

Estimativa da Curva Número a partir da taxa de infiltração e da variação da precipitação

Curve Number estimation from infiltration rate and precipitation variability

RESUMO

Luis Eduardo Bertotto
luisbertotto@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

Murilo Cesar Lucas
muriloelucas@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

O método da Curva Número do Soil Conservation Service é amplamente utilizado para estimar o escoamento superficial resultante de uma certa altura de chuva, pois incorpora no parâmetro Curva Número (CN) diversos fatores que geram escoamento. Porém, pesquisas têm mostrado que o CN é inconsistente para diferentes regiões, devendo ser ajustado às características hidrológicas e geográficas de onde é aplicado. Assim, o objetivo desta pesquisa foi obter experimentalmente valores de CN em solo exposto argiloso. Para isso, foi necessário estimar o escoamento superficial sobrepondo a curva de infiltração aos hietogramas de intensidade de precipitação. A curva foi obtida com o ajuste do modelo matemático de Horton à taxas de infiltração experimentais, e os hietogramas foram concebidos pela distribuição temporal de chuvas do tipo IDF. Os resultados encontrados mostram a importância da distribuição temporal da precipitação no cálculo do escoamento superficial. Concluiu-se que o CN é pouco sensível a variação do período de retorno, enquanto que a duração da precipitação influencia fortemente no CN. Alerta-se que os profissionais da Engenharia Hidrológica devem considerar a duração da precipitação quando aplicarem o método Soil Conservation Service.

PALAVRAS-CHAVE: Hidrologia urbana. Intensidade das chuvas-freqüência. Escoamento. Balanço hídrico.

Recebido: 19 ago. 2019.

Aprovado: 01 out. 2019.

Direito autorial: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



ABSTRACT

The Curve Number Soil Conservation Service method is widely used to estimate runoff resulting from a certain rainfall depth, because it incorporates several factors that generate runoff in the Curve Number (CN) parameter. However, research has shown that CN is inconsistent for different regions and should be adjusted to the hydrological and geographical characteristics from which it is applied. Thus, the objective of this research was to experimentally obtain CN values in clayey bare soil. For this, it was necessary to estimate the surface runoff by overlapping the infiltration curve on the rainfall intensity hietograms. The curve was obtained by adjusting Horton's mathematical model to experimental infiltration rates, and the hietograms were designed by the temporal distribution of IDF type rainfalls. The results show the importance of the temporal distribution of precipitation in the surface runoff calculation. It was concluded that the CN is not sensitive to the variation of the return period, while the duration of precipitation strongly influences the CN. It is advised that Hydrological Engineering professionals should consider the duration of precipitation when applying the Soil Conservation Service method.

KEYWORDS: Urban hydrology. Rainfall intensity-frequency. Runoff. Hydric balance.

INTRODUÇÃO

O comportamento da água quanto a sua ocorrência, mudança de estado, transporte, armazenamento e relação com a vida humana pode ser definido pelo conceito de ciclo hidrológico, que é composto por precipitações atmosféricas, escoamentos superficiais e subterrâneos, evaporação e transpiração (GARCEZ; ALVAREZ, 1988). O escoamento superficial está associado com a ocorrência de inundações urbanas, que são resultado do uso do solo e da impermeabilização do mesmo, dois fatores consequentes da urbanização (TUCCI, 2004).

O método da Curva Número do Soil Conservation Service (SCS) é muito utilizado para determinar o escoamento superficial resultante de uma certa altura de chuva (CHIN, 2017), pois incorpora o tipo de solo, a condição antecedente de umidade e o uso e ocupação do solo - fatores relacionados com a geração do escoamento - em um único parâmetro, a Curva Número (CN) (SOULIS et al., 2009). Os valores de CN podem ser obtidos pelas tabelas desenvolvidas pelo Soil Conservation Service, atual Natural Resources Conservation Service (NRCS).

No entanto, os pesquisadores têm apontado que o CN é inconsistente para locais diferentes de onde o modelo foi desenvolvido, e que ele deve ser ajustado às características hidrológicas de onde é aplicado (TEDELA et al., 2012; CHIN, 2017). Nesse contexto, Chin (2017) aponta que o CN depende significativamente da distribuição e da altura de precipitação, e Lal et al. (2016) concluem que a taxa de infiltração é a variável mais relevante para a produção do escoamento superficial – fatores que se alteram de uma região para outra.

O objetivo deste trabalho é estimar o parâmetro CN para a condição de solo exposto argiloso, incorporando a influência do período de retorno e o tempo de duração da precipitação.

MATERIAL E MÉTODOS

O parâmetro CN foi estimado usando o método proposto por Chin (2017). A curva da taxa de infiltração de água no solo foi sobreposta aos hietogramas de projeto. O escoamento superficial foi determinado a partir dos valores de intensidade de precipitação e de taxa de infiltração usando o balanço hídrico. Por fim, o parâmetro CN foi estimado a partir do escoamento superficial usando o método SCS (USDA, 1986).

A intensidade de precipitação foi estimada usando a equação de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) da cidade de Pato Branco-PR (REIS, 2017):

$$i = \frac{986,7Tr^{0,1457}}{(td+9,791)^{0,7244}} \quad (1)$$

Onde, i é a intensidade de precipitação (mm/h); Tr é o período de retorno da precipitação (anos) e; td é o tempo de duração da precipitação (minutos).

Os períodos de retorno adotados foram de 2, 10, 25 e 50 anos, e os tempos de duração das chuvas foram de 10, 40, 120 e 180 minutos, pois são valores recomendados para projetos de micro e macrodrenagem pluvial urbana (SÃO PAULO, 2012). A distribuição temporal dos eventos de precipitação foi realizada pelo método de Huff (HUFF, 1967), considerando a probabilidade de ocorrência de 50% (1º quartil). O método de Huff permite extrair porcentagens acumuladas de

altura de chuva a partir de porcentagens acumuladas de duração de chuva. Consideraram-se dez intervalos de tempo em cada evento para a concepção dos hietogramas, havendo um total de 16 eventos de precipitação.

A taxa de infiltração de água no solo ao longo do tempo foi obtida usando o modelo matemático de Horton (HORTON, 1939):

$$f_p = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt} \quad (2)$$

Onde: f_p , f_0 e f_c , são, respectivamente, a taxa de infiltração (mm/min) no tempo t (min), a taxa de infiltração inicial (mm/min) e a taxa de infiltração constante (estável) (mm/min), e k é a constante de decaimento de Horton (1/minutos).

As taxas de infiltração foram determinadas por meio de quatro ensaios de infiltração usando o método dos anéis concêntricos com carga hidráulica variável no anel interno. Os anéis foram cravados em solo exposto a 10 centímetros de profundidade, sendo os diâmetros dos anéis interno e externo iguais a, respectivamente, 30 e 60 cm.

As taxas de infiltração medidas foram ajustadas ao método de Horton usando a ferramenta *curve fitting* do software MatLab®. Assim, o valor de k foi obtido por meio do ajuste não linear da função de Horton. As métricas estatísticas empregadas para verificar a qualidade desse ajuste foram o coeficiente de determinação (R^2) e a Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE). Para calcular o escoamento superficial foi usada uma única curva de taxa de infiltração, com os valores medianos de k e de f_c a partir dos ensaios realizados. É importante mencionar que foi adotada a relação $f_0/f_c = 5$, que representa a condição inicial de umidade típica da maioria dos solos (SINGH, 1992).

A curva mediana de infiltração foi sobreposta aos hietogramas de intensidade de precipitação, conforme o método proposto por Chin (2017). Nesse método, a infiltração acumulada, F (mm), é calculada em cada intervalo de tempo do hietograma, considerando as condições de empoçamento contínuo (Eq. 3) e descontínuo (Eq. 4) desde o tempo inicial, $t = 0$.

$$F = f_c t + \frac{f_0 - f_c}{k} (1 - e^{-kt}) \quad (3)$$

$$F = \left[\frac{f_c}{k} \ln(f_0 - f_c) + \frac{f_0}{k} \right] - \frac{f_c}{k} \ln(f_p - f_c) - \frac{f_p}{k} \quad (4)$$

Com os valores de infiltração acumulada e de altura de precipitação, P (mm), foi obtido o escoamento superficial, Q (mm), com o balanço hídrico simplificado:

$$Q = P - I_a - F \quad (5)$$

Onde I_a é a abstração inicial de água (mm), tomada como igual a água infiltrada antes do início do escoamento. No método SCS a capacidade máxima de retenção de água na bacia, S (mm), após o início do escoamento foi determinada por meio da Eq. (6) (USDA, 1986):

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S}; P \geq I_a \quad (6)$$

O parâmetro Curva Número foi calculado por (USDA, 1986):

$$CN = \frac{25400}{S + 254} \quad (7)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

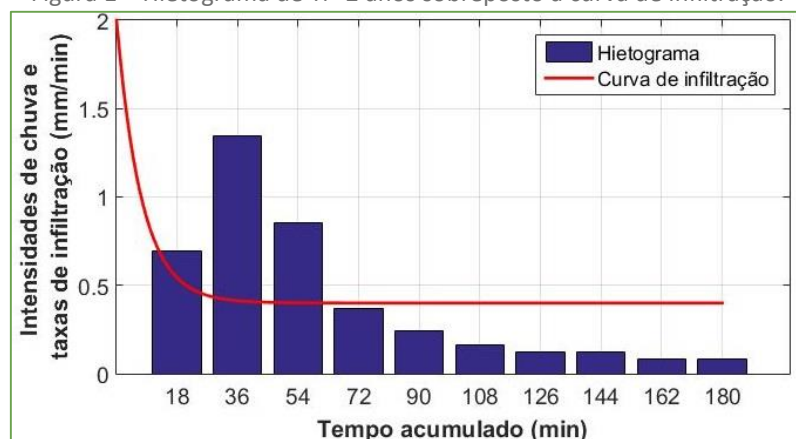
Tabela 1 – Parâmetros do método de Horton ajustado aos dados experimentais.

Ensaio	k (1/min)	f_c (mm/min)	R ²	RMSE (mm/min)
1	0,1606	0,4	0,89	0,40
2	0,3042	0,1	0,88	0,04
3	0,0363	0,4	0,82	0,14
4	0,1076	1,0	0,68	0,30

Fonte: Autoria própria (2019).

A tabela 1 mostra os parâmetros de cada ensaio de infiltração, sendo as medianas de k e f_c iguais a, respectivamente, 0,1341 1/minuto e 0,4 mm/min. O uso da mediana se deu pela variabilidade elevada desses parâmetros, ainda que os valores altos de R² e baixos de RMSE indiquem que o ajuste do modelo de Horton aos dados experimentais foi satisfatório.

Figura 1 – Hietograma de Tr=2 anos sobreposto à curva de infiltração.



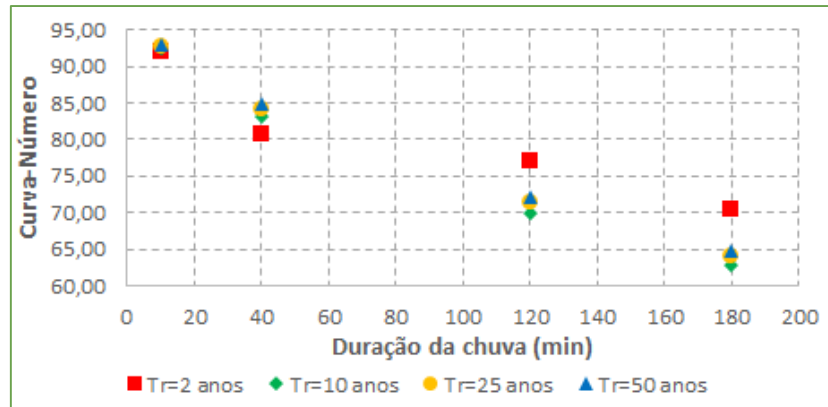
Fonte: Autoria própria (2019).

Na figura 1, a parcela do hietograma que se encontra acima da curva de infiltração gera escoamento superficial, e o que está abaixo resulta em abstração inicial e infiltração acumulada. Dentre todos os eventos de precipitação, a figura 1 apresenta a intensidade de chuva mínima encontrada ($i=24,42$ mm/h, com $Tr=2$ anos e $td=180$ minutos), donde tem-se $P=73,23$ mm, $I_a=12,42$ mm (17% de P), $F=38,76$ mm (52,9% de P) e $Q=22,05$ mm (30,1% de P). Por outro lado, ao analisar a intensidade máxima de precipitação ($i=200,71$ mm/h, com $Tr=50$ anos e $td=10$ minutos), tem-se $P=33,45$ mm, $I_a=0$ mm, $F=12,32$ mm (36,8% de P) e $Q=21,13$ mm (63,2% de P).

Os resultados indicam que o evento de intensidade máxima possui, em porcentagem, um escoamento duas vezes maior que o evento mínimo. A abstração inicial ocorre no evento de mínima intensidade (figura 1) pois a altura precipitada foi baixa em um intervalo de tempo grande (12,45 mm em 18 minutos).

Ressalta-se a importância da distribuição temporal da precipitação para o cálculo do escoamento superficial, já que a intensidade não é constante durante todo o evento de precipitação.

Figura 2 – Curva Número em função da duração da chuva para cada período de retorno.



Fonte: Autoria própria (2019).

A figura 2 mostra que, para $t_d=10$ min, a variação de valores de CN de um período de retorno para outro é baixíssima (mínimo de 92,02 e máximo de 92,87, $\Delta CN=0,85$); já nas outras durações de chuva a variação é maior, notadamente quando $t_d=180$ min. Apesar disso, o CN se mostrou mais sensível à variação da duração da chuva do que à do período de retorno. A máxima variação do CN ao variar-se o período de retorno foi em $t_d=180$ min (CN mínimo de 64,83 e máximo de 70,38, $\Delta CN=5,55$); por outro lado, a máxima variação do CN ao variar-se o tempo de duração foi quando $Tr=10$ anos (CN mínimo de 62,77 e máximo de 92,55, $\Delta CN=29,78$).

CONCLUSÃO

Neste trabalho, estimou-se o escoamento superficial e a Curva Número a partir de hietogramas de precipitação e do modelo de Horton. Concluiu-se que o CN é pouco sensível ao período de retorno da precipitação, mas que a duração de precipitação influencia fortemente os valores de CN. Portanto, os profissionais da Engenharia Hidrológica devem considerar a duração da chuva quando aplicarem o método do SCS. As conclusões desse trabalho são limitadas para locais com solo exposto argiloso (Grupo Hidrológico D) e para eventos de chuva que possam ser representados (temporalmente) usando o método de Huff (1º quartil).

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece à Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Paraná pela concessão de bolsa de iniciação científica – Programa de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC 2018/2019).

REFERÊNCIAS

CHIN, David A. Estimating the Parameters of the Curve Number Model. **Journal Of Hydrologic Engineering**, v. 22, n. 6, p.060170011-060170016, jun. 2017.

GARCEZ, Lucas Nogueira; ALVAREZ, Guillermo Acosta. **Hidrologia**. 2. ed. São Paulo, SP: Egard Blucher Ltda., 1988. 291 p.

HORTON, R. E. Analysis for runoff-plat experiments with varying infiltration-capacity. **Transactions American Geophysical Union**, v. 20, n. 4, p. 693 – 711, 1939.

HUFF, F. A. Time Distribution Rainall in Heavy Storms. **Water Resources Research**, v. 5, n. 3, p.1007-1019, 1967.

LAL, Mohan et al. Evaluation of the Soil Conservation Service curve number methodology using data from agricultural plots. **Hydrogeology Journal**, v. 25, n. 1, p.151-167, 26 ago. 2016.

REIS, Daniel Luz dos. **Avaliação do desempenho de equações IDF a partir de dados de precipitação de sensoriamento remoto (TMPA-V7)**. 2017. 66 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2017. Disponível: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/8609>. Acesso: 12 ago. 2019.

SÃO PAULO. **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: aspectos tecnológicos, fundamentos**, ed. SMdDU (SMDU), São Paulo, p. 220, 2012.

SINGH, Vijay P. **Elementary Hydrology**. Upper Saddle River, NJ: Prentice-hall, 1992. 973 p.

SOULIS, K. X. et al. Investigation of the direct runoff generation mechanism for the analysis of the SCS-CN method applicability to a partial area experimental watershed. **Hydrology And Earth System Sciences**, v. 13, n. 5, p.605-615, 15 maio 2009.

TEDELA, Negussie H. et al. Runoff Curve Numbers for 10 Small Forested Watersheds in the Mountains of the Eastern United States. **Journal Of Hydrologic Engineering**, [s.l.], v. 17, n. 11, p.1188-1198, nov. 2012.

TUCCI, Carlos E.M. **Gerenciamento integrado das inundações urbanas no Brasil**. Gestão de Água da América Latina, v. 1, n. 1, p.59-73, jan-jun. 2004.

USDA - United States Department of Agriculture. Urban hydrology for small watersheds. Technical release, n. 55 (TR-55). Washington, DC: **USDA Natural Resources Conservation Service**, 1986.