

XII SIMPÓSIO DE RECURSOS HIDRÍCOS DO NORDESTE

CONFIABILIDADE NA ESTIMATIVA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL COM O USO O MODELO DE GREEN-AMPT PARA UMA MICROBACIA SEMIÁRIDA

José Ribeiro de Araújo Neto¹; Everton Alves Rodrigues Pinheiro²; José Wellington Batista Lopes³; Eunice Maia de Andrade⁴; Júlio César Neves dos Santos⁵

RESUMO – Uma das principais tarefas da hidrologia é o particionamento da precipitação em abstrações e precipitação efetiva. Dentro das abstrações pode-se citar a infiltração e a interceptação, esta última ocorre em áreas vegetadas. A modelagem hidrológica é uma ferramenta bastante útil para a previsão destes processos hidrológicos. Diante disso, este trabalho aplicou o modelo de infiltração de Green e Ampt para estimar o escoamento superficial em uma microbacia hidrográfica localizada no semiárido cearense. Através de simulações estocásticas foi estimada a confiabilidade da taxa de infiltração em cada intervalo de tempo, intensidade da precipitação e do escoamento superficial. Os principais resultados mostraram baixa confiabilidade para a taxa de infiltração nos intervalos iniciais de tempo; o escoamento superficial total foi superestimado em mais de 100%, apresentado baixa confiabilidade; a intensidade de precipitação apresentou elevada variabilidade, o que pode ter contribuído substancialmente para a redução da confiabilidade das saídas do modelo de Green e Ampt.

ABSTRACT – One of the main tasks of hydrology is the partitioning of rainfall into abstractions and effective precipitation. Within the abstractions we can cite infiltration and interception, the latter occurs in areas with vegetation cover. Hydrological modeling is a useful tool for predicting these hydrological processes. For this reason, this study applied the Green-Ampt infiltration model to estimate runoff in a catchment located in the semiarid from Ceará. Through stochastic simulations were estimated the reliability of infiltration rate in each time interval, rainfall intensity and runoff. The results showed low reliability for the infiltration rate in the initial interval of time, the total runoff was overestimated by more than 100% presented low reliability; rainfall intensity showed high variability, which may have contributed substantially to the reducing the reliability of model outputs of Green and Ampt.

Palavras-chave: hidrologia, modelagem, infiltração.

¹ Tecnólogo em Irrigação e Drenagem, doutorando em Engenharia Agrícola no Departamento de Engenharia Agrícola, DENA/CCA/UFC. E-mail: juniorifcelabas@gmail.com;

² Engenheiro Agrônomo, MSc. em Engenharia Agrícola, doutorando em Engenharia de Sistemas Agrícolas, ESALQ/USP. E-mail: evertonvest@yahoo.com.br;

³ Engenheiro Agrônomo, MSc. em Engenharia Agrícola, doutorando em Engenharia Agrícola, DENA/CCA/UFC. E-mail: wellingtonjwl@gmail.com.

⁴ Engenheira Agrônoma, PhD. Profa. Depto.de Engenharia Agrícola DENA/CCA/UFC. E-mail: andrade@ufc.br;

⁵ Tecnólogo em Irrigação e Drenagem, Doutorando em Engenharia Agrícola no Departamento de Engenharia Agrícola, DENA/CCA/UFC. E-mail: julioesnds@yahoo.com.br.

1. INTRODUÇÃO

A importância dos processos de infiltração na pedologia, hidrologia, e ciências ambientais tem levado consideráveis investigações na literatura especializada sobre a modelagem da infiltração da água no solo. Essas observações possuem caráter experimental, teórico, analítico, numérico e empírico (KALE; SAHOO, 2011). De acordo com Swamee *et al.* (2012), equações teóricas para a predição da taxa de infiltração e infiltração acumulada são necessárias naquelas situações em que os processos acontecem em meio poroso.

Quando a água é aplicada ao solo e infiltra completamente no perfil, significa que a taxa de aplicação não excedeu a taxa de infiltração, ou seja, não ocorreu empoçamento na superfície. Porém, quando a taxa de aplicação excede a taxa de infiltração, ocorre o armazenamento de água na superfície, dando início à formação do excesso de precipitação, causando o escoamento superficial. Dentro desta ótica, surgiu o modelo de infiltração de Green-Ampt (GA) (GREEN; AMPT, 1911), que é uma versão simplificada de todos os modelos hidrodinâmicos de concepção física, conhecidos como equações de Richards (KALE; SAHOO, 2011).

O modelo GA por se mostrar com significativa acurácia nas suas saídas é muitas vezes preferido na resolução de muitos problemas de campo, tais como, cálculo da infiltração na modelagem dos processos de chuva/deflúvio, modelagem de água subterrânea, e em estudos que envolvem sistemas de drenagem no manejo da irrigação (KALE; SAHOO, 2011). Por ser um modelo de concepção física que permite a atribuição da taxa de infiltração considerando a intensidade de chuva, portanto mais realista, é geralmente preferido pelos modelistas e incorporado à rotina de outros modelos bem mais complexos, como o SWAT (NEITSCH *et al.*, 2002) e o WASA (GÜNTNER; BRONSTERT, 2004).

A modelagem hidrológica de uma bacia hidrográfica requer o particionamento de um evento de precipitação em escoamento superficial e infiltração (CHU; MARIÑO, 2005). No entanto, para que um modelo possa atingir valores razoáveis neste particionamento, muitos fatores estão envolvidos. Primeiramente, há a necessidade de um banco de dados consistente que permita a validação das saídas geradas pelo modelo (FERRO; PORTO, 2000). Outro ponto de extrema importância é a parametrização do modelo, de modo tal que o mesmo possa representar adequadamente a variabilidade das características da bacia hidrográfica (MEDEIROS *et al.*, 2010). No que diz respeito ao modelo GA, Cecílio *et al.* (2003) alertam para a necessidade de adequação dos parâmetros de entrada, visto que, a não adequação pode causar imprecisão nas saídas do modelo.

Dentro da modelagem hidrológica, alguns parâmetros possuem alta sensibilidade em seus valores. Geralmente a calibração é empreendida para reduzir as incertezas associadas com as

estimativas dos parâmetros. Para assegurar a eficiência da calibração, a análise de sensibilidade é conduzida para identificar quais parâmetros de um modelo são mais sensíveis (KANNAN *et al.*, 2007). Já para avaliar a confiabilidade das saídas geradas por um modelo, aplica-se a análise de incertezas, que consiste na determinação do intervalo de predição do modelo, quanto menor este intervalo, mais robusto é o modelo (SILVA, 2010).

Portanto, se objetiva com este trabalho, aplicar o modelo de Green e Ampt a uma microbacia semiárida, avaliando a confiabilidade das saídas (infiltração e escoamento superficial).

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido para uma microbacia hidrográfica, com uma área de 0,026 km², aninhada com a bacia do Alto Jaguaribe (6°23'42'' a 6°23'47'' S e 39°15'24'' a 39°15'29'' W), município de Iguatu, CE, Figura 1. O clima é BSw'h' de acordo com a classificação de Köppen, com média anual de precipitação de 970 mm, com precipitações concentradas principalmente nos meses de janeiro a maio, com os maiores valores no mês de março. A média anual de evaporação é de 2.943 mm. A microbacia está inserida dentro de uma única classe de solo (Vertissolo Ebânico Carbonático típico), com uma cobertura vegetal preservada, classificada como *Caatinga* arbustivo-arbórea fechada (ARAÚJO NETO *et al.*, 2012).

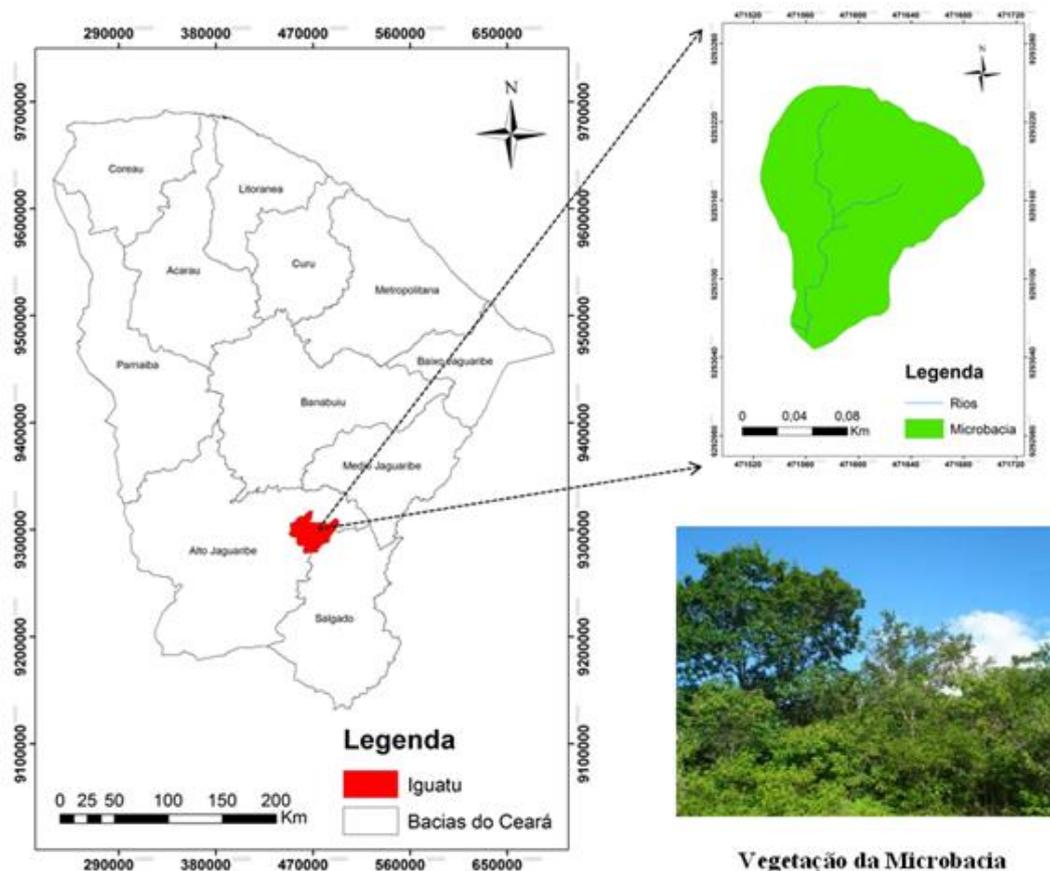


Figura 1 - microbacia em estudo localizada no município de Iguatu, Ceará, Brasil

A fim de se incorporar maior agilidade nas etapas de calibração, validação e aplicação do modelo GA, desenvolveu-se rotinas em linguagem de programação (FORTRAN). Dentro destas rotinas, considerou-se todas as hipóteses simplificadoras do modelo GA (CHOW *et al.*, 1988). Admitindo-se que no instante $t=0$ a infiltração acumulada é $F=0$, e que a taxa (f) tende ao infinito, portanto não há empoçamento, a infiltração acumulada para o primeiro intervalo de tempo foi calculada pela Equação 1, em que F_t é igual a zero.

$$F_{t+\Delta t} = F_t + i_t \Delta t \quad (1)$$

Em que: $F_{t+\Delta t}$ - Infiltração acumulada no tempo $t+\Delta t$, F_t - Infiltração acumulada no tempo t , i_t - intensidade de precipitação no intervalo, Δt - intervalo de tempo entre as medições.

Em seguida se calculou a taxa de infiltração potencial atual $f_{t+\Delta t}$ (Equação 2) a partir do valor conhecido de infiltração acumulada $F_{t+\Delta t}$.

$$f_{t+\Delta t} = K \left(\frac{\Psi \Delta \theta}{F'_{t+\Delta t}} + 1 \right) \quad (2)$$

Em que: $f_{t+\Delta t}$ - taxa de infiltração no tempo $t+\Delta t$, K - condutividade hidráulica saturada do solo, ψ - potencial matricial do solo, $\Delta \theta$ - parâmetro de variação da umidade do solo, $F'_{t+\Delta t}$ - Infiltração acumulada no tempo $t+\Delta t$.

O resultado de $f_{t+\Delta t}$ é comparado com a intensidade da chuva (i_t). Se $f_{t+\Delta t} < i_t$ então ocorre empoçamento do solo e neste caso, a infiltração acumulada é calculada pela Equação 3:

$$F_{t+\Delta t} = F_t + K \Delta t + \psi \Delta \theta \ln \left[\frac{F_{t+\Delta t} + \psi \Delta \theta}{F_t + \psi \Delta \theta} \right] \quad (3)$$

Em que: $F_{t+\Delta t}$ - Infiltração acumulada no tempo $t+\Delta t$; F_t - Infiltração acumulada no tempo t , K - condutividade hidráulica saturada do solo, ψ - potencial matricial do solo, $\Delta \theta$ - parâmetro de variação da umidade do solo.

Porém, se $f_{t+\Delta t} > i_t$, então não ocorre empoçamento e a infiltração acumulada é calculada pela Equação 1, em que F_t será a infiltração acumulada dos intervalos anteriores.

Os valores de condutividade hidráulica saturada (K) e umidade do solo ($\Delta \theta$) foram medidos na microbacia em estudo e considerados constantes na frente de molhamento. Pelo fato de não existir curvas de retenção para a área de estudo, procedeu-se a calibração e validação de um valor de potencial matricial para ser usado na frente de molhamento.

Para a análise de confiabilidade do modelo GA, escolheu-se um evento de precipitação e avaliou as incertezas na saída de cada intervalo de tempo (1 h) para este evento. Para a análise, foi

criada uma série sintética para i_t , θ e Ψ , para tal, se fez necessário a obtenção de um valor médio seguido de desvio padrão para cada uma destas entradas. Para a variável i_t , a média e desvio foram calculados a partir dos dados de três pluviógrafos instalados dentro da microbacia e de suas combinações, Tabela 1. A média e desvio padrão de θ foram calculados a partir de três pontos amostrais e de suas combinações. Considerou-se o conteúdo de água no solo do dia anterior ao evento, visto que as medidas de θ foram registradas na escala diária, Tabela 2. Tendo em vista que foi feita uma calibração do parâmetro Ψ , sua média e desvio foram obtidos a partir dos resultados gerados na calibração para os cinco eventos anteriormente citados.

Tabela 1- Intensidades de precipitação registradas pelos pluviógrafos (P) instalados na microbacia com suas respectivas médias dentro de cada intervalo de tempo

Intervalo (h)	Precipitação (mm)							Média	σ	CV
	P1	P2	P3	(P1+P2) ¹	(P1+P3) ¹	(P2+P3) ¹	(P1+P2+P3) ¹			
1	0,85	0,00	0,89	0,42	0,87	0,44	0,58	0,58	0,32	55,95
2	2,54	0,00	0,30	1,27	1,42	0,15	0,95	0,95	0,90	94,86
3	39,86	0,00	42,33	19,93	41,09	21,16	27,39	27,39	15,33	55,98
4	4,24	33,12	5,03	18,68	4,64	19,08	14,13	14,13	10,62	75,15
5	1,27	5,46	1,48	3,37	1,38	3,47	2,74	2,74	1,52	55,66
6	4,66	1,09	4,14	2,88	4,40	2,62	3,30	3,30	1,25	37,75
7	5,51	0,00	5,62	2,76	5,57	2,81	3,71	3,71	2,08	55,91
8	1,27	0,00	1,78	0,64	1,52	0,89	1,02	1,02	0,59	58,15
9	0,42	0,00	1,18	0,21	0,80	0,59	0,54	0,54	0,39	72,24

¹média da combinação das intensidades de chuva obtida para os diferentes pluviógrafos, desvio padrão (σ), coeficiente de variação (CV).

Tabela 2 – Umidade do solo registrada nos três pontos amostrais (A) no dia anterior a ocorrência do evento

Umidade % (base de massa)							Média	σ	CV
A1	A2	A3	(A1+A2) ¹	(A1+A3) ¹	(A2+A3) ¹	(A1+A2+A3) ¹			
37,69	27,15	28,09	32,42	32,89	27,62	30,98	30,98	3,76	12,15

¹ média da combinação das amostras de umidade do solo obtida para os diferentes pontos de coleta, desvio padrão (σ), coeficiente de variação (CV).

Assumindo que i_t , θ e Ψ possuem distribuição normal, aplicou-se o método de Monte Carlo nas simulações estocásticas, a fim de construir a série sintética de i_t , θ e Ψ para cada intervalo de tempo. O critério de parada das simulações foi quando a média e desvio da série sintética convergiram para a média e desvio medido. O valores sintéticos foram obtidos a partir da Equação 4 (para mais detalhes ver CHOW *et al.*, 1988).

$$X = \mu + \sigma * z \quad (4)$$

Em que: X - valor sintético encontrado por meio da simulação estocástica, μ - média da variável obtida a partir dos valores medidos, σ - desvio-padrão da variável obtido a partir dos valores medidos, z - variável normal padrão (função densidade probabilidade).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise de Confiabilidade das saídas do modelo de Green-Ampt (GA)

A Figura 2A mostra o decaimento assintótico da curva da taxa de infiltração, apresentando ainda com 95% de probabilidade suas respectivas faixas de variação. Ainda na Figura 2A, o gráfico em barras representa as intensidades de precipitação (i_t) dentro de cada intervalo, também com suas faixas de variação com 95% de probabilidade. Por exemplo, no intervalo 1 a taxa de infiltração prevista pelo modelo foi de 28,1 mm/h, no entanto, a análise de confiabilidade mostra que esta pode variar de 6-50 mm/h. Avaliando o intervalo 3, o valor de i_t foi de 27,7 mm/h, no entanto, a análise de confiabilidade mostra que i_t pode variar de 13 a 45 mm/h. Neste mesmo intervalo, na Figura 2B, o escoamento superficial estimado pelo modelo foi de 23,4 mm, mas podendo variar de 13 a 45 mm. A Tabela 3 traz a média, desvio e coeficiente de variação da infiltração acumulada, intensidade de precipitação, taxa de infiltração e escoamento superficial para cada intervalo. O escoamento superficial estimado pelo modelo GA para o evento analisado foi de 38,7 mm, enquanto que o valor medido foi de 13,2 mm. A análise de confiabilidade apresentou um intervalo de predição de 13,2 – 64,1 mm.

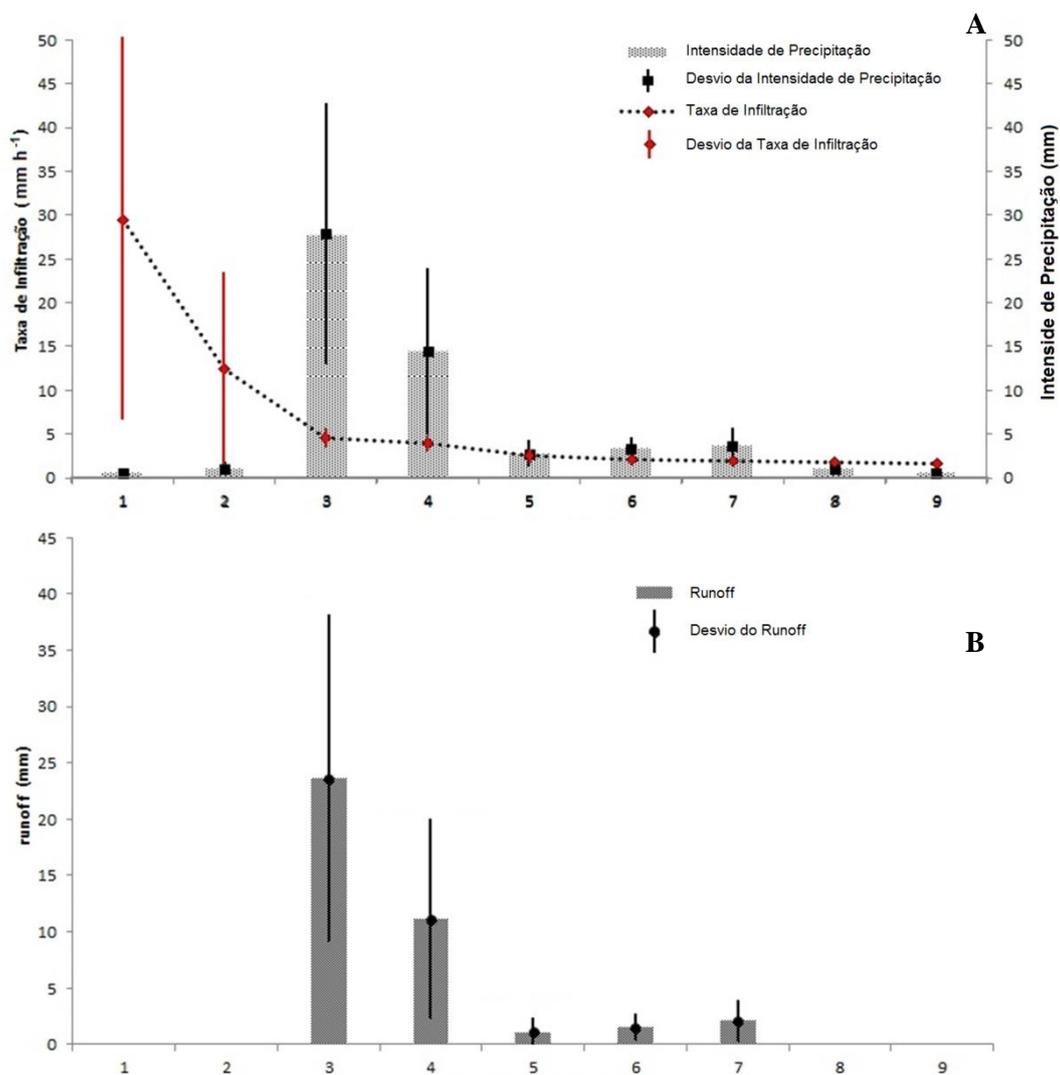


Figura 2 - Análise de confiabilidade para cada intervalo de tempo do modelo de Green & Ampt: (A) intensidade de precipitação e taxa de infiltração e (B) escoamento superficial.

Tabela 3 - Média, desvio padrão e CV da série sintética para a infiltração acumulada (F), intensidade de precipitação (i_t), taxa de infiltração (f) e escoamento superficial (He)

Intervalo (h)	Estatística	F	I_t	f	He
1	Média	0,58	0,57	28,09	0,00
	Desvio	0,31	0,28	16,61	0,00
	CV	54,00	49,51	59,11	0,00
2	Média	1,63	1,01	11,24	0,00
	Desvio	0,82	0,73	7,62	0,00
	CV	50,61	72,80	67,84	0,00
3	Média	3,22	27,65	4,46	23,35
	Desvio	0,03	13,43	1,00	13,23
	CV	1,00	48,56	22,44	56,68
4	Média	3,79	14,32	3,81	10,86
	Desvio	0,01	8,79	0,82	8,15
	CV	0,34	61,41	21,50	75,04
5	Média	6,55	2,75	2,36	1,01

	Desvio	1,50	1,36	0,70	1,17
	CV	22,88	49,67	29,52	115,97
6	Média	8,04	3,34	1,90	1,50
	Desvio	0,16	1,11	0,39	1,08
	CV	1,98	33,35	20,39	72,25
7	Média	8,64	3,66	1,76	2,03
	Desvio	0,03	1,83	0,36	1,66
	CV	0,35	50,02	20,58	82,13
8	Média	9,66	1,03	1,63	0,00
	Desvio	0,56	0,50	0,34	0,00
	CV	5,85	48,21	20,73	0,00
9	Média	10,22	0,54	1,51	0,00
	Desvio	0,68	0,32	0,31	0,00
	CV	6,62	59,21	20,66	0,00

A baixa confiabilidade encontrada para o modelo GA muitas vezes é atribuído ao fato de que quando o solo está úmido produz menos infiltração e mais escoamento, portanto, mudanças na infiltração (e assim no escoamento) acontecem de forma contínua para o modelo GA, ou seja, o que aconteceu no intervalo anterior é propagado para o próximo (KANNAN, *et al.* 2007). De acordo com Rwal (2003), para o sucesso do modelo GA, rotinas horárias não são suficientes, visto que as intensidades de chuva variam substancialmente a nível sub-horário. Intervalo de 1 h foi a rotina usada por este trabalho, o que pode não ter sido suficiente para produzir resultados mais confiáveis. Yu (1999), afirma que os parâmetros do modelo GA são melhores estimados quando calibrados com valores de escoamento medido do que considerando propriedades do solo. Para este trabalho, o único parâmetro calibrado com dados de escoamento foi o Ψ , os demais foram medidos em campo. Para Kale e Sahoo (2011), na escala de bacia hidrográfica os processos de infiltração são altamente dependentes da correta estimativa das propriedades hidráulicas do solo, da distribuição da umidade ao longo do perfil vertical e das intensidades de precipitação.

Smemoe *et al.* (2004), argumentam que a precipitação em si faz parte do conjunto de variáveis mais sensíveis de um modelo. Portanto, outra fonte de incerteza encontrada neste estudo, talvez a mais importante, tenha sido a grande variabilidade das intensidades de precipitação dentro de cada intervalo, para todos eles o coeficiente de variação foi superior a 50%. Isso para uma área de apenas 0,026 km². Tendo em vista que o modelo GA considera as intensidades de precipitação na resolução de suas equações, todas essas incertezas foram propagadas na saída final do modelo. Kannan *et al.* (2007), mostraram que o método da Curve Number (CN) conseguiu representar mais fielmente o escoamento superficial para uma bacia agrícola do que o modelo GA, sendo a entrada precipitação uma das explicações, pois no método CN o passo foi diário, não sendo considerado as intensidades.

Representar a variabilidade das características de uma bacia hidrográfica é o grande desafio da modelagem hidrológica atual. Modelos hidrológicos que são capazes de prever o padrão espacial do escoamento superficial são de grande utilidade na gestão dos recursos hídricos e no estudo dos processos físicos que regem o comportamento de uma bacia. Portanto, o modelo GA pode ser considerado muito simples quando comparado com os modelos hidrológicos de grande robustez aplicados a grandes escalas, que consideram em suas rotinas diversos parâmetros relacionados ao clima, solo e vegetação e que estão sempre refinando a parametrização na tentativa de se aumentar a confiabilidade nas estimativas (MEDEIROS *et al.*, 2010; GÜNTNER; BRONSTERT, 2004).

4. CONCLUSÕES

- (i) o modelo de Green e Ampt apresentou baixa confiabilidade na estimativa das taxas de infiltração para os intervalos de tempo iniciais;
- (ii) o escoamento superficial total foi superestimado em mais de 100%, apresentado, portanto, baixa confiabilidade;
- (iii) a intensidade de precipitação apresentou elevada variabilidade, o que pode ter contribuído substancialmente para a redução da confiabilidade das saídas do modelo de Green e Ampt.

BIBLIOGRAFIA

- ARAÚJO, J. C. (2007). “Entropy-based equation to assess hillslope sediment production”. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 32, n. 13, pp. 2005-2018.
- CECÍLIO, R. A.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; MARTINEZ, M. A. (2003). “Modelagem da infiltração de água no solo sob condições de estratificação utilizando a equação de Green & Ampt”. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n.3, pp. 415-422.
- CHOW, V. T., MAIDMENT, D. R., MAYS, L. W. (1998) *Applied hydrology*. McGraw-Hill International Editions, Singapura. ISBN 0-07-010810-2.
- CHU, X.; MARIÑO, M. G. (2005). “Determination of ponding condition and infiltration into layered soils under unsteady rainfall”. *Journal of Hydrology*, v. 313, pp. 195-207.
- FERRO, V.; PORTO, P. (2000). “Sediment delivery distributed (SEDD) model”. *Journal Hydraulic Engineering*, v. 5, n. 4.
- GREEN, W. H., AMPT, G. A. (1911). *Studies on soil physics-1*. The flow of air and water through soils. *Journal of Agricultural Science*, v. 4, n. 1, pp. 1-24.

- GÜNTNER, A.; BRONSTERT, A. (2004). “Representation of landscape variability and lateral redistribution processes for large-scale hydrological modeling in semi-arid areas”. *Journal of Hydrology*, v. 297, pp. 136-161.
- HILLEL, D. (1980). *Applications of soil physics*. New York, Academic Press, 385p.
- KALE, R. V.; SAHOO, B. (2011). “Análise de incertezas e avaliação dos fatores influentes no desempenho de modelos de simulação de bacias hidrográficas”. *Water Resour Manage*, v. 25, pp. 3505-3536.
- KANNAN, N.; WHITE, S. M.; WORRALL, F.; WHELAN, M. J. (2007). “Sensitivity analysis and identification of the best evapotranspiration and runoff options for hydrological modelling in SWAT-2000”. *Journal of Hydrology*, v. 332, pp. 456-466.
- McCUEN, R.H.; SNYDER, W. M. (1986). *Hydrologic modelling: Statistical methods and applications*. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice Hall.
- MEDEIROS, P. H. A.; GUENTNER, A.; FRANKE, T.; MAMEDE, G. L.; ARAÚJO, J. C. (2010). “Modelling spatio-temporal patterns of sediment yield and connectivity in a semi arid catchment with the WASA-SED model”. *Hydrological Sciences Journal*, v. 55, pp. 636-648.
- NEARING, M. A.; DEER-ASCOUGH, L.; LAFLEN, J. M. (1990). “Sensitivity analysis of the WEPP hillslope profile erosion model”. *Transactions of the ASAE*, v. 33, n. 3, pp. 839-849.
- NEITSCH, S. L., ARNOLD, J. G., KINIRY, J. R., WILLIAMS, J. R., KING, K. W. (2002). “Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation”, Version 2000. TWRI Report TR-191, Texas Water Resources Institute, College Station, TX.
- RAWLS, W. (2003). *Green and Ampt infiltration method*. United States Department of Agriculture-Agricultural Research Service, Hydrology and Remote Sensing Laboratory, Beltsville, MD, USA, Personal communication.
- REGALADO, C. M.; RITTER, A.; ÁLVAREZ-BENEDÍ, J.; MUÑOZ-CARPENA, R. (2005). “Simplified Method to Estimate the Green–Ampt Wetting Front Suction and Soil Sorptivity with the Philip Dunne Falling-Head Permeameter”. *Vadose Zone Journal*, v. 4.
- SILVA, L. R. S. (2010). “Análise de incertezas e avaliação dos fatores influentes no desempenho de modelos de simulação de bacias hidrográficas”, 2010. 241p. Tese de doutorado (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos). Universidade de Brasília.
- SWAMEE, P. K.; RATHIE, P. N.; OZELIM, L. C. S. M. (2012). “Explicit equations for infiltration”. *Journal of Hydrology*, v. 426-427, pp. 151-153.
- YU, B. (1999). “A comparison of the Green–Ampt and spatially variable infiltration model for natural storm events”. *American Society of Agricultural Engineers*. v. 42, n. 1, pp. 89–97.
- ZANETTI, S. S.; OLIVEIRA, V. P. S.; SOUSA, E. F.; SILVA, M. A.; ALMEIDA, F. T. (2005). “Análise de sensibilidade do modelo hidrobacia”. *Anais... XXXIV CONBEA*, Canoas-RS, 2005.