



Obtenção da intensidade das chuvas a partir de dados pluviométricos coletados numa estação automatizada: o caso de Piracicaba, SP

Quirijn de Jong van Lier^{1(*)}

¹CENA - Universidade de São Paulo. Av. Centenário, 303, CEP 13416-903 Piracicaba, SP. E-mail: qdvlier@usp.br

(*)Autor para correspondência.

INFORMAÇÕES

História do artigo:

Recebido em 27 de setembro de 2023

Aceito em 21 de dezembro de 2023

Termos para indexação:

modelagem hidrológica

erosão

recarga de aquíferos

precipitação

RESUMO

A intensidade da chuva é uma grandeza de importância na modelagem hidrológica, especialmente em estudos relacionados com a erosão e a recarga de aquíferos, no entanto, essa grandeza não é regularmente medida ou reportada por estações meteorológicas. O objetivo desse trabalho foi apresentar um método para a obtenção da intensidade da chuva a partir de dados pluviométricos. Um exemplo para o caso da estação meteorológica da Universidade de São Paulo em Piracicaba, SP é apresentado, utilizando-se 25 anos de observações. Concluiu-se que o processamento das informações foi realizado com êxito, podendo a metodologia proposta ser aplicada em outros conjuntos de dados. Para o caso avaliado (Piracicaba, SP), os dados se ajustaram bem a uma equação senoidal em função da data ordinal, com média de $13,37 \text{ mm h}^{-1}$, amplitude de $8,13 \text{ mm h}^{-1}$ e máximo em 15 de janeiro.

© 2024 SBAgro. Todos os direitos reservados.

Introdução

A modelagem hidrológica é uma ferramenta importante para a previsão e entendimento dos componentes do balanço hídrico do solo que afetam o manejo e a produtividade agrícola (Siad et al., 2019) bem como os serviços ecossistêmicos (Decsi et al., 2022), a recarga das águas subterrâneas e a sua poluição (Amin et al., 2017; Mensah et al., 2022), a erosão e perda de solo (Kim et al., 2013; Mello et al., 2016), entre outros. Para a estimativa da evapotranspiração potencial, os modelos hidrológicos se utilizam normalmente dos valores da temperatura, umidade relativa, radiação global e velocidade do vento. Uma outra informação meteorológica essencial é a pluviometria, expressa em

lâmina de chuva e necessária para modelar a infiltração da água no solo.

A água da chuva precipitada sobre a superfície terrestre, subtraída da interceptação pelo dossel vegetal (Nazari et al., 2020; Yan et al., 2021), atinge a superfície do solo e pode infiltrar (Philip, 1969) ou, quando a intensidade da chuva for superior à capacidade de infiltração do solo, acumular-se nela e eventualmente formar o escoamento superficial (Linsley, 1967). A intensidade da chuva, a derivada da curva da chuva acumulada no tempo, é uma grandeza importante na modelagem dessa partição da água da chuva e, portanto, na modelagem do balanço hídrico, da erosão, e da recarga de aquíferos, pois quando a intensidade da chuva supera a capacidade de infiltração do solo,

a diferença entre as duas grandezas representa a água da chuva que não infiltra no solo. Ao contrário da lâmina ou volume de água por área reportada normalmente pelas estações meteorológicas, a intensidade da chuva é um valor de mais difícil medição.

Nesse trabalho, o objetivo foi apresentar um método para a obtenção da intensidade da chuva a partir de dados pluviométricos de uma estação automatizada, e apresentar e interpretar os resultados para o caso da estação meteorológica da Universidade de São Paulo em Piracicaba, SP.

Material e Métodos

Dados utilizados

Os dados pluviométricos utilizados foram obtidos da estação automatizada do posto meteorológico “Professor Jesus Marden dos Santos” da ESALQ – Universidade de São Paulo, localizado na cidade de Piracicaba, SP, na latitude 22° 42’ 30” sul e longitude 47° 38’ 00” oeste e altitude de 546 metros acima do nível do mar. Essa estação automatizada registra observações meteorológicas a cada 15 minutos desde o ano de 1997, disponibilizando-as ao público em www.leb.esalq.usp.br/leb/automatica/pagina6.html. Os dados da pluviometria possuem uma resolução de 0,1 mm.

Foram utilizados todos os dados disponíveis desde 1997 até 2022, totalizando 26 anos de observações. A data ordinal (j, d) foi normalizada em relação ao ano bissexto, isto é, o dia 29/02 dos anos bissextos foi considerado igual a $j = 60$, enquanto o dia 01/03 de todos os anos foi contado como $j = 61$. Dessa forma, o dia 31/12 de todos os anos foi considerado igual a $j = 366$.

Para fins da caracterização climática, as médias mensais de temperatura mínima, temperatura máxima e de lâmina de chuva reportadas pelo mesmo posto para os mesmos anos foram utilizados.

Transformação dos dados de lâmina em intensidade da chuva

A intensidade média da chuva foi calculada para cada semana do ano, considerando-se os dados da respectiva semana acumulados de todos os 26 anos (semana 1: $j = 1$ a 7; semana 2: $j = 8$ a 14, ...), sucessivamente até o fim do ano (última semana acrescida de dois dias, “semana” 52 de $j = 358$ a 366). O cálculo da intensidade média semanal da chuva foi realizado pelo seguinte procedimento:

Para cada observação pluviométrica da estação (p , mm/(15 min)), quando $p > 0$, a intensidade correspondente (i , mm h⁻¹) foi estimada conforme:

- no caso de a observação da chuva estiver entre outras duas observações de chuva, ou seja, choveu antes e depois do período em observação, considerou-se que a lâmina observada se distribuiu nos 15 minutos e, assim, $i = 4p$;
- no caso de a observação do período anterior e/ou

subsequente ser igual a zero (isto é, o período em observação corresponde ao começo e/ou ao fim de um período de chuva), considerou-se que a lâmina observada incidiu na metade dos 15 minutos, ou seja, com intensidade $i = 8p$

A média ponderada da intensidade da chuva de cada semana em cada ano ($i_{semana,ano}$) foi calculada, considerando-se as $k_{semana,ano}$ chuvas observadas nas respectivas datas ordinais no ano e calculando-se conforme:

$$i_{semana,ano} = \frac{\sum_{n=1}^{k_{semana,ano}} p_n i_n}{\sum_{n=1}^{k_{semana,ano}} p_n} \quad (1)$$

onde p_n é a lâmina de chuva no dia n e i_n é a sua respectiva intensidade calculada conforme item 1 acima.

A intensidade média semanal da chuva considerando-se todos os anos em observação foi calculada como a média aritmética dos valores de $i_{semana,ano}$, conforme:

$$i_{semana} = \frac{\sum_{q=1}^a i_{semana,q}}{a} \quad (2)$$

onde a é o número de anos em consideração ($a = 26$ no presente caso).

Aos dados médios semanais da intensidade da chuva, período de 1997 a 2022, foi ajustada uma equação senoidal:

$$i = a + b \operatorname{sen} \left(\frac{2\pi(j-c)}{366} \right) \quad (3)$$

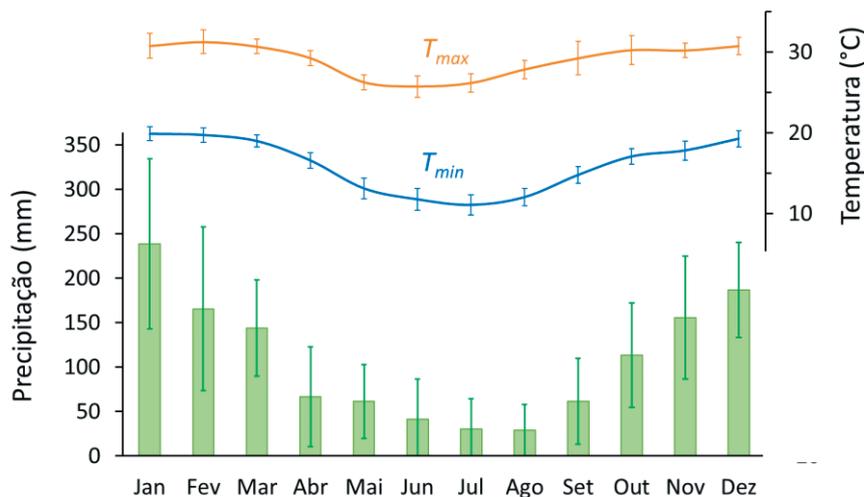
onde a (mm h⁻¹) é o valor médio da intensidade, b (mm h⁻¹) é a amplitude da intensidade e c (d) é a defasagem temporal em relação à função seno padrão. Os parâmetros estatísticos da equação foram obtidos por regressão, minimizando a soma dos quadrados dos desvios.

Resultados e Discussão

A caracterização climática do período de 1997 a 2022 (precipitação e temperatura) resultou nos valores apresentados na Figura 1. Observa-se que Piracicaba tem um período mais seco, que inclui o inverno (abril a setembro), altas temperaturas no verão e temperatura mínima do mês mais frio (julho) abaixo de 18°C, sendo classificado como Cwa de Köppen (Sparovek et al., 2007).

Foram utilizados 911.616 registros de precipitação, referentes a leituras de 15 minutos. Em 35.257 (3,87%) dos registros houve observação de chuva. A intensidade má-

Figura 1. Caracterização climática (precipitação e temperatura) para Piracicaba, SP, período de 1997 a 2022. As barras de erro representam \pm o desvio padrão dos valores mensais.



xima registrada foi de $333,6 \text{ mm h}^{-1}$ e a média de todas as intensidades foi de $4,22 \text{ mm h}^{-1}$.

Na Tabela 1 estão apresentados os valores dos parâmetros da Equação 3. O valor do parâmetro c corresponde à ocorrência da intensidade máxima em $j = 15$ (15 de janeiro). Além dos valores médios, a Tabela 1 apresenta os respectivos erros padrão e limites inferiores e superiores ao nível de confiança de 95%, onde se observam erros padrão relativamente pequenos e intervalos de confiança estreitos.

A representação gráfica dos valores semanais calculados e da curva ajustada encontra-se na Figura 2. Observa-se que o valor médio anual, parâmetro a da Equação 3, ($13,4 \text{ mm h}^{-1}$) é superior ao valor da média de todas as intensidades ($4,2 \text{ mm h}^{-1}$), pelo fato de as intensidades terem sido ponderadas em relação à sua lâmina (Equação 1), dando assim um peso menor às lâminas pequenas, que normalmente também correspondem às intensidades pequenas.

Os valores representativos de intensidade da chuva para cada mês do ano calculados pela Equação (3) considerando-se a data ordinal mediana de cada mês são apresentados na Tabela 2.

Na Figura 3 são apresentadas as frequências acumuladas em função da intensidade da chuva, ponderada pelo tempo e pela lâmina, para todas as observações utilizadas. Na figura identificam-se também as classes de intensidade de chuva de acordo com a World Meteorological Organization (2018), sendo chuva de intensidade fraca ($i < 2,5 \text{ mm h}^{-1}$), moderada ($2,5 \text{ mm h}^{-1} \leq i < 10 \text{ mm h}^{-1}$), forte ($10 \text{ mm h}^{-1} \leq i < 50 \text{ mm h}^{-1}$) ou violenta ($i \geq 50 \text{ mm h}^{-1}$). Observa-se que chuvas fracas representam em torno de 65% do tempo de chuva, mas quando ponderadas pela lâmina, representam somente 18%. Assim, de todo o volume de chuva que incide em Piracicaba, SP, 18% ocorre como chuva fraca. Da mesma forma verifica-se que chuvas mo-

Tabela 1. Dados estatísticos do ajuste dos parâmetros da Equação (3) aos dados observados em Piracicaba, SP, entre 1997 e 2022.

Parâmetro	Valor médio	Erro padrão	Limites de confiança (95%)	
			mínimo	máximo
a	13,37	0,502	12,36	14,38
b	8,13	0,711	6,70	9,56
c	289,2	5,08	279,0	299,4

deradas representam 27% do tempo e também 27% do volume, enquanto chuvas fortes ocorrem em somente 8% do tempo, mas representam 37% do volume.

Os dados apresentados podem ser utilizados em estudos da região de Piracicaba, especialmente aqueles que necessitam de um detalhamento das chuvas em termos

Tabela 2. Lâmina e intensidade da chuva mensal para Piracicaba, SP, considerando o período de observações entre 1997 e 2022, calculada pela Equação (3) ajustada considerando-se a data ordinal mediana de cada mês.

Mês	Lâmina de chuva (mm)	Intensidade média da chuva (mm h^{-1})
janeiro	239	21,5
fevereiro	166	20,4
março	144	17,4
abril	66	13,3
maio	61	9,3
junho	41	6,3
julho	30	5,2
agosto	29	6,4
setembro	62	9,4
outubro	114	13,5
novembro	156	17,5
dezembro	187	20,5

Figura 2. Intensidade da chuva i (mm h^{-1}) em função da data ordinal j para Piracicaba, SP, considerando o período de observações entre 1997 e 2022. Pontos representam as médias semanais, a curva é a Equação (3) ajustada.

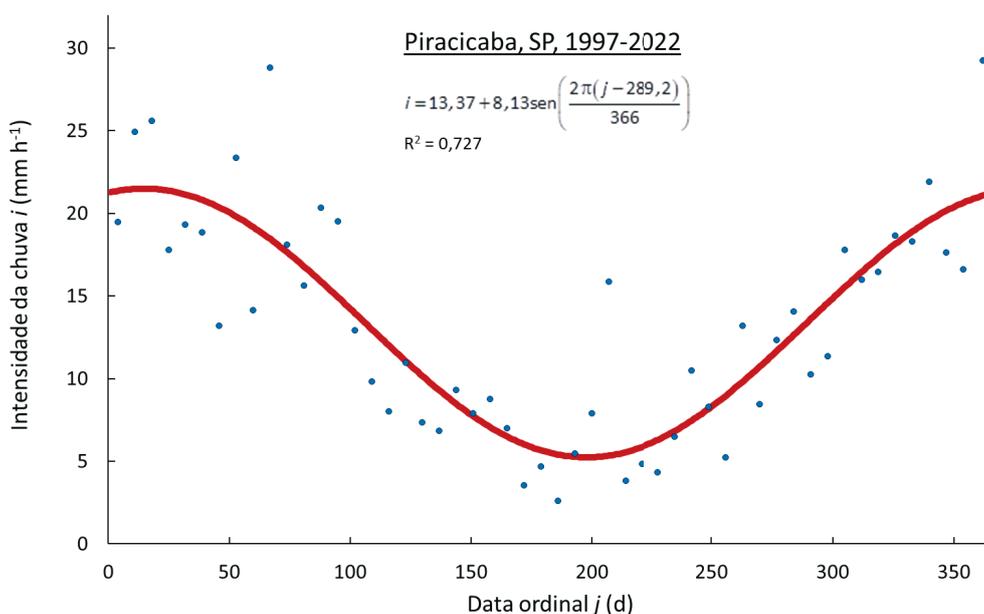
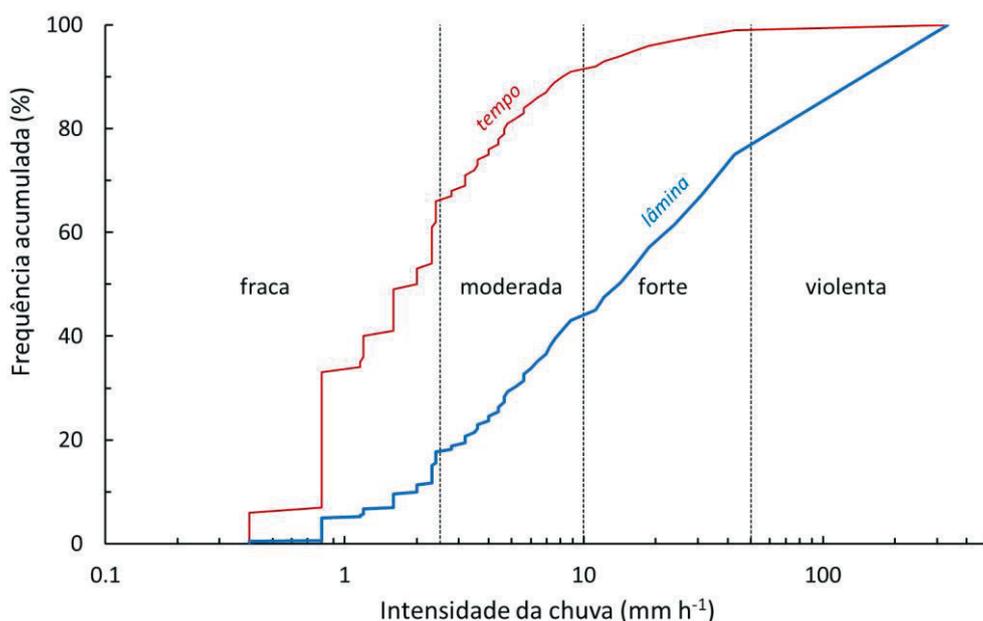


Figura 3. Frequência acumulada em função da intensidade da chuva para Piracicaba, SP, ponderada pelo tempo e pela lâmina, considerando o período de observações entre 1997 e 2022.



de sua intensidade. A metodologia apresentada para a obtenção dessas intensidades e sua distribuição poderá ser utilizada com dados de pluviometria em outras estações automatizadas. É evidente que uma maior frequência de observação levará a resultados mais confiáveis. Uma frequência muito alta, no entanto, pode não ser produtiva se não vem acompanhado de uma resolução alta do pluviômetro em uso. A combinação de resolução (0,1 mm) e frequência (uma observação a cada 15 minutos, ou 96 observações por dia) disponível para esse estudo parece ser uma opção boa.

Conclusões

Informações sobre a intensidade das chuvas podem ser obtidas a partir de dados pluviométricos de estações meteorológicas automatizadas de alta frequência;

Para o caso de Piracicaba, SP, os dados semanais obtidos com base em dados de 25 anos se ajustaram bem a uma equação senoidal em função da data ordinal (1 a 366).

Contribuição dos Autores

Q. DE JONG VAN LIER: concepção, compilação e processamento dos dados, análise dos resultados, redação e revisão do manuscrito.

Referências

AMIN, M. G. M. et al. Simulating hydrological and nonpoint source pollution processes in a karst watershed: A variable source area hydrology model evaluation. **Agricultural Water Management**, Agricultural water and nonpoint source pollution management at a watershed scale Part II Overseen by: Dr. Brent Clothier. v. 180, p. 212-223, 31 jan. 2017. (<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.07.011>)

DECSI, B. et al. From simple to complex – Comparing four modelling tools for quantifying hydrologic ecosystem services. **Ecological Indicators**, v. 141, p. 109143, 1 ago. 2022. (<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109143>)

KIM, J.; IVANOV, V. Y.; KATOPODES, N. D. Modeling erosion and sedimentation coupled with hydrological and overland flow processes at the watershed scale. **Water Resources Research**, v. 49, n. 9, p. 5134-5154, 2013. (<https://doi.org/10.1002/wrcr.20373>)

LINSLEY, R. K. The relation between rainfall and runoff. **Journal of Hydrology**, v. 5, p. 297-311, jan. 1967. ([https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(67\)80128-8](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(67)80128-8))

MELLO, C. R. DE et al. Agricultural watershed modeling: a review for hydrology and soil erosion processes. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, p. 7-25, fev. 2016. (<https://doi.org/10.1590/S1413-70542016000100001>)

MENSAH, J. K. et al. Integrated modeling of hydrological processes and groundwater recharge based on land use land cover, and climate changes: A systematic review. **Environmental Advances**, v. 8, p. 100224, 1 jul. 2022. (<https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100224>)

NAZARI, M. et al. Rainfall interception and redistribution by maize farmland in central Iran. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 27, p. 100656, 1 fev. 2020. (<https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100656>)

PHILIP, J. R. Theory of Infiltration. Em: CHOW, V. T. (Ed.). **Advances in Hydroscience**. [s.l.] Elsevier, 1969. v. 5p. 215-296. (<http://dx.doi.org/10.1097/00010694-195705000-00002>)

SIAD, S. M. et al. A review of coupled hydrologic and crop growth models. **Agricultural Water Management**, v. 224, p. 105746, 1 set. 2019. (<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105746>)

SPAROVEK, G.; DE JONG VAN LIER, Q.; DOURADO NETO, D. Computer assisted Koeppen climate classification: a case study for Brazil. **International Journal of Climatology**. v. 27, p. 257-266, 2007. (<https://doi.org/10.1002/joc.1384>)

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Guide to Instruments and Methods of Observation (WMO-No. 8)**. (https://community.wmo.int/en/activity-areas/imop/wmo-no_8)

YAN, T. et al. Effects of the morphological characteristics of plants on rainfall interception and kinetic energy. **Journal of Hydrology**, v. 592, p. 125807, 1 jan. 2021. (<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125807>)

REFERENCIAÇÃO

DE JONG VAN LIER, Q. Obtenção da intensidade das chuvas a partir de dados pluviométricos coletados numa estação automatizada: o caso de Piracicaba, SP. **Agrometeoros, Passo Fundo**, v.32, e027452, 2024.



Obtaining rainfall intensity from rainfall data collected at an automated station: the case of Piracicaba, SP, Brazil

Quirijn de Jong van Lier^{1(*)}

¹CENA - Universidade de São Paulo. Av. Centenário, 303, CEP 13416-903 Piracicaba, SP, Brazil. E-mail: qdvlier@usp.br

(*)Corresponding author.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 27 September 2023

Accepted 21 December 2023

Index terms:

hydrological modelling

erosion

aquifer recharge

rainfall

ABSTRACT

Rain intensity is an important quantity in hydrological modelling, especially in studies related to erosion and aquifer recharge, however, this quantity is not regularly measured or reported by meteorological stations. The objective of this work was to present a method for obtaining rain intensity from rainfall data. An example for the case of the meteorological station at the University of São Paulo in Piracicaba, SP, Brazil is presented, using 25 years of observations. It was concluded that the information processing was carried out successfully, and the proposed methodology can be applied to other data sets. For the case evaluated (Piracicaba-SP), the data fit well to a sinusoidal equation as a function of the Julian day, with an average of 13.37 mm h^{-1} , an amplitude of 8.13 mm h^{-1} and a maximum on January 15th.

© 2024 SBAgro. All rights reserved.

CITATION

DE JONG VAN LIER, Q. Obtenção da intensidade das chuvas a partir de dados pluviométricos coletados numa estação automatizada: o caso de Piracicaba, SP. *Agrometeoros*, Passo Fundo, v.32, e027452, 2024.