



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

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



Uso dos sistemas de informação geográficas (SIG) nas ciências ambientais entre 2009 e 2019: uma análise cienciométrica

Leovigildo Aparecido Costa Santos¹, Thyago Rodrigues do Carmo Brito², Carlos de Melo e Silva-Neto³

¹Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais do Cerrado (UEG), Universidade Estadual de Goiás, Campus Henrique Santillo, CEP: 75132-903, Anápolis (GO), Brasil, Tel.: (+55 62) 3328-1139, eng.leovigildo@gmail.com (autor correspondente). ²Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro / Universidade de Évora, Portugal, Doutorado em Agribusiness e Sustentabilidade, thyagorodrigues@agronomo.eng.br. ³Instituto Federal de Goiás, Campus Cidade de Goiás, CEP: 76600-000, Cidade de Goiás (GO), Brasil, Tel.: (+55 62) 3371-9000, carlos.neto@ifg.edu.br.

Artigo recebido em 23/10/2021 e aceito em 24/05/2022

RESUMO

Os sistemas de informação geográfica (SIGs) são sistemas computadorizados voltados à armazenagem, gerenciamento e manipulação de dados geográficos, com uso disseminado em diversos campos científicos, como as Ciências Ambientais. No presente estudo foram empregadas análises cienciométricas para analisar a produção científica de estudos que empregaram SIG nas ciências ambientais entre os anos 2009 e 2019. Os dados analisados foram artigos científicos, obtidos da coleção principal da base de dados Web of Science. 7.687 artigos foram retidos para análise, publicados em 265 periódicos. A Ásia foi a região em que mais pesquisadores assinaram artigos científicos, seguida pela Europa, América e Oceania, nenhum país africano ficou entre os 20 países que mais publicaram. A China foi o país que mais publicou, seguida pelos EUA, Índia, Turquia, Irã e Itália. Verificou-se que artigos publicados a mais tempo tendem a ter mais citações, em detrimento de artigos mais recentes. Os artigos mais citados são discutidos, bem como os principais temas de pesquisa para dois períodos distintos: 2009-2014 e 2015-2019. Os temas principais das pesquisas entre 2009 e 2014 foram poluição do ar e processos analíticos hierárquicos, enquanto que, entre 2015 e 2019 foram temas principais uso do solo, serviços ecossistêmicos e sustentabilidade. Processos analíticos hierárquicos foram mais frequentes em estudos de países emergentes, enquanto que serviços ecossistêmicos foram mais frequentes em estudos dos EUA, Europa e Austrália. Palavras-chave: sistema de informação geográfica, ciências ambientais, cienciométrica.

Use of geographic information systems (GIS) in environmental sciences from 2009 to 2019: a scientometric analysis

ABSTRACT

Geographic Information Systems (GIS) are computerized systems aimed at storing, managing, and manipulating geographic data with widespread use in various scientific fields, such as Environmental Sciences. In the present study, scientometric analyzes were used to analyze the scientific production of studies using GIS in environmental sciences between 2009 and 2019. The data analyzed were scientific articles obtained from the Web of Science database. 7,687 articles were retained for analysis, published in 265 journals. Asia was the region where most researchers signed scientific articles, followed by Europe, America, and Oceania. No African country was among the 20 countries that published the most. China was the country that published the most, followed by the USA, India, Turkey, Iran, and Italy. It was found that articles published for a longer time tend to have more citations, to the detriment of more recent articles. The most cited articles are discussed, as well as the main research topics in two distinct periods: 2009-2014 and 2015-2019. The main themes of the surveys from 2009 to 2014 were air pollution and hierarchical analytical processes, while from 2015 to 2019, the main themes were land use, ecosystem services, and sustainability. Hierarchical analytical processes were more frequent in studies from emerging countries, while ecosystem services were more frequent in studies from the US, Europe, and Australia.

Keywords: geographical information systems, environmental sciences, scientometrics.

Introdução

As ciências ambientais se constituem de um campo interdisciplinar que podem abranger estudos da botânica, geografia, cartografia, química, geologia, climatologia, horticultura e paisagismo, desenvolvimento sustentável, preservação e conservação ambiental, ecologia, produção vegetal, entomologia, ciência do solo, economia ambiental, turismo, educação ambiental, recursos hídricos, direito ambiental, vida selvagem, gestão ambiental, zoologia e sistemas de informação geográfica (SIG) (Adriaanse e Rensleigh, 2013; Hassenzahl et al., 2016).

Os sistemas de informação geográfica (SIGs) são sistemas computadorizados voltados à armazenagem, gerenciamento e manipulação de dados geográficos (Santos et al., 2019). Os SIGs são aplicados em diferentes campos científicos (Melo e Queiroz, 2019) e possibilitam a análise em diferentes escalas e de grandes conjuntos de dados que contenham um componente espacial. Desde o surgimento dos SIGs, ainda na década de 1960, seus usos foram voltados principalmente à gestão e monitoramento de recursos naturais (Goodchild, 2003). Com o tempo seus usuários deixaram de serem apenas geógrafos, mas também biólogos, geólogos, empresas e diversos outros grupos de pessoas com interesse no que se encontra ou virá a existir sobre a superfície terrestre (Galton, 2019).

Nas ciências ambientais um SIG pode ser empregado para diferentes análises, como em análises de uso e cobertura da terra (Santos et al., 2017), na modelagem de bacias hidrográficas (Santos et al., 2019), no auxílio à tomada de decisão quanto à alocação de empreendimentos energéticos e de infraestrutura (Wang et al., 2009; Tegou et al., 2010), planejamento do desenvolvimento urbano (Bathrellos et al., 2012), avaliação de áreas susceptíveis à desastres (Rozos et al., 2011), incêndios florestais (Vadrevu et al., 2010), poluição (SU et al., 2009; Shrestha et al., 2019), epidemiologia (Nuvolone et al., 2011), serviços ecossistêmicos (Burkhard et al., 2012), mudanças climáticas (Allenbach et al., 2015), vulnerabilidade ambiental (Nguyen et al., 2016), modelagem da distribuição de espécies (Balakrishnan et al., 2019), dentre outros.

Devido a grande quantidade de informações geradas e disponibilizadas atualmente em publicações científicas, cada vez mais se torna difícil acompanhar os temas mais pesquisados e as tendências de determinado campo científico, inclusive dos estudos em ciências ambientais que empregam os SIGs. Diante disso, técnicas de cienciometria, empregadas na mensuração de aspectos quantitativos da produção científica,

mostram-se importantes para a visualização da evolução de um determinado campo com o passar dos anos, bem como na identificação de padrões e tendências futuras da ciência.

Outros estudos já empregaram cienciometria em análises de publicações com sistemas de informação geográfica. Por exemplo, Melo e Queiroz (2019) analisaram 2.053 artigos extraídos de vinte periódicos selecionados da coleção principal da base de dados Web of Science, constatando que as áreas mais significativas em número de publicações foram Geografia, Ciência da computação, Geografia física e Ciências Ambientais. Biljecki (2016) realizaram uma análise cienciométrica em 20 periódicos voltados principalmente para GIScience, encontrando 12.436 artigos publicados entre os anos 2000 e 2014 e um aumento na colaboração internacional com o passar dos anos. Tian et al. (2008) analisaram artigos indexados no Institute for Scientific Information (ISI) com GIS (acrônimo de Geographic information system) em títulos ou palavras-chave entre os anos 1997 e 2006.

Uma característica comum aos estudos citados é o conjunto restrito de dados utilizados, como periódicos selecionados ou bancos de dados pouco abrangentes. Para compreender a dinâmica e tendências de publicações na área das ciências ambientais, o presente estudo propõe uma análise cienciométrica mais abrangente, abordando boa parte dos artigos publicados na última década que empregaram SIG em pesquisas das ciências ambientais. Com isso, o objetivo desta nota científica é analisar, com técnicas cienciométricas, a produção científica entre os anos 2009 e 2019 em ciências ambientais que utilizaram os sistemas de informação geográficas.

Material e métodos

Obtenção e filtragem dos dados

Os artigos analisados foram obtidos da coleção principal da base de dados Web of Science (WOS). A WOS, uma das principais bases de dados científicos, em sua coleção principal conta com mais de 84 milhões de documentos indexados e mais de 21.000 periódicos científicos (Clarivate, 2021). A estratégia de busca consistiu em uma pesquisa do tipo avançada por publicações científicas que utilizou termos referentes aos sistemas de informação geográfica nos títulos, palavras-chave dos autores ou resumos, sendo os termos pesquisados na língua inglesa (Quadro 1).

O conjunto de dados foi exportado da WOS no formato “Registro completo e referências citadas”, que incluiu todas as informações de periódicos, artigos e autores, de modo a possibilitar

a realização de todas as análises propostas na presente pesquisa.

A pesquisa na WOS retornou um total de 84.306 publicações científicas. Aplicando-se o recorte temporal entre os anos 2009 e 2019, o volume de publicações reduziu para 52.142 documentos. Filtrando-se para a área de pesquisa (Ciências Ambientais), o número de publicações foi reduzido para 9.395. Um terceiro filtro aplicado foi o tipo de publicação. No presente estudo optou-se por analisar somente artigos científicos originais, o que gerou um conjunto de dados final de 7.687 artigos para análise. A pesquisa foi realizada na data 24 de agosto de 2020.

Quadro 1. Estratégia de pesquisa por publicações científicas na base de dados Web of Science.

Estratégia de pesquisa: TI=("geographic* information* system*" OR GIS OR GIScience) OR AK=("geographic* information* system*" OR GIS OR GIScience) OR AB=("geographic* information* system*" OR GIS OR GIScience)
Campos: TI = title, AK = author keywords, AB = abstract
Caracteres especiais: Aspas ("") = indicam que a frase exata deve constar em algum dos campos pesquisados; Asterisco (*) = permite a ocorrência de qualquer caractere (exemplo, geographic*= geographic ou geographical, information*= information ou informations)

Análise dos dados

Foi contabilizado o total de publicações anuais entre 2009 e 2019, de modo identificar se há tendência de crescimento ou redução no número de publicações com o passar dos anos. A taxa de crescimento anual foi calculada utilizando a seguinte equação: $[(N2-N1)/N1] \times 100$, onde, N1 é o número de artigos publicados no ano anterior, N2 é o número de artigos publicados no ano seguinte e a multiplicação por 100 gera os resultados em % (Kumar e Kaliyaperumal, 2015). Os artigos mais citados são apresentados e os temas abordados por eles são descritos.

A Lei de Bradford foi empregada para identificar os periódicos mais influentes nas pesquisas com sistemas de informação geográficas nas ciências ambientais. Essa lei diz que o número de citações (Venable et al., 2016) ou número de publicações (Kumar e Kaliyaperumal, 2015) em um determinado campo científico podem ser divididos em 3 grupos, ou zonas. De acordo com Venable et al. (2016), a zona central representada por um conjunto pequeno de periódicos reúne 1/3 de todas as citações ou de todas as publicações de um campo científico, a segunda zona reúne um número maior de periódicos para atingir o mesmo número de citações e/ou publicações da primeira e,

a terceira zona necessita de ainda mais periódicos do que a segunda para atingir o mesmo número de citações e/ou publicações. Deste modo, periódicos inseridos na primeira zona são chamados de centrais ou nucleares e são considerados os periódicos principais em um determinado campo científico.

Para identificar os principais temas pesquisados que empregaram SIG nas ciências ambientais, os dados foram divididos em dois períodos temporais (2009-2014 e 2015-2019). Como explica Cobo et al. (2011), nesse tipo de análise os dados podem ser divididos em grupos consecutivos de anos a fim de analisar a evolução de um campo científico ao longo do tempo. No presente estudo outro aspecto a ser considerado é o volume de dados analisados. A divisão em dois períodos foi necessária para garantir um bom desempenho do software empregado nas análises, o Programa RStudio (Rstudio Team, 2020).

Para cada período foi elaborado um mapa temático com representação em um diagrama bidimensional para observar os temas básicos, especializados, emergentes e motores. O mapeamento temático foi feito através do agrupamento de palavras-chave em redes temáticas e do mapeamento de suas interconexões, deste modo os temas de pesquisa proeminentes puderam ser identificados e caracterizados por dois parâmetros: densidade e centralidade (Cobo et al., 2011; Aria e Cuccurullo, 2017). A centralidade representa a interação relativa de um grupo com outros, enquanto a densidade representa a interação relativa de temas dentro do próprio grupo. Essa metodologia é descrita com detalhes em Cobo et al. (2011). Dormezil et al. (2020) explicam que os agrupamentos finais representados graficamente são aqueles que demonstraram um maior grau relativo de densidade e centralidade quando comparados a outros.

O pacote Bibliometrix, do programa R, foi empregado na preparação, filtragem e demais etapas de análises quantitativas dos dados, bem como na geração dos gráficos de mapeamento temático. Os demais gráficos e tabelas foram elaborados no Excel. Métricas relacionadas a instituições de pesquisa e autores foram excluídas da análise devido a inúmeros erros de escrita verificados no conjunto de dados, o que tornou a correção demorada e difícil devido à quantidade de artigos analisados.

Resultados e discussão

Informações gerais

Dos 7.687 artigos analisados somente 373 foram de autoria única, ou seja, sem participação de coautores. O número total de autores foi de

21.869, dos quais, 21.546 assinaram artigos multiautorais. O índice de colaboração foi calculado através da divisão do total de autores em publicações de multiautoria pelo total de artigos com mais de um autor (Elango e Rajendran, 2012; Koseoglu, 2016), dessa forma, o resultado encontrado no presente estudo mostra que cada publicação multiautoral contou com aproximadamente três autores.

O número de artigos publicados cresceu com o passar dos anos, partindo de 489 no ano 2009 para 1.143 no ano 2019, aproximadamente 133% de crescimento entre o ano inicial e o final em análise. A taxa de crescimento médio anual foi de 8,3%, o maior crescimento foi observado para o ano 2019 em relação a 2018 (24,1%) e entre os anos 2011 e 2010 (18,3%) (Figura 1).

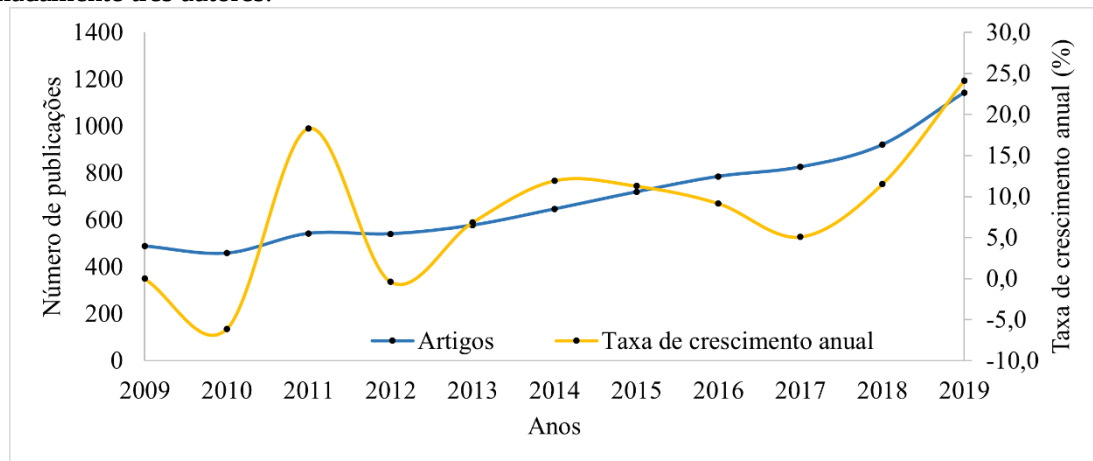


Figura 1. Evolução temporal e taxa de crescimento anual do número de artigos que utilizaram sistemas de informação geográfica nas Ciências Ambientais.

Países e periódicos mais importantes

Os dez países com maior número de pesquisadores participantes na autoria de artigos situam-se em quatro continentes: Ásia, Europa, América e Oceania (representado somente pela Austrália). China foi o país que mais publicou. Os pesquisadores chineses integraram a autoria de 5.075 artigos (66,02% dos 7.687 analisados). Os Estados Unidos contribuíram com 4.596 artigos (59,79%). Pesquisadores indianos assinaram 1.928 artigos (25,08%), a Turquia em 1.280 (16,65%), o Irã em 1.207 (15,7%), a Itália em 1.102 (14,34%), a Espanha em 982 (12,77%), Reino Unido em 851 artigos (11,07%), a Alemanha em 744 artigos (9,68%) e o Canadá em 727 (9,46%). É válido ressaltar que um mesmo autor pode participar como coautor em diversos artigos, inclusive em colaboração internacional, o que refletiu na quantidade de artigos publicada por cada país. Por esse motivo a somatória do número de publicações por países extrapolou o número total de artigos analisados na presente pesquisa. (Figura 2).

No geral, pesquisadores de países asiáticos participaram de mais artigos do que outras regiões do mundo (9.667 vezes), seguidos por pesquisadores europeus (7.167 vezes) e americanos (5.772 vezes). Esses dados evidenciaram haver um esforço maior das instituições e pesquisadores asiáticos em aplicar metodologias e técnicas de SIG nas ciências ambientais, o que foi encorajado

por organizações como a Associação Asiática de Sistemas de Informação Geográfica (Asia Geographic Information System Association - Asia GIS), fundada no ano 2003 com objetivos de promover o ensino, a pesquisa, o desenvolvimento e as aplicações do SIG e sua tecnologia, encorajando a realização de pesquisas colaborativas e a disseminação de resultados e informações relevantes por pesquisadores e profissionais.

Os artigos foram publicados em 265 fontes, sendo que mais de 50% estavam em apenas 16 periódicos. Com base na distribuição da Lei de Bradford, oito periódicos foram considerados mais relevantes em número de publicações, ou preferidos para publicação de artigos que utilizaram SIG nas ciências ambientais, tendo publicado juntos 2.702 artigos de um total de 7.687. A segunda zona contou com 27 periódicos, a terceira zona com 230 periódicos. As três zonas reuniram cada uma aproximadamente 1/3 dos artigos publicados.

Em relação ao número de citações, seis periódicos foram considerados nucleares, ou seja, os mais influentes e reuniram 1/3 de todas as citações do conjunto de dados, ou 39.907 de um total de 113.047 citações, sendo incluídos na primeira zona. A segunda zona contou com 24 periódicos e a terceira zona com 235 (figura 3).

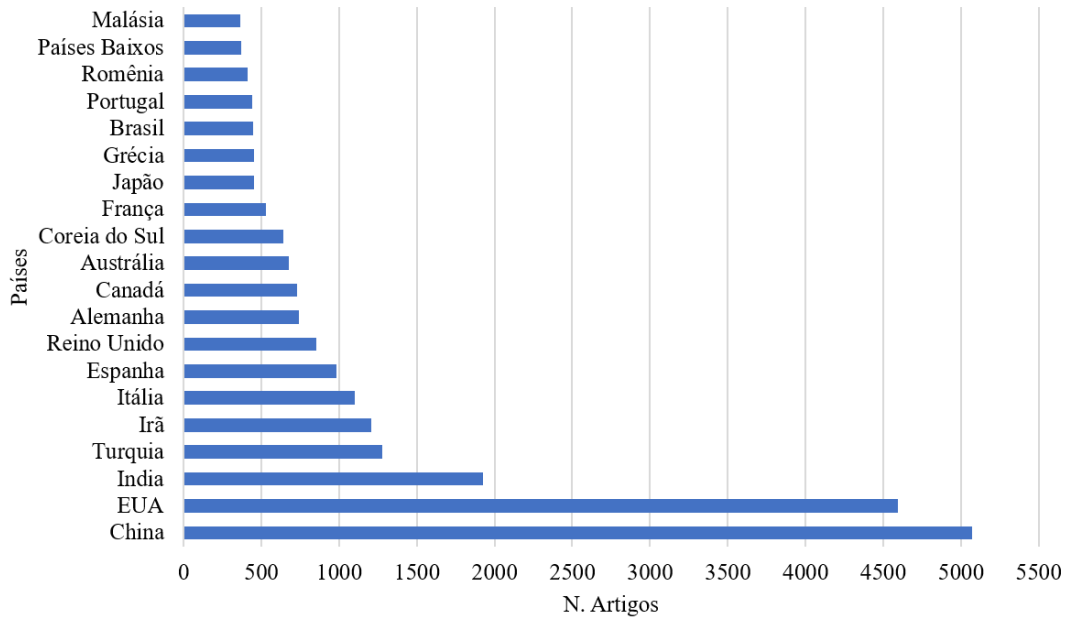


Figura 2. Total de artigos publicados pelos 20 países de maior produção científica com uso do SIG nas Ciências Ambientais.

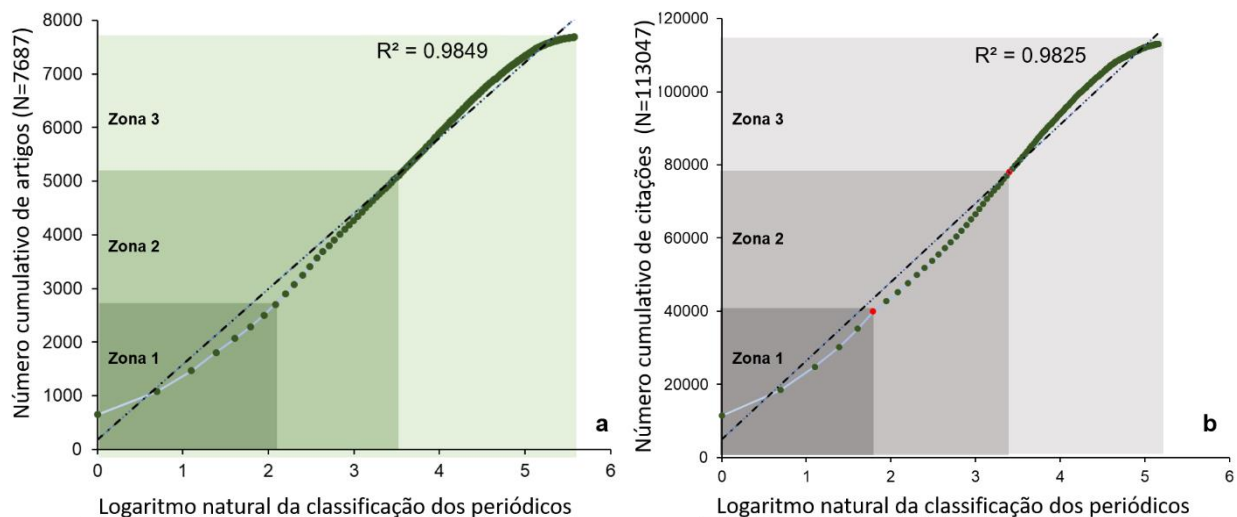


Figura 3. Representação gráfica da distribuição da Lei de Bradford. a - Cada zona contém aproximadamente o mesmo número de artigos publicados. b - Cada zona contém aproximadamente o mesmo número de citações.

Os 08 principais periódicos que publicaram com maior frequência, abrangendo aproximadamente 1/3 de todos os artigos foram Environmental Earth Sciences (n = 652), Sustainability (n = 425), Environmental Monitoring and Assessment (n = 390), Science of the Total Environment (n = 339), International Journal of Environmental Research and Public Health (n = 264), Journal of Coastal Research (n = 218), Journal of The Indian Society of Remote Sensing (215) e Fresenius Environmental Bulletin (n = 199).

Os seis periódicos principais em número de citações, que reuniram 1/3 do total foram

Environmental Earth Sciences (n = 11.432), Science of the Total Environment (n = 6.960), Environmental Modelling & Software (n = 6.384), Environmental Monitoring and Assessment (n = 5365), Journal of Environmental Management (n = 5066) e Ecological Indicators (n = 4.700). Dentre todos merece destaque o Environmental Earth Sciences, periódico com maior número de artigos e também de citações, sendo assim considerado o principal para publicações das Ciências Ambientais que empregam sistemas de informação geográfica (Tabela 1).

Tabela 1. Principais periódicos em número de citações e de artigos publicados, agrupados nas primeiras zonas da análise com a Lei de Bradford. As linhas em destaque indicam os periódicos que ocupam concomitantemente as primeiras zonas para número de artigos publicados e de citações recebidas.

Zona 1: 1/3 dos artigos publicados	Artigos
<i>Environmental Earth Sciences</i>	652
<i>Sustainability</i>	425
<i>Environmental Monitoring and Assessment</i>	390
<i>Science of the Total Environment</i>	339
<i>International Journal of Environmental Research and Public Health</i>	264
<i>Journal of Coastal Research</i>	218
<i>Journal of The Indian Society of Remote Sensing</i>	215
<i>Fresenius Environmental Bulletin</i>	199
Zona 1: 1/3 do total de citações	Citações
<i>Environmental Earth Sciences</i>	11.432
<i>Science of the Total Environment</i>	6.960
<i>Environmental Modelling & Software</i>	6.384
<i>Environmental Monitoring and Assessment</i>	5.365
<i>Journal of Environmental Management</i>	5.066
<i>Ecological Indicators</i>	4.700

Artigos mais citados

A quantidade de citações foi proporcionalmente relacionada ao tempo de publicação dos artigos ($R^2=0,891$), assim, os artigos publicados entre 2009 e 2014 receberam mais citações do que para o segundo período de análise (2015 – 2019). 11% dos artigos ($N=850$) receberam 50% de todas as 113.047 citações do conjunto de dados. 754 artigos não tiveram nenhuma citação (Figura 4).

Os 10 artigos mais citados somaram 3,65% do total de citações ($N=4.126$) e foram publicados

entre 2009 e 2013. Quatro temas de pesquisa foram identificados nos dez artigos mais citados: serviços ecossistêmicos, poluição do ar, deslizamentos de terra e elevação do nível dos mares. De acordo com Aksnes et al. (2019), as citações refletem, com algumas limitações, o impacto científico e relevância de um artigo. Assim, a relevância científica desses estudos pôde ser observada pelo número de citações. (Tabela 2).

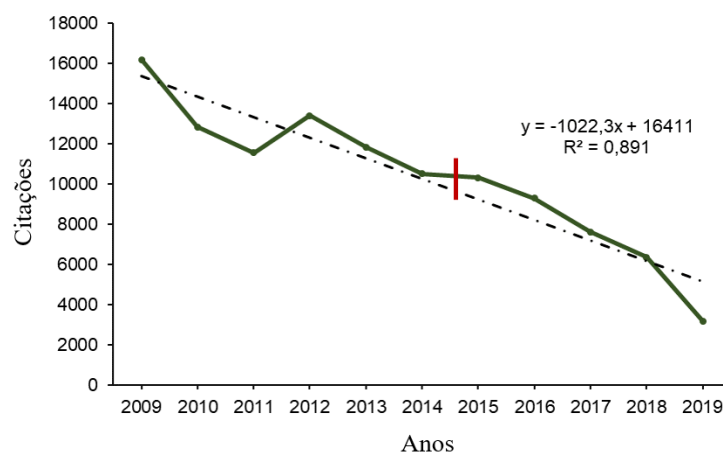


Figura 4. Quantidade de citações em função dos anos de publicação dos artigos. A linha vermelha indica a divisão entre os dois períodos de análise.

Tabela 2. Ranking dos dez artigos mais citados para todo o conjunto de dados analisado.

Autores	Título do artigo	Periódico	Ano	Citações
Burkhard et al.	Mapping ecosystem service supply, demand and budgets	Ecological Indicators	2012	759
Eeftens et al.	Development of land use regression models for pm2.5, pm2.5 absorbance, pm10 and pmcoarse in 20 european study areas; results of the ESCAPE project	Environmental Science & Technology	2012	443
Pradhan e Lee	Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: backpropagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modeling	Environmental Modelling & Software	2010	424
Craft et al.	Forecasting the effects of accelerated sea-level rise on tidal marsh ecosystem services	Frontiers in Ecology and the Environment	2009	418
Beelen et al.	Development of NO ₂ and NO _x land use regression models for estimating air pollution exposure in 36 study areas in Europe – The ESCAPE project	Atmospheric Environment	2013	390
Neteler et al.	Grass GIS: a multi-purpose open source GIS	Environmental Modelling & Software	2012	364
Wang et al.	Trajstat: GIS-based software that uses various trajectory statistical analysis methods to identify potential sources from long-term air pollution measurement data	Environmental Modelling & Software	2009	344
Raymond et al.	Mapping community values for natural capital and ecosystem services	Ecological Economics	2009	334
Pradhan e lee	Delineation of landslide hazard areas on Penang Island, Malaysia, by using frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network models	Environmental Earth Sciences	2010	327
Crossman et al.	A blueprint for mapping and modelling ecosystem services	Ecosystem Services	2013	323
Total	-	-	-	4.126

No artigo mais citado, com 759 citações até a data de pesquisa na WOS, Burkhard et al. (2012) propuseram uma metodologia que emprega sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica na quantificação e espacialização da oferta e demanda de serviços ecossistêmicos, onde são empregadas matrizes de atribuição de pontos aos diferentes tipos de uso e cobertura do solo de uma determinada região. No oitavo artigo mais citado (334 citações), a temática dos serviços ecossistêmicos também foi explorada. Raymond et al. (2009), com base em entrevistas e mapeamento temático, mapearam a distribuição espacial do capital natural, os valores atribuídos por comunidades a cada unidade da paisagem e as ameaças ao fornecimento de serviços ecossistêmicos em uma bacia hidrográfica na Austrália. O décimo artigo mais citado também explorou o tema, Crossman et al. (2013) fornecem um modelo e uma lista de verificação de informações necessárias para estudos de modelagem e mapeamento de serviços ecossistêmicos e ainda propõem, a longo prazo, a criação de um banco de dados que reúna informações e metodologias de projetos de modelagem e mapeamento de serviços

ecossistêmicos já realizados, de modo a facilitar a replicação em diferentes locais.

No segundo artigo mais citado (443 citações) o tema de pesquisa foi a poluição do ar, onde Eeftens et al. (2012) utilizaram as concentrações de poluentes em 20 diferentes localidades da Europa para a elaboração de modelos de regressão de poluição do ar, onde as variáveis preditoras foram obtidas com uso de sistemas de informação geográfica (por exemplo, densidade demográfica, intensidade de tráfego, uso da terra). No quinto artigo mais citado (390 citações) Beelen et al. (2013) empregaram a metodologia de modelagem de poluição do ar descrita por Eeftens et al. (2012) para estimar a variação espacial das concentrações de óxido de nitrogênio (NO_x) e dióxido de nitrogênio (NO₂) em diferentes localidades da Europa. O sétimo artigo mais citado (344 citações) apresenta uma inovação tecnológica, Wang et al. (2009) introduziram no meio científico o Trajstat, um software baseado em sistemas de informação geográfica voltado a análises de poluição do ar com base em trajetórias de massas de ar e dados de longo prazo de poluição, empregado para facilitar a localização de potenciais fontes poluidoras.

No terceiro e no nono artigos mais citados (424 e 327 citações, respectivamente), o GIS é empregado em estudos sobre deslizamentos de terra. Pradhan e Lee (2010a) empregaram redes neurais artificiais e sistemas de informações geográficas no mapeamento de regiões susceptíveis a deslizamentos na Malásia. Pradhan e Lee (2010b) utilizaram regressão logística e modelos de rede neural artificial com o auxílio de sistemas de informação geográfica e dados de sensoriamento remoto em análises de risco de deslizamento na Ilha de Penang, Malásia.

As mudanças climáticas foram abordadas no quarto artigo mais citado (418 citações), onde Craft et al. (2009) utilizaram dados do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), sistemas de informação geográfica e dados coletados em campo para modelar os efeitos futuros da elevação do nível do mar sobre os pântanos salgados e a prestação de serviços ecossistêmicos da costa da Geórgia.

Uma abordagem histórica sobre um GIS de código aberto é apresentada no sexto artigo mais citado (390 citações). Neteler et al. (2012) traçam a história e as características de um GIS de código aberto, o Sistema de Apoio à Análise de Recursos Geográficos (GRASS), reforçando ainda o potencial dos sistemas de informação geográfica de código aberto na modelagem ambiental, com base em uma revisão de literatura.

Análise temporal 2009-2014 e 2015-2019

Entre os anos 2009 e 2014 foram publicados 3.257 artigos em 195 fontes, assinados por 10.162 autores, com índice de colaboração de 3,25. Nesse período Environmental Earth Sciences já era o periódico mais influente, com 258 artigos e 7.606 citações, seguido por Environmental Monitoring and Assessment em número de artigos

e, em número de citações, por Environmental Modelling & Software.

Entre 2015 e 2019 o periódico Sustainability foi o que mais publicou (n = 408) e obteve 2.074 citações, se caracterizando como uma fonte emergente para publicação de artigos que empregam sistemas informação geográfica nas ciências ambientais, visto que no período anterior apresentou somente 17 publicações. Environmental Earth Sciences foi o segundo que mais publicou (n = 394) e segundo em número de citações (3.826). Science of the Total Environment ocupou a primeira posição em número de citações (4.112) e a terceira em artigos publicados (247). Nesse período mais artigos foram publicados do que no período anterior (n = 4.430), em mais periódicos (n=245) e por 13.491 autores, no entanto, o índice de colaboração foi ligeiramente menor (3,14) e é explicado pelo incremento no número de autores.

Entre os anos 2009 e 2014, o total de palavras-chave utilizadas pelos autores foi de 9.179. Entre 2015 e 2019, o total foi de 12.553 palavras-chave. Em ambos os períodos os principais temas foram geographic information system e remote sensing. Excluindo-se os termos já citados, no primeiro período de análise os temas mais pesquisados foram uso do solo, poluição do ar, água subterrânea, análises espaciais, mudanças climáticas, modelagem, qualidade da água, metais pesados, solos, deslizamentos de terra, processo analítico hierárquico, erosão do solo, avaliação de risco e China. Entre 2015 e 2019, processo analítico hierárquico, água subterrânea, uso do solo, mudanças climáticas e análises espaciais estiveram entre as principais palavras-chave (Tabela 3).

Tabela 3. 20 palavras-chave mais frequentes para os dois períodos de análise (2009-2014 e 2015-2019).

2009-2014		2015-2019	
Palavras-chave	Frequência	Palavras-chave	Frequência
Geographic information system	1.577	Geographic information system	1.892
Remote sensing	298	Remote sensing	389
Land use	96	Analytic hierarchy process	148
Geographic	87	Groundwater	107
Air pollution	83	Land use	105
Groundwater	66	Climate change	105
Information system	65	Spatial analysis	88
Spatial analysis	60	Geographic	87
Climate change	58	China	71
Water quality	58	Soil erosion	70
System	58	Analysis	69
Modeling	58	Vulnerability	69
Heavy metal	57	Ecosystem service	67
Soil erosion	55	Water quality	66
Landslide	53	Modeling	64
Analytic hierarchy process	52	Heavy metal	62
Soil	48	Information system	57
Risk assessment	47	Air pollution	57
China	45	Sustainability	55
Analysis	45	Environment	54
Total	2.966	Total	3.682

O mapeamento temático resultou em oito grupos para o primeiro período em análise. Cada grupo contém temas altamente relacionados entre si e foram nomeados de acordo com a palavra-chave de maior peso em cada um. Entre 2009 e 2014 os principais temas de pesquisa, considerados temas motores, estiveram relacionados a processos analíticos hierárquicos (AHP) e poluição do ar.

Os temas básicos foram sistemas de informação geográfica e aqueles relacionados a pesquisas com água subterrânea. Temas relacionados a deslizamentos de terra foram emergentes nesse primeiro período. Já as mudanças climáticas ainda eram temas muito especializados. Grupos de maior centralidade, como geographic information system e AHP, apresentaram uma alta interação com os demais grupos. Já a elevada densidade de grupos como poluição do ar e mudanças climáticas indica que os temas interagem mais com outros inseridos no mesmo grupo e menos com os demais grupos. Com base no mapeamento temático pode-se afirmar então que as duas principais temáticas de pesquisa entre 2009 e 2014 foram poluição do ar e processos analíticos hierárquicos, juntamente aos demais temas relacionados (Figura 5).

Processos analíticos hierárquicos são métodos de decisão multicritério que utilizam comparação entre pesos de critérios, de modo a auxiliar os tomadores de decisões em suas escolhas. De acordo com Chen et al. (2010), o AHP baseado em GIS possibilita a integração de uma grande quantidade de dados heterogêneos e à obtenção de pesos de muitos critérios especializados geograficamente, podendo ser aplicado em diferentes situações para a tomada de decisões que envolvam componentes geoespaciais. Na presente revisão foi verificado o emprego do AHP baseado em GIS para diferentes temáticas de pesquisa, seleção de local para instalação de aterro sanitário (Wang et al., 2009), avaliação de áreas adequadas para o crescimento urbano e desenvolvimento industrial (Bathrellos et al., 2012), avaliação da susceptibilidade de áreas a deslizamentos (Rozos et al., 2011), avaliação da adequação da terra para localização de parques eólicos (Tegou et al., 2010), vulnerabilidade de águas subterrâneas (Neshat et al., 2014), incêndios florestais (Vadrevu et al., 2010), dentre outros. No grupo das pesquisas com AHP foram incluídos ainda temas como conservação, serviços ecossistêmicos, análise de paisagens, sistemas de apoio à decisão, biodiversidade, agricultura, planejamento do uso do solo e áreas protegidas.

Artigos que estudaram a poluição do ar relacionaram esse tema mais fortemente a assuntos

relacionados à modelagem (SU et al., 2009), ao meio ambiente (Bakken et al., 2014), tráfego, avaliação da exposição à poluição (Rose et al., 2009; Patel et al., 2011), epidemiologia (Nuvolone et al., 2011) e material particulado (Amini et al., 2014). Águas subterrâneas enquanto tema básico foi mais relacionado a estudos sobre metais pesados, solos, vulnerabilidade, geostatística e poluição.

No grupo do tema básico sistemas de informação geográfica foram inseridos estudos que empregam o sensoriamento remoto, uso do solo, análises espaciais, qualidade da água, erosão do solo e estudos desenvolvidos na China. O grupo das mudanças climáticas reuniu estudos sobre a elevação do nível dos oceanos e gestão costeira. Deslizamentos de terra estiveram mais relacionados a estudos que empregam regressão logística, suscetibilidade a deslizamentos, inundações e a aplicação de redes neurais artificiais.

No segundo período de análise (2015-2019), as temáticas de pesquisa formaram 06 grupos. Águas subterrâneas e sistemas de informação geográfica continuaram como temas básicos de pesquisa. Uso do solo (land use) foi o tema motor, ou principal. Vulnerabilidade surgiu como um tema emergente. Análises espaciais e erosão do solo ainda se constituíram como temas muito especializados, ou de nicho.

Temas como AHP, mudanças climáticas, deslizamentos de terra e inundações, que eram temas motores, emergentes e especializados entre 2009-2014, no segundo período de análise se constituíram como temáticas básicas de pesquisa e agruparam-se com geographic information system. Águas subterrâneas ainda se constitui como tema básico. A alta densidade desse grupo indica que as pesquisas continuam explorando temáticas próximas daquelas do primeiro período de análise, como qualidade da água, metais pesados, poluição e solos. No grupo dos temas principais entre 2015-2019, além de uso do solo, foram inseridos também serviços ecossistêmicos, sustentabilidade, urbanização e desenvolvimento sustentável. No grupo de temas especializados que abrange principalmente estudos relacionados à erosão do solo também foram inseridos bacias hidrográficas, equações de perda de solo (*Universal Soil Loss Equation* - USLE e *Revised Universal Soil Loss Equation* - RUSLE), escoamento e NDVI, relacionados a análises espaciais foram poluição do ar, meio ambiente e ambiente construído (Figura 6).

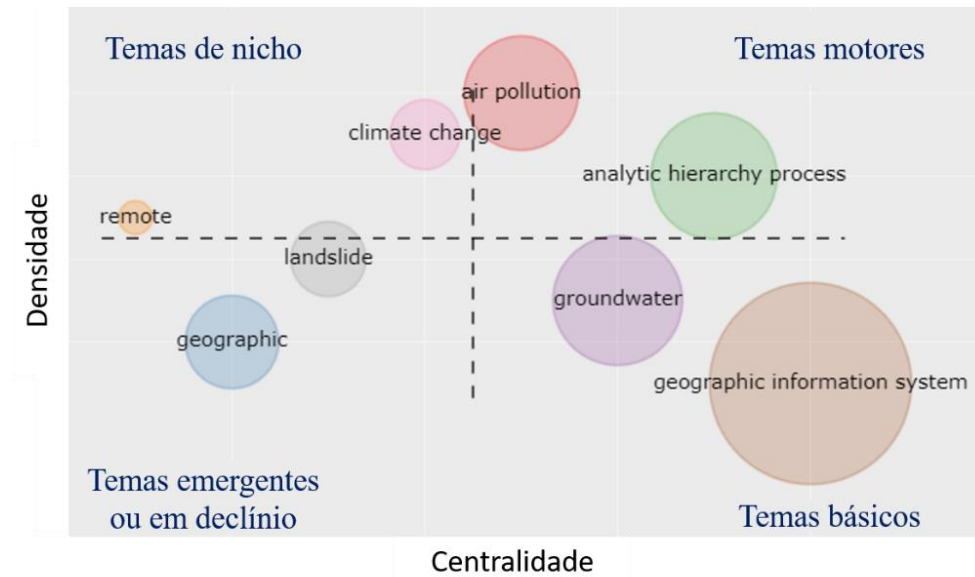


Figura 5. Mapa temático das pesquisas entre os anos 2009 e 2014. O tamanho dos círculos representa o número de artigos que abordaram essas temáticas. Abordagem baseada em Cobo et al. (2011) e Aria e Cuccurullo (2017).

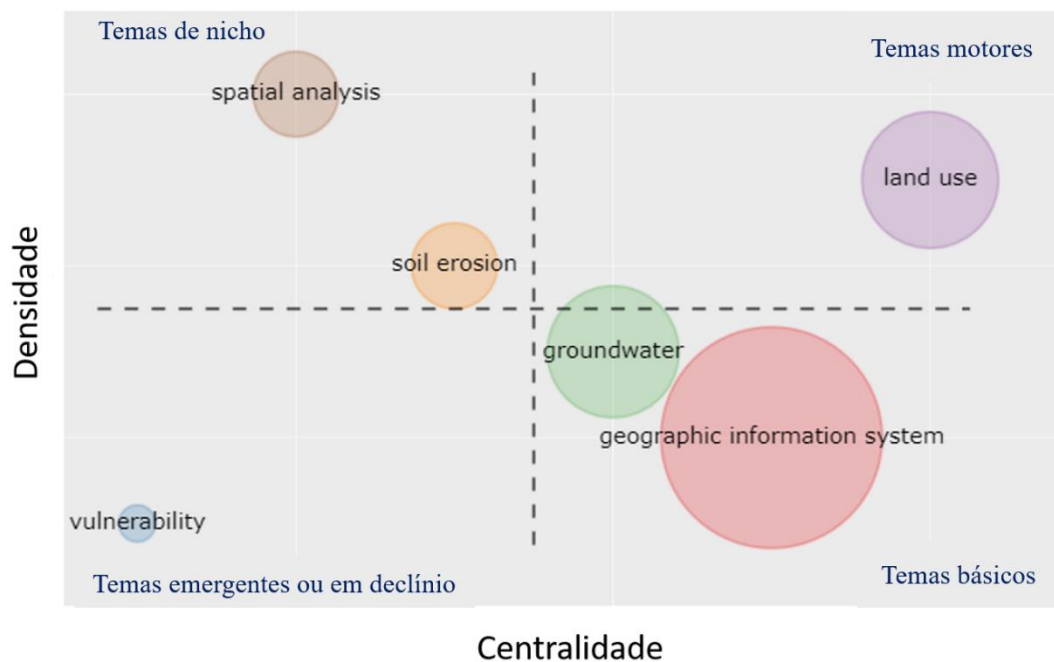


Figura 6. Mapa temático das pesquisas entre os anos 2009 e 2014. O tamanho dos círculos representa o número de artigos que abordaram essas temáticas. Abordagem baseada em Cobo et al. (2011) e Aria e Cuccurullo (2017).

Merece destaque a temática de vulnerabilidade, que se constituiu como emergente entre 2015 e 2019. Relacionados nesse grupo estão estudos que avaliam riscos de poluição da água (Shrestha et al., 2019), zoneamento de áreas vulneráveis (Nguyen et al., 2016), vulnerabilidade social e risco de desastres ambientais (Weis et al., 2016), risco de contaminação de águas subterrâneas (Ouedraogo et al., 2016; Sajedi-Hosseini et al., 2018) abrangendo ainda estudos

sobre elevação do nível dos mares (Allenbach et al., 2015), que entre 2009-2014 compunham o grupo de temas relacionados às mudanças climáticas.

Entre 2009 e 2014, 92 países publicaram, com base no número de autores correspondentes. Os Estados Unidos e China foram os principais, seguidos por Índia, Turquia e Itália. Entre 2015 e 2019, o Irã, que ocupava a 13ª posição em número de artigos no primeiro período de análise (N=76),

publicou 267 vezes entre 2015 e 2019, passando a ocupar a quarta posição, superando assim a Turquia e Itália e se apresentando como um país emergente e promissor para os próximos anos. A China superou os Estados Unidos em número de artigos para o último período analisado e a Índia publicou mais de 400 artigos, quase o dobro do primeiro período (N=402 entre 2015 e 2019, contra N=242 de 2009 a 2014).

As principais palavras-chave variaram entre os países e indicaram quais os temas mais importantes na utilização do GIS nas ciências

ambientais em cada região. Uma consideração relevante é a frequência maior do tema AHP em estudos realizados em países emergentes como a China, Índia, Turquia e Irã. Essa temática é mais recorrente nesses países do que em países europeus ou nos Estados Unidos, o contrário do que ocorreu com a temática de serviços ecossistêmicos, com maior frequência em estudos realizados por regiões desenvolvidas, como os EUA, Reino Unido, Austrália, Alemanha e Itália (Figura 7 e Figura 8).

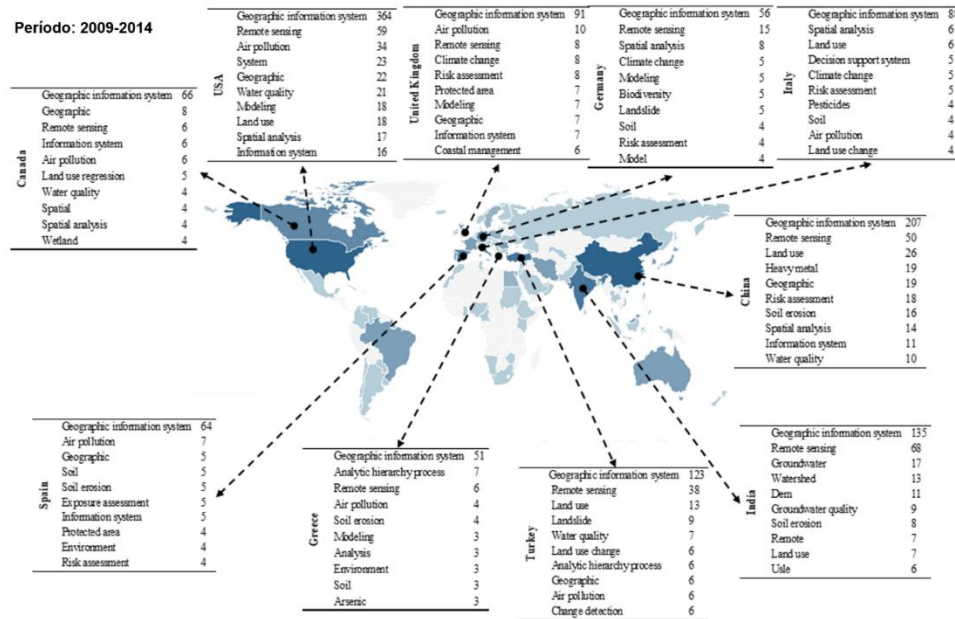


Figura 7. As 10 palavras-chave mais frequentes nos artigos publicados pelos 10 países mais influentes entre os anos 2009 e 2014.

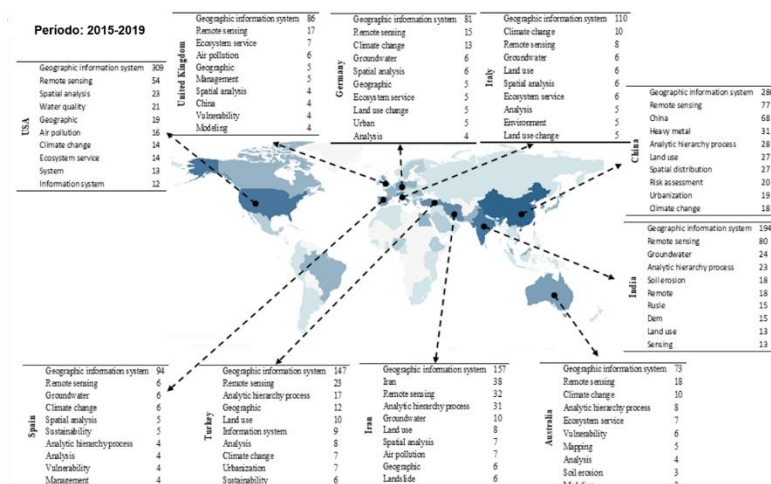


Figura 8. As 10 palavras-chave mais frequentes nos artigos publicados pelos 10 países mais influentes entre os anos 2015 e 2019.

A temática de mudanças climáticas (climate change) se tornou frequente entre as principais palavras-chave de artigos publicados por autores chineses no segundo período em análise. A

China, como principal emissor de gases do efeito estufa, há anos vem sofrendo as consequências da poluição e das mudanças climáticas (Aunan et al., 2018; Maizland, 2021). Diante disso, na última

década, uma preocupação interna atrelada à pressão internacional e do mercado global, fizeram com que o país investisse em projetos voltados à mitigação dos impactos das mudanças climáticas, redução da poluição, bem como um maior controle das emissões de gases como o CO₂, vindo a integrar o Acordo de Paris no ano 2016 (Wang et al., 2018; Council on Foreign Relations, 2021). Esses fatos influenciaram também na ciência chinesa, resultando em mais pesquisas abordando os impactos e mitigação das mudanças climáticas no país (Qi e Wu, 2013; Engels, 2018; Wong et al., 2021), temas que até 2014 eram mais frequentes em publicações europeias (Figura 7 e Figura 8).

Outra temática que apresentou crescimento nos estudos chineses foram os metais pesados (heavy metals). A rápida e crescente industrialização chinesa, atrelada à mineração de carvão e elevado uso desse recurso como fonte de energia resultou também na contaminação de corpos hídricos e do solo por metais pesados (Li et al., 2018). Assim, entre 2015 e 2019 houve um aumento nos estudos que empregaram SIGs como ferramenta de apoio às pesquisas com esses poluentes (Shi et al., 2018; Jin et al., 2019).

No segundo período em análise, o Irã emerge como um dos principais países a aplicar os SIGs nas ciências ambientais, principalmente com estudos aplicando sensoriamento remoto e processos hierárquicos analíticos (analytical hierarchy process - AHP), temáticas também de alta frequência em estudos chineses. Pesquisadores do Irã empregaram AHP em estudos sobre resíduos sólidos, águas subterrâneas, potencial de alocação de projetos de energias renováveis e avaliação de riscos ambientais (Razandi et al., 2015; Azizkhani et al., 2017; Khodaparast et al., 2018; Chakraborty e Mukhopadhyay, 2019; Mohammadi-Behzad et al., 2019). O sensoriamento remoto foi empregado em estudos sobre temperatura terrestre, uso e cobertura do solo, modelagem de riscos ambientais, recursos hídricos, mineração, análises de paisagens, dentre outros (Dadras et al., 2015; Shahabi et al., 2015; Jaafari et al., 2016; Shiranibidabadi et al., 2018; Mohebzadeh e Fallah, 2019; Saedpanah e Amanollahi, 2019; Tien Bui et al., 2019). Associações dessas duas temáticas também ocorreram em alguns artigos (Muralitharan e Palanivel, 2015; Hossein e Reza, 2016; Saha et al., 2019).

Conclusões

Na última década milhares de estudos publicados empregaram os sistemas de informação geográfica a pesquisas com temas relacionados às Ciências Ambientais. Estados Unidos e China são

os países que mais publicam artigos que empregam GIS nesse campo científico, no entanto, outros também apresentam crescimento no número de publicações e se destacaram com o passar dos anos como Índia, Turquia e Irã. Esse último se destacou principalmente entre 2015 e 2019 e se apresenta como um país emergente no emprego do GIS nas ciências ambientais, com potencial de continuar entre os dez principais nos próximos anos.

O crescimento anual na quantidade de artigos indica que também há um crescente interesse por cientistas ambientais na aplicação do GIS em pesquisas.

Seis principais periódicos abrangem cerca de 1/3 do total de artigos publicados e oito abrangem 1/3 de todas as citações. Esse fato indica que esses periódicos devem ser visados por cientistas ambientais para publicação de seus artigos em que há a integração com GIS nos procedimentos metodológicos. De todos merecem destaque, o *Environmental Earth Sciences*, apresenta o maior número de citações e artigos no período total de análise. Também há o periódico *Sustainability* que emergiu entre os anos 2015 e 2019, como um dos que mais publicaram, mostrando assim, que está aberto a estudos que utilizam GIS.

Dentre os vários temas presentes nos artigos, as temáticas de processos analíticos hierárquicos (AHP) principalmente em países emergentes, remote sensing, groundwater, land use e climate change são temas importantes para pesquisas com sistemas de informação geográfica, com destaque para o primeiro e segundo temas que apresentaram maior incremento no segundo período de análise em relação ao primeiro, se constituindo como temas básicos de pesquisa. Temas relacionados à vulnerabilidade ambiental são emergentes e devem ser explorados em mais artigos no futuro.

Apesar de abrangente, o presente estudo tem suas limitações, como por exemplo, o idioma de pesquisa e a utilização de uma só base de dados. Uma sugestão para futuros estudos é explorar bases de dados regionais, em línguas diferentes do inglês para compreender melhor a dinâmica regional dos estudos com GIS nas Ciências Ambientais. Outra sugestão para estudos futuros é utilização de resultados do Scopus, o que demandará máquinas potentes para análise visto que somente na Web of Science o total de publicações que utilizam sistemas de informação geográfica foi de 84.306 com base em nossa estratégia de busca.

Um aprofundamento histórico sobre a pesquisa com SIG em países emergentes e desenvolvidos se faz necessário, de modo que auxilie na compreensão dos fatores que

influenciam nas diferenças entre as temáticas mais relevantes nas diferentes regiões, como serviços ecossistêmicos na Europa *versus* mudanças climáticas e AHP na Ásia. Também é necessária uma abordagem que possibilite o entendimento do fato de nenhum dos países africanos se encontrarem entre os principais países que usam SIGs nas ciências ambientais.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES pela disponibilização do acesso à base Web of Science por meio do Portal de Periódico Capes.

Referências

- Adriaanse, L.S., Rensleigh, C. 2013. Web of Science, Scopus and Google Scholar: A content comprehensiveness comparison, *The Electronic Library* 31, 727-744. Disponível: <https://doi.org/10.1108/EL-12-2011-0174>. Acesso: 20 out. 2020.
- Aksnes, D.W., Langfeldt, L., Wouters, P. 2019. Citations, Citation Indicators, and Research Quality: An Overview of Basic Concepts and Theories. *SAGE Open* 9, 215824401982957. Disponível: <https://doi.org/10.1177/2158244019829575>. Acesso: 20 out. 2021.
- Allenbach, K., Garonna, I., Herold, C., Monioudi, I., Giuliani, G., Lehmann, A., Velegrakis, A.F. 2015. Black Sea beaches vulnerability to sea level rise. *Environmental Science & Policy* 46, 95-109. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.07.014>. Acesso: 22 out. 2020.
- Amini, H., Taghavi-Shahri, S.M., Henderson, S.B., Naddafi, K., Nabizadeh, R., Yunesian, M. 2014. Land use regression models to estimate the annual and seasonal spatial variability of sulfur dioxide and particulate matter in Tehran, Iran. *Science of The Total Environment* 488, 343-353. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.04.1>.
- Aria, M., Cuccurullo, C. 2017. bibliometrix : An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics* 11, 959-975. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>. Acesso: 10 set. 2020.
- Aunan, K., Hansen, M., Wang, S. 2018. Introduction: Air Pollution in China. *The China Quarterly* 234, 279-298. Disponível: <https://doi.org/10.1017/S0305741017001369>. Acesso: 22 out. 2021.
- Azizkhani, M., Vakili, A., Noorollahi, Y., Naseri, F. 2017. Potential survey of photovoltaic power plants using Analytical Hierarchy Process (AHP) method in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 75, 1198-1206. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.103>. Acesso: 22 out. 2021.
- Bakken, T.H., Aase, A.G., Hagen, D., Sundt, H., Barton, D.N., Lujala, P. 2014. Demonstrating a new framework for the comparison of environmental impacts from small- and large-scale hydropower and wind power projects. *Journal of Environmental Management* 140, 93-101. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.01.050>. Acesso: 01 nov. 2020.
- Balakrishnan, B., Nandakumar, N., Sebastin, S., Kareem, K.A.A. 2019. In: Khosrow-Pour, M. (Ed.). *Environmental Information Systems: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications* (pp. 555-568). Hershey: IGI Publisher.
- Bathrellos, G.D., Gaki-Papanastassiou, K., Skilodimou, H.D. 2012. Potential suitability for urban planning and industry development using natural hazard maps and geological-geomorphological parameters. *Environmental Earth Sciences* 66, 537-548. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1263-x>. Acesso 22 out. 2020.
- Beelen, R., Hoek, G., Vienneau, D., Eeftens, M., Dimakopoulou, K., Pedeli, X., de Hoogh, K. 2013. Development of NO₂ and NO_x land use regression models for estimating air pollution exposure in 36 study areas in Europe – The ESCAPE project. *Atmospheric Environment* 72, 10-23. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.02.03>. Acesso: 24 out. 2020.
- Biljecki, F. 2016. A scientometric analysis of selected GIScience journals. *International Journal of Geographical Information Science* 30, 1302-1335. Disponível: <https://doi.org/10.1080/13658816.2015.1130831>. Acesso: 23 out. 2020.
- Burkhard, B., Kroll, F., Nedkov, S., Müller, F. 2012. Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. *Ecological Indicators* 21, 17-29. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.06.019>. Acesso: 22 out. 2020.
- Chakraborty, S., Mukhopadhyay, S. 2019. Assessing flood risk using analytical hierarchy process (AHP) and geographical information system (GIS): application in Coochbehar district of West Bengal, India. *Nat Hazards* 99, 247-274. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s11069-019-03737-7>.

- Acesso: 22 out. 2021.
- Chen, Y., Yu, J., Khan, S. 2010. Spatial sensitivity analysis of multi-criteria weights in GIS-based land suitability evaluation. *Environmental Modelling & Software* 25, 1582-1591. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.06.001>. Acesso: 01 nov. 2020.
- Clarivate. 2021. Web of Science Core Collection. Disponível: <https://clarivate.com/webofsciencelibrary/solutions/web-of-science-core-collection/>. Acesso: 21 out. 2021.
- Cobo, M., López-Herrera, A., Herrera-Viedma, E., Herrera, F. 2011. Science mapping software tools: Review, analysis, and cooperative study among tools. *Journal of the American Society for Information Science and Technology* 62, 1382-1402. Disponível: <https://doi.org/10.1002/asi.21525>. Acesso: 23 out. 2020.
- Council on Foreign Relations. 2021. China's Approach to Global Governance. Disponível: <https://www.cfr.org/china-global-governance/>. Acesso: 22 out. 2021.
- Craft, C., Clough, J., Ehman, J., Joye, S., Park, R., Pennings, S., Guo, H., Machmuller, M. 2009. Forecasting the effects of accelerated sea-level rise on tidal marsh ecosystem services. *Frontiers in Ecology and the Environment* 7, 73-78. Disponível: <https://doi.org/10.1890/070219>. Acesso: 24 out. 2020.
- Crossman, N.D., Burkhard, B., Nedkov, S., Willemen, L., Petz, K., Palomo, I., Maes, J. 2013. A blueprint for mapping and modelling ecosystem services. *Ecosystem Services* 4, 4-14. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2013.02.001>. Acesso: 24 out. 2020.
- Dadras, M., Shafri, H.Z.M., Ahmad, N., Pradhan, B., Safarpour, S. 2015. Spatio-temporal analysis of urban growth from remote sensing data in Bandar Abbas city, Iran. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* 18, 35-52. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2015.03.005>. Acesso: 22 out. 2021.
- Dormezil, S. Khoshgoftaar, T., Robinson-Bryant, F. 2020. Differentiating between educational data mining and learning analytics: a bibliometric approach. *CEUR Workshop Proceedings* 2592, 17-22. Disponível: <http://ceur-ws.org/Vol-2592/>. Acesso: 20 set. 2021.
- Eeftens, M., Beelen, R., Hoog, K., Bellander, T., Cesaroni, G., Cirach, M., Declercq, C., Dedele, A., Dons, E., Nazelle, A., Dimakopoulou, K., Eriksen, K., Falq, G., Fischer, P., Galassi, C., Grazuleviciene, R., Heinrich, J., Hoffman, B., Jerrett, M., Keidel, D., Korek, M., Lanki, T., Lindley, S., Madsen, C., Molter, A., Nador, G., Nieuwenhuijsen, M., Nonnemacher, M., Pedeli, X. 2012. *Environmental Science & Technology* 46, 11195-11205. Disponível: <https://doi.org/10.1021/es301948k>. Acesso: 24 out. 2020.
- Elango, B., Rajendran, P. 2012. Authorship trends and collaboration pattern in the marine sciences literature : a scientometric study. *International Journal of Information Dissemination and Technology* 2, 166-169. Disponível: <https://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:ijidt&volume=2&issue=3&article=003>. Acesso: 23 out. 2020.
- Engels, A. 2018. Understanding how China is championing climate change mitigation. *Palgrave Commun* 4, 101. Disponível: <https://doi.org/10.1057/s41599-018-0150-4>. Acesso: 22 out. 2021.
- Galton, A. 2019. Space, Time and the Representation of Geographical Reality. In: Tambassi, T. (Ed.). *The Philosophy of GIS*. Springer Geography (pp. 75-98). Cham: Springer.
- Goodchild, M.F. 2003. Geographic Information Science and Systems for Environmental Management. *Annual Review of Environment and Resources* 28, 493-519. Disponível: <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.28.050302.105521>. Acesso: 22 out. 2020.
- Hassenzahl, D.M., Hager, M.C., Berg, L.R. 2016. *Visualizing Environmental Science*. New York: John Wiley and sons.
- Hosseini, H.A., Reza, E. M. 2016. Groundwater potentiality through analytic hierarchy process (AHP) using remote sensing and geographic information system (GIS). *GEO-PERSIA* 6, 75-88. Disponível: <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=525544>. Acesso: 22 out. 2021.
- Jaafari, S., Sakieh, Y., Shabani, A.A. 2016. Landscape change assessment of reservation areas using remote sensing and landscape metrics (case study: Jajroud reservation, Iran). *Environment, Development and Sustainability* 18, 1701-1717. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s10668-015-9712-4>. Acesso: 22 out. 2021.
- Jin, Y., O'Connor, D., Ok, Y. S., Tsang, D., Liu, A., Hou, D. 2019. Assessment of sources of heavy metals in soil and dust at children's playgrounds in Beijing using GIS and multivariate statistical analysis. *Environment international*, 124, 320-328. Disponível:

- <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.01.024>. Acesso: 22 out. 2021.
- Khodaparast, M., Rajabi, A.M., Edalat, A. 2018. Municipal solid waste landfill siting by using GIS and analytical hierarchy process (AHP): a case study in Qom city, Iran. *Environmental Earth Sciences* 77, 52. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s12665-017-7215-3>. Acesso: 22 out. 2021.
- Koseoglu, M.A. 2016. Mapping the institutional collaboration network of strategic management research: 1980-2014. *Scientometrics* 109, 203-226. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s11192-016-1894-5>. Acesso: 23 out. 2020.
- kumar, R.S., Kaliyaperumal, K. 2015. A scientometric analysis of mobile technology publications. *Scientometrics* 105, 921-939. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1710-7>. Acesso: 23 out. 2020.
- Li, Y., Zhou, S., Jia, Z., Ge, L., Mei, L., Sui, X., Wang, X., Li, B., Wang, J., Wu, S. 2018. Influence of Industrialization and Environmental Protection on Environmental Pollution: A Case Study of Taihu Lake, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15, 2628. Disponível: <https://doi.org/10.3390/ijerph15122628>. Acesso: 22 out. 2021.
- Maizland, L. 2021. China's Fight Against Climate Change and Environmental Degradation. Council on Foreign Relations. Disponível: <https://www.cfr.org/backgrounder/china-climate-change-policies-environmental-degradation>. Acesso: 22 out. 2021.
- Melo, A.V.F., Queiroz, A.P. 2019. Bibliometric mapping of papers on geographical information systems (2007-2016). *Boletim de Ciências Geodésicas* 25, e2019015. Disponível: <https://doi.org/10.1590/s1982-21702019000300015>. Acesso: 22 out. 2020.
- Mohammadi-Behzad, H.R., Charchi, A., Kalantari, N. 2019. Delineation of groundwater potential zones using remote sensing (RS), geographical information system (GIS) and analytic hierarchy process (AHP) techniques: a case study in the Leylia-Keynow watershed, southwest of Iran. *Carbonates Evaporites* 34, 1307-1319. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s13146-018-0420-7>. Acesso: 22 out. 2021.
- Mohebzadeh, H., Fallah, M. 2019. Quantitative analysis of water balance components in Lake Urmia, Iran using remote sensing technology. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 13, 389-400. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.12.009>. Acesso: 22 out. 2021.
- Muralitharan, J., Palanivel, K. 2015. Groundwater targeting using remote sensing, geographic information system and analytical hierarchy process method in hard rock aquifer system, Karur district, Tamil Nadu, India. *Earth Science Informatics* 8, 827-842. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s12145-015-0213-7>. Acesso: 22 out. 2021.
- Neshat, A., Pradhan, B., Dadras, M. 2014. Groundwater vulnerability assessment using an improved DRASTIC method in GIS. *Resources. Conservation and Recycling* 86, 74-86. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.02.0>. Acesso: 01 nov. 2020.
- Neteler, M., Bowman, M.H., Landa, M., Metz, M. 2012. GRASS GIS: A multi-purpose open source GIS. *Environmental Modelling & Software* 31, 124-130. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.11.014>. Acesso: 24 out. 2020.
- Nguyen, A.K., Liou, Y.A., Li, M.H., Tran, T.A. 2016. Zoning eco-environmental vulnerability for environmental management and protection. *Ecological Indicators* 69, 100-117. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.03.026>. Acesso: 22 out. 2020.
- Nuvolone, D., Maggiore, R.D., Maio, S. 2011. Geographical information system and environmental epidemiology: a cross-sectional spatial analysis of the effects of traffic-related air pollution on population respiratory health. *Environmental Health* 10, 12. Disponível: <https://doi.org/10.1186/1476-069X-10-12>. Acesso: 22 out. 2020.
- Ouedraogo, I., Defourny, P., Vanclooster, M. 2016. Mapping the groundwater vulnerability for pollution at the pan African scale. *Science of The Total Environment* 544, 939-953. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.1>. Acesso: 03 nov. 2020.
- Patel, M.M., Quinn, J.W., Jung, K.H. 2011. Traffic density and stationary sources of air pollution associated with wheeze, asthma, and immunoglobulin E from birth to age 5 years among New York City children. *Environmental Research* 111, 1222-1229. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2011.08.004>. Acesso: 01 nov. 2020.
- Pradhan, B., Lee, S. 2010. Delineation of landslide hazard areas on Penang Island, Malaysia, by using frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network models. *Environmental Earth Sciences* 60, 1037-1054. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s12665-009-0245-8>. Acesso: 22 out. 2021.

- Acesso: 24 out. 2020.
- Pradhan, B., Lee, S. 2010. Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: backpropagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modelling. *Environmental Modelling & Software* 25, 747-759. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2009.10.016>. Acesso: 24 out. 2020.
- Qi, Y., Wu, T. 2013. The politics of climate change in China. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change* 4, 301-313. Disponível: <https://doi.org/doi:10.1002/wcc.221>. Acesso: 22 out. 2021.
- Raymond, C.M., Bryan, B.A., MacDonald, D.H., Cast, A., Strathearn, S., Grandgirard, A., Kalivas, T. 2009. Mapping community values for natural capital and ecosystem services. *Ecological Economics* 68, 1301-1315. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.12.00>. Acesso: 24 out. 2020.
- Razandi, Y., Pourghasemi, H.R., Neisani, N.S. 2015. Application of analytical hierarchy process, frequency ratio, and certainty factor models for groundwater potential mapping using GIS. *Earth Science Informatics* 8, 867-883. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s12145-015-0220-8>. Acesso: 22 out. 2021.
- Rose, N., Cowie, C., Gillett, R., Marks, G.B. 2009. Weighted road density: A simple way of assigning traffic-related air pollution exposure. *Atmospheric Environment* 43, 5009-5014. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.06.04>. Acesso: 01 nov. 2020.
- Rozos, D., Bathrellos, G.D., Skillodimou, H.D. 2011. Comparison of the Implementation of Rock Engineering System and Analytic Hierarchy Process Methods, upon Landslide Susceptibility Mapping, Using GIS: A Case Study from the Eastern Achaia County of Peloponnesus, Greece. *Environmental Earth Sciences* 63, 49-63. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s12665-010-0687-z>. Acesso 22 out. 2020.
- RStudio Team. 2020. RStudio: Integrated Development for R. Disponível: <http://www.rstudio.com/>. Acesso: 10 set. 2020.
- Saedpanah, S., Amanollahi, J. 2019. Environmental pollution and geo-ecological risk assessment of the Qhorveh mining area in western Iran. *Environmental Pollution* 253, 811-820. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.07.049>. Acesso: 22 out. 2021.
- Saha, S., Gayen, A., Pourghasemi, H.R. 2019. Identification of areas susceptible to soil erosion using fuzzy logic and analytical hierarchy modeling in an agricultural basin in Burdwan District, India. *Environmental Earth Sciences* 78, 649. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8658-5>. Acesso: 22 out. 2021.
- Sajedi-Hosseini, F., Malekian, A., Choubin, B., Rahmati, O., Cipullo, S., Coulon, F., Pradhan, B. 2018. A novel machine learning-based approach for the risk assessment of nitrate groundwater contamination. *Science of The Total Environment* 644, 954-962. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.0>. Acesso: 03 nov. 2020.
- Santos, L.A.C., Batista, A., Neves, C.M., de Carvalho, E., Santos, M., Giongo, M. 2017. Análise multitemporal do uso e cobertura da terra em nove municípios do Sul do Tocantins, utilizando imagens Landsat. *Revista Agro@ambiente* 11, 111-118. Disponível: [doi:http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v11i2.3915](http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v11i2.3915). Acesso: 22 out. 2020.
- Santos, L.A.C., Vieira, L.M.F., Martins, P.T. de A., Ferreira, A.A. 2019. Conflitos de Uso e Cobertura do Solo para o Período de 1985 a 2017 na Bacia Hidrográfica do Rio Caldas-GO. *Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science* 8, 189-211. Disponível: <https://doi.org/https://doi.org/10.21664/2238-8869.2019v8i2.p189-211>. Acesso: 20 out. 2020.
- Shahabi, H., Hashim, M., Ahmad, B.B. 2015. Remote sensing and GIS-based landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, and fuzzy logic methods at the central Zab basin, Iran. *Environmental Earth Sciences* 73, 8647-8668. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4028-0>. Acesso: 22 out. 2021.
- Shi, T., Guo, L., Chen, Y., Wang, W., Shi, Z., Li, Q., Wu, G. 2018. Proximal and remote sensing techniques for mapping of soil contamination with heavy metals. *Applied Spectroscopy Reviews* 53, 783-805. Disponível: <https://doi.org/10.1080/05704928.2018.1442346>. Acesso: 22 out. 2021.
- Shirani-bidabadi, N., Nasrabadi, T., Faryadi, S., Larijani, A., Shadman, M. R. 2018. Evaluating the spatial distribution and the Intensity of urban heat island using remote sensing, Case study of Isfahan city in Iran. *Sustainable Cities and Society* 45, 686-692. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.12.005>. Acesso: 22 out. 2021.
- Shrestha, P.M., Humphrey, J.L., Carlton, E.J.,

- Adgate, J.L., Barton, K.E., Root, E.D., Miller, S.L. 2019. Impact of Outdoor Air Pollution on Indoor Air Quality in Low-Income Homes during Wildfire Seasons. *Journal of Environmental Research and Public Health* 16, 3535. Disponível: <https://doi.org/10.3390/ijerph16193535>. Acesso: 22 out. 2020.
- Su, J.G., Jerrett, M., Beckerman, B. 2009. A distance-decay variable selection strategy for land use regression modeling of ambient air pollution exposures. *Science of The Total Environment* 407, 3890–3898. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.01.061>. Acesso: 22 out. 2020.
- Tegou, L.I., Polatidis, H., Haralambopoulos, D.A. 2010. Environmental management framework for wind farm siting: Methodology and case study. *Journal of Environmental Management* 91, 2134–2147. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.05.010>. Acesso: 22 out. 2020.
- Tian, Y., Wen, C. Hong, S. 2008. Global scientific production on GIS research by bibliometric analysis from 1997 to 2006. *Journal of Informetrics* 2, 65–74. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.joi.2007.10.001>. Acesso: 23 out. 2020.
- Tien Bui, D., Khosravi, K., Shahabi, H., Daggupati, P., Adamowski, J.F., Melesse, A.M., Thai Pham, B., Pourghasemi, H.R., Mahmoudi, M., Bahrami, S., Pradhan, B., Shirzadi, A., Chapi, K., Lee, S. 2019. Flood Spatial Modeling in Northern Iran Using Remote Sensing and GIS: A Comparison between Evidential Belief Functions and Its Ensemble with a Multivariate Logistic Regression Model. *Remote Sensing* 11, 1589. Disponível: <https://doi.org/10.3390/rs11131589>. Acesso: 22 out. 2021.
- Vadrevu, K.P., Eaturu, A., Badarinath, K.V.S. 2010. Fire risk evaluation using multicriteria analysis—a case study. *Environmental Monitoring and Assessment* 166, 223–239. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s10661-009-0997-3>. Acesso: 01 nov. 2020.
- Venable, G.T., Shepherd, B.A., Loftis, C.M., McClatchy, S.G., Roberts, M.L., Fillinger, M.E., Tansey, J.B., Klimo, P. Jr. 2016. Bradford’s law: identification of the core journals for neurosurgery and its subspecialties. *Journal of Neurosurgery* 124, 569–579. Disponível: <https://doi.org/10.3171/2015.3.JNS15149>. Acesso: 23 out. 2020.
- Wang, G., Qin, L., Li, G., Chen, L. 2009. Landfill site selection using spatial information technologies and AHP: A case study in Beijing, China. *Journal of Environmental Management* 90, 2414–2421. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.12.008>. Acesso: 22 out. 2020.
- Wang, Y.Q., Zhang, X.Y., Draxler, R.R. 2009. TrajStat: GIS-based software that uses various trajectory statistical analysis methods to identify potential sources from long-term air pollution measurement data. *Environmental Modelling & Software* 24, 938–939. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2009.01.004>. Acesso: 24 out. 2020.
- Weis, S.W.M., Agostini, V.N., Roth, L.M. 2016. Assessing vulnerability: an integrated approach for mapping adaptive capacity, sensitivity, and exposure. *Climatic Change* 136, 615–629. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1642-0>. Acesso: 03 nov. 2020.
- Wong, S.L., Nyakuma, B.B., Nordin, A.H. 2021. Uncovering the dynamics in global carbon dioxide utilization research: a bibliometric analysis (1995–2019). *Environmental Science and Pollution Research* 28, 13842–13860. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11643-w>. Acesso: 22 out. 2021.