

## ESTIMATIVA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA SUB-BACIA DO CÓRREGO CIPÓ

R. F. FARIA FILHO<sup>1</sup>; C. A. MONTEBELLER<sup>2</sup>; F. F. da CUNHA<sup>2</sup>

**RESUMO:** No presente trabalho objetivou-se determinar o escoamento superficial na sub-bacia do córrego Cipó localizado na bacia do rio Arantes, situada na região do Triângulo Mineiro. Aplicou-se o método Racional e Racional modificado para a estimativa da vazão máxima e os métodos do Número da Curva e do Balanço de Água na Superfície do Solo para obtenção da lâmina máxima de escoamento superficial. As vazões obtidas pelo método Racional variaram de 40,75 a 86,73 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> e para o método Racional modificado variaram de 11,27 a 23,99 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>. As lâminas máximas de escoamento superficial determinadas pelo método do Número da Curva para as durações de 6, 12 e 24 horas foram de 74,96, 95,19 e 117,28 mm para condição AMC II e de 106,40; 129,33 e 153,78 mm para condição AMC III, respectivamente, enquanto que pelo método do Balanço de Água na Superfície do Solo a lâmina obtida foi de 25,48 mm, para uma duração de 39,77 min. O Método do Balanço de Água na Superfície do Solo foi considerado o melhor em estimar a lâmina máxima de escoamento superficial.

**PALAVRAS-CHAVE:** Vazão máxima de escoamento, Conservação de solos, Hidrologia.

## ESTIMATE OF THE RUNOFF IN THE WATERSHED OF THE CIPÓ RIVER

**SUMMARY:** In the present work it was aimed to determine the runoff in the watershed of the Cipó river located in the watershed of the Arantes river, situated in the region of the Minas Gerais. The Rational and Rational modified method was applied to obtain the runoff maximum streamflow, and the Number of the Curve and Water Balance in the Soil Surface methods was used to estimate the maximum runoff. The streamflows obtained by the Rational method ranged to 40,75 the 86,73 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> and for the Modified Rational method ranged to 11,27 the 23,99 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>. The maximum runoff determined by the Number of the Curve to durations of 6, 12 and 24 hours were 74,96; 95,19 and 117,28 mm, for condition AMC II and of 106,40; 129,33 and 153,78 mm for condition AMC III, respectively, and by the Water Balance in the

---

<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Mestrando em eng. agrícola, Depto de Eng. Agrícola, Av. P. H. Rolfs s/n, CEP: 36570-000, Viçosa, MG. Fone: (31) 3899-2715.  
E-mail: reynaldo@zipmail.com.br

<sup>2</sup> Doutorando em eng. agrícola, Depto de Eng. Agrícola, Universidade Federal de Viçosa - UFV, Viçosa, MG

Soil Surface method was 25,48 mm for a duration of 39,77 min. The Water Balance in the Soil Surface method was considered best in esteem the maximum blade of runoff process.

**KEYWORDS:** Runnof maximum, Soil conservation, Hydrology.

## **INTRODUÇÃO**

Devido ao crescimento da população mundial, e conseqüente aumento da demanda de alimento, houve a necessidade de exploração de novas áreas. Porém os fazendeiros não sabiam que a eliminação da cobertura florestal e o plantio em terrenos altos e declivosos dariam início a um ciclo batizado como "ciclo da erosão". Em poucas décadas as culturas tornaram-se improdutivas e progressivamente cederam espaço a pastagens sem grande valor para a produção agrícola, pois essa atividade não é manejada corretamente. No Brasil, a erosão carrega anualmente 500 milhões de toneladas de solo, o que corresponde a uma camada de solo de 15 centímetros numa área de 280.000 ha. Esse material arrastado pela erosão é depositado nas baixadas e nos rios, riachos e lagoas, causando uma elevação de seus leitos e possibilitando grandes enchentes. O intenso revolvimento do solo promovido pelo sistema convencional de plantio proporcionou em degradação do solo, diminuindo o conteúdo de matéria orgânica, destruição dos agregados, tanto pela ação mecânica dos implementos como pelo impacto direto das gotas de chuva sobre o solo descoberto. Conseqüentemente ocorreu a degradação da estrutura e redução drástica da taxa de infiltração estável, promovendo excessivas perdas de água e de solo pelo escoamento superficial. Atualmente, diversas práticas têm sido utilizadas na tentativa de reduzir o escoamento superficial em bacias hidrográficas, favorecendo o armazenamento de água no solo e no lençol freático. Entretanto, a determinação quantitativa do efeito destas práticas apresenta dificuldades, já que os métodos utilizados são baseados em parâmetros empíricos obtidos para regiões específicas. Apesar disto, a quantificação do escoamento superficial em uma bacia possui importância considerável para a conservação dos recursos naturais, principalmente do solo e da água. Além disso, tem papel fundamental no dimensionamento de obras hidráulicas, como reservatórios para abastecimento de água e controle de inundações. Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho determinar a vazão máxima decorrente do escoamento superficial e o volume de escoamento produzido na sub-bacia do córrego Cipó.

## **METODOLOGIA**

Por meio da ferramenta *Watershed* do software *Arcview*, identificou-se a sub-bacia do córrego Cipó, localizada na bacia do rio Arantes, situada na região do Triângulo Mineiro com uma área de aproximadamente 398 ha. Com esse software determinou-se também as seguintes características da sub-bacia: comprimento do rio principal, declividade média do rio principal ( $S_3$ ), comprimento axial da bacia, diferença de nível da bacia e declividade média da bacia. Os parâmetros estatísticos da equação intensidade-duração-frequência foram obtidos pelo software *Pluvio 2.0*, para a cidade de Campina Verde. O valor do período de retorno admitido para o cálculo da vazão máxima foi de 10 anos. A partir de imagens do satélite Landsat para a área em estudo, foi possível estimar as porcentagens de cada tipo de uso do solo existente no local. A partir destas informações, determinaram-se os coeficientes de escoamento superficial com o apoio de tabelas fornecidas pelo Soil Conservation Service – USDA citado por PRUSKI et al. (2004), para cada tipo de uso do solo. Para o cálculo do tempo de concentração, foram utilizadas as equações de Kirpich, Ven Te Chow, Picking, Giandotti, SCS Lag, Dodge, SCS – método cinemático e a equação derivada com base no método da onda cinemática. Para estas duas últimas, o coeficiente de rugosidade de Manning adotado foi de 0,05. De posse dos tempos de concentração calculados pelas diversas equações, obtiveram-se as correspondentes intensidades máximas médias de precipitação para um período de retorno de 10 anos. A partir do coeficiente de escoamento (C), da intensidade máxima média (im) e da área de drenagem da respectiva bacia analisada (A) obteve-se a vazão máxima de escoamento superficial pelo Método Racional. Para o Método Racional modificado, o coeficiente de retardamento foi obtido conforme descrito por EUCLYDES e PICCOLO citados por EUCLYDES (1987). Para a determinação da lâmina máxima de escoamento superficial pelo Método do Número da Curva, adotou-se o tipo de solo B, conforme a classificação proposta pelo SCSUSDA, e a condição de umidade do solo antecedente correspondente às condições AMC II e AMC III. Quanto à duração da chuva, foram realizadas simulações com os três períodos usualmente utilizados: 6, 12 e 24 horas. Para a determinação da lâmina máxima de escoamento superficial pelo Método do Balanço de Água na Superfície do Solo (PRUSKI et al., 1997), adotou-se a taxa de infiltração estável de água no solo como sendo igual a 50 mm h<sup>-1</sup>.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 estão apresentados os valores da intensidade máxima média, a vazão máxima de escoamento superficial obtidas pelo método Racional e pelo método Racional modificado, para os diferentes métodos utilizados na determinação do tempo de concentração. O que pode ser observado é que o método de Picking apresentou o menor valor de tempo de concentração, proporcionando uma maior vazão máxima. Já o método SCS – MC – Opção 1, resultou em um valor maior do tempo de concentração. Verifica-se ainda, que os métodos Kirpich, Ven Te Chow e Picking, apresentaram valores próximos, isso ocorreu também nos métodos de Giandotti, SCS Lag e Dodge. Para o método Racional modificado, o coeficiente de retardamento obtido foi de 0,2766, o que proporcionou uma redução de aproximadamente 4 vezes o valor da vazão máxima obtida pelo método Racional. Com isso, percebe-se que o método Racional modificado corrige o fato de o escoamento sofrer um retardamento em relação ao início da precipitação.

Tabela 1 – Vazões máximas de escoamento superficial obtidas pelo método Racional para a sub-bacia em estudo

| Método             | $t_c$ (min) | $i_m$ (mm h <sup>-1</sup> ) | $Q_{max}$ (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ) | $Q_{max}$ modificado (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ) |
|--------------------|-------------|-----------------------------|---|--|
| Kirpich            | 27,01       | 113,32                      | 84,57                                       | 23,40  |
| Ven Te Chow        | 26,49       | 114,21                      | 85,23                                       | 23,58  |
| Picking            | 25,33       | 116,23                      | 86,73                                       | 23,99  |
| Onda cinemática    | 42,36       | 92,77                       | 69,23                                       | 19,15  |
| Giandotti          | 59,52       | 77,68                       | 57,97                                       | 16,04  |
| SCS Lag            | 51,69       | 83,83                       | 62,56                                       | 17,31  |
| SCS – MC – Opção 1 | 106,99      | 54,60                       | 40,75                                       | 11,27  |
| SCS – MC – Opção 2 | 72,25       | 69,56                       | 51,91                                       | 14,36  |
| Dodge              | 57,19       | 79,41                       | 59,26                                       | 16,39  |

A precipitação total e a lâmina máxima de escoamento superficial em função do tipo de uso do solo, para cada duração da chuva (6, 12 e 24 horas), e para as condições AMC II e AMC III, são apresentadas na Tabelas 2. Verifica-se que quanto maior a exposição do solo maior é a lâmina máxima. Na condição AMC II, observa-se que a lâmina máxima de escoamento superficial é menor, mostrando que a condição AMC III do solo é mais crítica que a condição AMC II, resultando em uma estimativa mais conservadora para projetos de obras hidráulicas.

Tabela 2 – Lâmina máxima de escoamento superficial (mm) em função das diferentes durações da chuva e tipos de uso do solo, considerando as condições de umidade antecedente AMC II e AMC III, e solo do tipo B

|                     | AMC II                    | AMC III                   |
|---------------------|---------------------------|---------------------------|
| Tipo de uso do solo | ES - Duração da chuva (h) | ES - Duração da chuva (h) |

|                 | 6     | 12     | 24     | 6      | 12     | 24     |
|-----------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Florestas       | 52,06 | 69,67  | 89,40  | 90,31  | 112,37 | 136,10 |
| Pastagens       | 81,37 | 102,66 | 125,72 | 110,92 | 134,22 | 159,00 |
| Sem cultivo     | 99,08 | 121,76 | 146,01 | 123,32 | 147,04 | 172,15 |
| Média ponderada | 74,96 | 95,19  | 117,28 | 106,40 | 129,33 | 153,78 |

Na Tabela 3, são apresentados os valores de todos os parâmetros utilizados para a determinação da lâmina máxima de escoamento pelo método do Balanço de Água na Superfície do Solo. A lâmina de escoamento obtida pelo método do Número da Curva para a condição AMC III foi mais que quatro vezes superior à lâmina obtida pelo método do Balanço de Água na Superfície do Solo. O tempo de duração da chuva de 39,77 min no método do Balanço de Água na Superfície do Solo é bem menor do que os três tempos utilizados no método do Número da Curva. Por não estratificar a taxa de infiltração de água no solo em função dos grupos de solo como é feito pelo método do Número da Curva, o método do Balanço de Água na Superfície do Solo é o mais confiável. Concordando com TERRA et al. (2004), caso sejam realizadas obras hidráulicas na sub-bacia estudada, aconselha-se a utilização do método do Balanço de Água na Superfície do Solo.

Tabela 3 – Parâmetros obtidos pelo método do Balanço de Água na Superfície do Solo para a estimativa da lâmina máxima de escoamento superficial

| Parâmetros   | Valores |
|--|---------|
| Taxa de infiltração estável da água no solo – $T_{ie}$ (mm h <sup>-1</sup> ) | 50,00   |
| Período de retorno – T (anos)  | 10      |
| Tempo de duração da chuva – t (min)  | 39,77   |
| Intensidade máxima média – $i_m$ (mm/h)                                      | 95,64   |
| Precipitação total - PT (mm)   | 63,40   |
| Número da curva – CN   | 88,6    |
| Lâmina potencial infiltrada - S (mm)   | 32,68   |
| Abstrações iniciais - $I_a$ (mm)   | 6,54    |
| Tempo - $t_{la}$ (min)   | 2,12    |
| Tempo de infiltração – $t_{inf}$ (min)                                       | 37,65   |
| Lâmina infiltrada – I (mm)   | 31,38   |
| Lâmina escoada – ES (mm)   | 25,48   |

## CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que para a sub-bacia em análise, a equação de Picking resultou em menor tempo de concentração e, conseqüentemente,

proporcionou a maior vazão escoada ( $86,73 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ), por outro lado, a equação SCS – MC – Opção 1, proporcionou um maior tempo de concentração, acarretando uma menor vazão máxima escoada ( $40,75 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ). O método Racional modificado apresentou resultados mais confiáveis que o método Racional por corrigir o fato de o escoamento superficial sofrer um retardamento em relação ao início da precipitação, porém ainda não é o método mais aconselhável. As lâminas máximas de escoamento superficial determinadas pelo método do Número da Curva para as durações de 6, 12 e 24 horas foram de 74,96; 95,19 e 117,28 mm para condição AMC II e de 106,40; 129,33 e 153,78 mm para condição AMC III, respectivamente, enquanto que pelo método do Balanço de Água na Superfície do Solo a lâmina obtida foi de 25,48 mm, para uma duração de 39,77 min. O melhor método para estimativa da lâmina escoada foi o método do Balanço de Água na Superfície do Solo por considerar vários fatores que interferem no processo de escoamento superficial, além de não estratificar a taxa de infiltração de água no solo em função dos grandes grupos de solos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

EUCLYDES, H. P. **Saneamento agrícola**. Atenuação das cheias: metodologia e projeto. Belo Horizonte: RURALMINAS, 1987. 320 p.

PRUSKI, F. F.; FERREIRA, P. A.; RAMOS, M. M.; CECON, P. R. A model to design level terraces. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 123, n. 1, p. 8-12, 1997.

TERRA, A. A.; AMARAL, L. G. H., NOVAES, L. F. Determinação do escoamento superficial em uma sub-bacia hidrográfica. In: XIV Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem. Porto Alegre, 2004. **Anais...** Porto Alegre, 2004 (CD ROM).

TUCCI, C. E. M. Escoamento superficial. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade, 2001.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975.