

## CONTRIBUIÇÃO DE UMA FLORESTA PARA A INFILTRAÇÃO E O ESCOAMENTO SUPERFICIAL PELA COMPARAÇÃO DE DOIS MÉTODOS: BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO E SCS-CN

*Fabiana Regina Philipi; Arisvaldo Vieira Mello Júnior*

**Resumo** – O estudo da interação floresta e água tem acontecido há mais de cem anos e se torna cada vez mais necessário num contexto de perda de cobertura florestal e aumento no uso humano de água. Na tentativa de avaliar as variáveis do ciclo hidrológico de uma forma simples e no cenário brasileiro onde existe carência de dados fluviométricos, pode-se utilizar modelos chuva-vazão que são muito úteis devido à sua flexibilidade e baixa complexidade. Este estudo avaliou a contribuição de uma floresta para o escoamento superficial e a infiltração estimados pelo método *Soil Conservation Service* e pelo método Balanço Hídrico Climatológico na bacia do Ribeirão do Ferro localizada na unidade de conservação Floresta Nacional de Ipanema. As metodologias estimaram valores bastante discrepantes para escoamento superficial, não apresentando correspondência entre eles, e valores com boa correspondência para infiltração. Apesar da simplicidade dos métodos, os mesmos surgem como alternativas para avaliações preliminares de algumas variáveis do ciclo hidrológico.

**Palavras-Chave** – Balanço Hídrico Climatológico, SCS-CN, bacia florestal

## CONTRIBUTION OF A FOREST FOR INFILTRATION AND SURFACE RUNOFF BY THE COMPARISON OF TWO METHODS: CLIMATOLOGICAL WATER BALANCE AND CN-SCS

**Abstract** – The studies on the interaction between forest and water has been ongoing for more than a hundred years and is increasingly necessary in a context of loss of forest cover and increase in human water use. In an attempt to evaluate the variables of the hydrological cycle in a simple way and in the Brazilian scenario where there is lack of fluviometric data, rainfall-flow models are very useful due to their flexibility and low complexity. This study evaluated the contribution of a forest to the surface runoff and infiltration estimated by the Soil Conservation Service method and the Climatological Water Balance method in the Ribeirão do Ferro basin located in the Ipanema National Forest conservation unit. The methodologies estimated values quite discrepant for surface runoff, showing no correspondence between them, and values with good correspondence for infiltration. Despite the simplicity of the methods, they appear as alternatives for preliminary evaluations of some variables of the hydrological cycle.

**Keywords** – Climatological Water Balance, SCS-CN, forested watershed.

## INTRODUÇÃO

Água e floresta são relacionados de forma próxima e as interações entre mudanças nas florestas e a água têm sido estudadas há mais de cem anos (Chang, 2013). Ações voltadas ao uso e ocupação do solo estão sendo tomadas em todo o mundo com o objetivo de aumentar a disponibilidade de água: através do programa Grain-to-Green, a China incentiva proprietários de terra para converter as culturas anuais a espécies perenes ou florestas naturais (Hamel e Guswa, 2015). No Brasil, o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) foi instituído com o objetivo de, entre outros, proteger e recuperar recursos hídricos e edáficos (IBAMA, s/d).

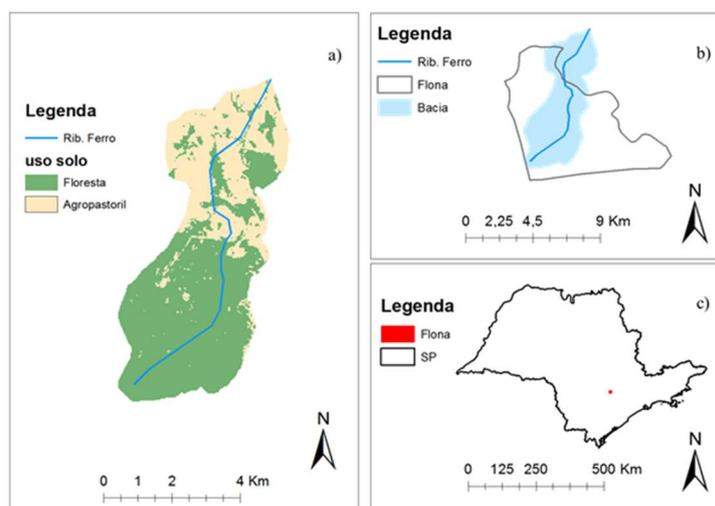
A relação entre o reflorestamento, uso e ocupação da terra e as contribuições no balanço hídrico é objeto de estudo da comunidade científica relacionando aspectos como alteração na evapotranspiração e escoamento superficial direto. Na tentativa de avaliar as variáveis do ciclo hidrológico de uma forma simples e no cenário brasileiro onde existe carência de dados fluviométricos, principalmente em pequenas bacias as quais se encontram em crescente processo de exploração, pode-se utilizar modelos chuva-vazão que são muito úteis graças à sua flexibilidade em prever comportamentos futuros ocasionados por alterações de ocupação do solo (Sartori *et al.*, 2005).

O método desenvolvido pelo SCS tem sido utilizado para avaliar o impacto hidrológico que a mudança do uso do solo sofre ao longo do tempo. Porém, existe uma diferença significativa entre as condições onde foram testadas nos Estados Unidos e onde tem sido aplicada no resto do mundo, quando se leva em consideração topografia, geologia e uso da terra (Choi *et al.*, 2016). Uma outra abordagem possível para análise do escoamento superficial e de outras variáveis do ciclo hidrológico é a aplicação do método do Balanço Hídrico Climatológico (BHC) desenvolvido por Thornthwaite & Mather (Pereira *et al.*, 2007).

O presente estudo tem como objetivo estimar o escoamento superficial e a infiltração da bacia do Ribeirão do Ferro (28 ha), onde a maior parte da floresta estacional semidecidual nativa da Unidade de Conservação Floresta Nacional de Ipanema (FLONA) se encontra e ocupa 18 ha da bacia. Dados públicos e de literatura serão aplicados no método SCS e no método BHC e os resultados comparados. A FLONA é uma área de pressão (vegetação original de transição entre os biomas de Mata Atlântica e Cerrado e possui alto grau de fragmentação) onde parte da floresta nativa vem sendo substituída por agricultura na área ocupada pelo movimento dos sem-terra desde 1992 (IBAMA, s/d).

## MATERIAL E MÉTODOS

Utilizou-se dados meteorológicos da Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática de Sorocaba (Sorocaba-A713 - INMET), localizada próxima a bacia do Ribeirão do Ferro e a FLONA apresentadas na Figura 1. Os dados obtidos com periodicidade diária e horária são: temperatura (°C), umidade (%), vento (m/s), radiação solar (kJ/m<sup>2</sup>), pressão (hPa) e precipitação (mm).



**Figura 1** – a) Uso do solo na bacia Ribeirão do Ferro; b) Bacia Ribeirão e FLONA; c) FLONA no Estado de São Paulo.

Na análise de contribuição do uso do solo floresta para a bacia do Ribeirão do Ferro (Figura 1), foi considerado o período entre 20 de fevereiro de 2015 e 15 de maio de 2017. O início se deu em fevereiro de 2015 considerando que o critério proposto para o BHC que assume que o solo se encontra na capacidade máxima de armazenamento (CAD) no final do período úmido, após a sequência de valores onde a precipitação é maior que a evapotranspiração (Pereira *et al.*, 2007). A análise se deu de forma contínua considerando para o método SCS a precipitação diária e para o método BHC a precipitação diária e a evapotranspiração potencial diária calculada pelo método de Penman-Monteith FAO-56 Method (Zotarelli *et al.*, 2010). Foi considerado o albedo para uma floresta de 12,5% conforme Chang (2013). No método do BHC foi utilizada a capacidade de água disponível (CAD) e a chuva efetiva considerando interceptação (I) de 22% da precipitação (P) conforme dados de campo apresentados por Tonello *et al.* (2014) para a FLONA.

As duas metodologias foram aplicadas de forma contínua, com discretização diária, comparando-se a geração de escoamento superficial e a infiltração diárias. Foram consideradas as precipitações em intervalos de tempo de três, sete e dez dias consecutivos para o método SCS.

### Estimativa da capacidade de água disponível (CAD)

A determinação da CAD em um solo é dada pela equação:

$$CAD = (CC - PMP) / 100 * dg * z_r * 10 \quad 1$$

sendo: CAD – capacidade de água disponível (mm); CC – umidade na capacidade de campo (%); PMP – umidade no ponto de murcha (%); dg – massa específica do solo (g/cm<sup>3</sup>); Z<sub>r</sub> – profundidade específica do sistema radicular (cm).

O solo da área de estudo é o Latossolo vermelho distrófico (IBGE, 2017) cujos valores de CC, PMP e dg são, respectivamente 28 %, 15 % e 1,48 g/cm<sup>3</sup> (Araújo *et al.*, 2004). Foram testados dois valores de Z<sub>r</sub> relacionados à cobertura do solo da floresta (conforme Figura 1), 200 e 500 cm (Alfonsi *et al.*, 1990), resultando respectivamente em CAD igual a 384,8 mm (cenário I) e 962,0 mm (cenário II).

### Balanço Hídrico Climatológico (BHC)

A equação do Balanço Hídrico Climatológico é dada pela equação 2. O algoritmo de cálculo é dado pelas equações 3 a 7, conforme Pereira *et al.* (2007).

$$\pm \Delta ARM = P_{ef} - ET - DP \quad 2$$

$$ALT = ARM_t - ARM_{t-1} \quad 3$$

$$\text{Se } P_{ef} - ETP \geq 0; ETR = ETP \quad 4$$

$$\text{Se } ALT \leq 0; ETR = P_{ef} + |ALT| \quad 5$$

$$\text{Se } ARM < CAD; EXC = 0 \quad 6$$

$$\text{Senão } EXC = (P_{ef} - ETP) - ALT \quad 7$$

sendo: ARM – armazenamento (mm); P<sub>ef</sub> – precipitação efetiva (precipitação subtraída da parcela de interceptação, mm); ET – evapotranspiração (mm); DP – drenagem profunda (mm); ALT – alteração de armazenamento (mm); ARM – armazenamento (mm); P<sub>ef</sub> – precipitação efetiva (precipitação subtraída a parcela de interceptação) (mm); ETP – evapotranspiração potencial (mm); ETR – evapotranspiração real (mm); EXC – excedente hídrico (mm); CAD – capacidade de água disponível (mm); P<sub>ef</sub> – precipitação efetiva (precipitação subtraída a interceptação) (mm).

A drenagem profunda foi desconsiderada. O escoamento superficial é o excedente hídrico diário (EXC). A infiltração foi calculada considerando a diferença positiva do armazenamento ARM entre dois dias consecutivos (apenas quando o solo absorve água), chamado delta de armazenamento

( $\Delta ARM$ ). O excedente hídrico (EXC) e o delta de armazenamento ( $\Delta ARM$ ) foram calculados para o cenário I e cenário II.

### Chuva excedente pelo método do Soil Conservation Service

O escoamento superficial é a chuva excedente ( $P_{ex}$ ) calculado através do método SCS (Departamento de Agricultura dos EUA, 1986), a partir da precipitação ( $P$ ) no período de três, sete e dez dias consecutivos, conforme as equações 8 e 9.

$$\text{Se } P > 0,2S; P_{ex} = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8 S}; \text{ senão } P_{ex} = 0 \quad 8$$

$$S = 25400 / (CN - 254) \quad 9$$

sendo  $P$  – precipitação (mm);  $P_{ex}$  – chuva excedente;  $S$  – máxima infiltração acumulada potencial (mm);  $S$  – máxima infiltração acumulada potencial (mm);  $CN$  – *curve number*.

Os valores do  $CN$  adotados levaram em consideração o tipo de cobertura do solo da floresta (Figura 1), a classificação de grupo hidrológico A para o Latossolo vermelho distrófico segundo Sartori *et al.* (2005) e a condição de umidade do solo (Departamento de Agricultura dos EUA, 1986). O valor de  $CN$  adotado para as condições I, II e III foram, respectivamente 19, 36 e 56. A chuva excedente diária ( $P_{ex}$ ) considerando períodos de três, sete e dez dias foi comparada com o excedente hídrico diário (EXC) nos cenários I e II. Para a análise da infiltração (INF) será adotada a diferença diária entre a precipitação ( $P$ ) e a chuva excedente ( $P_{ex}$ ). A infiltração (INF) considerando períodos de três, sete e dez dias foi então comparada com os valores de delta de armazenamento ( $\Delta ARM$ ) nos cenários I e II. Para estabelecer um grau de correspondência entre os valores calculados de escoamento superficial e infiltração pelos dois métodos nos dois cenários, foram adotados o coeficiente de determinação de  $r^2$  e a porcentagem de viés (PBIAS), conforme Moriasi *et al.* (2007).

$$PBIAS = 1 - \left( \frac{\sum_{i=1}^n EXC_i, \Delta ARM_i - P_{ex,i}, INF_i}{\sum_{i=1}^n P_{ex,i}, INF_i} \right) * 100\% \quad 10$$

$$r^2 = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (EXC_i, \Delta ARM_i - EXC^{med}, \Delta ARM^{med})(P_{ex,i}, INF_i - P_{ex}^{med}, INF^{med})}{\sum_{i=1}^n \sqrt{(EXC_i, \Delta ARM_i - EXC^{med}, \Delta ARM^{med})^2 (P_{ex,i}, INF_i - P_{ex}^{med}, INF^{med})^2}} \right]^2 \quad 11$$

sendo: EXC – excedente hídrico (mm);  $P_{ex}$  – chuva excedente;  $\Delta ARM$  – delta de armazenamento (mm) e INF – infiltração (mm). Para o coeficiente de determinação de  $r^2$ , quanto mais próximo de um

melhor a correspondência entre os valores. Para a porcentagem de viés, quanto mais próximo de zero menor a tendência dos valores pelo BHC serem maiores ou menores que os valores pelo SCS.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram analisados o escoamento superficial e a infiltração em 816 dias, considerando CAD igual a 384,8 mm (cenário I) e CAD igual a 962,0 mm (cenário II) para o BHC e considerando a precipitação (P) no período de três, sete e dez dias consecutivos para o SCS. A Tabela 1 apresenta os valores médios de EXC e  $\Delta$ ARM do BHC, Pex e INF do SCS, e os valores de  $r^2$  e PBIAS da comparação entre os métodos.

**Tabela 1** – Valores médios diários de escoamento superficial e infiltração obtidos pelos métodos BHC e SCS, e os respectivos índices comparativos, nos cenários I e II, para os períodos de precipitação analisados.

Cenários	Variável	Período			Comparação	Período					
		3 dias	7 dias	10 dias		3 dias		7 dias		10 dias	
	(mm)	3 dias	7 dias	10 dias		$r^2$	PBIAS	$r^2$	PBIAS	$r^2$	PBIAS
I	EXC	0,20	-	-	EXC x Pex	0,35	144,5	0,12	286,7	0,20	29,25
	Pex	0,08	0,05	0,16							
	INF	3,93	3,96	3,85	$\Delta$ ARM x INF	0,90	27,63	0,87	26,83	0,90	29,40
	$\Delta$ ARM	2,14	-	-							
II	EXC	0,11	-	-	EXC x Pex	0,03	28,08	0,03	102,6	0,04	-32,28
	Pex	0,08	0,05	0,16							
	INF	3,93	3,96	3,85	$\Delta$ ARM x INF	0,90	29,87	0,91	29,05	0,90	31,68
	$\Delta$ ARM	2,23	-	-							

Os valores médios diários do escoamento superficial e da infiltração apresentaram a mesma ordem de grandeza para os dois métodos. A análise comparativa diária das variáveis, considerando toda a série de dados, apresentou diferentes resultados entre os métodos.

Para o escoamento superficial, os valores de  $r^2$  mostram uma baixa correspondência entre os dois métodos em ambos cenários, para os três períodos de precipitação, embora o PBIAS tenha indicado que o método BHC sugere valores maiores do escoamento para todos os cenários e períodos, exceto para a comparação do escoamento no cenário II para 10 dias de precipitação. Isso pode indicar que parte do excedente hídrico estimado é também drenagem profunda e não apenas escoamento superficial. Para a infiltração, os valores de  $r^2$  indicaram boa correspondência entre os dois métodos, em ambos cenários, em todos os períodos. O PBIAS variou entre 26,83 e 31,68% indicando uma tendência da infiltração estimada método BHC ser maior do que o estimado pelo método SCS. Esse fato pode estar relacionado às perdas iniciais adotadas pelo SCS, que pode ser uma simplificação do

método para o caso em estudo. Moriasi *et al.* (2007) recomenda valores de até 25% para PBIAS quando se compara vazões estimadas por modelos hidrológicos com vazões observadas. Assim, considera-se que os valores de infiltração calculados pelos métodos foram satisfatórios para a bacia, levando-se em consideração a baixa complexidade dos métodos.

A estimativa do CAD afeta diretamente os resultados do método BHC. Os parâmetros de solo adotados foram baseados em informações obtidas da literatura e poderiam apresentar resultados diferentes com dados de campo. A metodologia adota no cálculo da ETP não levou em consideração o coeficiente de cultura que está relacionado com a área foliar e, assim, poderia apresentar valores superiores ao estimado para floresta. O CN recomendado pelo Departamento de Agricultura dos EUA (1986) para representar cobertura florestal está associado a bacias rurais. Este valor foi adotado neste trabalho, porém o mesmo nunca foi formalmente adaptado para a estimativa do escoamento superficial em áreas cuja cobertura do solo é floresta (Tedela *et al.*, 2008). Assim, examinar a adaptabilidade do CN, para a condição atual da bacia, é necessário para aumentar a acurácia da estimativa do escoamento superficial (Choi *et al.*, 2016). A simplicidade dos métodos adotados inviabiliza qualquer consideração sobre o escoamento básico, o que pode ser feito através de modelos hidrológicos cuja a complexidade é maior e requer mais dados de entrada.

## CONCLUSÃO

Os métodos BHC e SCS apresentaram valores médios diários de escoamento superficial e infiltração semelhantes, para dois cenários de capacidade de armazenamento de água no solo e diferentes períodos de precipitação. Quando se compara os resultados obtidos para o estudo de caso, considerando a série de dados, as metodologias estimaram valores bastante discrepantes para escoamento superficial, não apresentando correspondência entre eles, e valores com boa correspondência para infiltração. Os resultados mostraram uma tendência da infiltração estimada pelo método BHC ser maior que a estimada pelo método SCS. Apesar da baixa complexidade dos métodos e das simplificações adotadas, os mesmos surgem como alternativas para avaliações preliminares de algumas variáveis do ciclo hidrológico em situações de escassez de dados.

## REFERÊNCIAS

- Alfonsi, R.R.; Pedro Jr.; M.J., Arruda, F.B. (1990). Métodos agrometeorológicos para o controle da irrigação. Boletim Técnico. IAC/PRONI. n.133 62 p.
- Araújo, M.A; Tormena, C.A.; Silva, A.P. (2004). Propriedades físicas de um latossolo vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. *R.Bras.Ci. Solo*, 28. pp. 337 – 345

- Chang, M. (2013). *Forest Hydrology: an Introduction to Water and Forests*, Third Edition. 556 p.
- Choi, H.T., Kim, J., Lim, H. (2016). Estimating the SCS runoff curve number in forest catchments of Korea. Geophysical Research Abstracts, EGU General Assembly, vol. 18.
- Departamento de Agricultura dos EUA. (1986). Natural Resources Conservation Service. Conservation Engineering Division Technical Release 55.
- Hamel, P.; Guswa, A. J. (2015) Uncertainty analysis of a spatially explicit annual water-balance model: case study of the Cape Fear basin, North Carolina. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 19: pp. 839–853.
- IBAMA. Plano de Manejo da Floresta Nacional de Ipanema – Diagnóstico. São Paulo. 44 p.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Geociências. Disponível em: [http://downloads.ibge.gov.br/downloads\\_geociencias.htm](http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm). Acesso em 15 de maio de 2017.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acesso em 15 de maio de 2017.
- Moriasi, D.N.; Arnold, J.G.; Van Liew, M.W.; R. L. Bingner, R. D. Harmel, T. L. Veith. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 50 (3). pp. 885 – 900.
- Pereira, A.R.; Angelocci, L.R.; Sentelhas, P.C. (2007). *Meteorologia Agrícola – LCE 306*. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, São Paulo. 192 p.
- Sartori, A.; Lombardi Neto, F.; Genovez, A.M. (2005). Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. 10 (4). pp. 5 – 18.
- Tedela, N.; Mccutcheon, S.; Rasmussen, T.; Tollner, W. (2008). Evaluation and Improvements of the Curve Number Method of Hydrological Analysis on Selected Forested Watersheds of Georgia. Georgia Water Resources Institute.
- Tonello, K.C.; Gasparoto, E.A.G.; Shinzato, E.T.; Valente, R.A.; Dias, H.T (2014). Precipitação efetiva em diferentes formações florestais na FLONA de Ipanema. *Revista Árvore*. 38 (2): pp. 383 – 390.
- Zotarelli, L; Dukes, M.D.; Romero; C.C.; Migliaccio, K.W.; Morgan, K.T. (2010). Step by step calculation of the Penman-Monteith evapotranspiration AE459, University of Florida.