



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO - PROPGI
COORDENADORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO - CPG
ESPECIALIZAÇÃO *Lato Sensu* EM RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

VAGNER PAZ DA SILVA

**A EVOLUÇÃO TEMPORAL DO SENSORIAMENTO REMOTO NO CONTEXTO
DA DETECÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS NA AMAZÔNIA: UMA REVISÃO
SISTEMÁTICA**

IMPERATRIZ
2022

VAGNER PAZ DA SILVA

**A EVOLUÇÃO TEMPORAL DO SENSORIAMENTO REMOTO NO CONTEXTO
DA DETECÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS NA AMAZÔNIA: UMA REVISÃO
SISTEMÁTICA**

Monografia apresentada ao curso de Especialização *Lato Sensu* em Recuperação de Áreas Degradadas da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão - UEMASUL, como requisito para obtenção do diploma.

Orientador: Prof. DSc. José Fábio França Orlanda

IMPERATRIZ
2022

S586e

Silva, Vagner Paz da

A evolução temporal do sensoriamento remoto no contexto da detecção de áreas degradadas na Amazônia: uma revisão sistemática. / Vagner Paz da Silva – Imperatriz, MA, 2022.

15 f.; il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Recuperação de Áreas Degradadas) – Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, Imperatriz, MA, 2022.

1. Amazônia. 2. Sensoriamento remoto. 3. Áreas degradadas. 4. Imperatriz - MA. I. Título.

CDU 630*9(8)

Ficha elaborada pelo Bibliotecário: **Mateus de Araújo Souza CRB13/955**

VAGNER PAZ DA SILVA

**A EVOLUÇÃO TEMPORAL DO SENSORIAMENTO REMOTO NO CONTEXTO
DA DETECÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS NA AMAZÔNIA: UMA REVISÃO
SISTEMÁTICA**

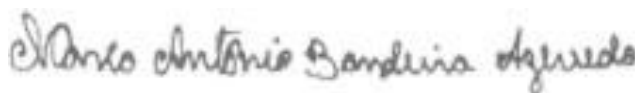
Monografia apresentada ao Curso de Especialização *Lato Sensu* em Recuperação de Áreas Degradadas da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão - UEMASUL, como requisito para obtenção do diploma.

Aprovado em: 10/01/2023

BANCA EXAMINADORA



Prof. DSc. José Fábio França Orlanda
Doutor em Química
(Orientador)



Prof. DSc. Marco Antônio Bandeira Azevedo
Doutor em Química



Prof. MSc. Dalton Henrique Ângelo
Mestre em Ciências Florestais e Ambientais

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	7
2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	9
3	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	9
	3.1Análise dos artigos pela técnica utilizada.....	11
	3.2Análise dos artigos pela aplicação do Sensoriamento Remoto.....	12
	3.3Evolução Temporal.....	13
4	CONCLUSÃO.....	14
5	REFERÊNCIAS.....	15

Trabalho apresentado no modelo da revista:

RESEARCH, SOCIETY AND DEVELOPMENT

Somos A3 no novo Qualis



A revista Research, Society And Development (cujo título abreviado é Res., Soc. Dev.) é uma publicação científica multidisciplinar focada em promover o desenvolvimento social, científico e tecnológico através da publicação de descobertas ocorridas nas diferentes áreas. Trata-se de um periódico mensal, que publica diversos tipos de manuscrito, tais como artigos científicos, resenhas e case teaching nas diversas áreas do conhecimento. A revista recebe muitas contribuições em Português, Inglês, Espanhol ou outro idioma (sob consulta), de pesquisadores da área de Ensino, o que permite avaliar e publicar também objetos educacionais.

A EVOLUÇÃO TEMPORAL DO SENSORIAMENTO REMOTO NO CONTEXTO DA DETECÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS NA AMAZÔNIA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

THE TEMPORAL EVOLUTION OF REMOTE SENSING IN THE CONTEXT OF DEGRADED AREAS DETECTION IN THE AMAZON: A SYSTEMATIC REVIEW

LA EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA TELEDETECCIÓN EN EL CONTEXTO DE LA DETECCIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS EN LA AMAZONIA: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

RESUMO

Localizada na América do Sul, a floresta amazônica representa um terço das florestas do planeta. Constituindo-se como um bioma imprescindível para o equilíbrio terrestre, concentrando a maior diversidade de espécies do planeta. De sua extensão, que inclui 6 países, cerca de 61% encontra-se dentro do território brasileiro. Dado a grande importância do monitoramento ambiental, sobretudo para países de proporções continentais como o Brasil, o presente trabalho teve como objetivo analisar e descrever a evolução cronológica do sensoriamento remoto face ao estudo de áreas degradadas. Para isso, se utilizou de uma busca sistemática na literatura científica nas bases “Web of Science” e “Google Scholar”, no momento em que foram utilizados os descritores: “Sensoriamento Remoto”, “Amazônia” e “Degradação”. Considerando apenas trabalhos publicados entre os anos 2000 e 2022, após a leitura do título e resumo de artigos potencialmente aptos para compor a revisão, e aplicação de critérios de inclusão e exclusão, foram selecionados um total de 19 artigos para fazer este estudo. Os resultados apontaram para a importância do sensoriamento remoto no contexto de detecção e monitoramento de áreas degradadas, pois foi perceptível a través da literatura analisada que os produtos de sensoriamento remoto possibilitaram avanços incontestáveis no monitoramento da Amazônia nos últimos anos. Em especial, pôde ser notado a evolução temporal do sensoriamento com finalidade de monitoramento ambiental a partir do surgimento de novas técnicas e/ou incorporação de ferramentas para aumentar a robustez das análises espaciais.

PALAVRAS-CHAVE: Bioma amazônico; Monitoramento; Impactos Ambientais.

ABSTRACT

Located in South America, the Amazon rainforest represents one third of the planet's forests. Constituting itself as an essential biome for the terrestrial balance, concentrating the greatest diversity of species on the planet. Of its extension, which includes 6 countries, about 61% is within Brazilian territory. Given the great importance of environmental monitoring, especially for countries of continental proportions like Brazil. The objective of this study was to analyze and describe the chronological

evolution of remote sensing in relation to the study of degraded areas. For this, a systematic search was used in the scientific literature in the “Web of Science” and “Google Scholar” databases, when the descriptors were used: “Remote Sensing”, “Amazon” and “Degradation”. Considering only works published between the years 2000 and 2022, after reading the title and abstract of articles potentially suitable for composing the review, and applying inclusion and exclusion criteria, a total of 19 articles were selected for this study. The results pointed to the importance of remote sensing in the context of detection and monitoring of degraded areas, as it was noticeable through the analyzed literature that remote sensing products made possible undeniable advances in monitoring the Amazon in recent years. In particular, the temporal evolution of sensing for the purpose of environmental monitoring could be noted from the emergence of new techniques and/or incorporation of tools to increase the robustness of spatial analyses.

KEY WORDS: Amazon biome; Monitoring; Environmental Impacts.

RESUMEN

Ubicada en América del Sur, la selva amazónica representa un tercio de los bosques del planeta. Constituyéndose como un bioma esencial para el equilibrio terrestre, concentrando la mayor diversidad de especies del planeta. De su extensión, que incluye 6 países, cerca del 61% está dentro del territorio brasileño. Dada la gran importancia del monitoreo ambiental, especialmente para países de proporciones continentales como Brasil. El objetivo de este estudio fue analizar y describir la evolución cronológica de la teledetección en relación con el estudio de áreas degradadas. Para ello se utilizó una búsqueda sistemática en la literatura científica en las bases de datos “Web of Science” y “Google Scholar”, cuando se utilizaron los descriptores: “Remote Sensing”, “Amazon” y “Degradation”. Considerando sólo los trabajos publicados entre los años 2000 y 2022, después de leer el título y el resumen de los artículos potencialmente aptos para la composición de la revisión, y aplicar los criterios de inclusión y exclusión, se seleccionaron un total de 19 artículos para este estudio. Los resultados señalaron la importancia de la teledetección en el contexto de la detección y monitoreo de áreas degradadas, ya que se percibió a través de la literatura analizada que los productos de teledetección posibilitaron avances innegables en el monitoreo de la Amazonía en los últimos años. En particular, se pudo notar la evolución temporal de la detección con fines de monitoreo ambiental a partir del surgimiento de nuevas técnicas y/o incorporación de herramientas para aumentar la robustez de los análisis espaciales.

.PALABRAS CLAVE: Amazon Biome; monitorización; Impactos Ambientales.

INTRODUÇÃO

A floresta amazônica localizada na América do Sul é considerada a maior floresta tropical da terra, de suma importância para o equilíbrio do planeta. Cerca de 61% desse bioma encontra-se dentro do território brasileiro, e 40% cobre a América do Sul e aproximadamente 31% representa a área de floresta tropical úmida do mundo, formando um bioma com rico ecossistema e maior diversidade de espécies (BATISTA, 2021).

A Amazônia desempenha importantes funções, entre elas, encontra-se o ajustamento e normalização do clima, globalmente e regionalmente, devido as árvores possibilitarem a remoção do dióxido de carbono do ar ocasionando a redução do efeito estufa, principal responsável pelo aquecimento global. Pesquisadores estimam que cerca de 100 bilhões de toneladas de carbono, estão armazenadas na floresta amazônica. Outro ponto em destaque na região é a bacia amazônica, apontada como dois terços do fornecimento de água doce do planeta. (BATISTA, 2021).

Desta forma a ciência enfatiza a preservação do uso racional dos recursos florestais, entretanto intervenções antropogênicas de forma exploratória vêm provocando danos ambientais na floresta amazônica. Há décadas, a região faz parte do plano de desenvolvimento do país devido o vasto território, abundância de riquezas minerais, madeira e outros recursos naturais. Por ser abundante em muitos aspectos, esse bioma sofre com diversos problemas, oriundo das atividades como agropecuária, mineração, indústrias químicas e outros grandes empreendimentos que em sua instalação ou processos geram

impactos ambientais negativos (SANTANA, 2021).

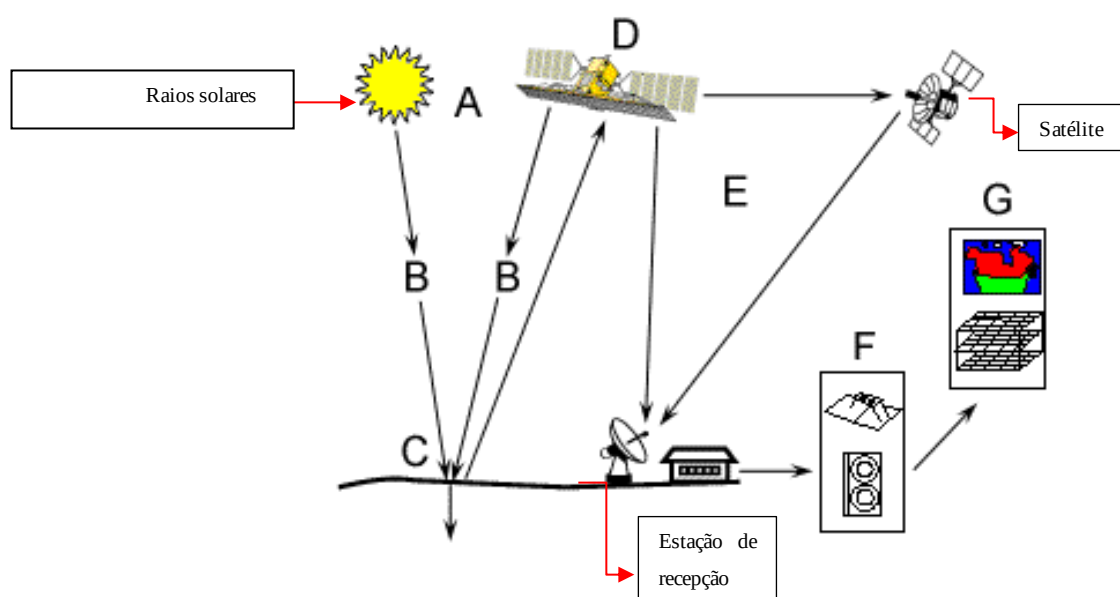
Hoje já é notório o efeito das atividades mineradoras na poluição de rios e lagos, o impacto no meio ambiente por construções de hidrelétricas, a retirada total ou parcial da cobertura florestal, o uso inadequado de áreas, dentre outras, reduzindo biodiversidade (ROSSONI, 2020; VAREDA, 2019). No contexto de exploração, o bioma amazônico tem gerado inúmeras áreas degradadas. A degradação ambiental corresponde às alterações cometidas aos ecossistemas naturais, que produzem mudanças em suas características físicas, químicas e biológicas de forma prejudicial, comprometendo sua capacidade de regeneração natural que no princípio era possível, consequentemente sendo imprescindível a recuperação dessas áreas (MACHÁČEK, 2018).

O processo de degradação das terras e consequentemente da natureza é considerado um problema global. Afeta o meio econômico e social, produzindo enormes prejuízos (MATRICARDI et al., 2020). Os ecossistemas florestais sofrem com a degradação, devido à falta de ação eficaz no uso dos recursos provenientes da mata. Com isso surgiram programas e tecnologias visando à recuperação desses ambientes, os quais consideram vários fatores, entre eles o ecológico, o social, o econômico dentre outros. (GRANDE, 2018).

As medidas para mitigar os danos catastróficos na floresta amazônica ocorrem através das fiscalizações físicas por meio de órgãos como o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e conduzidas pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA). É realizada também uma análise primordial do monitoramento da cobertura florestal notadamente na Região Amazônica, por meio do Projeto de Estimativa do Desflorestamento da Amazônia (PRODES), pelo Sistema Detecção de Desmatamento em Tempo Real (DETER) e o Sistema Mapeamento da Degradação Florestal na Amazônia Brasileira (DEGRAD).

Dentro desse contexto, tecnologias voltadas para o monitoramento e detecção de áreas degradadas visando a proteção da Amazônia tem auxiliado no manejo da região. Weiss (2020) conceitua o sensoriamento remoto, como a área das ciências aplicadas que se destina à obtenção de imagens adquiridas por meio de sensores remotos de radiação eletromagnética onde é registrado o meio físico, podendo ser interpretadas as informações geradas, na (Figura 1) é apresentado o funcionamento dessa tecnologia.

Figura 1 - Elementos do Sensoriamento Remoto



Fonte: Moura et al, 2017.

Há três tipos de sensoriamento, aéreo (drones e vants), o terrestre (sensores unidos em máquinas agrícolas) e orbital (satélites), eles captam como a radiação interage com os alvos, a energia refletida, a variação dos comprimentos de onda e das faixas espectrais (COSTA, 2019). Os sensores chamados de passivos necessitam de fonte de luz externa geralmente proveniente

do solo e o sensor ativo emite luz própria, essa energia é denominada reflectância, absorvância e transmitância (COSTA, 2019; MOLIN et al., 2015).

As utilidades das técnicas de sensoriamento remoto nas análises ambientais têm se tornado uma prática frequente entre as diversas áreas de pesquisa. Em bacias hidrográficas, na formação de ilhas de calor, uso do solo e cobertura vegetal, estas técnicas contribuem de modo expressivo para a rapidez, eficiência e confiabilidade nas análises que envolvem os processos de degradação da vegetação natural, e outros parâmetros que podem influenciar em modificações do ambiente natural (ABAD-SEGURA et al., 2020).

A detecção por meio de geotecnologias de áreas degradadas surge como importantes aliadas no combate à degradação ambiental da Amazônia, sob essa perspectiva o presente estudo busca analisar como as técnicas de sensoriamento remoto têm sido aplicadas na identificação de área degradadas na Amazônia brasileira no período de 2000 a 2022, através de levantamento bibliográfico. Contribuindo com pesquisas neste ramo e conhecimento por meio da investigação científica de trabalhos publicados e evolução do tema na região.

MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia empregada se pautou na pesquisa quali-quantitativa por meio de análise bibliométrica, utilizada com propósito exploratório-descritivo, com intuito de descobrir e interpretar os fatos que estão definidos em um cenário. Para Allan (2020) o fenômeno é importante, pois a quantidade é uma tradução dos números que demonstram algum objetivo, e também é necessário que seja interpretada os detalhes dessa quantidade para compreender a dificuldade e o significado dos dados dando vista ao termo qualitativamente. Com isso foram realizadas buscas na literatura científica, via bases de dados: “Web of Science” e “Google Scholar”.

Na base de dados “Web of Science” utilizou-se os descritores: “Sensoriamento Remoto”, “Amazônia” e “Degradação” onde detectou-se 80 artigos, os quais, no primeiro momento, passaram pela leitura do título e resumo, para selecionar alguns potencialmente capazes de compor a revisão. A partir da seleção dos artigos potenciais, passou-se para aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, conforme é visto no (Quadro 1), ao final restando 9 artigos para compor este trabalho. E na base “Google Scholar” foi realizada buscas com os mesmos descritores, sendo identificado 7.380 artigos, seguiu-se com a leitura do título e resumo de alguns potencialmente relevantes para o estudo, e posteriormente, foram aplicados aos critérios de inclusão e exclusão, onde ao final, selecionou-se 10 artigos para compor este trabalho.

Tabela 1- Critérios de inclusão e exclusão de artigos.

Critérios de Inclusão	Critérios de Exclusão
Artigo Original Completo	Carta ao Editor
Revisão Sistemática e Meta-análise	Artigo de Opinião
Artigos de Acesso Aberto	Não Engloba a Temática

Fonte: Autores.

Vale ressaltar que se considerou somente trabalhos completos, nos idiomas português, inglês e espanhol, disponíveis gratuitamente, do tipo artigo original e publicados em um intervalo de tempo que compreende entre os anos 2000 e 2022. A revisão ficou composta por 19 artigos completos, os quais foram lidos integralmente e analisados de maneira profunda, seguindo após isso, para a elaboração da síntese de cada artigo no Microsoft Excel, para finalmente proceder na escrita do texto.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apontaram que o sensoriamento remoto tem sido utilizado em diversos contextos de aplicações ambientais. A obtenção de dados remotos, pode ser usada para integrar os monitoramentos a campo, dependendo da velocidade de

processamento, os dados e mapas podem ser disponibilizados praticamente em tempo real ou em frequências regulares (ARAULO, 2020; LOBO et al., 2017; CHELOTTI, 2018). Esse estudo se propôs analisar a aplicabilidade do SR na gestão ambiental, particularmente na detecção de áreas degradadas no contexto da Amazônia brasileira à luz da literatura científica. No (Quadro 2), a seguir, são apresentadas informações sobre os 19 artigos selecionados para compor o presente estudo.

Tabela 2 - Artigos incluídos na Revisão.

Título do Texto	Autor(es)	Periódico	Base de busca
Uso de técnicas de sensoriamento remoto na detecção de processos de degradação de pastagens	Andrade et al., 2013.	Revista Engenharia na Agricultura	Web of Science
MODIS Time Series to Detect Anthropogenic Interventions and Degradation Processes in Tropical Pasture	Aguiar et al., 2017.	Remote Sensing	Web of Science
Deteção da expansão da área minerada no quadrilátero ferrífero, minas gerais, no período de 1985 a 2011 através de técnicas de sensoriamento remoto	Diniz et al., 2014.	Boletim de Ciências Geodésicas	Web of Science
The Red Queen race in Brazilian Amazon deforestation: the necessity of a sustainable economy to zero deforestation	Souza e Junior, 2015.	Natureza e Conservação	Web of Science
Assessment of deforestation in near real time over the Brazilian Amazon using multitemporal fraction images derived from Terra MODIS	Anderson et al., 2005	IEEE	Web of Science
Mapping and monitoring deforestation areas in Amazon region using semi-automatic classification of Landsat Thematic	Shimabukuro et al., 2000.	IEEE	Web of Science
Fraction Images Derived From Terra MODIS Data for Mapping Burned Area in Acre State, Brazilian Amazonia	Shimabukuro et al., 2009.	IEEE	Web of Science
Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon	Morton et al., 2006.	Proc Natl Acad Sci USA	Web of Science
Potencial de dados multiespectrais e hiperespectrais para detectar solos expostos à salinidade no Brasil	Moreira et al., 2015.	GIScience & Remote Sensing	Web of Science
UMA CONTRIBUIÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA DETECÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS NA CAATINGA BRASILEIRA	Pacheco et al., 2006.	Boletim Goiano de Geografia	Google Scholar

Sensoriamento remoto e recursos naturais da Amazônia.	Souza Filho et al, 2006.	Ciência e Cultura	Google Scholar
Processamento digital de imagens multitemporais Landsat-5 TM e JERS-1 SAR aplicado ao mapeamento e monitoramento de áreas de alteração antrópica na Amazônia	Shimabukuro e Almeida Filho, 2002.	Geografia	Google Scholar
Hidrogeomorfometria e índice de desmatamento da microbacia Rio dos Veados, Amazônia Ocidental, Brasil	Panza et al., 2021.	RICA	Google Scholar
Características da paisagem para manejo dos recursos naturais na microbacia do Rio Jacuá, Amazônia Ocidental, Brasil.	Távora et al., 2011.	Boletim Científico ESMPU	Google Scholar
Identificação de classes de cobertura da terra na Amazônia utilizando imagens ALOS/PALSAR e classificação Orientada a objeto	Prado et al., 2010.	Revista Brasileira de Cartografia	Google Scholar
Índice de desmatamento na Bacia do Rio Bamburro durante período de 1985 a 2015, Amazônia Ocidental, Brasil	Vendruscolo et al., 2016.	Revista Geográfica Venezuelana	Google Scholar
Perda de vegetação e Políticas Públicas: Estudo de uma Área de Assentamento de Reforma Agrária na Amazônia Meridional.	Lima et al., 2020.	Revista de Ciências Agrárias	Google Scholar
Sensoriamento remoto como instrumento de controle e proteção ambiental: análise da cobertura vegetal remanescente na Bacia do Rio Araguaia.	Mascarenhas et al., 2009.	Sociedade e Natureza	Google Scholar
Aplicação do modelo linear de mistura espectral para mapeamento de pastagens degradadas e solo exposto na Amazônia.	Lea et al., 2020.	NATIVA: Pesquisas Agrárias e Ambientais	Google Scholar

Fonte: Autores.

Análise dos artigos pela técnica utilizada

Em todos os artigos escolhidos foi aplicado alguma técnica que utilizasse produto de sensoriamento remoto. Nesse aspecto, existe diversas missões e projetos que fornecem tais produtos. Abaixo, no (Quadro 3) é possível observar a origem do produto utilizado e a quantidade de artigos que o utilizou.

Tabela 3 - Origem do produto de sensoriamento remoto.

Origem do produto de Sensoriamento Remoto	Artigos em que é utilizado
LANDSAT	12
MODIS	4

CIBERS	2
SPOT	1
ALOS	1

Fonte: Autores.

É perceptível que a maioria dos produtos utilizados nos estudos selecionados, são de origem da missão *LandSat*, isso se deve ao fato das missões *LandSat* serem pioneiras na geração de informações sobre observação da terra. Nesse sentido, a série para fins de SR teve início em 1975, a partir de um projeto desenvolvido pela Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA), sendo dedicado exclusivamente à observação dos recursos naturais terrestres (INPE, 2022).

O satélite *LandSat-1* foi o primeiro satélite de sensoriamento remoto no mundo. A missão perdura atualmente através do satélite *LandSat-8*. Apesar de ser a primeira missão para formação de produtos no sensoriamento remoto, nunca perdeu sua importância, sendo utilizadas em grande parte das pesquisas espaciais atuais, sobretudo quando objetiva-se analisar algum fenômeno ambiental temporalmente (FRUTUOSO et al., 2021).

Análise dos artigos pela aplicação do Sensoriamento Remoto

É importante destacar que outras missões mais recentes também vêm ganhando espaço no contexto de observação terrestre, como é o caso do satélite CIBERS-4, fruto de um acordo sino-brasileiro. Outro dado importante acerca dos artigos selecionados é a respeito do contexto de aplicação do sensoriamento remoto. Desta forma, no (Quadro 4) é mencionado a divisão dos artigos selecionados por contexto.

Tabela 4 - Aplicação do sensoriamento remoto no estudo de degradação em diferentes contextos.

Contexto de degradação	Quantidade de artigos
Pastagem (pecuária)	4
Mineração	1
Desmatamento e queimadas	12
Agricultura	2

Fonte: Autores.

O Quadro 4 aponta para os principais problemas ocorrentes na Amazônia brasileira, dentre os quais o desmatamento e as queimadas destaques negativos. Os estudos de Panza et al. (2021), Panza et al. (2020), Shimabukuro et al. (2009), Shimabukuro et al. (2002), Shimabukuro et al. (2006), Morton et al. (2006), Vendruscolo et al. (2016), Souza e Junior (2015), Távora et al. (2011), Prado et al. (2010), Pacheco et al. (2006) e Anderson et al. (2005) corroboram nesse aspecto.

Dentre os trabalhos que buscaram detectar áreas degradadas seja em qualquer contexto, uma importante característica notada é a necessidade de se utilizar dados históricos de SR. A comparação entre cenas históricas é quase protocolar para detectar um alvo em degradação. Nesse sentido, Panza et al. (2020), em seu estudo na Amazônia ocidental brasileira, concluíram que entre os anos de 1994 e 2020 a área de estudo perdeu cerca de 76,42% da sua floresta nativa.

Logo a partir da primeira missão *LandSat*, em 1975, diversos estudos vêm demonstrando preocupação no monitoramento e detecção de áreas degradadas na Amazônia. Nesse aspecto, é importante ressaltar um avanço e aprimoramento crescente e natural das técnicas utilizadas para esse fim no transcorrer do tempo. Tomando como exemplo Shimabukuro et al. (2002), Pacheco et al. (2006), Morton et al. (2006) e Shimabukuro et al. (2009) em suas pesquisas utilizaram apenas técnicas de classificação supervisionada ou não supervisionada para detectar mudanças na Amazônia.

Anderson et al. (2005) traz uma comparação entre duas técnicas para detecção de áreas degradadas, uma utilizando modelo linear para tratar resposta espectral oriundas de produto MODIS e outra uma técnica básica de classificação via produto de origem *LandSat*. Os resultados apontaram que a técnica que incorporou tratamento estatístico foi mais eficiente para analisar o fenômeno estudado.

Mascarenhas et al. (2009) utilizaram Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para analisar a cobertura vegetal de uma bacia hidrográfica da região. Com relação ao NDVI, indicam a proporção de vegetação fotossinteticamente ativa. Com valores variando entre -1 e 1, quanto mais próximos de 1, mais densa e vigorosa é a cobertura vegetal. Por outro lado, valores tendendo a zero ou negativos indicam a ocorrência de solo, água, ou vegetação em processo de senescência, como é o caso das pastagens que predominam nas áreas antropizadas (MASCARENHAS et al., 2009).

Seguindo essa cronologia, mais recente Moreira et al. (2011), Souza e Junior (2015), Távora et al. (2015), Lima et al. (2020), Leal et al. (2020), Panza et al. (2021) integraram técnicas estatísticas nas análises de dados de sensoriamento remoto. A utilização da chamada assinatura espectral de alvos terrestres já estava mais difundida. Assim, a mesclagem de técnicas no tratamento de dados sensoriais de maior qualidade possibilitou um avanço significativo em estudos de sensoriamento remoto para detecção de áreas com degradação.

Dentre os trabalhos dos autores citados mais recente considerando a cronologia, (3 trabalhos), os Távora et al. (2011), Moreira et al. (2015) e Leal et al. (2020) realizaram estudos utilizando Índice de Vegetação (IV) para detectar solos expostos à salinidade, áreas degradadas por atividades da pecuária e avaliação da recuperação de áreas degradadas, respectivamente. Já os demais estudos, trazem um viés mais estatístico para tratamento de dados de sensoriamento remoto.

O estudo de Souza e Junior (2015) trouxe uma análise estatística descritiva comparando dados de sensoriamento sobre desmatamento com dados de crescimento econômico na Amazônia brasileira. Panza et al. (2021) realizaram um estudo de caracterização hidrogeomorfológica e índice de vegetação. No trabalho de Panza et al. (2021) pôde-se contemplar um produto não muito recorrente nos estudos considerados, trata-se da utilização de Modelo Digital de Elevação (MDE), importante ferramenta para estudar variação de algum fenômeno influenciado pela altitude, como por exemplo a temperatura do ar. A pesquisa de Távora et al. (2011) utilizou NDVI para avaliar a recuperação de áreas degradadas e concluiu que o índice tem relação forte com a densidade foliar e pode ser empregado para avaliar a evolução temporal da recuperação de uma área degradada.

Evolução Temporal

A partir dos estudos analisados nesse trabalho, pôde-se esboçar uma linha cronológica (Figura 2), dividida em 3 principais momentos, os quais organizam temporalmente a aplicação do sensoriamento remoto na detecção e monitoramento de áreas degradadas na Amazônia. De acordo com os estudos de Almeida (2022) a evolução do sensoriamento remoto em áreas urbanas e rurais é vista de acordo com a melhora na qualidade de imagens e dados obtidos por meio das adaptações ao longo dos anos no ramo. Dos Santos (2020) menciona os resultados positivos e retrata o aumento do uso dessa tecnologia em áreas expostas a degradação ambiental.

Figura 2 - Evolução temporal do sensoriamento remoto para estudo de áreas degradadas.

Fonte: Autores, 2023.

CONCLUSÃO

O presente estudo analisou 19 artigos onde foi possível através destes descrever a evolução temporal do sensoriamento remoto face ao estudo de áreas degradadas. Os produtos de sensoriamento remoto possibilitaram avanços incontestáveis no monitoramento terrestre. Tais avanços tem contribuído para a melhor compreensão do sistema terrestre por meio de pesquisas científicas.

No âmbito da detecção e monitoramento de áreas degradadas vimos o quão importante são as ferramentas e técnicas de sensoriamento remoto pois de todas as possíveis aplicabilidade constatou-se que o Sensoriamento Remoto é mais utilizado nas atividades de desmatamento e queimadas. É importante ressaltar a aplicação conjunta com outras áreas para tratamento de dados de sensoriamento remoto, em especial a estatística, que tem contribuído significativamente com técnicas atualmente já consolidadas no meio científico e profissional.

Observou-se que o Landsat 8 é uma das tecnologias mais usual no SR, bem como as técnicas que o acompanha. Especialmente na Amazônia a evolução do SR pelo landsat 8 apresentou maior crescimento nos anos 2010 até 2022 de acordo com a análise da evolução temporal na região. Desta forma conclui-se que a floresta amazônica é um patrimônio ambiental importantíssimo para o equilíbrio do sistema natureza e homem, e que sistemas tecnológicos colaboram para um manejo sustentável dos recursos naturais.

REFERÊNCIAS

- Abad-Segura, E., González-Zamar, M. D., Vázquez-Cano, E., & López-Meneses, E. (2020). Remote sensing applied in forest management to optimize ecosystem services: advances in research. *Forests*, 11(9), 969.
- Aguiar, D., Mello, M., Nogueira, S., Gonçalves, F., Adami, M., & Rudorff, B. (2017). MODIS Time Series to Detect Anthropogenic Interventions and Degradation Processes in Tropical Pasture. *Remote Sensing*, 9(1), 73.
- Allan, G. (2020). Qualitative research. In *Handbook for research students in the social sciences* (pp. 177-189). Routledge.
- Anderson, L. O., Shimabukuro, Y. E., Defries, R. S., & Morton, D. (2005). Assessment of Deforestation in Near Real Time Over the Brazilian Amazon Using Multitemporal Fraction Images Derived From Terra MODIS. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2(3), 315–318.
- Andrade, R. G., Rodrigues, C. A. G., Sanches, I. D., Torresan, F. E., & Quartaroli, C. F. (2013). USO DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO NA DETECÇÃO DE PROCESSOS DE DEGRADAÇÃO DE PASTAGENS. *Revista Engenharia Na Agricultura - REVENG*, 21(3), 234–243.
- Cordell, S., Questad, E. J., Asner, G. P., Kinney, K. M., Thaxton, J. M., Uowolo, A., Brooks, S., & Chynoweth, M. W. (2016). Remote sensing for restoration planning: how the big picture can inform stakeholders. *Restoration Ecology*, 25, S147–S154.
- Costa, W. C. A. (2019). Caracterização agrônômica da cultura do café com auxílio de ferramentas do controle estatístico e sensoriamento remoto terrestre.
- de Almeida Herbst, I., & de Lucena, A. J. (2022). ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA EVOLUÇÃO DO IBI E NDVI NA ZONA OESTE DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO/RJ ENTRE 2001 E 2020. *Revista de Geografia-PPGEO-UFJF*, 12(2), 139-161.
- Diniz, J. M. F. de S., Reis, A. A. dos, Acerbi Junior, F. W., & Gomide, L. R. (2014). DETECÇÃO DA EXPANSÃO DA ÁREA MINERADA NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MINAS GERAIS, NO PERÍODO DE 1985 A 2011 ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 20, 683–700.
- dos Santos, J. P. A., Lima, M. C., Alves, R. O., & de Lima, F. J. (2020). SENSORIAMENTO REMOTO E ANÁLISE TEMPORAL DE DADOS NDVI EM ÁREAS DO MACIÇO RESIDUAL DE ÁGUA BRANCA E SEU ENTORNO, SEMIÁRIDO DE ALAGOAS. *Revista Homem, Espaço e Tempo*, 14(1), 164–177.
- Frutuoso, R., Lima, A., & Teodoro, A. C. (2021). Application of remote sensing data in gold exploration: Targeting hydrothermal alteration using Landsat 8 imagery in northern Portugal. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(6), 1-18.
- Galvão, L.S. et al. (2015). Following a site-specific secondary succession in the Amazon using the Landsat CDR product and field inventory data. *International Journal of Remote Sensing*, v. 36, n. 2.
- GATTI, B. A. (2002). A produção da pesquisa em educação no Brasil e suas implicações. _____. *A Construção da Pesquisa em Educação no Brasil*. Brasília: Plano Editora, 09-40.
- Grande, C., & do Sul, M. G. (2018). Avaliação da recuperação de uma área degradada com espécies arbóreas melíferas.
- Leal, F. A., Almeida, M. P. de, & Leal, G. D. S. A. (2020). APLICAÇÃO DO MODELO LINEAR DE MISTURA ESPECTRAL PARA MAPEAMENTO DE PASTAGENS DEGRADADAS E SOLO EXPOSTO NA AMAZÔNIA. *Nativa*, 8(3), 352–360.
- Leal, J.V., Todt, V. (2012). O USO DE SIG PARA MONITORAMENTO DE ÁREAS DEGRADADAS - ESTUDO DE CASO: APP DO ARROIO GIL, TRIUNFO-RS. *Revista Brasileira de Cartografia*, 5(1), p 967-983.
- LILLESAND, T. M. & KIEFER, R. W., (1987). Remote sensing and image interpretation. 2. Ed. New York: J. Wiley, 850p.
- Lima, R. B. de, Lima, S. M. B. da S. B. de, Calvi, M. F., & Moraes, V. A. de. (2020). Perda de vegetação e Políticas Públicas: Estudo de uma Área de Assentamento de Reforma Agrária na Amazônia Meridional. *Revista de Ciências Agrárias*, 43(2), 231–239.
- LIMA, R. C. C., Cavalcante, A.M.B., Filho, J.F. (2013). Avaliação do processo de desertificação no semiárido paraibano utilizando geotecnologias. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. Anais. Curitiba: INPE, p.68-74.
- LU, E. MORAN, S. HETRICK and LI, G. (2010). Land-use and land-cover change detection, *Advances in Environmental Remote Sensing*, Q. Weng, ed. Taylor & Francis, Inc. (Chapter 11), 273-288.
- Macháček, J. (2019). Tipologia dos impactos ambientais da mineração artesanal e de pequena escala na região africana dos Grandes Lagos. *Sustentabilidade*, 11 (11), 3027.
- Marconi, M. D. A., & Lakatos, E. M. (2003). *Fundamentos de metodologia científica*. atlas.
- dos Santosi, L. C. AUTORES, OBRAS, EDIÇÕES E EDITORAS NA ÁREA DE METODOLOGIA E.
- Mascarenhas, L.M.A. et al. (2009). Sensoriamento remoto como instrumento de controle e proteção ambiental: análise da cobertura vegetal remanescente na Bacia do Rio Araguaia. *Soc. nat.*, 21(1), Abr.
- Matricardi, E. A. T., Skole, D. L., Costa, O. B., Pedlowski, M. A., Samek, J. H., & Miguel, E. P. (2020). Long-term forest degradation surpasses deforestation in the Brazilian Amazon. *Science*, 369(6509), 1378-1382.

- Moreira, L. C. J., Teixeira, A. dos S., & Galvão, L. S. (2015). Potential of multispectral and hyperspectral data to detect saline-exposed soils in Brazil. *GIScience & Remote Sensing*, 52(4), 416–436.
- Morton, DC, DeFries, RS, Shimabukuro, YE, Anderson, LO, Arai, E., del Bon Espirito-Santo, F., ... & Morisette, J. (2006). A expansão das terras agrícolas altera a dinâmica do desmatamento no sul da Amazônia brasileira. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103 (39), 14637-14641.
- Lopes, ACA, & Nascimento, WM (2012). Dormência em sementes de hortaliças.
- Pacheco, A., Freire, N.C.F., Borges, U.N. (2006) UNA CONTRIBUCIÓN DE DETECCIÓN REMOTA PARA EL DESCUBRIMIENTO DE ÁREAS DEGRADADO EN LA SABANA BRASILEÑA. *Boletim Goiano de Geografia*, 26(1), 13p.
- Pacheco, A., Silva, B.B., Mariano, G. (2014) DESERTIFICAÇÃO: CONTEXTUALIZAÇÃO E SENSORIAMENTO
- Paiva et al. (2007). USO DE IMAGENS MODIS E TM PARA A DETECÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS NA SUB-BACIA DO TAPEROÁ – PB. SGF, UFV.
- Panza, M. R., Souza, T. W. S. de, Donegá, M. V. B., Lima, M. M. de, Saraiva, J. G., Pacheco, F. M. P., Cavaleiro, W. C. S., & Vendruscolo, J. (2021). Hidrogeomorfometria e índice de desmatamento da microbacia Rio dos Veados, Amazônia Ocidental, Brasil. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 12(4), 399–411.
- Prado, B.R., Martins, V., Hayakawa, E., Batista, J., Júnior, T., & Shimabukuro, Y. (2010) Identificação de classes de cobertura da terra na Amazônia utilizando imagens ALOS/PALSAR e classificação orientada a objeto. *Revista Brasileira de Cartografia*, 3(62).
- Rosa, J. C. S., Souza, B. A., & Sánchez, L. E. (2020). Identificação de serviços ecossistêmicos em áreas de floresta mediante sensoriamento remoto. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 53.
- ROSENDO, J. S. (2005). Índices de vegetação e monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na bacia do rio Araguaí-MG, utilizando dados do sensor MODIS. Dissertação (Mestrado em Geografia). Uberlândia, MG.
- Rossoni, R. A., & de MORAES, M. L. (2020). Agropecuária e desmatamento na Amazônia Legal Brasileira: uma análise espacial entre 2007 e 2017. *Geografia em Questão*, 13(3).
- Sá, S., Josicléda, Galvêncio, D., Avenida, & Rego, M. (2008) Uso do índice de vegetação da diferença normalizada (IVDN) para caracterização a cobertura vegetal da região do Araripe Pernambucano. *Revista Brasileira de Geografia Física, Recife*. v.1. p.28-38.
- Santana, Á. G., Teixeira, C. N., & de Moura Junior, J. V. (2021). A importância da inteligência artificial nos Tribunais Brasileiros para o direcionamento de Políticas Públicas Ambientais na Amazônia. *P2P E INOVAÇÃO*, 7, 118-134.
- Shimabukuro, YE, Duarte, V., dos Santos, JR, & Batista, GT (2000, julho). Mapeamento e monitoramento de áreas de desmatamento na região amazônica usando classificação semi-automática de imagens Landsat Thematic Mapper.
- Shimabukuro, Y. E., & Almeida-Filho, R. (2002). PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS MULTITEMPORAIS LANDSAT-5 TM E JERS-1 SAR APLICADO AO MAPEAMENTO E MONITORAMENTO DE ÁREAS DE ALTERAÇÃO ANTRÓPICA NA AMAZÔNIA. *GEOGRAFIA*, 82–97.
- Shimabukuro, Y. E., Duarte, V., Arai, E., Freitas, R. M., Lima, A., Valeriano, D. M., Brown, I. F., & Maldonado, M. L. R. (2009). Fraction images derived from Terra Modis data for mapping burnt areas in Brazilian Amazonia. *International Journal of Remote Sensing*,
- Fernandes, L. M. C., Fontenele, L. A., Diniz, M. A. N., Sousa, M. D. D. A., Fonseca, M. C. S. D., Silva e Sousa, P. C., ... & Silva, C. R. R. (2021). GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO DIAGNÓSTICO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE INVADIDAS POR ÁREAS AGRICULTÁVEIS NO MUNICÍPIO DE IRINEÓPOLIS SC. *EDUCAÇÃO AMBIENTAL E CIDADANIA: PESQUISA E PRÁTICAS CONTEMPORÂNEAS-VOLUME 1*, 1(1), 267-277.
- Souza Filho, P. W., Paradella, W. R., Souza Júnior, C., Valeriano, D. de M., & Miranda, F. P. de. (2006). Sensoriamento remoto e recursos naturais da Amazônia. *Ciência E Cultura*, 58(3), 37–41.
- Souza, R. A., & De Marco, P. (2015). The Red Queen race in Brazilian Amazon deforestation: the necessity of a sustainable economy to zero deforestation. *Natureza & Conservação*, 13(2), 190–192.
- STEFFEN, C.A.(2020) Introdução ao Sensoriamento Remoto.
- Távora, B.E., Egert, R., Beltrão, L. (2013). Aplicação do Índice de Vegetação por Diferenças Normalizadas na avaliação da recuperação de danos em áreas degradadas. *Boletim Científico ESMPU*, v. 10, n. 35.
- VAREDA, João P.; VALENTE, Artur JM; DURÃES, Luisa (2019). Assessment of heavy metal pollution from anthropogenic activities and remediation strategies: A review. *Journal of environmental management*, v. 246,
- Vendruscolo, V., Silva, J., Felipe, A., Cavaleiro, S., Stachiw, W., Perez, R., & Martin, A. (2017). Índice de desmatamento na Bacia do Rio Bamburo durante período de 1985 a 2015, Amazônia Ocidental, Brasil. *Revista Geográfica Venezolana*, v. 58, n. 2.
- WEISS, Marie; JACOB, Frédéric; DUVEILLER, Grgory. (2020). Remote sensing for agricultural applications: A meta-review. *Remote Sensing of Environment*,