

Calibração do modelo Curva-Número para simulação do escoamento superficial em parcelas experimentais**Curve-Number model calibration for surface runoff simulation in plots**

DOI: 10.34188/bjaerv3n3-072

Recebimento dos originais: 20/05/2020

Aceitação para publicação: 20/06/2020

Alan Ébano de Oliveira

Mestre em Ciência do Solo pela Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

Instituição: Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

Endereço: Avenida Roraima, nº 1000, CCR, Prédio 42, Sala 3308 - Bairro Camobi, Santa Maria – RS, Brasil – CEP: 97.105-900

E-mail: alanebano.oliveir@hotmail.com

Anderson Zwirtes

Doutor em Ciência do Solo pela Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

Instituição: Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

Endereço: Avenida Roraima, nº 1000 - Bairro Camobi, Santa Maria – RS, Brasil – CEP: 97.105-900

E-mail: andersonzwirtes@yahoo.com.br

Gabriel Oladele Awe

Doutor em Ciência do Solo pela Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

Instituição: Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

Endereço: Avenida Roraima, nº 1000- Bairro Camobi, Santa Maria – RS, Brasil – CEP: 97.105-900

E-mail: gabrielolaawe@yahoo.com.br

Paulo Ivonir Gubiani

Doutor em Ciência do Solo pela Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

Instituição: Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

Endereço: Avenida Roraima, nº 1000 - Bairro Camobi, Santa Maria – RS, Brasil – CEP: 97.105-900

E-mail: paulogubiani@gmail.com

RESUMO

A modelagem hidrológica contribui para o conhecimento de processos que afetam a disponibilidade de recursos hídricos às atividades humanas. O modelo da Curva-Número (CN) é um modelo empírico amplamente usado para simulação do escoamento superficial em bacias hidrográficas, porém, exige ajustes em seus parâmetros que o tornem mais representativo do processo. O objetivo deste trabalho é verificar qual o melhor valor do parâmetro CN para a simulação do escoamento em parcelas. Foram realizadas medições de escoamento acumulado diário em seis parcelas de 15 m por 3,5 m, de 32 eventos entre outubro de 2013 e agosto de 2014. A precipitação diária foi determinada junto ao experimento e utilizada como variável de entrada no modelo. As simulações foram realizadas utilizando planilha eletrônica, ajustando o valor médio do parâmetro CN de acordo com a precipitação acumulada nos cinco dias anteriores, por meio de equações em código de VBA. A análise de desempenho do modelo consistiu na determinação do índice NSE, que indica a acurácia dos dados simulados em relação aos observados. O melhor valor médio de CN, que proporcionou maior índice

NSE, foi de 74, porém o desempenho do modelo não foi satisfatório para as condições avaliadas. Portanto, é necessário realizar o ajuste dos parâmetros do modelo às propriedades do solo, utilizando métodos ou modelos de determinação dos parâmetros, que se relacionem fisicamente com o processo.

Palavras-chave: hidrologia, escoamento, avaliação estatística, NSE.

ABSTRACT

The hydrological modeling contributes to knowledge of processes that affect availability of water resources for human activities. The Curve-Number (CN) model is an empirical model widely used to simulation of surface runoff on watersheds, however need adjustments in its parameters that become them more representative of process. The aim of this paper was verify what is it better value of CN parameter for simulation of runoff in plots. Were realized measures of daily cumulative runoff on six plots of 15 m by 3,5 m, from 32 rainfall events between October 2013 and August 2014. The daily rainfall was determined near to experiment and used how input variable in model. The simulations were realized using Microsoft Office Excel worksheet, adjusting the average value of CN parameter accord with cumulative rainfall in previous five days, by equations inserted in Visual Basic Applications (VBA) code. The analysis of model performance consisted on ascertainment of Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) index, that indicate the accuracy of simulated data compared with observed data. The better average value of CN parameter, that provided major NSE index, was of 74, however the model performance were not satisfactory for evaluated conditions. Therefore, is necessary realizing adjustment of model parameters to the soil properties, using methods or other models to ascertainment of parameters, that related physically with process.

Keywords: hydrology, runoff, statistical evaluation, Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)

1 INTRODUÇÃO

Entre os processos que compõe o ciclo hidrológico, a infiltração e o escoamento superficial exercem impacto significativo nas atividades humanas. A infiltração propicia o fornecimento de água ao solo e aos aquíferos subterrâneos, que suprem a produção vegetal e o abastecimento de água potável, respectivamente (Tucci, 1993). Já o escoamento superficial é o principal responsável pela erosão hídrica, que causa prejuízos tanto na escala de lavoura quanto na de bacia hidrográfica, pela ocorrência de enchentes e de poluição hídrica (Morgan, 2005).

A ocorrência do escoamento superficial pode ser simulada por diversos modelos, muitos dos quais são baseados em relações empíricas de pares de dados de chuva e de escoamento em bacias hidrográficas. O modelo da Curva-Número (CN), desenvolvido pelo Soil Conservation Service, baseia-se na relação entre a precipitação acumulada (P) e o escoamento superficial acumulado (Q), com a razão entre a infiltração e o escoamento da bacia (USDA-NRCS, 2007). Para isso consideram-se dois parâmetros, as perdas iniciais (I_a) e o armazenamento do solo (S). As perdas iniciais equivalem a 20 % do armazenamento do solo para condições médias (Tucci, 1993).

A capacidade de armazenamento do solo é determinada a partir de uma escala, cujo indicador é o parâmetro CN. Este parâmetro é classificado de acordo com o tipo e uso do solo, sendo seu valor

ajustado à condição de umidade antecedente (AMC) ao dia para o qual se quer determinar o escoamento pelo modelo. Para definição desta condição leva-se em conta a precipitação ocorrida nos cinco dias anteriores.

O modelo CN é recomendado principalmente para a modelagem hidrológica de pequenas bacias, já que foi desenvolvido para simular hidrogramas de cheias em projetos de obras hidráulicas. Apesar disso ele tem sido utilizado com sucesso para a modelagem do escoamento em diferentes escalas, desde médias bacias (Williams et al., 2012) até lavouras e parcelas (Carlesso et al., 2011).

A necessidade de ajustes deste modelo deve ser levada em conta na simulação do escoamento pelo modelo CN, pelo fato de o modelo ser empírico, ou seja, se baseia em apenas um parâmetro que integra os condicionantes físicos do processo de escoamento. As técnicas de avaliação de modelos são ferramentas úteis para a decisão de ajustar ou não um modelo, devendo ser utilizadas aquelas que melhor refletem a diferença entre um valor observado e um valor estimado para a mesma condição (Moriassi et al., 2007).

Este trabalho teve por objetivo verificar qual o melhor valor de CN para simular o escoamento superficial diário em pequenas parcelas de solo utilizado com culturas anuais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido sobre um experimento situado na área experimental do Departamento de Solos da UFSM, em Santa Maria. O solo da área do experimento é um Argissolo Vermelho, com textura franco-arenosa. Este experimento foi instalado pelo grupo de Pesquisa em Biotransformações de Carbono e Nitrogênio (Labcen), sendo constituído por 24 parcelas com 15 m de comprimento por 3,5 m de largura, delimitadas por chapas metálicas de 0,3 m de altura e inseridas 0,1 m no solo. As parcelas apresentam declividade média de 5 % e possuem na parte inferior calhas coletoras de escoamento que o conduzem até caixas d'água com capacidade de 1000 L. Até outubro de 2013 e a partir de maio de 2014 a área foi cultivada com aveia, e entre novembro de 2013 e abril de 2014, foi cultivado milho.

Em seis das 24 parcelas foi determinado o escoamento superficial acumulado de 32 eventos de chuva no período compreendido entre 21/10/2013 e 01/08/2014, por medição do volume de água acumulado dentro das caixas. Esses dados foram determinados aproximadamente às 9:00 do dia seguinte ao qual o evento foi considerado, a fim de coincidir com a determinação da precipitação acumulada diária. A precipitação acumulada diária foi obtida por meio de um pluviômetro, instalado junto ao experimento, e, de um pluviógrafo automático, instalado a 400 m do experimento.

A estimativa do escoamento diário pelo modelo CN foi realizada com a utilização de uma

planilha de Excel com códigos desenvolvidos em Visual Basic for Applications, utilizando as equações descritas em USDA-NRCS (2007). De acordo com a metodologia descrita, o solo foi enquadrado no grupo hidrológico C, por apresentar condutividade hidráulica do solo saturado na camada menos permeável dentro de 50 cm da superfície (26,97 mm h⁻¹, 24,61 mm h⁻¹ e 16,83 mm h⁻¹ na área avaliada) dentro do intervalo estabelecido para essa classe (3,56 mm h⁻¹ a 36,07 mm h⁻¹). Os valores de escoamento simulado foram calculados a partir de valores médios de CN (CNII) de 74 até 81, valores estes definidos em função dos cultivos feitos nas parcelas durante o período de avaliação (USDA - NRCS, 2007).

O ajuste do parâmetro CN à condição antecedente de umidade (CNI e CNIII) considerou a precipitação acumulada nos 5 dias anteriores (P5), ajustando o valor médio por meio das equações utilizadas por Gubiani (2012). Para alguns eventos ocorridos no período de avaliação não foi possível a determinação do escoamento acumulado das parcelas, pois o volume escoado foi superior a capacidade das caixas, transbordando-as e impedindo a determinação da lâmina escoada total. Entretanto os totais precipitados nesses eventos também foram incluídos na simulação do modelo, sendo representados pela variável P5.

Os dados foram submetidos à análise de acurácia do modelo, por meio de índices estatísticos de comparação entre dados medidos e dados simulados pelo modelo. Foi utilizado o índice de eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE), descrito em Moriasi et al. (2007), e calculado para cada parcela, utilizando apenas uma série de dados simulados comparada a seis séries de dados observados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na **tabela 1** apresentam-se os dados dos 32 eventos de chuva e escoamento monitorados, com suas respectivas datas.

Tabela 1. Eventos de precipitação (Prec) e seus respectivos escoamentos superficiais observados (EObs) e simulados (ESim) no período de 21/10/2013 a 01/08/2014, em seis parcelas (números acompanhando as siglas).

Data	Prec	EObs1	EObs2	EObs3	EObs4	EObs5	EObs6	ESim	AMC ⁽²⁾ (P5)
-----mm-----									(mm)
23/10/2013	15,42	0,034	0,005	0,004	0,012	0,038	0,000	1,30	III(54,86)
26/10/2013	21,64	0,305	0,135	0,013	0,095	0,267	0,000	0,00	I(19,18)
15/11/2014	38,05	---	0,251	0,135	---	---	0,005	13,42	III(195,09)
19/11/2014	38,55	---	1,977	0,959	---	---	0,062	3,90	II(38,05)
01/12/2014	11,44	---	0,025	0,011	---	---	---	0,00	I(4,28)
04/12/2014	11,84	---	0,000	0,005	0,001	0,003	0,001	0,00	I(11,44)
09/12/2013	29,59	0,871	0,064	0,007	0,010	---	0,003	0,00	I(12,08)
13/12/2013	28,25	---	---	0,010	0,116	---	0,031	0,00	I(30,94)
10/01/2014	41,26	1,361	0,338	0,013	0,030	---	0,088	0,00	I(9,18)
11/01/2014	16,21	0,303	0,291	0,061	0,176	0,600	0,031	0,00	II(50,43)
14/01/2014	28,85	8,751	3,699	1,724	---	---	0,252	7,53	III(60,58)
26/02/2014	37,80	---	0,078	0,004	0,120	0,540	0,001	0,00	I(11,57)
03/03/2014	24,87	0,567	0,124	0,011	0,073	0,229	0,045	0,51	II(39,32)
14/03/2014	34,07	0,591	0,376	0,177	0,322	0,606	0,198	0,00	I(0)
30/03/2014	34,45	17,067	16,743	12,667	7,227	15,339	5,771	0,00	I(31,08)
08/04/2014	18,65	0,090	0,003	0,002	0,001	0,010	0,017	0,00	I(0)
11/04/2014	27,17	8,635	6,625	1,512	2,220	6,505	0,038	0,00	I(25,75)
18/04/2014	45,51	17,036	16,255	11,041	8,459	16,237	4,697	0,00	I(2,33)
03/05/2014	43,69	6,679	2,316	0,381	1,078	1,799	0,085	0,01	I(6,62)
15/05/2014	20,14	1,397	0,048	0,001	0,067	0,164	0,060	0,00	I(0)
21/05/2014	35,91	10,835	4,724	0,664	1,068	6,259	0,005	0,00	I(0)
04/06/2014	19,70	3,745	1,779	0,264	0,904	2,116	0,004	2,87	III(70,09)
13/06/2014	25,66	11,467	8,265	3,325	3,304	6,918	0,120	0,00	I(11,14)
24/06/2014	24,94	16,285	15,555	7,413	5,889	12,365	1,740	0,00	I(18,16)
02/07/2014	15,62	3,611	1,916	0,230	0,771	1,965	0,032	1,36	III(166,02)
03/07/2014	40,68	---	---	---	11,837	---	7,826	15,26	III(169,12)
05/07/2014	28,95	9,191	7,367	3,195	2,475	8,683	0,073	7,59	III(57,00)
17/07/2014	26,77	2,518	0,532	0,037	0,190	0,361	0,055	0,00	I(0)
22/04/2014	73,87	17,113	16,693	17,124	12,470	14,945	6,943	4,04	I(27,37)
23/07/2014	46,96	---	---	16,538	13,554	14,919	15,240	19,87	III(74,45)
01/08/2014	15,15	1,331	0,111	0,050	0,092	0,057	0,010	0,00	I(2,75)

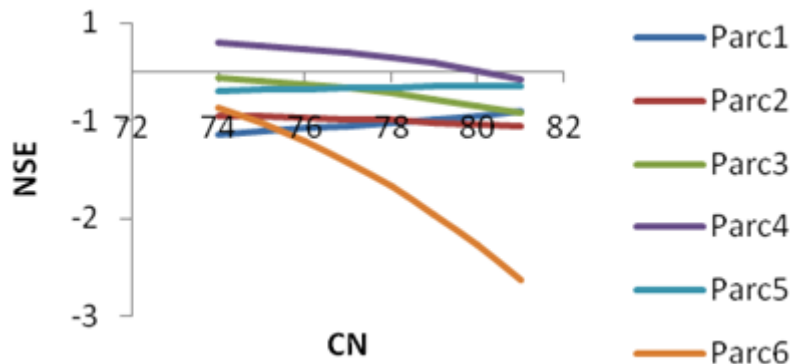
¹Valores da condição de umidade antecedente (AMC) foram estimados de acordo com o método CN.

²Condição antecedente de umidade de acordo com a precipitação ocorrida nos últimos 5 dias: AMC I = P5 < 36 mm; AMC II = 36 mm < P5 < 53 mm; e AMC III = P5 > 53 mm.

Os índices NSE calculados para todas as parcelas variaram de -2,14 até 0,29, sendo os valores maiores que 0 indicadores de um desempenho aceitável do modelo (Moriassi et al., 2007). Apenas para a parcela 4 (Parc4) o modelo apresentou desempenho aceitável na simulação doseventos em conjunto (**Figura 1**). Por ser um modelo empírico, a Curva-Número não inclui efeitos das práticas de manejo do solo, necessitando de ajustes para resultados satisfatórios (Carlesso et al., 2011). Considerando os limites de CN avaliados, verifica-se que o melhor valor de CN para a maioria das parcelas foi 74, haja visto que o valor do índice NSE decresceu com o aumento de CN nas parcelas 2, 3, 4 e 6. Apenas as parcelas 1 e 2 apresentaram ligeira elevação no índice NSE com o aumento do CN, porém, sem atingir um desempenho aceitável de acordo com o índice.

Esses resultados refletem a necessidade de levar em conta as características do solo na simulação do escoamento na bacia, o que pode ser feito pela substituição do modelo CN por um modelo de base física, ou pela inserção de um modelo de base física dentro do modelo CN, como feito por Grimaldi et al., (2013), que modelaram a infiltração por meio do modelo Green-Ampt para definir a lâmina de água armazenada no solo necessária ao modelo CN.

Figura 1 – Índice NSE para o modelo da Curva-Número nas seis parcelas (Parc) em função do parâmetro CN.



4 CONCLUSÕES

O melhor valor do parâmetro CN para simular o escoamento superficial diário na maioria das parcelas foi 74. Entretanto, de acordo com o índice NSE, em apenas uma parcela o modelo foi capaz de fornecer estimativas satisfatórias do escoamento superficial. Para obtenção de resultados satisfatório modelo CN requer ajustes de parâmetros.

REFERÊNCIAS

CARLESSO, R.; SPOHR, R. B.; ELTZ, F. L. F.; FLORES, C. H. Runoff estimation in Southern Brazil based on Smith's modified model and the Curve Number method. *Agricultural Water Management*, 98: 1020-1026, 2011.

GRIMALDI, S.; PETROSELLI, A.; ROMANO, N. Green-Ampt Curve-Number mixed procedure as an empirical tool for rainfall-runoff modelling in small and ungauged basins. *Hydrological processes*, 27: 1253-1264, 2013.

GUBIANI, P. I. Regularidade da resposta da cultura do milho à compactação do solo. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2012. 152 f. (Tese de Doutorado)

MORGAN, R. P. C. Soil erosion and conservation. 3rd ed., Oxford, Blackwell publishing, 2005. 303 p.

MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; VAN LIEW, M. W.; BINGNER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. L. Model evaluation for guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3): 885-900, 2007.

TUCCI, C. E. M. (org.). Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre, Ed. da Universidade, 1993. 943 p.

USDA - NRCS (United States Department of Agriculture-Natural Resources Conservation Service), National Engineering Handbook: Part 630 Hydrology Soil Groups. USDA NRCS, Washington, 2007.

WILLIAMS, J. R.; KANNAN, N.; WANG, X.; SANTHI, C. ARNOLD, J. G. Evolution of the SCS Runoff Curve Number Method and Its Application to continuous runoff simulation. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17:1221-1229, 2012.