção dos recursos naturais, necessitando de um aperfeiçoamento ao longo dos anos e uma futura independência tecnológica do Brasil para obtenção das imagens e desenvolvimento de novos satélites.

**Palavras-Chave:** Sensoriamento Remoto; Imagens de Satélites; PESE; Recursos Naturais; Defesa Nacional.

---

<sup>1</sup> Artigo de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Formação de Oficiais Aviadores (CFOAv) da Academia da Força Aérea (AFA).

<sup>2</sup> Cadete Aviador do 4º Esquadrão (Turma Orthrus, 2023).

\* Prof de Matemática do Magistério Superior. Doutor em Ciências. Academia da Força Aérea. E-mail: [firmianoafj@fab.mil.br](mailto:firmianoafj@fab.mil.br)

\*\* 2º Ten QOCON Magistério em Geografia. Mestre em Ecologia aplicada ao manejo e conservação de recursos naturais. Escola Preparatória de Cadetes do Ar - EPCAR. E-mail: [freitasfaf@fab.mil.br](mailto:freitasfaf@fab.mil.br)

## ABSTRACT

The territorial of Brazil requires technological resources to provide adequate monitoring and protection of Brazilian natural resources. The complexity and responsibility of protection, combined with technological advancements and space exploration, make the use of remote sensing satellites a tool that assists in maintaining the country's sovereignty. Brazil has partnerships for the development of remote sensing satellites with countries in Asia and South America, such as China and Argentina, in addition to having the capacity to create its own satellite, such as Amazonia-1. Monitoring environmental issues such as deforestation, wildfires and damage to water resources in Brazilian biomes are causes that draw the attention of other countries, directly affecting Defense and National Security. Therefore, the objective of this work is to verify the importance of using remote sensing satellites and their future prospects for monitoring and protecting Brazilian territory. The methodology used was based on a bibliographic research with a descriptive objective and a qualitative approach. The literature review was conducted through the analysis of scientific articles, dissertations, theses, books and official documents that address the topic, with a collection of secondary and tertiary data. The study demonstrated the importance of using remote sensing satellites, mentioned government programs that support the use of this technology and discussed the main satellite models used by Brazil and presented some applications of these tools in monitoring Brazilian natural resources. For example, the availability of the TerraBrasilis portal provides monitoring data, nearly in real time, on deforestation or wildfires, accompanied by statistical graphs. The use of remote sensing satellites has proven effective in protecting natural resources, requiring improvement over the years and future technological independence of Brazil to obtain images and new satellites.

**Keywords:** Remote sensing; Satellite images; PESE; Natural resources; National defense.

## INTRODUÇÃO

O Brasil é um país que tem um território com extensão de aproximadamente 8,5 milhões de km<sup>2</sup>. Além disso, o país possui também uma Zona Econômica Exclusiva (ZEE) que abrange 3,5 milhões de km<sup>2</sup>. A ZEE é uma faixa de até 200 milhas náuticas situada além das águas territoriais, onde o país costeiro tem prioridade de uso e responsabilidade de preservação. Adicionalmente, há uma área de 10 milhões de km<sup>2</sup> no Oceano Atlântico, por meio de acordos e convenções internacionais, o Brasil presta serviços de controle do espaço aéreo e cumpre missões de busca e salvamento. No total, é uma área marítima, terrestre e aérea com dimensão de 22 milhões de km<sup>2</sup> protegida pela Força Aérea Brasileira (FAB), a qual tem a missão de “manter a soberania do espaço aéreo e integrar o território nacional, com vistas à defesa da pátria” (BRASIL, 2016).

Para auxiliar na execução dessa missão, a FAB, em coordenação com o Ministério da Defesa e demais órgãos e instituições governamentais, criou o Programa Estratégico de Sistemas Espaciais (PESE). Esse programa desempenha um papel fundamental ao fornecer infraestrutura espacial para colaborar com diversos sistemas de gerenciamento e proteção do Brasil. Entre eles, destacam-se o Sistema de Gerenciamento da Amazônia Azul (SisGAAz), o Sistema Integrado de Monitoramento de Fronteiras (SISFRON), o Sistema de Defesa Aeroespacial Brasileiro (SISDABRA) e o Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM). Essa colaboração ativa fortalece a proteção do país.

A proteção dos recursos naturais e da soberania do território brasileiro necessita dos dados gerados por sensores a bordo de satélites de sensoriamento remoto (EIPHANIO, 2013). A obtenção desses dados pode ser adquirida por satélites pertencentes ao próprio país ou por satélites de outros países. Inicialmente, o Brasil foi um importador de dados de satélites de sensoriamento remoto, principalmente do satélite francês SPOT (Satellite Pour l'Observation de la Terre) e do sistema norte americano LANDSAT. Na década de 90, o Programa China Brazil Earth Resources Satellite (CBERS) surgiu de uma parceria entre o Brasil e a China no setor espacial e colocou o Brasil no grupo de países que possuem a tecnologia de sensoriamento remoto. Além do CBERS, o país possui o Programa de Satélites de Sensoriamento Remoto (SSR) que detém o primeiro satélite de Observação da Terra completamente projetado e operado pelo Brasil, o Amazônia-1 e o satélite feito em cooperação com a Argentina, o Sabiá-Mar.

O avanço da ciência e da tecnologia proporciona constantemente a evolução e melhorias dos programas citados no parágrafo anterior, o que resulta no desenvolvimento de novos satélites, aprimorando a obtenção e a resolução das informações captadas do terreno. O Programa Nacional de Atividades Espaciais 2022-2031 (PNAE) apresenta a Carteira de Admissão, que é a porta de entrada para novas missões espaciais ao PNAE. Os projetos futuros são selecionados pela Agência Espacial Brasileira (AEB) no momento oportuno, a fim de serem adquiridos e iniciarem suas operações, contribuindo de forma ativa para a proteção do território nacional (AEB, 2022).

Os satélites do CBERS e o Amazônia-1 são utilizados em importantes campos na proteção da Amazônia Legal, com o monitoramento de queimadas, desmatamentos, recursos hídricos, crescimentos urbanos, áreas agrícolas e fronteiras brasileiras. Por outro lado, o Sabiá-Mar é empregado no monitoramento dos ecossistemas oceânicos e na observação costeira do Brasil e da Argentina. Considerando as diferenças nas capacidades e características na obtenção de dados pelos satélites de sensoriamento remoto utilizados pelo

país, surge a pergunta que será respondida durante o trabalho: Como o uso dos satélites de sensoriamento remoto auxiliam no monitoramento e na proteção dos recursos naturais brasileiros? Então este estudo analisará se a tecnologia e os satélites que o Brasil possui são suficientes ou ainda ocorre uma dependência de parcerias com outros países.

O presente trabalho tem por objetivo geral verificar a importância do uso de satélites de sensoriamento remoto no auxílio ao monitoramento e à proteção dos recursos naturais brasileiros. Os objetivos específicos incluem apresentar o Programa Estratégico de Sistemas Espaciais (PESE) e o Plano Nacional de Atividades Espaciais 2022-2031, descrever as principais características dos modelos de satélite de sensoriamento remoto utilizados pelo Brasil e identificar os riscos que atingem os recursos naturais brasileiros. Pretende-se, também, identificar de que forma o uso das imagens de satélite tem contribuído para a proteção do território e dos recursos naturais brasileiros.

Tal abordagem se justifica pela necessidade de um sistema de monitoramento adequado para garantir o monitoramento e a proteção de 22 km<sup>2</sup>, incluindo os recursos naturais presentes no território brasileiro. O uso de satélites de sensoriamento remoto é uma tecnologia de extrema importância para o monitoramento do território nos dias atuais, tendo em vista o avanço científico-tecnológico espacial. Nesse sentido, é necessário o estudo do uso e das perspectivas futuras dos satélites de sensoriamento remoto na proteção do território nacional.

## **1 REFERENCIAL TEÓRICO**

O Programa Nacional de Atividades Espaciais 2022-2032 aborda aspectos relacionados à Defesa Nacional e a Segurança, impondo desafios de natureza ambiental, social e econômica. Essa preocupação com a defesa do país acontece, dentre outros fatores, devido às características ambientais e climáticas presentes em todo território brasileiro. Devido à grande responsabilidade e complexidade envolvida na missão de proteger os recursos naturais e o território brasileiro, é necessário o uso de sistemas espaciais cada vez mais tecnológicos (AEB, 2022).

O PESE é o instrumento que busca tratar de forma detalhada as necessidades presentes e futuras da Defesa Nacional, com ênfase na característica de uso múltiplo de sistemas espaciais, no fortalecimento da indústria nacional, no desenvolvimento científico brasileiro e na garantia de uma demanda contínua por produtos com um índice crescente de nacionalização. Assim, a interação entre o PESE e o PNAE, no que diz respeito às atividades de

Segurança e Defesa Nacional, é fundamental para o Programa Espacial Brasileiro e, conseqüentemente, para o País (AEB, 2022, p.24).

A Era Espacial teve início em outubro de 1957 com o lançamento do primeiro satélite artificial da Terra, o SPUTNIK I, pela então União Soviética (URSS). Esse marco gerou uma corrida espacial entre os Estados Unidos e a União Soviética, ocorrendo o lançamento de satélites cada vez mais potentes e tecnológicos entre os dois países. A tecnologia desenvolvida beneficiou diversos setores dos países que possuíam esses equipamentos.

Os satélites artificiais são construídos para diferentes finalidades como telecomunicações, espionagem, experimento científico - nas áreas de astronomia e astrofísica; geofísica espacial; planetologia; ciências da terra, atmosfera e clima - meteorologia e sensoriamento remoto. Existem também os satélites de Posicionamento Global (GPS) que giram em órbitas altas (20.200 quilômetros de altitude) e são importantes na navegação terrestre, aérea e marítima, além de ajudar na localização de pessoas, objetos e lugares (FLORENZANO, 2008, p.23).

O Brasil apresenta parcerias internacionais para o lançamento e criação de satélites de sensoriamento remoto. Possui, conforme mencionado, parceria com a China desde a assinatura do programa para a criação dos satélites CBERS em 06 de julho de 1988. A fabricação do primeiro satélite totalmente desenvolvido e testado pelo Brasil, o Amazônia-1, surgiu da necessidade de desenvolver maior autonomia para o Brasil nessa área da tecnologia. A Índia disponibilizou o centro de lançamento Satish Dhawan Space Centre e um veículo para lançar o satélite brasileiro, entrando como parceira nesse projeto. No âmbito sul-americano, o Brasil possui cooperação com a Argentina no lançamento do satélite Sabiá-Mar, responsável pela observação e monitoramento dos ecossistemas oceânicos e observação costeira do Oceano Atlântico (EPIPHANIO, 2013).

Os satélites de sensoriamento remoto têm como objetivo obter informações de áreas ou fenômenos por meio da leitura realizada por sensores que não estão em contato com o que vai ser estudado. Esses sensores coletam dados remotamente, que posteriormente são analisados por especialistas.

Segundo Duarte *et al.* (2007), o Brasil apresenta diversos projetos criados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) para proteger a Amazônia por meio da obtenção de dados de sensores remotos. O Projeto de Estimativa do Desflorestamento da Amazônia (PRODES) e o Projeto de Detecção de Áreas Desflorestadas em Tempo Real (DETER) são as principais ferramentas utilizadas pelo Governo Brasileiro para identificar as regiões com desflorestamento.

Desde 1988, o INPE começou a monitorar o desmatamento da Amazônia por meio dos satélites de sensoriamento remoto. Com o uso da tecnologia satelital, foi possível perceber que a agricultura contribui ativamente para a perda das matas na Amazônia. A conexão entre o setor agrícola e o desmatamento se intensificou a partir de 1994, com a reforma monetária e a entrada do Brasil nos mercados mundiais como exportador de soja e carne bovina (ARIMA *et al.*, 2014).

A tecnologia desenvolvida para o monitoramento terrestre-ambiental por meio de satélites de sensoriamento remoto possibilita a coleta de informações sobre biomas ameaçados, níveis de poluição de recursos hídricos, mudanças climáticas, desmatamento de matas ciliares e processos erosivos no solo, etc. Dessa forma, o monitoramento pode contribuir diretamente para o cumprimento das leis do Código Florestal Brasileiro, principalmente na preservação das áreas de Reserva Legal correspondente a cada tipo de bioma brasileiro (MASCARENHAS; FERREIRA; FERREIRA, 2009).

De acordo com Gabardo, Sarzedas e Silva (2021): “O fogo é um dos principais causadores de degradação nos ecossistemas Amazônicos, sendo amplamente utilizado para o manejo e transformação da cobertura da terra para diferentes usos”. Para combater esse problema, o INPE em parceria com a Embrapa Monitoramento por Satélite, desenvolveu um programa com um sistema orbital de monitoramento de queimadas.

Os problemas ambientais causados na Amazônia não apenas afetam o meio ambiente, mas também colocam em risco a soberania nacional, chamando a atenção de todo o mundo para a preservação da Floresta Amazônica (LATORRE, 2007). O Governo Federal implementou os projetos SIVAM (Sistema de Vigilância da Amazônia) e o SIPAM (Sistema de Proteção da Amazônia), com o objetivo de garantir a soberania brasileira na Amazônia Legal e auxiliar na proteção por meio do uso dos satélites (LATORRE, 2007).

## **2 METODOLOGIA**

Para a elaboração deste estudo, foi utilizada a metodologia baseada em pesquisas bibliográficas, com o objetivo de apresentar o uso dos satélites de sensoriamento remoto no monitoramento e defesa dos recursos naturais brasileiros. Por meio de uma pesquisa com a abordagem qualitativa foram realizados estudos das diferentes informações a respeito do assunto, com o intuito de identificar as abordagens utilizadas nas pesquisas com sensoriamento remoto e o provável surgimento de novos monitoramentos dos recursos naturais do país.

A revisão bibliográfica foi realizada por meio da análise de artigos científicos, dissertações, teses e livros sobre o tema, com um levantamento de informações secundárias e terciárias. Também foram utilizados documentos oficiais, como o Programa Nacional de Atividades Espaciais (PNAE) e o Programa Estratégico de Sistemas Espaciais (PESE) e de informações disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e pela Agência Espacial Brasileira (AEB).

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Após o início da corrida espacial, com o lançamento do Sputnik 1, diversos países começaram a desenvolver essa nova tecnologia para proteger seus territórios. O Brasil não ficou para trás nesse quesito, sendo um dos países pioneiros a realizar pesquisas voltadas para o desenvolvimento desse novo setor espacial.

A criação do INPE em agosto de 1961, durante o mandato do presidente Jânio Quadros, marcou o início das pesquisas espaciais brasileiras. Por exemplo, em 1966, foi criado o grupo de Meteorologia por Satélite e, em 1969, o de Sensoriamento Remoto, que eram áreas inéditas no Brasil. Estações de recepção de imagens de sensoriamento remoto foram inauguradas no território brasileiro, tornando o Brasil o terceiro país a receber imagens do satélite Landsat (CÂMARA, 2011).

Os satélites de sensoriamento remoto são instrumentos utilizados para adquirir informações da superfície terrestre sem a necessidade de um contato físico direto com o solo. Essa metodologia permite obter dados geográficos e acompanhar o histórico do terreno de maneira eficiente. De acordo com Lu *et al.* (2012), uma das aplicações mais importantes do sensoriamento remoto é o mapeamento da distribuição do uso e da ocupação da terra.

O avanço da tecnologia de satélites de sensoriamento remoto resulta em melhorias contínuas na aplicação e na coleta de dados terrestres com precisão. Isso permite compreender os ciclos da Terra e a influência das atividades humanas nesses ambientes (SHIMABUKURO *et al.*, 2004).

A cooperação com diversos países proporcionou ao Brasil a capacidade de obter imagens que podem auxiliar diretamente na defesa do território e na proteção dos recursos naturais brasileiros, combatendo desmatamentos, queimadas e uso indevido de bacias hidrográficas.

### 3.1 PROGRAMAS QUE APOIAM O USO DE SATÉLITES

O Governo brasileiro, através da AEB e do INPE, implementou programas que visam impulsionar o desenvolvimento e a criação de tecnologias por meio do uso de satélites. Nessa seção, serão explorados o Programa Estratégico de Sistemas Espaciais (PESE) e o Programa Nacional de Atividades Espaciais 2022-2031.

#### 3.1.1 Programa Estratégico de Sistemas Espaciais

O PESE é um programa estratégico de defesa nacional que prioriza a implantação de Projetos Espaciais de Defesa, cujos produtos possuem uso tanto civil quanto militar, respeitando as necessidades do Ministério da Defesa e das Forças Armadas. Um dos contextos para a criação do PESE foi a forte demanda por serviços de monitoramento ambiental, que atualmente não estão sob total domínio nacional. O Programa visa adquirir esse domínio no setor aeroespacial brasileiro, adquirindo capacidade própria para fornecer imagens e contribuindo para o desenvolvimento da indústria aeroespacial brasileira (SOARES, 2020).

Por meio do PESE, o Ministério da Defesa busca adquirir uma autonomia e independência do uso de satélites e de suas tecnologias complexas, exercendo assim a soberania nacional.

Os produtos do PESE são divididos em seis classes principais: comunicações, observação da Terra, mapeamento de informações, monitoramento do espaço, posicionamento e centro de operações espaciais (COPE), como ilustrado na Figura 1.

CCC Trigrama Identificador da Classe do Produto	PPP Trigrama Identificador do Produto
COM : Comunicações	ADM : Administrativas BLG : Banda Larga
	BES : Banda Estreita
OBT : Observação da Terra	SRO : Sensoriamento Remoto Óptico
	SRR : Sensoriamento Remoto por Radar
	MET : Meteorológico
MAI : Mapeamento de Informações	EXC : <i>Communication Exploitation</i>
	EXN : <i>Non-Communication Exploitation</i>
	CSA : Combate SAR ( <i>Search And Rescue</i> )
POS : Posicionamento	NAV : Navegação
MOE : Monitoramento Espacial	MOE : Monitoramento Espacial
COPE : Centro de Operações Espaciais	COPE : Centro de Operações Espaciais

**Figura 1** Classes dos Produtos do PESE.

Fonte: Soares (2020, p.19).

Uma das classes que o Programa busca dar foco principal é a do monitoramento e controle do espaço aéreo, do território e das águas sob jurisdição, utilizando sistemas de satélites de observação da Terra e de monitoramento ambiental. O PESE busca desenvolver uma variedade de satélites, incluindo os de sensoriamento remoto óptico, sensoriamento por radar e sistemas de monitoramento espacial (D'AMATO, 2015).

A utilização dos satélites no programa, além do uso para defesa nacional, participa no desenvolvimento da indústria aeroespacial brasileira, agricultura de precisão, preservação de áreas ambientais, meteorologia e ampliação do emprego dos serviços de banda larga. Isso demonstra a importância do PESE para toda a sociedade brasileira (ANDRADE *et al.*, 2021).

De acordo com Andrade *et al.* (2021, p.142): “A FAB busca estar preparada para avançar e aprofundar seus conhecimentos e capacidades para o melhor aproveitamento do poder espacial no apoio às operações militares [...]”. Essa afirmação ressalta a importância do uso do setor espacial na defesa e preservação da soberania do espaço brasileiro tanto atualmente como no futuro.

Assim, o PESE alinha seus objetivos com outras políticas governamentais, como as ações mútuas entre o PESE e o PNAE, com o objetivo de atender às necessidades estabelecidas pelo Ministério da Defesa e pelas Forças Armadas ao tomar decisões sobre o desenvolvimento de produtos e programas.

### 3.1.2 Programa Nacional de Atividades Espaciais 2022-2031

O PNAE abrange programas que oferecem suporte aos setores de comunicação, logística, mobilidade urbana, defesa civil, mineração, meio ambiente, saúde, educação e ciências. Além disso, desempenha um papel fundamental na Defesa Nacional, explorando ao máximo as múltiplas capacidades do setor aeroespacial. “[...] o PNAE 2022-2031 organiza-se no sentido de congregar, de acordo com uma lógica comum, as diferentes iniciativas nacionais na área espacial.” (AEB, 2022, p.11).

Devido à falta de satélites totalmente brasileiros, o Brasil buscou cooperação com outros países. Um dos objetivos estratégicos do setor espacial do PNAE é garantir o uso de produtos nacionais para fornecer dados específicos e estratégicos, fortalecendo, assim, a soberania e autonomia do país (AEB, 2022).

Além da busca por autonomia em certos âmbitos, também se busca cooperação com outros países devido à alta complexidade tecnológica necessária. Essas cooperações têm como objetivo proporcionar alternativas de financiamento, compartilhamento de riscos e de custos, abertura de novos mercados, oportunidade de transferência e de aquisições tecnológicas, bem como o fortalecimento de parcerias estratégicas de caráter geopolítico. Um exemplo é a Cooperação BRICS, uma iniciativa envolvendo Brasil, Rússia, China, Índia e África do Sul, com o intuito de criar uma constelação de satélites de sensoriamento remoto com compartilhamento de dados entre esses países, com data de entrega prevista para dezembro de 2023 (AEB, 2022).

Dentro do PNAE, estão incluídas missões espaciais que já possuem satélites em órbita. No campo do sensoriamento remoto, exemplos dessas missões são o CBERS-4, CBERS 04A e Amazonia 1. Além disso, na lista de futuras missões espaciais do PNAE, que representam uma carteira de entrada, destacam-se os satélites Amazonia 1B, Amazonia 2, SABIA-Mar, Missão AgroBio, Missão AQUAE de média e alta resolução, MAPSAR, CBERS 5 e CBERS-6, todos voltados para o sensoriamento remoto. Essa variedade de satélites demonstra o crescente interesse e a necessidade do país em receber apoio do setor espacial para a vigilância de seu território (AEB, 2022).

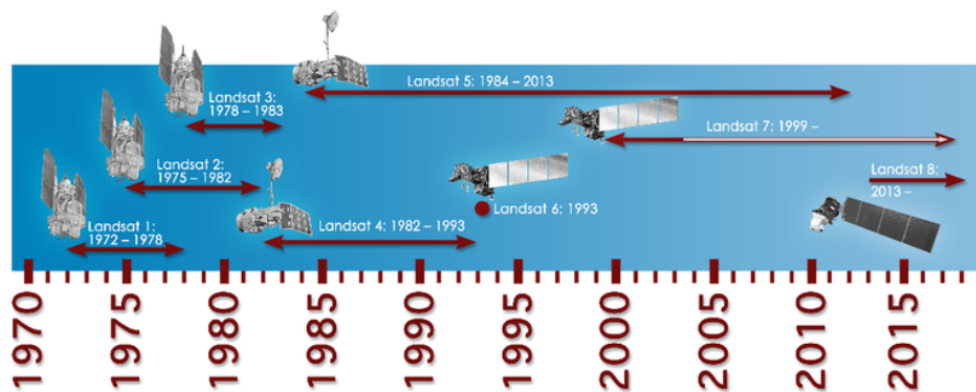
O Programa Espacial Brasileiro deve ser contínuo. Portanto, o PNAE 2022-2031 abrange missões do antigo PNAE e, ao longo de sua duração, pode abrir-se para a inclusão de novas missões, visando o desenvolvimento do setor espacial brasileiro.

### 3.2 PRINCIPAIS MODELOS DE SATÉLITES DE SENSORIAMENTO REMOTO UTILIZADOS PELO BRASIL

A câmera fotográfica foi o primeiro recurso utilizado pelas sociedades para conseguir imagens do terreno. O uso da tecnologia para capturar fotos do terreno foi empregado inicialmente no meio militar, visando adquirir um mapeamento da região do inimigo, conseguindo avaliar o posicionamento e o avanço das tropas. Com o avanço tecnológico, o uso de satélites tem desempenhado um papel crucial na captura de imagens em pequena escala, permitindo uma visão ampla de grandes áreas (NOVO; PONZONI, 2001).

No Brasil, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais obtém imagens do terreno através de diversos satélites, tais como o LANDSAT, CBERS e SPOT, utilizando de uma variedade de versões.

O satélite LANDSAT teve seu primeiro lançamento no ano de 1972. Criado pela National Aeronautics and Space Administration (NASA), possui como função principal a observação dos recursos naturais terrestres. Até os dias atuais, foram lançados 8 modelos da série, com imagens multiespectrais. É considerado o satélite que mais produziu imagens para estudos e aplicações para o monitoramento de recursos naturais (INPE, 2023a). A Figura 2 ilustra uma cronologia de suas operações.



**Figura 2** Linha do tempo do satélite Landsat

Fonte: INPE (2023d).

O Système Pour l'Observation de la Terre (SPOT) é um satélite francês projetado na década de 70 com parceria da Suécia e da Bélgica. Ele opera com sensores ópticos. Foram lançados 7 satélites SPOT, com o avanço nas gerações e tecnologias embarcadas. O SPOT possui a capacidade de renovar as imagens enviadas no intervalo de 1 a 3 dias. Ele é usado

principalmente para o acompanhamento das áreas agrícolas, para preservação ambiental e para atualização de cartas e mapas (EMBRAPA, 2023).

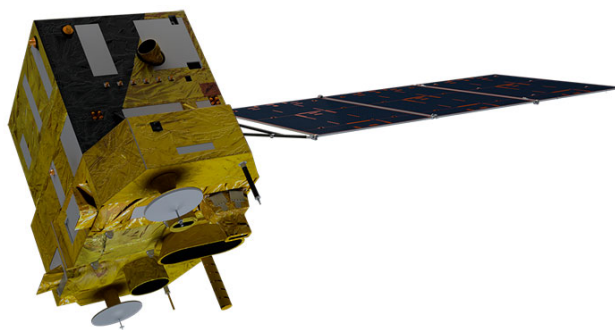
O Brasil estabeleceu uma parceria com um fabricante finlandês que disponibilizará o uso dos satélites SAR (Radar de Abertura Sintética), possibilitando a obtenção de imagens da cobertura terrestre. Alguns pontos positivos que contribuíram para essa coparticipação foram o elevado número de satélites disponíveis (16 até o momento) e a alta resolução das imagens (MUNDOGEO, 2022).

Segundo Takehara (2014), as relações diplomáticas entre o Brasil e a China proporcionaram o compartilhamento de diversos conhecimentos tecnológicos e científicos. No ano de 1988, teve início a criação do CBERS-1, fruto da parceria entre o INPE e a Academia Chinesa de Tecnologia Espacial (CAST).

A parceria envolvendo Brasil e China resultou no lançamento de quatro satélites até os dias atuais, com o projeto do lançamento de mais dois satélites. O CBERS-1 foi lançado em 1999, enfrentando diversos atrasos no seu lançamento devido às questões internacionais como contraste cultural, questões políticas, questões orçamentárias relacionadas ao fato da demora do projeto e aumento do custo de lançamento (TAKEHARA, 2014).

O CBERS-2 captou mais de 175 mil imagens do território brasileiro e foi o pioneiro no setor de sensoriamento remoto ao adotar a distribuição gratuita de imagens. O CBERS-3 foi lançado em 2013, porém acabou sendo perdido durante o lançamento devido a uma falha do veículo lançador (INPE, 2023a).

Atualmente, o Brasil possui em operação os satélites CBERS-4 e CBERS 04A (Figura 3), que possuem duas câmeras para aquisição de dados de alta resolução, auxiliando nos objetivos estratégicos de espaço propostos pelo PNAE 2022-2031. Esse programa também prevê em sua carteira de admissão o desenvolvimento de novas versões, sendo uma delas o CBERS-5, que fornecerá imagens com resolução de 20 metros e contará com o instrumento de sensoriamento remoto de média resolução (WFI), capaz de capturar imagens com resolução espacial de aproximadamente 80 metros para cada pixel. Outra versão planejada é o CBERS-6, com a tecnologia SAR embarcada (AEB, 2022).



**Figura 3** Satélite CBERS 04A

Fonte: INPE (2023a).

O primeiro satélite de observação terrestre que foi totalmente projetado, integrado, testado e operado pelo Brasil foi o Amazônia-1 (ver Figura 4), lançado em 2020 em parceria com a Índia, a qual proporcionou o local e o veículo lançador. Este satélite tem a capacidade de fornecer imagens do mesmo local no intervalo de 5 dias, cobrindo uma faixa de aproximadamente 850 quilômetros com 60 metros de resolução. Com isso, são empregados pelo governo para conscientizar sobre a devastação florestal na região amazônica. Atualmente, estão sendo estudados e projetadas duas novas versões, o Amazônia 1B e o Amazonia-2, que utilizarão componentes remanescentes de suas versões anteriores e contarão com tecnologia avançada (INPE, 2023a).



**Figura 4** Satélite Amazônia 1

Fonte: INPE (2023a).

Segundo AEB (2022), o Brasil estabeleceu uma parceria com a Argentina para a criação e lançamento do satélite SABIA-Mar, que tem como objetivo a observação e o monitoramento do Atlântico nas proximidades dos dois países. Esse satélite permitirá monitorar a exploração do petróleo, gerenciar zonas costeiras, colaborar com a pesca e

observar a coloração dos oceanos. No acordo, está prevista a possível utilização de peças sobressalentes do Amazonia-1.

Outro satélite de uso brasileiro é o AQUA - Aqua Project Science, resultado de uma parceria entre Brasil, Estados Unidos e Japão. Ele foi projetado para monitorar os recursos hídricos, além de medir a temperatura e umidade da atmosfera. Por meio desse satélite, é possível ser extraídos dados relativos à cobertura do solo, fitoplâncton e fluxo de energia radiante. O AQUA é utilizado nas missões AQUAE de média e alta resolução (AEB, 2022).

Além disso, o Brasil também utiliza de imagens diárias de alta resolução compradas da empresa americana Planet Labs. O contrato foi firmado em 2020 e inclui serviços além das imagens, como alertas diários para detecção de mudanças no solo e produção de relatórios que auxiliam a Polícia Federal no combate aos crimes ambientais (PRIZIBISCZKI, 2020).

### 3.3 PROBLEMAS QUE AFETAM O TERRITÓRIO BRASILEIRO

O Brasil possui uma vasta extensão territorial que abriga uma variedade de características e recursos encontrados em seus biomas naturais, despertando interesse dos seres humanos por esses territórios. Porém, a proteção do meio ambiente e a manutenção do equilíbrio para as gerações futuras são responsabilidade de todos os cidadãos e devem ser fiscalizadas pelos órgãos e instituições do governo (LIMA, 2019).

A intensa exploração dos recursos naturais brasileiros, de forma descontrolada e, por vezes, ilegal, causa consequências drásticas, gerando prejuízos e ameaças ao meio ambiente e ao equilíbrio ecossistêmico. Os desmatamentos, as queimadas e os danos aos recursos hídricos são exemplos dos riscos que assombram o território brasileiro.

#### 3.3.1 Desmatamento

Segundo Thomáz e Carrera (2010, p.11): “O desmatamento é o processo de desaparecimento de massas florestais, fundamentalmente causada pela atividade humana”. Este problema ambiental afeta todos os biomas presentes no território brasileiro, ou seja, a Amazônia, o Cerrado, a Mata Atlântica, a Caatinga, os Pampas e o Pantanal.

O desmatamento está presente no Brasil desde o período da colonização, mostrando-se um problema histórico no país. O crescimento populacional, o agronegócio, a extração de madeira e a expansão das áreas urbanas são os principais causadores dos desmatamentos nos dias atuais (GELAIN *et al.*, 2012).

O desflorestamento ocorre por um amplo espectro de razões que variam em diferentes locais e períodos históricos. Ciclos econômicos voltados para a agricultura, o crescimento populacional, a mineração, a construção de estradas e a criação de pastos para a pecuária são exemplos que influenciam diretamente o desmatamento (FEARNSIDE, 2005).

Com o uso dos satélites de sensoriamento remoto, é possível notar os principais pontos afetados pelo desmatamento, e o Brasil tem alcançado sucessos na redução das taxas de desmatamento por meio de esforços governamentais. No entanto, a exportação de commodities agrícolas tornam a diminuição do desmatamento um grande desafio para o Brasil e, com isso, o país tem que encontrar soluções para aumentar a produção agrícola sem desmatar áreas florestais (ARIMA *et al.*, 2014).

Segundo Macedo *et al.* (2012), o início do uso de satélites de sensoriamento não reduziu a taxa de desmatamento nas áreas observadas. Foi necessário implementar programas que combatem o desflorestamento, utilizando imagens de satélites na identificação das áreas afetadas. Esses programas conseguiram diminuir a taxa de desmatamento e expandir o cultivo de soja em áreas florestais previamente desmatadas.

A Global Forest Watch, plataforma web que fornece informações sobre mudanças na cobertura florestal em nível global e em tempo real, revelou que o Brasil ocupa a posição de liderança do ranking mundial de desmatamento das florestas. Numericamente, o território brasileiro perdeu aproximadamente 1,5 milhão de hectares de bioma nativo no ano de 2021, número três vezes maior que o segundo colocado do ranking (CNN BRASIL, 2023).

O combate ao desmatamento deve ser efetuado para evitar os impactos negativos causados pelo corte de árvores, tais como a extinção da fauna e da flora das florestas tropicais, as mudanças climáticas locais e globais, os impactos diretos na disponibilidade de águas, inclusive do subsolo, a manutenção da fertilidade dos solos, a contenção de processos erosivos e o assoreamento, entre outros. O governo utiliza de penalidades, da reforma de políticas públicas e da criação de áreas protegidas como estratégias para combater esse risco ao território brasileiro (FEARNSIDE, 2005).

O desflorestamento influencia na vida cotidiana da população, direta ou indiretamente. As florestas são fontes de alimento, usadas no desenvolvimento de medicamentos e matéria-prima para algumas indústrias, além de fornecer água para cidades próximas aos rios, impactando a economia e o planejamento da sociedade brasileira (ELLWANGER, 2020).

### 3.3.2 Queimadas

As queimadas podem ocorrer de duas maneiras: de forma natural, fenômeno que acontece em locais secos, com pouca umidade e com vento, iniciando com pequenas fagulhas e vindo a tornar grandes incêndios; e também as queimadas antrópicas, realizadas pelo homem com o objetivo de realizar a limpeza do local para o agronegócio (NEOENERGIA, 2023).

A destruição ambiental causada pelas queimadas ainda emitem quantidades de fumaça e gases poluentes na atmosfera, ocasionando, por meio da inalação, problemas de saúde nas pessoas. Outra consequência é a contribuição para o efeito estufa e o aquecimento global. Ou seja, os danos afetam tanto o meio ambiente quanto a saúde humana (ARANHA, 2016). Além dos efeitos negativos ao meio ambiente, os agricultores e fazendeiros sofrem de perdas econômicas ocasionadas pelo fogo descontrolado (NEPSTAD; ALENCAR; MOREIRA, 1999).

A falta de vegetação na superfície expõe o solo à ação erosiva da chuva e do vento. Além disso, as queimadas reduzem o fluxo da água para a evaporação, diminuindo diretamente a quantidade de água na atmosfera (NEPSTAD; ALENCAR; MOREIRA, 1999).

Outro aspecto negativo das queimadas em regiões florestais é o aumento da inflamabilidade das paisagens, resultando no crescimento de novas vegetações mais propensas ao fogo no lugar das matas que existiam anteriormente (NEPSTAD; ALENCAR; MOREIRA, 1999).

Segundo Bastos (2022), o MapBiomas Fogo em parceria com o Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM), divulgou em 2022 que o Brasil teve 16,3 milhões de hectares queimados, ou seja, uma área comparável ao tamanho do estado do Acre. Os biomas mais prejudicados com as queimadas foram o Cerrado e a Floresta Amazônica.

### 3.3.3 Danos aos recursos hídricos

O desmatamento está diretamente relacionado aos problemas que ocorrem nos recursos hídricos brasileiros. A retirada das matas ciliares causa poluição dos rios, erosão, assoreamento, podendo provocar enchentes na região onde ocorre essa ação (ESPINOZA, ABRAHAM, 2005).

Conforme mencionado no parágrafo anterior, o desmatamento em grande escala causa impactos significativos nos sistemas fluviais. Isso ocorre devido às diferenças na estrutura

física das novas matas que substituem a vegetação natural, gerando alterações no balanço hídrico, afetando não apenas as bacias hidrográficas onde ocorreu o desmatamento (COE; COSTA; SOARES-FILHO, 2009).

A qualidade da água em bacias hidrográficas pode ser avaliada em diferentes áreas, considerando diferentes fatores, como a cobertura vegetal, o uso agrícola e urbano, as características geológicas e as topográficas presentes. Nesse sentido, o uso de imagens de sensoriamento remoto se mostra uma ferramenta que auxilia na avaliação das interferências do uso do solo nos recursos hídricos (SOUZA; GASTALDINI, 2014).

A precipitação é um componente importante do ciclo hidrológico e está diretamente relacionada às matas das florestas. A evapotranspiração substancial da floresta contribui para fluxos abundantes de água para a atmosfera, que, juntamente com chuvas orográficas<sup>3</sup> ocasionadas pelas montanhas dos Andes e a Amazônia, retornam a água para o solo (FASSONI - ANDRADE *et al.*, 2021).

Outro recurso hídrico de extrema importância para as comunidades que vivem próximas aos rios são as águas superficiais. Monitorar o nível e o fluxo dos rios é um dos desafios enfrentados pelos satélites de sensoriamento remoto em todo o mundo (FASSONI-ANDRADE *et al.*, 2021).

A Bacia Amazônica, a maior bacia fluvial do mundo, destaca-se pelas suas características de precipitação, evapotranspiração e armazenamento de água, tornando-se um laboratório de estudo ideal para o desenvolvimento de técnicas e aplicações de sensoriamento remoto na área de recursos hídricos (ANDRADE *et al.*, 2021).

De acordo com o INPE (2021), centenas de mineradores têm explorado as águas do Rio Madeira, cerca de 100 quilômetros de distância de Manaus, para a extração de ouro. O aumento dos mineradores causa danos à saúde da população e às águas do Rio Madeira, devido ao uso contínuo de mercúrio para a extração e para o revolvimento do sedimento no fundo do rio, representando mais uma ameaça aos recursos hídricos do Brasil.

O monitoramento dos recursos hídricos deve ser constante, tanto em relação à quantidade quanto à qualidade da água. A diminuição de qualquer um desses fatores afeta significativamente a qualidade de vida das pessoas, como a escassez de água limpa para o consumo (NAMIKAWA, 2013).

---

<sup>3</sup> Esse tipo de chuva é formado quando uma massa de ar úmida vinda do oceano encontra uma barreira natural, sendo forçada a elevar-se, alcançando então grandes altitudes.

### 3.4 APLICAÇÃO DE IMAGENS DE SATÉLITES NA PROTEÇÃO DO BRASIL

Os problemas citados na seção anterior que afetam o território brasileiro devem ser monitorados para evitar danos irreversíveis à natureza. Para garantir a proteção do meio ambiente para as gerações futuras e evitar os perigos que o ameaçam, o Brasil precisa de ferramentas para monitorar e controlar seus recursos naturais. As imagens obtidas pelo sensoriamento remoto são um dos principais modos de observação (LIMA, 2019). O artigo 225 da Constituição Federal de 1988 estabelece que “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.” (BRASIL, 1988, art 225).

Para realizar o estudo e tomar decisões com base nas imagens coletadas pelos satélites, é necessário aproveitar ao máximo as diferentes características presentes nos dados do sensoriamento remoto, como a densidade populacional na paisagem e os dados espectrais. Além disso, o uso de imagens em diferentes escalas também auxilia na classificação da cobertura do terreno, aumentando a precisão na identificação das áreas desflorestadas (LU *et al.*, 2012).

O desmatamento é um risco que atinge todos os biomas brasileiros, principalmente a Amazônia. Segundo Legnaioli (2023), as principais causas nesse bioma são: atividade pecuária, extração de madeira, mineração e estímulo à grilagem de terras públicas. Esse problema causado pela agropecuária é responsável por 84% do desmatamento da Amazônia, e muitas vezes o terreno é mal utilizado, ocasionando a degradação das pastagens em curtos intervalos de tempo.

O PRODES realiza a observação por satélites desde 1988, adquirindo um banco de dados da perda florestal através do uso de imagens de sensoriamento remoto. Seu principal objetivo é estimar a taxa anual de desmatamento da Amazônia. O projeto conta com a colaboração do Ministério do Meio Ambiente (MMA), do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e do Ministério de Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) (INPE, 2023c).

O projeto PRODES utiliza imagens dos satélites da série Landsat, com resolução na faixa de 20 a 30 metros<sup>4</sup> e com pelo menos três bandas espectrais<sup>5</sup>. Além disso, o projeto também utiliza imagens dos satélites da série CBERS. As imagens são captadas a partir de agosto e passam por uma seleção das melhores, com menor cobertura de nuvens. Conforme mostra a figura 5, são necessárias 220 imagens do Landsat para cobrir toda a Amazônia Legal Brasileira (ALB) (ALMEIDA *et al.*, 2021).



**Figura 5** Localização das cenas Landsat que recobrem a ALB.

Fonte: Almeida *et al.*, (2021).

O PRODES mapeia anualmente as novas áreas de desmatamento, protegendo os dados anteriores com uma máscara e destacando em outra coloração os novos pontos danificados. A taxa anual de desmatamento é calculada com base na análise das cenas adquiridas que atendem a três critérios.

- 1) cobrir a região onde foram registradas pelo menos 90% do desmatamento no período ano PRODES anterior; 2) cobrir regiões onde foram registrados pelo menos 90% dos avisos de desmatamento do DETER para o ano PRODES corrente; e 3) cobrir os municípios prioritários para fiscalização referidos no Decreto Federal 6.321/2007 e atualizado periodicamente por Portaria do Ministério do Meio Ambiente (MMA). Com base no resultado do mapeamento das cenas prioritárias e usando a metodologia de cálculo da taxa, é feita a estimativa da taxa anual, divulgada entre final de novembro e dezembro (ALMEIDA *et al.*, 2021).

<sup>4</sup> A resolução espacial de uma imagem está relacionada ao tamanho que o pixel representa na realidade. Por exemplo, a resolução na faixa de 20 a 30 metros, significa que não será possível identificar objetos menores que essa dimensão na área estudada. Quanto menor for o valor da faixa em metros, mais alta será considerada a resolução (FIGUEIREDO, 2005).

<sup>5</sup> Banda espectral é o intervalo entre dois comprimentos de onda, no espectro eletromagnético. Quanto maior for o número de bandas espectrais captadas pelo satélite, maior será a resolução espectral da imagem (FIGUEIREDO, 2005).

O DETER, criado em 2004 pelo INPE, é um sistema de alertas rápidos de alteração da cobertura florestal na Amazônia. No início, detectava alterações vegetais em uma área maior que 25 hectares. Em 2015, com o avanço da tecnologia dos satélites de sensoriamento remoto utilizados pelo programa, evoluiu para a detecção de desmatamento em áreas com tamanhos próximos a 3 hectares. Uma das séries de satélite utilizadas é do CBERS (INPE, 2023a).

As imagens coletadas são estudadas para saber se o distúrbio foi realizado pelo homem ou foi de forma natural, além de identificar o padrão da alteração por meio de interpretações visuais de cinco elementos: tonalidade, cor, forma, contexto e textura (INPE, 2023a). Além disso, o uso de satélites classifica as terras observadas com base nas diferenças de fenologia da vegetação, ou seja, as diferentes fases do crescimento e desenvolvimento de uma planta (MACEDO, 2012).

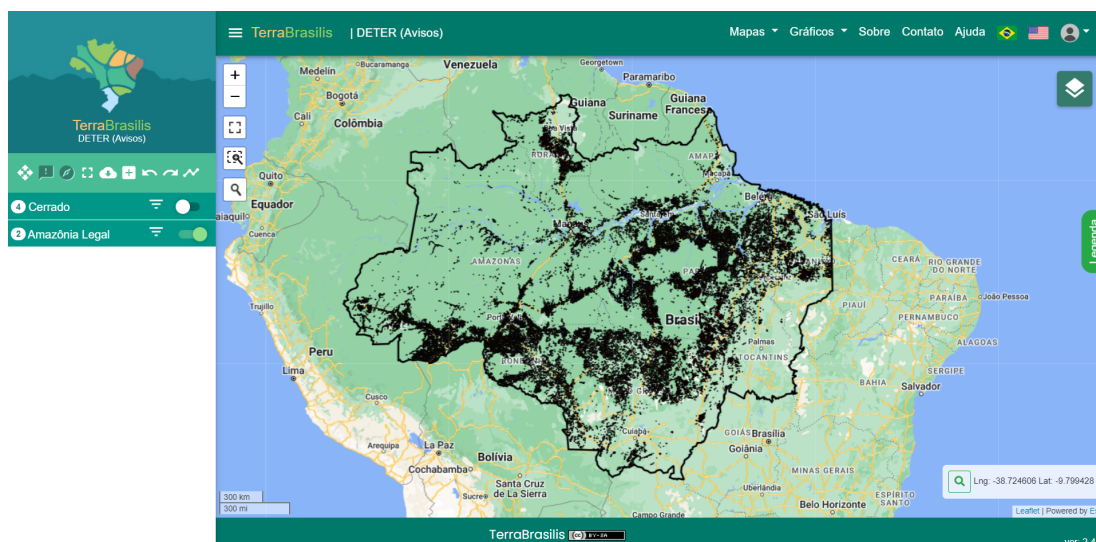
O mapeamento de satélite depende da qualidade da imagem observada e do tempo de passagem do satélite. A análise demora de 48 a 72 horas, e imagens com nuvens não conseguem ser observadas, devido ao fato da nebulosidade esconder o terreno (ALMEIDA *et al.*, 2021).

As detecções são divididas em classes, estados, municípios e unidades de conservação federal. Elas podem ser consultadas no portal TerraBrasilis e adquiridas por *download*, juntamente com os resultados das estatísticas analisadas. Além dos dados sobre a Amazônia, o portal também oferece informações sobre o Cerrado, Caatinga, Pantanal, Mata Atlântica e Pampas (INPE, 2023b).

No portal TerraBrasilis estão disponibilizadas as informações digitais registradas por meio de serviços interativos, como o mapa de desmatamento do PRODES, que apresenta mapas interativos com polígonos que indicam incrementos de desmatamento na Amazônia Legal; os mapas de avisos DETER, que mostram polígonos com evidências de alteração da cobertura florestal na Amazônia; mapas de vegetação; o *dashboard* de desmatamento PRODES, com taxas anuais e incrementos de desmatamento na Amazônia Legal; o *dashboard* de avisos DETER, com avisos de evidências de alteração da cobertura da floresta na Amazônia Legal; focos de queimada em áreas de desmatamento e propriedades rurais na Amazônia; e a sala de situação, que fornece uma visualização sinótica de indicadores de áreas críticas de desmatamento e focos de queimadas (PORTAL TERRABRASILIS, 2023a). As Figuras 6 e 7 ilustram os respectivos painéis de acesso produzidos pelo DETER e PRODES.

Os polígonos de desmatamento são fontes de informações que permitem visualizar o contraste entre áreas florestais e áreas de corte raso. Essa divisão do terreno em polígonos facilita a detecção de áreas desmatadas em tempo quase real, fornecendo um valioso suporte

para o monitoramento da região amazônica pelo INPE. Além disso, esses polígonos contribuem para o registro histórico do terreno, evitando erros de classificação de áreas desmatadas e áreas não florestais (SHIMABUKURO *et al.*, 2004).



**Figura 6** Painel de acesso aos alertas produzidos pelo DETER desde 2016.

Fonte: Portal Terrabrasilis (2023e).



**Figura 7** Painel de acesso aos gráficos e consultas sobre os dados PRODES.

Fonte: Portal Terrabrasilis (2023c).

Os dados de desmatamento possuem uma limitação significativa, pois o corte seletivo de madeira e a morte de árvores por secas e incêndios naturais não são detectadas ou contabilizadas, a menos que haja uma grande perda de área florestal por esses motivos. Essa

limitação dificulta o trabalho das instituições na redução da taxa de desmatamento, mesmo com a precisão fornecida pelos satélites (FEARNSIDE, 2005).

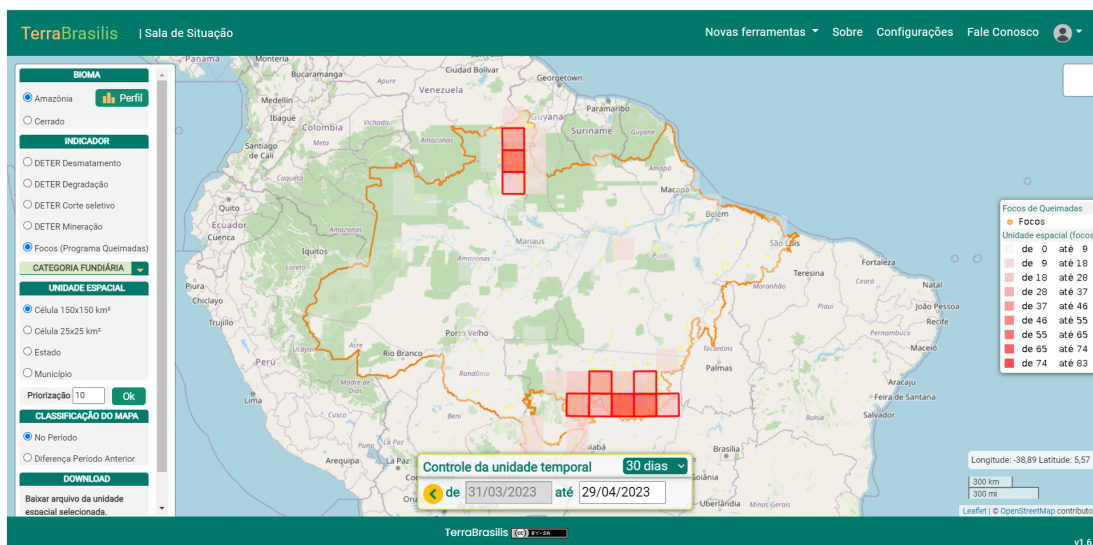
As queimadas também representam problemas ambientais que podem ser monitorados por meio do uso de satélites de sensoriamento remoto. De acordo com Miranda (2002): “A tecnologia espacial é a única a garantir o monitoramento sincrônico e diacrônico do fenômeno das queimadas e o Brasil é um dos poucos países do mundo a dispor de um sistema orbital de monitoramento de queimadas absolutamente operacional [...]”.

Para acompanhar os focos de queimadas e evitar suas consequências para a população brasileira, o IBAMA em parceria com o INPE desenvolveu um sistema de monitoramento intensivo nos pontos de incêndio, principalmente na Floresta Amazônica e em outros biomas vizinhos. Nesse caso, são utilizados satélites da série CBERS, Landsat e AQUA (PEREIRA, 2004).

As imagens de satélite utilizadas para mapear os locais afetados por incêndios aproveitam a resposta espectral do carvão e das cinzas deixadas pelo fogo, permitindo a detecção de árvores mortas que permaneceram em pé após os incêndios. Um fator que dificulta a obtenção de dados é a camuflagem de folhas no solo, que acabam escondendo as cicatrizes do ambiente (ALENCAR; NEPSTAD; DIAZ, 2006).

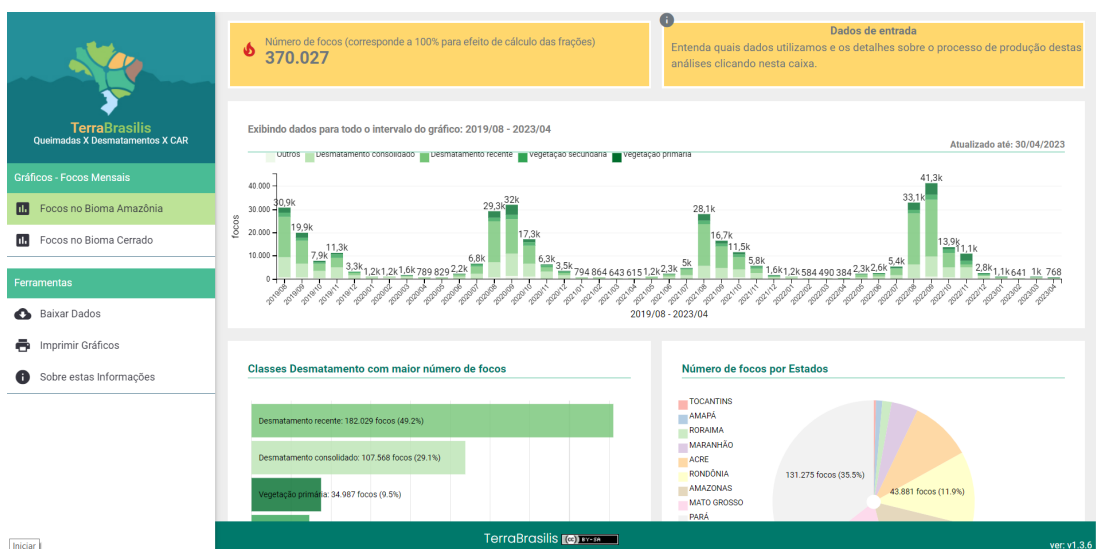
Os dados são adquiridos diariamente e existem programas que apresentam os pontos de calor, as correções radiométricas e as posições geográficas. Por meio das informações coletadas, o governo e as organizações ambientais podem monitorar e identificar com maior precisão os locais das queimadas. As interpretações são realizadas nos mosaicos de imagens dos satélites, em especial do Landsat (MIRANDA, 2002).

No portal TerraBrasilis, é possível visualizar gráficos sobre os focos de queimadas na Amazônia e no Cerrado, além de mostrar em outro mapa as situações dos pontos críticos de queimadas nesses locais. As Figuras 8 e 9 ilustram como os dados digitais podem ser utilizados para combater e monitorar ativamente os riscos causados.



**Figura 8** Pontos críticos de queimadas do período 31/03/2023 até 29/04/2023.

Fonte: Portal TerraBrasilis (2023g).



**Figura 9** Painel de acesso aos gráficos e consultas sobre os focos de queimada.

Fonte: Portal TerraBrasilis (2023d).

Outro problema abordado diz respeito aos impactos causados nos recursos hídricos brasileiros. Para aprimorar o estudo desses recursos é necessário a obtenção de toda a extensão dos cursos d'água, o que não é viável por meio dos métodos tradicionais. Esse problema é solucionado com o uso do sensoriamento remoto. No Brasil, o Landsat desempenha um papel fundamental na captura dessas imagens (SILVA *et al.*, 2017).

O uso de técnicas de sensoriamento remoto no monitoramento de recursos hídricos oferece três vantagens significativas sobre a amostragem em campo: (1) a cobertura contínua pelos imageadores a bordo de satélites permite uma estimativa sinóptica sobre grandes áreas; (2) a cobertura global dos satélites permite a estimativa da

qualidade da água em locais remotos e inacessíveis; e (3) o vasto arquivo de imagens armazenadas permite a estimativa da qualidade da água ao longo do tempo. Por outro lado, também apresenta três desvantagens em relação ao método convencional: (1) dificuldade de distinguir constituintes da água, por exemplo, distinguir a assinatura espectral das macrófitas e do corpo d'água; (2) amostra de água limitada à superfície em ecossistemas oceânicos, variação com claridade da água e não controlável; e (3) resolução espacial e temporal pode ser inadequada e não controlável (SILVA *et al.*, 2017, p.124).

Para a análise das imagens adquiridas, podem ser considerados cinco parâmetros: físicos, químicos, biológicos, ecológicos e dinâmicos. Cada um desses parâmetros exemplifica diferentes aspectos. Por exemplo, o parâmetro físico pode ser representado pela temperatura da água; o químico pela composição de salinidade na água; o biológico pela biomassa fitoplanctônica; o ecológico pela decomposição bacteriana e o dinâmico pelo fluxo das correntes d'água (SILVA *et al.*, 2017).

As aplicações do sensoriamento remoto voltadas para os recursos hídricos também incluem o mapeamento por micro-ondas, radar de abertura sintética (SAR) e interferométrico de inundações em grande escala, bem como a caracterização dinâmica de sedimentos nos rios (FASSONI-ANDRADE *et al.*, 2021).

Os dados analisados fornecem resultados relevantes para estudos e monitoramento da qualidade e da quantidade de água. Por exemplo, é possível observar a variação espacial e temporal da qualidade da água, analisar a origem e o deslocamento de substâncias específicas, compreendendo os efeitos das mudanças climáticas e determinar a vegetação aquática (SILVA *et al.*, 2017).

O estudo das imagens dos recursos hídricos enfrenta a dificuldade semelhante à do desmatamento, que é a presença da cobertura de nuvens. Além disso, a existência de cobertura vegetal também pode dificultar a visualização dos cursos d'água nas imagens dos satélites (FASSONI-ANDRADE *et al.*, 2021).

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A utilização dos satélites de sensoriamento remoto envolve diversas tecnologias para observar o território, o que pode ajudar diretamente na sua proteção. Portanto, este trabalho apresentou o uso desses satélites no monitoramento e na proteção do território e dos recursos naturais do Brasil.

O trabalho apresentou o Programa Estratégico de Sistemas Espaciais (PESE) e o Plano Nacional de Atividades Espaciais (PNAE 2022-2031), além de descrever os principais

modelos de satélites utilizados pelo Brasil. Também foram abordados os problemas ambientais que atingem o território e os recursos naturais brasileiros, bem como a contribuição das imagens para a proteção e o monitoramento. Dessa forma, o trabalho respondeu à pergunta de pesquisa: como o uso dos satélites de sensoriamento remoto e suas perspectivas futuras auxiliam na proteção do território e dos recursos naturais brasileiros?

Este estudo ressaltou importância das imagens no combate ao desmatamento, às queimadas e aos danos aos recursos hídricos, o que evidencia a necessidade de um desenvolvimento tecnológico voltado para a área espacial. Em relação às perspectivas futuras, espera-se que o Brasil continue investindo no desenvolvimento e utilização de satélites de sensoriamento remoto. Um ponto negativo apresentado na coleta de imagens é a presença de nuvens, que atrapalham a observação dos polígonos de estudo, ressaltando, assim, a necessidade contínua do uso de satélites no território brasileiro. O uso das imagens no portal TerraBrasilis também fortalece a capacidade de visualização dos focos de desmatamento e queimadas, além de proporcionar gráficos para facilitar a visualização dos dados estatísticos.

Apesar dos pontos positivos dos satélites utilizados pelo Brasil, conclui-se que ainda é necessário estabelecer parcerias com outros países para complementar a capacidade de monitoramento e proteção de todo o território, uma vez que o único satélite desenvolvido exclusivamente pelo Brasil não é capaz de abranger todas as necessidades sem a colaboração de *expertises* dos parceiros externos.

No contexto de uma Força Aérea tecnológica e moderna, o desenvolvimento de programas e doutrinas voltadas para o uso de satélites na defesa do território nacional é de extrema importância. Esse fator não apenas melhora o aspecto militar da força, mas também fortalece a soberania e beneficia toda a sociedade brasileira.

O assunto, por ter ligação direta com o avanço tecnológico, estará sempre em evolução e melhora, com o desenvolvimento de novos satélites e tecnologias. Portanto, é necessário realizar estudos e pesquisas constantes para manter o tema atualizado. Além disso, tem havido um aumento no número de publicações científicas sobre o tema no Brasil.

Finalizando, ainda é possível considerar outros temas relacionados nessa pesquisa, por exemplo, o desenvolvimento de novos satélites, a evolução tecnológica das imagens, as atualizações dos programas que apoiam o uso de satélites, a relação do tema com a indústria nacional, o uso direto para a defesa e a cooperação entre países no setor espacial.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA (AEB). **PNAE**: Programa Nacional de Atividades Espaciais 2022-2031. Brasília: AEB, 2022. Disponível em:

<https://cdnc.heyzine.com/flip-book/pdf/222283c71dc88bd6bafc5d64cb196312b9057435.pdf>.

Acesso em: 29 jul. 2022.

ALENCAR, A; NEPSTAD, D; DIAZ, M.C.V. Forest understory fire in the Brazilian Amazon in ENSO and non-ENSO years: area burned and committed carbon emissions. **Earth Interactions**, v. 10, n. 6, p. 1-17, 2006. Disponível em:

[https://ipam.org.br/wp-content/uploads/2021/07/Earth-Interactions-Forest-Understory-Fire-in-the-Brazilian-Amazon-in-ENSO-and-Non-ENSO-Years\\_-Area-Burned-and-Committed-Carbon-Emissions.pdf](https://ipam.org.br/wp-content/uploads/2021/07/Earth-Interactions-Forest-Understory-Fire-in-the-Brazilian-Amazon-in-ENSO-and-Non-ENSO-Years_-Area-Burned-and-Committed-Carbon-Emissions.pdf). Acesso em: 16 jun. 2023.

ALMEIDA, C.A. *et al.* **Metodologia para monitoramento da floresta usada nos projetos PRODES e DETER**. CEP, v. 12, p. 010, 2021. Acesso em: 20 abr. 2023.

ANDRADE, I.O. *et al.* O Programa Estratégico de Sistemas Espaciais (PESE) do Brasil: Desafios, Oportunidades e Perspectivas. **Revista Profissional da Força Aérea dos EUA**, 2021. Terceira Edição. Acesso em: 20 abr. 2023.

ARANHA, P.S. **Análise de correlação de focos de queimadas com variáveis climáticas no município de Marabá**. Pará, 2016 Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) - UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, Pará, 2016. Acesso em: 15 jun. 2023.

ARIMA, E. *et al.* Public policies can reduce tropical deforestation: Lessons and challenges from Brazil. **Land use policy**, v. 41, p. 465-473, 2014. Acesso em: 16 jun.2023.

BASTOS, F. Queimadas no Brasil: Amazônia e Cerrado concentram 95 % da área destruída em 2022. **EXAME**, 31 de jan. de 2023. Disponível em:

<https://exame.com/esg/queimadas-brasil-amazonia-cerrado-area-destruida-2022/> Acesso em: 03 maio. 2023.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 05 out. 1988. Disponível em:

[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm) . Acesso em: 26 jun. 2023.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Estado-Maior da Aeronáutica. Planejamento. **DCA 11-45 – Concepção Estratégica “Força Aérea 100”**, 2016. Disponível em:

[https://www.fab.mil.br/Download/arquivos/DCA%2011-45\\_Concepcao\\_Estrategica\\_Forca\\_Aerea\\_100.pdf](https://www.fab.mil.br/Download/arquivos/DCA%2011-45_Concepcao_Estrategica_Forca_Aerea_100.pdf). Acesso em: 13 jul. 2022.

CÂMARA, G. A pesquisa espacial no Brasil: 50 anos de Inpe (1961-2011). **Revista USP**, n. 89, p. 234-243, 2011. Acesso em: 25 mar 2023.

CNN BRASIL. Desmatamento no Brasil: como começou, causas e cenário atual. **CNN BRASIL**, 18 de abr. de 2023. Disponível em:

<https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/desmatamento-no-brasil/#:~:text=Atualmente%2C%2>

[0o%20%C3%BAltimo%20estudo%20divulgado,de%20bioma%20nativo%20em%202021.https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/desmatamento-no-brasil/#:~:text=Atualmente%2C%20%20%20%20%20%20estudo%20divulgado,de%20bioma%20nativo%20em%202021](https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/desmatamento-no-brasil/#:~:text=Atualmente%2C%20%20%20%20%20%20estudo%20divulgado,de%20bioma%20nativo%20em%202021.https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/desmatamento-no-brasil/#:~:text=Atualmente%2C%20%20%20%20%20%20estudo%20divulgado,de%20bioma%20nativo%20em%202021) .  
Acesso em: 03 maio. 2023.

COE, T.; COSTA, M.H.; SOARES-FILHO, B.S. The influence of historical and potential future deforestation on the stream flow of the Amazon River—Land surface processes and atmospheric feedbacks. **Journal of hydrology**, v. 369, n. 1-2, p. 165-174, 2009. Acesso em: 15 jun. 2023.

D'AMATO, A.S. **Alinhamento do Programa Estratégico de Sistemas Espaciais à Estratégia Nacional de Defesa**. 2015. 25 f. Monografia (Curso de Comando e Estado-Maior)-Escola de Comando e Estado-Maior da Aeronáutica, Universidade da Força Aérea, Rio de Janeiro, 2015., Rio de Janeiro. Disponível em: [https://redebia.direns.aer.mil.br/index.php?codigo\\_sophia=61583](https://redebia.direns.aer.mil.br/index.php?codigo_sophia=61583). Acesso em: 28 jun. 2023.

DUARTE, V. *et al.* Monitoramento do desflorestamento em escala global: uma proposta baseada nos projetos PRODES Digital e DETER. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 13, p. 6687-6694, 2007. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.22.18.50/doc/6687-6694.pdf>. Acesso em: 14 set. 2022.

ELLWANGER, J.H. *et al.* Beyond diversity loss and climate change: Impacts of Amazon deforestation on infectious diseases and public health. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92, 2020. Acesso em: 01 jul. 2023.

EMBRAPA. SPOT - Système Pour l' Observation de la Terre. **Embrapa**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/spot> Acesso em: 04 maio. 2023.

EPIPHANIO, J.C.N. Satélites brasileiros de observação da Terra: balanço e perspectivas. *In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR*. 2013, Foz do Iguaçu, 2013. Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.29.00.23.22/doc/p1084.pdf>. Acesso em: 23 mai. 2022.

ESPINOZA, H.F.; ABRAHAM, A.M. Aplicação de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento para o estudo dos recursos hídricos em regiões costeiras. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)**, v. 12, p. 2487-2494, 2005. Acesso em: 05 mai 2023.

FASSONI-ANDRADE, A.C. *et al.* Amazon hydrology from space: scientific advances and future challenges. **Reviews of Geophysics**, v. 59, n. 4, p. e2020RG000728, 2021. Acesso em: 14 jun. 2023.

FEARNSIDE, P.M. Deforestation in Brazilian Amazonia: history, rates, and consequences. **Conservation biology**, v. 19, n. 3, p. 680-688, 2005. Acesso em: 17 jun. 2023.

FIGUEIREDO, D. **Conceitos básicos de sensoriamento remoto**. São Paulo, 2005. Acesso em: 30 jun. 2023.

- FLORENZANO, T.G. **Os Satélites e Suas Aplicações**. 1ª ed. São José dos Campos: SindCT, 2008. Disponível em: <http://antigo.sindct.org.br/files/livro.pdf>. Acesso em: 13 set. 2022.
- GABARDO, G; SARZEDAS, C.G.; SILVA, H.L. Queimadas na Amazônia brasileira: Brasil em chamas. **A educação ambiental em uma perspectiva interdisciplinar**, v. 4, 2021. Acesso em: 17 jun. 2023.
- GELAIN, A.J.L. *et al.* Desmatamento no Brasil: um problema ambiental. **Revista Capital Científico-Eletrônica (RCCe)-ISSN 2177-4153**, v. 10, n. 1, 2012. Acesso em: 02 mai 2023.
- INPE. Brasil e Argentina desenvolvem satélite para monitorar oceanos. **INPE**, 10 de maio. de 2010. Disponível em: [http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod\\_Noticia=2187](http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=2187) Acesso em: 04 maio. 2023.
- INPE. CBERS. **INPE**, 2023a. Disponível em: <http://www.cbers.inpe.br/> Acesso em: 26 nov. 2023.
- INPE. DETER. **INPE**, 2023b. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/deter/deter> Acesso em: 03 maio. 2023.
- INPE. PRODES - Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite. **INPE**, 2023c. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes> Acesso em: 02 maio. 2023.
- INPE. LANDSAT. **INPE**, 2023d. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/landsat> Acesso em: 03 maio. 2023.
- INPE. Nota LabISA: Sensoriamento remoto e o monitoramento de áreas de mineração em rios - o caso do Rio Madeira. **INPE**, 30 de nov. 2021. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/OBT/noticias-obt-inpe/nota-labisa-sensoriamento-remoto-e-o-monitoramento-de-areas-de-mineracao-em-rios-o-caso-do-rio-madeira> Acesso em: 06 maio. 2023.
- LATORRE, M.L. **Sensoriamento Remoto na Amazônia Brasileira nos últimos anos**: novas perspectivas. Rio de Janeiro, 2007 Monografia (CCEM) - Escola de Comando e Estado-maior da Aeronáutica, Rio de Janeiro, 2007. Acesso em: 20 mai. 2022.
- LEGNAIOLI, S. Desmatamento da Amazônia: causas e como combatê-lo. **ECYCLE**, 2023. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/desmatamento-da-amazonia/> Acesso em: 01 maio. 2023.
- LIMA, P.M. **Análise comparativa da aplicabilidade do sensoriamento remoto na identificação de infrações ambientais**. Florianópolis, 2019 Trabalho de Conclusão de Curso - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Acesso em: 16 mar. 2023.
- LU, D. *et al.* Land use/cover classification in the Brazilian Amazon using satellite images. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 47, p. 1185-1208, 2012. Acesso em: 21 jun. 2023.
- MACEDO, M.N. *et al.*. Decoupling of deforestation and soy production in the southern Amazon during the late 2000s. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 109, n. 4, p. 1341-1346, 2012. Acesso em: 15 jun. 2023.

MASCARENHAS, L.M.A.; FERREIRA, M.E.; FERREIRA, L.G. Sensoriamento remoto como instrumento de controle e proteção ambiental: análise da cobertura vegetal remanescente na bacia do rio Araguaia. **Sociedade & natureza**, v. 21, p. 5-18, 2009. Acesso em: 16 mar. 2023.

MINISTÉRIO DA DEFESA. Estado-Maior Conjunto das Forças Armadas. Programa Estratégico de Sistemas Espaciais (PESE). 1. ed. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 149, 03 ago. 2018. Disponível em: [https://www.gov.br/defesa/pt-br/arquivos/legislacao/emcfa/publicacoes/doutrina/md20a\\_sa\\_01a\\_programaa\\_estrategicoa\\_dea\\_sistemasa\\_espaciaisa\\_pesee\\_ed-2018.pdf](https://www.gov.br/defesa/pt-br/arquivos/legislacao/emcfa/publicacoes/doutrina/md20a_sa_01a_programaa_estrategicoa_dea_sistemasa_espaciaisa_pesee_ed-2018.pdf). Acesso em: 28 set. 2022.

MIRANDA, J.R. Aplicações do monitoramento por satélite no controle de queimadas. In: **Embrapa Territorial-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDUCAÇÃO AMBIENTAL NA AGRICULTURA, 4., 2002, Campinas. Anais. Campinas: IAC, 2002., 2002. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/16756/1/718.pdf>. Acesso em: 14 set. 2022.

MUNDOGEO. Maior constelação de satélites SAR do mundo chega ao Brasil. **MundoGEO**, 25 fev. 2022. Disponível em: <https://mundogeo.com/2022/02/25/maior-constelacao-de-satelites-sar-do-mundo-chega-ao-brasil/> Acesso em: 06 maio. 2023.

NAMIKAWA, L.M. Monitoramento de recursos hídricos por meio de imagens de satélite de sensoriamento remoto. **INPE**, 2013. Disponível em: <https://florestal.revistaopinioes.com.br/revista/detalhes/13-monitoramento-de-recursos-hidricos-por-meio-de/> Acesso em: 04 maio. 2023.

NEOENERGIA. Queimadas no Brasil: Por que devemos nos preocupar?. **NEOENERGIA**, 2023. Disponível em: <https://www.neoenergia.com/pt-br/te-interessa/meio-ambiente/Paginas/queimadas-no-brasil.aspx> Acesso em: 08 maio. 2023.

NEPSTAD, D.C.; ALENCAR, A.A.; MOREIRA, A.G. **A floresta em chamas: origens, impactos e prevenção de fogo na Amazônia**. Brasília, DF, Brasil: Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais do Brasil, 1999. Acesso em: 13 jun. 2023.

NOVO, E.M.L.M.; PONZONI, F.J. **Introdução ao sensoriamento remoto**. São José dos Campos, 2001. Acesso em: 25 abr. 2023.

PEREIRA, J.A.R. Monitoramento dos incêndios florestais e queimadas no Brasil. **Floresta**, v. 34, n. 2, 2004. Acesso em: 05 mai. 2023.

PORTAL TERRABRASILIS. TerraBrasilis. **INPE**, 2023a. Disponível em: <http://terrabilis.dpi.inpe.br/> Acesso em: 07 maio. 2023. [Repositório em tempo real].

PORTAL TERRABRASILIS. Dashboard de Avisos. **INPE**, 2023b. Disponível em: <http://terrabilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/alerts/legal/amazon/daily/> Acesso em: 07 maio. 2023. [Repositório em tempo real].

PORTAL TERRABRASILIS. Dashboard de Desmatamento. **INPE**, 2023c. Disponível em: [http://terrabilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/legal\\_amazon/rates](http://terrabilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/legal_amazon/rates) Acesso em: 07 maio. 2023. [Repositório em tempo real].

PORTAL TERRABRASILIS. Focos de queimada. **INPE**, 2023d. Disponível em: <http://terrabilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/fires/biomes/aggregated/> Acesso em: 07 maio. 2023. [Repositório em tempo real].

PORTAL TERRABRASILIS. Mapa de Avisos. **INPE**, 2023e. Disponível em: <http://terrabilis.dpi.inpe.br/app/map/alerts?hl=pt-br> Acesso em: 07 maio. 2023. [Repositório em tempo real].

PORTAL TERRABRASILIS. Mapa de Desmatamento. **INPE**, 2023f. Disponível em: <http://terrabilis.dpi.inpe.br/app/map/deforestation?hl=pt-br> Acesso em: 07 maio. 2023. [Repositório em tempo real].

PORTAL TERRABRASILIS. Sala de Situação. **INPE**, 2023g. Disponível em: <http://terrabilis.dpi.inpe.br/ams/> Acesso em: 07 maio. 2023. [Repositório em tempo real].

PRIZIBISCZKI, C. Brasil precisa comprar imagens privadas de satélite? Entenda a polêmica. **OECD**, 2020. Disponível em: <https://oeco.org.br/reportagens/brasil-precisa-comprar-imagens-privadas-de-satelite-entenda-a-polemica/> Acesso em: 25 jun. 2023.

SHIMABUKURO, YE. *et al.* Deforestation detection in Brazilian Amazon region in a near real time using Terra MODIS daily data. In: **IGARSS 2004. 2004 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium**. IEEE, p. 3405-3408, 2004. Acesso em: 20 jun. 2023.

SILVA, E.J. *et al.* Sensoriamento remoto no monitoramento da qualidade dos recursos hídricos. **Cadernos UniFOA**, v. 12, n. 33, p. 121-130, 2017. Acesso em: 25 mar 2023.

SOARES, H..J.J. **O reforço da cooperação na CPLP no domínio da segurança e defesa: Programa Estratégico de Sistemas Espaciais brasileiro**. 2020. Acesso em: 25 mar. 2023.

SOUZA, M.M.; GASTALDINI, M.C.C. Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 19, p. 263-274, 2014. Acesso em 01 jul. 2023.

TAKEHARA, K.J.M. **Reflexão acerca dos desafios para a conclusão do projeto do primeiro satélite sino-brasileiro de sensoriamento remoto**. Pirassununga, 2014 Trabalho de Conclusão de Curso - Academia da Força Aérea, Pirassununga, 2014. Acesso em: 20 mai. 2022.

THOMÁZ, A.M.; CARRERA, F. **Desmatamento: causas, consequências e soluções sustentáveis**. Rio de Janeiro, 2010. Acesso em: 15 abr. 2023.