



## **AValiação de Métodos para Determinação do Pico de Vazão pela Fórmula Racional, Método de Cook (USA) e Método de Cook Modificado em uma Pequena Bacia Hidrográfica**

*Tarcisio Barcellos Bellinaso<sup>1</sup>*

**RESUMO** - O pico de vazão em rios, arroios, riachos, etc, tem a finalidade de dimensionar estruturas hidráulicas como bueiros, vertedores, valas de irrigação, bocas de lobo, drenos, etc. Devido esta importância este trabalho teve como objetivo principal avaliar os métodos para determinação do pico de vazão em uma pequena bacia hidrográfica rural, com características similares as bacias localizadas no município de Passo Fundo/RS, utilizando a fórmula Racional, o método de Cook (Original - USA) e o método de Cook modificado (condições Africanas). A fórmula Racional foi que apresentou o menor pico de vazão de 5,50 m<sup>3</sup>/s, isto porque, este método não considera o interfluxo ou escoamento sub-superficial, assim como, não considera a umidade antecedente do solo à chuva. O método de Cook (Original - USA) e o método de Cook modificado (condições Africanas) apresentaram os maiores picos de vazão de 7,07 m<sup>3</sup>/s e 7,25 m<sup>3</sup>/s, respectivamente, isto porque, estes métodos consideram o interfluxo e a umidade antecedente do solo à chuva. A utilização destas metodologias para determinação do pico de vazão para a bacia hidrográfica estudada e para bacias de características semelhantes devem ser utilizada com cautela, prudência e moderação, tendo consciência de seus erros e limitações.

**ABSTRACT** - The peak discharge in rivers, streams, creeks, etc, has the finality of dimension hydraulic structures such as culverts, spillways, irrigation ditches, mouths of wolves, drains, etc. Due to this importance this work had as main objective evaluate the methods for determining the peak discharge in a small rural watershed, with similar characteristics located in city of Passo Fundo/RS, using the Rational formula, the method of Cook (Original - USA) and the method Cook modified (African conditions). The Rational formula was presented the lowest peak discharge of 5,50 m<sup>3</sup>/s, this is because this method does not consider the interflow or subsurface runoff, as it does not consider the antecedent soil moisture to rain. The method of Cook (Original - USA) and method of Cook modified (African conditions) showed the highest peak discharge of 7,07 m<sup>3</sup>/s and 7,25 m<sup>3</sup>/s, respectively, that because these methods consider the interflow and the antecedent soil moisture to rain. The use of these methods for determining the peak discharge for the watershed studied and basins with similar characteristics should be used with caution, prudence and moderation, being aware of their mistakes and limitations.

**Palavras-chave:** Pico de vazão, Método de Cook, Pequenas bacias hidrográficas.

---

<sup>1</sup> UFRGS/IPH Av. Bento Gonçalves, 9500 - Caixa Postal 15029, Campus do Vale, Porto Alegre/RS. CEP 91.501-970 tbellinaso@bol.com.br

## **INTRODUÇÃO**

### **Pico de vazão**

A capacidade de escoamento a ser dada a uma determinada estrutura hidráulica que precisa conduzir água pode ser denominada vazão de planejamento. Estruturas e canais são dimensionados para conduzir a enxurrada ou o escoamento superficial que ocorre dentro de um especificado período de retorno ou intervalo de recorrência. Canais vegetados e estruturas temporárias são usualmente dimensionados para uma enxurrada a qual pode ser esperada de ocorrer uma vez a cada 10 anos, em média. Estruturas permanentes são planejadas para enxurradas esperadas somente uma vez a cada 50 ou 100 anos.

A seleção do período de retorno depende do balanço econômico entre o custo de reparos periódicos ou substituição da estrutura e o custo de fornecer capacidade adicional à estrutura para reduzir a frequência de conserto ou substituição da estrutura. Em alguns casos, o risco de vida resultante da falha da estrutura em relação às populações que moram abaixo da mesma é o fator principal a ser levado em conta na seleção do período de retorno. Existem vários métodos para se estimar o pico de vazão de enxurrada. O mais utilizado é o método denominado método Racional (Cogo, 2005).

## **OBJETIVOS**

Este trabalho teve como objetivo principal avaliar os métodos para determinação do pico de vazão de uma pequena bacia hidrográfica rural, com características similares as bacias localizadas no município de Passo Fundo/RS, utilizando os seguintes métodos:

- a) Fórmula Racional;
- b) Método de Cook (Original - USA); e;
- c) Método de Cook Modificado (condições Africanas).

Também foi determinado o pico de vazão da bacia em formato quadrangular e alongado, utilizando somente o método de Cook modificado (condições Africanas), isto é, para condições tropicais e subtropicais.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **Características da bacia hidrográfica**

Este trabalho foi considerado uma pequena bacia hidrográfica rural com área de 558.237,88 m<sup>2</sup> ou 55,82 hectares, com características apresentadas nas Tabelas 1 e 2, localizada próxima à cidade de Passo Fundo/RS e ilustrada conforme apresentado na Figura 1.

Tabela 1 - Características topográficas e de rugosidade hidráulica (n) da bacia hidrográfica estudada.

Ponto	Elevação (m)	Trecho	Distância (m)	n
A	30,5	A-B	244	-
B	35,0	B-C	549	-
C	41,0	B-D	762	-
D	58,0	D-F	61	0,2
E	42,0	C-E	76	0,2
F	61,0	-	-	-

Legenda: n → Coeficiente de rugosidade hidráulica (adimensional).

Tabela 2 - Características de uso e manejo e tipo de solo da bacia hidrográfica estudada.

Uso	Tipo de cobertura	Condição hidrológica	Tipo de solo
I	Culturas anuais em fileiras	Boa prática de manejo	Santo Ângelo
II	Pastagem cultivada	Boa prática de manejo	Passo Fundo (Arenoso)
III	Florestas	Boa prática de manejo	Pituva

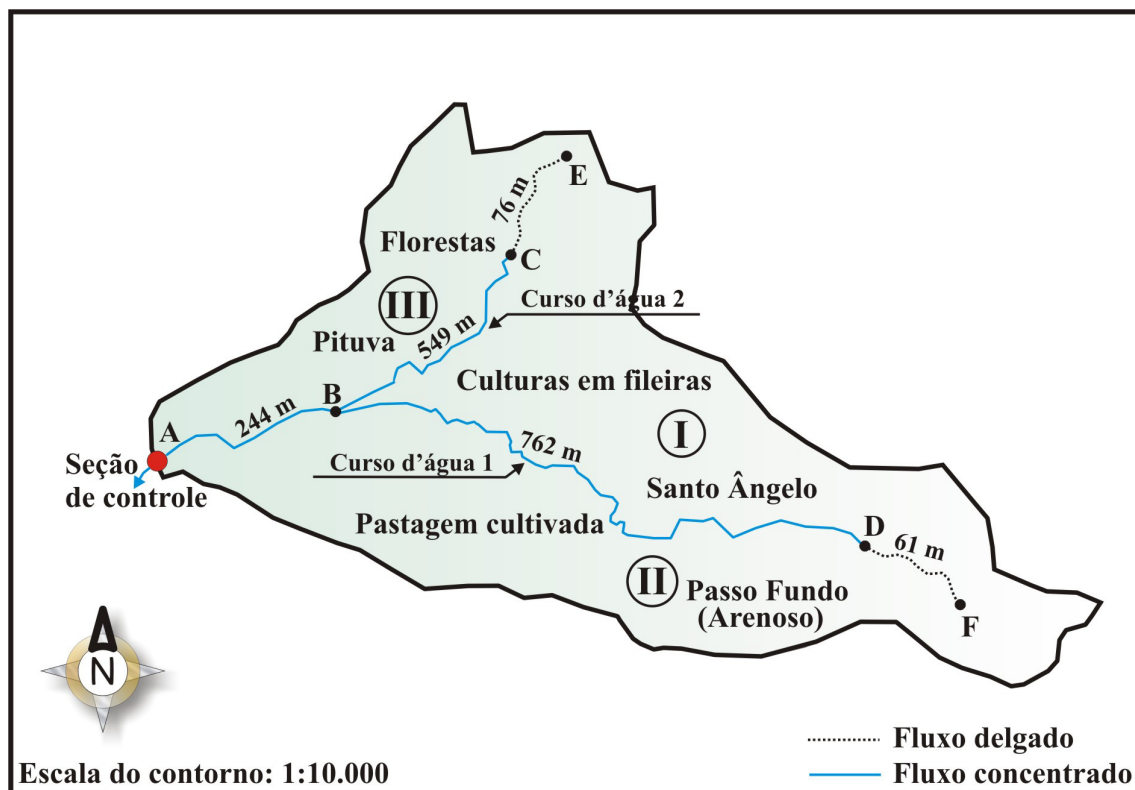


Figura 1 - Mapa da bacia hidrográfica estudada com suas características do tipo de cobertura e tipo de solo (Unidade de mapeamento).

### Tempo de concentração ( $t_c$ )

O tempo de concentração de uma bacia hidrográfica é o tempo necessário para a água fluir do ponto mais remoto (em tempo de fluxo) da bacia até a saída ou seção de controle da mesma, uma vez atingida a saturação do solo e as pequenas depressões estarem preenchidas com água. É assumido que, a duração da chuva é igual ao tempo de concentração da bacia, todas as partes da

bacia estarão contribuindo simultaneamente com a enxurrada para a saída ou seção de controle. Nesse momento, a descarga ou vazão é a máxima (pico de vazão).

Para determinar o pico de vazão pela fórmula Racional é necessária a determinação do tempo de concentração da bacia e posteriormente a determinação da intensidade máxima da chuva (*i*). Por isso, para determinar o tempo de concentração da bacia hidrográfica estudada foi utilizada a formulação proposta no trabalho de Huggins (1979):

$$t_c = (0,0195.Lc^{0,77} .Sc^{-0,385}) + \left( \frac{6,557.n.Lo}{3.\sqrt{So}} \right)^{0,467} \quad (1)$$

Onde:

*t<sub>c</sub>* - tempo de concentração da bacia hidrográfica, em minutos;

*L<sub>c</sub>* - distância máxima ou comprimento máximo a ser percorrido pelo fluxo concentrado ou canalizado, em metros;

*Sc* - declividade da bacia em (m/m) ou a diferença em elevação da bacia para o fluxo concentrado ou canalizado;

*n* - coeficiente de rugosidade hidráulica (adimensional);

*Lo* - distância máxima ou comprimento máximo a ser percorrido pelo fluxo delgado ou laminar, em metros; e;

*So* - declividade da bacia em (m/m) ou a diferença em elevação da bacia para o fluxo delgado ou laminar.

O primeiro termo da equação 1 é para o fluxo concentrado (canalizado) e o segundo termo é para o fluxo delgado (laminar). Existe uma distância limite para o fluxo delgado, isto é, após certa distância sobre o terreno sempre existe um canal mais definido e o fluxo deixa de ser delgado e passa a ser concentrado. Essa distância definida para manter o fluxo delgado é de 100 a 150 metros, no máximo. Isso quer dizer que se a distância no terreno para o fluxo delgado é de 300 metros, utiliza-se o valor máximo de 150 metros para o fluxo delgado e o fluxo em canal inicia aos 150 metros (Cogo, 2005).

## **Métodos utilizados para determinação do pico de vazão**

### **Fórmula Racional**

É a fórmula mais popular e mais antiga para prever o pico de vazão de uma bacia hidrográfica. De origem britânica, sua formulação original com as unidades em pés (ft).

É usada principalmente para obras hidráulicas urbanas como bueiros, pois, são utilizados em pequenas bacias hidrográficas. Está diretamente ligada ao tempo de concentração da bacia hidrográfica (*t<sub>c</sub>*).

O uso da fórmula Racional é recomendado para bacias com área menor de 200 acres ou 80 hectares e até 2.500 hectares. É chamada de fórmula Racional, porque vêm de uma coincidência de transformação de unidades.

$$q = \frac{C.i.A}{360} \text{ ou } q = 0,0028.C.i.A \quad (2)$$

Onde:

q - é o pico de vazão ou a vazão máxima estimada, em m<sup>3</sup>/s;

C - é o coeficiente de vazão ou coeficiente de escoamento superficial (adimensional);

i - é a intensidade da chuva, em mm/h, para o período de retorno desejado e para uma dada duração; e;

A - é a área da bacia hidrográfica, em hectares.

### **Limitações do uso da fórmula Racional**

- A precipitação deve ocorrer em intensidade uniforme, cobrir toda a bacia hidrográfica e a duração da chuva deve ser no mínimo igual ao tempo de concentração da bacia hidrográfica.

- A precipitação deve ocorrer uniformemente em tempo e espaço em toda a bacia hidrográfica.

- Depende da umidade na bacia hidrográfica, pois, por exemplo, se a bacia estiver com alta umidade haverá diferença de valores de vazão máxima para uma bacia com três meses de seca.

### **Método de Cook (Original - USA)**

O método de Cook ou  $\sum w$  (Watershed) foi elaborado sob condições típicas de bacias hidrográficas dos Estados Unidos. Este método leva em consideração o interfluxo ou escoamento sub-superficial e considera a umidade antecedente do solo à chuva.

Cook foi pesquisador do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) e seu método proposto tem as seguintes características:

- É baseado em pequenas bacias hidrográficas (< 600 acres ou 243 hectares);
- A grande vantagem desta formulação é que a mesma é baseada em teoria da probabilidade, que a fórmula Racional não tem;

- Tem uma boa base teórica, pois, é baseada em probabilidade e tem simplicidade; e;

- Também relacionou parâmetros físicos. Na fórmula 3 é apresentada a formulação de Cook:

$$Q = P.R.F \quad (3)$$

Onde:

Q - é o pico de vazão estimado, em cfs ou ft<sup>3</sup>/s;

P - é o pico de vazão das bacias experimentais de Cook para um período de retorno (Tr);

R - é o fator chuva - fator correção para diferentes condições; e;

F - é o fator frequência de ocorrência ou período de retorno (Tr).

### **Limitações do uso do método original de Cook**

- Este método é inteiramente baseado em curvas, com isso, o usuário deverá ter cuidados em seu uso, pois, é um método ajustado em características e condições típicas de bacias hidrográficas dos Estados Unidos;

- Os dados de Cook nunca foram publicados para verificação do método;

- Não se discute as variáveis colocadas por Cook: relevo, infiltração, cobertura vegetal e retenção superficial, em que outras variáveis poderiam ter sido colocadas ou incluídas na tabela de características da enxurrada, pois, Cook não publicou estes dados (dados coletados por Cook);

- Quando há variações nesta bacia, como variações antrópicas (urbanização, estruturas hidráulicas, etc), a bacia pode ser dividida em “n” sub-bacias.

### **Método de Cook modificado (Condições Africanas)**

O método de Cook foi modificado por Hudson em 1995, e este método é baseado em condições típicas de bacias hidrográficas africanas sob condições tropicais e subtropicais. Hudson desconsiderou o fator chuva (R) do método original de Cook, mas considerou as condições de drenagem e retenção superficial.

$$Q = P.F \quad (4)$$

Onde:

Q - é o pico de vazão estimado, em cfs ou ft<sup>3</sup>/s;

P - é o pico de vazão das bacias experimentais de Cook para um período de retorno (Tr);e;

F - é o fator frequência de ocorrência ou período de retorno (Tr).

### **Limitações do uso do método de Cook modificado**

- É um método apropriado para condições típicas de bacias hidrográficas tropicais e subtropicais (condições Africanas);

- Neste método, Hudson desconsiderou o fator chuva (R);

- Subjetividade do coeficiente, isto é, depende do conhecimento do usuário.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Área da bacia hidrográfica

A determinação da área da bacia hidrográfica estudada foi obtida através das informações contidas na Figura 1, que são:

- Escala de contorno: 1:10.000 (Figura 1);
- Área do retângulo: 16 x 11 cm (Figura 1);
- Peso do retângulo: 1,362 g; e;
- Peso da bacia hidrográfica: 0,432 g.

Na Tabela 3, é apresentada a determinação da área da bacia hidrográfica estudada.

Tabela 3 - Determinação da área da bacia hidrográfica estudada.

Condições	Peso (g)	Área (m <sup>2</sup> )	Área (hectares)
A <sub>I</sub>	0,173	223.553,59	22,35
A <sub>II</sub>	0,167	215.800,29	21,58
A <sub>III</sub>	0,092	118.883,99	11,88
Total	0,432	558.237,88	55,82

### Tempo de concentração (*tc*) da bacia hidrográfica

Foram obtidos dois tempos de concentração da bacia hidrográfica estudada, conforme segue e são apresentados na Figura 1:

- Curso d'água 1 (fluxo concentrado com 762 metros); e;
- Curso d'água 2 (fluxo concentrado com 549 metros).

A Tabela 4 é mostrada os valores obtidos do tempo de concentração da bacia hidrográfica estudada.

Tabela 4 - Obtenção dos tempos de concentração da bacia hidrográfica estudada.

Cursos d'água	Extensão (m)	<i>Lc</i> (m)	<i>Sc</i>	<i>n</i>	<i>Lo</i> (m)	<i>So</i>	<i>tc</i> (minutos)
1	762	1006	0,0273	0,2	61	0,049	25,37
2	549	793	0,0132	0,2	76	0,0131	31,75

Legenda:

*Lc* - distância máxima ou comprimento máximo a ser percorrido pelo fluxo canalizado ou concentrado, em metros;

*Sc* - declividade da bacia em (m/m) ou a diferença em elevação da bacia para o fluxo canalizado;

*n* - coeficiente de rugosidade hidráulica (adimensional);

*Lo* - distância máxima ou comprimento máximo a ser percorrido pelo fluxo laminar, em metros;

*So* - declividade da bacia em (m/m) ou a diferença em elevação da bacia para o fluxo laminar; e;

*tc* - tempo de concentração da bacia hidrográfica, em minutos.

### Intensidade máxima de chuva (*i*)

Para determinação da intensidade máxima de chuva (*i*), foi utilizada a formulação proposta por Denardin & Freitas (1982) para cidade de Passo Fundo/RS, devido ao fato que a bacia estudada

possui características similares as bacias localizadas próximo ao município de Passo Fundo/RS, conforme é apresentado na fórmula 5.

$$i = \frac{670,74.T^{0,21}}{(t + 7,9)^{0,74}} \quad (5)$$

Onde:

$T$  ou  $Tr$  - é o período de retorno, em anos; e;

$t$  ou  $tc$  - é o tempo de concentração, em minutos.

Para determinação da intensidade máxima de chuva ( $i$ ), foi adotada uma probabilidade de ocorrência ( $P$ ) de 0,04, isto é, um período de retorno ( $T$  ou  $Tr$ ) de 25 anos e o tempo de concentração calculado de 31,75 minutos, obtido através da Tabela 4. O valor obtido através da formulação 5 da intensidade máxima de chuva ( $i$ ) foi de 86,58 mm/h.

### Picos de vazão da bacia hidrográfica

Na Tabela 5, são apresentados os valores da determinação dos picos de vazão da bacia hidrográfica estudada, pelos três métodos.

Tabela 5 - Valores obtidos do pico de vazão pela fórmula Racional, método de Cook e método de Cook modificado da bacia hidrográfica estudada.

Métodos para determinação do pico de vazão	Q (m³/s)	Q (ft³/s)
Racional	5,50	194
Cook ou $\Sigma w$ (Original - USA)	7,07	250,00
Cook modificado - Condições Africanas	7,25	256,18
Cook modificado (bacia quadrangular)	9,06	320,23
Cook modificado (bacia alongada)	5,80	204,95

Podemos verificar que o menor pico de vazão foi obtido pelo método Racional, isto porque, este método não considera o interfluxo ou escoamento sub-superficial, assim como, não considera a umidade antecedente do solo à chuva.

No método original de Cook, podemos observar que o pico de vazão ( $Q$ ) é maior que o método Racional, pois, este método (Cook ou  $\Sigma w$ ):

a) Considera o interfluxo;

b) Considera a umidade antecedente do solo à chuva; e;

c) Este método foi elaborado sob condições típicas americanas, isto é, em bacias hidrográficas dos Estados Unidos, quando utilizado em condições diferentes, isto é, em bacias hidrográficas do Brasil, o pico de vazão será diferente do que em condições típicas de bacias dos Estados Unidos.



Outra observação importante do método original de Cook é que este método é baseado na teoria da probabilidade, que a fórmula Racional não tem. A subjetividade do coeficiente depende do conhecimento do usuário, fator importante no uso do método original de Cook.

No método de Cook modificado, podemos verificar:

a) O pico de vazão ( $Q$ ) é maior que a fórmula Racional, pois, este método considera o interfluxo e também considera a umidade antecedente do solo à chuva;

b) Este método (Cook modificado) foi elaborado sob condições tropicais e subtropicais, isto é, elaborado sob condições típicas de bacias africanas, isto é, quando utilizado em condições típicas de bacias do Brasil, o pico de vazão será diferente do que em condições africanas.

Outra consideração do método de Cook modificado é que este método é baseado na teoria da probabilidade que a fórmula Racional não tem. A subjetividade do coeficiente depende do conhecimento do usuário, fator importante no uso do método de Cook modificado.

Na comparação do método original de Cook e método de Cook modificado, apesar dos dois métodos serem semelhantes, podemos verificar que a diferença do pico de vazão calculada é pequena  $7,07 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $7,25 \text{ m}^3/\text{s}$ , respectivamente.

Apesar das pré-suposições destes dois métodos serem semelhantes, como, considerar o interfluxo e a umidade antecedente do solo à chuva, ambos baseados na teoria da probabilidade é a subjetividade do coeficiente, isto é, depende do conhecimento do usuário, a principal pré-suposição do método original de Cook e do método de Cook modificado é que o método original de Cook foi elaborado sob condições típicas de bacias americanas e o método de Cook modificado foi elaborado sob condições típicas de bacias africanas (condições tropicais e subtropicais). Devido a estas considerações, a diferença nos resultados do pico de vazão destes dois métodos.

Já o pico de vazão, utilizando o método de Cook modificado em bacia quadrangular, a vazão máxima é maior ( $Q >$ ), devido o menor caminho a ser percorrido na bacia, conseqüentemente o tempo de concentração deste tipo de bacia (quadrangular) é menor ( $tc <$ ).

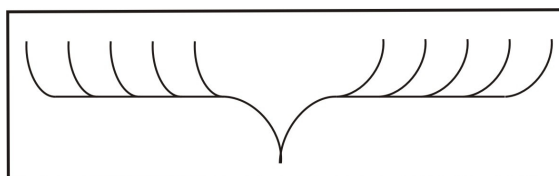


Figura 2 - Tipo de bacia quadrangular.

E o pico de vazão, utilizando o método de Cook modificado em bacia alongada, a vazão máxima é menor ( $Q <$ ), devido o maior caminho a ser percorrido na bacia, conseqüentemente o tempo de concentração deste tipo de bacia (alongada) é maior ( $tc >$ ).

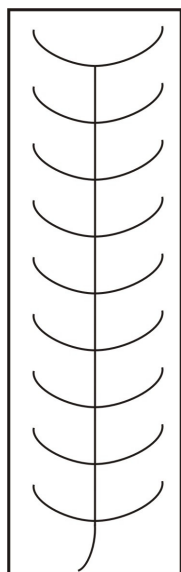


Figura 3 - Tipo de bacia alongada.

## CONCLUSÕES

### Considerações finais

Este trabalho teve como objetivo principal avaliar os métodos para determinação do pico de vazão de uma pequena bacia hidrográfica rural, com características similares as bacias localizadas no município de Passo Fundo/RS, utilizando a fórmula Racional, o método de Cook (Original - USA) e método de Cook modificado (Condições Africanas). Também foi determinado o pico de vazão da bacia em formato quadrangular e alongado, utilizando somente o método de Cook modificado (condições Africanas), isto é, para condições tropicais e subtropicais. As conclusões são apresentadas a seguir: A fórmula Racional foi a que apresentou o menor pico de vazão de 5,50 m<sup>3</sup>/s, isto porque, este método não considera o interfluxo ou escoamento sub-superficial, assim como, não considera a umidade antecedente do solo à chuva. Utilizando as características originais de formulação e uso propostas por Cook, o método de Cook (Original - USA) e o método de Cook modificado (Condições Africanas) apresentaram os maiores picos de vazão de 7,07 m<sup>3</sup>/s e 7,25 m<sup>3</sup>/s, respectivamente. Isto porque estes métodos consideram o interfluxo e a umidade antecedente do solo à chuva, além de que este método original de Cook foi elaborado sob condições típicas americanas, isto é, em bacias hidrográficas dos Estados Unidos. Quando utilizado em condições diferentes, isto é, em bacias hidrográficas do Brasil, o pico de vazão será diferente do que em condições típicas de bacias dos Estados Unidos. E o método de Cook modificado por Hudson (1995), foi elaborado sob condições tropicais e subtropicais, isto é, elaborado sob condições típicas de bacias africanas, isto significa que quando utilizado em condições típicas de bacias do Brasil, o pico de vazão será diferente do que em condições africanas. Outro fator importante é que ambos os

métodos são baseados na teoria da probabilidade é a subjetividade do coeficiente, isto é, depende do conhecimento do usuário. A utilização destas metodologias para determinação do pico de vazão para a bacia hidrográfica estudada ou para bacias de características semelhantes devem ser utilizada com cautela, prudência e tendo consciência de seus erros e limitações.

## **BIBLIOGRAFIA**

COGO, N.P. (2005). *Hidrologia aplicada à conservação do solo*. Erosão e Conservação do Solo (AGR 03006). 2005. 13f. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Departamento de Solos. Faculdade de Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS.

DENARDIN, J.E. & FREITAS, P.L. (1982). *Características fundamentais da chuva no Brasil*. Pesquisa Agropecuária Brasileira. v. 17, n° 10, p. 1409-1416.

HUDSON, N. *Soil Conservation*. (1995). 3<sup>rd</sup> Ed; Cornell University Press: New York.

HUGGINS, L.F. (1979). *Small watershed hydrology*. Lafayette, Purdue University. Agricultural Engineering Department. Jan. 1979. 67f.