

# UMA REVISÃO SISTEMÁTICA INTEGRATIVA DE SIMULADORES DE CHUVA

*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 muito versáteis usados em pesquisas da área de ciências agrárias, ambientais e engenharia. O objetivo deste artigo é conhecer, a partir de revisão bibliométrica (Parte I) associada a uma revisão integrativa, as pesquisas que utilizaram simulador de chuva dentro do período de 2010 a 2020. Com isso, possibilita uma maior compressão da importância destes equipamentos para uma gama variada de estudos do escoamento superficial da água, do processo de erosão do solo, do arraste de sedimentos, poluentes e micro-organismos, dentre outros. Além de avaliar e sintetizar o conteúdo da produção acadêmica sobre os simuladores de chuva

e constatar os avanços alcançados ao longo do tempo.

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

## A SYSTEMATIC INTEGRATIVE REVIEW OF RAINFALL SIMULATORS

**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. The objective of this article is to know, from a bibliometric review (Part I) associated with an integrative review, the researches that used rain simulator within the period 2010 to 2020. With this, it allows a greater compression of the importance of these equipments for a varied range of studies on the runoff of water, the process of soil erosion, the dragging of sediments, pollutants and microorganisms, among others. In addition to evaluating and synthesizing the content of academic production on rain simulators and verifying the progress achieved over time.

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

## 1 | INTRODUÇÃO

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, sugerindo novas investigações sobre o tema.

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 integrativa, onde pode-se avaliar e sintetizar o conteúdo da produção acadêmica sobre os simuladores de chuva. Assim para nortear o estudo foram elencadas algumas questões para serem respondidas na revisão integrativa: (i) o que é um simulador de chuva? (ii) quais são os principais tipos de simuladores de chuva? (iii) quais são as principais características das chuvas? (iv) em quais tipos de pesquisas são normalmente utilizados simuladores de chuva?

## 2 | O QUE É UM SIMULADOR DE CHUVA?

Os simuladores de chuva são equipamentos adequados para pesquisas de precipitação, considerando que são preparados para fornecer chuva de intensidade e pressão controladas. Tais equipamentos permitem avaliar a precipitação em uma situação na qual há uma superfície de solo com alguma cobertura vegetal e outra sem. Sendo assim, a simulação de chuva é uma ferramenta útil para a investigação de questões de variadas naturezas, como em erosão do solo, escoamento superficial e infiltração (Ngasoh, Mbajjorgu, Kamai & Okoro, 2020).

A chuva natural tem sofrido variações ao longo dos anos, devido às mudanças dos fenômenos atmosféricos. Um exemplo disto acontece no Estado de Minas Gerais no Brasil que, segundo Reboita, Rodrigues, Silva e Alves (2015), é afetado por certos fenômenos atmosféricos, caracterizando seu regime pluvial em estações distintas, sendo elas: um verão chuvoso durante os meses de novembro à março e de um inverno seco entre os meses de maio e setembro. Assim, exige-se um longo período para a obtenção dos dados sob a chuva natural, além de uma equipe persistente (Bertol, Bertol & Barbosa, 2012). Logo, os simuladores de chuva são uma alternativa adequada para obtenção de dados experimentais ao invés da chuva natural, pois permite que a chuva artificial seja controlada e possa ser usada a qualquer tempo (Spohr, 2015). Assim, por exemplo, em pesquisas de deslizamento de solo e rochas ao invés de depender de dados da chuva natural como no trabalho de Da Silva & Santos (2020), pode-se produzir chuva artificial.

Para a caracterização da chuva artificial deve-se avaliar intensidade, uniformidade

de distribuição, energia cinética, tamanho da gota de chuva e velocidade terminal da chuva (Liu, Lin & Che, 2018). Os resultados do levantamento realizado revelam o aumento do interesse na obtenção das características das chuvas simuladas (Cavazza, Guarnieri, Fabbri, Cevoli & Molari, 2016; Kavian, Mohammadi, Cerdà, Fallah, & Gholami, 2018).

### 3 | TIPOS DE SIMULADORES DE CHUVA

Ngasoh et al. (2020) constataram que existem três tipos diferentes de simuladores de chuva: (i) formador de gotas; (ii) com bocal pressurizado e (iii) híbrido. Aliás, Morin, Goldberg e Seginer (1967) subclassificam os simuladores de chuva com base no mecanismo formador de gotas em simulador por gotejamento e simulador por aspersão. Recomenda-se o simulador por gotejamento para estudos em superfícies erodíveis e o simulador pressurizado para superfícies não erodíveis.

Diversos autores, como Benito, De Blas, Santiago e Varela (2001), Blanquies, Scharff e Hallock (2003), Mutchler e Moldenhauer (1963), Palmer (1963), Yakubu e Yusop (2017), apresentam características, vantagens e desvantagens dos simuladores de chuva. Cada tipo de simulador é adequado a um determinado tipo de aplicação em função de suas características, vantagens e limitações.

Vê-se aumentar a busca pelo aperfeiçoamento de projeto e procedimentos relacionados aos simuladores de chuva, principalmente, dos portáteis ou mini simuladores (Kibet et al., 2014; Lassu, Seeger, Peters & Keesstra, 2015; Sadeghi, 2016; Vergni, Todisco & Vinci, 2018; Kavian et al., 2019; Nielsen et al., 2019).

### 4 | APLICAÇÃO DOS SIMULADORES DE CHUVA

A década se caracteriza principalmente pela publicação de artigos (Sequinatto, 2018; Aliramayee, Darvishan & Arabkhedri, 2019; Mamoona, Jahan, He, Joergensen & Rahman, 2019, entre outros), que descrevem o projeto/design e a operação de simuladores de chuva na avaliação de perda de solo, geração de escoamento superficial e qualidade da água de escoamento (nutrientes e micro-organismos), podendo ser usado sob condições de laboratório e in situ. Por exemplo, Anderson e Lockaby (2011) utilizam simulador de chuva em sua pesquisa onde relacionam manejo florestal e arraste de sedimentos em corpos d'água.

Outros estudos como os de Davidson et al. (2014), Ferrar et al. (2010), Mahbub, Goonetilleke, Ayoko e Egodawatta (2011), Muthusamy et al. (2018), Ries, Kirn e Weiler (2020) e Thai et al. (2015) se somam, analisando o efeito das mudanças climáticas (seca, aumento da variabilidade das chuvas, eventos extremos) em sistemas agrícolas vulneráveis, em encostas e na lixiviação de poluentes de áreas urbanas e agrícolas.

Intensificam-se os estudos voltados a eficiência de materiais artificiais e resíduos industriais e, também, o interesse em se conhecer o balanço hídrico em áreas recuperadas

após desativação de áreas de mineração (Chen, Chang, Wang e Lin, 2011; Lozano-Garcia, Parras-Alcantara e De Albornoz, 2011; Luo et al., 2013).

Estudos com utilização de equipamentos e técnicas de modelagem matemática mais sofisticadas foram verificados, como a aplicação de rede neural artificial para avaliar o efeito da energia da gota de chuva na infiltração de água no solo, a utilização de escâneres a laser de alta precisão para a avaliação de texturas de pavimento rodoviário sob diferentes intensidades de chuva, o estudo de erosão de solo fazendo rastreamento por fotogrametria de alta resolução ou usando como traçador elementos de terras raras (Bitelli, Simone, Girardi & Lantieri, 2012; Goldshleger, Chudnovsky, Ben-Dor & Rossel, 2012; Hänsel, Schindewolf, Eltner, Kaiser & Schmidt, 2016; Liu, Xiao, Liu, Zhang & Zhang, 2016).

O olhar dos cientistas sobre os fenômenos naturais, a partir de 2012, volta-se para a bacia hidrográfica. Assim, surge como ponto focal a chuva distribuída espacialmente, como no estudo do efeito do movimento de tempestades no escoamento superficial de bacias hidrográficas, na aplicação de sistemas de informações geográficas e sensoriamento remoto para avaliar a geração de escoamento em bacias hidrográficas, na análise da frequência de inundações e no desenvolvimento de modelo matemático para a determinação do tempo de concentração do escoamento superficial em bacias hidrográficas (Sigarodi, Sardoi, Salajagheh, Farizhendi & Shoa, 2012; Li et al., 2015; Maina & Raude, 2016; Guo et al., 2017; Gianinetto et al., 2019; Del Rio, Ramirez & Sanchez, 2020; Hoje, Dong & Inhwan, 2020).

Na segunda metade da década investigada, as questões relacionadas a conservação ambiental ganham destaque com pesquisas sobre os efeitos da cobertura vegetal ou mesmo do desmatamento nas propriedades do solo, no escoamento da água, na erosão do solo, deslizamento de encostas, no transporte de micro-organismos e materiais radioativos e, também, na recarga, níveis e fluxo da água subterrânea (Wang et al., 2014; Davidova, Dostal, David & Strauss, 2015; Davidson et al., 2016; Saber, Somjunyakul, Ok & Watanabe, 2019; Gao & Sun, 2020; Litt et al., 2020; Chen & Zhao, 2020; Wang e Deng, 2020; Zhang, 2020). Bem como, a utilização de tecnologias sustentáveis como uso de energia solar associado a produção agrícola (agrovoltaísmo) têm motivado pesquisas com a de Cheviron et al. (2018) sobre a influência de painéis solares na distribuição das chuvas no solo.

Questões urbanas e relacionadas a sustentabilidade estão cada vez mais sob investigação, por exemplo: uso de resíduos urbanos (lixo, lodo de esgoto, resíduos de poda) para a reabilitação do solo e da vegetação em áreas incendiadas; influência de chuvas impulsionadas pelo vento no escoamento superficial em áreas urbanas; pesquisas sobre infraestrutura verde como pavimentos permeáveis e telhados verdes (Cellier et al., 2012; Sedyowati, Suhardjono, Suhartanto & Sholichin, 2017; Li et al., 2018; Bateni et al., 2019; Calheiros, Silva, Costa & Macedo, 2020; Jaerock, Jaehyun, Jonghyun, Jaehyuk & Hyunsuk, 2020; Turco et al., 2020).

Nota-se que os simuladores de chuva são empregados para produzir chuvas

artificiais em pesquisas científicas com diferentes objetivos nas áreas das ciências agrárias e engenharias. No entanto, um tema recorrente é a erodibilidade de solos e vários estudos de caso provenientes da Alemanha, da china, da Espanha, do Iran, do Brasil, da Rússia, da África do Sul, da Itália, dentre outros países foram publicados sobre o tema entre 2010 e 2020.

## 5 | CONCLUSÃO

Os simuladores são equipamentos que possibilitam que a intensidade da chuva e a frequência da precipitação sejam controladas. Para garantir a qualidade dos dados e sua representatividade, é importante que os simuladores de chuva produzam chuva com características (energia cinética, diâmetro médio e velocidade das gotas) similares da chuva natural.

Ao longo da década 2010-2010, aumentou-se a busca pelo aperfeiçoamento de projeto e procedimentos relacionados aos simuladores de chuva, principalmente, dos portáteis ou mini simuladores e estudos para o conhecimento das características das chuvas simuladas.

Os resultados revelam também que os avanços tecnológicos de materiais e sistemas computacionais estão cada vez mais presentes nas pesquisas e sobretudo aplicados na modernização dos próprios simuladores de chuva e particularização em função de sua aplicação.

Notou-se o interesse em estudar o efeito da vegetação na redução do escoamento hídrico superficial e da erosão de solo, com conseqüente diminuição do transporte de sedimentos para cursos d'água, para isto faz-se necessário a utilização de simulador de chuva.

Estudos sobre conservação ambiental tendo a bacia hidrográfica como unidade territorial de análise é evidente a partir de meados dos anos 2010, contribuindo para o seu planejamento e gestão.

Observa-se nitidamente que existe a preocupação com os resíduos sólidos, sejam eles urbanos ou industriais, e o seu reaproveitamento de modo a reparar ou minimizar prejuízos decorrentes da degradação ambiental antrópica. Da mesma forma, chama a atenção a quantidade de trabalhos, publicados a partir de 2017, relacionados as infraestruturas verdes como uma alternativa a drenagem cinza (infraestrutura tradicional de drenagem urbana) em busca de uma convivência harmoniosa do ser humano com a natureza no meio urbano.

Este estudo apresentou respostas que envolvem simuladores de chuva ao combinar método bibliográfico com análise integrativa, colaborando para o aumento do conhecimento sobre o tema, apontando avanços e as principais tendências nos estudos.

## REFERÊNCIAS

- ALIRAMAYEE, R.; DARVISHAN, A.K.; ARABKHEDRI, M. Investigating the hydrological response and nutrient loss in rainfed lands in northeast of iran using rainfall simulator. *Agriculture and Forestry*, v.65, n.2, p.99-112, 2019.
- ANDERSON, CHRISTOPHER; LOCKABY, B. Research Gaps Related to Forest Management and Stream Sediment in the United States. *Environmental Management*, v.47, n.2, p.303-313, 2011.
- BATANI, NORAZLINA; LAI, SAI; PUTUHENA, F.; MAH, DARRIEN; MANNAN, MD.; CHIN, REN. Hydrological Performances on the Modified Permeable Pavement with Precast Hollow Cylinder Micro detention Pond Structure. *KSCE Journal of Civil Engineering*, v.23, n.9, p.3951-3960, 2019.
- BENITO, E.; DE BLAS, E.; SANTIAGO, J. L.; VARELA, M. E. Descripción y puesta a punto de un simulador de lluvia de campo para estudios de escorrentía superficial y erosión del suelo. *Revista de Xeoloxía Galega e do Hercínico Peninsular*, v.26, n.4, p.211-220, 2001.
- BITELLI, GABRIELE; SIMONE, ANDREA; GIRARDI, FABRIZIO; LANTIERI, CLAUDIO. Laser Scanning on Road Pavements: A New Approach for Characterizing Surface Texture. *Sensors*, v.12, n.7, p.9110-9128, 2012.
- BLANQUIES, J.; SCHARFF, M.; HALLOCK, B. The Design and Construction of Rainfall Simulator, presented at the International Erosion Control Association (IECA), 34th Annual Conference and Exposition. Nevada: Las Vegas, 2003, 10p.
- 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.
- CAVAZZA, LUIGI; GUARNIERI, ADRIANO; FABBRI, ANGELO; CEVOLI, CHIARA; MOLARI, GIOVANNI. Theoretical and experimental study on mechanical characterisation of a water drop impact on a solid surface. *Journal of Agricultural Engineering*, v.47, n.1, p.12-16, 2016.
- CELLIER, ANTOINE; FRANCOU, CEDRIC; HOUOT, SABINE; BALLINI, CHRISTINE; GAUQUELIN, THIERRY; BALDY, VIRGINIE. Use of urban composts for the regeneration of a burnt Mediterranean soil: A laboratory approach. *Journal of Environmental Management*, v.95, p.S238-S244, 2012.
- CHEN, SU-CHIN; CHANG, KUANG-TSUNG; WANG, SHI-HAO; LIN, JUN-YUE. The efficiency of artificial materials used for erosion control on steep slopes. *Environmental Earth Sciences*, v.62, n.1, p.197-206, 2011.
- CHEN, WENLE; ZHAO, PENG. Experimental study on the effects of tree planting on slope stability. *Landslides*, v.17, n.4, p.1021-1035, 2020.
- CHEVIRON, BRUNO; MANGE, ANNABELLE; DEJEAN, CYRIL; LIRON, FRANÇOIS; BELAUD, GILLES. Rain concentration and sheltering effect of solar panels on cultivated plots. *Hydrology and Earth System Sciences*, v.22, n.2, p.1285-1298, 2018.
- DA SILVA, D. DE F. S.; SANTOS, A. E. M. Rockfall hazard assessment and geological-geotechnical characterization of a rock slope in BR-356. *Holos*. v.36, n.8, p.1-13, 2020.
- DAVIDOVA, T.; DOSTAL, T.; DAVID, V.; STRAUSS, P. Determining the protective effect of agricultural crops on the soil erosion process using a field rainfall simulator. *Plant Soil And Environment*, v.61, n.3, p.109-115, 2015.

DAVIDSON, PAUL; JONES, RUSSELL; HARBOURT, CHRISTOPHER; HENDLEY, PAUL; GOODWIN, GREGORY; SLIZ, BRADLEY. Major transport mechanisms of pyrethroids in residential settings and effects of mitigation measures. *Environmental Toxicology and Chemistry*, v.33, n.1, p.52-60, 2014.

DAVIDSON, PAUL; KUHLENSCHMIDT, THERESA; BHATTARAI, RABIN; KALITA, PRASANTA; KUHLENSCHMIDT, MARK. Overland Transport of Rotavirus and the Effect of Soil Type and Vegetation. *Water*, v.8, n.3, p.1-16, 2016.

DEL RIO, ALICIA; RAMIREZ, ALDO; SANCHEZ, MAURICIO. The Role of Topography on the Shape of Unit Hydrographs in Small and Medium Sized Watersheds through a Physical Model. *Water*, v.12, n.8, p.1-26, 2020.

FERRAR, R. M.; TREVISIOL, P.; ACUTIS, M.; RANA, G.; RICHTER, G. M.; BAGGALEY, N. Topographic impacts on wheat yields under climate change: two contrasted case studies in Europe. *Theoretical and Applied Climatology*, v.99, n.1-2, p.53-65, 2010.

GAO, PENG; SUN, WENYI. Distinguishing the effects of vegetation restoration on runoff and sediment generation on simulated rainfall on the hillslopes of the loess plateau of China. *Plant and Soil*, v.447, n.1-2, p.393-412, 2020.

GIANINETTO, MARCO; AIELLO, MARTINA; POLINELLI, FRANCESCO; FRASSY, FEDERICO; RULLI, MARIA CRISTINA; RAVAZZANI, GIOVANNI; BOCCHIOLA, DANIELE; CHIARELLI, DAVIDE DANILO; SONCINI, ANDREA; VEZZOLI, RENATA. D-RUSLE: a dynamic model to estimate potential soil erosion with satellite time series in the Italian Alps. *European journal of remote sensing*, v.52, n. sup4, p.34-53, 2019.

GOLDSHLEGER, NAFTALI; CHUDNOVSKY, ALEXANDRA; BEN-DOR, EYAL; ROSSEL, RAPHAEL VISCARRA. Using Reflectance Spectroscopy and Artificial Neural Network to Assess Water Infiltration Rate into the Soil Profile. *Applied and Environmental Soil Science*, v.2012, p.1-9, 2012.

GUO, BING; ZHANG, FEI-FEI; YANG, GUANG; CAI-HONG, SUN; HAN, FANG; JIANG, LIN. Improved estimation method of soil wind erosion based on remote sensing and geographic information system in the Xinjiang Uygur Autonomous Region, China. *Geomatics, Natural Hazards & Risk*, v.8, n.105, p.1-16, 2017.

HÄNSEL, PHOEBE; SCHINDEWOLF, MARCUS; ELTNER, ANETTE; KAISER, ANDREAS; SCHMIDT, JÜRGEN. Feasibility of High-Resolution Soil Erosion Measurements by Means of Rainfall Simulations and SfM Photogrammetry. *Hydrology*, v.3, n.4, p.1-16, 2016.

HOJE, SEONG; DONG, SOP RHEE; INHWAN, PARK. Analysis of Urban Flood Inundation Patterns According to Rainfall Intensity Using a Rainfall Simulator in the Sadang Area of South Korea. *Applied sciences*, v.10, n.3, p.1-12, 2020.

JAEROCK, PARK; JAEHYUN, PARK; JONGHYUN, CHEON; JAEHYUK, LEE; HYUNSUK, SHIN. Analysis of Infiltrating Water Characteristics of Permeable Pavements in a Parking Lot at Full Scale. *Water (Basel)*, v.12, n.8, p.1-9, 2020.

KAVIAN, ATAOLLAH; MOHAMMADI, MAZIAR; CERDA, ARTEMI; FALLAH, MOGHADASEH; ABDOLLAHI, ZAHRA. Simulated raindrop's characteristic measurements. A new approach of image processing tested under laboratory rainfall simulation. *Catena (Giessen)*, v.167, p.190-197, 2018.

KAVIAN, ATAOLLAH; MOHAMMADI, MAZIAR; CERDÀ, ARTEMI; FALLAH, MOGHADASEH; GHOLAMI, LEILA. Calibration of the SARI portable rainfall simulator for field and laboratory experiments. *Hydrological Sciences Journal*, v.64, n.3, p.350-360, 2019.

KIBET, L.C.; SAPORITO, L.S.; ALLEN, A.L.; MAY, E.B.; KLEINMAN, P.J.A.; HASHEM, F.M.; BRYANT, R.B. A protocol for conducting rainfall simulation to study soil runoff. *Journal of Visualized Experiments*, v.86, p.1-14, 2014.

LASSU, TAMAS; SEEGER, MANUEL; PETERS, PIET; KEESSTRA, SASKIA D. The Wageningen Rainfall Simulator: Set-up and Calibration of an Indoor Nozzle-Type Rainfall Simulator for Soil Erosion Studies. *Land Degradation & Development*, v.26, n.6, p.1-9, 2015.

LI, XIAOXIAO; CAO, JUNJUN; XU, PEIXIAN; FEI, LING; DONG, QIN; WANG, ZHAOLONG. Green roofs: Effects of plant species used on runoff. *Land Degradation & Development*, v.29, n.10, p.3628-3638, 2018.

LI, RUNKUI; RUI, XIAOPING; ZHU, A-XING; LIU, JUNZHI; BAND, LAWRENCE; SONG, XIANFENG. Increasing detail of distributed runoff modeling using fuzzy logic in curve number. *Environmental Earth Sciences*, v.73, n.7, p.3197-3205, 2015.

LITT, GUY F.; OGDEN, FRED L.; MOJICA, ALEXIS; HENDRICKX, JAN M. H.; KEMPEMA, EDWARD W.; GARDNER, CHRISTOPHER B.; BRETFELD, MARIO; REGINA, JASON A.; HARRISON, J. BRUCE J.; CHENG, YANYAN; LYONS, W. BERRY. Land cover effects on soil infiltration capacity measured using plot scale rainfall simulation in steep tropical lowlands of Central Panama. *Hydrological Processes*, v.34, n.4, p.878-897, 2020.

LIU, N.; LIN, J.; CHE, S. Raindrop characteristics analysis (Oct 25, 2015) of natural rainfall in Zhengzhou city of Yello River basin. In: *IOP Conf.: Earth and Environmental Science*, v.128, 2018, 7p.

LIU, GANG; XIAO, HAI; LIU, PULING; ZHANG, QIONG; ZHANG, JIAQIONG. An improved method for tracing soil erosion using rare earth elements. *Journal of Soils and Sediments*, v.16, n.5, p.1670-1679, 2016.

LUO, HAN; ZHAO, TINGNING; DONG, MEI; GAO, JUN; PENG, XIANFENG; GUO, YU; WANG, ZHIMING; LIANG, CHAO. Field studies on the effects of three geotextiles on runoff and erosion of road slope in Beijing, China. *Catena*, v.109, p.150-156, 2013.

LOZANO-GARCIA, B.; PARRAS-ALCANTARA, L.; DE ALBORNOZ, M. DEL TORO CARRILLO. Effects of oil mill wastes on surface soil properties, runoff and soil losses in traditional olive groves in southern Spain. *Catena*, v.85, n.3, p.187-193, 2011.

MAHBUB, P.; GOONETILLEKE, A.; AYOKO, G.; EGODAWATTA, P. Effects of climate change on the wash-off of volatile organic compounds from urban roads. *Science Of The Total Environment*, v.409, n.19, p.3934-3942, 2011.

MAINA, C.; RAUDE, J. Assessing Land Suitability for Rainwater Harvesting Using Geospatial Techniques: A Case Study of Njoro Catchment, Kenya. *Applied and Environmental Soil Science*, v.2016, n.2, p.1-9, 2016.

MAMOON, ABDULLAH AL; JAHAN, SAYKA; HE, XIULAN; JOERGENSEN, NIELS E.; RAHMAN, ATAUR. First flush analysis using a rainfall simulator on a micro catchment in an arid climate. *The Science of the total environment*, v.693, p.1-12, 2019.



MORIN, J.; GOLDBERG, D.; SEGNER, I. A rainfall simulator with a rotating disk. *Transactions of the ASAE*, v.10, p.74-79, 1967.

MUTCHLER C, MOLDENHAUER W. Applicator for laboratory rainfall simulator. *Transactions of ASAE*. v.6, n.3, p.220-222, 1963.

MUTHUSAMY, MANORANJAN; TAIT, SIMON; SCHELLART, ALMA; BEG, M.; NAZMUL, AZIM; CARVALHO, RITA F.; DE LIMA, JOAO L. M. P. Improving understanding of the underlying physical process of sediment wash-off from urban road surfaces. *Journal of Hydrology*, v.557, p.426-433, 2018.

NGASOH, FELIX GEMPLACK; MBAJIORGU, CONSTANTINE CROWN; KAMAI, MATTHEW BONIFACE; OKORO, GIDEON ONYEKACHI. A revisit of rainfall simulator as a potential tool for hydrological research. MEENA, RAM SWAROOP (Ed.), *Agrometeorology*. IntechOpen, 2020, 19p.

NIELSEN, KRISTOFFER T.; MOLDRUP, PER; THORND AHL, SØREN; NIELSEN, JESPER E.; DUUS, LENE B.; RASMUSSEN, SØREN H.; UGGERBY, MADS; RASMUSSEN, MICHAEL R. Automated rainfall simulator for variable rainfall on urban green areas. *Hydrological Processes*, v.33, n.26, p.3364-3377, 2019.

PALMER, R. S. The influence of a thin water layer on waterdrop impact forces. *International Association of Hydrological Sciences*, v.65, p.141-148, 1963.

REBOITA, MICHELLE SIMÕES; RODRIGUES, MARCELO; SILVA, LUIZ FELIPE; ALVES, MARIA AMÉLIA. Aspectos climáticos do Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Climatologia*, v.17, p.206-226, 2015.

RIES, FABIAN; KIRN, LARA; WEILER, MARKUS. Runoff reaction from extreme rainfall events on natural hillslopes: a data set from 132 large-scale sprinkling experiments in south-western Germany. *Earth System Science Data*, v.12, n.1, p.245-255, 2020.

SABER, AYMAN N.; SOMJUNYAKUL, PINITI; OK, JUNGHUN; WATANABE, HIROZUMI. Rainfall-Runoff Simulation of Radioactive Cesium Transport by Using a Small-Scale Portable Rainfall Simulator. *Water, Air, & Soil Pollution*, v.230, n.9, p.1-15, 2019.

SADEGHI, SEYED. The impact of standard preparation practice on the runoff and soil erosion rates under laboratory conditions. *Solid Earth*, v.7, n.5, p.1293-1302, 2016.

SEDYOWATI, LAKSNI; SUHARDJONO, SUHARDJONO; SUHARTANTO, ERY; SHOLICHIN, MOHAMMAD. Runoff velocity behaviour on smooth pavement and paving blocks surfaces measured by a tilted plot. *Journal of water and land development*, v.33, n.1, p.149-156, 2017.

SEQUINATTO, LETÍCIA. Nutrient losses due to water erosion using simulated rainfall in southern Brazil. *Dyna*, v.85, n.206, p.236-241, 2018.

SIGARODI, SHAHRAM KHALIGHI; SARDOII, ELHAM RAFIEI; SALAJAGHEH, ALI; FARIZHENDI, GHASEM MORTAZAEE; SHOOA, TAIEBEH ZINATI. Evaluating rainstorm movement effect on rainfall-runoff simulation on watershed scale (case study: AmirKabir dam watershed). *Advances in Environmental Biology*, v.6, n.5, p. 1862-1867, 2012.

SPOHR, RENATO BEPLER. Construção e validação de um simulador de chuvas pendular de pequeno porte. CAMARGO, M.; RODRIGUES, PATRÍCIA; WASTOWSKI, ARCI DIRCEU; RODRIGUES, ALEXANDRE COUTO (Org.). *Engenharias na extensão universitária, UFSM*, 2015, p.33-52.

THAI, PHONG K.; SUKA, YUMA; SAKAI, MASARU; NANKO, KAZUKI; YEN, JUI-HUNG; WATANABE, HIROZUMI. Export of radioactive cesium from agricultural fields under simulated rainfall in Fukushima. *Environmental Science: Processes & Impacts*, v.17, n.6, p.1157-1163, 2015.

TURCO, MICHELE; BRUNETTI, GIUSEPPE; PALERMO, STEFANIA ANNA; CAPANO, GILDA; GROSSI, GIOVANNA; MAIOLO, MARIO; PIRO, PATRIZIA. On the environmental benefits of a permeable pavement: metals potential removal efficiency and Life Cycle Assessment. *Urban water journal*, v.17, n.7, p.619-627, 2020.

VERGNI, L.; TODISCO, F.; VINCI, A. Setup and calibration of the rainfall simulator of the Masse experimental station for soil erosion studies. *Catena (Giessen)*, v.167, p.448-455, 2018.

WANG, HONG; GAO, JIANEN; LI, XINGHUA; WANG, HONGJIE; ZHANG, YUANXING. Effects of Soil and Water Conservation Measures on Groundwater Levels and Recharge. *Water*, v.6, n.12, p.3783-3806, 2014.

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.

YAKUBU, M. L.; YUSOP, Z. Adaptability of rainfall simulators as a research tool on urban sealed surfaces. *Hydrological Sciences Journal*, v.62, p.996-1012, 2017.

ZHANG, X.C. Dynamic depth distribution of cesium-133 near soil surfaces in packed soils under multiple simulated rains. *Catena*, v.194, p.1-7, 2020.