



ISSN: 2447-3359

REVISTA DE GEOCIÊNCIAS DO NORDESTE

Northeast Geosciences Journal

v. 9, nº 2 (2023)

<https://doi.org/10.21680/2447-3359.2023v9n2ID32515>



Processamento Digital de Imagens para Mapeamento de Uso e Cobertura da Terra: Uma Revisão de Literatura

Digital Image Processing for Land use and Land Cover Mapping: A Literature Review

Suelem Farias Soares Martins¹; Alex Mota dos Santos²; Icaro Andrade Souza³; Ioná Gonçalves Santos Silva⁴; Mariana Fernandes⁵; Paulo Sérgio Vila Nova Souza⁶; Carlos Fabricio Assunção da Silva⁷; Fabrizia Gioppo Nunes⁸; Gerson dos Santos Lisboa⁹

¹ Universidade Federal do Sul da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Biossistemas, Rodovia Ilhéus/Itabuna BA, Brasil. Email: suelemfarias@gfe.ufsb.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8063-4729>

² Universidade Federal do Sul da Bahia, Centro de Ciências e Tecnologias Agroflorestais, Rodovia Ilhéus/Itabuna BA, Brasil. Email: alex.geotecnologias@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5156-3968>

³ Universidade Federal do Sul da Bahia, CJA/CFTCI, Rodovia Ilhéus/Itabuna BA, Brasil. Email: icaro.andrade@ufsb.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2204-5291>

⁴ Universidade Federal do Sul da Bahia, Unidade/Programa de Pós-Graduação em Biossistemas, Rodovia Ilhéus/Itabuna BA, Brasil. Email: ionagoncalves853@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9803-3342>

⁵ Universidade Federal do Sul da Bahia, Graduação em Engenharia Florestal, Rodovia Ilhéus/Itabuna, BA, Brasil. Email: mariisfernandes@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8138-5783>

⁶ Universidade Federal do Sul da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Biossistemas, Rodovia Ilhéus/Itabuna BA, Brasil. Email: paulosvn@gfe.ufsb.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6651-6198>

⁷ Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife/PE, Brasil. Email: carlosufpe26@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7009-8996>

⁸ Universidade Federal de Goiás, Instituto de Estudos Socioambientais - IESA, Goiânia/GO, Brasil. Email: fabrizia@ufg.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6159-4701>

⁹ Universidade Federal de Goiás, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Goiânia/GO, Brasil. Email: gerson.lisboa@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9834-2441>

Resumo: O objetivo deste artigo é realizar uma revisão de literatura sobre o processamento digital de imagens e sua aplicação no mapeamento de uso e cobertura da terra. A revisão de literatura utilizou a abordagem híbrida, bibliométrica e sistemática. Sob a perspectiva bibliométrica foi valorizada a abordagem quantitativa, por meio de métricas do Bibliometrix, através do software R. Para esta pesquisa, foi utilizada a frase Digital image processing for land use and land cover mapping. A abordagem sistemática foi realizada através de análise quali-quantitativa das variáveis: tipo de sensor, se estudos foram realizados em área rural e urbana, o tipo de abordagem e a escala de análise. Os resultados revelaram o mapeamento de 713 publicações, dentre as quais 324 e 389 das bases Scopus e Web of Science, respectivamente, publicados de 1973 a 2022, o período total cobriu 49 anos, excluindo as repetições de 88 publicações, o que resultou em 625 publicações. Todos os 625 artigos foram analisados, destacam-se pesquisas em zona rural, o uso de imagens LANDSAT e classificação por meio de métodos clássicos.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto do ambiente; Mapeamento dos recursos naturais; Bibliometrix.

Abstract: The objective of this article is to carry out a literature review on digital image processing and its application in land use and land cover mapping. The literature review used a hybrid, bibliometric and systematic approach. From a bibliometric perspective, the quantitative approach was valued, using Bibliometrix metrics, through the R software. For this research, the phrase Digital image processing for land use and land cover mapping was used. The systematic approach was carried out through qualitative and quantitative analysis of the variables: type of sensor, whether studies were carried out in rural or urban areas, the type of approach and the scale of analysis. The results revealed the mapping of 713 publications, including 324 and 389 from the Scopus and Web of Science databases, respectively, published from 1973 to 2022, the total period covered 49 years, excluding repetitions of 88 publications, which resulted in 625 publications. All 625 articles were analyzed, highlighting research in rural areas, the use of LANDSAT images and classification using classical methods.

Keywords: Remote sensing of the environment; Mapping of natural resources; Bibliometrix.

Recebido: 09/05/2023; Aceito: 27/09/2023; Publicado: 18/11/2023.

1. Introdução

As técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI) são recorrentemente aplicadas ao mapeamento de uso e cobertura da terra (MUCT). As técnicas de PDI permitem a extração de informações e aprimoramento da qualidade visual das imagens a fim de torná-las interpretáveis por um analista humano ou por aprendizagem de máquina (FONSECA *et al.*, 2009). Isso se torna relevante, pois o uso e a cobertura da terra configuram fontes de dados para análises em sistema de informação geográfica que têm sido usados para uma ampla gama de aplicações geoespaciais, tais como, planejamento urbano, modelagem geográfica, recursos hídricos, transportes, dentre outros (AHMED *et al.*, 2019). Assim, o MUCT possibilita o monitoramento de recursos naturais, supervisão do desenvolvimento da terra e outras aplicações para extração de informações de alta precisão e alta frequência das mudanças na Terra (LIU *et al.*, 2023). Além disso, para Liangyun *et al.* (2023), o MUCT, por meio do PDI, está na lista dos principais temas submetidos aos periódicos especializados entre 2021 e 2022, representando 44,5% das submissões. Apesar disso, as técnicas de PDI podem ser influenciadas por diversos fatores, tais como o tipo de sensor, resolução espacial, espectral, radiométrica, presença de aerossóis e nuvens (SAUSEN, 2005), que podem influenciar as análises de uso e cobertura da terra.

O tipo de sensor, ativo ou passivo (MISRA, 2022), se diferencia por meio da fonte de Radiação Eletromagnética (REM) que os satélites dispõem para geração da imagem. Os sensores ativos produzem a própria fonte de REM, enquanto os sensores passivos dependem de uma fonte externa, geralmente o sol. Os sensores do tipo Synthetic Aperture Radar (SAR) e Light Detection and Ranging (LiDAR) são métodos ativos de aquisição de informações e sua maior valia, dentre outros fatores, decorre do fato de trazerem a possibilidade de extração de informação mesmo em condições climáticas adversas, como com presença de nuvens (JIA *et al.*, 2021), o que dispensa algumas técnicas de PDI, por exemplo a filtragem de bandas. Os sensores ativos são empregados em mapeamentos diversos sem calibração para reflectância e podem operar sob condições de nebulosidade ou à noite (FITZGERALD, 2010). Por outro lado, imagens de alta resolução e hiperespectrais são abordagens de sensores ópticos (JIA *et al.*, 2021), portanto relevantes para o MUCT.

As imagens de sensores passivos são fortemente influenciadas por condições variáveis da atmosfera, isso inclui poluição, poeira, nuvens e mudança de ângulo do zênite solar, com os dois últimos sendo os mais influentes (FITZGERALD, 2010). Todavia, estas imagens são de custos mais reduzidos (FORBES *et al.*, 2020). Sishodia *et al.* (2020) afirmam que o uso de veículos aéreos não tripulados, que são, na grande maioria, sensores passivos, aumentou consideravelmente durante a última década e isso se deve ao custo dos equipamentos para obtenção de imagens de alta resolução.

No que diz respeito às resoluções, espacial, espectral e radiométrica destaca-se a influência da confusão espectral em grandes pixels, devido à mistura de respostas espectrais de diferentes classes (ZHOU *et al.*, 2022). Além disso, técnicas de PDI favorecem a fusão de bandas multiespectrais com bandas pancromáticas (PU *et al.*, 2011; ANANDA *et al.*, 2019), o que melhora a resolução espacial. Para Jia *et al.* (2021), o desempenho do instrumento e os resultados dos dados de pré-processamento são os principais fatores que auxiliam na aquisição de dados de reflectância de superfície de alta precisão.

Apesar da importância de se considerar as características dos sensores, observa-se que a disponibilidade gratuita de inúmeros programas para MUCT, inclusive ferramentas de inteligência artificial (IA), favorecem aplicações de PDI. Fonseca *et al.*, (2009) e Renó *et al.* (2011) apresentam análises de imagens de Sensoriamento Remoto (SR) por meio do Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING), tecnologia gratuita disponibilizada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais do Brasil (INPE). Recentemente outras tecnologias, também gratuitas, têm sido utilizadas, dentre as quais o Google Earth Engine (GEE) (LIMA *et al.*, 2022; GXOKWE *et al.*, 2022) e Software R (LEMENKOVA e DEBEIR, 2022; WANG *et al.*, 2022). As técnicas de IA e aprendizado de máquina oferecem desempenho superior, precisão e eficiência na classificação de imagens de satélite e permitem o processamento de grandes volumes de dados.

Alia-se às novas tecnologias o farto número de bases geoespaciais que disponibilizam dados e informações de SR sem custos, algumas desde a década de 1970, como o Land Remote Sensing Satellite (LANDSAT) que são incorporadas pelas novas ferramentas, a exemplo o GEE. Para Ravanelli *et al.* (2018) o GEE apresenta uma infraestrutura dedicada de computação de alto desempenho, que permite que os pesquisadores acessem fácil e rapidamente mais de trinta anos de arquivos de dados públicos gratuitos. Neste sentido, além do LANDSAT, destaca-se o China-Brazil Earth Resources Satellite (CBERS) que tem imagens disponibilizadas gratuitamente pelo INPE. Assim, diante das possibilidades, da importância do tema e da lacuna de análise, essa pesquisa tem como objetivo realizar uma revisão de literatura sobre o processamento digital de imagens e sua aplicação no MUCT.

2. Metodologia

A revisão de literatura utilizou a abordagem híbrida, bibliométrica e sistemática (Figura 1), para o período entre 1973 e 2022. Na perspectiva bibliométrica aplicou-se a abordagem quantitativa, por meio de métricas do Bibliometrix realizadas no Software R. Para esta perspectiva, foi usada como string de busca a frase “Digital image processing for land use and land cover mapping”. A busca foi realizada através do Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por meio de acesso da Comunidade Acadêmica Federada (CAFe), das bases Scopus (Sco) e Web of Science (WoS) aplicado ao Título do artigo, Resumo, Palavras-chave e Autores.

Os indicadores bibliométricos selecionados para a revisão foram, a produção científica anual, fontes mais relevantes, autores mais relevantes, afiliações mais relevantes, documento mais citado no mundo e a produção científica por países. A definição dessas categorias se deu em função delas serem as que apresentaram o status de “excelente” na completude dos metadados bibliográficos do Biblioshiny.

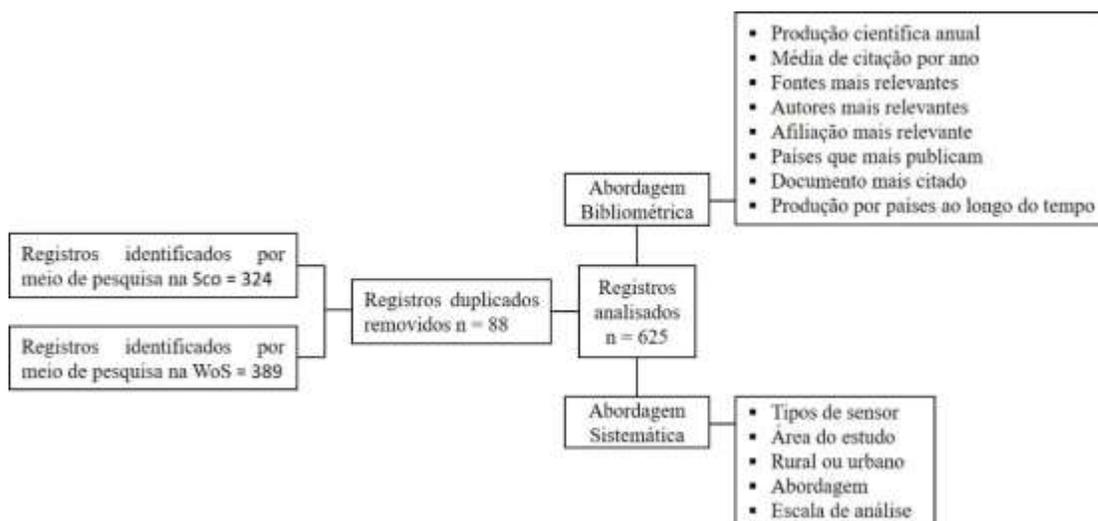


Figura 1 – Síntese da metodologia aplicada.

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Em sequência ao fluxo metodológico, numa perspectiva da análise sistemática, avaliou-se os seguintes critérios: os tipos de sensor, a área do estudo, se rural ou urbano, o tipo de abordagem (clássica ou machine learning) e a escala de análise (local, regional ou global). A definição destes critérios ocorreu devido ao grande volume de artigos mapeados, já que para a revisão sistemática foram selecionados todos os estudos identificados.

Os dados gerados pelo Bibliometrix foram exportados para uma planilha eletrônica onde foram elaborados os gráficos e o mapa com a quantidade de documentos por países.

3. Resultados e discussão

Como referido, a pesquisa utilizou-se de duas perspectivas de análise, bibliométrica e sistemática. Assim, a primeira parte é dedicada às generalidades das análises por meio da perspectiva bibliométrica. Na sequência apresenta-se a perspectiva sistemática.

Perspectiva bibliométrica

Com base nos 625 artigos analisados, observou-se que as publicações científicas sobre PDI para MUCT passaram a ter relevância (cresceu aproximadamente 5 vezes) no final da década de 70 (Figura 2). Além disso, os resultados sugerem crescimento que oscila no tempo, contudo, há tendência linear de aumento.

Segundo Ferreira *et al.* (2008), o início do uso do SR orbital remonta aos primeiros voos espaciais tripulados na década de 1960 e ao lançamento, em 1972, do *Earth Resource Technological Satellites* (ERTS-1), atual LANDSAT, e outras plataformas orbitais (AGAPIOU e LYSANDROU, 2015; WANG *et al.*, 2019). Até então, pouco se publicava em revistas e conferências especializadas em SR. De acordo com Jensen (2016), grande parte das pesquisas nessa área estava direcionada para fins militares. Segundo Zhuang *et al.* (2013), de modo geral, a pesquisa de SR aumentou significativamente nas últimas duas décadas. E isso revela ainda que a cooperação internacional de pesquisa em SR aumentou (ZHUANG *et al.*, 2013).

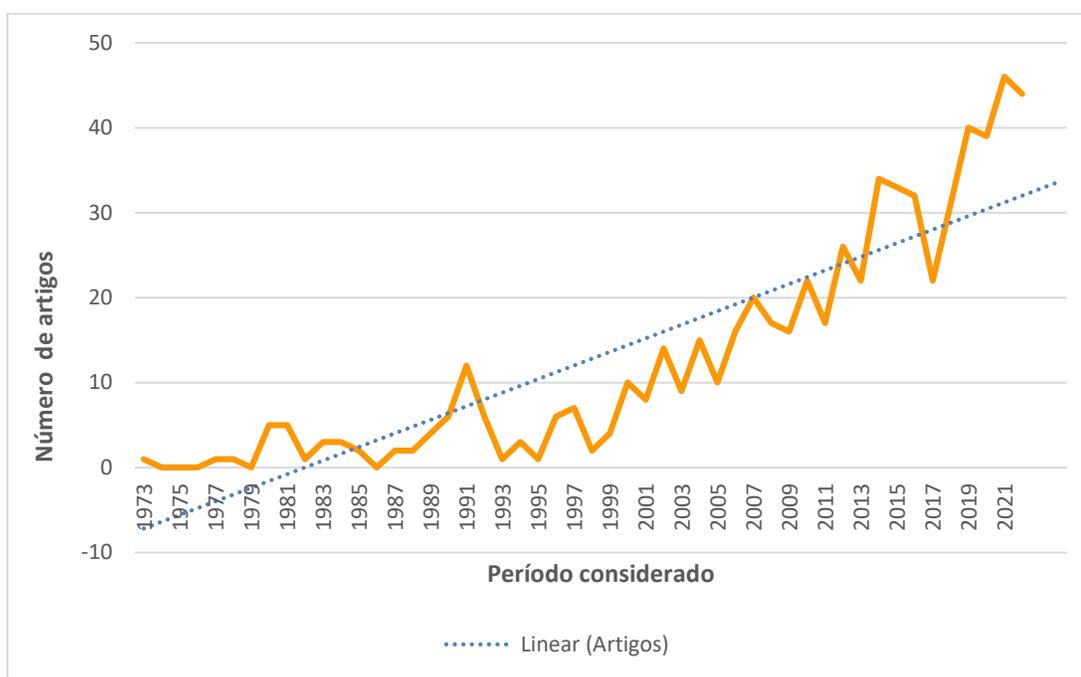


Figura 2 – Evolução da produção científica anual.
Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

A partir da década de 1990, com o lançamento dos primeiros satélites comerciais de alta resolução espacial (1 metro), foi possível a diversificação das pesquisas em SR (AGAPIOU e LYSANDROU, 2015). Adicionalmente, aos programas de SR passivo (caso do LANDSAT), destaca-se o lançamento, no ano de 1991, a consolidação da disponibilização de imagens dos sensores ativos, com o lançamento do *European Remote Sensing* (ERS-1) (FERREIRA, *et al.*, 2008).

Por consequência dos programas espaciais, o desenvolvimento das técnicas de PDI, a partir dos anos 70, impulsionou a publicação científica relacionada ao mapeamento de cobertura e uso da terra, em revistas como a *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* e *Remote Sensing of Environment* (SCHOWENGERDT, 2006). Além disso, refere-se às atividades do Laboratório de Propulsão a Jato da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) para a apresentação das primeiras técnicas de PDI. Small (2021) corrobora com esta análise ao afirmar que, nos últimos 20 anos, a proliferação de sensores e plataformas nos setores público e privado, combinada com as políticas de dados abertos da NASA, *European Space Agency* (ESA) e outras agências espaciais nacionais, resultaram em um aumento na disponibilidade de dados de SR.

No que diz respeito à análise do número de publicações por periódicos, destaca-se a revista *Remote Sensing* como fonte mais relevante (Figura 3). O *Remote Sensing* é um periódico de acesso aberto sobre a ciência e a aplicação de SR, publicado pelo *Multidisciplinary Digital Publishing Institute* (MDPI) com indexação em diversas bases, dentre as quais o *Scopus* e a *Web of Science*. Seu Fator de Impacto esteve acima de 5 nos últimos anos (MDPI, 2023), portanto, possui alta visibilidade. Na segunda posição apareceu a *Remote Sensing Open Access Journal* (RS OAJ), que é uma revista líder no campo do SR (ZHANG *et al.*, 2019).

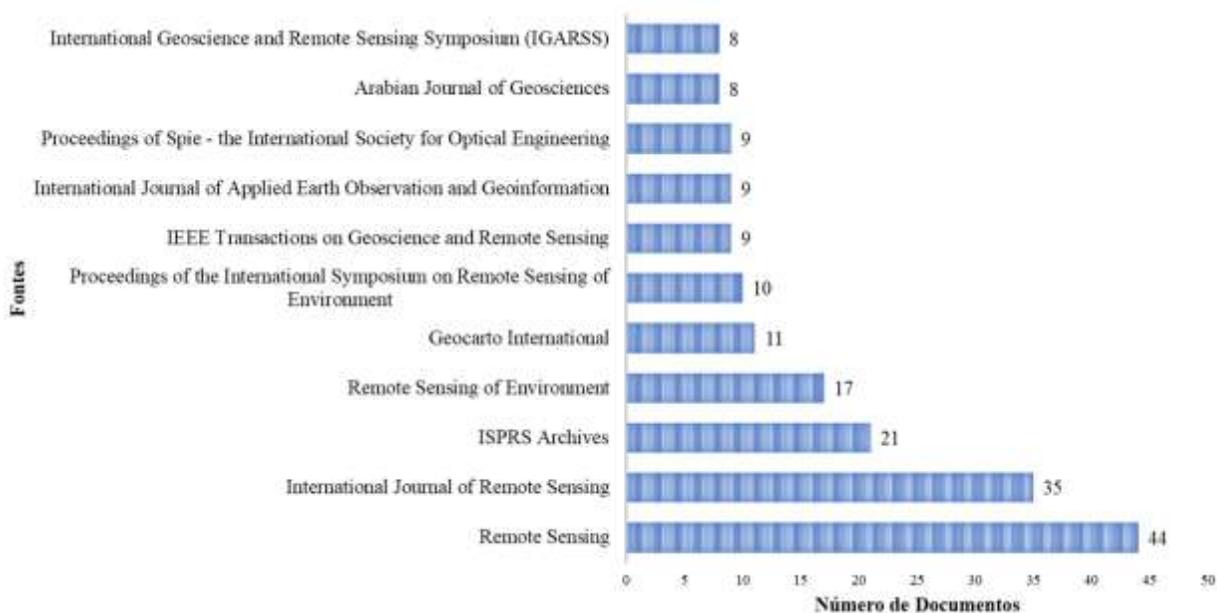


Figura 3 – Fontes mais relevantes (periódicos).

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Adicionalmente, avaliou-se as produções com maior impacto de publicação (Figura 4). De modo geral, os periódicos são avaliados de diversas maneiras, seguindo determinados critérios, sendo um deles, o fator de impacto.



Figura 4 – Produções com maior impacto de publicação.

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Aqui, analisou-se o impacto H, que foi descrito, desde 2005, por Jorge E. Hirsch e que passou a ser recorrentemente utilizado no meio científico, como forma de medir a produtividade e o impacto dos pesquisadores (THOMAZ *et al.*, 2011). Assim, o destaque é o *International Journal of Remote Sensing* que também apareceu na pesquisa de Zhuang *et al.* (2013).

O periódico publica pesquisas internacionais sobre SR da atmosfera, biosfera, criosfera e da superfície, bem como o processo de antropização e é um periódico oficial da Sociedade de SR e Fotogrametria.

Os autores mais relevantes, dentre as publicações levantadas, são Li H e Pradhan Biswajeet (Pradhan B) (Figura 5). Não foi possível distinguir dos resultados desta pesquisa o nome Li H, já que esse nome aparece para pelo menos 6 autores distintos. Isso foi observado também para autores com sobrenome Wang, Lee, Weng e Zhuang.

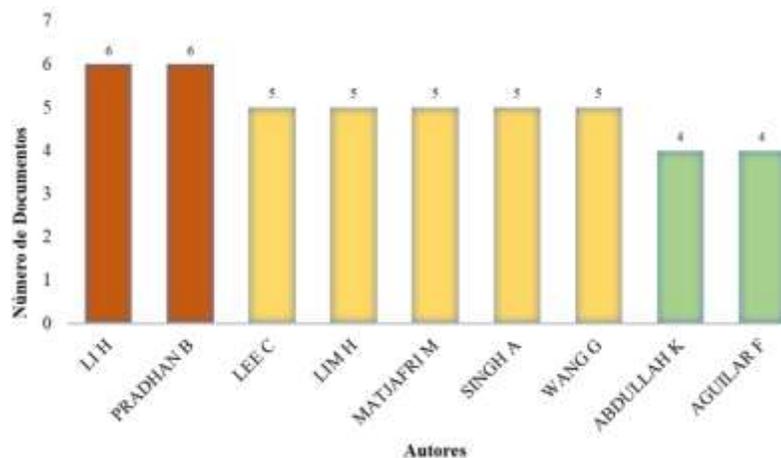


Figura 5 – Autores com maiores números de documentos publicados.

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

O pesquisador Biswajeet Pradhan, tem 41.549 citações no *Scopus*, é diretor do *Centre for Advanced Modelling and Geospatial Information Systems (CAMGIS)*, da Universidade de Tecnologia de Sidney, Austrália. Pradhan é um cientista reconhecido internacionalmente no campo dos sistemas de informação geográfica, SR e PDI, geoinformática, aprendizado de máquina, dentre outras áreas. Pradhan tem inovado nas suas análises, especialmente quando propõe a fusão de dados LiDAR aerotransportado com imagens multiespectrais de sensores passivos para aprimoramento da extração de informações sobre a cobertura da terra (SAEIDI *et al.*, 2014). Em outro estudo, Pradhan contribui com análises para o aprimoramento da precisão do mapeamento urbano em áreas construídas de arranha-céus por meio da ortorretificação das imagens de sensores passivos e LiDAR (PRADHAN *et al.*, 2021), considerado pelo próprio autor como tendência em estudos por sensoriamento remoto.

A Figura 6 revela a lista de autores mais proeminentes a partir da análise do índice H. Nesse sentido, destacam-se os autores Fernando J. Aguilar; Manuel A. Aguilar; Raimundo Almeida-Filho e A Belward.

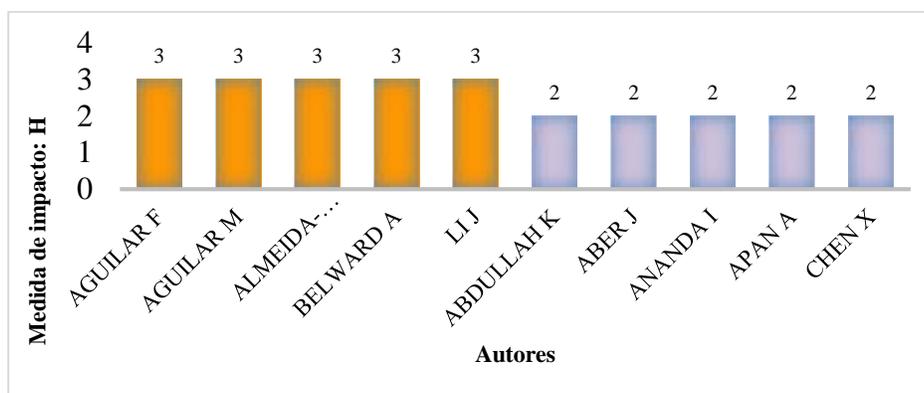


Figura 6 – Pesquisadores mais citados com base no Índice H.

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

O pesquisador Fernando J. Aguilar atua na Universidade de Almería, Espanha, nas áreas de geomática, SR e ciência da computação. Suas publicações, na área de mapeamento de uso e cobertura, privilegiam estudos de áreas agrícolas (AGUILAR *et al.*, 2014; NEMMAOUI *et al.*, 2019). O pesquisador atua em parceria com Manuel A. Aguilar, também da Universidade de Almería.

O pesquisador Raimundo Almeida-Filho é o único brasileiro da lista e atua no INPE. Suas pesquisas mapeadas neste estudo se relacionam às análises na Amazônia (ALMEIDA-FILHO *et al.*, 2002; ALMEIDA-FILHO e CARVALHO, 2010; RENÓ *et al.*, 2011). O pesquisador faz parte de uma rede de colaboração com outros pesquisadores, e suas análises destacadas neste estudo se viabilizaram por meio do processamento de imagens do LANDSAT.

Na sequência, o pesquisador Alan Belward é ligado à Comissão Europeia, no Centro Comum de Investigação, Instituto do Ambiente e da Sustentabilidade, na Itália. O autor possui 18.403 citações, tem pesquisas consolidadas na área de SR em que se destaca aquelas à escala global. Uma das pesquisas mais citadas é aquela em que mapeia o uso e cobertura da terra na África (STIBIG *et al.*, 2007). Além disso, destaca-se nessa pesquisa o livro intitulado “*Remote Sensing and Geographical Information Systems for Resource Management in Developing Countries*” publicado pela Springer, no ano de 1991 (BOCCO *et al.*, 1991).

No que se refere às instituições de ensino, que são destaques nas pesquisas por SR para MUCT, a Universidade de Maryland foi a protagonista. Isso se deve ao pioneirismo junto com a NASA na recepção e processamento de imagens que ocorreu com o lançamento do LANDSAT na década de 1970. Um dos programas de destaque é o *Global Land Cover Facility* (GLCF), que é um projeto operacional de pesquisa e desenvolvimento alojado no Departamento de Ciências Geográficas da Universidade de Maryland.

A Figura 7 mostra a produção científica por países e assim, destaca-se produtividade dos Estados Unidos da América, Índia e Brasil. Os Estados Unidos é um dos pioneiros globais no desenvolvimento dos programas de disponibilização de dados e informações de SR para o mundo, como referido o programa espacial ERTS-1 (FERREIRA *et al.*, 2008). Segundo Melo *et al.* (2021), o protagonismo do EUA se deu em todos os grandes avanços na área do SR no mundo e revelou descobertas técnico-científicas que impulsionaram novas frentes de pesquisas. Isso ocorreu, devido aos fundos públicos em condições favoráveis que, por décadas, possibilitaram que empresas norte-americanas realizassem saltos tecnológicos (MATOS, 2021).

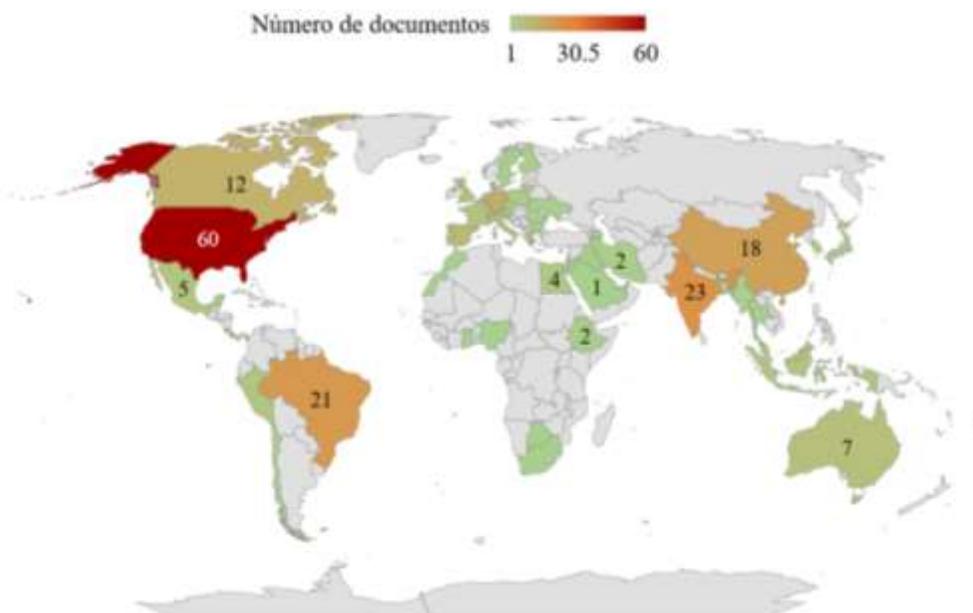


Figura 7 – Quantidade de documentos mapeados por países.
Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Associado aos investimentos em ciência, os EUA atraem pesquisadores de outras partes do mundo. Isso pode ser percebido pelo fenômeno “fuga de cérebro”, que são os pesquisadores que migram para outros países em busca de melhores condições de pesquisa e remuneração, e isso também impacta no número dos trabalhos por países (YAN *et al.*, 2020). Esse

fenômeno pode inclusive causar desequilíbrio entre os processos de saída e de entrada de cientistas num determinado “sistema nacional de ciência, pois traz prejuízos aos países que se mostram incapazes de reter os seus recursos humanos mais qualificados” (VIDEIRA, 2013).

O protagonismo da Índia é explicado aqui sob duas perspectivas. A primeira, o país possui um robusto sistema orbital de SR ativo, o *Indian Remote Sensing Satellite* (IRS), lançado no final da década de 1970. Esse programa é resultado de uma parceria entre a Índia e a Rússia e é considerado um dos melhores exemplos de cooperação internacional no espaço (*Indian Remote Sensing Satellite*, 2023). Um artigo publicado no ano de 1983, já trazia que o programa indiano de satélites de teledetecção (IRS) constitui um importante passo no programa global de utilização da tecnologia espacial para aplicações definidas na Índia (NAVALGUND e KASTURIRANGAN, 1983). Ashutosh e Roy (2021) afirmaram que a importância do programa de SR e dos inúmeros estudos estão associados ao fato de a Índia ser um país rico em biodiversidade. Por outro lado, a urbanização e o desenvolvimento de infraestruturas estão a exercer uma pressão considerável sobre as florestas e essas questões precisam de um sistema de monitoramento florestal eficaz e eficiente (ASHUTOSH e ROY, 2021).

Assim, como ocorreu na Índia, o destaque do Brasil se atribui a uma parceria internacional, mas nesse caso com a China. Esses países uniram esforços que resultaram na criação do *China-Brazil Earth Resources Satellite* (CBERS). Epiphanyo (2009) afirma que, na divisão de trabalho e custos, 30% seriam assumidos pelo Brasil e 70% pela China. Para Silva e Benvenuto (2022), o desenvolvimento do Programa CBERS faz da China e do Brasil atores protagonistas em suas regiões no campo da inovação científica e tecnológica. Picoli *et al.* (2020) afirmam que o CBERS é uma poderosa tecnologia para mapeamento e monitoramento dos biomas brasileiros. Para os autores, as imagens do CBERS são eficazes na resolução de questões de uso e cobertura da terra para atender às necessidades locais e nacionais relacionadas à dinâmica da paisagem, incluindo desmatamento, emissões de carbono e políticas públicas (PICOLI *et al.*, 2020).

Perspectiva sistemática

De modo geral, no que diz respeito aos tipos de satélite/sensores, empregados em todos os documentos, observou-se o predomínio do uso de imagens LANDSAT. Como já adiantado, esse programa de SR foi o primeiro lançado em órbita para recursos terrestres (FERREIRA *et al.*, 2008). Assim, é notável a disponibilidade desses dados desde a década de 1970. O programa cobre todo o mundo, com tempo de revista satisfatório e número de bandas que permitem processamentos variados. O nome LANDSAT apareceu 13,12% nos títulos, resumos e ou/palavras-chave. É importante referir que, para alguns artigos, o nome satélite não é referido, em outros aparece apenas o nome dos sensores, por exemplo *Thematic Mapper* (TM), *Enhanced Thematic Mapper* (ETM), *Operational Land Imager* (OLI).

Nesse sentido, 82 artigos utilizaram dados do LANDSAT para mapeamento de uso e cobertura da terra. Segundo Wulder *et al.* (2022), desde 1972, o programa LANDSAT tem monitorado continuamente a Terra, para agora fornecer 50 anos de observações digitais, multiespectrais e de média resolução espacial. Ainda segundo Wulder *et al.* (2022), o acesso livre e aberto aos dados LANDSAT, promulgado em 2008, foi sem precedentes para dados de observação da Terra de média resolução espacial e aumentou substancialmente o seu uso e levou a uma proliferação de oportunidades científicas e de aplicação. Em uma das aplicações, levantadas nessa revisão, imagens do LANDSAT foram aplicadas ao MUCT de ambientes montanhosos (YIN *et al.*, 2022). Para os autores, em ambientes montanhosos, a topografia afeta fortemente a reflectância devido a efeitos de iluminação e sombras projetadas, que introduzem erros nas classificações de cobertura da terra. Os autores concluíram que, a correção topográfica permanece necessária, mesmo quando se analisa uma série temporal completa de imagens LANDSAT e se inclui um modelo digital de elevação na classificação (YIN *et al.*, 2022). Em outra aplicação, as imagens LANDSAT foram empregadas em abordagens de *machine learning* para o desenvolvimento de mapeamento de MUCT (ALZAHIRANI e KANAN, 2022). Assim, redes neurais e ou classificador *Random Forest* foram aplicados e os autores revelam melhorias no processo de classificação da cobertura e uso da terra, dentre as quais a redução da complexidade dos modelos de classificação para tempos de treinamento mais rápidos.

Além do exposto, de todos os dados detectados remotamente, aqueles adquiridos pelos sensores LANDSAT desempenharam o papel mais fundamental na escala espacial e temporal. Dado o registro de 50 anos de dados LANDSAT, o mapeamento de MUCT e das superfícies derivadas em modelos ecológicos estão se tornando comuns.

As pesquisas predominaram no meio rural, com 28,32% contra 3,36% na zona urbana. Os demais estudos foram realizados na interface urbano/rural. Esse resultado pode estar relacionado com o fato de que áreas urbanas exigem dados de alta resolução espacial, dada a dinâmica de cobertura da terra por alvos diversos. Dados de alta resolução espacial são mais caros e difundidos a partir do final da década de 1990. Apesar disso, imagens do LANDSAT, sensor OLI, foram utilizados por Ali A. Khawfany *et al.* (2017) para diferenciar diferentes coberturas naturais de terra e áreas urbanas em

Jizan, na Arábia Saudita. Outros estudos realizaram mapeamento a escala de municípios, em que a área urbana é indicada de forma generalizada (ALMEIDA-FILHO e CARVALHO, 2010; RENÓ *et al.*, 2011; GAROFALO *et al.*, 2015).

Sobre a abordagem do SR, foi identificada crescente uso de *machine learning* (GE *et al.*, 2020; ALZHRANI e KANAN, 2022; SVELONAS *et al.*, 2022). Contudo, identificou-se o predomínio de abordagens clássicas de processamento digital de imagens (PU *et al.*, 2011; ALMEIDA-FILHO e CARVALHO, 2010; AGUILAR *et al.*, 2014). Embora o emprego de *machine learning* tenha se tornado uma realidade no PDI, a experiência empírica tem revelado que o seu domínio ainda é restrito, devido a necessidade do conhecimento de técnicas de programação.

A escala de análise foi predominantemente local e regional. Esse resultado pode ter sido influenciado pela valorização e utilização de imagens do LANDSAT, que para análise global requer esforço computacional considerável, já que seriam necessárias várias cenas. Também por que o MUCT é análise predominante em escalas de município (GAROFALO *et al.*, 2015), bacias hidrográficas (JUNIOR *et al.*, 2021; MARTINS *et al.*, 2021), regiões (ARNOUS e GREEN, 2015; MCCARTHY *et al.*, 2020) e país (KHATAMI *et al.*, 2020), o que favorece as escalas locais e regionais. Apesar disso, um exemplo de abordagem global é o trabalho que avaliou a distribuição das florestas de mangue do mundo (GIRI *et al.*, 2011). O resultado mostrou que a área total de manguezais, no ano 2000 era de 137.760 km² em 118 países e territórios nas regiões tropicais e subtropicais do mundo. Aproximadamente 75% dos manguezais do mundo são encontrados em apenas 15 países, e apenas 6,9% são protegidos pela rede de áreas protegidas existente.

De modo geral, depreende-se das pesquisas consultadas que o PDI se distingue em três etapas básicas: pré-processamento, processamento e pós-processamento. No que se refere ao pré-processamento destaca-se as correções atmosféricas e calibrações. No processamento destaca-se todos os métodos de PDI, com predomínio da classificação. A classificação de imagens é o principal método que tem sido utilizado por muitos pesquisadores para a produção de mapas temáticos (AHMED *et al.*, 2019). Assim, houve maior aplicação do classificador *Maximum Likelihood*, para os métodos tradicionais e o *Random Forest*, para aplicações via *machine learning*. No pós-processamento destaca-se as análises de performances do processo de classificação. Nesse sentido, apenas um estudo não apresentou a análise da acuracidade do processo de classificação. Segundo Santos e Nunes (2021), para que a técnica de classificação possa ser replicada é necessária a análise de exatidão/acurácia. Esses são parâmetros estatísticos essenciais, que permitem ao leitor, avaliar a 'qualidade' e os limites do trabalho como um todo, portanto não deveriam ser ignorados.

4. Considerações finais

Esta revisão de literatura contribui para compreensão da aplicação do Processamento Digital de Imagens (PDI) ao Mapeamento de Uso e Cobertura da Terra (MUCT). É uma análise inédita pela abordagem, já que foram analisados todos os artigos encontrados pelas *strings* de busca utilizada. Ademais foi possível concluir que:

- As publicações científicas sobre PDI para MUCT passaram a ter relevância (cresceu aproximadamente 5 vezes) no final da década de 70. Isso foi influenciado pela oferta de imagens e avanço tecnológico de processadores;
- Ao se considerar o número de publicações por periódicos, a revista Remote Sensing se destacou como a fonte mais relevante para as pesquisas de PDI aplicadas ao MUCT;
- Os pesquisadores Biswajeet Pradhan e Fernando J. Aguilar se destacaram nesse estudo. O primeiro por publicar o maior número de artigos e o segundo pelo maior índice H de suas publicações. Neste sentido, Biswajeet Pradhan, tem inovado na abordagem da integração de análise de imagens de SR óptico e LiDAR;
- A Universidade de Maryland foi a protagonista nas pesquisas por SR e isso está relacionado às suas pesquisas em parceria com a NASA e os Estados Unidos da América é o país com maior quantidade de artigos publicados em todo o mundo;
- As imagens do LANDSAT foram as mais utilizadas, isso pode ter implicado no predomínio de análises em escala local e regional;
- As pesquisas predominaram no meio rural, com 28,32% contra 3,36% na zona urbana. Os demais estudos foram realizados na interface urbano/rural;
- O PDI pela abordagem clássica ainda é o mais comum, apesar da valorização e aumento do número de aplicações via *machine learning*. O predomínio de métodos clássicos de PDI que pode estar relacionado com o fato de que *machine learning* tenha se tornado uma realidade no PDI, seu domínio ainda é restrito.

- De modo geral, depreende-se das pesquisas consultadas que o PDI se distingue em três etapas básicas, pré-processamento, processamento e pós-processamento;
- Por fim, acredita-se que essa pesquisa possa contribuir para que pesquisadores se situem no contexto atual da pesquisa do uso de SR para Mapeamento de Uso e Cobertura da Terra

Referências

- AGAPIOU, A.; LYSANDROU, V. *Remote sensing archaeology: Tracking and mapping evolution in European scientific literature from 1999 to 2015*. Journal of Archaeological Science: Reports, v. 4, p. 192-200, 2015.
- AGUILAR, M. A. et al. *Object-based greenhouse classification from GeoEye-1 and WorldView-2 stereo imagery*. Remote sensing, v. 6, n. 5, p. 3554-3582, 2014.
- AHMED, A. A. et al. *Land use and land cover mapping using rule-based classification in Karbala City, Iraq*. In: GCEC 2017: Proceedings of the 1st Global Civil Engineering Conference 1. Springer Singapore, 2019. p. 1019-1027.
- ALMEIDA-FILHO, R.; CARVALHO, C. M. *Mapping land degradation in the Gilbues region, northeastern Brazil, using Landsat TM images*. International Journal of Remote Sensing, v. 31, n. 4, p. 1087-1094, 2010.
- ALMEIDA-FILHO, R.; SHIMABUKURO, Y. E. *Digital processing of a Landsat-TM time series for mapping and monitoring degraded areas caused by independent gold miners, Roraima State, Brazilian Amazon*. Remote sensing of Environment, v. 79, n. 1, p. 42-50, 2002.
- ALZHRANI, A.; KANAN, A. *Machine Learning Approaches for Developing Land Cover Mapping*. Applied Bionics and Biomechanics, v. 2022, 2022.
- ANANDA, I. N.; UMELA, A. F.; RATNASARI, N.; PUTRI, D. A.; WULANDARI, Y. S.; & DANOEDORO, P. *Development of land-cover spatial database using satellite imagery: lesson learned from southern part of Sumatera*. In Sixth Geoinformation Science Symposium (Vol. 11311, pp. 248-257). SPIE, 2019.
- ARNOUS, M. O.; GREEN, D. R. *Monitoring and assessing waterlogged and salt-affected areas in the Eastern Nile Delta region, Egypt, using remotely sensed multi-temporal data and GIS*. Journal of coastal conservation, v. 19, n. 3, p. 369-391, 2015.
- ASHUTOSH, S.; ROY, P. S. *Three decades of nationwide forest cover mapping using indian remote sensing satellite data: A success story of monitoring forests for conservation in india*. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, v. 49, p. 61-70, 2021.
- BOCCO, G. et al. *Integration of GIS and remote sensing in land use and erosion studies*. Remote sensing and geographical information systems for resource management in developing countries., p. 474-490, 1991.
- EPIPHANIO, J. C. N. *CBERS: estado atual e futuro*. XIV Simpósio Brasileiro de SR, 2009.
- FERREIRA, L. G.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, M. E. *Sensoriamento Remoto da vegetação: evolução e SR da vegetação: evolução e estado-da-arte*. Maringá, v. 30, n. 4, p. 379-390, 2008.
- FITZGERALD, G. J. *Characterizing vegetation indices derived from active and passive sensors*. International Journal of Remote Sensing, 31(16), 4335-4348, 2010.
- FONSECA, L. M. G.; NAMIKAWA, L. M.; & CASTEJON, E. F. *Digital image processing in remote sensing*. In 2009 Tutorials of the XXII Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing (pp. 59-71). IEEE, 2009.
- FORBES, G.; MASSIE, S.; & CRAW, S. *Fall prediction using behavioural modelling from sensor data in smart homes*. Artificial Intelligence Review, 53(2), 1071-1091, 2020.
- GAROFALO, D. F. T. et al. *Análise comparativa de classificadores digitais em imagens do Landsat-8 aplicados ao mapeamento temático*. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 50, p. 593-604, 2015.

- GE, G. et al. *Land use/cover classification in an arid desert-oasis mosaic landscape of China using remote sensed imagery: Performance assessment of four machine learning algorithms*. Global Ecology and Conservation, v. 22, p. e00971, 2020.
- GIRI, C. et al. *Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data*. Global Ecology and Biogeography, v. 20, n. 1, p. 154-159, 2011.
- GXOKWE, S.; DUBE, T.; & MAZVIMAVI, D. *Leveraging Google Earth Engine platform to characterize and map small seasonal wetlands in the semi-arid environments of South Africa*. Science of the Total Environment, 803, 150139, 2022.
- JENSEN, J. R. *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective Always Learning*. Pearson Education, Incorporated (4 rd ed), 2016. ISBN 013405816X, 9780134058160.
- JIA, J.; SUN, H.; JIANG, C.; KARILA, K.; KARJALAINEN, M.; AHOKAS, E.; ... & HYYPPÄ, J. *Review on active and passive remote sensing techniques for road extraction*. Remote Sensing, 13(21), 4235, 2021.
- JUNIOR, A. C. et al. *Data for: Terrain units, land use/cover, and gross primary productivity of the largest fluvial basin in the Brazilian Amazonia/Cerrado ecotone: The Araguaia River Basin*. Data in Brief, v. 34, p. 106636, 2021.
- KHATAMI, R. et al. *Operational large-area land-cover mapping: An Ethiopia case study*. Remote Sensing, v. 12, n. 6, p. 954, 2020.
- KHAWFANY, A. A. et al. *Utilizing Landsat-8 data in mapping of sabkha, mangroves, and land covers in Jizan coastal plain, southwestern Saudi Arabia*. Arabian Journal of Geosciences, v. 10, p. 1-18, 2017.
- LEMENKOVA, P.; & DEBEIR, O. *R Libraries for Remote Sensing Data Classification by K-Means Clustering and NDVI Computation in Congo River Basin, DRC*. Applied Sciences, 12(24), 12554, 2022.
- LIANGYUN et al. *Progress and Focus of Journal of Remote Sensing in 2021–2022*. Journal of Remote Sensing, v. 3, p. 0029, 2023.
- LIMA, S. S.; CORDEIRO, J. L.; TEIXEIRA, L. P.; MAIA, R. P.; da SILVA, M. V.; & MORO, M. F. *Caracterização geográfica e dinâmica de uso da terra da Ibiapaba e seu entorno, Domínio Fitogeográfico da Caatinga*. Revista Brasileira de Geografia Física, 15(05), 2500-2524, 2022.
- LIU, L. et al. *Research on Optimization of Processing Parcels of New Bare Land Based on Remote Sensing Image Change Detection*. Remote Sensing, v. 15, n. 1, p. 217, 2023.
- MARTINS, P. R. et al. *Terrain units, land use and land cover, and gross primary productivity of the largest fluvial basin in the Brazilian Amazonia/Cerrado ecotone: the Araguaia River basin*. Applied Geography, v. 127, p. 102379, 2021.
- MATOS, P. O. *Geopolítica e programa espacial brasileiro: da busca pela autonomia ao acordo de salvaguardas tecnológicas*. Revista Brasileira de Estudos Estratégicos, 13(25), 2021. <http://dx.doi.org/10.29327/230731.13.25-6>.
- MCCARTHY, M. J. et al. *Automated high-resolution time series mapping of mangrove forests damaged by hurricane Irma in Southwest Florida*. Remote sensing, v. 12, n. 11, p. 1740, 2020.
- MDPI. Remote Sense. Disponível em : <<https://www.mdpi.com/journal/remotesensing>>, 2023. Acesso em: 07/04/2023
- MELO, D. H. et al. *Evolução da observação da terra por sensoriamento*. Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto, v. 2, n. 2, 2021.
- MISRA, A. A. *Classification of Remote Sensing Depending on Data Type, Source, Platform, and Imaging Media*. Atlas of Structural Geological and Geomorphological Interpretation of Remote Sensing Images, 15-21, 2022.
- NAVALGUND, R. R.; KASTURIRANGAN, K. *The Indian remote sensing satellite: a programme overview*. Proceedings of the Indian Academy of Sciences Section C: Engineering Sciences, v. 6, p. 313-336, 1983.

- NEMMAOUI, A. et al. *DSM and DTM generation from VHR satellite stereo imagery over plastic covered greenhouse areas*. Computers and electronics in agriculture, v. 164, p. 104903, 2019.
- PICOLI, M. CA et al. *CBERS data cube: a powerful technology for mapping and monitoring Brazilian biomes*. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, v. 3, p. 533-539, 2020.
- PRADHAN, B. et al. *Orthorectification of WorldView-3 satellite image using airborne laser scanning data*. Journal of Sensors, v. 2021, p. 1-12, 2021.
- PU, R.; LANDRY, S.; & YU, Q. *Object-based urban detailed land cover classification with high spatial resolution IKONOS imagery*. International Journal of Remote Sensing, 32(12), 3285-3308, 2011.
- RAVANELLI, R.; NASCETTI, A.; CIRIGLIANO, R. V.; DI RICO, C.; LEUZZI, G.; MONTI, P.; & CRESPI, M. *Monitoring the impact of land cover change on surface urban heat island through Google Earth Engine: Proposal of a global methodology, first applications and problems*. Remote Sensing, 10(9), 1488, 2018.
- RENÓ, V. F.; NOVO, E. M. L. M.; ALMEIDA-FILHO, R.; & SUEMITSU, C. *Mapeamento da antiga cobertura vegetal de várzea do Baixo Amazonas a partir de imagens históricas (1975-1981) do Sensor MSS-Landsat*. Acta Amazonica, 41, 47-56, 2011.
- SAEIDI, V. et al. *Fusion of airborne LiDAR with multispectral SPOT 5 image for enhancement of feature extraction using Dempster-Shafer theory*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v. 52, n. 10, p. 6017-6025, 2014.
- SANTOS, Alex Mota; NUNES, Fabrizia Gioppo. *Mapeamento de cobertura e do uso da terra: críticas e autocríticas a partir de um estudo de caso na Amazônia brasileira*. Geosul, v. 36, n. 78, p. 476-495, 2021
- SAUSEN, T. *Tópicos em meio ambiente e ciências atmosféricas*. INPE, São José dos Campos, 2005. Disponível em: <http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris@1915/2005/11.08.13.16/doc/08_Sensoriamento_remoto.pdf>. Acesso em: 07/04/2023.
- SAVELONAS, M. A.; VEINIDIS, C. N.; BARTSOKAS, T. K T. K. *Computer Vision and Pattern Recognition for the Analysis of 2D/3D Remote Sensing Data in Geoscience: A Survey*. Remote Sensing, v. 14, n. 23, p. 6017, 2022.
- SCHOWENGERDT, R. A. *Remote sensing: models and methods for image processing*. Academic press, 2006.
- SILVA, R.; BENVENUTO, J. *O Programa CBERS Sino-Brasileiro: subsídio de interseção do setor espacial intra-BRICS*. Caderno de Relações Internacionais, v. 13, n. 24, 2022.
- SISHODIA, R. P.; RAY, R. L.; & SINGH, S. K. *Applications of remote sensing in precision agriculture: A review*. Remote Sensing, 12(19), 3136, 2020.
- SMALL, C. *Grand challenges in remote sensing image analysis and classification*. Frontiers in Remote Sensing, v. 1, p. 605220, 2021.
- STIBIG, H.-J. et al. *A land-cover map for South and Southeast Asia derived from SPOT-VEGETATION data*. Journal of Biogeography, v. 34, n. 4, p. 625-637, 2007.
- THOMAZ, P. G.; ASSAD, R. S.; & MOREIRA, L. F. P. *Uso do fator de impacto e do índice H para avaliar pesquisadores e publicações*. Arquivos Brasileiros de Cardiologia, 96, 90-93, 2011.
- VIDEIRA, P. *A mobilidade internacional dos cientistas: construções teóricas e respostas políticas*. Para um debate sobre Mobilidade e Fuga de Cérebros Braga: Centro de Estudos de Comunicação e Sociedade, Universidade do Minho ISBN: 978-989-8600-11-0. 2013.
- WANG, L. et al. *Bibliometric analysis of remote sensing research trend in crop growth monitoring: A case study in China*. Remote Sensing, v. 11, n. 7, p. 809, 2019.
- WANG, Q.; WANG, L.; ZHU, X.; GE, Y.; TONG, X.; & ATKINSON, P. M. *Remote sensing image gap filling based on*

spatial-spectral random forests. Science of Remote Sensing, 5, 100048, 2022.

WULDER, M. A. *et al.* *Fifty years of Landsat science and impacts*. Remote Sensing of Environment, v. 280, p. 113195, 2022.

YAN, E.; ZHU, Y.; He, J.; *Analyzing academic mobility of U.S. professors based on ORCID data and the Carnegie Classification*. Quantitative Science Studies 2020; 1 (4): 1451–1467. doi: https://doi.org/10.1162/qss_a_00088.

YIN, H. *et al.* *Integrated topographic corrections improve forest mapping using Landsat imagery*. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, v. 108, p. 102716, 2022.

ZHANG, Y. Y.; THENKABAIL, P. S.; WANG, P. *A bibliometric profile of the remote sensing open access journal published by MDPI between 2009 and 2018*. Remote Sensing, v. 11, n. 1, p. 91, 2019.

ZHOU, J.; SUN, W.; MENG, X.; YANG, G.; REN, K.; & PENG, J. *Generalized linear spectral mixing model for spatial–temporal–spectral fusion*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 60, 1-16. [10.1109/TGRS.2022.3188501](https://doi.org/10.1109/TGRS.2022.3188501), 2022.

ZHUANG, Y. *et al.* *Global remote sensing research trends during 1991–2010: a bibliometric analysis*. Scientometrics, v. 96, p. 203-219, 2013.