

## APLICABILIDADE DO MÉTODO CN-SCS A UMA BACIA HIDROGRÁFICA REPRESENTATIVA DOS LATOSSOLOS NO SUL DE MG

GEOVANE JUNQUEIRA ALVES<sup>1</sup>, NAYARA PAULA ANDRADE VIEIRA<sup>2</sup>,  
CARLOS ROGÉRIO DE MELLO<sup>3</sup>, JOSÉ ALVES JUNQUEIRA JUNIOR<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Engenheiro Agrícola, Doutorando em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, UFLA, geovane@agricola.eng.br.

<sup>2</sup> Agrônoma, Doutoranda em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, UFLA, nayara\_pav@hotmail.com.

<sup>3</sup> Engenheiro Agrícola, Professor Associado, UFLA, Departamento de Engenharia, crmello@deg.ufla.br.

<sup>4</sup> Engenheiro Agrícola, Professor do Ensino Técnico e Tecnológico, IFSudesteMG, jose.junqueira@ifsudestemg.edu.br.

Apresentado no  
XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2017  
30 de julho a 03 de agosto de 2017 - Maceió - AL, Brasil

**RESUMO:** O Método CN-SCS é um modelo chuva-deflúvio que consiste na aproximação empírica entre um dado evento de chuva e as condições de superfície da bacia hidrográfica para o cálculo do escoamento superficial direto (Q). O objetivo deste trabalho foi avaliar os valores de Q estimados para uma bacia inserida na região do Alto Rio Grande, através da aplicação do método CN-SCS em que os valores de CN foram determinados com base em 166 eventos observados. A metodologia consistiu em ordenar os eventos de forma decrescente e independente, em que, após alguns ajustes com base no método dos quadrados mínimos, foi possível obter uma equação de CN em função da precipitação. A equação de CN gerada, mostrou ser de grande valia na aplicabilidade do método, com valores do coeficiente de Nash-Sutcliffe ( $C_{NS}$ ) iguais a 0,53 e 0,69 para  $\lambda = 0,2$  e  $0,02$ , respectivamente. Já para a aplicação de um único valor de CN obtido através da combinação do mapa de uso e classe do solo, o  $C_{NS}$  obtido foi de -0,87. Este resultado mostra que não é adequado aplicar um valor único de CN para o cálculo de Q para qualquer evento de precipitação, mesmo considerando a condição de umidade antecedente a cada evento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Escoamento Superficial Direto, Método CN-SCS, Abstração Inicial

## APPLICABILITY OF THE CN-SCS METHOD AT A WATERSHED REPRESENTATIVE OF THE OXISOLS IN SOUTHERN MINAS GERAIS

**ABSTRACT:** The CN-SCS (Curve Number - Soil Conservation Service) method is a rainfall-runoff model that considers an empirical approximation between a given rainfall event and the surface conditions of a hydrologic unit to estimate the direct surface runoff (Q). The objective of this study was to evaluate the estimated Q values at a watershed located in the Upper Grande River region using the CN-SCS method. For that, 166 rainfall-runoff events were taken into consideration. The methodology consisted in ordering the events in a decreasing and independent way, in which, after some adjustments based on the minimum squares method, it was possible to obtain an equation of CN as a function of the precipitation. The equation obtained showed to be useful for the applicability of CN method, with Nash-Sutcliffe coefficient ( $C_{NS}$ ) equals to 0.53 and 0.69 for  $\lambda = 0,2$  and  $0,02$ , respectively. For the applicability for the CN value based just on the combination between the use and soil classes maps, the  $C_{NS}$  values was of -0.87. The results showed that CN determination based only in land use and soil classes maps did not show good results, even considering the 3 soil moisture antecedent conditions.

**KEYWORDS:** Direct surface runoff, CN-SCS Method, Initial abstraction

## INTRODUÇÃO

O escoamento superficial direto ou deflúvio superficial é uma das fases terrestre do ciclo hidrológico, e sua estimativa é um dos mais importantes problemas enfrentados pela hidrologia aplicada. Sendo assim, simples métodos para sua predição em bacias hidrográficas, através do uso de variáveis conhecidas, tais como precipitação, mapas de uso e classe de solo, são extremamente importantes no que se diz respeito à elaboração de projetos hidráulicos para contenção e controle de cheias, assim como no cálculo do balanço hídrico.

Dentre os vários métodos existentes para a estimativa do escoamento superficial direto, o método CN, desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos (CN-SCS), atualmente chamado de Serviço de Conservação dos Recursos Naturais (NRCS), é hoje uma das técnicas mais aplicadas (MISHRA; SINGH, 2003, 2006, AJMAL et al. 2015), devido principalmente à sua simplicidade, e por isso tem evoluído para além de seu escopo, sendo integrado em modelos de simulação hidrológica (SOULIS; VALIANTZAS, 2012).

O Método CN-SCS é um modelo chuva-deflúvio que consiste numa aproximação empírica entre um dado evento de chuva e as condições de superfície da bacia para estimativa do deflúvio superficial (Q). Sua estrutura tem sido documentada em detalhes no National Engineering Handbook seção 4 (NEH-4) (SCS, 1956, 1964, 1971, 1985, 1993, 2004) e por vários estudos relacionados. A Equação 1, muito difundida, descreve o método CN-SCS (USBR, 1977):

$$Q = \frac{(P - Ia)^2}{P - Ia + S} \quad (1)$$

em que Q é o deflúvio superficial (mm), P é a precipitação total do evento (mm), Ia é a abstração inicial da precipitação (mm), e S é o armazenamento potencial de água no solo (mm).

A relação entre Ia e S também é preconizada pelo método como:

$$\lambda = \frac{Ia}{S} \quad (2)$$

sendo  $\lambda$  uma constante de proporcionalidade entre a abstração inicial da precipitação e o armazenamento potencial de água no solo. Originalmente, o método considera  $\lambda = 0,2$ .

O parâmetro S é associado ao valor de CN por:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad 0 < CN \leq 100 \quad (3)$$

em que CN é o valor obtido pela tabela do NRCS, considerando, par tanto, a condição II de umidade antecedente.

Para a aplicação do método CN-SCS, os solos devem ser agrupados em quatro categorias, sendo: Grupo A os solos que produzem baixo escoamento e alta infiltração; Grupo B, solos menos permeáveis do que os do grupo A, apresentando maior potencial para geração de deflúvio; Grupo C, solos com baixa permeabilidade superficial e baixa resistência à erosão; Grupo D, são solos poucos profundos, com baixa capacidade de infiltração e presença de argilas expansivas, tendo assim uma alta capacidade para geração de deflúvio.

Muitos trabalhos têm sido elaborados para a melhoria do método, tais como Mishra e Singh (2003), Jain et al. (2006), Soulis e Valiantzas (2012) e Ajmal e Kim (2014). Vários estudos elaborados em diferentes partes do globo, o valor de  $\lambda$  tem sido menor que 0,05, e este valor tem sido mais eficiente na estimativa de Q do que o valor proposto inicialmente de 0,2 (WOODWARD et al., 2003; D'ASARO; GRILLONE, 2014; YUAN et al., 2014). Além

desta consideração sobre os valores de  $\lambda$ , a acurácia da determinação dos valores de CN é extremamente importante na aplicação do método.

Sendo assim, a aplicação de ferramentas que auxiliam no processo de determinação do CN, e, portanto, melhoram a estimativa do deflúvio superficial, é de primordial importância para a aplicabilidade deste método, destacando-se como exemplo, o uso de técnicas de geoprocessamento e o cálculo de CN através de eventos chuva-deflúvio observados, visto que a aplicação do método CN-SCS considerando os parâmetros das documentações originais descritas no NEH-4, podem resultar em erros significativos na estimativa de Q (MISHRA; SINGH, 2003; AJMAL; KIM, 2014, JEON et al. 2014).

Diante do exposto, objetiva-se neste trabalho, aplicar dois métodos para caracterização dos valores de CN em escala de bacia hidrográfica, assim como do comportamento do parâmetro  $\lambda$ , tendo-se como base 166 eventos chuva-deflúvio observados.

## MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido na bacia hidrográfica do ribeirão Jaguara (BHRJ), que possui área de 33,12 km<sup>2</sup>, e é representativa dos Latossolos na região sul do estado de Minas Gerais. Nesta bacia hidrográfica, o clima, a hidrologia e os solos vem sendo monitorados desde 2006. Na Figura 1, apresenta-se a localização geográfica da mesma, bem como sua curva-chave ajustada com base em dados de observação direta da vazão.

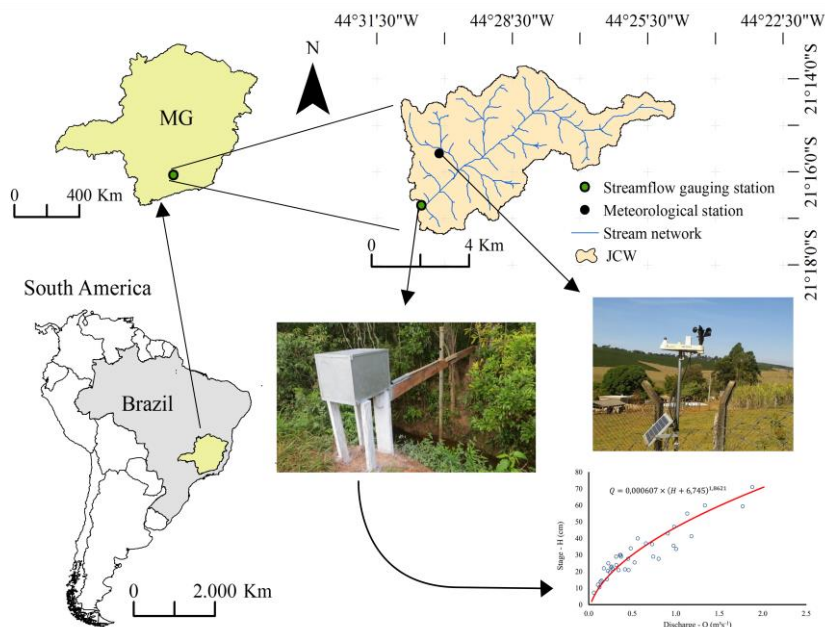


FIGURA 1. Localização da BHRJ e sua curva-chave.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima é caracterizado como Cwa, tendo como características verões quentes e úmidos e invernos frios e secos (MELLO et al., 2008). O regime pluvial é caracterizado pela concentração da precipitação durante a primavera e o verão (outubro a março), com uma média de precipitação anual de 1.542 mm para os 10 anos de dados observados.

Para o mapeamento do uso e ocupação do solo foram utilizadas imagens orbitais do satélite RAPIDEYE de 2014, com resolução espacial de 5 metros, sendo que as classes utilizadas na classificação do uso do solo foram: área urbana, pastagem, vegetação nativa (floresta), solo exposto, agricultura e eucalipto.

Observa-se que a BHRJ apresentou como característica marcante o desenvolvimento de

atividades agropecuárias, onde se verifica o predomínio da pecuária extensiva, que é representada pela presença de pastagens (38,5%); agricultura, principalmente a cultura do milho e do trigo (30,9%); e eucalipto (10,3%); ou seja, 79,7% de toda a área da BHRJ é gerida por atividades relacionadas a agropecuária. Os outros 20,3% estão distribuídos entre solo exposto, que está presente em 4,9% de toda a área, floresta nativa (15,1%), e área urbana com 0,3%. O mapa de uso do solo está representado na Figura 2a.

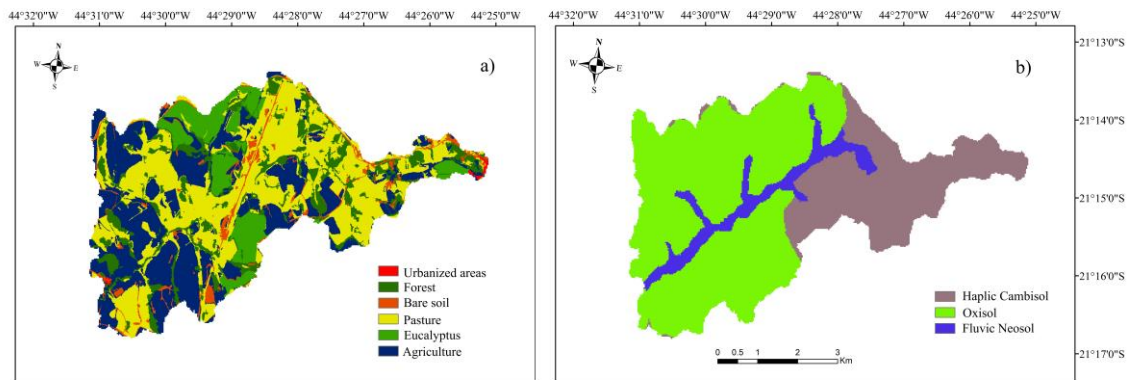


FIGURA 2. Distribuição do uso (a) e classes de solo (b) na BHRJ.

A classe de solos predominante é a dos Latossolos que ocupam uma área de 61,8% da bacia, com destaque para o Latossolo Vermelho Distrófico Típico e Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico Típico. A concentração de argila e a alta porosidade são características marcantes destes solos, os quais foram observados em áreas com declividades inferiores a 18% (ARAÚJO, 2006) (Figura 2b).

O Cambissolo Háptico Tb Distrófico ocupa uma área de 29,8% da bacia, e se encontra predominantemente na cabeceira. Estes solos têm como características peculiares a sua localização em áreas mais movimentadas do relevo, e apresentam maiores concentrações de silte e baixa profundidade. Pode-se observar pelas Figuras 2a e 2b que esses solos não estão ocupados por uma cobertura vegetal consistente, sendo, normalmente de pastagens extensivas, com exposição considerável do solo (ANDRADE et al., 2013).

O Neossolo Flúvico ocupa 8,4% da área total da bacia, estando localizado ao longo das principais redes de drenagem.

Os monitoramentos hidrológico e meteorológico na BHRJ foram conduzidos de 2006 a 2016, com a separação de 166 eventos chuva-deflúvio. As vazões foram monitoradas a partir da seção de controle constituída por um linógrafo automático, e respectiva curva-chave (Figura 1), para posterior transformação da lâmina observada em vazão. Os dados climáticos foram obtidos a partir de uma estação compacta automática da marca Campbell, modelo “WeatherHawk” (Figura 1). Ambos os dados aplicados ao estudo (chuva e vazão) foram registrados em intervalos de 30 minutos.

Para a escolha dos eventos, dois aspectos foram levados em consideração: precipitação maior ou igual a 10 mm, para eventos separados com pelo menos 6 horas (SOULIS; VALIANTZAS, 2013); e, considerou-se a forma com que a hidrógrafa se apresentou, sendo escolhidas aquelas nas quais o comportamento do deflúvio superficial pôde ser devidamente captado, com os parâmetros tempo de ascensão e recessão bem evidentes, assim como a vazão de pico.

O deflúvio superficial pode ser separado através de vários procedimentos, sendo mais usados aqueles baseados nas inflexões A e C da hidrógrafa, onde modela-se o escoamento subterrâneo com base no modelo de Maillet, que consiste em um decaimento exponencial para identificação da inflexão C.

A variável  $I_a$ , de acordo com Mishra e Singh (2003), é definida como sendo o total

precipitado entre o início da precipitação e o início do deflúvio superficial (Q). Com Q previamente determinado pela separação no hidrograma, determina-se a parcela do hietograma que teoricamente foi convertida em deflúvio. A partir daí, verifica-se o início do escoamento superficial direto, e por definição, toda precipitação ocorrida antes deste, é considerada abstração inicial.

Com todos os parâmetros previamente definidos, parte-se agora para a determinação dos valores de CN propriamente dito.

O primeiro método de determinação do CN é baseado na aplicação direta das tabelas do NEH-4 com base nas características da BHRJ (classe, uso do solo, e condições de umidade antecedente), conforme proposto originalmente pelo NRCS. Com o auxílio do ArcGIS, estes valores foram espacializados, onde foi possível obter um valor médio para toda a bacia. Posteriormente, este valor é utilizado para o cálculo do deflúvio superficial gerado para cada precipitação (Equação 1), considerando  $\lambda = 0,2$ .

Inicialmente foi realizada a classificação hidrológica dos solos onde, o Latossolo e o Cambissolo foram enquadrados nos grupos A e C, respectivamente. O Neossolo Flúvico foi enquadrado no Grupo C, conforme descrito por Sartori (2004).

O NRCS definiu ainda as condições de umidade antecedente do solo (AMC I, II ou III) com base na precipitação total ocorrida nos 5 dias antecedentes ao evento. Como as tabelas apresentam valores referentes à condição de umidade II, é possível estimar os valores de CN para as condições I e III, com base nas seguintes equações:

$$CN_I = \frac{4.2CN_{II}}{(10 - 0.058CN_{II})} \quad (4)$$

$$CN_{III} = \frac{23CN_{II}}{(10 + 0.13CN_{II})} \quad (5)$$

A obtenção de um único valor de CN representativo para toda a bacia foi feito através da média ponderada da área associada a cada valor de CN e com a aplicação das equações 4 e 5, foram obtidos os valores de CN para as condições I e III de umidade, respectivamente.

A segunda metodologia de determinação do CN se baseou nos eventos chuva-deflúvio observados, porém, com o deflúvio superficial (Q) e a precipitação (P), classificados em ordem decrescente e de forma independente, considerando sempre o mesmo período de retorno dos dados conforme descrito por Hawkins (1993).

Após separar P e Q e classificá-los em ordem decrescente individualmente, calculou-se os valores de CN para os pares de P e Q formados através da Equação 6, para qualquer valor de  $\lambda$  considerado, 0,2; e 0,02, sendo este último estimado através da média do valor de  $\lambda$  obtido para cada um dos 166 eventos.

$$CN = \frac{25400}{\frac{P}{\lambda} + \left( \frac{(1-\lambda)Q - \sqrt{(1-\lambda)^2Q^2 + 4\lambda PQ}}{2\lambda^2} \right) + 254} \quad (6)$$

Observa-se que, no caso exposto acima, o valor de CN varia com a precipitação, logo, a seguinte equação foi elaborada por Hawkins (1993) para ajustar o valor de CN em função de P, considerando, para tanto, o comportamento padrão “standard behaviour”:

$$CN(P) = CN_{\infty} + (100 - CN_{\infty}) \exp(-\mu_1 P) \quad (7)$$

sendo  $CN_{\infty}$  = valor constante de CN aproximado quando P tende ao infinito, P é a precipitação, e  $\mu_1$  é o valor de coeficiente ajustado pelo método dos quadrados mínimos.

A vantagem desta metodologia é que ela não atribui um único valor de CN para toda a bacia, uma vez que o valor a ser considerado na estimativa de Q é função da precipitação que o originou. Todavia, este método não considera a umidade antecedente, uma vez que seu ajuste é feito após o ordenamento dos dados de Q e P de forma independente.

Para avaliar quais dos métodos de determinação do CN produziram melhores resultados, duas estatísticas de precisão foram aplicadas, baseando-se nos valores estimados e observados do deflúvio superficial (Q) para cada um dos 166 eventos.

O coeficiente de Eficiência de Nash-Sutcliffe ( $C_{NS}$ ) (NASH; SUTCLIFFE, 1970), que é considerado a principal estatística de precisão aplicada a modelos hidrológicos:

$$C_{NS} = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Q_0 - Q_c)_i^2}{\sum_{i=1}^n (Q_0 - \bar{Q}_0)_i^2} \right] \quad (8)$$

em que,  $\bar{Q}_0$  representa a média do deflúvio superficial observado (mm);  $Q_0$  representa o deflúvio observado para o evento i (mm);  $Q_c$  representa o deflúvio superficial estimado para o evento i (mm).

O valor de  $C_{NS}$  varia de  $-\infty$  até 1. Moriasi et al. (2007) sugerem a seguinte classificação para esse coeficiente:  $C_{NS} \geq 0,65$ , muito bom;  $0,54 \leq C_{NS} < 0,65$ , bom;  $0,50 \leq C_{NS} < 0,54$ , satisfatório. Valores de  $C_{NS}$  inferiores a 0,50, foram considerados como ajustes insatisfatórios.

O  $P_{bias}$  mede a tendência das estimativas, e é calculado por:

$$P_{bias} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Q_0 - Q_c)_i}{\sum_{i=1}^n (Q_0)_i} \right] \times 100 \quad (9)$$

Valores próximos a zero indicam um modelo sem tendência, sendo que os valores negativos indicam que o modelo superestima os dados estimados em relação aos observados, e positivo, subestima. Um modelo com valores de  $P_{bias}$  variando no intervalo de  $\pm 25\%$  demonstra resultados satisfatórios; entre  $\pm 15\%$  é caracterizado com bom; e variando entre  $\pm 10\%$  indica um desempenho muito bom do modelo na representação dos dados (MORIASI et al., 2007; YUAN et al., 2014; AJMAL et al., 2015).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 (a, b) foi elaborada com o intuito de evidenciar a alta variabilidade dos valores de CN e de Ia observados para cada um dos 166 eventos chuva-deflúvio observados.

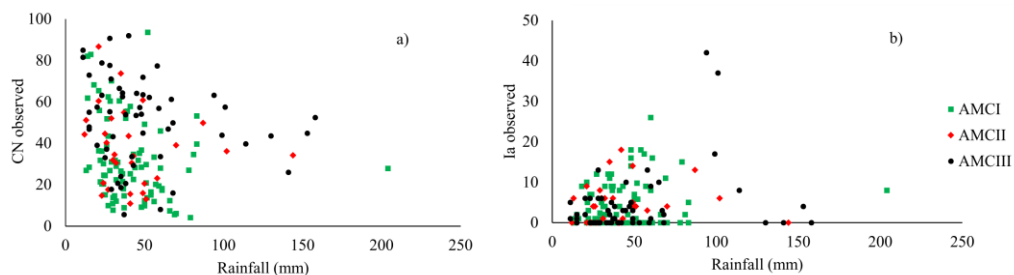


FIGURA 3. Valores de CN e Ia observados para cada evento chuva-deflúvio na BHRJ.

É possível observar que os valores de CN e Ia apresentados (Figura 3a e 3b) variaram muito dentro de um mesmo intervalo de precipitação, principalmente para eventos menores que 80mm. Contudo, observa-se também que para os maiores eventos de precipitação existe uma menor variabilidade dos valores de CN, fato este também observado por Hawkins (1993), que deu origem ao seu trabalho de determinação assintótica do CN.

A Figura 4 apresenta a distribuição espacial de CN para a BHRJ, elaborada através da metodologia baseada no CN tabelado com base na condição II de umidade antecedente.

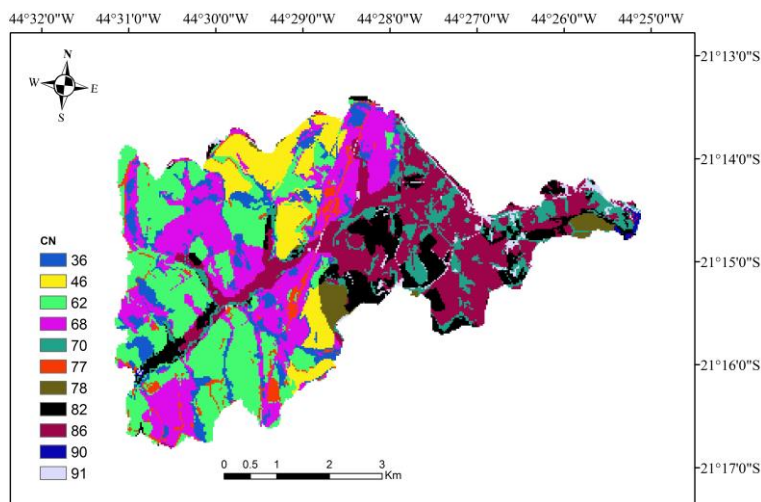


FIGURA 4. Variabilidade espacial do parâmetro CN para a BHRJ baseado na tabela do NEH-4 SCS (1956, 1964, 1971, 1985, 1993, 2004).

Os valores de CN variaram de 36 a 91, sendo este intervalo definido a partir das combinações entre vegetação nativa com Latossolo, e solo exposto com solos associados ao grupo hidrológico C (Cambissolo Háplico e Neossolo Flúvico), respectivamente.

Verifica-se pela Figura 4 que não houve a predominância de um único valor de CN, tornando-se assim, difícil obter um valor representativo para a bacia sem a aplicação de outras técnicas e aproximações. O valor médio ponderado para a condição AMC II foi de 67,9 e para as condições de umidade I e III, 47 e 82,9, respectivamente.

Na Tabela 1 estão apresentados valores associados às estatísticas de precisão, de CN e  $\lambda$  obtidos com base nesta metodologia.

TABELA 1. Valores de CN calculados e suas respectivas estatísticas de precisão para a estimativa do deflúvio superficial com base no CN mapeado.

$\lambda$	CNS	P <sub>bias</sub>	CNI	CNII	CNIII
0,20	-0,87	-68,77	47,0	67,9	82,9

Os resultados obtidos demonstram que mesmo com o auxílio do Sistema de Informações Geográficas (SIG), é inviável obter um único valor de CN médio e representativo para a estimativa do deflúvio superficial na BHRJ, mesmo considerando a condição de umidade antecedente em que cada evento está vinculado.

Verifica-se também, que esta metodologia mostrou forte tendência de superestimativa dos dados de deflúvio superficial, visto o valor de P<sub>bias</sub> igual a -68,77. Resultado similar foi observado por Ajmal et al. (2015), que aplicaram cinco diferentes métodos de determinação do CN, e o método baseado em valores de CN obtidos pela tabela do NEH-4 foi o que apresentou os piores resultados na estimativa de Q, considerando todas as 25 bacias hidrográficas estudadas. Seus estudos apontaram ainda, que o método CN-SCS em sua forma

original apresentou os mais elevados valores de RMSE, e os menores valores de  $C_{NS}$ .

Assim, torna-se necessário a aplicação de modelos que ajustam um valor de CN com base em dados de chuva-deflúvio observados, assim como a consideração de outras possíveis relações entre Ia e S ( $\lambda$ ) (MELLO et al., 2008; WOODWARD et al., 2003; SHI et al., 2009; D'ASARO; GRILLONE, 2014).

Para a metodologia de determinação do CN que se baseou nos eventos chuva-deflúvio observados, verifica-se que a BHRJ se enquadrhou no comportamento mais usual de acordo com Hawkins (1993), denominado standard behaviour (comportamento padrão). Esse comportamento ocorre quando os valores de CN tendem a se aproximar de um valor constante com a ocorrência de eventos de precipitações maiores, conforme pode ser visto na Figura 5.

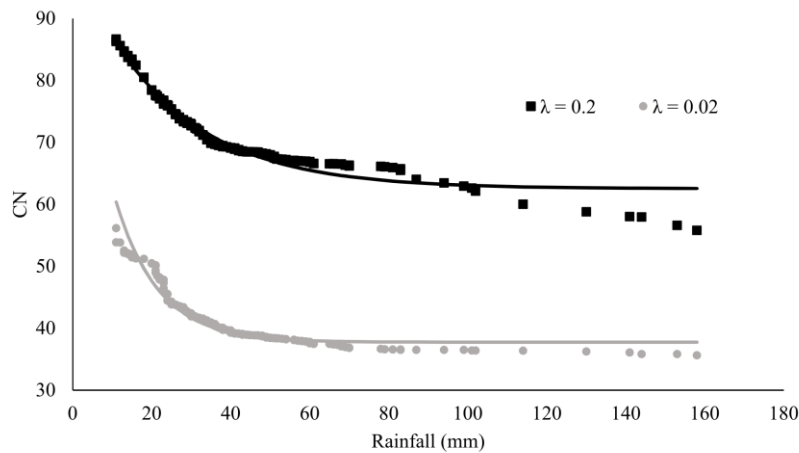


FIGURA 5. Determinação assintótica do CN para BHRJ para diferentes valores de  $\lambda$ .

Assim, o ajuste dos dados foi feito com base na Equação 7 para a obtenção dos valores de  $CN_{\infty}$ , e  $\mu_1$ . A Tabela 2 apresenta os valores de  $CN_{\infty}$  e  $\mu_1$  para este método, considerando  $\lambda = 0,2$  e  $\lambda = 0,02$ , conforme descrito anteriormente.

TABELA 2. Valores de CN calculados e suas respectivas estatísticas de precisão para a estimativa de Q considerando a determinação assintótica de CN.

$\lambda$	$C_{NS}$	$P_{bias}$	$CN_{\infty}$	$\mu_1$	$R^2$
0,20	0,53	-4,62	62,5	0,042	0,98
0,02	0,69	15,24	37,8	0,092	0,99

Uma vantagem de se ajustar estas equações é de que o valor de CN a ser considerado na estimativa do deflúvio superficial é função da precipitação, uma vez que, conforme já apresentado, a variabilidade deste é muito alta com a precipitação (Figura 3a), mesmo considerando um valor fixo de  $\lambda$ .

Observa-se que os resultados foram, de acordo com a classificação de Moriasi et al. (2007), como “satisfatório” para  $\lambda = 0,2$ , e “muito bom” para  $\lambda = 0,02$ . Desta forma, observa-se que, para este método, houve uma melhora na estimativa de Q considerando o valor de  $\lambda = 0,2$  como foi originalmente proposto, mas ainda assim, para  $\lambda = 0,02$ , os resultados foram melhores.

Ajmal et al. (2015), com base nos valores de RMSE calculados após a estimativa do deflúvio superficial, encontraram para  $\lambda = 0,2$ , resultados significativamente melhores do que quando se considera a determinação do CN pelo método original, indicando que o modelo proposto por Hawkins (1993) estima de forma adequada os valores de CN para a estimativa de Q.

Os mesmos autores afirmaram que a eficiência da aplicação do método CN-SCS para a estimativa de Q é superior quando se considera  $\lambda = 0,05$ , valor este próximo ao calculado para a BHRJ, que foi de 0,02. Ajmal et al. (2014) aplicaram valores de  $\lambda$  iguais a 0,01 e 0 para a estimativa de Q com o valor de CN tabelado, e concluíram que, para as 10 bacias hidrográficas estudadas, os valores de  $P_{bias}$  ficaram dentro do intervalo de  $\pm 10\%$ , diferentemente de  $\lambda = 0,2$ .

## CONCLUSÕES

Um valor de CN apropriado é fundamental para uma estimativa confiável do escoamento superficial direto, mas, suposições originalmente feitas para algumas condições hidrológicas podem não reproduzir resultados realistas de escoamento.

A aplicação de um único valor de CN para a estimativa do escoamento superficial direto obteve resultados minimamente aceitáveis, mesmo considerando a condição de umidade antecedente de cada evento.

Os métodos baseados na determinação assintótica, apresentaram bons resultados para a estimativa de Q, com uma melhora significativa do resultado na consideração de  $\lambda = 0,2$ .

O valor da relação da abstração inicial com o armazenamento potencial de água no solo altera significativamente os resultados, sendo que para  $\lambda = 0,02$ , a estimativa de Q se comportou de maneira mais realísticas do que para  $\lambda = 0,2$ , valor originalmente proposto.

## REFERÊNCIAS

AJMAL, M. et al. Improved runoff estimation using event-based rainfall-runoff models. **Water Resources Management**, v. 29, n. 6, p. 1995-2010, 2015.

AJMAL, M. et al. Investigation of SCS-CN and its inspired modified models for runoff estimation in South Korean watersheds. **Journal of Hydro-environment Research**, v. 9, n. 4, p. 592-603, 2015.

AJMAL, M.; KIM, Tae-Woong. Quantifying excess stormwater using SCS-CN-based rainfall runoff models and different curve number determination methods. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 141, n. 3, p. 04014058, 2014.

ANDRADE, M.A.; MELLO, C. R. de; BESKOW, S. Simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica representativa dos Latossolos na região Alto Rio Grande, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 1, p. 69-76, 2013.

ARAÚJO, A. R. **Levantamento de solos na bacia do Alto Rio Grande**. 2006. 268 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2006.

D'ASARO, F.; GRILLONE, G.; HAWKINS, R. H. Curve Number: Empirical evaluation and comparison with Curve Number handbook tables in Sicily. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 19, n. 12, p. 04014035, 2014.

JAIN, M. K.; MISHRA, S. K.; SINGH, V. P Evaluation of AMC dependent SCS-CN-based models using watershed characteristics. **Water Resour Manag**, v. 204, n. 4, p. 531-552, 2006.

JEON, J. H.; LIM, K. J.; ENGEL, B. A. Regional calibration of SCS-CN L-THIA model: application for ungauged basins. **Water**, v. 6, n. 5, p. 1339-1359, 2014.

HAWKINS, R. H. Asymptotic determination of runoff curve numbers from data. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 119, n. 2, p. 334-345, 1993.

MELLO, C. R. D. de et al. Development and application of a simple hydrologic model simulation for a Brazilian headwater basin. **Catena**, v. 75, n. 3, p. 235-247, 2008.

MISHRA, S. K.; SINGH, V. P. **Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology** 'Kluwer' Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. ISBN 1-4020-1132-6, 2003.

MISHRA, S. K.; SINGH, V. P. A relook at NEH-4 curve number data and antecedent moisture condition criteria. **Hydrological processes**, v. 20, n. 13, p. 2755-2768, 2006.

MORIASI, D. N. et al. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. **Transactions of the ASABE**, v. 50, n. 3, p. 885-900, 2007.

NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. **Journal of hydrology**, v. 10, n. 3, p. 282-290, 1970.

SARTORI, A. **Avaliação da classificação hidrológica do solo para a determinação do excesso de chuva do método do serviço de conservação do solo dos Estados Unidos**. 2004. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, SP, 2004.

SCS. **National engineering handbook, Section 4: Hydrology**, Soil Conservation Service. USDA, Washington, DC. 1956, 1964, 1971, 1985, 1993, 2004.

SHI, Z. H. et al. Research on the SCS-CN initial abstraction ratio using rainfall-runoff event analysis in the Three Gorges Area, China. **Catena**, v. 77, n. 1, p. 1-7, 2009.

SOULIS, K. X.; VALIANTZAS, J. D. Variation of runoff curve number with rainfall in heterogeneous watersheds. The Two-CN system approach. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 16, n. 3, p. 1001-1015, 2012.

SOULIS, K. X.; VALIANTZAS, J. D. Identification of the SCS-CN parameter spatial distribution using rainfall-runoff data in heterogeneous watersheds. **Water resources management**, v. 27, n. 6, p. 1737-1749, 2013.

USBR U.S. Bureau of Reclamation - United States Department of the interior. **Design of Small Dams**. Companhia Editorial S.A. México, D. F. 1977. 639 p.

WOODWARD, D. E. et al. Runoff curve number method: examination of the initial abstraction ratio. In: **World Water & Environmental Resources Congress 2003**, Asce, 2003. p. 1-10.

YUAN, Y. et al. Initial abstraction and curve numbers for semiarid watersheds in Southeastern Arizona. **Hydrological Processes**, v. 28, n. 3, p. 774-783, 2014.