

# ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DE SIMULADORES DE CHUVA: INVESTIGANDO A PESQUISA CIENTÍFICA

*Data de aceite: 01/09/2023*

**Herlane Costa Calheiros**

Universidade Federal de Itajubá  
<https://orcid.org/0000-0001-6535-8079>

**Isabela Carolina Mota**

Universidade Federal de Itajubá

**Karollainny Ágata Ribeiro de Faria**

Universidade Federal de Itajubá

**Ellen de Fátima Ferreira**

Universidade Federal de Itajubá

**RESUMO:** Os simuladores de chuva são equipamentos com o intuito de produzir chuva artificial similar com a chuva natural, sendo possível controlar a intensidade, a velocidade e a frequência das gotas quando colide com a superfície do solo, com a presença de uma cobertura vegetal ou não. É essencial em estudos de solo, agrícola e ambiental que necessitem produzir chuvas permitindo rápida coleta de dados em condições relativamente uniformes, com menor custo e sem descontinuidade dos trabalhos. O objetivo deste artigo é conhecer, por meio de revisão bibliométrica, as pesquisas que utilizaram simulador de chuva dentro do período de 2010 a 2020. Os resultados apontam avanços, lacunas e

tendências de pesquisas sobre o tema.

**PALAVRAS-CHAVE:** água meteórica, chuva artificial, chuva simulada.

## BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF RAINFALL SIMULATORS: INVESTIGATING SCIENTIFIC RESEARCH

**ABSTRACT:** Rainfall simulators are equipments with the intention of producing artificial rain similar to natural rain, being possible to control the intensity, speed and frequency of the drops when it collides with the soil surface, with the presence of a vegetation cover or not. It is essential in soil, agricultural and environmental studies that need to produce rain, allowing rapid data collection in relatively uniform conditions, with lower cost and without discontinuity of work. The objective of this article is to know, through an integrative bibliometric review, the researches that used rainfall simulator within the period from 2010 to 2020. The results show advances, gaps and trends in research on the topic. this article is to know, through an integrative bibliometric review, the researches that used rainfall simulator within the period from 2010 to 2020. The results show advances, gaps and trends in research on the topic.

**KEYWORDS:** meteoric water, artificial rainfall, simulated rain.

## 1 | INTRODUÇÃO

Os simuladores de chuva são utilizados para entender os efeitos que a chuva proporciona nas propriedades do solo e em outras superfícies sob várias condições. Os simuladores são equipamentos que possibilitam o controle das chuvas e das suas características em laboratório ou em experimentos de campo, independentemente das condições climáticas (Iserloh et al., 2013).

Várias pesquisas (Calheiros, Gomes & Estrella, 2014; Pinheiro & Araújo, 2016) são realizadas usando a chuva natural. No entanto, para estudar os efeitos da chuva sobre as partículas do solo utilizando apenas a chuva natural requer mais tempo para obter os dados, tornando-os mais difíceis de aquisição, além de ser impossível de controlar; com isso, os simuladores apresentam essa vantagem do controle da intensidade, frequência, duração dentre outros fatores.

Segundo Bertol, Bertol e Barbosa (2012), os simuladores de chuva são instrumentos que existem desde 1930, depois deste ano já foram construídos outros modelos mais modernos como é revelado por Meyer (1988), Hudson (1995), Cerdà (1999) e Abudi, Carmi e Berliner (2012), que apresentam uma lista de simuladores com suas principais características e as características das chuvas simuladas. Atualmente, existem alguns simuladores de laboratório que são controlados por computador e cobrem áreas de 100 m<sup>2</sup> ou mais, por exemplo, o simulador do Instituto de Pesquisa Hidráulica do Rio Amarelo na China e o simulador do Instituto Nacional de Pesquisa em Gestão de Desastres da Coreia do Sul, ambos com um sistema de bocais pressurizados oscilantes operados por computador (Kim, Ko, Jeong & Ye, 2018; Wang & Deng, 2020). Apesar desses simuladores produzirem chuvas com maior precisão, eles são caros e difíceis de operar, fazendo com que simuladores simples que produzem chuvas em áreas menores que 5 m<sup>2</sup> (principalmente, menores que 1 m<sup>2</sup>) continuem sendo muito utilizados (Cerdà, Ibáñez & Calvo, 1997; Iserloh et al., 2013; Sepaskhah & Shahabizad, 2010; Calheiros, Silva, Costa & Macedo, 2020).

Em função da importância estratégica dos simuladores de chuva para numerosos estudos de solo, agrícola e ambiental que necessitem produzir chuvas permitindo rápida coleta de dados em condições relativamente uniformes, com menor custo e sem descontinuidade dos trabalhos, é relevante esta pesquisa de revisão bibliográfica para que se conheça as pesquisas realizadas nos últimos tempos, pois apresenta conhecimentos atuais, novos e com perspectivas futuras.

O objetivo principal desta revisão é conhecer as pesquisas que utilizaram simulador de chuva dentro do período de 2010 a 2020. Para tanto, fez-se revisão bibliométrica. Na análise de um trabalho bibliométrico busca-se identificar os periódicos mais relevantes, os autores com maior produção e os temas mais recorrentes relacionados a um tema

específico (Chueke & Amatucci, 2015).

## 2 | METODOLOGIA

A plataforma do Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) foi utilizada como fonte de dados. Para a busca foram utilizados os descritores “rainfall simulator” e “runoff” no campo “qualquer parte do texto” (incluindo título e assunto) da base de dados, definiu-se o tipo de material como “artigos revisados por pares”, em princípio, em qualquer idioma e depois, em uma segunda análise, em português.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A amostra do estudo correspondeu a um número de 736 artigos revisados por pares. No entanto, desprezando as repetições, obteve-se 511 artigos, distribuídos em diversas bases de dados, sendo que Scopus (Elsevier) e Science Citation Index Expanded (Web of Science) detém o maior número de registros: 80,0% e 76,9% respectivamente.

Nota-se pela Tabela 1 que as revistas com o maior número de publicações são Catena, Water e Environmental Earth Sciences com 9,0%, 6,7% e 5,1% do total de publicações, respectivamente. No âmbito brasileiro, se destaca a Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental com 1,8% dos artigos publicados no período, Tabela 2. As revistas são normalmente multi e/ou interdisciplinares, as que mais publicaram (43,2%) foram predominantemente da área de ciências do solo, Tabela 3. No entanto, quando somamos as revistas das áreas de ciências ambientais e recursos hídricos (50,9%), juntas elas encerram a maior parte das publicações entre 2010 e 2020.

Periódico	Quantidade total	Quantidade (%)
Catena	46	9,0
Water	34	6,7
Environmental Earth Sciences	26	5,1
Catena (Giessen)	25	4,9
Water (Basel)	25	4,9
Journal of Soils and Sediments	21	4,1
Solid Earth	12	2,3
Hydrology	11	2,2
Water, Air, & Soil Pollution	11	2,2
Environmental science and pollution research international	10	2,0
Water Resources Management	10	2,0
Hydrological Processes	9	1,8

Landslides	9	1,8
Journal of Hydrology	8	1,6
Scientific World Journal	8	1,6
Urban Water Journal	8	1,6
Water (Switzerland)	8	1,6
Environmental Monitoring and Assessment	7	1,4
Hydrological Sciences Journal	7	1,4
PLoS ONE	7	1,4

Tabela 1: As vinte revistas estrangeiras com maior número de publicações entre 2010 e 2020 sobre simulador de chuva.

Periódico	Quantidade de artigos	Artigos
Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental	9 (1,8%)	NUNES; CASSOL (2011), GEBLER et al. (2012), CUNHA et al. (2015), ABRANTES; DE LIMA; MONTENEGRO (2015), DE CARVALHO et al. (2015), DOS SANTOS; DE SOUZA; MONTENEGRO (2016), DE ALMEIDA et al. (2019), DA SILVA et al. (2019), RAMOS et al. (2019)
Ciência Rural	2 (0,4%)	BERTOL et al. (2011), DECARO; DECARO; FERREIRA (2016)
Revista Ambiente & Água	2 (0,4%)	PINHEIRO et al. (2013), WEBER (2014)
Revista Engenharia na Agricultura	1 (0,2%)	SILVA et al. (2019)

Tabela 2: Revistas brasileiras que publicaram artigos sobre simulador de chuva de 2010 a 2020.

Área predominante das revistas	Quantidade total	Quantidade (%)
Ciência dos solos	221	43,2
Ciências ambientais	110	21,5
Ciências, tecnologia, medicina e ciências sociais e humanas	30	5,9
Recursos hídricos	150	29,4

Tabela 3: Área das revistas por artigo.

O idioma principal foi o inglês (99,33% das publicações, sendo 91,81% exclusivamente em língua inglesa), mas houve outros artigos publicados unicamente em outros idiomas, a saber: português (0,27%), espanhol (0,13%), persa (0,13%) e russo (0,13%). As publicações em inglês também admitiram idiomas como: português (2,30%), espanhol (1,34%), chinês (1,07%), tcheco (0,81%), francês (0,81%), italiano (0,54%), eslovaco (0,54%) e japonês (0,13%).

Por meio da Figura 1, vê-se que os anos de 2018 e 2020 foram os que mais tiveram publicações sobre o tema, com respectivamente 63 e 60 artigos, seguidos por 2012 e 2015, com 50 artigos cada. Em média foram publicados  $46 \pm 7$  artigos por ano. Apesar da não linearidade, observou-se a tendência de crescimento na quantidade de artigos publicados

por ano.

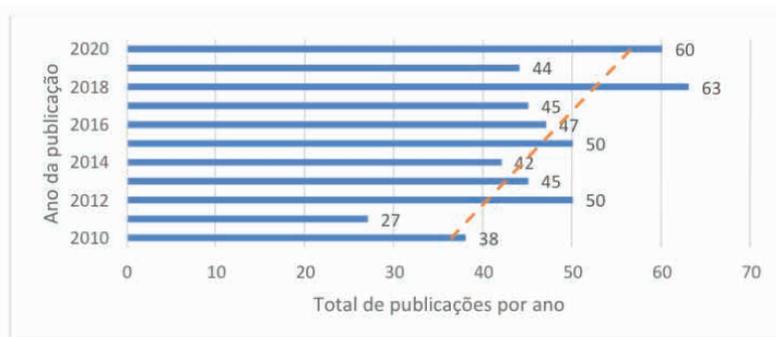


Figura 1: Quantidade de artigos publicados por ano (em azul) e curva de regressão linear (em vermelho).

O autor com maior número de publicações foi Manuel Seeger, da Universidade de Trier na Alemanha, com 9 artigos, seguido pelos autores, em ordem alfabética, Ataollah Kavian, da Universidade Sari de Ciências Agrárias e Recursos Naturais no Irã, e Seyed Hamidreza Sadeghi, da Universidade Tarbiat Modares em Teerã no Irã, com 5 artigos publicados cada, Tabela 4. A maior quantidade de artigos publicada foi de autores chineses, os quais corresponderam mais da metade do número total de autores. Na última década considerando a métrica utilizada nesta investigação, o professor Abelardo Antônio de Assunção Montenegro, da Universidade Federal Rural de Pernambuco em Recife, com 6 artigos publicados e não tendo coautores de instituições estrangeiras, foi o mais bem colocado. Contudo, considerando os valores percentuais do número de publicações, nenhum pesquisador se destacou sobre o tema pesquisado.

Autor (Sobrenome, Nome)	Total de artigos
Seeger, Manuel	9
Kavian, Ataollah	5
Sadeghi, Seyed Hamidreza	5
He, Shuqin	4
Li, Tingxuan	4
Li, Zhanbin	4
Luo, Han	4
Rodrigo-Comino, Jesús	4
Wu, Faqi	4
Zheng, Zicheng	4

Tabela 4: Autores estrangeiros que publicaram 4 ou mais artigos entre 2010 e 2020 sobre simulador de chuva.

Por meio da Figura 2, pode-se ver os principais assuntos abordados nos artigos publicados no período investigado. Além de chuva e escoamento superficial, as palavras citadas com maior frequência são erosão (23,4%), solo (15,2%) e agricultura (8,4%), ou seja, os simuladores de chuva foram utilizados principalmente para produzir chuvas artificiais em pesquisas que avaliaram a erosão do solo pela água e suas consequências.



Figura 2: Nuvem de palavras com as palavras-chave.

Das dez palavras predominantes nas publicações de 2010 a 2020, a palavra ‘agricultura’ só não aparece em 2020. Já solo e erosão são as principais palavras-chave, seguidas por sedimentos, que só não é mencionada em 2013, 2014 e 2018. As questões relacionadas a qualidade da água, poluição hídrica, desenvolvimento sustentável e bacias hidrográficas são discutidas até meados da década de 2010. A partir de 2015, os assuntos relacionados a vegetação, conservação do solo e simulação computacional ganham destaque. Analisando esses artigos, verificou-se a tendência do uso de simulador de chuva em estudos sobre o efeito da vegetação na redução do escoamento hídrico superficial e da erosão de solo, com consequente diminuição do transporte de sedimentos para cursos d’água.

## 4 | CONCLUSÃO

Através do levantamento bibliográfico realizado, em função da pequena quantidade de artigos nacionais publicados sobre o assunto aqui tratado, se comparada à produção internacional, é possível perceber que o uso de simuladores de chuva é um assunto pouco estudado por pesquisadores brasileiros, apesar de sua relevância e dos benefícios oriundos da sua utilização.

Existe tendência de crescimento na quantidade de artigos publicados por ano, sendo que na última década a média foi de  $46 \pm 7$  artigos por ano.

Em relação aos autores que mais publicaram, apesar deste estudo compreender

um período de 10 anos, nenhum pesquisador se mostrou como o de maior expressividade na área.

Observou-se baixa publicação conjunta entre pesquisadores de diferentes países e mesmo entre instituições brasileiras. Indicando uma lacuna na abordagem dos problemas estudados que normalmente são multidisciplinares. Eles poderiam ser melhor analisados, se os profissionais trabalhassem em conjunto valorizando diferentes formações e olhares para o mesmo problema, inclusive com cooperação internacional.

A análise das publicações permitiu identificar os periódicos mais interessados no tema, como *Catena* e *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* em âmbito internacional e nacional respectivamente.

Este estudo apresentou o panorama atual sobre pesquisas que envolvem simuladores de chuva, apontando os principais pesquisadores e as revistas mais interessadas no assunto e as principais tendências nos estudos.

No que diz respeito as limitações desta pesquisa, a falta de padronização dos formatos das publicações não permitiu a extração automática e estruturada dos dados para utilização de programas específicos de análise de produção acadêmica.

## REFERÊNCIAS

ABRANTES, JOÃO R.C.B.; DE LIMA, JOÃO L.M.P.; MONTENEGRO, ABELARDO A.A. Performance of kinematic modelling of surface runoff for intermittent rainfall on soils covered with mulch/Desempenho da modelagem cinemática do escoamento superficial para chuvas intermitentes em solos com cobertura morta. (texto em português). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19, n.2, p.166-173, 2015.

ABUDI, I.; CARMÍ, G.; BERLINER, P. Rainfall simulator for field runoff studies. *Journal of hydrology* (Amsterdam), v.454-455, p.76-81, 2012.

BERTOL, LDEGARDIS; BERTOL, CAMILO; BARBOSA, FABRÍCIO TONDELLO. Simulador de chuva tipo empuxo com braços movidos hidráulicamente: Fabricação e calibração. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.36, n.6, p.1905-1910, 2012, ISSN 0100-0683.

BERTOL, OROMAR JOÃO; RIZZI, NIVALDO EDUARDO; FEY, EMERSON; LANA, MARIA DO CARMO. Nutrient losses by surface runoff in no-till system soil under mineral and organic fertilization/Perda de nutrientes via escoamento superficial no sistema plantio direto sob adubação mineral e orgânica. *Ciência Rural*, v.41, n.11, p.1914-1921, 2011.

CALHEIROS, H. C., GOMES, M. R., ESTRELLA, P. M. A. Calidad de las aguas meteóricas em la ciudad de Itajubá, Minas Gerais, Brasil. *Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v.9, n.2, p.336-346, 2014.

CALHEIROS, H.C.; SILVA, F. G. G.; COSTA, L. S.; MACEDO, M. L. Water balance study on green roof in Brazil. *International Journal of Hydrology*, v.4, p.141-144, 2020.

CERDÀ, A. Simuladores de lluvia y su aplicación a la Geomorfología. Estado de la cuestión. *cuadernos de I. Geográfica*, 25, p. 45-84, 1999.

CERDÀ, A.; IBÁÑEZ, S.; CALVO, A. Design and operation of a small and portable rainfall simulator for rugged terrain. *Soil Technol.*, 11, p.163–170, 1997.

CHUEKE, G. V.; AMATUCCI, M. O que é bibliometria? Uma introdução ao fórum. *InternexT – Revista Eletrônica de Negócios Internacionais da ESPM*, v.10, n.2, p.1-5, 2015.

CUNHA, JORGE L.X.L.; COELHO, MARIA E.H.; DE ALBUQUERQUE, ABEL W.; SILVA, CICERO A.; DA SILVA JR, ANTONIO B.; DE CARVALHO, ISLAN D.E. Water infiltration rate in Yellow Latosol under different soil management systems/Taxa de infiltração da água em um Latossolo Amarelo submetido a diferentes sistemas de manejo. (texto em inglês). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19, n.11, p.1021-1028, 2015.

DA SILVA, FABIO F.; SOUZA, THAIS E.M. DOS S.; DE SOUZA, EDIVAN R.; CORREA, MARCELO M.; ROLIM, MARIO M. Surface sealing and water erosion of soils with mulching in the semi-arid region of Brazil/Selamento superficial e erosão hídrica em solos representativos do semiárido brasileiro sob cobertura morta. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.23, n.4, p.277-285, 2019.

DE ALMEIDA, WILK S.; DE CARVALHO, DANIEL F.; PEREIRA, FERNANDES A.C.; ROUWS, JANAINA R.C. Sediment production and soil water infiltration under different simulated rainfall characteristics/Produção de sedimentos e infiltração de água no solo sob diferentes características de chuva simulada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.23, n.8, p.572-579, 2019.

DE CARVALHO, DANIEL F.; EDUARDO, ELIETE N.; DE ALMEIDA, WILK S.; SANTOS, LUCAS A.F.; SOBRINHO, TEODORICO ALVES. Water erosion and soil water infiltration in different stages of corn development and tillage systems/Erosão hídrica e infiltração de água no solo sob diferentes sistemas de cultivo do milho. (texto em inglês). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19, n.11, p.1072-1079, 2015.

DECARO, RICARDO AUGUSTO; DECARO JR, SERGIO TADEO; FERREIRA, MARCELO DA COSTA. Deposit of pesticides without and with adjuvants on citrus seedlings following different intervals of artificial rain/Depósito de caldas fitossanitárias sem e com adjuvantes sobre mudas de citros com diferentes intervalos para incidência de chuva artificial. (proteccion de cultivos) (texto em inglês). *Ciência Rural*, v.46, n.1, p.13-20, 2016.

DOS SANTOS, THAIS E.M.; DE SOUZA, EDIVAN R.; MONTENEGRO, ABELARDO A.A. Modeling of soil water infiltration with rainfall simulator in different agricultural systems/Modelagem da infiltração de água no solo com simulador de chuvas em diferentes sistemas agrícolas. (texto em inglês). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.20, n.6, p.513-519, 2016.

GEBLER, LUCIANO; BERTOL, ILDEGARDIS; RAMOS, ROGER R.; LOUZADA, JOSE A.S.; MIQUELLUTI, DAVID J. Fósforo reativo: arraste superficial sob chuvas simuladas para diferentes coberturas vegetais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n.1, p.99-108, 2012.

HUDSON, N. *Soil Conservation*. Batsford Ltd., London, 1995, 391p.

ISERLOH, T.; RIES, J.B.; ARNÁEZ, J.; BOIX-FAYOS, C.; BUTZEN, V.; CERDÀ, A.; ECHEVERRÍA, M.T.; FERNÁNDEZ-GÁLVEZ, J.; FISTER, W.; GEIBLER, C.; GÓMEZ, J.A.; GÓMEZ-MACPHERSON, H. European small portable rainfall simulators: A comparison of rainfall characteristics. *Catena (Giessen)*, v.110, p.100-112, 2013.

KIM, HAKSOO; KO, TEAKJO; JEONG, HYANGSEON; YE, SUNGJE. The Development of a Methodology for Calibrating a Large-Scale Laboratory Rainfall Simulator. *Atmosphere*, v.9, n.11, 2018.

MEYER, L.D. Rainfall simulators for soil conservation research. LAL, R. (Ed.), Soil Erosion Research Methods, Soil and Water Conservation Society, Ankeny, IO, U.S.A., 1988, p.75-95.

NUNES, MARIA C. M.; CASSOL, ELEMAR A. Produção de sedimentos pela erosão em entressulcos em três Latossolos do Rio Grande do Sul. (Texto em Português). Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.15, n.6, p.541-548, 2011.

PINHEIRO, ADILSON; KAUFMANN, VANDER; SCHNEIDERS, DANIELI; GOTARDO, RAFAEL. Transporte de sedimentos e espécies químicas em áreas de reflorestamentos e pastagem com base em chuva simulada/Transport of sediments, carbon and nutrients in areas of reforestation and grassland based on simulated rainfall. Revista Ambiente & Água, v.8, n.2, p.109-123, 2013.

PINHEIRO, L.G.; ARAÚJO, A.L.C. Qualidade e aproveitamento da água de chuva. Holos (Natal online), v.08, p.135-146, 2016.

RAMOS, JULIO C.; BERTOL, ILDEGARDIS; BANDEIRA, DOUGLAS H.; BARBOSA, FABRICIO T.; ZANGISKI, FERNANDA. Path coefficient analysis, a different approach to identify soil quality indicators/Análise de trilha, uma abordagem diferente para identificar indicadores de qualidade do solo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.23, n.7, p.545-552, 2019.

SEPASKHAH, A.R.; SHAHABIZAD, V. Effects of water quality and PAM application rate on the control of soil erosion, water infiltration and runoff for different soil textures measured in a rainfall simulator. Biosyst. Eng., v.106, p.513–520, 2010.

SILVA, JOSÉ; DE SOUZA, EDUARDO; SOUZA, RODOLFO; DOS SANTOS, EDUARDO; ANTONINO, ANTONIO. Efeito de diferentes usos do solo na erosão hídrica em região semiárida. Revista Engenharia na Agricultura, v.27, n.3, p.272-283, 2019.

WANG, QIDONG; DENG, LIN. Effects of rainfall intensity, slope angle, and vegetation coverage on the erosion characteristics of Pisha sandstone slopes under simulated rainfall conditions. Environmental Science and Pollution Research International, v.27, n.15, p.17458-17467, 2020.

WEBER, JUAN. Parámetros del modelo de infiltración de Horton obtenidos mediante el uso de un simulador de lluvia, Córdoba, Argentina/Parâmetros do modelo de infiltração de Horton desenvolvidos utilizando-se um simulador de chuva, Córdoba, Argentina. Revista Ambiente & Água, v.9, n.1, p.161-172, 2014.