

XXVII CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA
LIMA, PERÚ, 28 AL 30 DE SETIEMBRE DE 2016

CALIBRAÇÃO DE UM SIMULADOR DE CHUVAS PARA UTILIZAÇÃO
NAS AULAS PRÁTICAS DE HIDROLOGIA

ISBN (International Standard Book Number) , el cual es : 978-612-
47527-0-4

Emmanuel Kennedy da Costa Teixeira

Universidade Federal de São João del-Rei, Ouro Branco, Brasil, emmanuel.teixeira@ufsj.edu.br

Bárbara Eugênia Cândido Reis

Universidade Federal de São João del-Rei, Ouro Branco, Brasil, barbaraereis@gmail.com

Michelli Dellaretti Aguiar Coimbra

Universidade Federal de São João del-Rei, Ouro Branco, Brasil, michelidellaretti@hotmail.com

Heraldo Nunes Pitanga

Universidade Federal de São João del-Rei, Ouro Branco, Brasil, heraldopitanga@ufsj.edu.br

Elvys Dias Reis

Universidade Federal de São João del-Rei, Ouro Branco, Brasil, elvysreis@yahoo.com.br

RESUMO:

A Hidrologia tem cada vez mais aumentado sua aplicabilidade na solução de problemas de engenharia, no que se diz respeito à exploração dos recursos hídricos. Com a finalidade de facilitar os estudos de perdas de solos, de nutrientes e taxa de infiltração, foram criados os simuladores de chuva. Esse equipamento tem sido muito utilizado, pois com ele se tem melhor controle sobre as características da chuva, como tempo de duração e intensidade. Este trabalho foi realizado com o objetivo de calibrar um simulador de chuva, o qual será utilizado nas aulas práticas de Hidrologia do curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal de São João del-Rei. Para isso, analisaram-se algumas das suas características, como tamanho da gota, altura e tempo de queda, velocidade terminal da gota, intensidade da chuva simulada e energia cinética. Alguns resultados obtidos diferiram da literatura, mostrando que deve ser ter cuidado na utilização do simulador para trabalhos de pesquisas.

ABSTRACT:

Hydrology has increased their applicability in solving engineering problems, as regards exploitation of water resources. In order to facilitate studies of soil losses, of nutrients and infiltration rate, rainfall simulators were created. This equipment has been widely used, because with him you have better control over rain features, as time duration and intensity. This study was conducted in order to determine calibrate a rainfall simulator, which will be used in Hydrology practical classes of Civil Engineering, Federal University of São João del-Rei. For this, we analyzed some of its features, such as drop size, height and fall time, terminal velocity drop, the intensity of simulated rainfall and kinetic energy. Some results differ by literature, showing that must be careful in using simulate for research work.

PALABRAS CLAVES: simulador de chuva; hidrologia; aulas práticas

INTRODUÇÃO

Hidrologia, em seu significado mais amplo, é a ciência que estuda as águas. Os termos Hidrologia Aplicada e Engenharia Hidrológica têm sido bastante utilizados, uma vez que se percebeu a ampla aplicabilidade dessa ciência na solução de problemas de engenharia no que se diz respeito à exploração dos recursos hídricos.

Na Engenharia civil, essa ciência se faz importante não só para projetos e execução de obras hidráulicas. Ela está presente também em cálculos de drenagens (subterrâneas, superficiais e urbanas), no controle de bacias hidrográficas, rebaixamento de lençol freático e bacias de infiltração. Para o melhor entendimento da Hidrologia, é importante ressaltar os processos de circulação da água, conhecido como ciclo hidrológico, os quais recebem os nomes de precipitação, interceptação, transpiração, evaporação, infiltração, percolação, armazenamento e escoamento.

Com a finalidade de facilitar os estudos dos processos do ciclo hidrológico, foram criados os simuladores de chuva. Esse equipamento tem sido muito utilizado, pois com ele se tem melhor controle das características da chuva, como: tempo de duração; intensidade; diâmetros das gotas; altura e tempo de queda; velocidade terminal; e energia cinética. Além disso, o equipamento pode produzir e reproduzir em qualquer tempo chuvas com diferentes características, o que não seria possível com chuvas naturais. Assim, os simuladores tornam-se grande aliados do engenheiro no conhecimento dos parâmetros hidrológicos de um projeto.

O curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de São João del-Rei possui um simulador de chuva, cuja finalidade é sua utilização na realização de aulas práticas para os discentes, o que permite melhorar a qualidade do ensino. Entretanto, esse equipamento nunca foi utilizado e poucas informações foram fornecidas pelo fabricante. Diante do exposto, o objetivo desse trabalho foi calibrar o simulador de chuva, para que ele possa ser utilizado em aulas práticas e que possa ser um instrumento de pesquisas relacionadas à Engenharia Civil e à Hidrologia. Especificamente, objetivava-se caracterizar a chuva a ser simulada, determinando-se o diâmetro médio das gotas, altura e tempo de queda, velocidade terminal das gotas, energia cinética e coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC).

METODOLOGIA

Simulador de chuvas

O simulador de chuvas utilizado neste trabalho faz parte do aparato de Hidrologia denominado H313, da marca TecQuipment. Ele possui 2,40 m de comprimento, 1,00 m de largura, 1,80 m de altura e dispõe de uma fonte de alimentação de energia elétrica para o acionamento da bomba. No corpo do aparato foi colocado um material granular arenoso, o qual fica retido por duas barreiras nas extremidades, modelando assim, uma superfície de captação, a qual possui 2,00 m de comprimento, 1,00 m de largura e 0,18 m de profundidade. O simulador possui um mecanismo que permite a variação na inclinação da superfície de captação, sendo que neste trabalho adotou-se 1% de inclinação longitudinal. O corpo principal do aparato é envolto por placas de perspex (material de plástico resistente, leve e transparente) para limitar o spray. O escoamento superficial passa por um vertedor retangular de soleira delgada abaixo do corpo principal. As barreiras nas extremidades possuem janelas removíveis permitindo a passagem de água. A Figura 1 apresenta o aparato utilizado e sua representação esquemática.

Calibração do rotâmetro

Para a verificação da vazão no rotâmetro, a qual abastece os aspersores, foram coletadas amostras de volume de água em determinados tempos, ou seja, mediu-se a vazão pelo método direto, calculando-se a vazão média das amostras. O resultado encontrado foi comparado com o observado no rotâmetro. Esse procedimento foi realizado para as seguintes vazões: 4; 7; 11; 16 e 20,0 L/min.

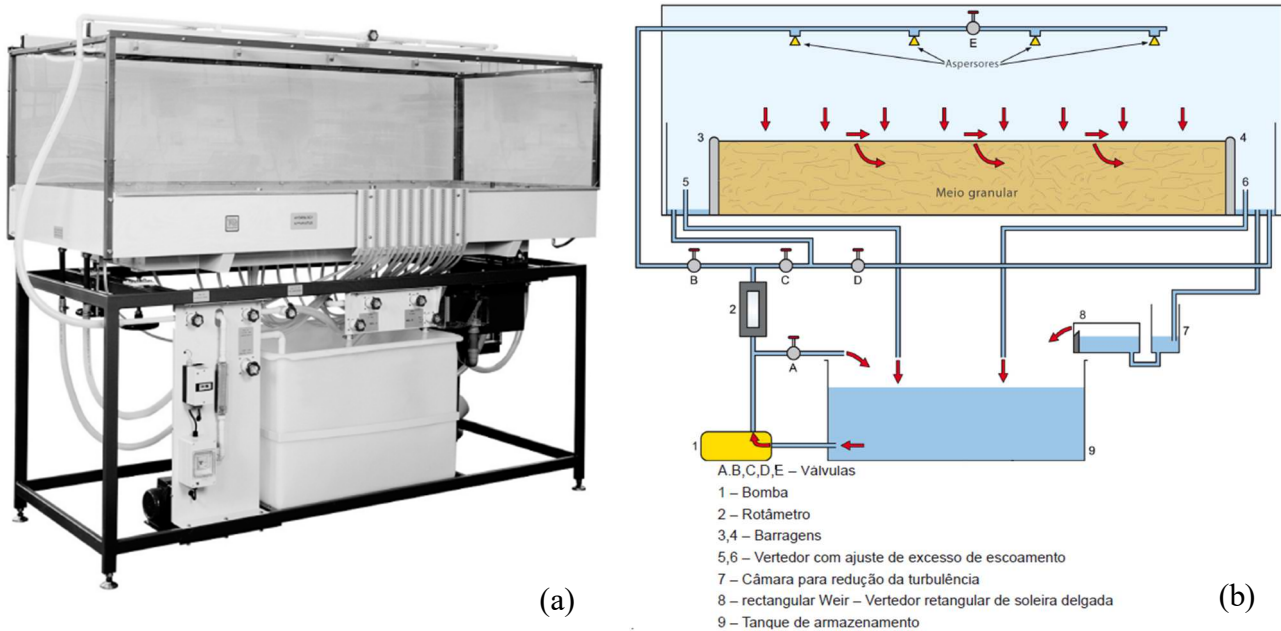


Figura 1.- (a) Aparato de Hidrologia H313; (b) Representação esquemática do aparato

Determinação da equação do vertedor retangular de parede delgada

No simulador de chuvas, há instalado um vertedor retangular, de parede delgada, com duas contrações, o qual é utilizado para medição da altura da lâmina d'água que escoa superficialmente sobre o material granular. Para o ajuste da equação desse vertedor, foram determinadas algumas vazões (Q), utilizando-se o método direto gravimétrico, e medida a altura (H) de lâmina d'água no vertedor. A equação de um vertedor retangular é dada na Equação 1. A constante “ K ” foi calculada com auxílio da ferramenta “solver” no *software MICROSOFT EXCEL 2013*.

$$Q = KH^{1,5} \quad [1]$$

Determinação do diâmetro médio das gotas

Para a medição do diâmetro médio das gotas, coletou-se 100 gotas de chuva em seis recipientes colocados sob os aspersores. Obteve-se, assim, o volume de água de chuva coletado em cada recipiente. O volume de cada gota foi calculado dividindo por 100 o volume total de cada recipiente. Com o volume (V) de cada gota, encontrou-se o seu diâmetro (D), utilizando-se Equação 2, considerando que as gotas têm o formato de uma esfera. O diâmetro médio foi a média do diâmetro de cada um dos seis recipientes.

$$V = \frac{2}{3} \pi D^3 \quad [2]$$

Pesando-se cada recipiente cheio e subtraindo-se da sua tara, tem-se a massa das 100 gotas e, conseqüentemente, a massa (m) de cada gota.

Altura de queda

Mediu-se a distância entre a superfície de captação e a extremidade do aspersor, encontrando-se 60,00 cm.

Tempo de queda

O tempo (T) de queda das gotas foi calculado com a Equação 3, conforme proposto por Lima et al. (1993).

$$T = \operatorname{arccosh}[\exp(ZC)](9,81C)^{-0,5} \quad [3]$$

Sendo “C” o coeficiente de atrito com o ar, calculado na Equação 4.

$$C = (0,804 - 0,264D^2 - 0,004D^3)(1,109D)^{-1} \quad [4]$$

Velocidade terminal das gotas

A velocidade terminal (v) das gotas foi calculada utilizando-se a Equação 5, conforme proposto por Lima et al. (1993).

$$v = (9,81/C)^{-0,5} \tanh[T(9,81C)^{0,5}] \quad [5]$$

Energia cinética das gotas

Sendo “m” a massa de cada gota, a qual foi encontrada na etapa de determinação do diâmetro das gotas, como descrito anteriormente, calculou-se a energia cinética (Ec) utilizando-se a Equação 6.

$$Ec = \left(\frac{mv^2}{2}\right) \quad [6]$$

Coefficiente de uniformidade de Christiansen

Para a verificação da uniformidade da precipitação que ocorre em toda a superfície de captação, foram colocados seis recipientes espalhados aleatoriamente na superfície de captação e medido o volume que cada um coletou em 1,00 minuto, tempo esse que é suficiente para se ter vazão constante nos aspersores. De posse destes seis valores de volume, fez-se o tratamento estatístico conforme a Equação 7.

$$CUC = 100 \times \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right] \quad [7]$$

Onde, “CUC” é o Coeficiente de uniformidade de Christiansen (%); “ x_i ” é o volume coletado em cada recipiente; “ \bar{x} ” é a média dos volumes coletados; e “n” é o número de recipientes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Calibração do rotâmetro

Com as vazões determinadas pelo método direto, denominadas “ $Q_{\text{calculada}}$ ”, e as indicadas no rotâmetro do equipamento, denominadas “ $Q_{\text{rotâmetro}}$ ”, fez-se o gráfico mostrado na Figura 2.

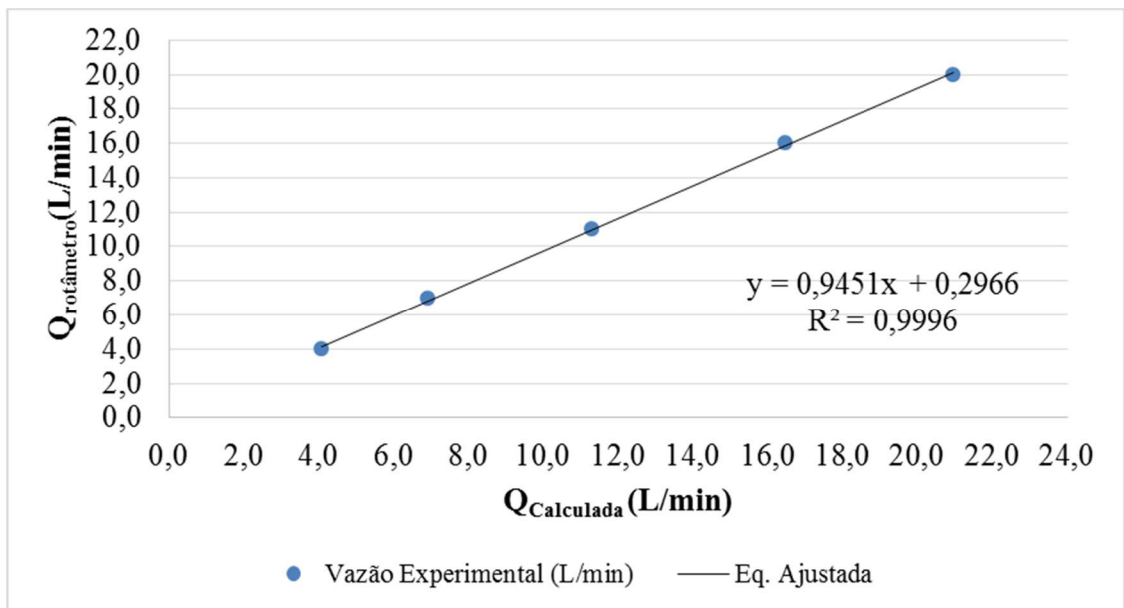


Figura 2.- Dados de vazão para calibração do rotâmetro

Na Figura 2, observa-se um erro pequeno entre as vazões calculadas e as experimentais. Concluindo que o rotâmetro estava calibrado, ou seja, as vazões indicadas por ele estavam corretas.

Equação do vertedor retangular de parede delgada

Com os valores experimentais de vazão (Q) e lâmina d'água (H) no vertedor, gerou-se o gráfico da Figura 3. Nele, encontra-se a linha de tendência ajustada, encontrando-se um valor de "K" igual a 0,025356. Assim a Equação 8 apresenta a equação para o vertedor instalado no aparato que contém o simulador de chuva.

$$Q = 0,025356 \times H^{1,5} \quad [8]$$

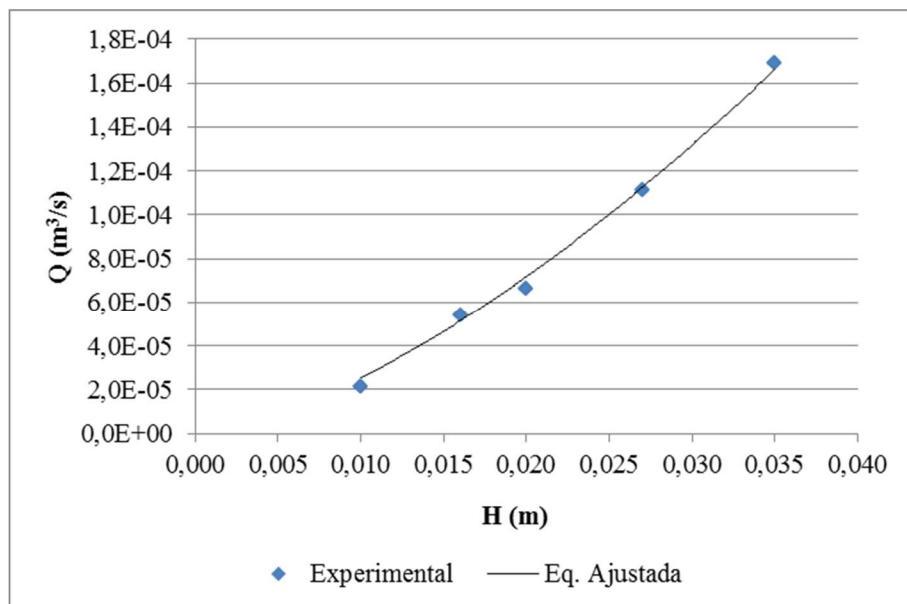


Figura 3.- Ajuste da equação do vertedor retangular de parede delgada localizado no aparato do simulador de chuvas

Diâmetro das gotas

Os resultados obtidos para determinação do diâmetro da gota estão apresentados na Tabela 1. Encontrou-se um diâmetro médio das gotas de 5,65 mm. Segundo Meyer e Harmon (1979 apud FRAGA JUNIOR et al., 2008) o valor do diâmetro da gota de chuva pode variar entre valores menores que 1,0 mm chegando até 7,0 mm. Assim, o diâmetro da gota do simulador está dentro da normalidade.

Tabela 1.- Determinação do diâmetro das gotas de chuva do simulador

Recipiente	m [g]	V [cm ³]	D [mm]
1	0,094	0,094	5,64
2	0,103	0,103	5,80
3	0,100	0,100	5,76
4	0,089	0,089	5,54
5	0,095	0,095	5,68
6	0,086	0,086	5,48

Tempo de queda e velocidade terminal de queda

Utilizando-se a Equação 4, para o diâmetro da gota de 5,65 mm, encontrou-se o coeficiente de atrito com ar (C) de 0,1114. De posse desse valor, para altura de queda de 60,00 cm, utilizando-se a Equação 3, obteve-se tempo médio de queda da gota de chuva igual a 0,39 s. Para este tempo de queda, utilizando-se a Equação 5, obteve-se uma velocidade média de queda da gota de 9,37 m/s.

De acordo com Lima *et al.* (1993), quanto maior o diâmetro da gota, maior deverá ser a altura de queda para que ela atinja a velocidade terminal. O maior diâmetro apresentado no trabalho de Lima *et al.* (1993) é 3,00 mm, sendo que para esse diâmetro alcançar a velocidade terminal de, aproximadamente 8,00 m/s, necessitou-se de, aproximadamente, 10,00 m de altura de queda. Como o diâmetro (D) da gota encontrado aqui, 5,65 mm, é superior a 3,00 mm, conclui-se que a altura de queda (Z) do simulador utilizado, a qual é 60,00 cm, é insuficiente para se alcançar a velocidade terminal, o que prejudicará os resultados de trabalhos que venham utilizar este simulador. Logo a velocidade de 9,37 m/s não representa a velocidade terminal de queda da gota.

Energia cinética das gotas

Para os dados apresentados na Tabela 1, encontrou-se que a massa média de cada gota é 0,094 g. Para a velocidade média de queda de 9,37 m/s, utilizando-se a Equação 6, obteve-se energia cinética média de cada gota de chuva igual a $4,15 \cdot 10^{-1}$ J.

Ribeiro *et al.* (2007), calculando a energia cinética de cada gota, encontrou um valor de $1,16 \cdot 10^{-4}$ J. O valor encontrado para este trabalho ($4,15 \cdot 10^{-1}$ J) foi considerado dentro da normalidade, levando em consideração que em Ribeiro *et al.* (2007), as gotas tinham um diâmetro menor e, conseqüentemente uma menor massa, e menor velocidade, resultando em uma energia cinética menor.

Coefficiente de uniformidade de Christiansen

A Tabela 2 apresenta os valores dos volumes de água coletados nos seis recipientes espalhados na superfície de captação do simulador de chuva. Feito o tratamento estatístico nos dados coletados, utilizando-se a Equação 7, obteve-se um CUC igual a 85,42%. Implicando numa distribuição não tão uniforme, mas já esperada. Pois era visível a não uniformidade de aspersão.

Segundo Montebeller *et al.* (2001), inúmeros pesquisadores consideram que valores acima de 80% são aceitáveis em relação à uniformidade de distribuição em simuladores de chuva. Como o valor encontrado foi de 85%, tem-se que o simulador teoricamente atende às necessidades básicas deste trabalho. Entretanto, percebeu-se, observando o funcionamento do simulador durante a realização dos experimentos, que a distribuição não é uniforme, pois o raio da superfície do material granular que recebe chuva é apenas o localizado abaixo do aspersor. Assim, as regiões localizadas entre os aspersores não recebem água.

Tabela 2.- Volume de água coletado em cada recipiente colocado na superfície de captação

Recipiente	V [mL]
1	252,0
2	219,0
3	133,0
4	257,0
5	225,0
6	265,0

CONCLUSÃO

O simulador de chuva atenderá os fins didáticos para realização de aulas práticas. Entretanto, sua utilização em pesquisas deve ser avaliada, visto que a altura de queda das gotas é pequena, com isso, não se permite alcançar a velocidade terminal de queda. Outra restrição do aparelho é a não uniformidade da distribuição da chuva, a qual fica muito concentrada nas regiões abaixo dos aspersores. Assim, para trabalhos científicos, o calibrador deverá ser adaptado, de forma a melhorar sua representatividade das chuvas reais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Fraga Júnior, E.F.; Valle Júnior, R.F.; Fraga, D.F.; Amaral, F.S.; Netto, O.J.B. (2008). “Validação de Equipamento para Simulação de Chuvas”. *Seminário de Iniciação Científica do CEFET-Uberaba*, Uberaba, Brasil.
- Lima, L.A.; Silva, M.L.N.; Curi, N.; Marques, J.J.G.S.M. (1993). “O Salpicamento de Latossolos Provocado por Gotas de Chuva”. *Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*, Goiânia, Brasil.
- Montebeller, C.A.; Carvalho, D.F.; Sobrinho, T.A.; Nunes, A.C.S.; Rubio, E. (2001). “Avaliação Hidráulica de um Simulador de Chuvas Pendular”. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Vol. 5, No.1, 2001, pp. 1-5.
- Ribeiro, B.T.; Magalhães, C.A.S.; Lima, J.M.; Silva, M.L.N. (2007). “Calibração e Uso de Minissimulador de Chuva para Estudos de Erosão e Poluição do Solo”. *Boletim Técnico*. No 17, pp. 1-17.
- TECQUIPMENT (2008). *Manual do usuário do aparato de Hidrologia H313*.