

## **Análise dos Trabalhos de Aplicação de Modelo Hidrológico com Auxílio de um Pacote de R**

*Analysis of Hydrological Model Application Works with the Aid of an R Package*

*Análisis de Trabajos de Aplicación de Modelos Hidrológicos con la Ayuda de un Paquete R*

George Gabriel Schnorr<sup>1</sup>

 <https://orcid.org/0000-0001-7305-872X>

Romário Trentin<sup>2</sup>

 <https://orcid.org/0000-0002-0615-2801>

---

**RESUMO:** O presente trabalho propõe realizar uma análise bibliométrica com trabalhos relacionados à erosão do solo e utilização de modelos hidrológicos, dando destaque ao modelo SIMWE e na sequência ranquear os mais relevantes por meio de método estatístico. Para a realização do trabalho, utilizou-se das bases *Scopus* e *Web of Science* para obter dados, que foram manipulados em ferramentas de um pacote de programação em linguagem R, o qual também permitiu a plotagem dos dados em gráficos e tabelas. Em termos de resultados, foram encontrados 373 trabalhos, com destaque para o maior número de produções na última década. Isso se deve aos avanços no manuseio de dados e a possibilidade de geração de modelos por meio de *softwares*, muitos deles de código aberto. Em relação à aplicação do modelo SIMWE, possui importante aplicação em áreas de vinhas no Mediterrâneo, com condições de solo e relevo suscetíveis a processos de erosão acelerada. O ranqueamento das publicações, utilizando o *Methodi Ordinatio*, permitiu conhecer as publicações mais relevantes da busca com base no ano de publicação, número de citações e fator de impacto da revista. A modelagem hidrológica tem se expandido bastante, permitindo a compreensão da dinâmica de processos e a geração de cenários.

**PALAVRAS-CHAVES:** erosão; modelagem hidrológica; SIMWE.

**ABSTRACT:** *The present work proposes to carry out a bibliometrics analysis on studies related to soil erosion and use of hydrological models, highlighting the SIMWE model, and subsequently rank the most relevant of them by a statistical method. To conduct this study, the Scopus and Web of Science databases were used to obtain data, which were manipulated using tools from a programming package in R language, which also allowed for data plotting in graphs and tables. In terms of results, 373 studies*

---

<sup>1</sup> Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Maria (PPGGEO-UFSM). E-mail: gorgeschnorr@gmail.com.

<sup>2</sup> Doutorado em Geografia pela Universidade Federal do Paraná (UFP). Professor titular do Departamento de Geociências da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). E-mail: romario.trentin@gmail.com.

were found, with a highlight on the highest number of productions in the last decade. This is due to advances in data handling and the possibility of model generation through software, many of which are open source. Regarding the application of the SIMWE model, it has important applications in vineyard areas in the Mediterranean, with soil and terrain conditions susceptible to accelerated erosion processes. In ranking publications, using the *Methodi Ordinatio*, it was possible to identify the most relevant publications from the search, based on the year of publication, number of citations, and impact factor of the journal. The hydrological modeling has expanded significantly, allowing the understanding of process dynamics and scenario generation.

**KEYWORDS:** erosion; hydrologic modeling; SIMWE.

**RESUMEN:** El presente trabajo propone realizar un análisis bibliométrico en trabajos relacionados con la erosión de suelos y el uso de modelos hidrológicos, destacando las potencialidades del modelo SIMWE y la clasificación de resultados relevante mediante método estadístico. Para la obtención de datos fueron utilizadas las bases de datos Scopus y Web of Science, las cuales fueron manipuladas mediante herramientas de programación en lenguaje R, que permitieron representar los datos en gráficos y tablas. En cuanto a los resultados, se encontraron 373 obras, destacando la mayor cantidad de producciones de la última década. Esto se debe a los avances en el manejo de datos y a la posibilidad de generar modelos mediante software, muchos de ellos de código abierto. En cuanto a la aplicación del modelo SIMWE, demostró gran potencialidad en zonas de viñedo del Mediterráneo, con condiciones de suelo y relieve susceptibles a procesos de erosión acelerada. Al clasificar las publicaciones, utilizando *Methodi Ordinatio*, fue posible identificar las publicaciones más relevantes mediante la búsqueda según el año de publicación, el número de citas y el factor de impacto de la revista. Finalmente se logra concluir que la modelación hidrológica se ha expandido enormemente, gracias a sus aportes para la comprensión de la dinámica de los procesos y la generación de escenarios.

**PALABRAS-CLAVE:** erosión; modelaje hidrológica; SIMWE.

---

## INTRODUÇÃO

Em vista da crescente demanda por recursos naturais e pela aceleração do processo de ocupação antrópica no espaço, a discussão científica relacionada à erosão e perda de solo desperta atenção. A erosão do solo representa um dos maiores, se não o maior problema ambiental mundialmente (Toy; Foster; Renard, 2002).

O processo de pedogênese e transformação da rocha matriz em solo ocorre de forma natural, em um processo dinâmico e que depende de diferentes fatores envolvidos, tais como o clima e o relevo. A atuação destes fatores influencia no processo de erosão e desgaste da superfície, que é natural, mas pode ser acelerado pelo fator antrópico, gerando desequilíbrio. Este desequilíbrio ocorre quando os processos de formação de solos são menos intensos que os de aceleração da erosão, o que resulta em sua baixa regeneração e degradação ambiental (Cabral, 2018).

Com o desenvolvimento de pesquisas e o incremento tecnológico dos últimos anos, importantes modelos matemáticos que permitem simular processos reais que ocorrem em superfície foram desenvolvidos. Estes modelos são utilizados principalmente para prever o comportamento do sistema e entender os processos hidrológicos (Gayathri; Ganasri;

Dwarakish, 2015). Em bacias hidrográficas, a modelagem matemática aborda espectro amplo de problemas ambientais e de recursos hídricos (Singh; Woolhiser, 2002).

Dentre os modelos mais conhecidos e utilizados, destaca-se o modelo empírico USLE (*Universal Soil Loss Equation*) de Wischmeier e Smith (1965) e suas reformulações M(*Modified*) USLE (Williams, 1975), e R(*Revised*) USLE (Renard *et al.*, 1997), que estima a perda de solo por erosão hídrica. Aliado a isso, o WEPP (*Water Erosion Prediction Project*), de Flanagan e Nearing (1995) também possui ampla utilização, sendo um modelo de base física que permite simular a previsão de perda de solo e pode servir como substituto do modelo USLE (Flanagan; Gilley; Franti, 2007). Outro modelo de base física é o SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*), que permite, em ambientes com diversidade de solo, uso da terra e condições de gestão do solo, prognosticar a produção de sedimentos e aplicação de produtos químicos em plantações (Neitsch *et al.*, 2011). Por outro lado, o DRAINMOD (Skaggs, 1985) é um modelo de escala de campo que permite prever a resposta do regime hídrico do solo a várias combinações de gestão da água superficial e subsuperficial. Já o modelo SIMWE (*Simulated of Water Erosion*) de Mitas e Mitasova (1998) foi elaborado para condições complexas de terreno, solo e cobertura e determina a erosão, transporte e deposição de sedimentos por fluxo superficial.

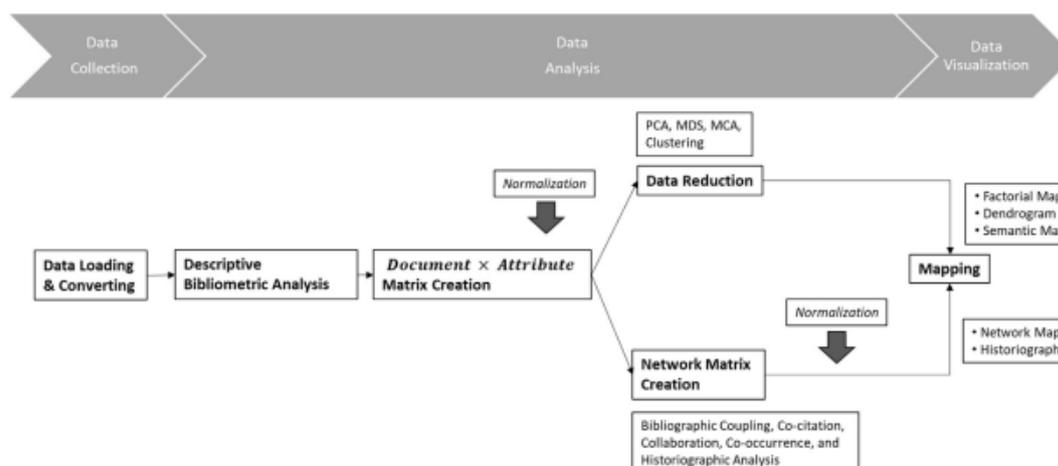
Nesse contexto, a bibliometria tem se demonstrado importante ferramenta que permite a mensuração quantitativa de dados científicos. Pode ser definida como “[...] the application of mathematical and statistical methods to books and other media of communication” (Pritchard, 1969, p. 348). Ou seja, é utilizada para avaliar os resultados de produtividade científica (Derviş, 2019) e, a partir disso, gerar tomadas de decisões. Além disso, ainda possibilita aos pesquisadores conhecer o melhor campo ou mesmo o melhor periódico para sua publicação (Kalantari *et al.*, 2017). Nestes últimos 20 anos, cada vez mais pesquisadores tem aderido a essa ferramenta, pois permite identificar principais tendências e relevância de um determinado tema (Tavares; Castro, 2021).

O presente trabalho propõe, através de uma análise bibliométrica, localizar e analisar trabalhos relacionados à modelagem hidrológica e erosão, selecionando aqueles que se referem a aplicação do modelo SIMWE, bem como classificar os mais relevantes através de método estatístico, para desenvolver pesquisas científicas.

## **METODOLOGIA**

Em termos de organização metodológica, o trabalho foi organizado em: coleta; análise; e visualização de dados, seguindo o fluxo de trabalho indicado na Figura 1. Para além disso, optou-se ainda por utilizar o *Methodi Ordinatio* (Pagani; Kovaleski; Resende, 2015) para ranquear as publicações de maior relevância científica.

**Figura 1** – Fluxo de trabalho científico recomendado para o *Bibliometrix*



Fonte: Aria e Cuccurullo (2017).

## COLETA DE DADOS

Para a coleta dos dados, foram estipulados quatro critérios de busca, disponíveis no Quadro 1, os quais foram base para filtragem dos trabalhos a serem analisados.

**Quadro 1** – Fluxo de trabalho científico recomendado para o *Bibliometrix*

Expressão de busca	Bases de busca	Tipo de publicação	Período de publicação
“hydrologic model”	Scopus (Elsevier) Web of Science (WoS)	Artigo em periódico ( <i>journal article</i> )	1987-2024
“sediment”		Livro ( <i>book</i> )	
“erosion”		Artigo em conferência ( <i>conference article</i> )	
“SIMWE”			

Fonte: Organizado pelos autores (2024).

O *download* dos dados foi realizado em dois formatos nas bases de busca, na base Scopus em formato CSV e na base da WoS o formato foi em arquivo de texto simples (*plain text*).

## TRATAMENTO DOS DADOS

Para organização dos dados, utilizou-se da ferramenta R, uma linguagem de programação e ambiente de *software* livre e de código aberto com uma grande comunidade de desenvolvedores e usuários, que consiste em mais de 16.000 pacotes de *software* (Derviş, 2019). Em adição, o RStudio é um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) que

incorpora editor, interface de múltiplos documentos que permite uma variedade de documentos abertos em diferentes abas, uma janela para interagir com o R, e uma janela que serve como navegador de arquivos e referência de idioma (Racine, 2012). Assim, o RStudio permite a análise de dados e a visualização gráfica através de recursos aprimorados, disponíveis na plataforma. A elaboração do *script* para tratamento dos dados se baseou no trabalho de Pereira e Santarem Segundo (2021), disponível no Quadro 2.

**Quadro 2** – *Script* em linguagem R utilizado para unificação e remoção de resultados duplicados das buscas

```
library(bibliometrix)

s <- convert2df("path_to_file/scopus.csv", dbsource = "scopus", format = "csv")

w <- convert2df("path_to_file/wos.txt", dbsource = "wos", format = "plaintext")

u <- mergeDbSources(s, w, remove.duplicated = TRUE)

write.table(u, "path_to_file/dadosbilbio.csv", sep = ";", row.names = FALSE)
```

**Fonte:** adaptado de Pereira e Santarem Segundo (2021).

Conforme o *script* apresentado (Quadro 2), utiliza-se da biblioteca *bibliometrix*, com o comando “library(bibliometrix)” (Aria; Cuccurullo, 2017). A base Scopus é representada pela variável “s”, e Web Of Science pela variável “w”, já a variável “u” remove as duplicidades, que por fim são gravadas em formato csv (write.table).

## VISUALIZAÇÃO DE DADOS – ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Para visualização dos dados, utilizou-se da ferramenta Biblioshiny do pacote-R Bibliometrix (<http://www.bibliometrix.org>). O arquivo em formato “csv” obtido é salvo novamente em formato Excel, para que possa ser carregado em formato de arquivo Bibliometrix. Por não haver um número consideravelmente alto de trabalhos encontrados, optou-se inicialmente pela análise de todos em ambiente Biblioshiny.

O Bibliometrix fornece um conjunto de ferramentas para pesquisas quantitativas em bibliometria e cienciometria, escrito em linguagem R, e possui ferramentas integradas de visualização de dados que são talvez as de maior qualidade por preferir R a outras linguagens em computação científica (Arias; Cuccurullo, 2017). Além disso, o Bibliometrix consiste em mais de 16.000 pacotes de *software*, o que significa que pode ser usado como um grande e geral fluxo de análise de dados (Dervis, 2019).

A partir disso, foi possível visualizar diferentes características dos trabalhos e considerados na discussão as de maior relevância. O biblioshiny permite visualizar os dados

em tabela e em gráficos, bem como exportar em diferentes formatos (PDF, Excel e CSV). Alguns gráficos ainda foram construídos através do Microsoft Excel.

## RANQUEAMENTO DAS PUBLICAÇÕES

Para o ranqueamento das publicações, optou-se por utilizar o *Methodi Ordinatio*, uma metodologia que se baseia em selecionar, coletar, classificar e ler artigos científicos publicados em periódicos (Pagani; Kovalski; Resende, 2015). Têm como base três critérios: ano de publicação, número de citações e fator de impacto (Equação 1).

$$\text{InOrdinatio} = (\text{IF}/1000) + \alpha * [10 - (\text{ResearchYear} - \text{PublishYear})] + (\Sigma\text{Ci}) \quad (1)$$

Onde:

IF = Fator de Impacto (*impact factor*), que é dividido por 1 mil com o objetivo de normalizar o valor em relação aos demais critérios existentes.

$\alpha$  = Refere-se ao ano de publicação, podendo variar de 1 a 10.

*Research Year* = Ano em que a pesquisa está sendo realizada.

*Publish Year* = Ano de publicação do trabalho.

$\Sigma\text{ci}$  = número de citações do trabalho.

Para a variável “ $\alpha$ ”, utilizou-se o valor padrão de 1, para que o ano de publicação do artigo possua o mesmo peso dos demais critérios que foram estabelecidos (Pereira e Santarem Segundo, 2021). A variável referente ao fator de impacto da revista foi obtido através do *Journal Citation Reports* (JCR), da Clarivate Analytics.

## DESENVOLVIMENTO - INFORMAÇÕES GERAIS DA BUSCA

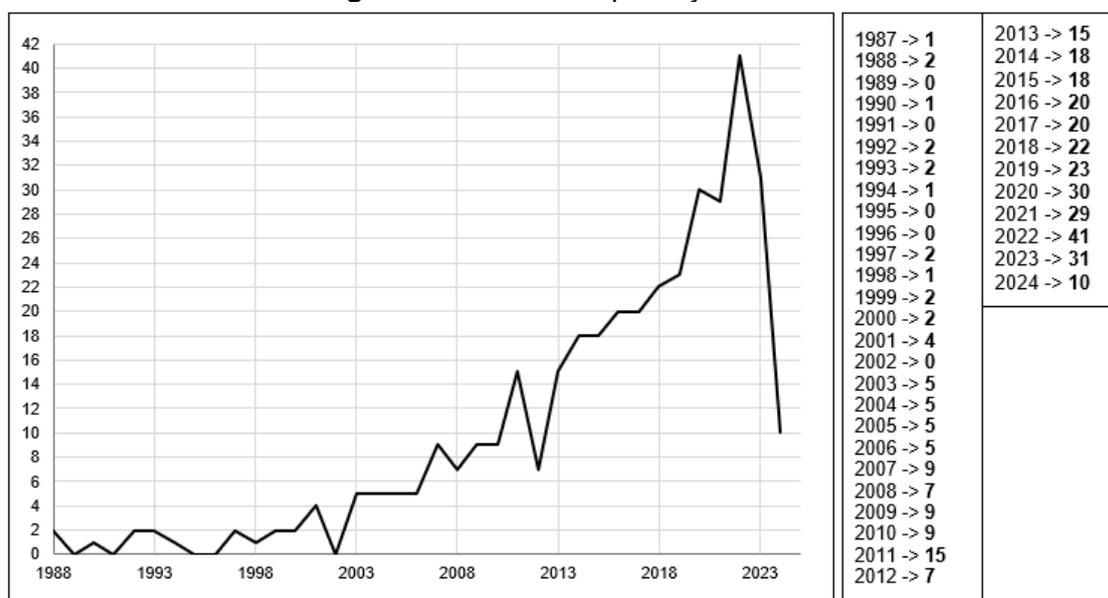
Através da busca realizada, obteve-se um total de 373 trabalhos em 196 diferentes fontes, nos quais 284 referem-se a artigos em periódicos, seis capítulos de livro e 49 artigos em evento (Tabela 1). Estes trabalhos reúnem um total de 1.295 autores, com uma média de 4,44 autores por trabalho e, destes, apenas 18 trabalhos possuem um único autor.

Em relação ao número de trabalhos publicados anualmente (Figura 2), pode-se destacar, como os anos de maior número de publicações, o intervalo de 2011 a 2024. Dos 373 trabalhos publicados, aproximadamente 80% (299) estão concentrados neste intervalo. No gráfico da Figura 2, observa-se que existe importante ascendência de publicações a partir do ano de 2007.

**Tabela 1** – Principais informações sobre os dados obtidos

Documentos totais	373
Número de fontes (revistas, livros etc.)	196
Artigos ( <i>article</i> )	284
Livro ( <i>book</i> )	1
Capítulos de livro ( <i>book chapter</i> )	6
Artigos em evento ( <i>proceeding paper e conference review</i> )	49
Número de autores	1.295
Documentos com um único autor	18
Média de coautores por documento	4,44

**Fonte:** organizado pelos autores.

**Figura 2** – Gráfico de produção anual

**Fonte:** Organizado pelos autores.

A partir da década de 1990, a utilização de modelos integrados a *softwares* foi impulsionada (Fernandes, 2014), gerando maior dinâmica, confiabilidade, bem como facilidade na sua aplicação. Esse fato explica o aumento crescente do número de publicações, principalmente a partir do final da década de 1990. Aliado a isso, é importante destacar que a sociedade moderna possui como uma das características mais importantes a grande intensidade com a qual é produzido, utilizado e difuso novo conhecimento, tanto na vida cotidiana, quanto nas atividades econômicas (Romero; Pastor, 2012).

Dentre as 196 diferentes fontes de dados, as principais, estão presentes na Tabela 2, as quais apresentam 5 ou mais publicações. Nestas, as revistas *Hydrological Processes* (<https://onlinelibrary.wiley.com/journal/10991085>), *Journal of Hydrology* (<https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-hydrology>), *Hydrology and Earth System*

Sciences (<https://www.hydrology-and-earth-system-sciences.net/>) e Catena (<https://www.sciencedirect.com/journal/catena>) possuem mais de 10 publicações cada.

**Tabela 2 – Fonte dos dados**

Hydrological Processes	17
Journal of Hydrology	17
Hydrology and Earth System Sciences	13
Catena	11
Journal of Environment Management	10
Science of the Total Environment	10
IAHS-AISH Publication	9
Earth Surface Processes and Landforms	8
Water (Switzerland)	8
Hydrological Sciences Journal	6
Water Resources and Management	6
Geoderma	5
Geomorphology	5
Journal of Hydrologic Engineering	5
Proceedings of IAHR world congress	5
Water Resources Research	5

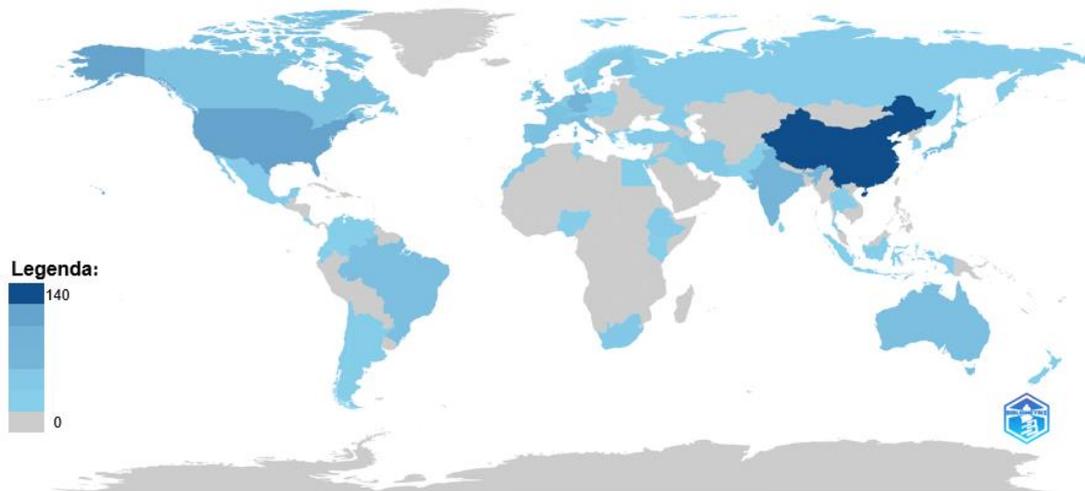
**Fonte:** organizado pelos autores.

## PRINCIPAIS AUTORES, AFILIAÇÕES E TERMOS UTILIZADOS

Inicialmente, os países que possuem maior produção científica total neste período são a China (140 trabalhos), Estados Unidos (44 trabalhos) e Alemanha (28 trabalhos). Observe-se, na Figura 3, o mapa gerado pelo Bibliometrix com a disposição da produção científica no mundo, e a paleta de cores representa os países com maior (cores mais escuras) e menor produção (cores mais claras). A China possui diversos desafios associados a modelagem hídrica, pela sua grande extensão territorial, associada com a grande diversidade de paisagens e um número bastante elevado de bacia hidrográficas, com processos diversos associados, como inundações, secas, poluições e escassez de água. Desta forma, as modelagens hídricas são fundamentais a este país com finalidades de planejamento e mitigação dos processos.

Concomitante a isso, a China também é o país com o maior número de citações acumuladas, com mais de 1.100. Na sequência, aparecem os EUA (432), Reino Unido (389), Índia (385), Itália (334), Alemanha (272), e Austrália (227), os demais países possuem menos de 200 citações cada.

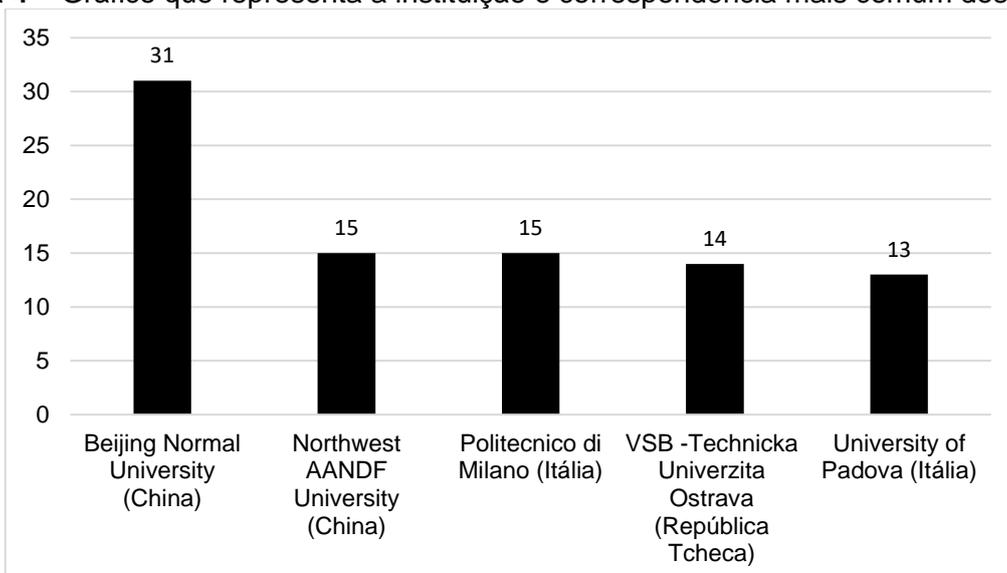
**Figura 3 – Países com maior produção científica**  
Country Scientific Production



**Fonte:** organizado pelos autores através do Bibliometrix (Aria; Cuccurullo, 2024).

Já em relação a correspondência dos autores, destacam-se instituições da China, Itália e República Tcheca, respectivamente (Figura 4). É possível afirmar que os países citados possuem a maior concentração de autores que trabalham com a temática. Países como os EUA e Reino Unido, por exemplo, aparecem no mapa da Figura 3, mas não possuem instituições com grande acúmulo de autores que trabalharam com a temática no período de tempo estipulado.

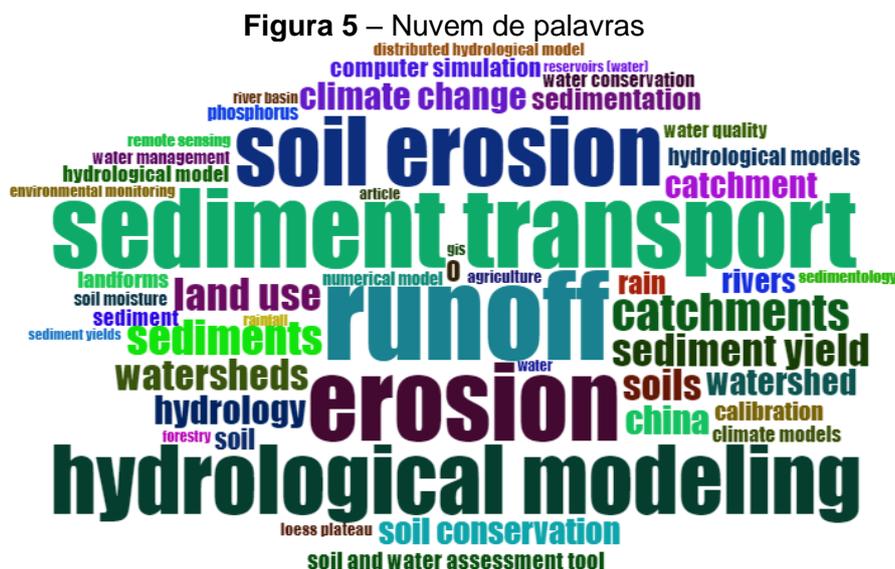
**Figura 4 – Gráfico que representa a instituição e correspondência mais comum dos autores**



**Fonte:** organizado pelos autores.

As principais palavras que aparecem nas publicações estão dispostas na Figura 5. O termo *runoff* (escoamento) é o mais frequente, aparece em 186 publicações, e está

relacionado com o fluxo superficial de água e sedimentos, importante fator que determina a dinâmica dos processos de troca de matéria e energia. Na sequência, aparece *sediment transport* (transporte de sedimentos) *erosion* (erosão) e *soil erosion* (erosão do solo), e se relacionam aos processos erosivos superficiais de perda de solo, assim como o termo *hydrological modeling* (modelagem hidrológica).



Fonte: organizado pelos autores no Bibliometrix (Aria; Cuccurullo, 2024).

## TRABALHOS COM O MODELO SIMWE

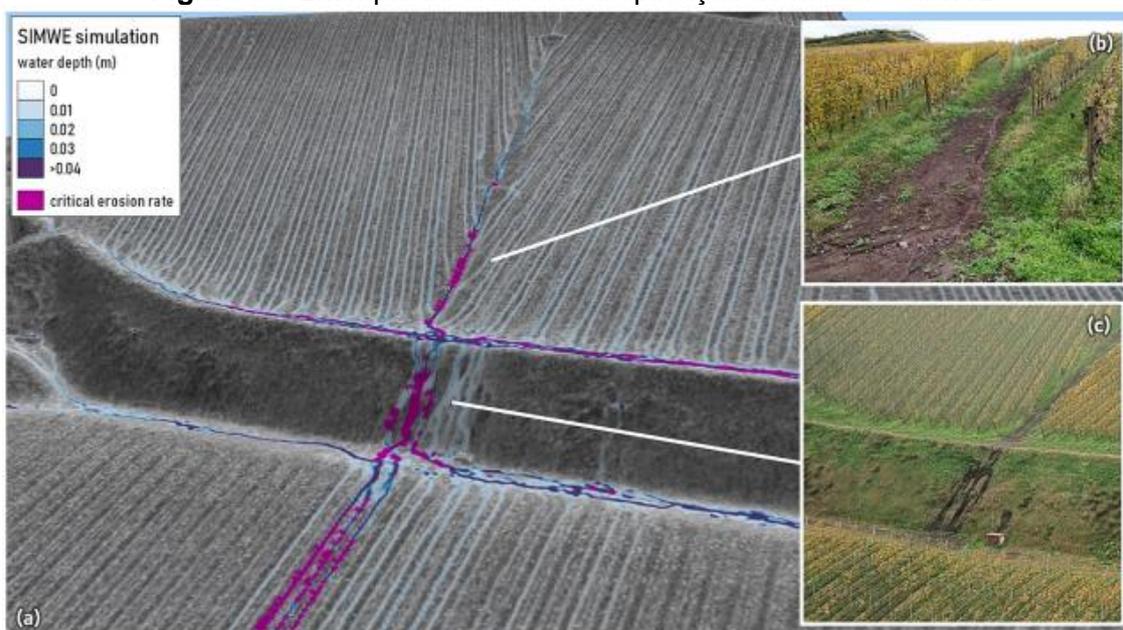
O SIMWE é um modelo hidrológico dinâmico e baseado em princípios físicos projetado para simular processos de erosão hídrica. É empregado principalmente para avaliar a dinâmica espaço-temporal de processos erosivos, especialmente relacionados à erosão do solo e transporte de sedimentos. A modelagem de erosão hidrológica superficial SIMWE ocorre em ambiente do *software* GRASS GIS, sendo dividido em simulação de fluxo de água superficial e simulação de erosão do solo (Neteler; Mitsova, 2008). Do total de 373 trabalhos encontrados sobre modelos hidrológicos, 19 referem-se à utilização do SIMWE e, destes, 15 são artigos (*article*), um capítulo de livro (*book chapter*) e três artigos em evento (*proceeding paper*).

Em relação à produção por país e correspondência dos autores, os países com o maior número de publicações são Itália e República Tcheca, com quatro publicações cada. China, Hungria e Eslováquia possuem duas publicações cada e EUA, Portugal e Suécia, uma cada. Já em relação à instituição de correspondência dos autores, destaca-se a VSB - Technicka Univerzita Ostrava (República Tcheca), com 14 autores e a University of Padova (Itália), com 10 autores.

Em termos de palavras e conceitos mais utilizados, que diferem daqueles mais utilizados anteriormente, aparecem os termos *land use* (uso da terra) e *rain* (chuva), os quais são fatores condicionantes que determinam a erosão do solo, e que são muito discutidos, principalmente quando se refere à cobertura superficial e à sua influência. Ainda, dos 19 trabalhos, 17 (aproximadamente 90%) referem-se ao período de tempo de 2014-2024. A utilização do SIMWE se mostra bastante recente, com a possibilidade de manuseio e geração dos dados em ambiente GRASS GIS a partir de 2008 (Neteler; Mitasova, 2008).

Em vista dos trabalhos encontrados, observa-se que o modelo SIMWE é amplamente utilizado em áreas de encostas íngremes, na região do Mediterrâneo, utilizado para análises em locais com cultivo de vinhas, muitas vezes em situações de terrenos e solos bastante suscetíveis a erosão (Figura 6).

**Figura 6** – Exemplo de área com a aplicação do modelo SIMWE



Fonte: Pijl *et al.* (2020).

Pijl *et al.* (2020) trabalharam em áreas de encostas íngremes com cultivo de vinhas em três diferentes práticas de cultivo no norte da Itália. Também em área semelhante, mas em Portugal, Fernandes *et al.* (2017), utilizaram o SIMWE para análise da suscetibilidade a voçorocas em taludes de terra. Straffelini *et al.* (2022) também trabalharam com uma área de vinhas no Mediterrâneo, e os autores avaliaram os processos de escoamento e erosão do solo em vinhas sob quatro diferentes manejos do solo e para isso utilizaram do modelo SIMWE. Na mesma dinâmica, Mauri, Straffelini e Tarolli (2022) utilizaram do SIMWE em uma área de vinhas, com terraços em encostas íngremes, propensa a deslizamentos de solo, para análise da dinâmica multitemporal, também no norte da Itália.

O modelo também possibilita análises de eventos de inundação. Hofierka e Knutová (2015) utilizaram do SIMWE para simular um evento de inundação repentina/enxurrada em uma bacia hidrográfica na Eslováquia. Li *et al.* (2020) aplicaram o modelo para avaliação de cenário de inundação urbana em uma área de Oslo, na Noruega. Por outro lado, Lozbenev *et al.* (2021), utilizaram do modelo SIMWE para prever a heterogeneidade espacial do solo e simular sua evolução espaço-temporal ao longo do tempo em uma área de planície na região de Kursk, Rússia. Além disso, o SIMWE também foi utilizado para estudo em ambiente marciano (Steinmann; Kereszturi; Mari, 2020) para identificar os potenciais afluentes erodidos de um vale.

### **METHODI ORDINATIO**

Com o objetivo de ranquear os principais trabalhos obtidos na pesquisa, utilizou-se do *Methodi Ordinatio* (Pagani; Kovaleski; Resende, 2015). A aplicação do *Methodi Ordinatio* permite conhecer as principais fontes que podem ser utilizadas em futuros trabalhos sobre a temática, tendo em vista a relevância de cada publicação. Observa-se na Tabela 3 a disposição, em ordem decrescente, dos 15 principais trabalhos ranqueados.

O trabalho de Poesen e Hooke (1997) foi o mais bem classificado, nele os autores discutem, relacionam e buscam definir áreas de potenciais pesquisas acerca dos processos de erosão hídrica, degradação do solo e inundações em ambiente mediterrâneo no sul da Europa. Grande parte dos trabalhos utilizam como recorte espacial a bacia hidrográfica, principalmente quando ocorre a aplicação de modelos, os quais trabalham a partir de uma visão sistêmica dos fluxos de matéria e energia e buscam simular situações reais.

Assim, tendo em vista a utilização cada vez maior destes modelos que permitem simular situações atuais e futuras, nos trabalhos elencados na Tabela 3 grande parte fazem a utilização dos mais variados modelos. Dentre os modelos mais recorrentes, estão a USLE ou suas versões reformuladas (Pandey; Chowdary; Mal, 2007; Pijl *et al.*, 2020), o SWAT (Setegn *et al.*, 2009; Ouyang *et al.*, 2010; Khoi; Suetsugi, 2014; Zuo *et al.*, 2016; Briak *et al.*, 2016; Strehmel; Schmalz; Fohrer, 2016), além do DRAINMOD (Youssef *et al.*, 2018) e SIMWE (Pijl *et al.*, 2020). Observou-se que a utilização de cada modelo é específica à área do autor e as suas necessidades, entretanto, destaca-se que modelos como o SWAT e a USLE possuem utilização mais ampla e “capilarizada”, o que se deve a serem modelos já consagrados em termos de utilização. No caso do SWAT, por ser um modelo mais complexo, permite que sejam realizadas análises multidisciplinares e que não se restringem às relações erosão e deposição de sedimentos. Entretanto, dos trabalhos ranqueados, nenhum deles fugiu da

temática proposta, nem mesmo os que utilizam o SWAT, o que demonstra a efetividade das expressões de busca que foram utilizadas na pesquisa nas bases de dados.

**Tabela 3** – Disposição dos dados das publicações e do cálculo do Methodi Ordinatio

Autores (AU)	Ano de Publicação (PY)	Tipo de documento (DT)	Total de Citações (TC)	Nome do Periódico (SO)	Fator de Impacto (IF)	InOrdinatio ( $\alpha = 1$ )	DOI (DI)
Poesen e Hooke	1997	Artigo	330	Progress in Physical Geography	3,9	313,0039	<a href="https://doi.org/10.1177/030913339702100201">https://doi.org/10.1177/030913339702100201</a>
Pandey, Chowdary e Mal	2007	Artigo	284	Water Resources Management	4,3	277,0043	<a href="https://doi.org/10.1007/s11269-006-9061-z">https://doi.org/10.1007/s11269-006-9061-z</a>
Zuo <i>et al.</i>	2016	Artigo	237	Science of the total Environment	9,8	239,0098	<a href="https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.060">https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.060</a>
Darby <i>et al.</i>	2016	Artigo	163	Nature	64,8	165,0648	<a href="https://doi.org/10.1038/nature19809">https://doi.org/10.1038/nature19809</a>
Setegn <i>et al.</i>	2009	Artigo	170	Hydrological Processes	3,2	165,0032	<a href="https://doi.org/10.1002/hyp.7476">https://doi.org/10.1002/hyp.7476</a>
Ouyang <i>et al.</i>	2010	Artigo	117	Science of the total Environment	9,8	113,0098	<a href="https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.10.020">https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.10.020</a>
Guo <i>et al.</i>	2019	Artigo	77	Journal of Environmental Management	8,7	82,0087	<a href="https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109403">https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109403</a>
Khoi e Suetsugi	2014	Artigo	82	Hydrological Processes	3,2	82,0032	<a href="https://doi.org/10.1002/hyp.9620">https://doi.org/10.1002/hyp.9620</a>
Briak <i>et al.</i>	2016	Artigo	71	International Soil and Water Conservation Research	6,4	73,0064	<a href="https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2016.08.002">https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2016.08.002</a>
Bergillos <i>et al.</i>	2016	Artigo	64	Water Resources Research	5,4	66,0054	<a href="https://doi.org/10.1002/2015WR018395">https://doi.org/10.1002/2015WR018395</a>
Youssef <i>et al.</i>	2018	Artigo	61	Agricultural Water Management	6,7	65,0067	<a href="https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.11.012">https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.11.012</a>
Vanrolleghem <i>et al.</i>	2015	Artigo	64	Journal of Hydrology	6,4	65,0064	<a href="https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.12.056">https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.12.056</a>
Zhang <i>et al.</i>	2015	Artigo	61	Geomorphology	3,9	62,0039	<a href="https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.01.014">https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.01.014</a>
Strehmel, Schmalz e Fohrer	2016	Artigo	60	Environmental Management	3,5	62,0035	<a href="https://doi.org/10.1007/s00267-016-0758-3">https://doi.org/10.1007/s00267-016-0758-3</a>
Pijl <i>et al.</i>	2020	Artigo	55	Catena	6,2	61,0062	<a href="https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104604">https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104604</a>

**Fonte:** organizado pelos autores.

Desta forma, foi possível segregar os principais trabalhos, tendo em vista o volume de publicações encontradas. Destaca-se que o ano da publicação não é o fator mais determinante para a classificação dos trabalhos, e sim o total de citações e o fator de impacto da revista. Isso está claro quando se observa os cinco primeiros trabalhos ranqueados, os quais possuem  $\geq 170$  citações e fator de impacto  $\geq 3,2$ . Isso se deve aos trabalhos mais bem ranqueados possuírem um número significativo de citações e um fator de impacto que pode ser considerado alto.

Além disso, todos os trabalhos selecionados são artigos científicos (*article*), e possuem DOI (*Digital Object Identifier*). O DOI possibilita maior confiabilidade à informação, bem como acesso integral ao artigo publicado (Costa, 2018), trazendo maior alcance e relevância para a publicação.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos critérios de busca estabelecidos, os resultados do trabalho mostraram que o tema é bem explorado, principalmente a partir do final da década de 1990, com exceção dos trabalhos que utilizam do modelo SIMWE, uma vez que a base de dados utilizada (*Web of Science* e *Scopus*), retornou uma pequena quantidade de trabalhos (somente 19). Além disso, a aplicação do modelo SIMWE ainda é bastante restrita para trabalhos em locais com condições de uso e ocupação, solo e relevo bastante específicos, como é o caso das plantações de vinhas em ambiente mediterrâneo.

A grande parte dos trabalhos retornados pelas bases de busca se concentram nos períodos recentes, na última década. Quando relacionado a modelagem hidrológica, um fator importante é a disponibilidade cada vez maior de *softwares* e ferramentas de tecnologia, dentre elas as geotecnologias, que possibilitam a mais rápida e dinâmica organização e manipulação dos dados. Estas ferramentas têm evoluído e vêm se tornando cada vez mais comuns, com a possibilidade de *softwares* livres, bem como licenças obtidas por instituições de ensino.

O trabalho também mostra que a aplicação da equação *InOrdinatio* para organização por meio de ranqueamento dos trabalhos foi eficaz, tendo em vista o total de citações do artigo, o ano de publicação e o fator de impacto da revista. A partir disso, é possível que seja definido um valor de *InOrdinatio* (*Index Ordinatio*) para selecionar as publicações mais relevantes a serem utilizadas em posterior trabalho. Essa metodologia dinamiza e abrevia o trabalho de seleção dos artigos, pois torna possível que sejam selecionados os trabalhos mais relevantes por meio da aplicação de uma equação matemática com uma série de variáveis.

A modelagem hidrológica relacionada tanto à vazão, erosão e transporte de sedimentos é uma área de ciência que tem se expandido, permitindo a compreensão da dinâmica de bacias hidrográficas. Com as alterações ambientais causadas pelo homem os trabalhos de modelagem possibilitam a geração de cenários e definição de possíveis impactos, sendo uma importante ferramenta de gestão e mitigação de processos.

## REFERÊNCIAS

- ARIA, Massimo; CUCCURULLO, Corrado. Bibliometrix: an r-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, Amsterdam, v. 11, n. 4, p. 959-975, nov. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>.
- ARIA, Massimo; CUCCURULLO, Corrado. **Bibliometrix**: an r-tool. 4.1.4. Bibliometrix, Naples, 2024. Disponível em: <https://www.bibliometrix.org/home/>. Acesso em: 7 jun. 2024.
- BRIAK, Hamza; MOUSSADEK, Rachid; ABOUMARIA, Khadija; MRABET, Rachid. Assessing sediment yield in Kalaya gauged watershed (Northern Morocco) using GIS and SWAT model. **International Soil and Water Conservation Research**, Beijing, v. 4, n. 3, p. 177-185, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2016.08.002>.
- CABRAL, Tiéle Lopes. **Distribuição e classificação de voçorocas por meio de indicadores morfométricos em sub-bacias no município de Cacequi-RS**. 2018. Tese (Doutorado em Geografia) – Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018. Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/17557>. Acesso em: 22 fev. 2024.
- COSTA, Iris do Céu Clara. O que é “DOI” e qual sua importância no mundo das publicações. **Revista Ciência Plural**, Natal, v. 4, n. 2, p. 4-5, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/rcp/article/view/16845>. Acesso em: 22 fev. 2024.
- DERVIŞ, Hamid. Bibliometric analysis using bibliometrix an R package. **Journal of Scientometric Research**, New Delhi, v. 8, n. 3, p. 156-160, Dec. 2019. DOI: <https://doi.org/10.5530/jscires.8.3.32>.
- FERNANDES, Joana. F. C.; BATEIRA, Carlos; SOARES, Laura; FARIA, Ana; OLIVEIRA, Ana; HERMENEGILDO, Carlos; MOURA, **Rui Miguel Marques**; GONÇALVES, José Alberto SIMWE model application on susceptibility analysis to bank gully erosion in Alto Douro wine region agricultural terraces. **Catena**, Amsterdam, v. 153, p. 39-49, June 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.01.034>.
- FERNANDES, Joana Filipa Costa. **Modelação de processos erosivos no alto douro vinhateiro**: o caso de estudo da Quinta de S. Luiz. 2014. Dissertação (Mestrado em Riscos Cidades e Ordenamento do Território) – Faculdade de Letras, Universidade do Porto, Porto, 2014. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10216/77160>. Acesso em: 22 fev. 2024.
- FLANAGAN, Dennis C.; GILLEY, John E.; FRANTI, Thomas G. Water erosion prediction project (WEPP): development history, model capabilities, and future enhancements. **Transactions of the ASABE**, Nebraska City, v. 50, n. 5, p. 1603-1612, 2007. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/43264198\\_Water\\_Erosion\\_Prediction\\_Project\\_WEPP\\_Development\\_History\\_Model\\_Capabilities\\_and\\_Future\\_Enhancements](https://www.researchgate.net/publication/43264198_Water_Erosion_Prediction_Project_WEPP_Development_History_Model_Capabilities_and_Future_Enhancements). Acesso em: 22 Feb. 2024.
- FLANAGAN, Dennis C.; NEARING, Mark A. **USDA-water erosion prediction project: hillslope profile and watershed model documentation**. West Lafayette: NSERL Report, 1995.
- GAYATHRI, Devia K.; GANASRI, Bigganahalli Puttaswamigowda; DWARAKISH, Gowdagere Siddaramaiah. A review on hydrological models. **Aquatic Procedia**, Amsterdam, v. 4, p. 1001-1007, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.126>.
- HOFIERKA, Jaroslav; KNUTOVÁ, Monika. Simulating spatial aspects of a flash flood using the Monte Carlomethod and GRASS GIS: a case study of the Malá Svinka Basin (Slovakia). **Open Geosciences**, Berlim, v. 7, n. 1, p. 118-125, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1515/geo-2015-0013>.
- KALANTARI, Ali; KAMSIN, Amirrudin; KAMARUDDIN, Halim Shukri; EBRAHIM, Nader Ale; GANI, Abdullah; EBRAHIMI, Ali; SHAMSHIRBAND, SHAHABODDIN. A bibliometric

approach to tracking big data research trends. **Journal of Big Data**, Berlim, v. 4, n. 1, p. 1-18, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40537-017-0088-1>.

KHOI, Dao Nguyen; SUETSUGI, Tadashi. The responses of hydrological processes and sediment yield to land-use and climate change in the be River Catchment, Vietnam.

**Hydrological Processes**, Hoboken, v. 28, n. 3, p. 640-652, Oct. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.9620>.

LI, Hong; GAO, Hongkai; ZHOU, Yanlai; XU, Cong-Yu; ORTEGA, Rengifo Z.; SÆLTHUN, Nils Roar. Usage of SIMWE model to model urban overland flood: a case study in Oslo.

**Hydrology Research**, London, v. 51, n. 2, p. 366-380, Mar. 2020. DOI: <https://doi.org/10.2166/nh.2020.068>.

LOZBENEV, Nikolai; YUROVA, Alla; SMIRNOVA, Maria; KOZLOV, Daniil. Incorporating process-based modeling into digital soil mapping: a case study in the virgin steppe of the Central Russian Upland.

**Geoderma**, Amsterdam, v. 383, p. 1-12, Feb. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114733>.

MAURI, Luca; STRAFFELINI, Eugenio; TAROLLI, Paolo. Multi-temporal modeling of road-induced overland flow alterations in a terraced landscape characterized by shallow landslides. **International Soil and Water Conservation Research**, Amsterdam, v. 10, n. 2, p. 240-253, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.07.004>.

MITAS, Lubos; MITASOVA, Helena. Distributed soil erosion simulation for effective erosion prevention. **Water Resources Research**, Hoboken, v. 34, n. 3, p. 505-516, Mar. 1998. DOI: <https://doi.org/10.1029/97wr03347>.

NEITSCH, S. L.; ARNALDO, J. G.; KINIRY, J. R.; WILLIAMS JR., R. **Soil and water assessment tool**: theoretical documentation. Temple: Agricultural Research Service; Blackland Research Center, 2011.

NETELER, Markus; MITASOVA, Helena. **Open-source GIS**: a GRASS GIS approach. 3. ed. Berlim: Springer, 2008.

OUYANG, Wei; HAO, Fanghua; SKIDMORE, Andrew K.; TOXOPEUS, A. G. Soil erosion and sediment yield and their relationships with vegetation cover in upper stream of the yellow river. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 409, n. 2, p. 396-403, Dec. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.10.020>.

PAGANI, Regina Negri; KOVALESKI, João Luiz; RESENDE, Luis Mauricio. Methodi ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication.

**Scientometrics**, Berlim, v. 105, p. 2109-2135, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1744-x>.

PANDEY, Ashish; CHOWDARY, Vemury Muthayya; MAL, Bimal Chandra. Identification of critical erosion prone areas in the small agricultural watershed using USLE, GIS and remote sensing. **Water Resources Management**, Berlim, v. 21, p. 729-746, abr. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-006-9061-z>

PEREIRA, Clayton Martins; SANTAREM SEGUNDO, José Eduardo. Metadados geoespaciais na web semântica: uma revisão da literatura. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO, 21., 2021, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2021. p. 1-16. Disponível em: <https://enancib.ancib.org/index.php/enancib/xxienancib/paper/viewFile/110/477>. Acesso em: 6 jun. 2024.

PIJL, Anton; REUTER, Lara E. H.; QUARELLA, Edoardo; VOGEL, Teun A.; TAROLLI, Paolo. GIS-based soil erosion modelling under various steep-slope vineyard practices.

**Catena**, Amsterdam, v. 193, p. 1-12, Oct. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104604>.

- POESEN, Jean; HOOKE, Janet. Erosion, flooding and channel management in mediterranean environments of southern Europe. **Progress in Physical Geography**, London, v. 21, n. 2, p. 157-199, June 1997. DOI: <https://doi.org/10.1177/030913339702100201>.
- PRITCHARD, Alan. Statistical bibliography or bibliometrics. **Journal of Documentation**, Bingley, v. 25, n. 4, p. 348-349, 1969. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/236031787\\_Statistical\\_Bibliography\\_or\\_Bibliometrics](https://www.researchgate.net/publication/236031787_Statistical_Bibliography_or_Bibliometrics). Acesso em: 7 jun. 2024.
- RACINE, Jeffrey S. RStudio: a platform-independent IDE for R and sweave. **Journal of Applied Econometrics**, Boboken, v. 12, n. 1, p.167-172, Jan./Feb. 2012. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/41337225>. Acesso em: 29 fev. 2024.
- RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEESIES, G. A.; MCCOOL, D. K.; YODER, D. C. (coord.). **Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)**. Washington, D.C: Agricultural Research Service, 1997.
- ROMERO, Julia; PASTOR, José M. Las universidades españolas bajo la influencia de los rankings. **Regional and Sectoral Economic Studies**, Santiago de Compostela, v. 12, n. 3, p. 105-126, 2012. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5981478>. Acesso em: 28 mar. 2024.
- SETEGN, Shimelis G.; SRINIVASAN, Ragahavan; DARGAHI, Bijan; MELESSE, Assefa M. Spatial delineation of soil erosion vulnerability in the Lake Tana Basin, Ethiopia. **Hydrological Processes**, Hoboken, v. 23, n. 26, p. 3738-3750, Oct. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.7476>.
- SINGH, Vijay P.; WOOLHISER, David A. Mathematical modeling of watershed hydrology. **Journal of Hydrologic Engineering**, Reston, v. 7, n. 4, p. 270-292, June 2002. DOI: [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(2002\)7:4\(270\)](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)1084-0699(2002)7:4(270)).
- SKAGGS, Richard Wayne. **DRAINMOD: reference report; methods for design and evaluation of drainage-water management systems for soils with high water tables**. Washington, D.C: United States Department of Agriculture Soil Conservation Service, 1985.
- STEINMANN, Vilmos; KERESZTURI, Ákos; MARI, László. Geomorphological analysis of tinto-B vallis on Mars. **Hungarian Geographical Bulletin**, Budapeste, v. 69, n. 4, p. 333-348, Dec. 2020. DOI: <https://doi.org/10.15201/hungeobull.69.4.1>.
- STRAFFELINI, Eugenio; PIJL, Anton; OTTO, Stefan; MARCHESINI, Enrico; PITACCO, Andrea; TAROLLI, Paolo. A high-resolution physical modelling approach to assess runoff and soil erosion in vineyards under different soil managements. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 222, p. 1-15, Ago. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105418>.
- STREHMEL, Alexander; SCHMALZ, Britta; FOHRER, Nicola. Evaluation of land use, land management and soil conservation strategies to reduce non-point source pollution loads in the three gorges region, China. **Environmental Management**, Berlim, v. 58, p. 906-921, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00267-016-0758-3>.
- TAVARES, Kássio Samay Ribeiro; CASTRO, Selva Simões de. Análise bibliométrica das modelagens de erosão do solo: panorama geral. *In*: SINAGEO – GEOMORFOLOGIA: COMPLEXIDADE E INTERESCALARIDADE DA PAISAGEM, 13., 2021, Juiz de Fora. **Anais [...]**. Juiz de Fora: UFJF, 2021. p. 1184-1198. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/368358499\\_ANALISE\\_BIBLIOMETRICA\\_DAS\\_MODELAGENS\\_DE\\_EROSAO\\_DO\\_SOLO\\_PANORAMA\\_GERAL](https://www.researchgate.net/publication/368358499_ANALISE_BIBLIOMETRICA_DAS_MODELAGENS_DE_EROSAO_DO_SOLO_PANORAMA_GERAL). Acesso em: 9 abr. 2024.
- TOY, Terrence J.; FOSTER, George R.; RENARD, Kenneth G. **Soil erosion: processes, prediction, measurement, and control**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2002.

WILLIAMS, Jimmy R. Sediment-yield prediction with universal equation using runoff energy factor. *In*: AGRICULTURE RESEARCH SERVICE; U.S DEPARTMENT OF AGRICULTURE (org.). **Present and prospective technology for predicting sediment yield and sources**. Oxford: USDA, 1975. p. 244-252.

WISCHMEIER, Walter; SMITH, Dwight David. **Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains**: guide for selection of practices for soil and water Conservation. Washington, D.C: Agricultural Research Service, 1965.

YOUSSEF, Mohamed A.; ABDELBAKI, Ahmed M.; NEGM, Lamyaa M.; SKAGGS, Wayne R.; THORP, Kelly R.; JAYNES, Dan B. DRAINMOD-simulated performance of controlled drainage across the US Midwest. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 197, p. 54-66, jan. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.11.012>.

ZUO, Depeng; XU, Zongxue; YAO, Wenyi; JIN, Shuangyan; XIAO, Peiging; RAN, Dachuan. Assessing the effects of changes in land use and climate on runoff and sediment yields from a watershed in the Loess Plateau of China. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 544, p. 238-250, Feb. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.060>.

**Recebido:** abril de 2024.

**Aceito:** junho de 2024.