

EVOLUÇÃO E APLICAÇÕES DO SENSORIAMENTO REMOTO EM ESTUDOS AMBIENTAIS: UMA REVISÃO DE LITERATURA

Data de aceite: 02/10/2024

Kely Prissila Saraiva Cordovil

Universidade Federal do Oeste do Pará
(UFOPA)
Santarém-Pará

CV: <http://lattes.cnpq.br/6616806425702577>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0536-6090>

Lucas Raphael Mourão Gonçalves

Universidade Federal do Oeste do Pará
(UFOPA)
Santarém-Pará

CV: <http://lattes.cnpq.br/7575427018142153>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4492-1947>

Wilderclay Barreto Machado

Universidade Federal do Oeste do Pará
(UFOPA)
Santarém-Pará

CV: <http://lattes.cnpq.br/7928041665593236>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0085-5397>

Lucas Vaz Peres

Universidade Federal do Oeste do Pará
(UFOPA)
Santarém-Pará

CV: <http://lattes.cnpq.br/0492582888795669>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5612-5991>

Yao Télésphore Brou

University of La Reunion França
La Réunion-França

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6273-7636>

Luciana Gonçalves de Carvalho

Universidade Federal do Oeste do Pará
(UFOPA)
Santarém-Pará

CV: <http://lattes.cnpq.br/9870905738650852>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7916-9092>

RESUMO: O sensoriamento remoto é uma técnica que permite a aquisição de informações e dados sobre a terra e seus processos por meio de sensores instalados em plataformas espaciais, aéreas ou terrestres. Com o objetivo descrever a evolução histórica dessa técnica e de suas aplicabilidades em diversas áreas científicas, este estudo empreende um levantamento bibliográfico em bases de dados eletrônicos, e na lista de referências dos artigos identificados. Foram empregados os seguintes termos em português e inglês: “Sensoriamento remoto do ambiente”, “Expansão urbana”, “Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

(NDVI)”, “ Missão Landsat”, “ Missão Sentinel”, “Aplicações do sensoriamento remoto”, e “História do sensoriamento remoto”. O processo de análise dos estudos envolveu leitura de títulos, resumos e textos completos. O sensoriamento remoto tem uma ampla gama de aplicações, com destaque na área ambiental, devido à sua eficácia para o monitoramento do desmatamento, tanto em áreas isoladas, quanto no meio urbano, onde é usado com foco em áreas edificadas, destacando de maneira clara as diferenças entre zonas urbanizadas, jardins e vegetação em ambientes urbanos construídos, etc. Nesse sentido, o sensoriamento remoto desempenha um papel crucial em estudos na Amazônia Legal, fornecendo informações específicas e atualizadas sobre a dinâmica da região, o que é essencial para apoiar ações de conservação, monitoramento ambiental, gestão de recursos naturais e tomada de decisões controladas em prol da sustentabilidade desse ecossistema tão importante para o planeta.

PALAVRAS-CHAVE: Aplicações do Sensoriamento Remoto; Sensores Satelitais; Análise Geoespacial.

EVOLUTION AND APPLICATIONS OF REMOTE SENSING IN ENVIRONMENTAL STUDIES: A LITERATURE REVIEW

ABSTRACT: Remote sensing is a technique that enables the acquisition of information and data about the Earth and its processes through sensors installed on space, aerial, or ground platforms. Aiming to describe the historical evolution of this technique and its applications in various scientific fields, this study conducted a bibliographic review in electronic databases and through the reference lists of the identified articles. The following terms were used in both Portuguese and English: «Environmental remote sensing,» «Urban expansion,» «Normalized Difference Vegetation Index (NDVI),» «Landsat Mission,» «Sentinel Mission,» «Remote sensing applications,» and «History of remote sensing.» The analysis process of the studies involved reading titles, abstracts, and full texts. Remote sensing has a wide range of applications, with particular prominence in the environmental field due to its effectiveness in monitoring deforestation, both in isolated areas and in urban environments, where it is used to focus on built-up areas, clearly highlighting the differences between urbanized zones, gardens, and vegetation in constructed urban environments, among others. In this context, remote sensing plays a crucial role in studies of the Legal Amazon, providing specific and updated information on the region’s dynamics, which is essential for supporting conservation actions, environmental monitoring, natural resource management, and informed decision-making aimed at the sustainability of this ecosystem, which is so vital to the planet.

KEYWORDS: Remote Sensing Applications; Satellite Sensors; Geospatial Analysis.

1. INTRODUÇÃO

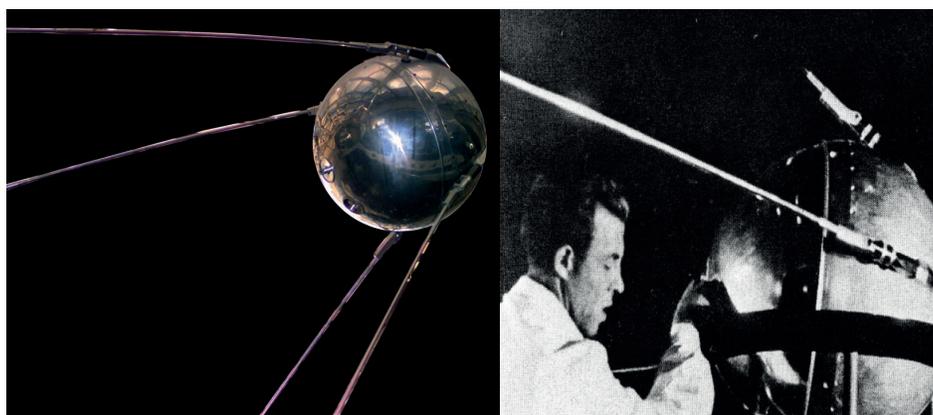
O sensoriamento remoto é o conjunto de técnicas e procedimentos tecnológicos que visa obter propriedades físicas de uma área sem estar lá. Ele permite aos usuários capturar, visualizar e analisar objetos e características da superfície da Terra. Ao coletar imagens, podemos classificá-las em cobertura da terra e outros tipos de análises. O primeiro registro histórico da prática de Sensoriamento Remoto remonta a 1859, quando Gaspard Tournachon capturou uma fotografia oblíqua de uma vila próxima a Paris a partir de um balão (VIDALIS-KELAGIANNIS *et al.*, 2021).

Durante a Segunda Guerra Mundial (1939-1945), houve avanços significativos nessa área, incluindo o desenvolvimento de novos sistemas de imageamento, como sensores termais, câmeras e filmes fotográficos capazes de detectar radiação eletromagnética no infravermelho próximo, além do surgimento do Radar (Radio Detection and Ranging, em inglês) (NEGRI; MENDES, 2020). Na segunda Guerra mundial, essa tecnologia foi fundamental, uma vez que as aeronaves aguardavam para serem equipadas com câmeras e sensores para coletar informações sobre o campo de batalha (COHEN, 2000). Essas imagens aéreas forneciam aos militares uma visão estratégica dos movimentos inimigos e dos recursos geográficos e físicos do território. Esse uso tático de sensoriamento remoto durante a guerra mostrou-se tão valioso que, após o conflito, muitos países viram o potencial dessa tecnologia para aplicações civis e científicas (AGGARWAL, 2003).

Após o fim da segunda guerra, tiveram início a guerra fria e a corrida espacial, e o desenvolvimento da tecnologia de sensoriamento remoto ganhou mais visibilidade e investimento. Em 1957 a União Soviética lançou o primeiro satélite artificial, o Sputnik 1 (Figura 1), que tinha como objetivo coletar informações a partir da órbita da Terra. Desde o lançamento do “Sputnik 1”, em 4 de outubro de 1957, houve um notável avanço em diversas áreas das ciências espaciais.

Durante os primeiros anos da era espacial, 1957 e 1958, foram feitas descobertas pioneiras, como a identificação dos cinturões de radiação Van Allen-Vernov ao redor da Terra. Uma análise histórica da observação de rádio do “Sputnik 1” revelou importantes insights durante os 22 dias iniciais de operação do transmissor do satélite, de 4 a 26 de outubro de 1957.

Figura 1- Reprodução do Sputnik 1.



Fonte: (URI, 2022).

Na Bulgária, o Dr. G. Nestorov, mais tarde professor e membro correspondente da Bulgarian Academy of Sciences (BAS), liderou as primeiras medições de rádio, realizadas no início de 1957 no Instituto de Pesquisa de Comunicações - Controle de Medição de Rádio e Centro Ionosférico - RIKIC. Dr. G. Nestorov concentrou-se em medições do efeito Doppler e na determinação da altitude do satélite, revelando uma notável redução de altitude durante as semanas subsequentes devido ao arrasto e ao atrito com a atmosfera superior.

A partir de 1958, observações ópticas, de laser e de radar de satélites artificiais na Terra começaram a ser conduzidas na Bulgária, culminando na instalação de três estações de observação entre 1958 e 1959 em Sofia, Stara Zagora e Varna. Essas atividades de observação persistiram até 2002, quando foram gradualmente interrompidas devido à escassez de financiamento e à mudança nos centros de observação globais (VELINOV, 2017).

Logo após, durante a década de 1960, surgiram outros satélites projetados especificamente para a observação da Terra, como o Earth Resources Technology Satellite (ERTS), que três anos depois, foi renomeado para Landsat 1. Esse foi o primeiro satélite a ser lançado visando coletar dados de sensoriamento remoto para aplicações civis (CRACKNELL; VAROTSOS, 2021).

Uma longa série de orbitadores de observação da Terra começou com o Earth Resources Technology Satellite (ERTS) da NASA. Lançado em julho de 1972, o Landsat 1, foi o primeiro satélite projetado explicitamente para estudar nosso planeta (LANDSAT MISSIONS, 2021).

Após um ano de vida útil, o Landsat 1 foi aposentado em janeiro de 1978, mas cada vez mais estudos sobre mudanças no uso da terra e alterações das paisagens de áreas urbanas passaram a utilizar imagens orbitais, obtidos a partir dos sensores a bordo do satélite Landsat.

Esse breve histórico demonstra que para compreender a nossa paisagem em mudança, as missões Landsat revelaram ser uma excelente ferramenta. Nada escapou de seus sensores, desde derramamentos de petróleo, desmatamento e desenvolvimento urbano, o Landsat viu de tudo. Isso devido às várias combinações de suas bandas espectrais. Bandas espectrais são grupos de comprimentos de onda. Por exemplo, ultravioleta, visível, infravermelho próximo, infravermelho térmico e microondas são bandas espectrais. Categorizamos cada região espectral com base em sua frequência (ν) ou comprimento de onda.

Existem dois tipos de imagens para sensores passivos: Imagens multiespectrais e Imagens hiperespectrais (GISGEOGRAPHY, 2024). A principal diferença entre multiespectral e hiperespectral é o número de bandas e quão estreitas elas são. As imagens hiperespectrais têm centenas de bandas estreitas, as imagens multiespectrais consistem em 3 a 10 bandas mais largas (GISGEOGRAPHY, 2024).

Com o lançamento bem-sucedido do Landsat 1, em 1972, a tecnologia de sensoriamento remoto começou a evoluir rapidamente. Os lançamentos subsequentes de satélites Landsat permitiram a aquisição sistemática de imagens de todo o globo, permitindo o monitoramento contínuo das mudanças na superfície terrestre ao longo do tempo. Essas informações foram fundamentais para o estudo da dinâmica dos ecossistemas, o mapeamento de recursos naturais, o monitoramento de mudanças climáticas e o planejamento sustentável do uso do solo (HEMATI *et al.*, 2021).

Além dos satélites Landsat, outras agências espaciais também desenvolveram e lançaram seus próprios satélites de sensoriamento remoto, expandindo ainda mais os recursos da tecnologia. Imagens de satélite de alta resolução, juntamente com avanços em técnicas de processamento e análise de dados, permitiram um maior detalhamento da superfície terrestre, permitindo aplicações ainda mais diversas em áreas como agricultura de precisão, previsão de desastres naturais e monitoramento de desmatamento (HEMATI *et al.*, 2021).

No que infere ao contexto atual dessa tecnologia, o sensoriamento remoto é uma ferramenta essencial em diversas disciplinas, desde a ciência e a gestão ambiental até o planejamento urbano e agrícola (HEMATI *et al.*, 2021). A capacidade de coletar dados sobre a Terra de forma não intrusiva e em escala global tem sido fundamental para o avanço do conhecimento científico e para o desenvolvimento de estratégias planejadas para a preservação do nosso planeta (JURADO *et al.*, 2022).

Logo, este artigo tem como objetivo descrever a evolução histórica da tecnologia sensoriamento remoto e suas aplicabilidades na atualidade.

2. LANDSAT E CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA DE 1972 A 2023

O satélite Landsat 1, lançado em 23 de julho de 1972, marcou o início de uma nova era no sensoriamento remoto e na observação da Terra. Desenvolvido pela Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA) dos Estados Unidos, o Landsat 1 foi o primeiro satélite lançado especificamente para coletar dados de sensoriamento remoto para fins civis e científicos. O Landsat 1 carregava uma câmera de varredura multiespectral (MSS) que captava imagens em quatro bandas espectrais, permitindo a visualização de características da superfície terrestre, como vegetação, corpos d'água, solos e áreas urbanas. As imagens eram de resolução moderada para a época, com cerca de 80 metros de resolução espacial (BELWARD; SKØIEN, 2015).

A evolução do programa Landsat continuou com o lançamento do Landsat 2 em 1975, seguido pelos satélites Landsat 3, 4, 5 e 6 ao longo dos anos 1980 e 1990. No entanto, o Landsat 6 foi o único satélite do programa Landsat que não conseguiu alcançar a órbita. O Landsat 6 deveria ter um Mapeador Temático atualizado. O Enhanced Thematic Mapper (ETM) coletaria imagens pancromáticas de 15 metros, mas as outras sete bandas

espectrais permaneceriam com 30 metros de resolução terrestre (BELWARD; SKØIEN, 2015).

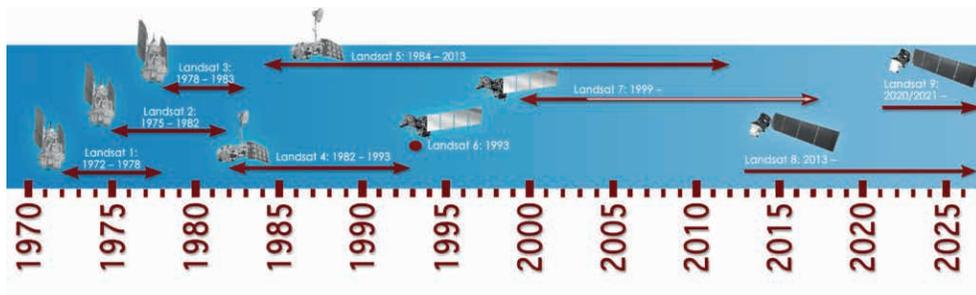
Cada novo satélite trouxe melhorias na solução espacial, com avanços tecnológicos permitindo imagens mais nítidas e precisas, pois introduziram uma câmera temática (TM), que captava imagens em seis bandas espectrais, incluindo bandas infravermelhas, permitindo uma análise mais detalhada da superfície terrestre (WULDER *et al.*, 2022). No entanto, uma grande revolução ocorreu em 1999, com o lançamento do Landsat 7. Este satélite incorporou uma câmera de imagens a bordo (ETM+), que captou imagens em oito bandas espectrais, incluindo uma banda pancromática de alta resolução espacial (15 metros). O Landsat 7 trouxe imagens ainda mais nítidas e separadas, permitindo o monitoramento de mudanças sutis na paisagem e uma melhor identificação de recursos naturais e alterações na cobertura do solo (ROY *et al.*, 2014).

A evolução do programa Landsat não parou por aí (Figura 2). Em 2013, foi lançado o Landsat 8, com melhorias em relação ao seu antecessor. O Landsat 8 também possui uma câmera de imagens a bordo (OLI), que captura imagens em nove bandas espectrais, incluindo duas bandas adicionais no infravermelho próximo. Isso ampliou ainda mais os recursos de análise e compreensão das mudanças ambientais e das atividades humanas (WULDER *et al.*, 2022). Além dos avanços nos próprios satélites, houve também progressos contínuos no processamento e na disponibilidade dos dados.

Nos últimos 50 anos, oito satélites Landsat orbitaram o planeta, o que ajudou a salvar e melhorar vidas e a apoiar a nossa economia. A NASA continuará a trabalhar com o USGS para melhorar o acesso ao recorde sem precedentes de 50 anos do Landsat e aproveitar o legado do programa." Bill Nelson, Administrador da NASA, 21 de julho de 2022 (LANDSAT SCIENCE, 2022).

A NASA e o Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) trabalharam em parceria para fornecer dados de sensoriamento remoto do programa Landsat gratuitamente, o que possibilitou um amplo acesso às imagens e fomentou pesquisas e aplicações em diversos campos. Atualmente, o programa Landsat continua forte e é complementado por outras missões de sensoriamento remoto, como o programa Copernicus da União Europeia (ROY *et al.*, 2014) (Figura 2).

Figura 2 - Evolução do Satélite Landsat.



Fonte: Adaptado: (LANDSAT SCIENCE, 2022)

O primeiro Satélite de Tecnologia de Recursos Terrestres (ERTS-1), supracitado, lançado em 23 de julho de 1972, posteriormente denominado Landsat 1, foi lançado com o objetivo explícito de coletar informações sobre os recursos naturais da Terra usando sistemas avançados de sensoriamento remoto transportados por satélite de observação da Terra. Após mais de cinco décadas de observações e oito missões operacionais, o Programa Landsat continua a fornecer imagens da Terra de grande valor científico e esteticamente impressionantes.

3. IMPORTÂNCIA DO SENSORIAMENTO REMOTO NA ATUALIDADE

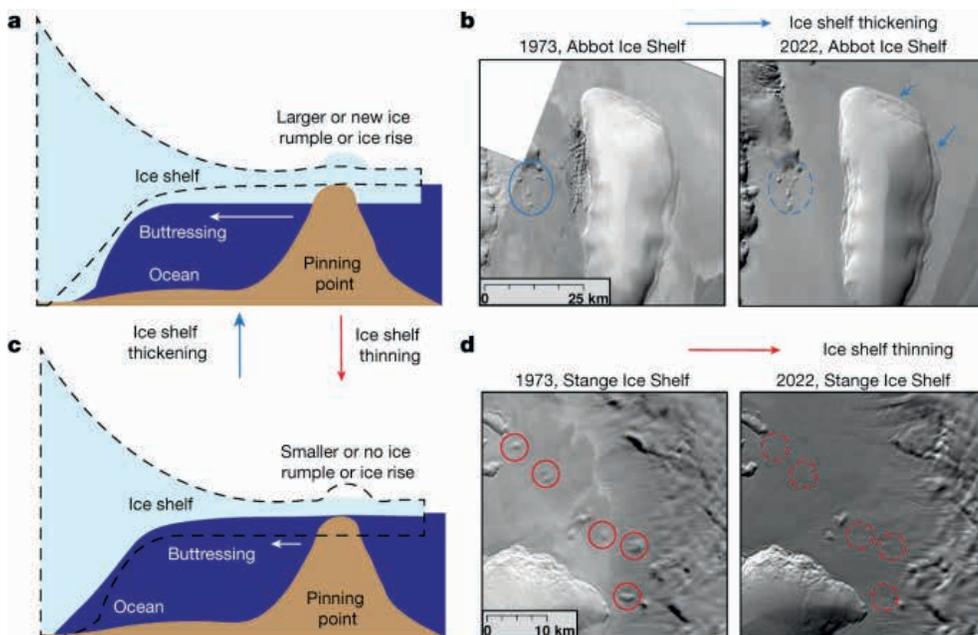
O monitoramento climático remoto contribui para a coleta de dados sobre a temperatura da superfície terrestre e o padrão de nuvens, bem como para a identificação de áreas propensas a eventos climáticos extremos, como secas e inundações. A observação constante do clima por meio de imagens de satélite permite a detecção de mudanças e tendências a longo prazo, essencial para a compreensão das mudanças climáticas de escala global (BEM *et al.*, 2020). Isso foi evidenciado por Miles e Bingham, (2024), que monitorou sistematicamente as variações na espessura da plataforma de gelo desde 1973, proporcionando a primeira caracterização observacional da evolução desse aspecto na Antártida ao longo das últimas cinco décadas.

Os autores mencionam a importância de estender esse tipo de registro, visto que é crucial para reduzir incertezas nas previsões das contribuições futuras da Antártida para o aumento do nível do mar e para calibrar modelos numéricos. Segundo os autores, as observações de mudanças na espessura da plataforma de gelo ao longo de 30 anos indicam um afinamento significativo em algumas regiões, mas o registro ainda é relativamente curto em relação aos tempos de resposta dessas plataformas de gelo (MILES; BINGHAM, 2024).

Para superar essa lacuna, foi implementado um método que utiliza imagens ópticas de satélite para monitorar as mudanças na expressão da superfície dos pontos de fixação como um indicador da variação na espessura da plataforma de gelo (Figura 3), onde: **a** - O

espessamento da plataforma de gelo aumenta o contato com a rocha subjacente, fazendo com que a impressão superficial do ponto de fixação aumente em área. **b** - Exemplo da plataforma de gelo Abbot de espessamento da plataforma de gelo aumentando a expressão da superfície dos pontos de fixação entre 1973 (imagem Landsat-1) e 2022 (imagem Landsat-8). **c** - O afinamento da plataforma de gelo reduz o contato com a rocha subjacente, fazendo com que a expressão da superfície do ponto de fixação diminua em área. As linhas pontilhadas representam a mudança na espessura da plataforma de gelo. **d** - Exemplo da plataforma de gelo Stange de afinamento da plataforma de gelo reduzindo a expressão superficial de pontos de fixação entre 1973 (imagem Landsat-1) e 2022 (imagem Landsat-8). Barras de escala, 25 km (**b**) e 10 km (**d**). Esses pontos de fixação são formações visíveis em imagens ópticas, evidenciando interações entre a plataforma de gelo e o leito rochoso subjacente (MILES; BINGHAM, 2024).

Figura 3 - Esquema dos processos que causam alterações na expressão superficial dos pontos de fixação:



Fonte: Adaptado: (MILES; BINGHAM, 2024).

O sensoriamento remoto tem sido um instrumento fundamental para o monitoramento climático e da Amazônia, devido à sua capacidade de fornecer informações precisas e abrangentes sobre as mudanças ambientais em larga escala. A Amazônia é uma das regiões mais importantes do planeta em termos de biodiversidade, clima e papel na regulação do clima global. Portanto, entender as mudanças climáticas nesta região é essencial para

o conhecimento sobre o sistema terrestre e para a busca de soluções para os desafios ambientais enfrentados atualmente (BEM *et al.*, 2020).

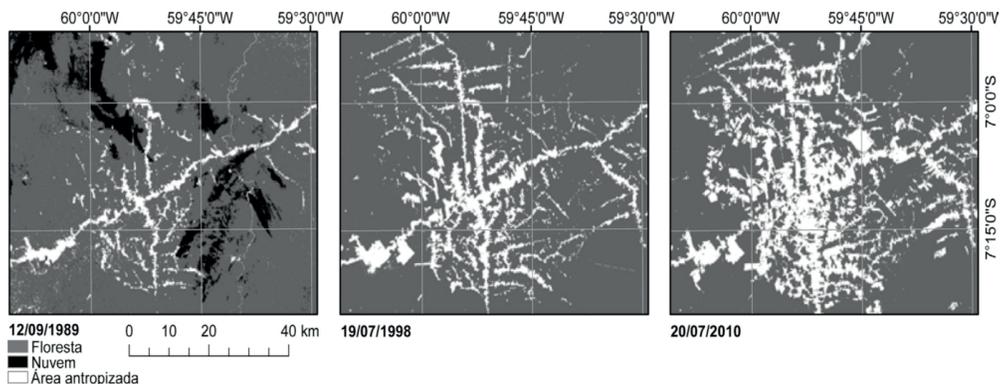
Por ser uma região de difícil acesso e apresentar uma imensidão territorial, o sensoriamento remoto desempenha um papel crucial no monitoramento da floresta amazônica, tendo em vista que, através das imagens de satélite, é possível identificar áreas desmatadas, bem como os padrões de corte raso e de exploração ilegal de recursos naturais. Ao obter essas informações é possível planejar e aplicar políticas públicas voltadas especificamente para o combate a ilícitudes como, por exemplo, o garimpo ilegal, o desmatamento e a grilagem de terras dentro dos parques nacionais (CABRAL *et al.*, 2018).

Além disso, o sensoriamento remoto permite estudar a biodiversidade da Amazônia, mapeando áreas de conservação, habitat de espécies ameaçadas e dinâmica dos animais. Ademais, oferece uma base sólida de informações para a tomada de decisões em relação à política ambiental e à gestão territorial da Amazônia. Ao fornecer dados objetivos e atualizados, essa tecnologia ajuda a embasar argumentos científicos, impulsionando ações governativas e da sociedade civil conduzidas para a proteção da região e do clima global (PAIVA *et al.*, 2020). É o que se pode observar no estudo de Pavão *et al.*, (2017), ao proporcionar uma valiosa contribuição na análise da distribuição espacial das variáveis ambientais.

Os autores investigaram o impacto da conversão de cobertura natural em pastagem e área urbana no sul do Amazonas. O objetivo de seu estudo era avaliar os efeitos do desmatamento nas variáveis biofísicas em Apuí-AM, utilizando imagens Landsat 5 TM fornecidas pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS).

A imagem (Figura 4) retrata a evolução da distribuição de áreas florestais e antropizadas em 1989, 1998 e 2010. A imagem de 20/07/2010 foi processada utilizando o método SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land). Os resultados indicaram um aumento de 20% no desmatamento em Apuí nos últimos 20 anos analisados. As áreas de floresta foram substituídas por regiões antropizadas entre 1989 e 2010, representando aproximadamente 20% de mudança no quadrante de estudo durante esse período. A área antropizada em 1998 foi 51% maior do que em 1989, e em 2010, esse aumento foi de 59% em comparação com 1998 (PAVÃO *et al.*, 2017).

Figura 4- Localização de áreas de Floresta e antropizada em 1989, 1998 e 2010 no município de Apuí, Amazonas.



Fonte: Adaptado: (PAVÃO *et al.*, 2017).

A importância do sensoriamento remoto transcende fronteiras, abrangendo desde a ciência e a gestão ambiental até a agricultura, planejamento urbano, previsão de desastres naturais, ou seja, o sensoriamento remoto pode ser utilizado em diferentes áreas do conhecimento ou mesmo dentro do empreendedorismo, uma vez que tem se destacado no setor agrícola, por permitir a análise da saúde das plantações, a identificação de áreas com necessidade de irrigação ou aplicação de fertilizantes e prevenção de pragas e doenças, eficiência e produtividade agrícola (ROY *et al.*, 2014).

A aplicação do sensoriamento remoto multiespectral emerge como uma abordagem confiável e viável para apoiar os agricultores na tomada de decisões visando práticas de manejo aprimoradas, resultando em uma produção agrícola mais eficiente e sustentável. Isso é evidenciado no estudo de MARIN *et al.* (2019), que teve como objetivo identificar e mapear o estresse em plantações de café, originado por variáveis bióticas e abióticas. Utilizando índices de vegetação derivados de imagens multiespectrais do Landsat-5 Thematic Mapper (TM), o autor estabeleceu uma malha amostral composta por 67 pontos, cada um compreendendo cinco plantas.

A análise abrangeu a incidência de cercosporiose, infestação do bicho-mineiro nas folhas, pH, matéria orgânica e textura do solo, além dos teores foliares de nutrientes, correlacionando-os com 16 índices de vegetação obtidos de imagens na época das análises. Os índices de vegetação, como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), demonstraram uma distribuição espacial semelhante às variáveis agrônomicas na plantação. Essa métrica avalia a saúde das plantas com base na reflexão de luz, especialmente a radiação solar, em frequências específicas. Este índice varia de -1 a 1, refletindo o vigor da cultura. Valores próximos a 1 indicam intensidade no verde, representando vigor na vegetação e cobertura vegetal, valores próximos a 0 correspondem a áreas com pouca vegetação, estágios iniciais de cultivo, solos nus ou áreas não produtivas, já valores

negativos geralmente estão associados a áreas de água, neve ou nuvens (MARIN, *et al.*, 2019).

O estudo de Marin *et al.*, (2019) revelou correlações positivas entre os índices e a infestação do bicho-mineiro, teores de silte e argila no solo, bem como concentrações de Mg, Cu, B e Mn nas folhas. Por outro lado, foram observadas correlações negativas com a incidência de cercosporiose, pH e teor de areia no solo.

O NDVI, proposto por (ROUSE *et al.*, 1974), é calculado pela relação a seguir:

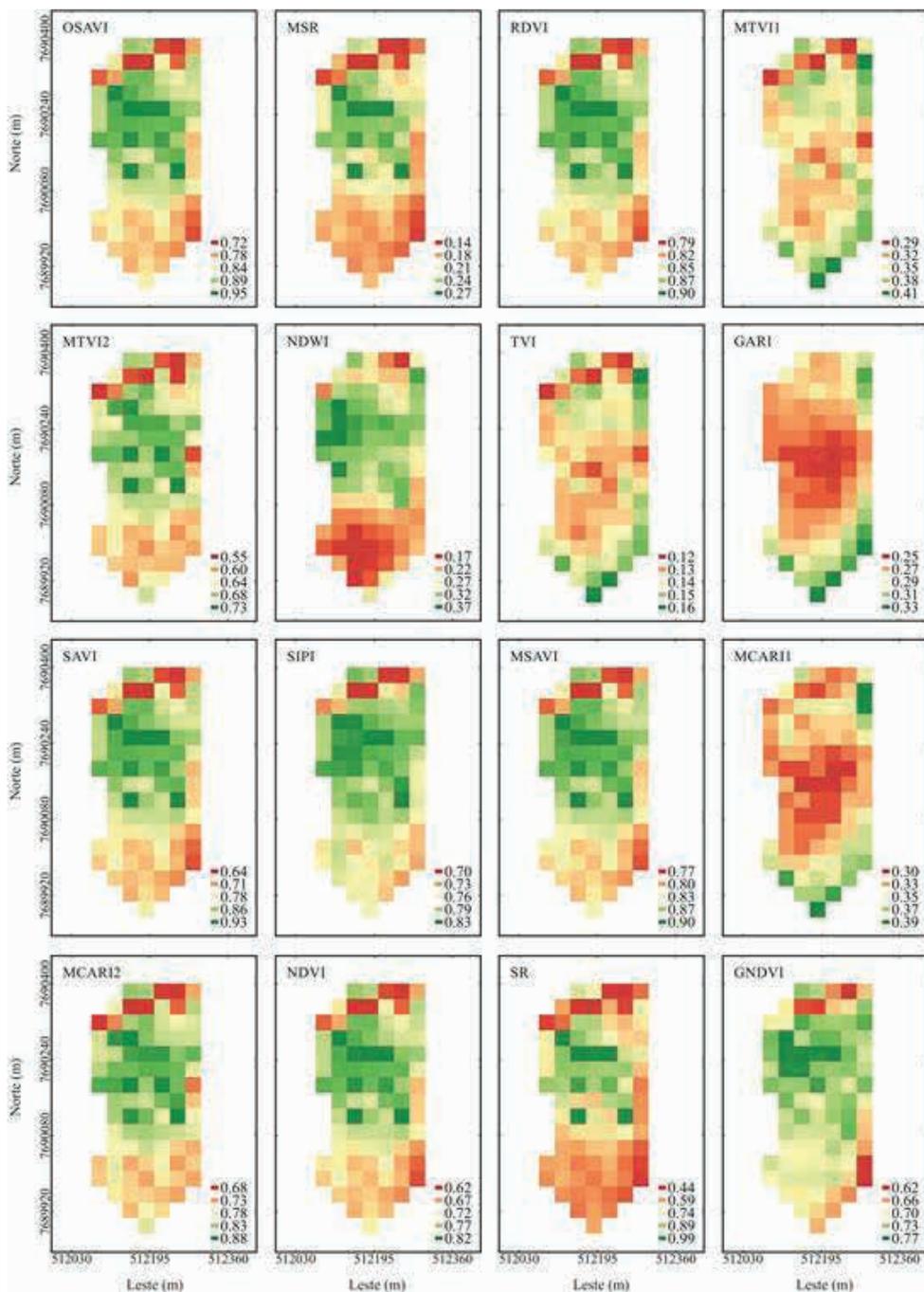
$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R})$$

Onde NIR representa a reflectância da vegetação na banda do infravermelho próximo, e R a reflectância da vegetação na banda do vermelho.

Esses resultados permitiram o mapeamento e a identificação das alterações na reflectância espectral das plantas de café, associadas a variáveis agrônomicas. O estudo evidenciou o potencial dos índices de vegetação derivados de imagens multiespectrais Landsat-5 TM na detecção e mapeamento do estresse nas plantas de café causado por variáveis ambientais bióticas e abióticas (Figura 5). Além disso, os achados contribuem para um gerenciamento mais eficaz das plantações de café, promovendo a sustentabilidade por meio da utilização mais racional de fertilizantes e produtos fitossanitários. Essa constatação ressalta a importância do sensoriamento remoto não apenas na agricultura, mas também em diversas áreas de pesquisa científica contemporânea (MARIN *et al.*, 2019).

Com base nos resultados obtidos, os autores sugerem que a relação entre os índices de vegetação e a presença de cercosporiose e bicho-mineiro nas folhas está ligada ao vigor das plantas na presença dessas pragas. Eles observam que à medida que o vigor das plantas aumenta, acompanhado por mais folhas, há uma diminuição na reflectância nas bandas visíveis (azul, verde e vermelho) e um aumento na banda do infravermelho próximo (MARIN *et al.*, 2019).

Figura 5 - Mapas de distribuição espacial dos índices de vegetação, em lavoura cafeeira (*Coffea arabica*), derivados de imagem multiespectral Landsat-5 TM, na data de 18/05/2006.



Fonte: Adaptado: (MARIN *et al.*, 2019).

Adicionalmente, o aumento na quantidade de folhas contribui para um maior teor de água nas plantas, resultando em menor refletância no infravermelho médio. Portanto, a correlação negativa entre os índices de vegetação e a incidência de cercosporiose nas folhas pode ser explicada pela diminuição do vigor vegetativo das plantas na presença dessa patologia (MARIN *et al.*, 2019).

Além do mais, o sensoriamento remoto é fundamental para entender a dinâmica dos rios e lagos na região. Com sensores de radar e altimetria, é possível monitorar o nível das águas, identificar áreas de inundação e mapear as mudanças sazonais nos cursos d'água, o que é especialmente importante para comunidades ribeirinhas e atividades sustentáveis dependentes dos recursos hídricos. Outra aplicação relevante é o monitoramento das queimadas e incêndios florestais. Sensores térmicos e ópticos são utilizados para detectar e monitorar focos de calor, fornecendo informações em tempo quase real para o combate a incêndios e para avaliação dos impactos ambientais (PAIVA *et al.*, 2020).

Enfim, é interessante enfatizar a versatilidade da tecnologia, com um impacto significativo nas mais diversas áreas de estudo na atualidade. Seu uso generalizado e sua capacidade de fornecer informações abrangentes e em tempo real são fundamentais para a tomada de decisões controladas, a preservação do meio ambiente, o desenvolvimento sustentável e a promoção do bem-estar humano (MARVIN *et al.*, 2016; WULDER *et al.*, 2022).

Com o avanço das tecnologias, a utilização de drones também se tornou comum na agricultura de precisão. Os drones são equipados com sensores capazes de captar imagens em alta resolução, proporcionando uma visão detalhada das lavouras ao nível de planta, isso permite uma abordagem ainda mais precisa no monitoramento e manejo das culturas (SISHODIA; RAY; SINGH, 2020).

O sensoriamento remoto também desempenhou um papel crucial na segurança alimentar. Devido à sua capacidade de monitorar áreas agrícolas ao nível global, identificar padrões de produção e detectar possíveis crises alimentares com antecedência, essa tecnologia coleta informações em tempo real sobre as condições das safras, detecção de secas ou inundações e permite o acompanhamento da produção agrícola. Desse modo, tem sido essencial para a tomada de decisões políticas e para ações de assistência humanitária em regiões reservadas (KARTHIKEYAN; CHAWLA; MISHRA, 2020).

4. MISSÕES SENTINEL: UTILIZAÇÃO DO SENTINEL NO MONITORAMENTO AMBIENTAL

A série de satélites SENTINEL foi iniciada em 2014 como parte de um projeto conjunto entre a Agência Espacial Europeia (ESA) e a Comissão Europeia, em consonância com o Programa Copernicus (Figura 6). Esta série evoluiu a partir de iniciativas anteriores da ESA, como ERS, ENVISAT e SPOT, com o propósito de monitorar recursos naturais, uso

da terra, ambientes marinhos, clima e desastres naturais. Inicialmente denominada Global Monitoring for Environment and Security (GMES), a missão foi rebatizada como Sentinel em 2012 (EMBRAPA, 2020).

A missão é composta por pares de satélites especializados, cada um direcionado a diferentes áreas de interesse. Os satélites SENTINEL-1 são utilizados para monitoramento terrestre e oceânico, equipados com sensores de radar. Enquanto isso, os satélites SENTINEL-2 foram projetados para monitorar vegetação, solos e áreas costeiras, empregando sensores ópticos de alta resolução espacial. A terceira série concentra-se no monitoramento marinho, carregando sensores ópticos e radares específicos para essa finalidade. As séries 4 e 5 são dedicadas ao monitoramento da qualidade do ar (EMBRAPA, 2020).

O primeiro satélite da série, o Sentinel-1A, foi equipado com um sensor de radar SAR e lançado em 2014. O Sentinel-1B, lançado em 2016, também transportava o mesmo sensor, além de outros instrumentos de várias agências de pesquisa europeias. O Sentinel-2A, lançado em 2015, foi o primeiro satélite óptico da série, equipado com um sensor multiespectral MSI. Seu sucessor, o Sentinel-2B, lançado em 2017, compartilha os mesmos objetivos e o mesmo sensor MSI (EMBRAPA, 2020).

Em 2016, o Sentinel-3A foi lançado, seguido pelo Sentinel-3B dois anos depois, ambos equipados com uma variedade de sensores para mapeamento de terras e oceanos, monitoramento de embarcações, altímetro embutido, sensor de precisão orbitográfica, entre outros. Conforme indicado no site da Copernicus, o Sentinel-6 Michael Freilich representa a próxima missão de referência em altimetria de radar, destinada a ampliar a tradição de medições de altura da superfície do mar pelo menos até 2030. Esta missão satelital de observação da Terra foi concebida para garantir uma continuidade robusta às séries temporais do nível médio do mar e do estado oceânico, que tiveram início em 1992 com a missão TOPEX/Poseidon (EMBRAPA, 2020).

Figura 6 - Missões sentinelas de 1 a 6, respectivamente



Fonte: Adaptado: (EUROPEAN SPACE AGENCY, [S.d.]).

Um dos sistemas mais notáveis nessa área de obtenção de informações do espaço é o Sentinel-2, uma missão europeia, que foi pensada em uma sucessão ao SPOT e Landsat, o qual utiliza imagens multiespectrais de ampla faixa, ou seja, possui alta resolução. Os satélites gêmeos voam na mesma órbita, mas estão em fase de 180°, e a especificação completa da missão foi projetada para fornecer uma alta frequência de revisitas de 5 dias no Equador. O Sentinel-2 está equipado com uma carga útil de instrumento óptico que amostra 13 bandas espectrais, incluindo: Quatro bandas a 10 m, seis bandas a 20 m, e três bandas com resolução espacial de 60 m (GISGEOGRAPHY, 2024).

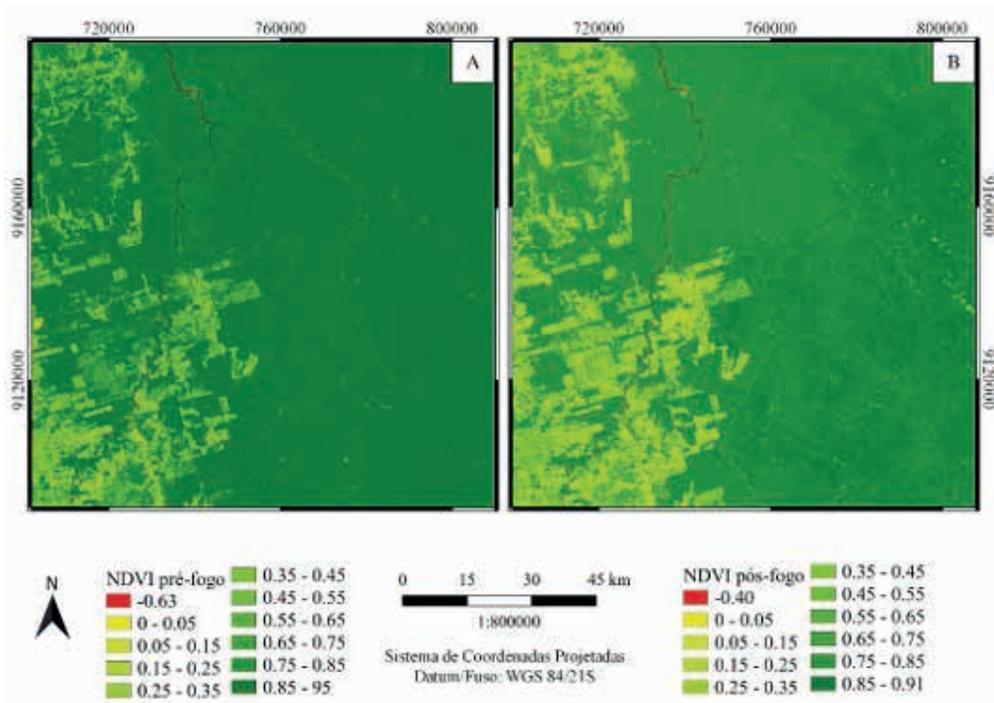
O Sentinel-2 é um satélite de observação da Terra desenvolvido pela Agência Espacial Europeia (ESA), e desempenha um papel crucial em diversas áreas, incluindo

o monitoramento ambiental, a gestão de recursos naturais, a agricultura, o planejamento urbano e a resposta a desastres naturais. Seu conjunto de sensores captura imagens de alta resolução e multiespectrais da superfície terrestre, permitindo análises em tempo quase real (VUOLO *et al.*, 2016), como no exemplo do estudo conduzido com o propósito de avaliar a intensidade das queimadas na região sudeste da Amazônia. Para alcançar os objetivos, os autores utilizaram cálculos de índices espectrais em imagens do satélite Sentinel-2. O foco da análise foi em áreas queimadas de origem antrópica, empregando tanto imagens Sentinel-2 quanto índices espectrais. Realizado por Silva; Beltrão e Santos (2023), esse estudo responde à necessidade de uma compreensão mais aprofundada das queimadas amazônicas e seus impactos.

O programa BD Queimadas foi empregado para identificar o período de ocorrência dos focos de calor. A delimitação das cicatrizes de queimada envolveu a diferença entre imagens de NBR pré e pós-fogo. As análises de severidade das queimadas foram baseadas em cálculos das diferenças temporais nos índices NBR e NDVI. Os resultados indicaram que as cicatrizes de queimadas estavam predominantemente concentradas na parte oeste da cena, coincidindo com a localização da BR-163. Cerca de 24% da área estudada foi identificada como área queimada, com classificações de severidade baixa em áreas de floresta (SILVA; BELTRÃO; SANTOS, 2023).

A utilização dos índices do NBR e de NDVI permitiu identificar a perda de saúde vegetal nas áreas adjacentes às queimadas. Concluiu-se que esses índices, juntamente com suas variações temporais, representam ferramentas cruciais para classificar áreas queimadas. Isso é especialmente relevante devido às limitações de trabalho de campo na Amazônia para avaliar a gravidade dos efeitos do fogo. Além disso, essas ferramentas podem ser empregadas na gestão pública e em pesquisas acadêmicas, proporcionando uma base sólida para compreender os impactos das queimadas. A Figura 7 destaca a diferença na tonalidade da vegetação nas imagens de NDVI antes (Figura 7-A) e após (Figura 7-B) as queimadas, evidenciando a transição do verde escuro para tons mais amarelos, indicativos da diminuição nos valores de NDVI (SILVA; BELTRÃO; SANTOS, 2023).

Figura 7 - NDVI para a cena 21MYM Sentinel-2 MSI antes (A) e após (B) a ocorrência do fogo, em 2020



Fonte: Adaptado: (SILVA; BELTRÃO; SANTOS, 2023)

Uma das principais vantagens do sensoriamento remoto é a capacidade de monitorar mudanças ambientais. O Sentinel-2 auxilia na detecção de desmatamento, desgaste do solo, perda de biodiversidade, combustível na água e outros fenômenos relacionados ao meio ambiente. Essas informações são valiosas para a implementação de políticas de conservação e mitigação de impactos ambientais. Os dados abundantes dos satélites Copernicus, combinados com dados in-situ, suportam uma variedade de serviços de informação. O uso de dados de detecção remota no estudo das mudanças globais está em ascensão, impulsionado pela expansão das observações via satélite ao longo de períodos mais extensos e pelo aumento do número de sensores e medições que oferecem maior conhecimento sobre nosso planeta. Uma maneira de visualizar essas imagens e utilização de dados, inclusive com processamento em falsa-cor e aplicação de índices de vegetação, é por meio da 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 download e processamento das imagens (GONZAGA *et al.*, 2022).

Há por parte dos responsáveis pelo programa e agencia espacial um incentivo a utilizar os dados do Copernicus para enfrentar diversos desafios sociais. Recentemente, a

Revista de Teledetección, pertencente à Asociación Española de Teledetección, divulgou um volume especial (vol. 56, 2020) destacando as diversas aplicações dos satélites Sentinel, com destaque para o S2.

Na agricultura, o Sentinel-2 fornece dados sobre a saúde das culturas, otimizando o uso de recursos, como água e fertilizantes, e confiante para o aumento da produtividade agrícola. Além disso, ajuda na detecção de pragas e doenças, prevenindo perdas significativas nas colheitas (SEGARRA *et al.*, 2020).

No contexto urbano, o sensoriamento remoto auxilia no planejamento e na gestão das cidades, o Sentinel-2 pode identificar mudanças no uso do solo, crescimento urbano desordenado e áreas mais suscetíveis à ocorrência de desastres naturais, permitindo decisões mais controladas para um desenvolvimento sustentável (LEE *et al.*, 2020). Outra importância do Sentinel-2 é sua utilidade em situações de emergência e resposta a desastres. Com sua capacidade de capturar imagens frequentes, é possível monitorar incêndios florestais, inundações, terremotos e outros eventos, auxiliando equipes de resgate e autoridades na tomada de decisões rápidas e eficazes (TARPANELLI; MONDINI; CAMICI, 2022).

Dando ênfase à importância da utilização do sensoriamento remoto para analisar o meio urbano e o processo de urbanização das grandes cidades, podemos citar a pesquisa realizada pelo instituto brasileiro de geografia e estatística em 2019 (IBGE, 2020), sobre áreas urbanizadas do Brasil, o qual tinha como objetivo analisar e mensurar a distribuição e a extensão das manchas urbanas no país, assim como avaliar seu crescimento. A metodologia utilizou modelagem geográfica e mapeamento, examinando padrões espaciais nas áreas edificadas para aprofundar a compreensão de questões urbanas. A representação espacial do fenômeno urbano foi realizada por meio da interpretação de imagens de satélite, especificamente do satélite Sentinel-2/MSI, com resolução de 10 m.

O processo de mapeamento envolveu a delimitação de feições urbanizadas por meio da interpretação visual, utilizando um Sistema de Informação Geográfica de código aberto. Imagens orbitais de alta resolução do Google Earth/Google Maps foram consultadas e incorporadas como camada auxiliar no SIG.

Além da interpretação visual, as áreas urbanizadas foram identificadas com base em informações fornecidas pelo IBGE, como vetoriais: Áreas Urbanizadas do Brasil 2015, Malha de Setores Censitários: Brasil 2019. A Malha de Setores Censitários foi utilizada com atributos que possibilitam uma aproximação do fenômeno urbano. Dentre as categorias definidas, os Setores Censitários de interesse incluíram áreas urbanas com alta densidade de edificações, núcleos urbanos, aglomerados rurais (povoados, núcleos, lugarejos), e outras. O resultado do processo de mapeamento proporcionou a obtenção de produtos visuais, representados pelas (Figuras 8), e contribuiu para uma compreensão mais aprofundada da distribuição e expansão das áreas urbanizadas no Brasil em 2019.

Figura 8 - Áreas densas no Município de Prudentópolis (PR) - 2019



Fonte: Adaptado: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Meio Ambiente, Áreas Urbanizadas do Brasil 2019.

Nota: Camada de informação de base composta por imagens do Satélite Sentinel-2/MSI para o ano de 2019.

O acesso aberto aos dados do Sentinel-2 também estimula o desenvolvimento de pesquisas científicas, impulsionando avanços em áreas como climatologia, oceanografia e ciências atmosféricas. Em uma explanação mais generalizada, o Sentinel-2 desempenha um papel essencial para o entendimento e a preservação do nosso planeta. Suas aplicações têm impacto direto nas áreas ambiental, agrícola, urbana e de gestão de desastres. Ao fornecer informações precisas e atualizadas, contribui para a sustentabilidade, a segurança e o desenvolvimento da sociedade em um contexto global (LEE *et al.*, 2020).

A agricultura familiar sustentável é uma prática cada vez mais valorizada, pois além de promover a segurança alimentar, contribui para a preservação do meio ambiente e o desenvolvimento local (SAID *et al.*, 2021). Nesse contexto, os quintais urbanos têm se destacado como espaços propícios para a produção de alimentos saudáveis e a conexão das comunidades com a natureza. O uso do Sentinel-2, um satélite de observação da Terra, tem desempenhado um papel significativo no monitoramento e no fortalecimento dessa prática (LEE *et al.*, 2020).

O Sentinel-2, desenvolvido pela Agência Espacial Europeia (ESA), possui uma capacidade única de capturar imagens de alta resolução e multispectrais da superfície terrestre. Essa tecnologia possibilitou a obtenção de informações precisas sobre o uso do solo, a saúde das culturas e a dinâmica das áreas agrícolas, incluindo os quintais urbanos.

Dessa forma, os familiares e as comunidades têm acesso a dados valiosos para a tomada de decisões, o planejamento de plantações e a avaliação do desempenho agrícola (VUOLO *et al.*, 2016). A utilização do Sentinel-2 para o monitoramento da agricultura familiar sustentável traz diversos benefícios. Primeiramente, possibilita a identificação de mudanças no uso do solo e na vegetação. Segundo, permite o controle e planejamento das plantações e o impacto de práticas agrícolas, como o manejo de fertilizantes e pesticidas, visando

a redução de impactos ambientais e o aumento da produtividade. Além disso, a análise multiespectral possibilita a detecção precoce de doenças e pragas nas plantas, permitindo intervenções oportunas e eficazes para evitar perdas nas colheitas. Isso é especialmente relevante para um sistema familiar agrícola, que muitas vezes possui recursos limitados e não pode arcar com grandes pagamentos (SAID *et al.*, 2021).

Outro aspecto importante é a promoção da segurança alimentar nas comunidades urbanas. O monitoramento com o Sentinel-2 permite identificar áreas disponíveis para a agricultura e estimular a produção local de alimentos frescos e saudáveis. Os quintais urbanos podem se tornar verdadeiras fontes de abastecimento, diminuindo a dependência por alimentos importados e incentivando a autonomia alimentar das famílias. Além disso, o uso do Sentinel-2 em conjunto com tecnologias de sensoriamento remoto e geoprocessamento possibilita o planejamento territorial adequado, evitando conflitos de uso da terra e preservando áreas de interesse ambiental (QIU; TAROLLI, 2023).

Neste contexto, o Sentinel-2 tem desempenhado um papel fundamental no monitoramento da agricultura familiar sustentável em quintais urbanos. Sua tecnologia tecnológica fornece informações precisas e reforçadas, promovendo o uso responsável dos recursos naturais, a redução do desperdício de alimentos e a segurança alimentar nas comunidades urbanas, fazendo desta tecnologia uma aliada a políticas públicas tanto âmbito ambiental como no combate a fome (LUDWIG *et al.*, 2021).

Com base nas informações disponíveis e no enfoque do sensoriamento remoto em áreas urbanas, incluindo quintais, destaca-se a relevância do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). O NDVI pode e deve ser empregado em estudos relacionados a essa temática, como já destacado neste estudo. Nesse contexto, a Classificação Supervisionada de Imagens, seguida pela produção de mapas, tem sido extensivamente utilizada para monitorar e quantificar o impacto humano crescente nas áreas urbanas.

5. PERSPECTIVAS FUTURAS E TENDÊNCIAS, NOVAS TECNOLOGIAS

Na área de sensoriamento remoto em estudos ambientais, algumas perspectivas futuras e tendências incluem integração de sensoriamento remoto com outras disciplinas e tecnologias: O avanço das tecnologias como Inteligência Artificial e *Big Data* tem proporcionado oportunidades para a integração do sensoriamento remoto com essas disciplinas (OSCO *et al.*, 2021). Essa integração permite o uso de algoritmos avançados para análise e interpretação dos dados e sensoriamento remoto, bem como o processamento de grandes volumes de dados. Além disso, a integração com outras tecnologias, como sensores emergentes e redes de sensores, permite a coleta de dados mais precisa e em tempo real.

Em relação à aplicações em estudos ambientais de grande escala, o sensoriamento remoto tem sido amplamente utilizado em estudos ambientais de grande escala, como monitoramento de florestas, monitoramento oceânico, detecção de mudanças climáticas e desastres naturais. Essas aplicações em grande escala tendem a se expandir e aprimorar no futuro, com o desenvolvimento de tecnologias mais avançadas, como sensores de alta resolução espacial e espectral, satélites de menor custo e melhor cobertura, e algoritmos mais eficientes para análise e interpretação dos dados (SHRIVASTAVA, 2020).

Novas tecnologias e sensores emergentes: Com os avanços contínuos na tecnologia, novos sensores e tecnologias estão surgindo no campo do sensoriamento remoto. Essas novas tecnologias incluem: - Sensores hiperspectrais: Esses sensores capturam uma ampla gama de comprimentos de onda, permitindo uma análise mais detalhada e precisa das propriedades dos objetos e do ambiente. - Sensores LIDAR: Esses sensores utilizam pulsos de laser para medir a distância entre o sensor e os objetos, permitindo a criação de modelos tridimensionais e o mapeamento detalhado da superfície terrestre.- Drones e VANTs: Essas tecnologias permitem a coleta de dados de sensoriamento remoto a partir de plataformas móveis e flexíveis, possibilitando uma cobertura mais precisa e detalhada das áreas de interesse (WEI ; GUO, 2018).

A integração do sensoriamento remoto com outras disciplinas e tecnologias tem ampliado as possibilidades de aplicação e os benefícios do sensoriamento remoto em estudos ambientais. A integração do sensoriamento remoto com essas disciplinas permite a utilização de algoritmos avançados para análise e interpretação de dados de sensoriamento remoto, bem como o processamento de grandes volumes de dados. Além disso, a integração com outras tecnologias, como sensores emergentes e redes de sensores, permite uma recolha de dados mais precisa e em tempo real.

Alguns exemplos de consorcio entre sensoriamento remoto e outras disciplinas são: i) Utilização de algoritmos avançados para análise de dados: A incorporação de Inteligência Artificial e *Big Data* pode melhorar a capacidade de analisar e interpretar grandes conjuntos de dados a partir de sensoriamento remoto. ii) Processamento de grandes volumes de dados: Ao integrar o sensoriamento remoto com tecnologias computacionais avançadas, é possível gerenciar e analisar grandes volumes de dados ambientais de forma mais eficiente. iii) Integração com sensores e redes de sensores emergentes: A adoção de novas tecnologias de sensores e a sua ligação numa rede pode levar a uma recolha de dados mais precisa em tempo real, o que é essencial para monitorizar dinâmicas ambientais rápidas e responder a eventos críticos, como desastres naturais e iv) Aplicações práticas: Em estudos ambientais, isto pode traduzir-se numa melhor monitorização florestal, avaliação da qualidade da água, detecção de poluição, investigação sobre alterações climáticas, bem como gestão de recursos naturais e resposta a catástrofes (PIMENTEL *et al.*, 2022; NOVO *et al.*, 2005) (GASPARINI *et al.*, 2013,(COSTA *et al.*, 2018).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sensoriamento remoto é uma ferramenta poderosa e indispensável em diversas áreas da ciência, tecnologia, meio ambiente, agricultura, gestão de recursos naturais, planejamento urbano e na pesquisa científica como instrumento facilitador para obtenção de informações, possibilitando até mesmo realizar comparações entre áreas em determinado período. Por meio de dados obtidos por sensoriamento remoto, por exemplo, é possível analisar a dinâmica espacial da expansão urbana sob a área de proteção ambiental e o processo de urbanização das cidades. No contexto urbano, o Sentinel-2 é uma ferramenta essencial para o planejamento e a gestão das cidades, permitindo a identificação de áreas caracterizadas por desastres naturais, o acompanhamento do crescimento urbano e a promoção do desenvolvimento urbano sustentável.

Além disso, o acesso aberto aos dados do Sentinel-2 estimula o desenvolvimento de pesquisas científicas em diversas áreas, trazendo avanços para o conhecimento humano e sua relação com o ambiente. Dito isto, o sensoriamento remoto, com a contribuição notável do Sentinel-2, tem revolucionado a forma como compreendemos e interagimos com o nosso planeta, pois sua capacidade de fornecer informações precisas e atualizadas tem impulsionado a sustentabilidade e a segurança global, posicionando-o como uma ferramenta fundamental para a preservação do meio ambiente e o desenvolvimento humano em um contexto de demanda crescente por recursos naturais. Um dos pontos positivos de todo o programa Landsat (e das imagens do Sentinel 2) é que ele é totalmente aberto ao público para download.

REFERÊNCIAS

AGGARWAL, S. Principles of remote sensing. *Satellite remote sensing and GIS applications in agricultural meteorology*, v. 23, n. 2, p. 23–28, 2003

BELWARD, A. S.; SKØIEN, J. O. Who launched what, when and why; trends in global land-cover observation capacity from civilian earth observations satellites. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 103, p. 115–128, maio 2015.

BEM, P. DE et al. Change Detection of Deforestation in the Brazilian Amazon Using Landsat Data and Convolutional Neural Networks. *Remote Sensing*, v. 12, n. 6, p. 901, 11 mar. 2020.

CABRAL, A. I. R. et al. Deforestation pattern dynamics in protected areas of the Brazilian Legal Amazon using remote sensing data. *Applied Geography*, v. 100, p. 101–115, nov. 2018.

COHEN, C. J. Early History of Remote Sensing. *Proceedings 29th Applied Imagery Pattern Recognition Workshop*, v. 2000- January, p. 3–3, 1 out. 2000. Acesso em: 5 mar. 2024.

CRACKNELL, A. P.; VAROTSOS, C. A. Editorial Sir John Houghton. *Remote Sensing Letters*, v. 12, n. 4, p. 364–376, 3 abr. 2021.

EMBRAPA. Satélites de Monitoramento. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento>>. Acesso em: 5 mar. 2024.

EUROPEAN SPACE AGENCY. Sentinel Overview. [S.l: s.n.], [S.d.]. Disponível em: <<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions>>. Acesso em: 5 mar. 2024.

GISGEOGRAPHY. 10 pacotes de software de sensoriamento remoto de código aberto. Disponível em: <<https://gisgeography.com/open-source-remote-sensing-software-packages/>>. Acesso em: 5 mar. 2024.

GONZAGA, C. A. C., Fernandes, T. A., Boldrin, J. L., Correa, M. S. A., Roquette, J. G., Silva, N. M., Barbosa, D. S., Pessi, D. D., Paranhos Filho, A. C., Mioto, C. L., & Angeoletto, F. H. S. (2022). Sensoriamento remoto e o monitoramento da degradação florestal por entidades governamentais do Brasil. *Research, Society and Development*, 11(5), e28811528323. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i5.28323>. Acesso em 25 de set 2024.

HEMATI, M. et al. A Systematic Review of Landsat Data for Change Detection Applications: 50 Years of Monitoring the Earth. *Remote Sensing*, v. 13, n. 15, p. 2869, 22 jul. 2021.

IBGE. Áreas Urbanizadas. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/tipologias-do-territorio/15789-areas-urbanizadas.html?=&t=o-que-e%20e%20https://www.ibge.gov.br/%20apps/areas_urbanizadas/#/home>. Acesso em: 7 mar. 2024.

JURADO, J. M. et al. Remote sensing image fusion on 3D scenarios: A review of applications for agriculture and forestry. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 112, p. 102856, ago. 2022.

KARTHIKEYAN, L.; CHAWLA, I.; MISHRA, A. K. A review of remote sensing applications in agriculture for food security: Crop growth and yield, irrigation, and crop losses. *Journal of Hydrology*, v. 586, p. 124905, 1 jul. 2020. Acesso em: 5 mar. 2024.

LANDSAT MISSIONS. Landsat Satellite Missions . . [S.l: s.n.], 2021.

LANDSAT SCIENCE. Timeline. . [S.l: s.n.], 2022.

LEE, K. et al. The Integration of Remote Sensing and Field Surveys to Detect Ecologically Damaged Areas for Restoration in South Korea. *Remote Sensing* 2020, Vol. 12, Page 3687, v. 12, n. 22, p. 3687, 10 nov. 2020. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2072-4292/12/22/3687/htm>>. Acesso em: 5 mar. 2024.

LUDWIG, C. et al. Mapping Public Urban Green Spaces Based on Open Street Map and Sentinel-2 Imagery Using Belief Functions. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 2021, Vol. 10, Page 251, v. 10, n. 4, p. 251, 9 abr. 2021. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2220-9964/10/4/251/htm>>. Acesso em: 5 mar. 2024.

MARIN, D. B. et al. Sensoriamento remoto multiespectral na identificação e mapeamento das variáveis bióticas e abióticas do cafeeiro. *Revista Ceres*, v. 66, n. 2, p. 142–153, 6 jun. 2019. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rceres/a/YLs8nLz9xQrPGSLLLDfNVtG/?lang=pt>>. Acesso em: 5 mar. 2024.

MARVIN, D. C. et al. Integrating technologies for scalable ecology and conservation. *Global Ecology and Conservation*, v. 7, p. 262–275, jul. 2016.

MILES, B. W. J.; BINGHAM, R. G. Progressive unanchoring of Antarctic ice shelves since 1973. *Nature*, v. 626, n. 8000, p. 785–791, 22 fev. 2024.

- NEGRI, R. G.; MENDES, T. S. G. Sensoriamento remoto, processamento de imagens e estudos ambientais. *Fronteiras da engenharia e ciências ambientais: perspectivas multidisciplinares*. [S.l.]: Editora UNESP, 2020. p. 219–243.
- NOVO, E M L D M., FERREIRA, L G., BARBOSA, C C F., CARVALHO, C., SANO, E E., SHIMABUKURO, Y E., HUETE, A., POTTER, C., ROBERTS, D.A., HESS, L.L., MELACK, J.J., YOSHIOKA, H., KLOOSTER, S., KUMAR, V., MYNENI, R.B., RATANA, P., DIDAN, K., & MIURA, T. (2005, June 1). Técnicas avançadas de sensoriamento remoto aplicadas ao estudo de mudanças climáticas e ao funcionamento dos ecossistemas amazônicos. <https://doi.org/10.1590/s0044-59672005000200016>.
- OSCO, L P., MARCATO, J., RAMOS, A P M., JORGE, L A D C., FATHOLAH, S N., SILVA, J D A., MATSUBARA, E T., PISTORI, H., GONÇALVES, W N., & LI, J. (2021, October 1). A review on deep learning in UAV remote sensing. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 102, 102456-102456. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102456>.
- PIMENTEL, J F F., ARENAS, R D., SANTILLÁN, S M S., APARICIO, P E G., & PIMENTEL, D E F. (2022, April 5). Application Of Remote Sensing In Environmental Studies: A Theoretical Review. <https://doi.org/10.38142/ijess.v3i1.1985>.
- PAIVA, P. F. P. R. et al. Deforestation in protectareas in theAmazon: a threattobiodiversity. *BiodiversityandConservation*, v. 29, n. 1, p. 19–38, 16 jan. 2020.
- PAVÃO, V. M. et al. Impacto da Conversão da Cobertura Natural em Pastagem e Área Urbana sobre Variáveis Biofísicas no Sul do Amazonas. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 32, n. 3, p. 343–351, 1 jul. 2017. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbmet/a/K386zvC79vGrclGgqBvGqPf/?lang=pt>>. Acesso em: 5 mar. 2024.
- QIU, J.; TAROLLI, P. High-resolution mapping offlood dynamics in croplandareausingmulti-temporal Sentinel-1 SAR. *EGU23*, 22 fev. 2023. Disponível em: <<https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU23/EGU23-9702.html>>. Acesso em: 5 mar. 2024.
- ROUSE, J. W. , JR. et al. Monitoringvegetation systems in theGreatPlainswith ERTS. NASA. Goddard Space FlightCenter 3d ERTS-1 Symp., Vol. 1, Sect. A, 1974. Acesso em: 7 mar. 2024.
- ROY, D. P. et al. Landsat-8: Science andproductvision for terrestrial global changeresearch. *Remote SensingofEnvironment*, v. 145, p. 154–172, 5 abr. 2014. Acesso em: 5 mar. 2024.
- SAID, H. et al. High-resolutionsoilmoisture mapping throughthe use ofCosmic-Ray Neutron Sensor and Sentinel-1 data for temperateandsemi-aridenvironments. *EGUGA*, p. EGU21-9688, 2021. Disponível em: <<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2021EGUGA..23.9688S/abstract>>. Acesso em: 5 mar. 2024.
- SEGARRA, J. et al. Remote Sensing for PrecisionAgriculture: Sentinel-2 Improved Features andApplications. *Agronomy*, v. 10, n. 5, p. 641, 1 maio 2020.
- SILVA, A.; BELTRÃO, N.; SANTOS, N. B. Utilizando imagens Sentinel-2 e índices espectrais para análise de severidade em áreas queimadas de origem antrópica: um estudo no sudeste da Amazônia. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 16, p. 489–504, 2023.
- SISHODIA, R. P.; RAY, R. L.; SINGH, S. K. Applicationsof Remote Sensing in PrecisionAgriculture: A Review. *Remote Sensing*, v. 12, n. 19, p. 3136, 24 set. 2020.

Shrivastava, S. (2020, July 2). A Review of Spatial Big Data Platforms, Opportunities, and Challenges. <https://doi.org/10.1080/09747338.2020.1835564>.

TARPANELLI, A.; MONDINI, A. C.; CAMICI, S. Effectiveness of Sentinel-1 and Sentinel-2 for flood detection assessment in Europe. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, v. 22, n. 8, p. 2473–2489, 2 ago. 2022. Acesso em: 5 mar. 2024.

URI, J. 65 Years Ago: Sputnik Ushers in the Space Age. . [S.l.: s.n.], 2022.

VELINOV, P. I. Y. Development of advanced space sciences after first artificial satellite. *Space Research and Technology Institute Bulgarian Academy of Sciences*, v. 29, p. 147–157, 2017. Acesso em: 5 mar. 2024.

VIDALIS-KELAGIANNIS, M. et al. GNSS and UAV in archeology: high-resolution mapping in Cephalonia Island, Greece. *GPS and GNSS Technology in Geosciences*, p. 371–390, 1 jan. 2021. Acesso em: 11 mar. 2024.

VUOLO, F. et al. Data Service Platform for Sentinel-2 Surface Reflectance and Value-Added Products: System Use and Examples. *Remote Sensing 2016*, Vol. 8, Page 938, v. 8, n. 11, p. 938, 11 nov. 2016. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2072-4292/8/11/938/htm>>. Acesso em: 5 mar. 2024.

WEI, J., & GUO, Y. (2018, July 5). The application of LiDAR in land resources survey. Jianxin Wei and Yanming Guo 2018 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 382 052026 DOI 10.1088/1757-899X/382/5/052026. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/382/5/052026>.

WULDER, M. A. et al. Fifty years of Landsat science and impacts. *Remote Sensing of Environment*, v. 280, p. 113195, 1 out. 2022. Acesso em: 5 mar. 2024.