

## IX-058 - AVALIAÇÃO DO TRANSPORTE DE POLUENTES DISSOLVIDOS UTILIZANDO SIMULADOR DE CHUVA SOBRE SUPERFÍCIE IMPERMEÁVEL

**Bruno Oliveira Lima**<sup>(1)</sup>

Mestrando em Ciência e Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Alfenas, Campus Poços de Caldas. Graduação em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Alfenas (2015).

**Alexandre Silveira**<sup>(2)</sup>

Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (2004). Professor Associado do Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de Alfenas, Campus Poços de Caldas.

**Jorge M. G. P. Isidoro**<sup>(3)</sup>

Doutor em Engenharia Civil pela Universidade de Coimbra (2012). Professor Adjunto do Instituto Superior de Engenharia da Universidade do Algarve, Portugal. Investigador Senior do MARE – Centro de Ciências do Mar e do Ambiente, Coimbra, Portugal.

**Antônio Marciano da Silva**<sup>(4)</sup>

Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (1984). Professor Visitante Nacional Sênior na Universidade Federal de Alfenas com bolsa da CAPES (2014).

**Flávio Aparecido Gonçalves**<sup>(5)</sup>

Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (2007). Professor Associado do Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de Alfenas, Campus Poços de Caldas.

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Universidade Federal de Alfenas – José Aurélio Vilela, 11999, Cidade Universitária, BR 267, km 533, Poços de Caldas – MG / Brasil. CEP 37715-400 Tel: (35) e-mail: bruno.noel@gmail.com

### RESUMO

O crescimento populacional e, em consequência, das cidades demandam uma maior atenção à gestão das águas urbanas. O aumento das áreas urbanas e impermeáveis e sua relação com o transporte de poluentes devem ser estudados afim de trazer esclarecimentos quanto ao melhor planejamento a ser utilizado pelo poder público. Objetivou-se, com este trabalho, estudar o transporte de poluentes (NaCl), utilizando a modelagem física (superfície impermeável de 100m<sup>2</sup>) para simular o escoamento superficial urbano. Para tal, utilizou-se de um simulador de chuva, com um sistema de 16 bocais que propiciou precipitação com intensidade de 43mm.h<sup>-1</sup>, sobre a superfície impermeável. Foram demarcados 10 círculos em 5 faixas diferentes (5 cenários), para distribuir uniformemente o poluente pela superfície. Foi possível concluir que a posição do poluente foi relevante para o transporte do poluente, sendo que quanto mais próximo do exutório, mais rápido foi o seu transporte.

**PALAVRAS-CHAVE:** Simulador de chuva, Transporte de poluentes, Hidrogramas.

### INTRODUÇÃO

O crescimento das áreas urbanas faz com que aumente o número de veículos utilizados, loteamentos novos, entre outras potenciais fontes de poluentes nos grandes centros. O entendimento detalhado do processo de acúmulo e transporte de poluentes urbanos é essencial para a correta tomada de decisões quanto ao gerenciamento urbano, para minimizar impactos indesejados. Para uma bacia urbana, existem dificuldades para se realizar o monitoramento de impactos relacionados ao escoamento superficial em escala real, como por exemplo dificuldade operacional e impossibilidade de se controlar variáveis inerentes ao processo, tais como o tamanho da área de controle e a ocorrência ou não da precipitação.

Existem diversos estudos sobre os impactos da urbanização em bacias hidrográficas (e.g. O’Driscoll et al., 2010; Miller et al., 2014), a resposta destas a eventos de chuvas (e.g., Gero e Pitman, 2006; Mote et al., 2007, Kishtawal, 2010) e as consequências tanto no aumento do escoamento superficial quanto na diminuição do escoamento de base e na quantidade de água disponível no solo (e.g., Hasse, 2009; Appels et al., 2011).

A urbanização é responsável por grandes transformações na bacia hidrográfica, seja pelo aumento das áreas impermeáveis como rodovias, telhados ou estacionamentos; seja pelo aumento na quantidade de resíduos sólidos, sedimentos e poluentes que são criados e lançados aos corpos d’água e nas redes de drenagem urbana

que drenam essas bacias. Diversos trabalhos surgiram com a intenção de conhecer com maior detalhamento como a urbanização afeta o transporte de poluentes (e.g., Hergren, 2005; Egodawatta et al., 2007) e o transporte de sedimentos (e.g., Aksoy, et al., 2012; Asadi, 2011).

São muitas as dificuldades para se trabalhar os efeitos da urbanização em trabalhos de campo: dificuldade operacional, impossibilidade de se controlar variáveis inerentes ao processo, como a ocorrência ou não de precipitação. Por conta disso, novos estudos passaram a utilizar simuladores de chuvas em modelos físicos (e.g., Sousa e Siqueira, 2011; Fister et al., 2012; Corona et al. 2013, Silveira, 2016). O uso do simulador não é um campo de estudo recente (e.g., Chery e Donald, 1965; Imenson, 1977) e tampouco restrito ao estudo do escoamento superficial (e.g., Lora et al., 2016; Sadeghi et al., 2016). Grierson e Oades, em 1977, já pesquisavam o uso de um simulador de chuvas para trabalhos em erosão do solo e escoamento, sempre buscando por características próximas às da chuva natural. No entanto, são poucos os trabalhos conhecidos que utilizam esta ferramenta para gerar escoamento em uma área impermeável, simulando bacias urbanas (e.g., Reis, 2015, Felice, 2017).

Os estudos com os simuladores são importantes, pois permitem aumentar o controle experimental sobre algumas características da precipitação, como intensidade, duração da chuva e características das gotas. Pesquisadores, como Pérez-Latorre et al. (2010), Sousa e Siqueira (2011), Iserloh et al. (2012), Abudi et al. (2012) e Corona et al. (2013), também desenvolveram projetos para simuladores de chuvas que melhor se adaptem aos seus respectivos fins e que facilitem sua utilização, seja em experimentos em campo ou em experimentos em laboratório.

Diante do exposto, com este trabalho objetiva-se investigar experimentalmente o processo de chuva-vazão e de transportes de poluentes à escala laboratorial, utilizando simulador de chuva sobre uma superfície impermeável, estudando se a localização de poluentes influencia o transporte de poluentes dissolvidos (polutogramas).

## METODOLOGIA

### SIMULADOR DE CHUVA E MODELO FÍSICO

Utilizou-se um simulador de chuva sobre uma superfície impermeável, de 100 m<sup>2</sup>, que possui uma inclinação de 2,5% no sentido transversal e de 5,0% no sentido longitudinal. A área recebeu tratamento especial por meio de uma tinta Epóxi para pisos e foi coberta e cercada por uma estrutura, evitando assim possíveis interferências de ventos e da própria chuva natural (Figura 1).



**Figura 1 - a) Estrutura que protege o simulador de chuva; b) superfície impermeável**

O sistema hidráulico conduz a água aos 16 bocais, da marca *Spraying System*, modelo *FullJet*®, *HH-W ¼*, através de uma bomba de 2cv (bomba 2). Após o escoamento a água é recolhida no reservatório de coleta e depois reenviada ao reservatório de alimentação, por meio de uma bomba centrífuga de 1cv (bomba 1). A tubulação utilizada na saída do reservatório de alimentação até a entrada da bomba é de 1". Antes dos bocais há um registro, para o controle da vazão, por consequência, da intensidade de precipitação e um manômetro, que mostra a pressão na tubulação.

Toda a água que sai dos bocais e cai na área impermeável é coletada por uma calha e transportada até o reservatório de coleta. Um tubo de 1" foi utilizado para fazer a conexão entre a calha e o reservatório. A tubulação de 3/4", conecta o reservatório até a bomba 1, que conduz a água de volta ao reservatório de alimentação.

Conforme visto, a água é bombeada do reservatório de alimentação, com uma tubulação de 1". Antes de ser distribuída aos bocais, é reduzida a 3/4" e possui uma válvula solenóide que tem como função garantir uma maior precisão ao tempo dos experimentos. Para melhorar a distribuição de água entre os bocais, um tubo também de 1" leva a água aos bocais mais distantes, otimizando o funcionamento hidráulico da rede. A Figura 2 apresenta esquematicamente o aparato utilizado.

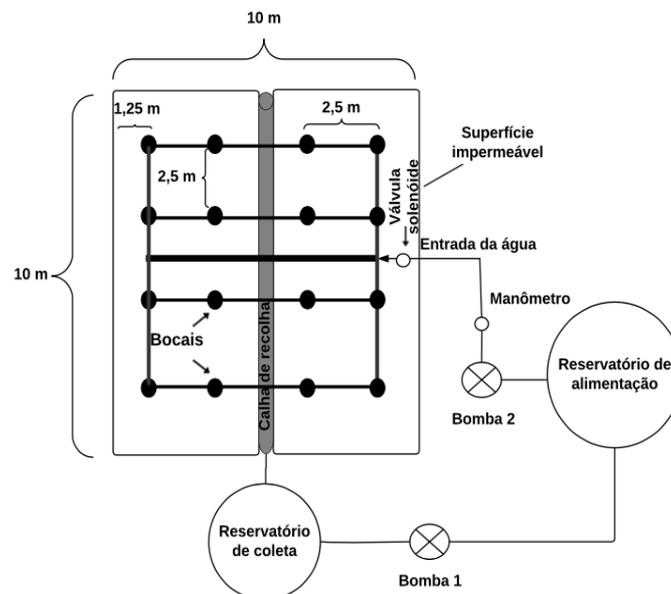
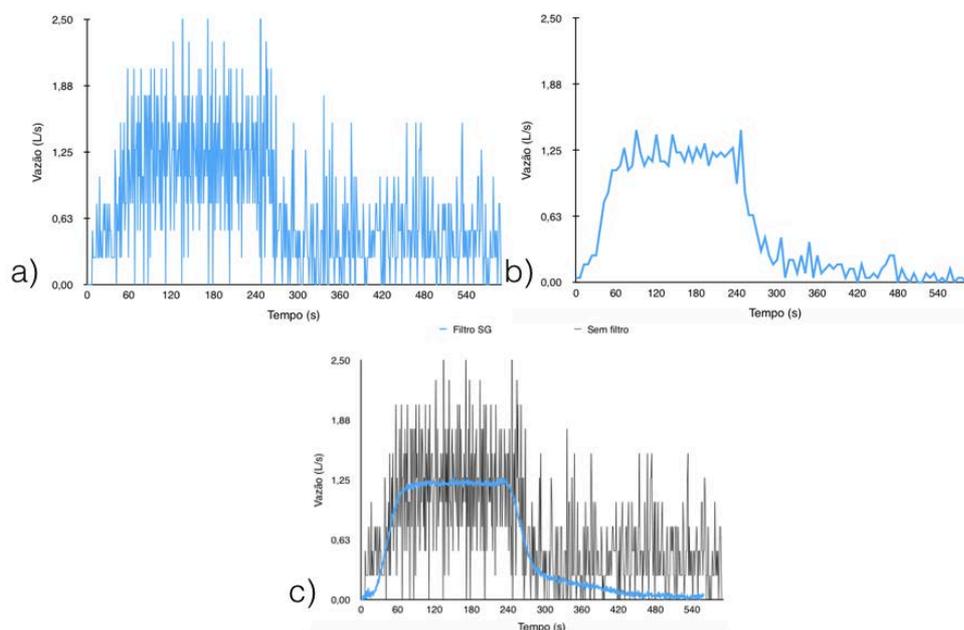


Figura 2 – Representação esquemática do sistema hidráulico do simulador de chuva

## HIDROGRAMAS DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Os hidrogramas de escoamento superficial, à saída da superfície impermeável, foram determinados para uma duração de precipitação de quatro minutos. Os hidrogramas foram obtidos a partir do monitoramento do nível de água do reservatório de coleta, durante dez minutos, por meio de uma sonda *Levellogger Edge 3001* da marca *Solinst*, que registra o nível da água em intervalos de um segundo. Devido à alta precisão da sonda, os hidrogramas apresentaram muitas oscilações (ruído), conforme pode ser visto na Figura 3a. Com intuito de reduzir estas oscilações foi testado outro intervalo de registro de dados de seis segundos. É possível perceber que para este intervalo de registro os componentes do hidrograma (ascensão, patamar e a recessão) estão mais bem definidos (Figura 3b), porém, ainda com algumas oscilações.

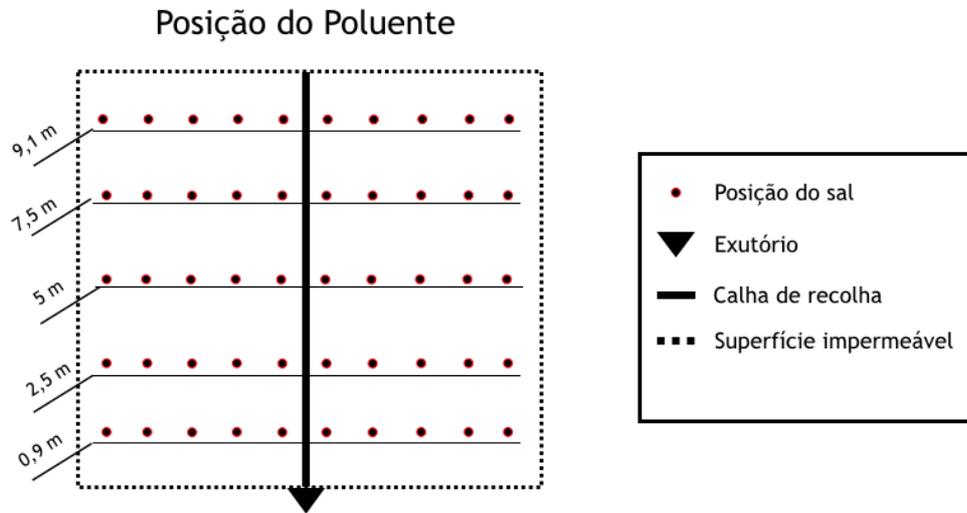


**Figura 3 - Hidrogramas resultante de precipitação de 4 minutos de duração com periodicidade na aquisição dos dados de: a) 1s ; b) 6s ; c) 1s e utilizando o filtro SG**

Com o objetivo de reduzir ainda mais as oscilações apresentadas pelos hidrogramas, foi utilizado do filtro Savitzky-Golay (SG) com ajuste polinomial obtido pelo método dos mínimos quadrados para calcular a nova média entre os dados, possibilitando a sua aplicação em séries de dados com picos acentuados (Rodrigues, 2003). No caso deste estudo, a aplicação do filtro, no hidrograma com periodicidade de coleta de um segundo (Figura 3c), suavizou os ruídos e permitiu obter um que represente melhor seus componentes.

### **POLUTOGRAMAS DE TRANSPORTE DE CLORETO DE SÓDIO**

Para se conhecer o comportamento do transporte de um poluente solúvel em uma superfície impermeável, foi realizado um ensaio utilizando cloreto de sódio (NaCl) na superfície anteriormente descrita. Foram marcados dez círculos de seis centímetros de diâmetro na superfície impermeável, em cinco faixas diferentes (ver Figura 4). Foi distribuído 2g de sal em cada círculo, totalizando 20g em cada ensaio. A posição 1 é a mais próxima do exutório (0,9m) e a posição 5 a mais afastada (9,1m). Ao final da calha que leva a água ao reservatório de coleta foi colocado um condutivímetro modelo CON-BTA da marca Vernier, que registra a condutividade da água com intervalo de um segundo durante os 10 minutos de cada ensaio realizado.

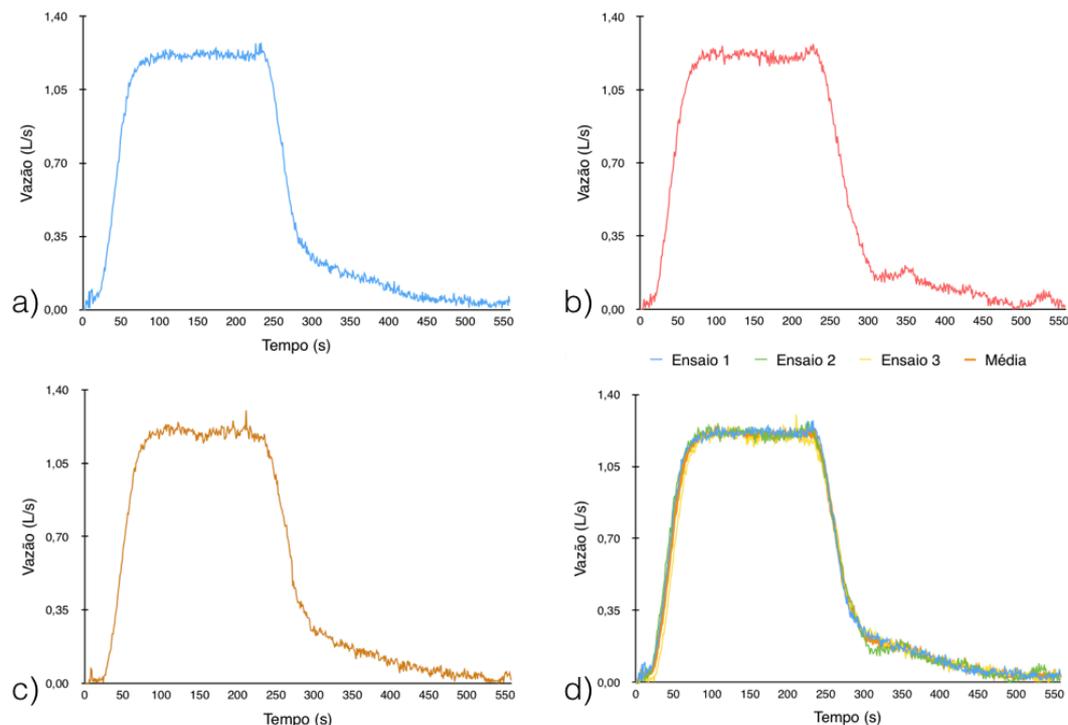


**Figura 4- Posicionamento da fonte de poluente (cloreto de sódio) na superfície impermeável**

## RESULTADOS OBTIDOS

### HIDROGRAMAS

Na Figura 5 estão representados os hidrogramas dos três ensaios e um hidrograma comparativo dos três ensaios. Nota-se que utilizando o filtro SG os hidrogramas apresentam um patamar com pouca oscilação, a cerca de 1,2 L/s. A tendência geral apresentada pelos hidrogramas deve-se ao fato de que a bacia, por ser impermeável, possui um tempo de ascensão relativamente curto. É possível perceber que os três ensaios realizados apresentam comportamento semelhante: com o início da ascensão perto dos 30 segundos e atingindo o patamar após o primeiro minuto de simulação. Logo que termina a precipitação aos quatro minutos, é possível perceber nos gráficos o início da recessão.



**Figura 5 - Hidrogramas de uma precipitação de 4 minutos, utilizando o filtro SG: a) Ensaio 1, b) Ensaio 2, c) Ensaio 3 e d) comparação entre os ensaios**

## POLUTOGRAMAS

Na Figura 6 estão apresentados os polutogramas referente ao transporte de cloreto de sódio (NaCl). Observa-se que o ensaio da posição 5 possui o menor pico de condutividade ( $398 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ). Tal fato deve-se a esta faixa estar mais distante do exutório (9,1m), fazendo com que o NaCl demore mais a chegar ao exutório, retardando assim o instante de sua detecção pelo condutímetro. O ensaio da posição 4 apresenta um pico ligeiramente maior ( $455 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ).

Percebe-se, ainda, que o início de detecção do transporte do poluente começou antes. Para as posições 2 e 3 a dinâmica foi similar entre o que ocorreu com as posições 4 e 5. A posição 2 iniciou o transporte antes que a 3, e ambas tiveram um pico de condutividade semelhante ( $537$  e  $603 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , respectivamente). O ensaio da posição 5 se destaca por possuir um pico mais acentuado que os outros ( $1896 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) Como o ponto 1 é o mais próximo do exutório, a ascensão da condutividade se deu de forma mais rápida e o NaCl foi mais rapidamente lavado da superfície. Observa-se, ainda, que o transporte de poluentes demorou mais para terminar para as posições 4 e 5, justamente as mais afastadas do exutório.

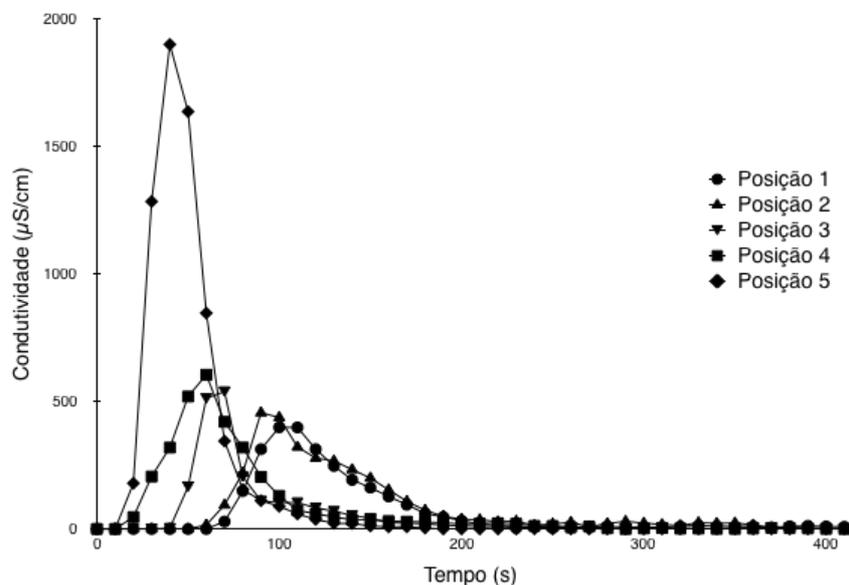


Figura 6- Polutograma para as 5 posições do NaCl na superfície impermeável

## CONCLUSÃO

Neste trabalho, a utilização de um modelo físico, simulando uma área urbana, e de um simulador de chuva permitiu analisar a dinâmica entre o poluente, uma área impermeável e a precipitação, com relação à posição do poluente face ao exutório. Verificou-se que quando mais perto do exutório está o poluente, mais rápido é a chegada, o que era expectável. Verificou-se também que se a origem do poluente for mais afastada em relação ao exutório, o valor de pico do poluente no exutório é bastante amortecido. Isso quer dizer que poluentes situados próximos do exutório podem levar a concentrações no meio receptor (ou numa estação de tratamento de águas residuárias) superior a capacidade de assimilação deste.

Constatou-se, ainda, a utilidade e a confiabilidade do simulador de chuvas e do modelo físico para o estudo do processo de transformação de chuva em escoamento em superfícies impermeáveis, fato comprovado pelos hidrogramas obtidos. Foi possível comprovar a sua aplicabilidade para o estudo do transporte de poluentes dissolvidos, o que se confirma pelos polutogramas gerados. Esta ferramenta pode assim ser um contributo interessante para estudos da engenharia ambiental e saneamento.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABUDI, I., et al.. Rainfall simulator for field runoff studies. *Journal of Hydrology*, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.05.056>
2. AKSOY, H. et al.. A rainfall simulator for laboratory-scale assessment of rainfall-runoff-sediment transport processes over a two-dimensional flume. *Catena*, 2012. doi:10.1016/j.catena.2012.06.009
3. APPELS, W.M., et al.. Influence of spatial variations of microtopography and infiltration on surface runoff and field scale hydrological connectivity. *Advances in Water Resources*, 2011. doi:10.1016/j.advwatres.2010.12.003
4. ASADI, H., et al.. Flow-driven soil erosion processes and the size selectivity of sediment. *Journal of Hydrology*, 2011. doi:10.1016/j.jhydrol.2011.06.010
5. CHERY Jr., DONALD L., Construction, Instrumentation, and Preliminary Verification of a Physical Hydrologic Model, 1965. [http://digitalcommons.usu.edu/water\\_rep/556](http://digitalcommons.usu.edu/water_rep/556)
6. CORONA, R. et al.. On the estimation of surface runoff through a new plot scale rainfall simulator in Sardinia, Italy. *Procedia Environmental Sciences*, 2013. doi:10.1016/j.proenv.2013.06.097
7. COSTA, D et al.. The importance of integrated solutions to flooding and water quality problems in the tropical megacity of Jakarta. *Sustainable Cities and Society*, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2015.09.009>
8. EGODAWATTA, P.; et al.. Mathematical interpretation of pollutant wash-off from urban road surfaces using simulated rainfall. *Water Research* 41, 2007. doi:10.1016/j.watres.2007.03.037
9. FELICE, J. G.. Transporte de material em suspensão e dissolvido em modelo físico com superfície impermeável utilizando chuva simulada. Dissertação (Mestre em Ciência e Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Alfenas, 2017.
10. FISTER, W., et al. A portable wind and rainfall simulator for in situ soil erosion measurements. *Catena*, 2012. doi:10.1016/j.catena.2011.03.002
11. GERO, A. F., PITMAN, A. J.. The impact of Land Cover Change on a Simulated Storm Event in the Sydney Basin. *American Meteorological Society*, 2006.
12. GRIERSON, I. T., OADES, J. M.. A rainfall simulator for field studies of run-off and soil erosion. *Journal of Agric. Engng Res.*, 1977.
13. HASSE, D. Effects of urbanization on the water balance – A long-term trajectory. *Environmental Impact Assessment Review*, 2009. doi:10.1016/j.eiar.2009.01.002
14. HERNGREN, L., et al.. Rainfall Simulation as a Tool for Urban Water Quality Research. *Environmental Engineering Science*, Volume 22, N.3, 2005.
15. IMESON, A. C.. A simple field-portable rainfall simulator for difficult terrain. *Earth Surface Processes*. Vol 2, 1977.
16. ISERLOH, T., et al. A small portable rainfall simulator for reproducible experiments on soil erosion. *Soil & Tillage Research*, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2012.05.016>
17. KISHTAWAL, C.M., et al. Urbanization signature in the observed heavy rainfall climatology over India. *Royal Meteorological Society*, 2010. DOI: 10.1002/joc.2044
18. LORA, M., et al.. Design and performance of a nozzle-type rainfall simulator for landslide triggering experiments. *Catena*, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2016.01.018>
19. MILLER, J. D. et al.. Assessing the impact of urbanization on storm runoff in a peri-urban catchment using historical change in impervious cover. *Journal of Hydrology*, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.04.011>
20. MOTE, T. L., et al.. Radar signatures of the urban effect on precipitation distribution: A case study for Atlanta, Georgia. *Geophysical Research Letters*. Vol. 34, 2007. doi:10.1029/2007GL031903, 2007
21. O'Driscoll, M., et al.. Urbanization effects on watershed hydrology and in-stream processes in the Southern United States. *Water*, 2010. doi:10.3390/w2030605 .
22. PÉREZ-LATORRE, F. J et al.. A comparison of two variable intensity rainfall simulators for runoff studies. *Soil & Tillage Research*, 2010. doi:10.1016/j.still.2009.12.009
23. REIS, S. S. Dos. Influência da Densidade e da Altura de Edificações na Transformação de Precipitação-Escoamento Utilizando Chuva Simulada em Modelo Reduzido de Bacia Hidrográfica Urbana com Diferentes Declividades. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Alfenas, 2015.
24. RODRIGUES, O. JR. Desenvolvimento de um programa computacional para o tratamento de sinais obtidos pela ressonância paramagnética eletrônica na dosimetria de doses altas. São Paulo, 2003. Tese para obtenção de Grau de Doutor na Área de Tecnologia Nuclear - Aplicações.

25. SADEGHI, S.H.R., MOGHADAM, E.S., DARVISHAN, A.K.. Effects of subsequent rainfall events on runoff and soil erosion components from small plots treated by vinasse. *Catena*, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2015.11.007>
26. SILVEIRA, A. et al.. Modelling runoff on ceramic tile roofs using the kinematic wave equations. *Water Science and Technology*, 2016. doi: 10.2166/wst.2016.148
27. SOUSA, S. F. J.; SIQUEIRA, E. Q. Development and Calibration of Rainfall Simulator for Urban Hydrology Research. XII International Conference on Urban Drainage, Porto Alegre, 2011.