

SEM CHOVER NO MOLHADO! SIMULADORES DE CHUVA COMO FERRAMENTA PARA PESQUISA E ENSINO EM ECOLOGIA

Data de aceite: 13/03/2023

Pedro Henrique Medeiros Rajão

Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Departamento de Ecologia, Instituto de Biologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

André Tavares Corrêa Dias

Departamento de Ecologia, Instituto de Biologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil
Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, Brasil

RESUMO: A chuva é um fenômeno fundamental para o funcionamento dos ecossistemas. Ao interagir com a vegetação, a chuva regula uma série de processos e serviços ecossistêmicos. Dispositivos de simulação de chuva vêm sendo usados em experimentos para estudar como a interação chuva-plantas afeta as espécies, comunidades e ecossistemas. Revisamos a literatura científica para pesquisar com qual frequência ecólogos utilizam os simuladores de chuva em seus estudos e na educação de ciências. Encontramos 2.848 publicações que mencionam as palavras-chave “rainfall

simulat*”, sendo cerca de 22% em jornais e revistas da área de Ecologia. Adicionamos “ecolog*” e captamos somente 64 artigos, sendo 54% de Ecologia. Apenas 5 estudos foram publicados na área de ciências da Educação ou Educação Ambiental. Nossos resultados mostram que é possível explorar mais os simuladores de chuva para estudar a interação da chuva, das espécies e comunidades de plantas com o funcionamento de ecossistemas. Essa ferramenta pode ser bastante útil para detectar as respostas e efeitos das plantas nas comunidades e ecossistemas sobre as diferentes condições de chuva no contexto das mudanças climáticas. Ainda mais, simuladores de chuva podem auxiliar a demonstrar, na prática, teorias ecológicas e problemas ambientais para estudantes e outras pessoas interessadas. Em raríssimas ocasiões, cientistas escreveram sobre essas experiências. Pensando nisso, calibramos um simulador de chuva de baixo custo que, segundo ensaios, emula chuvas de intensidade intermediária a extrema com continuidade e homogeneidade em um raio de ação de 2 m. Ao fim, lançamos ideias de práticas para cientistas e educadores ambientais na divulgação de questões ecológicas com nosso simulador de chuva.

Concluimos que ferramentas simples podem ajudar no avanço da ciência da Ecologia e a sensibilizar pessoas de todas as idades para fenômenos e problemas ambientais, como proteção do solo e produção de água.

INTRODUÇÃO

A chuva é parte do ciclo hidrológico e um fenômeno fundamental para a manutenção do funcionamento dos ecossistemas. A distribuição das chuvas é um fator determinante na variação da composição e estrutura das comunidades de espécies em escala global (CHEN *et al.*, 2020), regional (SUN; CHEN; SU, 2021; GUO *et al.*, 2020) e local (EIGENTLER; SHERRATT, 2020). Por outro lado, as espécies interagem com a chuva, regulando processos ecossistêmicos importantes, como a decomposição (SUN *et al.*, 2020), infiltração e escoamento de água do solo (ZHANG *et al.*, 2021), evapotranspiração (CORREIA FILHO *et al.*, 2020) e estruturação e erosão do solo (TERASSI *et al.*, 2020). Por exemplo, a resposta e o efeito da vegetação nesses processos muitas vezes dependem de medidas realizadas durante ou logo após eventos de chuva que, por sua vez, podem variar em intensidade, duração, tamanho e energia cinética das gotas de água e umidade atmosférica antecedente. É por isso que depender de eventos naturais de chuva e simular toda sua variação se coloca como um desafio.

No meio científico, o uso de simuladores de chuva tem se revelado uma abordagem promissora para o estudo desse fenômeno em condições mais controladas e replicáveis. Simuladores de chuva são dispositivos que tornam possível operacionalizar a chuva em qualquer espaço e tempo (YAKUBU; YUSOPO, 2017). Cientistas de áreas tão distintas como pedologia e geologia (ISERLOH *et al.*, 2013; KATO *et al.*, 2009), geomorfologia (FAWZY *et al.*, 2020), hidrologia (VAN DIJK *et al.*, 2002; NGASOH *et al.*, 2020) e ecologia (RAJÃO, 2018; HOLDER, 2016; WILDHABER *et al.*, 2012; KEIM *et al.*, 2006; SHUSTER *et al.*, 2005), trabalhando em ambientes naturais e urbanos (JÚNIOR; SIQUEIRA, 2011; YAKUBU; YUSOPO, 2017), vêm usando essa tecnologia para responder algumas de suas questões. As últimas quatro décadas testemunharam o desenvolvimento de uma grande variedade de simuladores (por exemplo, GRACE; EAGLESON, 1966; HALL; WOLF, 1967; GRIERSON; OADES, 1977, PALL *et al.*, 1983; GUEVARA-ESCOBAR *et al.* 2007; RESSO *et al.*, 2007, SCHERRER *et al.* 2007), compreendendo desde latas de aspersão de água, bicos fixos, até os mais recentes discos giratórios e bicos oscilantes (NORTON; SAVABI, 2010). Lidar com a comparação entre eles é assunto complexo devido à diversidade de aplicações e propósitos, porém, alguns pesquisadores delimitaram critérios gerais para o desenvolvimento e calibração de simuladores de chuva (por exemplo, BOWYER-BOWER; BURT 1989; ISERLOH *et al.*, 2012).

Se por um lado alguns cientistas já fazem uso de simuladores de chuva nos seus estudos, por outro, pesquisadores em educação e educadores pouco exploram essa

ferramenta. Para a sensibilização da sociedade civil para os desdobramentos que as alterações do uso do solo e das mudanças climáticas podem causar nas nossas vidas, demonstrações práticas sobre o funcionamento da natureza são de enorme importância. Pesquisas em educação de ciências naturais vêm apontando para a necessidade de um ensino que subsidie a formação de pessoas com autonomia e aptas ao exercício da cidadania (SANTOS, 2007), que ilustre e conecte práticas às teorias e conceitos científicos. A simulação da chuva se encaixa como artifício didático-pedagógico importante nesse desafio, retratando as características das chuvas e seu papel na provisão e regulação de serviços dos ecossistemas, mas isso ainda é raramente explorado.

Isso fica ainda mais claro, quando Yakubu & Yusop (2017) notaram que a literatura sobre simuladores de chuva se concentra em (i) projetos e construção de simuladores; (ii) relatórios e artigos de calibração; e (iii) aplicações práticas. O primeiro envolve inovação (COODY; LAWRENCE, 1994; RODRIGUEZ; RODRIGUEZ, 2005, AHN *et al.*, 2013), o segundo fornece detalhes sobre o desempenho e suas características de precipitação (TOSSELL *et al.*, 1987; HUMPHRY *et al.*, 2002; RIES *et al.*, 2009), enquanto o terceiro, em um menor número de publicações, visa a estabelecer o efeito de características da chuva sobre o comportamento de uma determinada propriedade ou processo do ecossistema (TAYFUR; KAVVAS, 1998; SHARPLEY; KLEINMAN, 2003; MORIWAKI *et al.*, 2004; BADIA; MARTI, 2008). Em um cenário de mudança climática, é preciso criatividade dos ecólogos para estudar e ensinar como funcionam os ecossistemas naturais. Acreditamos que simuladores de chuva podem nos ajudar a descobrir como espécies e organismos, como as plantas, afetam aos processos e propriedades dos ecossistemas sobre diferentes condições, atuais e futuras, de chuva. Além disso, simular a chuva pode ser uma ferramenta bastante útil para sensibilizar pessoas sobre a importância dos estudos em Ecologia e dos serviços ecossistêmicos (DILLAHA *et al.*, 1988; CAPECHE, 2009; ROCHA *et al.*, 2019; ALLEN, 2019).

Pensando nisso, este capítulo está dividido em três objetivos: i) avaliação do uso dos simuladores de chuva na ciência, pesquisa e ensino em Ecologia; ii) desenvolvimento, montagem, a calibração de um simulador de chuva de baixo custo e fácil operacionalização; e iii) promoção o uso de simuladores de chuva na ciência e educação. Diante disso, inicialmente, realizamos revisão sistemática da literatura sobre a utilização de simuladores como ferramenta de estudos científicos em Ecologia e na interface com ciências da educação e práticas didático-pedagógicas (objetivo I). Após, reportamos o desenvolvimento de um simulador de chuva de baixo custo com calibração da intensidade e uniformidade da chuva simulada. Apresentamos a lista de material bem como aspectos para sua montagem, manutenção e calibragem (objetivo II). Por fim, compilamos e sugerimos ideias de como simuladores de chuva podem ser usados por ecólogos para testar teorias e hipóteses científicas e por educadores para sensibilizar a sociedade civil. Como pano de fundo, apresentamos duas experiências, uma em estudo científico (RAJÃO, 2018) e outra de

ensino, com um simulador montado e calibrado no viveiro da Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica (objetivo III).

METODOLOGIA

Objetivo I: revisão sistemática

Realizamos uma busca sistemática na base de dados do *Web of Science* (<http://apps.webofknowledge.com>; base de dados específica, somente com artigos publicados em revistas científicas) e Google Acadêmico (www.scholar.google.com; base de dados mais abrangente, compreendendo publicações em revistas científicas, teses, dissertações, resumos e anais de congressos, relatórios, monografias e outros tipos de trabalhos) combinando palavras-chave, em inglês, “rainfall simulat*” (para “*rainfall simulator*” ou “*rainfall simulation*”) com “ecolg*” (para *ecology* ou *ecological*) ou “educat*” (para “*education*” ou “*educational*” ou ainda “*educator*”) ou “learn*” (“para “*learn*” ou “*learning*”) ou “environmental educat*”; e português, “simulador de chuva” com “estudo” ou “educação” ou “educação ambiental”. O objetivo foi avaliar com que frequência e como ecólogos usam simuladores de chuva para estudar o funcionamento de processos ecológicos ou desenvolver práticas educativas.

Objetivo II: desenvolvimento, avaliação e calibração do simulador de chuva

Desenvolvemos e calibramos um simulador de chuva que fosse facilmente montado e desmontado, de fácil manejo e, principalmente, baixo custo. Para um simulador de chuva ser considerado satisfatório, é necessário que ele: a) apresente relação entre a energia cinética da precipitação simulada e aquela da chuva natural acima de 75% (MEYER; MCCUNE, 1958); b) aplique água de modo contínuo na parcela experimental ou, no mínimo, execute duas aplicações a cada segundo, compondo, assim, uma aplicação não intermitente (MORIN *et al.*, 1967); e (c) cubra uma área superior a 0,50 m² (SMITH, 1976). Vários modelos de equipamentos de simulação de chuva vêm sendo desenvolvidos e testados há bastante tempo (MORIN *et al.*, 1967, MEYER; HARMON, 1979, MONTEBELLER *et al.*, 2001; ALVES-SOBRINHO *et al.*, 2002; SOUZA, 2004). Desenvolvemos um modelo bem simples com base no sistema de simulação por aspersão descrito por Meyer & Harmon (1979) e adaptado por Tossel *et al.* (1987). Ele é composto basicamente por bicos aspersores de precisão direcionados para o solo e suspensos a determinada altura e sob pressão controlada.

Desenho do experimento para calibração do simulador: Avaliamos a intensidade (mm h⁻¹) e distribuição (CUC %) da precipitação em três pressões de água de entrada (3,5 kg cm⁻³; 2,5 kg cm⁻³ e 1,8 kg cm⁻³) e três alturas (1,7 m; 2,2 m e 4 m) do bico aspersor em relação ao solo. Conseguimos as pressões de entrada com bomba-motor acionada e

válvula de entrada de água no bico aspersor totalmente aberta, na pressão de 3,5 kg cm⁻³, bomba-motor acionada e válvula meia aberta, na pressão de 2,5 kg cm⁻³, e bomba-motor desligada e válvula totalmente aberta, na pressão 1,8 kg cm⁻³.

Alocamos oito pluviômetros sistematicamente, sendo quatro localizados na borda do raio de ação do bico aspersor e quatro no centro (Figura 1). Acionamos o simulador de chuva por dez minutos e, ao final, medimos todos os pluviômetros. Repetimos essa rotina três vezes por cada combinação entre altura e pressão, totalizando 27 réplicas.

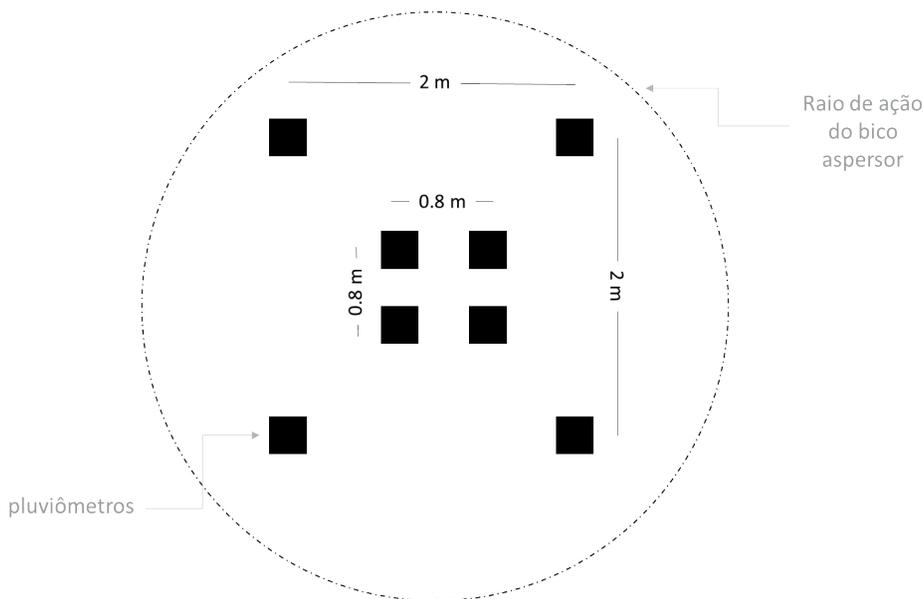


Figura 1. Delineamento experimental da avaliação da homogeneidade da precipitação simulada (pluviômetros são os quadrados pretos).

Calibração: Calculamos a intensidade (mm. h⁻¹) a partir da média aritmética da medida lida nos pluviômetros de cada réplica. Para medir a distribuição/uniformidade (%), calculamos o coeficiente de Christiansen (CUC; CHRISTIANSEN, 1942; Equação 1) para cada combinação de altura e pressão. Quanto maior o valor de CUC, mais uniforme é a distribuição da chuva simulada no seu raio de ação, onde valores satisfatórios estão acima de 75 % (MEYER; MCCUNE, 1958; ALVES-SOBRINHO *et al.*, 2001).

$$CUC = 100 * (1 - (\sum | Xi - \bar{X} |) / n\bar{X}) \quad (1)$$

Onde CUC = coeficiente de Christiansen; Xi = volume precipitado em cada pluviômetro; \bar{X} = volume médio precipitado; e n = número de pluviômetros.

Na busca pelo modelo da intensidade da chuva simulada pelo controle da altura do bico aspersor e pressão de entrada, utilizamos uma regressão múltipla. Com isso,

avaliamos a significância do efeito da altura e pressão sob a intensidade de chuva simulada. As análises atenderam premissas para regressão múltipla, entre elas a normalidade dos erros (Teste Shapiro-Wilk). Todas elas foram executadas no software R (R CORE TEAM, 2016).

Objetivo III: exemplos e ideias de uso de simuladores de chuva em ciências e educação em Ecologia

Aqui, apresentamos os objetivos e resultados de duas experiências em Ecologia com uso de simuladores. Uma científica como ferramenta para a dissertação de aluno do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Evolução da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Outra como prática educativa-pedagógica feita pela equipe de educação ambiental da Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica. Além disso, são exploradas ideias de como os simuladores de chuva podem ser utilizados para os dois fins. As ideias foram alçadas com base nas publicações captadas durante a revisão sistemática. Usamos ainda a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) para extrair temas que devem ser explorados nas aulas de ciências naturais pelos professores e educadores e que os simuladores de chuva podem ser utilizados. Este objetivo não apresentamos na seção RESULTADOS, sendo explorado apenas em DISCUSSÃO.

RESULTADOS

Cienciometria de simuladores de chuva na pesquisa e ensino em Ecologia (objetivo I)

No *Web of Science* foram 2848 artigos captados com as palavras-chave “rainfall simulat*”. Os temas da ciência que mais abrangem simuladores de chuva são agricultura (1243 citações, ca. 43%), recursos hídricos (879 citações, 30%), geologia (816 citações, 29%) e ecologia e ciências ambientais (639 citações, 22%; Figura 2). É possível, ainda, incluir outros temas correlatos como “ciências das plantas” (*plant sciences*) e “silvicultura” (*forestry*), citados em 80 e 34 publicações, respectivamente. Nenhum artigo em revista científica explicitamente relacionado a ciências da Educação foi captado com essas palavras-chave (Figura 2). Ainda com essas palavras-chave, a Figura 3 demonstra uma tendência de crescimento contínuo e linear de publicações sobre o uso dos simuladores.

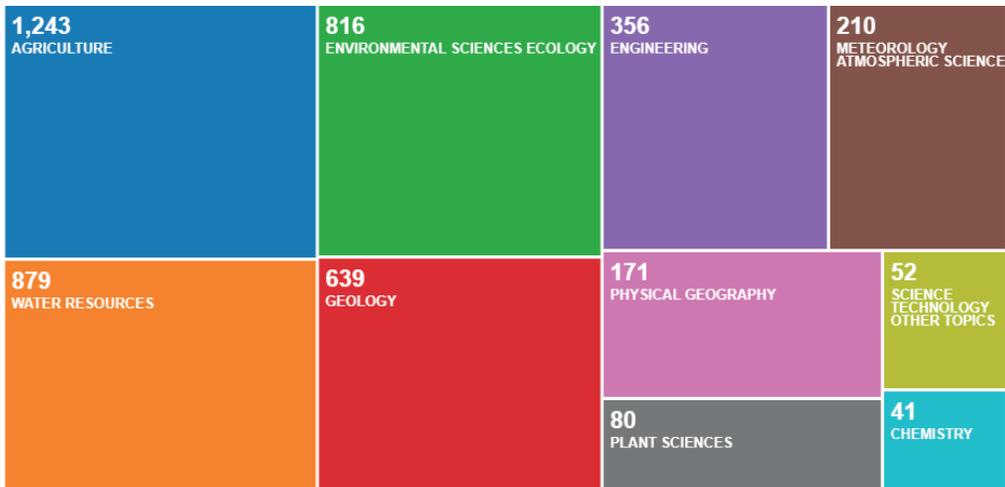


Figura 2. Os 10 principais temas da ciência citados nos artigos com base em “rainfall simulat*” no Web of Science.

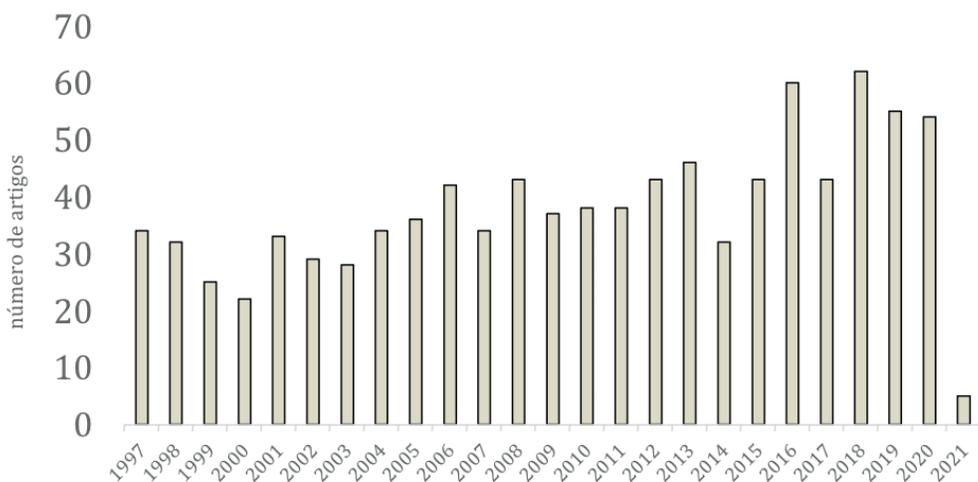


Figura 3. Número de artigos em cada ano com termos de busca “rainfall simulat*” no Web of Science.

Quando associado os termos “ecolog*” AND “rainfall simulat*” foram encontrados 64 artigos, sendo 35 (ca. 54%) publicados em revistas de áreas das Ciências Ambientais, Ecologia e outras correlatas, como Biologia da Conservação e Silvicultura. Nenhum artigo com essa combinação de palavras foi classificado como ciências da Educação (Figura 4 e 5).

Com palavras-chave com ênfase para ciências da Educação, “rainfall simulat*” AND “learn*”, encontramos 10 artigos. Destes, somente um artigo (SMART; BAUMAN; BOLTZ, 2017) foi publicado em temas correlatos a ciências da Educação. Nenhum desses

artigos é diretamente relacionado à Ecologia. Associando “rainfall simulat*” AND “educat*” foram recuperadas quatro publicações (DILLAHA *et al.*, 1988; GHOLAMI; DARVISHAN; KAVIAN; 2016; SMART; BAUMAN; BOLTZ, 2017; CERDA *et al.*; 2018). Por outro lado, se especificamos a área de educação, combinando “rainfall simulat*” AND “environmental educat*”, não captamos nenhum artigo.



Figura 4. Os 10 principais temas da ciência citados nos artigos com base em “rainfall simulat*” AND “ecolog*” no Web of Science.

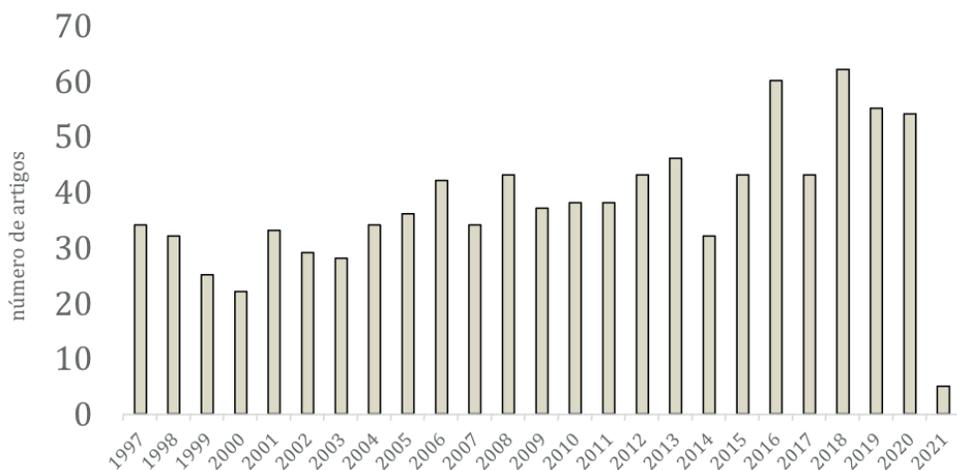


Figura 5. Número de artigos em cada ano com termos de busca “rainfall simulat*” AND “ecolog*” no Web of Science.

No Google Acadêmico, foram recuperados 16.000 itens que contêm as palavras-chave “rainfall simulador” e 20.500 com “rainfall simulation”. Desses, 4.560 (28,5%) e 4.210

(20,5%), respectivamente, foram publicados nos últimos 5 anos, sendo só em 2020 e 2021, 488 (3%) e 979 (4,8%) artigos publicados, respectivamente. Todos os artigos publicados ano passado e esse ano foram com finalidades teórico-científicas, nos mais variados campos e temas, com ênfase maior para ciências pedológicas (em revistas como *Catena*, *Soil Technology*, *Soil and Water Sciences*), hidrológicas (como *Journal of Hydrology*, *Hydrological Process*, *Water Resources* e *Water*), geomorfológicas (*Geomorphology* e *Earth and Systems*) e outras revistas nessas interfaces da ciência como *Landslides*, *Landscape and Degradation*, *Earth Surface Process and Landforms*. Nos últimos cinco anos, entre os 50 artigos mais citados, apenas 2 artigos foram publicados em revistas de Ecologia: Gu *et al.* (2020; *Plant and Soil*) e Jia *et al.* (2019; *Journal of Ecology*). Também consideramos dois outros artigos como diretamente associados à Ecologia: Li *et al.* (2020; *Hydrological Process*) e Falcão *et al.* (2020; *International Soil and Water Conservation Research*), nenhum deles foi em temas de ciências da Educação. Combinando termos “rainfall simulat*” AND “ecolog*” foram 7.030 publicações, sendo 2.410 nos últimos cinco anos e 488 no ano de 2020 e início de 2021.

Termos como “rainfall simulat*” AND “educat*” estão relacionados a 2.730 artigos, sendo 914 nos últimos cinco anos, sendo que 165 foram em 2020–2021. Em uma breve análise, quatro revistas científicas da área de Educação (nenhuma de Ecologia) tiveram trabalhos recuperados pelo Google Acadêmico utilizando simuladores de chuva. Destaque, novamente, para o pioneiro artigo de Dillaha *et al.* (1988) e para o fato de a maior parte estar em revistas de pedologia, hidrologia e geomorfologia. Destaque para revistas de agricultura e meio ambiente, como *Agriculture, Ecosystems and Environment* ou *Applied Engineering in Agriculture*, e de engenharia civil, como *Civil Engineering Journal*. Em português, os mesmos termos (“simulador de chuva” AND “educação”) foram recuperados em 144 artigos, sendo 78 (54%) nos últimos 5 anos; e nove (6,2%) em 2020. Dos últimos 5 anos, pelo menos cinco (ca. 3,5%) mencionaram o uso de simulador de chuvas como prática (educação experiencial) de Educação Ambiental. Combinando “rainfall simulator” AND “environmental educat*” 67 artigos foram recuperados, sendo 16 nos últimos cinco anos. Somente cinco deles versam sobre o tema na Educação.

Material necessário para a construção do simulador

- (a) bico aspersor Fulljet GG-30W Sprayng Systems Co;
- (b) tubulação e conexões de PVC 16 mm;
- (c) estrutura metálica de 4 metros de altura em forma de “L” e;
- (d) bomba-motor de água (material não obrigatório).

Montagem e funcionamento do simulador

Conectada a uma caixa d'água de (recomendação: 50.000 L), a bomba-motor direciona a água da caixa através de uma tubulação de PVC de 16 mm (0,5 polegada). A tubulação é fixada acompanhando a estrutura ferro-metálica presa no solo de modo a formar um “L” invertido com altura máxima de 4 (quatro) metros. No final dessa tubulação conectamos o bico aspersor Fulljet GG-30 W Sprayng Systems com a saída de água apontada para o solo. Essa última conexão antes do bico aspersor tem regulagem de 3 (três) alturas: (grande) 4,20 metros; (médio) 2,25 metros e (pequeno) 1,70 metros. Antes da conexão do bico aspersor, um manômetro angular com regulagem mede a pressão da coluna de água que chega até o bico através da tubulação (Figura 6-box).

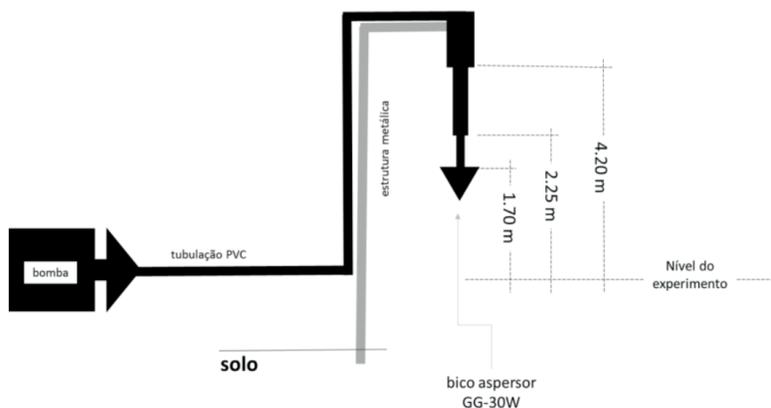


Figura 6-box. Croqui (esquema) do simulador de chuva de baseado em Tossel et al. (1987). Nota: A água é pressurizada pela bomba, percorre a tubulação até chegar no braço regulável de altura, com 3 opções de altura, que se conecta ao bico aspersor GG-30W (seta).

Desenvolvimento e calibração de um simulador de chuva (objetivo II)

Nosso simulador foi capaz de gerar precipitações de $40 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ ($2,5 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-3}$ a $4,20 \text{ m}$) até $150 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ ($1,8 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-3}$ a $1,70 \text{ m}$). Nosso modelo explica, significativamente, a maior parte da variação da intensidade da chuva simulada em diferentes alturas de aspersão e pressão de entrada da água (Intensidade ($\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$) = $147,84 + 1,02 \cdot (\text{pressão: } \text{kg} \cdot \text{cm}^{-3}) - 21,37 \cdot (\text{altura: m})$; R^2 ajustado = 0,57; $P < 0,01$; Figura 7), sendo que existe efeito

significativo da altura ($P < 0,0001$) ao contrário da pressão ($P = 0,85$) na intensidade da chuva simulada.

A variação da uniformidade (CUC %) da distribuição da chuva artificial não é explicada pela altura ($P = 0,51$) e pressão ($P = 0,63$). Todas as combinações de altura e pressão tiveram CUC (%) acima de 80%, com o mínimo de CUC_{médio} de 85,6 % na pressão de 2,5 kg. cm⁻³ e altura mínima (1,7 m) e CUC_{médio} de no máximo de 92,3 %, na pressão de 2,5 kg. cm⁻³ e altura máxima (4,2 m).

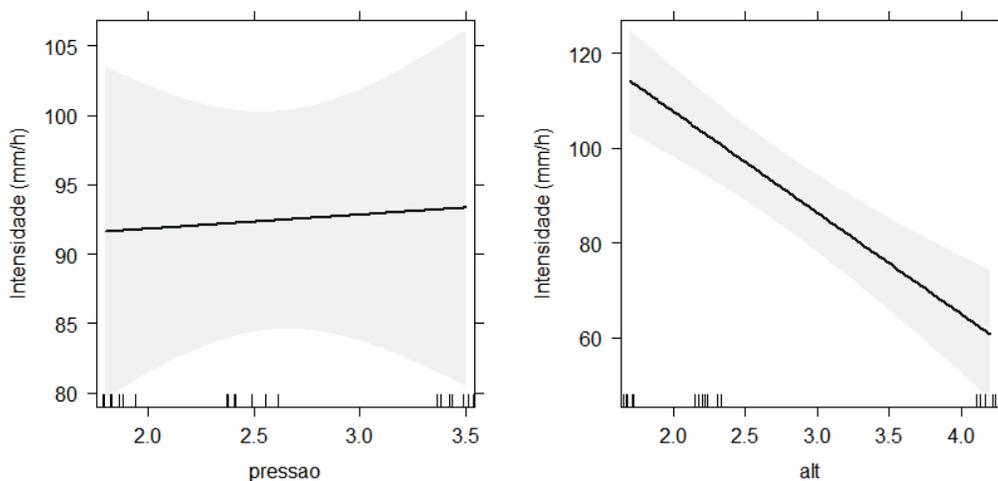


Figura 7. Relações entre intensidade da chuva simulada (mm h^{-1}) e medidas de pressão (kg cm^{-3}) e altura (m) do bico aspersor. Altura contém efeito significativo ($P < 0.001$) e pressão não contém ($P = 0,85$).

DISCUSSÃO

Em um contexto de mudanças climáticas, é fundamental desenvolver ferramentas que auxiliem cientistas a compreender e prever o funcionamento de processos e fenômenos naturais. Mostramos aqui ser possível desenvolver e calibrar um simulador de chuva de baixo custo para utilizar em pesquisa e divulgação científica. De forma ainda não vista na literatura, revisamos e compilamos, por meio de palavras-chave, publicações científicas e acadêmicas que fizeram uso de simulador de chuva em estudos e divulgação da Ecologia. Há uma vasta literatura sobre simuladores de chuva, mas notamos que somente 64 artigos citaram Ecologia no título ou resumo e pouco mais da metade foram publicados em revistas na área de ecologia. Porém, somente quatro trabalhos (cinco se adicionarmos um resumo em conferência científica) usaram simuladores de chuva como ferramenta de sensibilização e/ou educação ambiental. Entre eles, a conservação dos solos é o tema preferido para trabalhar a educação. Simuladores nos auxiliam a emular condições da chuva no presente

e futuro, o que é de grande importância frente às previsões de alterações climáticas em função dos impactos antrópicos sobre o planeta.

Para estimular o uso de simuladores de chuva na Ecologia, mostramos ser possível montar um simulador com pouco material e de baixo custo, de fácil montagem e manejo e que apresenta calibragem para simular chuvas médias, fortes e, com mais dificuldade, brandas. Nosso simulador funciona apenas manejando a pressão de entrada e, principalmente, a altura do bico pulverizador em relação à área que se deseja simular a chuva. A partir do exposto, discutimos como simuladores de chuva podem auxiliar na investigação sobre o funcionamento de processos ecológicos, em espécies, comunidades e ecossistema, que tenham efeito da chuva, assim como práticas de divulgação da Ecologia na formação educacional.

Simulador e seus usos na Ecologia (objetivo I)

Nossa revisão reforça que simuladores de chuva são ferramentas usuais na ciência. Ao longo dos anos (Figura 2 a 5), o uso dessas ferramentas foi se tornando mais frequente, com diversos modelos desenvolvidos e calibrados para os mais variados usos. O uso mais frequente é a avaliação e quantificação do escoamento, deslocamento de sedimentos e a correlação entre esses processos hidrológicos e erosivos. Dessa forma, áreas da ciência como agricultura e recursos hídricos são as que mais utilizam simuladores (Figura 3 e 5). Na agricultura, o objetivo é, em geral, estudar métodos, técnicas e tecnologias para a melhoria na conservação do solo (FALCÃO *et al.*, 2020). Assim, a maioria desses trabalhos visa a quantificar e analisar o efeito das áreas agrícolas com outros usos do solo ou de técnicas de ordenamento e manejo de determinada cultura agrícola na contenção da erosão (FALCÃO *et al.*, 2020; ZHANG *et al.*, 2021). Isso vale para trabalhos sobre recursos hídricos. Os simuladores foram utilizados para detectar os padrões e entender mecanismos na hidrologia do solo.

A pouca procura por utilizar simuladores de chuva em artigos de Ecologia chama atenção e não há uma explicação clara para isso. Provavelmente um motivo principal que afaste os ecólogos para esse tipo de experimentação seja a preferência por estudar os processos *in loco*. Com o uso de técnicas e tecnologias cada vez mais refinadas de estatística em Ecologia, é possível mensurar os fenômenos e processos em ambiente natural, detectar fatores diretos e indiretos e, matematicamente, calcular e analisar a relevância dos fatores ao invés de controlá-los experimentalmente. Os ecólogos ainda mostram uma grande preferência de trabalhar em ecossistemas naturais com pouca influência direta do Homem. Isso pode dificultar o uso de simuladores por dificuldades de acesso ou pela própria escala e complexidade dos ecossistemas naturais. É difícil pensar sobre a montagem de um simulador de chuva sobre uma floresta tropical, por exemplo, ou montar uma comunidade de plantas, simulando a complexidade e diversidade de sistemas

naturais, em laboratório ou casa de vegetação onde a chuva pode ser simulada com mais facilidade.

Outro motivo talvez seja o de que estudiosos na interface ecologia-hidrologia-geomorfologia se interessam por processos que ocorrem em escalas maiores, como recarga e sedimentação de rios (FALCÃO *et al.*, 2020), erosão de encostas (ZHANG *et al.*, 2021). Simuladores de chuva são usados para estudar processo em uma escala local e isto dificulta a sua capacidade de predição em escalas políticas (CERDA *et al.*, 2017), por exemplo, como na discussão de áreas prioritárias para conservação do solo e água.

Simuladores de chuva são ainda menos utilizados em ciências da Educação. Foram poucas publicações que trouxeram relatos, experiências e ideias sobre como se valer da tecnologia dos simuladores de chuva para ensinar teorias e conceitos e estimular a investigação em Ecologia. Destaque para os pioneiros Dillaha *et al.* (1988), que apontaram os simuladores de chuva como importante peça para a educação de agricultores, funcionários públicos e o público em geral sobre os benefícios potenciais da implementação de práticas agrícolas que impactam menos o solo. Aqui, conceitos básicos da importância da vegetação e de tipos de vegetação ou uso do solo foram simulados junto com a chuva e as pessoas puderam vivenciar e observar o efeito disso para geração de sedimentos nos rios. Em outro estudo relevante, Kok & Kessen (1997), em um grande esforço de experimentação para 8.000 pessoas, em mais de 70 locais, demonstraram que simuladores de chuva são uma ferramenta poderosa para promover a conservação da água e fornecer um bom pano de fundo para a discussão de tópicos como conservação, preparo do solo e rotação de culturas. Outros artigos seguem na mesma linha, utilizando simuladores de chuva para promover conservação principalmente contra a erosão do solo (CERDA *et al.*, 2017; DARVISHAN; KAVIAN, 2016; SMART; BAUMAN; BOLTZ, 2017).

Em Ecologia, é possível expandir o uso de simuladores para detectar resposta e efeito das espécies em processos ecossistêmicos que possam ser medidos em escala local. Com esses dispositivos é possível testar como as diferentes espécies de plantas respondem à ação das chuvas, qual impacto a chuva tem para o estabelecimento, crescimento e sobrevivência (*fitness*) dessas espécies e como mudanças nas características das chuvas podem afetar as diferentes espécies (ANTIQUEIRA *et al.*, 2020; ALIZADEH; HITCHMOUGH, 2020). Além disso, é possível mensurar o papel que as espécies de plantas exercem sobre processos hidrológicos e erosivos (HOLDER *et al.*, 2017; GUEVARA-ESCOBAR *et al.*, 2007; SATO *et al.*, 2004). É possível, também, aproveitar o conhecimento em Ecologia gerado com experimentos de simulação de chuvas e estender para práticas em divulgação e educação de cidadãos e cidadãs para se sensibilizar pela conservação e proteção dos ecossistemas naturais, tanto pelos serviços diretamente prestados por eles quanto pela formação ética de respeito à natureza.

Avaliação e ajuste da calibração do nosso simulador de chuva (objetivo II)

Constatamos que a intensidade da precipitação artificial gerada no nosso simulador sofre efeito de pequenas variações na altura, porém nenhuma influência das alterações da pressão num intervalo entre 1,5-3,5 kg. cm⁻³, sendo possível simular chuvas de 40 mm. h⁻¹ (2,5 kg. cm⁻³ a 4,20 metros) até 180 mm. h⁻¹ (1,8 kg. cm⁻³ a 1,70 metros). Nossos modelos da variação da intensidade em função da altura e pressão tiveram resultados satisfatórios, com destaque para a pressão intermediária (2,5 kg. cm⁻³). Já em termos de uniformidade (CUC %), todas as combinações de altura e pressão são consideradas satisfatórias (> 75 %) e não há influência da altura nem da pressão de entrada na distribuição das gotas de chuva sobre determinada área. A intensidade das chuvas pode ser classificada como branda, tem 5 a 10 mm. h⁻¹, médias de 11 a 40 mm. h⁻¹, enquanto fortes, acima de 40 mm. h⁻¹, segundo INMET. Já é bem documentada a observação e previsão do aumento da frequência de eventos de precipitação intensa devido às mudanças climáticas (AVILA-DIAZ *et al.*, 2020). No município do Rio de Janeiro já se nota, por exemplo, alteração na erosividade das chuvas (TERASSI *et al.*, 2020). Segundo consulta dos dados pluviométricos da estação meteorológica da Estação Fiocruz Mata Atlântica (*dados não publicados*), o padrão observado e esperado no Brasil e Rio de Janeiro se repete: diminuição da precipitação anual com aumento na intensidade e na frequência de chuvas dessa natureza. Dentro desse contexto, nosso simulador de chuva consegue gerar precipitações intensas facilmente, tendência climática, que são mais relevantes para a geração de escoamento superficial e erosão.

Na busca pelos fatores que modificam a intensidade de chuva simulada pelo nosso equipamento, percebemos que não há diferença nas características da chuva entre pressões de entrada de água menor do que 3,5 kg. cm⁻³. Geralmente, a pressão da água encanada residencial chega a uma pressão em torno de 2,0 kg. cm⁻³ (tubulação de 16 mm, ou 0,5 polegada; RAJÃO, 2018), porém bastante oscilante, não ultrapassando os 2,5 kg. cm⁻³. Desta forma podemos baratear o custo do simulador não utilizando a bomba-motor e, ainda assim, sendo possível gerar uma boa amplitude de precipitações com excelente uniformidade ao variar a altura do bico aspersor. Portanto, recomendamos que para uma melhor calibragem fixe-se a pressão entre 2 e 3 kg. cm⁻³.

Parâmetros como a intensidade e, principalmente, uniformidade podem ainda ser ainda mais controlados se o vento também for reduzido ou bloqueado, o que não foi necessário no nosso estudo. Como Tossel *et al.* (1987, 1990) já avaliaram critérios como diâmetro e velocidade terminal da gota e energia cinética da chuva simulada, nesse estudo adotamos seus resultados como referência. Mesmo recomendando que se reavaliem esses parâmetros para o mesmo bico aspersor e outros recentemente lançados pela Sprayng Systems, aqui nesse estudo não o fazemos por acreditar que a intensidade e a uniformidade são fatores mais determinantes para avaliação da geração do escoamento superficial do que esses parâmetros. Porém, em estudos de erosão, erodibilidade e gênese

do solo, esses parâmetros passam a ser essenciais e calibrá-los no simulador passa a ser fundamental (YUSSUBU; YUSOPO, 2017).

Perspectivas para o uso do simulador de chuva na pesquisa e ensino em Ecologia (objetivo III)

No campo do ensino em Ecologia: A Ecologia aparece em muitos momentos no processo de formação educacional de um cidadão. No nível nacional, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) coloca a Ecologia como um dos principais objetivos em todas as etapas da formação educacional, do Ensino Infantil ao Ensino Médio. Em um primeiro momento, localizamos esses pontos de interseção do BNCC com a Ecologia. Em um segundo momento, propomos ideias em que os simuladores de chuva podem ser utilizados para divulgar teorias e conceitos ecológicos.

A vivência da chuva no Ensino Infantil: A BNCC postula que a Educação Infantil se situa no campo das experiências em espaços, tempos, quantidades, relações e transformações.

As crianças vivem inseridas em espaços e tempos de diferentes dimensões, em um mundo constituído de fenômenos naturais e socioculturais. Desde muito pequenas, elas procuram se situar em diversos espaços e tempos e demonstram também curiosidade sobre o mundo físico (seu próprio corpo, os fenômenos atmosféricos, os animais, as plantas, as transformações da natureza, os diferentes tipos de materiais e as possibilidades de sua manipulação etc.). (BRASIL, 2018, p. 42)

Sendo assim, as crianças poderiam experimentar e vivenciar a chuva como processo de transformação e transformador da natureza.

Com base nisso, é bastante relevante demonstrar e fazer as crianças vivenciarem a chuva. Isso poderia ser feito montando um, dois ou três simuladores de chuva calibrados para diferentes intensidades de chuva, e deixá-las correr por chuvas com diferentes características, questionando-as sobre a forma da chuva, a intensidade, a temperatura, sobre o quanto cada uma delas molha e empoça mais rápido o chão ou solo. Dentro disso, pode-se observar também a ação dos ventos nas chuvas, caso o(s) simulador(es) estejam instalados em área externa, colocar algumas plantas em vasos de baixo da chuva e perceber se elas exalam cheiro diante da ação das chuvas etc. Explorar os sentidos que são estimulados com o fenômeno das chuvas em si.

Experiência semelhante foi realizada na EFMA (Estação Biológica Fiocruz Mata Atlântica) durante atividade do Clubinho da Mata. O Clubinho da Mata é um programa do Fiocruz Mata Atlântica com crianças do ensino infantil a médio que residem no entorno, com objetivo de promover e estimular a saúde urbana e ambiental. Um dos objetivos do clubinho Mata é a educação ambiental. Dentro desse contexto, os profissionais envolvidos com o Clubinho da Mata Atlântica desenvolveram uma atividade que consistia em mostrar

como o clima está em alteração. Foi assim que usaram o simulador de chuvas para emular chuvas intensas e o efeito que elas têm sobre o solo. Durante a atividade, foram simuladas chuvas na ordem de 90 mm.h e as crianças foram estimuladas a perceber a ação dos ventos, o empoçamento no chão, a “força” (energia cinética) da gota, entre outros. Durante a simulação das chuvas, educadores ambientais fizeram perguntas como: “para onde a chuva está indo quando o vento sopra?”, “a gota machuca quando bate na mão ou quando bate na testa?”, “tem alguma planta que dá para ficar debaixo sem se molhar?”, “dá para correr pela chuva sem se molhar?”, entre outras.

A observação da chuva no Ensino Fundamental: No ensino fundamental, a BNCC reforça que

[...] os alunos possuem vivências, saberes, interesses e curiosidades sobre o mundo natural e tecnológico que devem ser valorizados e mobilizados. [...] e que assegurem a eles construir conhecimentos sistematizados de Ciências, oferecendo-lhes elementos para que compreendam desde fenômenos de seu ambiente imediato até temáticas mais amplas. Nesse sentido, não basta que os conhecimentos científicos sejam apresentados aos alunos. É preciso oferecer oportunidades para que eles, de fato, envolvam-se em processos de aprendizagem nos quais possam vivenciar momentos de investigação [...] e sistematizar suas primeiras explicações sobre o mundo natural [...] e os procedimentos próprios das Ciências da Natureza. (BRASIL, 2018, p. 331)

Desta forma, simular chuvas pode vir a ter importância para o ensino-aprendizagem em Ciências do 1º ao 5º ano e do 6º ao 9º ano. É possível explorar aspectos do som e cheiro da chuva no solo, da direção com base nos eixos cardeais, medi-la em volume e intensidade, investigar como ela interage com as plantas, como as comunidades de plantas e ecossistemas se montam também em decorrência das chuvas, da proteção ao solo e na decomposição de materiais etc.

Para alunos do 1º e 5º ano, uma ideia de atividade com simuladores de chuva é investigar a decomposição de diferentes materiais e diferentes chuvas. Com esse experimento pode-se trabalhar questões sobre o lixo e ciclagem de nutrientes. Outras atividades envolvem matematizar a chuva, medindo volume e intensidade (com auxílio de um relógio, por exemplo). Basta acionar o simulador e brincar com as métricas de volume, intensidade, raio de ação, velocidade da gota (uma criança segura um copo com areia e aciona-se o simulador simultaneamente o cronômetro, e ao primeiro pingão dentro do copo de areia desliga-se o cronômetro).

Outra atividade bastante utilizada (ROCHA *et al.*, 2019; CAPECHE, 2009) é a construção de caixas de erosão. Essas consistem em caixas preenchidas com terra e com uma saída de água. Em uma caixa é plantada alguma vegetação e na outra não, deixando a terra exposta. Ao expor as caixas à chuva, espera-se observar um maior escoamento e maior arraste de sedimento (água mais escura) na caixa sem vegetação. Essa atividade também foi realizada pelo clubinho Mata Atlântica na EBFMA. Nessa atividade foram utilizadas duas caixas, com e sem vegetação. Para alunos de 6º ao 9º ano, é possível

refinar ainda mais esse experimento e avaliar o volume e cor da água escoada em caixas com diferentes tipos de plantas. Ainda para esse grupo de alunos, seria interessante simular chuva em uma caixa transparente com terra para visualizar o efeito da permeabilidade e do processo de infiltração de água no solo.

A chuva e a experimentação no Ensino Médio: Por fim, o ensino médio tem como objetivo “analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global.” Com base nesses objetivos, seria possível comparar formatos de bacias hidrográficas e sua relação com a chuva e vazão de água nas calhas com a utilização de maquetes. Outra proposta compreenderia o refinamento das medidas sobre a chuva descritas nas práticas anteriores, dessa vez incluindo tamanho e energia da gota de chuva simulada e evaporação após 1 ou 2 dias. Essa atividade pode ser construída com copo de plástico com areia para medir o tamanho do espalhamento da areia que uma gota causa e copos de plástico vazio no chão que terão volume medido em intervalo de tempo desejado.

CONCLUSÕES

É possível desenvolver um simulador de chuva simples e eficiente para emular chuvas de altas a médias intensidades. Esses dispositivos são mais frequentemente usados para mensurar e analisar o impacto das chuvas sobre a conservação do solo, embora geração de escoamento superficial também seja bem estudado com auxílio dessa tecnologia. Ecólogos em geral não utilizam essa tecnologia, muito embora seja considerada bastante útil para descobrir mecanismos de resposta e o efeito que as plantas têm sobre uma série de processos ecológicos nas diferentes condições de chuva, atuais e futuras. Além disso, é preciso pôr em prática novas ideias para tornar teorias e conceitos em Ecologia mais atraentes e facilmente compreendidos, estimulando as pessoas a valorizar, e não só valorar, os ecossistemas naturais.

REFERÊNCIAS

AHN, C. *et al.* **Portable rainfall simulator with automatic oscillation control.** Intellectual Property Australia. 2013. Disponível em: <http://www.ipaustralia.com.au/applicant/korea-institute-of-geoscience-and-mineral-resources/patents/AU2010246423/> Acesso em: 28/12/2022.

ALIZADEH, B.; HITCHMOUGH, J. D. How will climate change affect future urban naturalistic herbaceous planting? The role of plant origin and fitness. **Urban Forestry & Urban Greening**, 54, 2020.

ALLEIN, C. A.; SEREIA, D. A. O. Metodologias de ensino para a disciplina de ecologia: revisão Bibliográfica. **Cadernos de Pesquisa: Pensamento Educacional**, 14 (38): 123-140, 2019.

ALVES-SOBRINHO T.; FERREIRA, P. A.; PRUSKI, F. F. Desenvolvimento de um infiltrômetro de aspersão portátil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. 6(2): 337-344, 2002.

ANTIQUERA, P. A. P.; OMENA, P. M. de; GONÇALVES-SOUZA, T. *et al.* Precipitation and predation risk alter the diversity and behavior of pollinators and reduce plant fitness. **Oecologia** 192: 745–753, 2020.

AVILA-DIAZ, A.; BENEZOLI, V.; JUSTINO, F. *et al.* Assessing current and future trends of climate extremes across Brazil based on reanalyses and earth system model projections. **Clim Dyn** 55: 1403–1426, 2020.

BLACK, P. Challenges and successes in modeling watersheds. Conferência: 15th World Multi-Conference on Systematics, **Cybernetics and Informatics** (WMSCI 2011) Local: Orlando, FL. v. III, 2011.

BOGUNOVIC, I.; TELAK, L. J.; PEREIRA, P. Agriculture Management Impacts on Soil Properties and Hydrological Response in Istria (Croatia). **Agronomy**, v.10 (2): 282, 2020.

BOWYER-BOWER, T. A. S.; BURT, T. P. Rainfall simulators for investigating soil response to rainfall. **Soil Technology**, 2: 1–16, 1989.

BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília, 2018.

CAPECHE, C. L. **Confecção de um simulador de erosão portátil para fins de educação ambiental**. Dados eletrônicos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 31 p.

CARVALHO, J. W. L. T.; MYSCZAK, L. A.; OLIVEIRA, F. A. 2016. Bacias hidrográficas simuladas em maquetes: prática pedagógica para ensino fundamental e médio. **Geosaberes: Revista de Estudos Geoeducacionais**, 7(13): 25-39, 2016.

CERDA, A. *et al.* Policies can help to apply successful strategies to control soil and water losses. The case of chipped pruned branches (CPB) in Mediterranean citrus plantations. **Land Use Policy**, 75: 734-745, 2018.

CHEN, Z.; WANG, W.; WOODS, R. A.; SHAO, Q. Hydrological effects of change in vegetation components across global catchments. **Journal of Hydrology**, 2020.

CHRISTIANSEN, J. P. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley: University of California. Agricultural Experiment Station, 1942.

COODY, P. N.; LAWRENCE, L. J. **Method and system for conducting meso-scale rainfall simulations and collecting runoff**. Richmond, VA: Google Patents, 1994.

CORREIA FILHO, W. L. F.; SANTOS, T. V. dos; BARROS, D. S. de *et al.* **Influence of meteorological variables on reference Evapotranspiration in the State of Alagoas, Brazil, based on multivariate analysis**. Model. Earth Syst. Environ, 2020.

DILLAHA, T. A. *et al.* Rainfall simulation - a tool for best management practice education. **Journal of Soil and Water Conservation**, 43: 288-290, 1988.

EIGENTLER, L.; SHERRATT, J. A. **Effects of precipitation intermittency on vegetation patterns in semi-arid landscapes**. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 405, 2020.

ESKRIDGE, L. **Teaching soil conservation in an introductory soil science laboratory and the classification of examination using the revised Bloom's Taxonomy**. 2010. Degree of Master science, Oklahoma State University Location: Stillwater, Oklahoma.

FALCÃO, K. S. *et al.* Surface runoff and soil erosion in a natural regeneration area of the Brazilian Cerrado. **International Soil and Water Conservation Research**, 8, 2020.

FAWZY, H.; BASHA, A. M.; BOTROSS, M. N. Estimating a mathematical formula of soil erosion under the effect of rainfall simulation by digital close range photogrammetry technique. **Alexandria Engineering Journal** 59(6): 5079-5097, 2020.

GHOLAMI, L.; DARVISHAN, A. K.; KAVIAN, A. Wood chips as soil conservation in field conditions. **Arabian Journal of Geosciences**, 9, 2016.

GRACE, R. A.; EAGLESON, P. S. **Construction and use of a physical model of the rainfall-runoff process**. Boston, MA: Massachusetts Institute of Technology, Department of Civil Engineering, Hydrodynamics Laboratory, 1966.

GRIERSON, I. T.; OADES, J. M. A rainfall simulator for field studies of run-off and soil erosion. **Journal of Agricultural Engineering Research**, 22(1): 37-44, 1977.

GU *et al.* 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**, 447:393-412, 2020.

GUEVARA-ESCOBAR, A.; GONZALEZ-SOSA, E.; RAMOS-SALINAS, M.; HERNANDEZ-DELGADO, G. D. Experimental analysis of drainage and water storage of litter layers. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 11:1703-1716, 2007.

GUIMARÃES, S. S. M. A utilização de metodologias alternativas na formação dos professores de biologia: a questão dos projetos. *In: XIX Simpósio de Estudos e Pesquisas da Faculdade de Educação*. Goiânia, 2010.

GUO, P.; ZHAO, X.; SHI, J. *et al.* The influence of temperature and precipitation on the vegetation dynamics of the tropical island of Hainan. *Theor. Appl. Climatol.* 143: 429-445, 2021.

HALL, M. J.; WOLF, P. O. Design criteria for laboratory catchment experiments, with particular reference to rainfall simulation. *In: Hydrological aspects of the utilization of water*. Wallingford, UK: **International Association of Hydrological Sciences, IAHS Publ.** 76: 395-405, 1967.

HOLDER, C. D.; GIBBES, C. Influence of leaf and canopy characteristics on rainfall interception and urban hydrology. **Hydrological Sciences Journal**, 62(2):182, 2017.

HUMPHRY, J. *et al.* A portable rainfall simulator for plot-scale runoff studies. **Applied Engineering in Agriculture**, 18 (2):199-204, 2002.

ISERLOH, T. *et al.* European small portable rainfall simulators: a comparison of rainfall characteristics. **Catena**, 110:100-112, 2013.

ISERLOH, T., *et al.* A small portable rainfall simulator for reproducible experiments on soil erosion. **Soil and Tillage Research**, 124:131–137, 2012.

JIA, Y. *et al.* **Symbiotic soil fungi enhance resistance and resilience of an experimental grassland to drought and nitrogen deposition**. 2019.

JÚNIOR, S. F. S.; SIQUEIRA, E. Q. Development and calibration of a rainfall simulator for urban hydrology research. *In: Proceedings of 12th International Conference on Urban Drainage*, Porto Alegre: Heriot Watt University, 11–16, 2011.

KAINZ, M.; AUERSWALD, K.; VÖHRINGER, R. Comparison of German and Swiss rainfall simulators - utility, labour demands and costs. **Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkultur**, 155:7–11, 1992.

KATO, H. *et al.* Field measurement of infiltration rate using an oscillating nozzle rainfall simulator in the cold, semiarid grassland of Mongolia. **Catena**, 76(3):173–181, 2009.

KEIM, R. F.; SKAUGSET, A. E.; WEILER, M. Storage of water on vegetation under simulated rainfall of varying intensity. **Advances in Water Resources**, 29(7): 974–986, 2006.

KOK, H.; KESSEN, S. Water conservation education with a rainfall simulator. **Journal Nat. Resour.** Life Sc. Educ, 26(1), 1997.

LACREU, L. I. Ecologia, ecologismo e abordagem ecológica no ensino das Ciências Naturais: Variações sobre um Tema. *In: WEISSMANN, H. (org.) Didática das Ciências Naturais: contribuições e reflexões*. Porto Alegre: Ed. Artmed, 1998., p 127-151.

LV, J.; XIE, Y.; LUO, H. Erosion process and temporal variations in the soil surface roughness of spoil heaps under multi-day rainfall simulation. **Remote Sens.**, 12:2192, 2020.

MARIANI JUNIOR, R. **O estudo de ecologia no ensino médio: uma proposta metodológica alternativa**. 2008. Dissertação de Mestrado Profissional em Ensino. Belo Horizonte, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

MEYER, L. D.; HARMON, W. C. Multiple intensity rainfall simulator for erosion research on row sideslopes. **Transactions of the ASAE**. 22(1):100-103, 1979.

MEYER, L. D.; MCCUNE, D. L. Rainfall simulator for runoff plots. **Agricultural Engineering**. 39(1):644-648, 1958.

MONTEBELLER, C. A.; CARVALHO, D. F.; ALVES-SOBRINHO, T.; NUNES, A. S.; RUBIO, E. Avaliação hidráulica de um simulador de chuvas pendular. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. 5(1):1-5, 2001.

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

MOTOKAN, M. T. Sequências didáticas investigativas e argumentação no ensino de Ecologia. **Revista Ensaio**, 17:115-137, 2015.

MUNN, J.; HUNTINGTON, G. A portable rainfall simulator for erodibility and infiltration measurements on rugged terrain. **Soil Science Society of America Journal**, 40(4):622– 624, 1976.

NAVAS, A. *et al.* Design and operation of a rainfall simulator for field studies of runoff and soil erosion. **Soil Technology**, 3(4):385–397, 1990.

NGASOH, F. G.; MBAJIORGU, C. C.; KAMAI, M. B.; OKORO, G. O. **A Revisit of rainfall simulator as a potential tool for hydrological research**. *Agronomy*, 2020.

NORTON, L. D.; SAVABI, R. Evolution of a linear variable intensity rainfall simulator for surface hydrology and erosion studies. **Applied Engineering in Agriculture**, 26(2):239–245, 2010.

PALL, R. *et al.* Development and calibration of a rainfall simulator. **Canadian Agricultural Engineering**, 25(2):181– 187, 1983.

RAJÃO, P. H. M. **O efeito do folhiço nos processos de escoamento superficial e potencial erosivo**: uma abordagem funcional em busca de mecanismos. 2018. Dissertação de Mestrado em Ecologia e Evolução. Rio de Janeiro: Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes, Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

RESSO, R.; RULLI, M. C.; BOCCHIOLA, D. Transient catchment hydrology after wildfires in Mediterranean basin: runoff, sediment and woody debris. **Hydrology and Earth System Sciences**, 11(1):125–140, 2007.

RIES, J. B. *et al.* Calibration of simulated rainfall characteristics for the study of soil erosion on agricultural land. **Soil and Tillage Research**, 106(1):109–116, 2009.

ROCHA, S. L. C. S.; MARTORANO, L. G.; SANTOS, I. A.; CARMO, N. M.; FILHO, L. L. D. V. Simulador de chuva portátil para sensibilizar atores sociais sobre os problemas da erosão hídrica no solo. **Anais do III Congresso de Tecnologias e Desenvolvimento na Amazônia**, 2019.

RODRIGUEZ, C.; RODRIGUEZ, E. **Rainfall simulation apparatus**. Wyandanch, NY: Google Patents, 2005.

ROTH, C. H.; MEYER, B.; FREDE, H. G. A portable rainfall simulator to study factors affecting runoff infiltration and soil loss. **Catena**. 12:79-85, 1985.

SATO, Y.; KUMAGAI, T.; KUME, A.; OTSUKI, K.; OGAWA, S. Experimental analysis of moisture dynamics of litter layers – the effects of rainfall conditions and leaf shapes. **Hydrol. Process**. 18:3007–3018, 2004.

SHARPLEY, A.; KLEINMAN, P. Effect of rainfall simulator and plot scale on overland flow and phosphorus. **Journal of Environment Quality**, 32(6): 2172– 2179, 2003.

SHUSTER, W. *et al.* Impacts of impervious surface on watershed hydrology: a review. **Urban Water Journal**, 2(4):263–275, 2005.

SMART, A. J.; BAUMAN; BOLTZ. **Journal of Extension**, 55, 2017.

SOUZA, M. D. Desenvolvimento e utilização de um simulador de chuvas para estudos de atributos físicos e químicos do solo relacionados a impactos ambientais. **Embrapa Meio Ambiente**. 37:1-20, 2004.

SUN, F. *et al.* Long-term increase in rainfall decreases soil organic phosphorus decomposition in tropical forests. **Soil Biology and Biochemistry**, 151, 2020.

SUN, R.; CHEN, S.; SU, H. Climate Dynamics of the Spatiotemporal Changes of Vegetation NDVI in Northern China from 1982 to 2015. **Remote Sens**, 13(187), 2021.

TAYFUR, G.; KAVVAS, M. L. Areal-averaged overland flow equations at hillslope scale. **Hydrological Sciences Journal**, 43 (3): 361–378, 1998.

TERASSI, P. M. B. *et al.* **Rainfall and erosivity in the municipality of Rio de Janeiro - Brazil**. Urban Climate, 33, 2020.

TOSSELL, R. W.; DICKINSON, W. T.; RUDRA, R. P.; WALL, G. J. A portable rainfall simulator. **Canadian Agricultural Engineering**. 29(2): 155-162, 1987.

TOSSELL, R. W.; WALL, G. J.; RUDRA, R. P.; GROENEVELT, P. H. The Guelph rainfall simulator II: A comparison of natural and simulated rainfall characteristics. **Canadian Agricultural Engineering**. 32(2):215-223, 1990.

VAN DIJK, A. I. J. M.; BRUIJNZEEL, L. A.; ROSEWELL, C. J. Rainfall intensity–kinetic energy relationships: a critical literature appraisal. **Journal of Hydrology**, 261(1–4): 1– 23, 2002.

VIVEIRO, A. A.; DINIZ, R. E. S. Atividades de campo no ensino das ciências e na educação ambiental: refletindo sobre as potencialidades desta estratégia na prática escolar. **Ciência em Tela**, 2(1), 2009.

WILDHABER, S. Y. *et al.* Evaluation and application of a portable rainfall simulator on subalpine grassland. **Catena**, 91: 56–62, 2012.

YAKUBU, M. L.; YUSOPA, Z. Adaptability of rainfall simulators as a research tool on urban sealed surfaces – a review. **Hydrological Sciences Journal**, 62(6): 996–1012, 2017.

ZHANG, X.; SONG, J.; WANG, Y.; DENG, W.; LIU, Y. Effects of land use on slope runoff and soil loss in the Loess Plateau of China: A meta-analysis. **Science of The Total Environment**, 755, 2021.