



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>



Análise bibliométrica sobre a detecção de águas superficiais usando Sensoriamento Remoto por Radar

Admilson da Penha Pacheco¹, Juarez Antônio da Silva Júnior², Fernando Dacal Reis Filho³, Tácito Richarles Ferreira da Silva⁴

¹Professor Titular da Universidade Federal de Pernambuco (Centro de Tecnologia e Geociências - Departamento de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura). Membro Permanente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação (UFPE/CTG/DECart) E-mail: admilson.pacheco@ufpe.br ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3635-827X>

²Mestrando no Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil em Recursos Hídricos (PPGEC-GRH) e Engenheiro Cartógrafo e Agrimensor pela Universidade Federal de Pernambuco. E-mail: juarez.silvajunior@ufpe.br, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2898-0309>

³Universidade Federal de Pernambuco Departamento de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura (UFPE), E-mail: fernandodacal@hotmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3275-1578>

⁴Universidade Federal de Pernambuco Departamento de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura (UFPE), E-mail: tacito.richarles@ufpe.br ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3275-1578>

Artigo recebido em 06/02/2024 e aceito em 03/09/2024

RESUMO

O Radar de Abertura Sintética (SAR) apresenta atributos distintos que fornecem os elementos necessários para a condução de estudos e a elaboração de artigos que destacam sua relevância na identificação de recursos hídricos. Este artigo apresenta uma análise de publicações de pesquisas, sob uma perspectiva bibliométrica, sobre sensoriamento remoto por radar para a detecção de corpos d'água. Esta análise foi realizada no período de 1980 a 2023. Para dados, um total de 7002 publicações acadêmicas foram recuperadas da base de dados Scopus. O software Rstudio foi adotado para avaliar as o número de publicações por ano, países mais produtivos, frequência de palavras-chave e revistas mais influentes em termos específicos em mapeamento e detecção de corpos d'água por imagens de radar. Os resultados apontaram para uma tendência de crescimento nas publicações anuais, com o aumento notável a partir de 2012, impulsionado principalmente pela disponibilidade de dados do Sentinel-1 e o desenvolvimento de métodos baseados em *Deep Learning*. Palavras-chave como "Remote Sensing" e "Surface waters" foram as mais comuns. Embora os países europeus tenham apresentado a maior frequência de artigos, é importante ressaltar que China e Estados Unidos lideraram em termos de quantidade de publicações. Essa análise tem o potencial de auxiliar pesquisadores e acadêmicos na compreensão mais profunda da estrutura intelectual desse campo e na identificação das direções futuras de pesquisa.

Palavras-chave: Corpos d'água, Mapeamento, Bibliometria, Recursos hídricos

Bibliometric analysis of surface water detection using Radar Remote Sensing

ABSTRACT

The Synthetic Aperture Radar (SAR) has distinct attributes that provide the necessary elements for conducting studies and preparing articles that highlight its relevance in identifying water resources. This article presents an analysis of research publications, from a bibliometric perspective, on radar remote sensing for the detection of bodies of water. This analysis was carried out over the period from 1980 to 2023. For data, a total of 7002 academic publications were retrieved from the Scopus database. The Rstudio software was adopted to evaluate the number of publications per year, most productive countries, frequency of keywords and most influential magazines in specific terms in mapping and detection of bodies of water using radar images. The results pointed to a growing trend in annual publications, with a notable increase from 2012 onwards, driven mainly by the availability of Sentinel-1 data and the development of methods based on *Deep Learning*. Keywords like "Remote Sensing" and "Surface waters" were the most common. Although European countries presented the highest frequency of articles, it is important to highlight that China and the United States led in terms of number of publications. This analysis has the potential to assist researchers and scholars in understanding the intellectual structure of this field more deeply and identifying future research directions.

Abstract: Water bodies, Mapping, Bibliometrics, Water resources

Introdução

Nos últimos anos, à medida que as mudanças climáticas e a crescente ocorrência de eventos hidroclimáticos em todo o mundo se tornaram mais evidentes, a tecnologia de sensoriamento remoto por radar desempenhou um papel fundamental na avaliação dos recursos hídricos e em diversas outras áreas correlatas. Com o avanço constante e tecnológico do sensoriamento remoto via satélite, a resolução dos dados captados por satélites tem se expandido significativamente em termos de dimensões espaciais, espectrais e temporais. Assegurar uma gestão eficiente dos recursos hídricos é fundamental sobretudo para atender às demandas da sociedade, mitigar riscos de eventos catastróficos relacionados à água e promover a sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos (Chawla; Karthikeyan; Mishra, 2020). O conceito de recursos hídricos é bastante complexo, pois não se limita à medição física dos componentes hidrológicos e hidrogeológicos, pois inclui medições de fluxos e estoques, bem como dimensões qualitativas e suas relações com outros componentes ambientais e socioeconômicos. Os recursos hídricos são altamente heterogêneos do ponto de vista da distribuição no tempo e no espaço devido à variabilidade do clima, embora sejam profundamente afetados pelas atividades humanas e pelo desenvolvimento socioeconômico.

A tecnologia de sensoriamento remoto oferece uma maneira altamente eficaz de monitorar as águas superficiais. Em comparação com as medições tradicionais realizadas no local, o sensoriamento remoto se destaca pela sua eficiência, pois permite a monitorização contínua da superfície terrestre em várias escalas. Os conjuntos de dados obtidos por sensoriamento remoto fornecem informações espacialmente detalhadas e frequentes ao longo do tempo sobre uma variedade de características físicas da Terra. Esses dados podem ser aproveitados de forma eficaz para mapear a extensão de corpos d'água, avaliar a umidade do solo e estudar várias dinâmicas hídricas em níveis regionais e até mesmo globais (Levizzani; Cattani, 2019). O radar é um dos principais sensores em aplicações de sensoriamento remoto por microondas. A tecnologia de sensoriamento remoto por microondas tem três vantagens principais: (1) As microondas podem penetrar nas nuvens e até mesmo na chuva; (2) podem penetrar na vegetação mais profundamente do que as ondas de luz; e (3) as informações obtidas pelas microondas,

diferentes daquelas adquiridas pelos sensores ópticos de sensoriamento remoto, podem refletir as propriedades geométricas e dielétricas dos objetos (Passah; Sur; Abraham; Kandar, 2023). A inversão do sensoriamento remoto por radar aplicado em recursos hídricos abrange uma variedade de aplicações convencionais, incluindo a determinação do teor de umidade do solo, a análise batimétrica e a quantificação da extensão de corpos d'água. A rugosidade superficial desempenha um papel crucial na inversão do conteúdo de água do solo, particularmente quando se trata do conteúdo de água do solo exposto, sendo um parâmetro de significância considerável em disciplinas como hidrologia, engenharia, geologia e climatologia. Portanto, é importante notar que o estudo da inversão por radar no contexto dos recursos hídricos evoluiu para se tornar um campo de pesquisa independente e altamente especializado (Brisco, 2015).

Com o avanço tecnológico e a rápida evolução de técnicas de alto rendimento, como o aprendizado profundo (deep learning), as pesquisas baseadas em aplicações de imagens de radar em recursos hídricos têm ganhado destaque, especialmente na última década. Embora tenham sido publicadas algumas revisões sobre a pesquisa em sensoriamento remoto por radar, diferentes estudiosos têm interpretado os resultados de maneira variada, levando a conclusões divergentes. Essa situação pode ser resolvida por meio da análise bibliométrica, que é uma ferramenta útil para superar as limitações da subjetividade e da falta de objetividade encontradas em artigos de revisão (Wu et al. 2022). Uma revisão abrangente pode ser obtida a partir de extensos documentos por meio de análise bibliométrica, o que torna mais confiáveis as conclusões do progresso evolutivo em um determinado campo de pesquisa (Donthu et al. 2022). Também houve várias revisões sobre monitoramento de recursos hídricos usando sensoriamento remoto por radar. Por exemplo, Shen et al. (2019) realizou uma revisão de teorias e algoritmos de mapeamento de inundações usando dados SAR, juntamente com uma discussão sobre seus pontos fortes e limitações, com foco no nível de automação, robustez e precisão. Chen et al. (2020) realizaram uma revisão abrangente sobre o uso de sensoriamento por radar para detecção de áreas úmidas. Sheffield et al. (2018) analisaram os principais estudos que tratam das necessidades de dados para a gestão de recursos hídricos e o papel

que a detecção remota por radar pode desempenhar para preencher lacunas e melhorar a gestão de recursos hídricos, concentrando-nos na América Latina e no Caribe como um exemplo de uma região com potencial para desenvolver ainda mais os seus recursos e mitigar os impactos dos riscos hidrológicos.

A análise bibliométrica, que foi pioneiramente introduzida por Pritchard (1969), é uma abordagem estatística e matemática usada para examinar a literatura relevante e compreender as tendências globais de pesquisa em um campo específico. A bibliometria é definida como o campo de estudo no qual os pesquisadores analisam registros bibliográficos, ou seja, a literatura publicada, aplicando diversas técnicas estatísticas e matemáticas para identificar tendências e padrões significativos. A análise bibliométrica da literatura é uma ferramenta eficaz amplamente empregada por pesquisadores e partes interessadas com o propósito de identificar tendências quantitativas proeminentes, áreas de pesquisa específicas e possíveis lacunas em um campo ou disciplina de investigação particular. Organizações frequentemente recorrem a essa análise para tomar decisões e avaliar o desempenho de instituições, países e revistas específicas (Sánchez et al. 2017; Iqbal et al. 2023). O sensoriamento remoto por radar é uma tecnologia relativamente nova e emergente no campo da gestão de recursos hídricos. Portanto, a análise bibliométrica servirá como um recurso fundamental para aqueles envolvidos especificamente na gestão de recursos hídricos e visão computacional, com o objetivo de destacar tendências quantitativas significativas. Além disso, os novos pesquisadores encontrarão benefícios ao identificar as áreas de pesquisa em destaque e possíveis direções para seus estudos. As agências de financiamento também podem aproveitar essas análises para identificar instituições e países potenciais que mereçam apoio na promoção da pesquisa nesse campo específico (Nogueira et al. 2023).

Segundo Zare et al. (2017) estudos relacionados sobre as análises de pesquisa são determinados em grande parte por meio de revisões da literatura e das opiniões subjetivas de pesquisadores da área. Embora esta opinião de especialistas continue a ser sempre valiosa, os rápidos avanços na análise de “big data” podem ser usados como complemento para fornecer provas que apoiem o mapeamento de tópicos de investigação abertos. Com os avanços na ciência e

em outros campos de estudo sendo documentados através de publicações de especialistas no assunto e mantidos em arquivos bibliométricos, essas fontes de informação fornecem um rico conjunto de dados baseados em texto para a realização de análises sistemáticas sobre o estado do conhecimento dentro de um campo de estudo. Este artigo documenta uma abordagem à análise bibliométrica e tenta retratar os tipos de decisões tomadas em cada etapa da análise.

Devido a motivação pela crescente conscientização sobre a relevância e a urgência da análise nesse contexto, este estudo apresenta uma análise bibliométrica da literatura das últimas quatro décadas relacionada à utilização de tecnologias de sensoriamento remoto por radar em estudos de detecção de corpos d’água, empregando abordagens estatísticas para visualizar e analisar as tendências relevantes no campo. Esta pesquisa se mostra essencial para uma compreensão aprofundada do progresso primordial, da expansão das aplicações e das mudanças no uso da tecnologia de radar de abertura sintética em contextos hidrológicos. Esse tipo de análise torna-se fundamental para a compreensão e avaliação de várias dimensões da produção científica.

Material e métodos

Estratégia de pesquisa e registros de triagem

Os recursos bibliográficos utilizados para esta revisão foram adquiridos por meio de uma pesquisa sistemática na literatura de artigos revisados por pares, acessados através do banco de dados científicos da Scopus (<https://www.scopus.com/>). Para realizar a análise bibliométrica nesta pesquisa, foram considerados indicadores como publicações revisadas por pares, categorias de assuntos, periódicos de origem, países e instituições. Todos esses dados foram obtidos diretamente da Scopus e, posteriormente, submetidos a processamento adicional utilizando o pacote Bibliometrix no ambiente RStudio.

O banco de dados Scopus oferece uma ampla variedade de estatísticas relacionadas aos artigos recuperados, incluindo informações sobre autores, nomes de séries, nomes de conferências, países/regiões, tipos de documentos, editores, instituições financiadoras, números de autorização, autores de grupos, idioma, instituições, anos de publicação, direções de pesquisa, nomes de fontes de publicação e categorias Scopus. Para realizar análises quantitativas em bibliometria e cienciometria no ambiente R, foi utilizado o pacote

Bibliometrix (<http://www.bibliometrix.org>). Este pacote oferece um conjunto de ferramentas abrangentes para a realização dessas pesquisas. Neste artigo, utilizamos especificamente o programa Biblioshiny, uma parte integrante do pacote Bibliometrix. O Biblioshiny proporciona diversas ferramentas que permitem a realização de uma análise completa do mapeamento científico da literatura, compatível com os registros bibliográficos gerados a partir da base de dados Scopus (Aria, 2023; Aria; Cuccurullo, 2017). O uso do Biblioshiny possibilita aos pesquisadores traçarem uma visão abrangente do desenvolvimento de uma área de pesquisa, incluindo o crescimento do número de artigos e citações, as redes de colaboração entre países, instituições e acadêmicos, bem como a análise da co-ocorrência de palavras-chave (Binh Pham-Duc et al. 2023).

A busca concentrou-se em artigos publicados de 1980 a 2023 com base em palavras-chave em inglês relacionadas a ‘Detecção de corpos hídricos aplicado em imagens SAR’. A consulta de pesquisa foi implementada da seguinte forma: foi incluída termos e palavras e suas relações na pesquisa usando operadores booleanos em títulos, resumos e palavras-chave, que selecionou a produção científica na forma de artigos, com abordagem focada em recursos hídricos aplicado a sensoriamento por radar.

Para recuperar artigos que utilizassem o termo “*Synthetic Aperture Radar*” e abordassem a

aplicações em “Recursos hídricos” foram pesquisadas as palavras-chave da segunda, terceira e última colunas no campo tópico (título/resumo/palavra-chave). Como estratégia de pesquisa inicial, foi usado seguinte consulta de pesquisa "TITLE-ABS-KEY ("synthetic aperture radar") AND ("water body") OR ("surface water") OR ("Surface water change") AND NOT ("groundwater") OR ("spring") OR ("headwater") OR ("aquifers") OR ("Synthetic Aperture Radar") AND (LIMIT-TO (SRCTYPE,"j")) AND (EXCLUDE (PUBYEAR,2024) AND EXCLUDE (PUBYEAR,2025))". No entanto, as palavras-chave da primeira coluna foram pesquisadas exclusivamente no campo do título para restringir a pesquisa e torná-la mais específica. Dessa forma para investigar o desenvolvimento sobre o tema foi determinado o número de publicação por ano, frequência de artigos por país, por sistema sensor e palavras-chave de co-ocorrência (Duan; Wang; Yin, 2020). Foi considerado apenas artigos até o ano de 2022. Para reduzir a redundância de dados literários e a presença de literatura cinzenta, excluímos manualmente toda a produção literária associada a resenhas, anais de congressos, capítulos de livros e livros. Testes anteriores foram realizados com diferentes conjuntos de palavras, termos e sinônimos até chegar ao conjunto de palavras e termos utilizados, que se mostrou relevante para o escopo do estudo.

(Binh Pham-Duc et al. 2023). Portanto, foi realizado uma análise sólida com base nas publicações dos últimos quarenta e três anos, examinando o número de artigos publicados no período de 1980 a 2022, conforme representado na Figura 1. É evidente uma tendência crescente tanto no volume quanto na taxa de publicações relacionadas a detecção de corpos d’água usando sensoriamento remoto por radar.

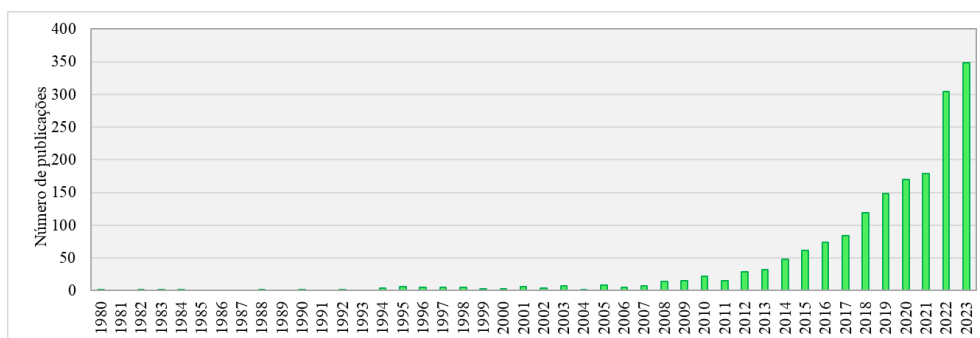


Figura 1. Número de artigos sobre sensoriamento remoto por radar aplicado a detecção de corpos hídricos de 1980 a 2023.

No período de 1980 até 2007, foram publicados anualmente menos de 10 artigos, totalizando 77 publicações. Por outro lado, em 2018 houve um aumento de 7 publicações em relação ao ano anterior, passando de 7 para 14 artigos. Nesse contexto, o número de artigos apresentou um comportamento crescente, com um declínio pontual em 2023. Esse aumento significativo a partir de 2008 pode estar relacionado às primeiras contribuições devido ao lançamento do Radarsat-1 em 1996, do sistema ALOS PALSAR em 2006, do sistema COSMO-SKYMED em 2007, bem como à oportunidade de comparar com outros sistemas lançados anteriormente. Além disso, o fortalecimento das revistas científicas na área, como IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing, Remote Sensing and Environment desempenharam um papel crucial como meios de divulgação científica (Biftu; Gan, 1999; Luckman; Baker; Wegmüller, 2000).

Durante o período de 2008 a 2023, foram contabilizadas 1739 publicações, com um aumento de mais de 100%, sendo que o pico ocorreu em 2023, com 348 artigos. Essa expansão pode ser atribuída ao lançamento aos longos dos anos de vários sistemas sensores que disponibilizaram imagens com polarizações completas e de forma gratuita, e principalmente ao lançamento do Sentinel-1, que forneceu imagens com resolução espacial de 10 metros e resolução temporal de aproximadamente 5 dias cobrindo quase todo o globo gratuitamente. Além disso, a comparação com sistemas multiespectrais, a ampla aplicação de métodos como análise de séries temporais e classificação em diversos campos de estudo, e a disponibilização de imagens pós-processadas em escala planetária na plataforma de dados espaciais em nuvem, como o Google Earth Engine, contribuíram para esse crescimento (Canty et al.,

2019; Dennis; Grady, 2022; Abdelkareem; Al-Arifi, 2021; Druce et al. 2021).

É importante ressaltar que nas duas últimas décadas houve um notável avanço no desenvolvimento de técnicas de deep learning aplicadas ao campo do sensoriamento remoto por radar. Redes neurais profundas, incluindo as Redes Neurais Convolucionais (CNNs) e suas variantes, como U-Net e DeepLab, têm demonstrado um sucesso significativo. Essas abordagens têm sido eficazes na segmentação de corpos d'água e na detecção de mudanças relacionadas ao estresse hídrico (Ren et al., 2020). Pech-May et al. (2023) apresentaram uma estratégia para classificação de áreas inundadas utilizando imagens SAR Sentinel-1 e a rede neural U-Net, revelando que a U-Net tem um bom desempenho, mesmo com um número limitado de amostras de treinamento. Zhao (2022) destacou as vantagens das técnicas de deep learning otimizadas para a detecção de corpos hídricos a partir de imagens GF3 e dados de campo. Nesse sentido,

No geral, com base na tendência observada, é plausível antecipar que o crescimento continuará num progresso acelerado na área de dispositivos de detecção remota, aliado à demanda crescente por pesquisas relacionadas ao meio ambiente e recursos hídricos, tem impulsionado de forma robusta o avanço da tecnologia computacional e o campo de sensoriamento remoto por radar (Druce et al. 2021; Binh Pham-Duc et al. 2023).

Distribuição por país do número de publicações

De acordo com os resultados obtidos, os artigos abrangeram um total de 93 países diferentes. A distribuição geográfica dos países mais produtivos para o período global do estudo é mostrada na Figura 2.

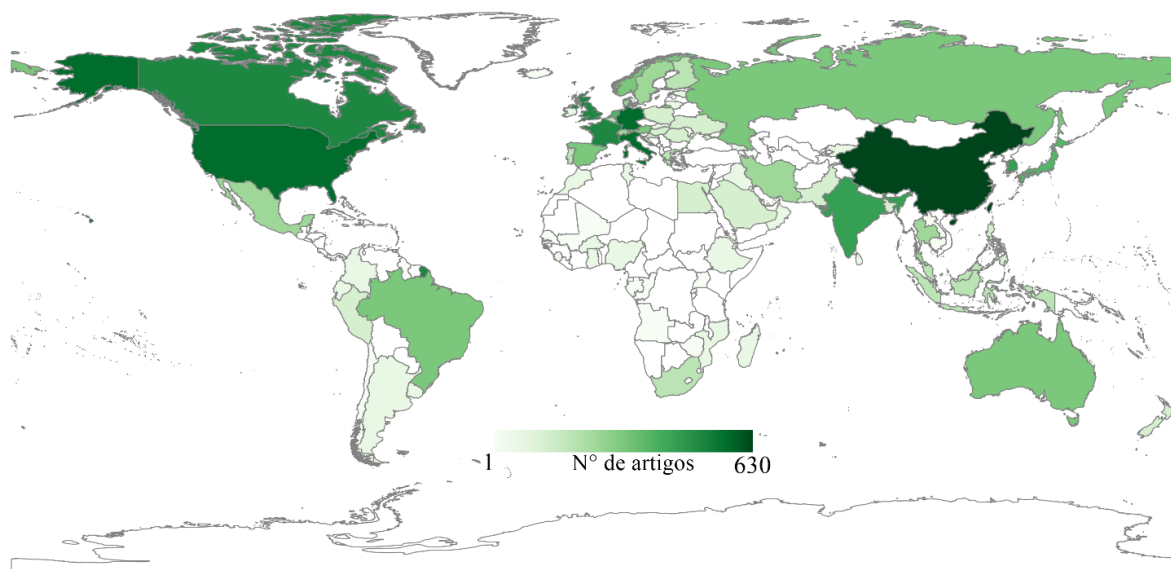


Figura 2. Distribuição geográfica por países mais produtivos.

A China liderou o ranking com uma produção significativa de 626 artigos, representando uma participação de 25,46%. Em seguida, vem O Estados Unidos, com 315 artigos (12,81%), e a Itália, com 146 artigos (5,94%). Notavelmente, houve uma concentração de artigos nos países do hemisfério norte, com exceções notáveis, como a Índia, que ocupou a 8ª posição com 90 artigos (3,66%), a Coreia do Sul, com 66 artigos (2,68%). Além disso, os países europeus também se destacaram no ranking, com a Alemanha contribuindo com 146 artigos (5,94%), a Itália com 139 artigos (5,65%) e a França com 118 artigos (4,80%), ocupando as 3ª, 4ª e 5ª posições, respectivamente. Vinte e seis países publicaram entre 10 e 100 artigos. Destes, doze são europeus, totalizando 277 publicações, e dez são asiáticos, com um total de 329 publicações. Na América, apenas dois países se destacaram: Brasil, com 31 publicações, e México, com 17. Na África, somente a África do Sul teve 14 publicações, enquanto na Oceania, a Austrália registrou 31 publicações.

O aumento significativo no número de publicações provenientes da China ocorreu em um período recente, impulsionado por uma vigorosa reforma do sistema nacional de inovação e as políticas de promoção do ensino superior, com foco especial em pesquisa e desenvolvimento, que teve início na década de 2010. O país implementou diversas políticas que incentivam e avaliam a carreira de pesquisadores, muitas vezes vinculando a produção científica a gratificações, além investimentos substanciais nas universidades,

como da Fundação Nacional de Ciências Naturais e do Programa Nacional de Investigação Básica (Jaguaribe, 2016). No entanto, é importante notar que, apesar disso, em 2022 a China ocupou a 11ª posição no ranking do Índice de Inovação Global segundo Brás (2023), enquanto os Estados Unidos, que ocuparam a segunda posição em termos de número de publicações conforme demonstrado no mapa da Figura 2, alcançaram essa posição de destaque devido a significativos investimentos tanto públicos quanto privados no ensino superior, além de um histórico notável de abrigar sete das melhores universidades do mundo. Atualmente, os Estados Unidos se encontram em segundo lugar no Índice de Inovação Global, ficando atrás apenas da Suíça. Resumidamente, esse destaque por demanda de pesquisa também se deve ao fato que os países europeus, EUA e China atualmente sendo as maiores potências comerciais, agrícolas e industriais que utilizam o sensoriamento remoto por radar e dados hidrometeorológicos para avaliar o rendimento da produção e mitigar, prever eventos extremos e formas sustentáveis de uso da água (Brás, 2023).

Frequência do uso de palavras chaves

Palavras-chave, um elemento central dos artigos, oferecem uma forma altamente resumida do conteúdo de um artigo. Para compreender as áreas de foco e as tendências de desenvolvimento de um campo, é necessário analisar sistematicamente a seleção de palavras-chave em estudos relevantes. Uma análise estatística das mudanças nas palavras-chave é benéfica para uma

análise comparativa das mudanças nos assuntos comuns de pesquisa e no processo de desenvolvimento de estudos de aplicações em imagens SAR aplicado a detecção de corpos d'água

(Duan; Wang; Yin, 2020). A figura 3 mostra uma nuvem de palavras com as palavras-chave mais frequentes.

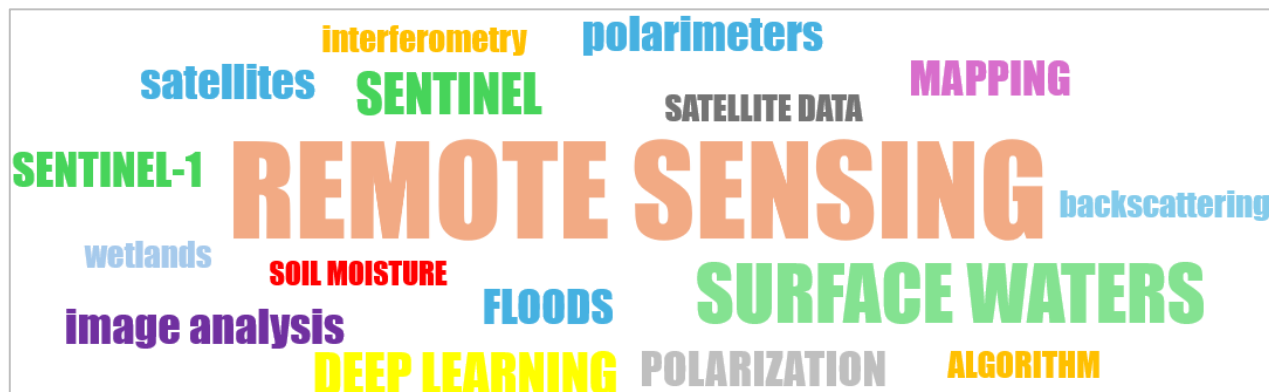


Figura 3. Tópicos de tendência mais representativos

A palavra-chave “remote sensing” apresentou o maior número de ocorrência, chegando a 33,4%, logo em seguida “Surface Waters” com 20,9%. Esse comportamento é comum devido as expressões serem usuais nas publicações neste campo de estudo. Sentinel e mais específico ainda, o Sentinel-1, foram os únicos sistemas satélites com alta predominância nas ocorrências, ocupando um quantitativo de 5,5% e 4,1% respectivamente. Isso pode estar relacionado as potencialidades técnicas e facilidades de obtenção e processamento das imagens Sentinel. Termos semelhantes também obtiveram ocorrências como “soil moisture” e “wetlands” ambos com 2,5% e alguns termos técnicos gerais e métodos como “satellite imagery” (7,2%), “satélites” (2,9%), “satellite data” (2,4%), “image analysis” (3,4%), “algorithm” (2,1%),

“backscattering” (1,8%), “polarization” (4,1%), “interferometry” (1,4%), “polarimeters” (2,3%) e mapping (3,5%) e “floods” (3,4%). Um ponto de destaque foi a ocorrência do termo “deep leaning” chegando a 5,8% (Figura 3). A ocorrência desse termo já era esperada devido a seu avanço significativo no campo de detecção de corpos d'água com várias aplicações desde a melhoria da classificação a fusão de dados.

Periódicos mais citados

A Figura 4 resume as informações primárias associadas aos dez artigos mais citados sobre detecção de águas superficiais por sensoriamento remoto SAR. Ao olhar apenas para os 10 principais artigos mais citados, ele representa 81,3% do total de citações (912 citações).

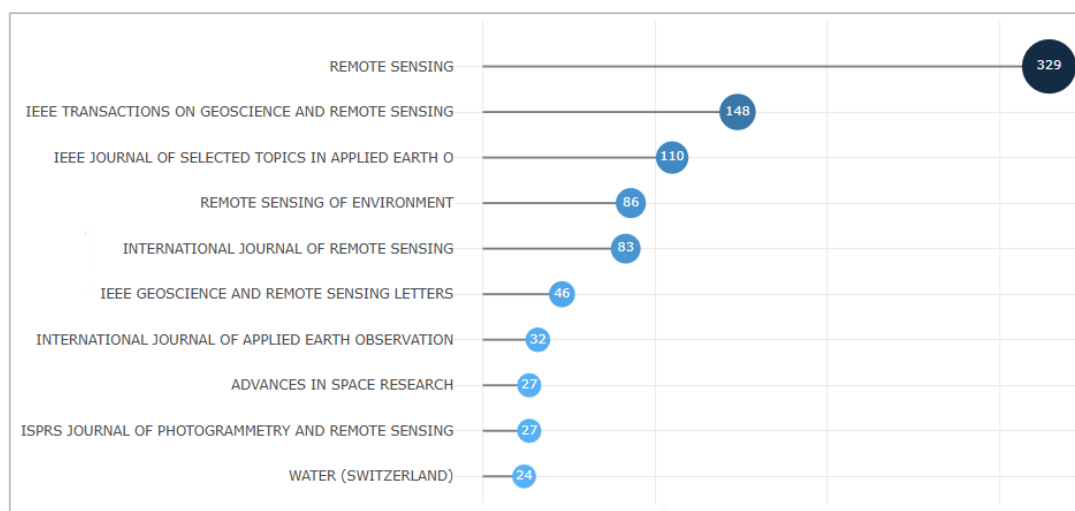


Figura 4. Os dez artigos mais citados.

Os círculos azuis no lado direito indicam os respectivos números de citações. Os resultados indicam a existência de um total de 156 periódicos distintos (Figura 4). Em termos estatísticos, a média anual de publicações foi de 9,3. As três fontes mais destacadas no contexto do mapeamento de corpos d'água por sensoriamento remoto por radar são “*Remote Sensing*” (329 artigos, aproximadamente 22,8%), “*IEEE Transactions on Geoscience And Remote Sensing*” (148 artigos, cerca de 10,3%) e “*IEEE Journal of Selected Topics In Applied Earth Observations And Remote Sensing*” (110 artigos, cerca de 7,6%).

Neste ranking, apenas a revista “*Water*” tem ênfase em recursos hídricos, ocupando a décima posição; as demais possuem um foco maior no sensoriamento remoto em geral. No entanto, a revista “*Advances in Space Research*”, que está em oitavo lugar, tem uma ênfase ativa em ciências da terra. Embora a “*Remote Sensing*” tenha sido criada em 2009 e seja relativamente nova em comparação com as outras revistas, ela foi a mais procurada entre os autores, mesmo cobrando taxas de publicação. Isso pode estar relacionado ao seu acesso livre, que incentiva os pesquisadores a publicarem nela para que suas pesquisas sejam mais acessadas e lidas mundialmente. Por outro lado, revistas mais antigas tendem a ter um crescimento contínuo, como, por exemplo, a “*IEEE Transactions on Geoscience And Remote Sensing*”, “*Remote Sensing of Environment*” e “*International Journal of Remote Sensing*”, com médias de 21, 17 e 20 publicações anuais, respectivamente (Figura 4).

Ao recuperar a literatura relevante sobre o sensoriamento remoto por radar aplicado a recursos hídricos, foi revelado conhecimentos ocultos subjacentes a este significativo corpo de pesquisa (Ouchi, 2013; Rincon et al. 2021). O aumento constante no número de publicações reflete a crescente atenção dos acadêmicos a este campo de pesquisa, acompanhado pelo avanço da tecnologia e pela disponibilidade de dados SAR e métodos de obtenção de informações espaciais por meio de imagens. Por outro lado, é relevante destacar que o sistema Sentinel-1, juntamente com as técnicas de aprendizado profundo (Deep Learning) e a disponibilidade de imagens de satélite no Google Earth Engine, têm proporcionado oportunidades significativas para pesquisas abrangentes na área de recursos hídricos, cobrindo diversas áreas de estudo (Lalchhanhima et al. 2021; Pech-May et al. 2023).

A análise de palavras-chave forneceu insights sobre as áreas de aplicação dominantes em recursos hídricos por sensoriamento remoto por radar, avanços metodológicos na análise de imagens e redes colaborativas dentro da comunidade de pesquisa bem como a integração de técnicas avançadas como aprendizado de máquina e aprendizado profundo para classificação e análise de imagens aplicado em detecção de corpos d'água (Dong et al. 2022). Isso evidencia a estreita conexão existente entre o sensoriamento remoto por radar e a investigação dos recursos hídricos. Esse vínculo é intrínseco, uma vez que ambos são profundamente influenciados por características físicas de extrema importância. Estas incluem a interação entre o sinal emitido e as características geométricas em corpos d'água superficiais (Dong et al. 2022; Merzouki et al. 2019). O destaque dessas categorias nos últimos anos indica que esse campo de estudo está experimentando um rápido crescimento e sugere que há uma demanda crescente por mais pesquisas.

Apesar do surgimento de várias plataformas SAR ao longo dos anos e dos esforços dos pesquisadores na publicação frequente relacionada aos recursos hídricos, é notável que não existe uma relação proporcional entre o tempo de disponibilização de imagens e o número de artigos publicados. Um exemplo marcante disso é o Sentinel-1, que, apesar de ter sido lançado em 2015, lidera ligeiramente o número de publicações em comparação com outras plataformas lançadas anteriormente. Como mencionado anteriormente, esse comportamento está relacionado à sua alta resolução temporal em escala global, à disponibilidade de cenas no mais alto nível de processamento pelo Google Earth Engine e às propriedades espectrais da banda C, bem como às polarizações VV e VH, que são relevantes para a compreensão das dinâmicas dos sistemas aquáticos (Mohammad et al. 2023; Druce et al. 2021). O oposto ocorre com os sistemas de sensores comerciais Radarsat-1 e CosmoSky-Med lançadas em 1995 e 2007 respectivamente, os quais são disponibilizados apenas mediante solicitação por grupos de pesquisa, em colaboração com universidades e empresas. Portanto, as publicações estão limitadas a essas entidades.

Tendência de publicações no Brasil

A figura 5 mostra a distribuição temporal do número de artigos publicado por brasileiros sobre o tema.

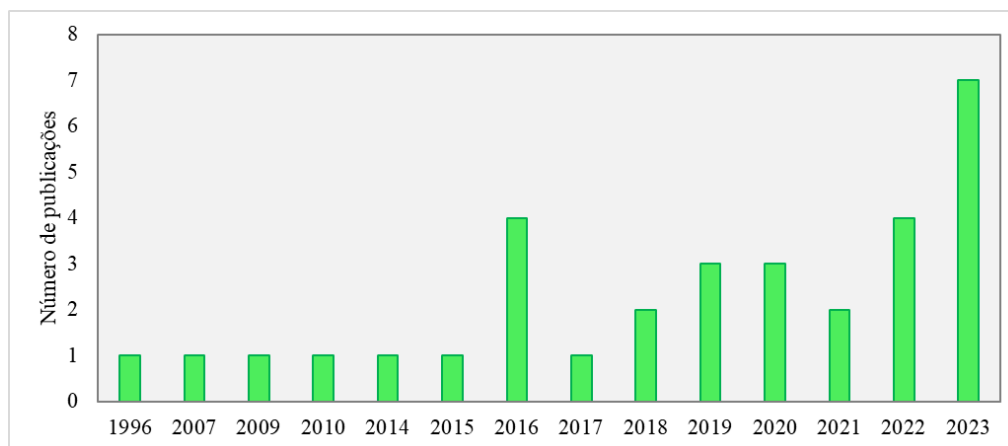


Figura 5. Número de artigos sobre sensoriamento remoto por radar aplicado a detecção de corpos hídricos no Brasil.

É observado que, antes de 2015, foram publicados poucos artigos, em anos não consecutivos e com intervalos variados. Por outro lado, em 2016, houve um aumento expressivo. Um destaque desse ano foi o estudo de Barreto, Almeida e Cappabianco (2016), que apresentou uma nova abordagem para estimar níveis de água de rios e reservatórios na capital Porto Velho, RO, a partir de produtos SAR/InSAR. Os autores relataram que o método proposto é baseado em uma estrutura de grafos conhecida como *Image Foresting Transform* (IFT). Essa estrutura foi adaptada para detectar margens de rios e reservatórios, permitindo a estimativa precisa dos níveis de água ao longo do tempo.

Após um crescimento em 2016, houve uma diminuição no ano seguinte, resultando em apenas um artigo publicado. No entanto, observou-se um crescimento contínuo até 2020. Durante esse período, destacou-se o estudo de Park et al. (2020), que propuseram um método de medição aplicável a uma ampla gama de reservatórios, utilizando dados do radar de abertura sintética Sentinel-1 e um

modelo de elevação digital (DEM). Esse método, que é simples de implementar, envolve a estimativa da elevação média corrigida pela declividade de pontos ao longo da linha costeira do reservatório. Os autores também demonstraram a eficácia do modelo em seis estudos de caso, mostrando que os níveis de água estimados são precisos, com um erro médio de aproximadamente 10% em relação aos valores verificados independentemente.

De 2021 a 2023, houve um crescimento substancial no número de artigos, atingindo o pico em 2023 com seis publicações. Zortea et al. (2023) propuseram um método eficaz para sintetizar

manchas em imagens de radar de abertura sintética (SAR) do satélite Sentinel-1, identificando áreas inundadas de terras abertas usando deep learning. Utilizando aquisições bitemporais, eles substituíram porções de terra na segunda aquisição por pixels de água de corpos d'água permanentes. Os autores alcançaram uma acurácia superior a 80% em seus experimentos, comparando os resultados com mapas de inundação de referência do serviço Copernicus. Em uma abordagem inovadora, Borba et al. (2023) utilizaram cenas do Sensor de Radar de Abertura Sintética de Veículo Aéreo Não Tripulado (UAVSAR) para a extração de bordas de corpos hídricos no município de Santos-SP, empregando algoritmos baseados em filtros B-spline e demonstrando que a abordagem é adequada. Silva Junior e Silva Júnior (2023) abordaram a utilização de técnicas de Sensoriamento Remoto por Radar, especificamente utilizando dados do Sentinel-1, para a detecção e monitoramento de corpos hídricos superficiais. Os autores observaram que a classificação utilizando imagens de polarização unitária S1 (VH e VH) pode resultar em superestimativas, com erros de comissão variando entre 16 e 29%. A combinação de dados empregados mostrou limitações na detecção de corpos hídricos lineares e pequenos lagos, gerando erros de omissão média de 2,5%. Além disso, os autores relataram que a constelação Sentinel é uma ferramenta poderosa para mapear e monitorar grandes ecossistemas aquáticos, com alta frequência de revisitação, apesar das limitações em áreas de sombras, relevo acidentado e ruído speckle, que precisam ser estudadas futuramente. A Figura 6 mostra as instituições que mais publicaram artigos sobre o tema.

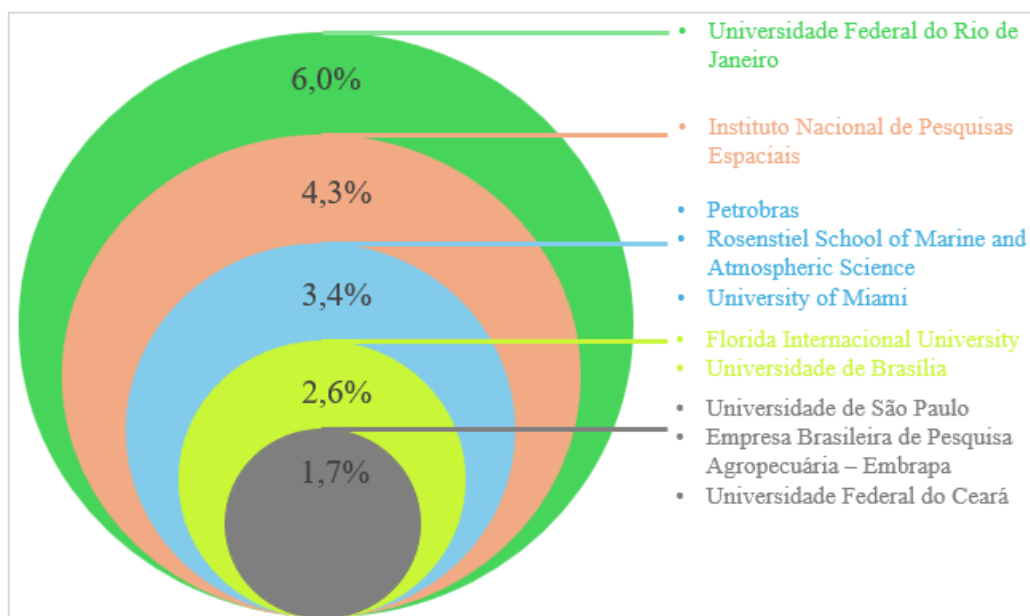


Figura 6. Frequência de publicações por instituições que mais publicaram sobre Sensoriamento Remoto por radar aplicado a detecção de águas superficiais.

Foram observadas 87 instituições que publicaram artigos sobre sensoriamento por radar para a detecção de corpos hídricos. As instituições com maior número de publicações foram a Universidade Federal do Rio de Janeiro, com 7 publicações distribuídas entre 2009 e 2023, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, com 5 publicações entre 2007 e 2023, e a Petrobras, com 4 artigos entre 2017 e 2023. Autores brasileiros que publicaram no exterior também foram contabilizados nesta seção, como evidenciado pelas publicações em instituições como a *Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science*, a *University of Miami* e a *Florida International University*, todas com sede nos Estados Unidos (Figura 6). Com menor frequência de publicações, foram encontradas a Universidade de Brasília, com 3 artigos, e a Universidade de São Paulo, a Embrapa e a Universidade Federal do Ceará, cada uma com 2 artigos publicados.

Conclusões

A natureza dinâmica de qualquer campo de estudo demonstrará mudanças e mudanças ao longo do tempo, local e tópico. Com base na base de dados Scopus, foi realizada uma análise bibliométrica sobre os estudos em recursos hídricos utilizando sensoriamento remoto por radar nos últimos 43 anos. Diante do que foi exposto é possível afirmar que os estudos em recursos hídricos por meio do sensoriamento remoto por radar têm se expandido aos longos anos, com uma

taxa de crescimento anual de 83%, indicando o potencial de crescimento rápido no futuro, sobretudo em países desenvolvidos como China e Estados Unidos. Esta evolução é explicada pelo facto de existir uma forte relação entre a evolução tecnológica dos métodos de detecção e a aquisição de dados de detecção remota.

A aplicação da tecnologia SAR para recursos hídricos ainda há potencial para melhorar a aplicações. Como uma tecnologia já estabelecida, o uso de imagens SAR pode fornecer observações espaciais detalhadas diante da evolução dos estudos e análises em recursos hídricos. As estratégias possíveis podem incluir provar o apoio de ferramentas técnicas proprietárias, suportar as teorias e métodos de outras disciplinas, reconsiderar e melhorar a investigação substantiva e direcionada e combinar a aplicação de técnicas e ferramentas de investigação de diferentes fontes. Diante disso, é necessário analisar às tendências de desenvolvimento e aos pontos críticos sobre o tema, portanto, a análise bibliométrica torna-se eficaz para este tipo de análise e deve ser realizado regularmente, utilizando dados bibliográficos atualizados, a fim de observar de perto o desenvolvimento das pesquisas neste campo.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio do projeto “Sensoriamento Remoto Aplicado no Estudos de Focos de Calor em Florestas do Brasil e Península Ibérica” (Pró-Reitoria de Pesquisa e Inovação

(PROPESQI)—Universidade Federal de Pernambuco, Brasil (DECART/UFPE), Ref. : SIPAC 23076.026035/2023-72).

Referências

- Ahmed, A. A., Assadi, M., Kalantar, A., Sliwa, T., & Sapińska-Śliwa, A. (2022). A critical review on the use of shallow geothermal energy systems for heating and cooling purposes. *Energies*, 15(12), 4281. <https://doi.org/10.3390/en15124281>
- Abdelkareem, M., & Nassir Al-Arifi. (2021). The use of remotely sensed data to reveal geologic, structural, and hydrologic features and predict potential areas of water resources in arid regions. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(8). <https://doi.org/10.1007/s12517-021-06942-6>
- Arai, H., Toan, T. L., Takeuchi, W., Oyoshi, K., Phan, H., Nguyen, L. D., ... Inubushi, K. (2021, March 3). Detecting rice inundation status for water saving and methane emission mitigation measures using Sentinel-1 & ALOS-2/PALSAR-2 Data. Retrieved from meetingorganizer.copernicus.org website: <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU21/EGU21-7831.html>
- Aria M. (2023). Package “bibliometrix” Title Comprehensive Science Mapping Analysis (pp. 1–72). Retrieved from <https://cran.r-project.org/web/packages/bibliometrix/bibliometrix.pdf>
- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix : An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- Barreto, T. L. M., Almeida, J., & Cappabianco, F. A. M. (2016). Estimating accurate water levels for rivers and reservoirs by using SAR products: A multitemporal analysis. *Pattern Recognition Letters*, 83, 224–233. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2016.05.015>
- Biftu, G. F., & Gan, T. Y. (1999). Retrieving near-surface soil moisture from Radarsat SAR data. *Water Resources Research*, 35(5), 1569–1579. <https://doi.org/10.1029/1998wr900120>
- Binh Pham-Duc, Nguyen, H., Thanh Hien Phan, & Quan Tran-Anh. (2023). Trends and applications of google earth engine in remote sensing and earth science research: a bibliometric analysis using scopus database. *Earth Science Informatics*, 16(3), 2355–2371. <https://doi.org/10.1007/s12145-023-01035-2>
- Borba, A. A., Muhuri, A., Marengoni, M., & Frery, A. C. (2023). Feature Selection for Edge Detection in PolSAR Images. *Remote Sensing*, 15(9), 2479. <https://doi.org/10.3390/rs15092479>
- Brás, G. R. (2023). Pillars of the Global Innovation Index by income level of economies: longitudinal data (2011-2022) for researchers' use. *Data in Brief*, 46, 108818. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2022.108818>
- Brisco, B. (2015). *Early Applications of Remote Sensing for Mapping Wetlands*. CRC Press eBooks, 86–97. <https://doi.org/10.1201/b18210-9>
- Canty, M. J., Nielsen, A. A., Conradsen, K., & Skriver, H. (2019). Statistical Analysis of Changes in Sentinel-1 Time Series on the Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 12(1), 46. <https://doi.org/10.3390/rs12010046>
- Chawla, I., Karthikeyan, L., & Mishra, A. K. (2020). A review of remote sensing applications for water security: Quantity, quality, and extremes. *Journal of Hydrology*, 585, 124826. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124826>
- Chen, Y.-Q., Walim Lili, Zhang, G., & Qiao, S. (2020). Review on wetland water level monitoring using interferometric synthetic aperture radar. *PubMed*, 31(8), 2841–2848. <https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.202008.035>
- Dennis, L. E., & Grady, C. A. (2022). Watery research boundaries: A bibliometric and network science approach to explore gaps and overlaps in water research. *Water Security*, 16, 100117. <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2022.100117>
- Dong, L., Wang, W., Jin, R., Xu, F., & Zhang, Y. (2022). Surface Soil Moisture Retrieval on Qinghai-Tibetan Plateau Using Sentinel-1 Synthetic Aperture Radar Data and Machine Learning Algorithms. *Remote Sensing*, 15(1), 153–153. <https://doi.org/10.3390/rs15010153>
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>
- Druce, D., Tong, X., Lei, X., Guo, T., Marie, C., Grogan, K., & Tøttrup, C. (2021). An Optical and SAR Based Fusion Approach for Mapping Surface Water Dynamics over Mainland China. *Remote Sensing*, 13(9), 1663–1663. <https://doi.org/10.3390/rs13091663>
- Duan, P., Wang, Y., & Yin, P. (2020). Remote Sensing Applications in Monitoring of

- Protected Areas: A Bibliometric Analysis. *Remote Sensing*, 12(5), 772. <https://doi.org/10.3390/rs12050772>
- Hoppinen, Z., Shadi Oveisgharan, Marshall, H.-P., Mower, R., Elder, K., & Vuyovich, C. (2023). Snow Water Equivalent Retrieval Over Idaho, Part B: Using L-band UAVSAR Repeat-Pass Interferometry. *The Cryosphere Discussions*, 2023. <https://doi.org/10.5194/tc-2023-127>
- Iqbal, U., Muhammad, Barthelemy, J., Perez, P., & Muhammad Bilal Idrees. (2023). The last two decades of computer vision technologies in water resource management: A bibliometric analysis. *Water and Environment Journal*, 37(3), 373–389. <https://doi.org/10.1111/wej.12845>
- Jaguaribe, A. (2016). Capacidades estatais comparadas: a china e a reforma do sistema nacional de inovação. Retrieved from https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/livros/livros/Capacidades_Cap_10.pdf
- Lalchhanhima, R., Saha, G., Sur, S. N., & Kandar, D. (2021). Water body segmentation of Synthetic Aperture Radar image using Deep Convolutional Neural Networks. *Microprocessors and Microsystems*, 87, 104360. <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2021.104360>
- Levizzani, V., & Cattani, E. (2019). Satellite Remote Sensing of Precipitation and the Terrestrial Water Cycle in a Changing Climate. *Remote Sensing*, 11(19), 2301. <https://doi.org/10.3390/rs11192301>
- Luckman, A., Baker, J., & U. Wegmuller. (2000). Repeat-Pass Interferometric Coherence Measurements of Disturbed Tropical Forest from JERS and ERS Satellites. *Remote Sensing of Environment*, 73(3), 350–360. [https://doi.org/10.1016/s0034-4257\(00\)00110-3](https://doi.org/10.1016/s0034-4257(00)00110-3)
- Merzouki, A., McNairn, H., Powers, J., & Friesen, M. (2019). Synthetic Aperture Radar (SAR) Compact Polarimetry for Soil Moisture Retrieval. *Remote Sensing*, 11(19), 2227. <https://doi.org/10.3390/rs11192227>
- Mohammad El Hajj, Johansen, K., Almashharawi, S. K., & McCabe, M. F. (2023). Water uptake rates over olive orchards using Sentinel-1 synthetic aperture radar data. *Agricultural Water Management*, 288(12), 108462–108462. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108462>
- Nogueira, R., Diego Pereira Costa, Soltan Galano Duverger, Souza, J., Elaine, Carlos, ... Porsani, M. J. (2023). Bibliometric analysis of surface water detection and mapping using remote sensing in South America. *Scientometrics*, 128(3), 1667–1688. <https://doi.org/10.1007/s11192-022-04570-9>
- Ouchi, K. (2013). Recent Trend and Advance of Synthetic Aperture Radar with Selected Topics. *Remote Sensing*, 5(2), 716–807. <https://doi.org/10.3390/rs5020716>
- Park, E., Merino, E. R., Lewis, Q. W., Lindsey, E. O., & Yang, X. (2020). A Pathway to the Automated Global Assessment of Water Level in Reservoirs with Synthetic Aperture Radar (SAR). *Remote Sensing*, 12(8), 1353–1353. <https://doi.org/10.3390/rs12081353>
- Passah, A., Sur, S. N., Abraham, A., & Kandar, D. (2023). Synthetic Aperture Radar image analysis based on deep learning: A review of a decade of research. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 123, 106305. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.106305>
- Pech-May, F., Aquino-Santos, R., & Delgadillo-Partida, J. (2023). Sentinel-1 SAR Images and Deep Learning for Water Body Mapping. *Remote Sensing*, 15(12), 3009–3009. <https://doi.org/10.3390/rs15123009>
- Pritchard, A. (1969) Statistical Bibliography or Bibliometrics. *Journal of Documentation*, 25, 348-349
- Ren, Y., Xu, H., Liu, B., & Li, X. (2020). Sea Ice and Open Water Classification of SAR Images Using a Deep Learning Model. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. <https://doi.org/10.1109/igarss39084.2020.9323990>
- Rincon, R. F., Carter, L. M., Banting, R., Perrine, M., Du Toit, C. F., Steigner, P., ... Alberdeen, W. (2021, July 1). Recent Developments of the Space Exploration Synthetic Aperture Radar (SESAR) for Planetary Science Missions. <https://doi.org/10.1109/IGARSS47720.2021.9554080>
- Sánchez, A. D., de la Cruz Del Río Rama, M., & García, J. Á. (2017). Bibliometric analysis of publications on wine tourism in the databases Scopus and WoS. *European Research on Management and Business Economics*, 23(1), 8–15. <https://doi.org/10.1016/j.iemeen.2016.02.001>
- Silva J. A. S. J; & Silva, S. (2023). Water Body Extraction Using a Sentinel-1 Scene and Artificial Neural Networks: Case Study –

- Carpina-PE Dam. *Sociedade & Natureza*, 36(1).
<https://doi.org/10.14393/sn-v36-2024-70654>
- Sheffield, J., Wood, E. F., Pan, M., Beck, H., Coccia, G., Serrat-Capdevila, A., & Verbist, K. (2018). Satellite Remote Sensing for Water Resources Management: Potential for Supporting Sustainable Development in Data-Poor Regions. *Water Resources Research*, 54(12), 9724–9758.
<https://doi.org/10.1029/2017wr022437>
- Shen, X., Wang, D., Mao, K., Anagnostou, E., & Hong, Y. (2019). Inundation Extent Mapping by Synthetic Aperture Radar: A Review. *Remote Sensing*, 11(7), 879.
<https://doi.org/10.3390/rs11070879>
- Wu, Y., Liu, C., Qian, Z., & Liu, G. (2022). Bibliometric Analysis of Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) Application in Land Subsidence from 2000 to 2021. *Journal of Sensors*, 2022, 1–15.
<https://doi.org/10.1155/2022/1027673>
- Zare, Fateme; Elsayah, Sondoss; Iwanaga, Takuya; Jakeman, Anthony J.; Pierce, Suzanne A.. Integrated water assessment and modelling: a bibliometric analysis of trends in the water resource sector. *Journal Of Hydrology*, v. 552, p. 765-778, set. 2017. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.07.031>
- Zhang, B., Wu, Y., Zhao, B., Chanussot, J., Hong, D., Yao, J., & Gao, L. (2022). Progress and Challenges in Intelligent Remote Sensing Satellite Systems. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 15(1), 1814–1822.
<https://doi.org/10.1109/jstars.2022.3148139>
- Zhang, Z., Lin, H., Wang, M., Liu, X., Chen, Q., Wang, C., & Zhang, H. (2022). A Review of Satellite Synthetic Aperture Radar Interferometry Applications in Permafrost Regions: Current status, challenges, and trends. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 10(3), 93–114.
<https://doi.org/10.1109/mgrs.2022.3170350>
- Zortea, Maciel; Muszynski, Michal; Fraccaro, Paolo; Weiss, Jonas. Flood Mapping Using Sentinel-1 Images and Lightweight U-Nets Trained on Synthesized Events. *Ieee Geoscience And Remote Sensing Letters*, [S.L.], v. 20, p. 1-5, 2023. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).
<http://dx.doi.org/10.1109/lgrs.2023.3305936>