



APLICAÇÃO DO SIG NA ANÁLISE DO PADRÃO ESPACIAL DO MODELO SCS EM DIFERENTES ESCALAS

Everton Alves Rodrigues **Pinheiro**¹, José Ribeiro de **Araújo Neto**¹, José Wellington Batista
Lopes¹

(1 – Universidade Federal do Ceará, Discente do programa de mestrado em Engenharia Agrícola, evertonvest@yahoo.com.br, junior.bg@bol.com.br, wellingtonjwl@gmail.com)

Resumo

Os modelos hidrológicos têm a finalidade de estimar o escoamento superficial em regiões não monitoradas e estimar os padrões espaciais nas áreas monitoradas. Os processos que regem o escoamento superficial em bacias hidrográficas são bastante dependentes do fator escala, de modo que, quanto maior a escala maior os limites a serem ultrapassados para a ocorrência do mesmo. Se objetivou com esse trabalho aplicar e avaliar o padrão espacial das etapas do modelo SCS (*Soil Conservation Service* - Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos da América) para duas bacias hidrográficas semiáridas de diferentes escalas e com diferentes níveis de conservação. Todas as etapas do modelo foram processadas no ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas) numa resolução de pixel de 30m x 30m. Os principais resultados encontrados foram: (i) o tipo de uso do solo teve forte influência no padrão espacial dos picos de descarga, onde as áreas vegetadas se localizaram nas maiores faixas de armazenamento de água no solo; (ii) a importância da vegetação nas respostas do modelo se deu principalmente devido o *CN* ser é o principal parâmetro de entrada do modelo, que depende grandemente das condições de uso do solo, daí a importância dos estudos locais de parametrização do *CN* e (iii); declividade teve pouca influência nos resultados gerados pelo modelo; (iv) quanto maior o valor de *CN* menor tende a ser o tempo de concentração do pixel.

palavras-chave: Escoamento superficial. Modelagem hidrológica. Semiárido.

Abstract



APPLICATION OF GIS ON ANALYSE OF THE SPATIAL PATTERN OF SCS MODEL AT DIFFERENT SCALES

The hydrological models intend to estimate runoff in areas not monitored and estimate the spatial patterns in the monitored areas. The processes that govern the runoff in watersheds are quite dependent on the scale factor, so that as larger is the scale greater are the limits to be overcome for the occurrence of it. This work aimed to apply and to evaluate the spatial pattern of the SCS model steps (Soil Conservation Service) for two semiarid watersheds with different scales and different levels of conservation. All steps of the model were processed in GIS (Geographic Information System) at a pixel resolution of 30m x 30m. The main results were: (i) the type of soil use had a strong influence on the spatial pattern of peak discharge, where vegetated areas were located in the largest ranges of water storage in the soil, (ii) the importance of vegetation in responses of the model was mainly due to CN be the main input parameter of the model, which in turn depends greatly on the conditions of use of the soil, hence the importance of studies local of parameterization of the CN; (iii) the slope had little influence on the results generated by the model; (iv) high value of CN reduces the concentration time of the pixel.

Key-words: Runoff. Hydrologic modeling. Semiarid environment.

Resumen

APLICACIÓN DE SIG EN EL ANÁLISIS DE PATRONES ESPACIALES EL MODELO SCS APLICARSE A DIFERENTES ESCALAS

Los modelos hidrológicos están diseñados para estimar la escorrentía en las zonas no controladas y estimar los patrones espaciales en las áreas monitoreadas. Los procesos que regulan la escorrentía en cuencas son bastante dependientes del factor de escala, de modo que cuanto mayor sea la escala, mayor son los límites que deben superarse de la aparición de la misma. Si este trabajo tuvo como objetivo implementar y evaluar el patrón espacial de las etapas del modelo SCS (Soil Conservation Service - Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de América) por dos semi-áridas cuencas de diferentes escalas y con diferentes grados de conservación. Todos los pasos de la modelo fueron procesados en el SIG (Sistema de Información Geográfica) una resolución de píxel de 30m x 30m. Los principales resultados fueron los siguientes: (i) el tipo de uso de la tierra tuvo una fuerte influencia en el patrón espacial de descarga máxima, donde las áreas con vegetación se encuentra en las



maiores gamas de armazenamento de água em el suelo, (ii) la importancia de la vegetación en respuestas del modelo se debió principalmente al CN ser es el parámetro principal de entrada del modelo, que depende en gran medida de las condiciones de uso de la tierra, de ahí la importancia de la parametrización de los estudios locales de CN y (iii) la pendiente tenido poca influencia en los resultados generado por el modelo;(iv) alto valor de CN reduce el tiempo de concentración del pixel.

Palabras - clave: escorrentía. Modelación hidrológica. Semi-árido..

1. Introdução

Muitos processos estão envolvidos no escoamento superficial, gerando diferentes respostas a um dado evento de precipitação, destacando-se a intensidade de chuva, infiltração e armazenamento superficial. Para Costa (2007) os eventos chuva-deflúvio em regiões semiáridas têm a predominância do escoamento superficial hortoniano, ou seja, ocorre quando a intensidade de chuva excede a capacidade de infiltração do solo, desde que não existam obstáculos físicos que impeçam o fluxo.

Apesar de Boardman (2006) mostrar que o fator escala nas respostas hidrológicas de bacias hidrográficas deva ser tratado como uma questão importante, passiva de receber mais atenção, Mayor *et al.* (2011) comentam que a influência da escala nas respostas hidrológicas é muitas vezes quantificada com escassos dados empíricos. Neste sentido, os desafios científicos relacionados com a compreensão da escala associados aos processos hidrológicos, envolve o desenvolvimento de uma melhor comunicação entre esses processos e a gestão de bacias hidrográficas, condição essencial para uma abordagem sustentável dentro de uma série de problemas de recursos hídricos (SOULSBY *et al.*, 2004).

Dentro da ótica de planejamento dos recursos hídricos, surgem os modelos hidrológicos como uma das ferramentas de suporte na tomada de decisões (SINGH, 2002). O modelo SCS (*Soil Conservation Service* - Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos da América) é largamente empregado para estimativas de escoamento superficial, baseado no conceito de que a precipitação pode ser dividida em deflúvio e perdas (abstrações iniciais) que ocorrem antes do escoamento ter início (interceptação, infiltração e armazenamento da superfície) e perdas que ocorrem após o início do escoamento (KINNELL, 2009).

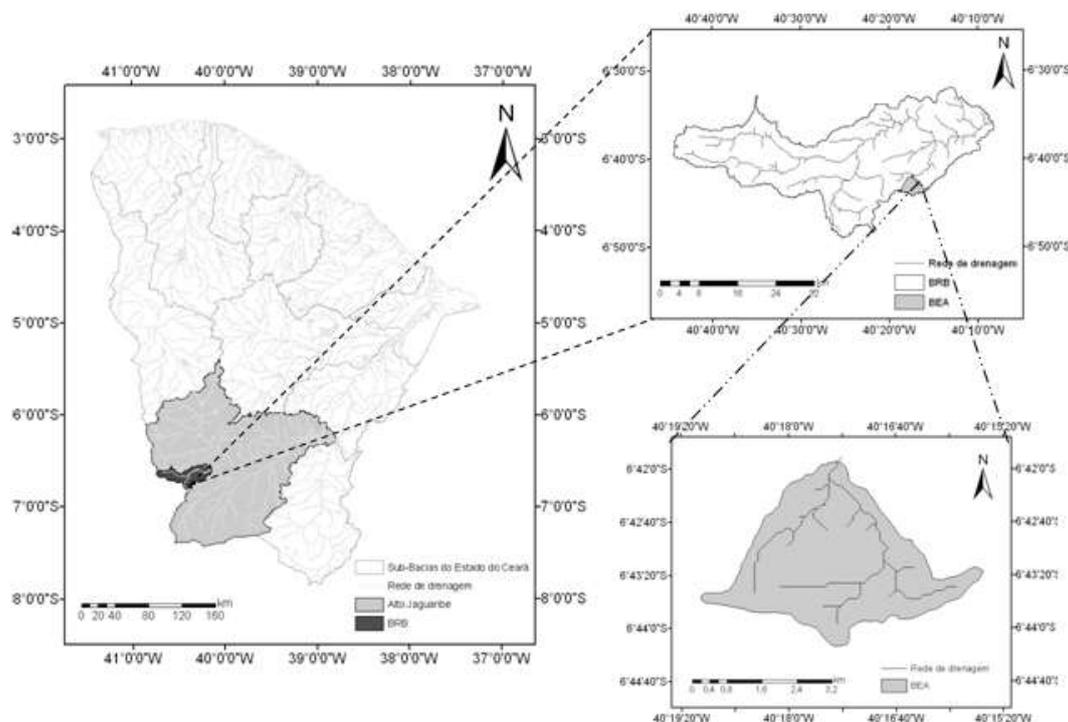
Se objetivou com esse trabalho aplicar e avaliar o padrão espacial das etapas do modelo SCS para duas bacias hidrográficas semiáridas de diferentes escalas e com diferentes níveis de conservação.

2. Material e métodos

2.1 Descrição da área de estudo

O modelo foi aplicado para a Bacia Representativa do Benguê (BRB) com área de 928,5 km² e para a Bacia Experimental de Aiuaba (BEA) com área de 12,6 km², representativas de meso e pequena escala, respectivamente. Ambas as bacias estão localizadas no município de Aiuaba, Estado do Ceará, aninhadas entre si e com a bacia do alto Jaguaribe, estrategicamente uma das bacias mais importante do Estado, Figura 1.

Figura 1. Localização da bacia representativa do Benguê de 928,5 km² e da bacia experimental de Aiuaba com 12,6 km²



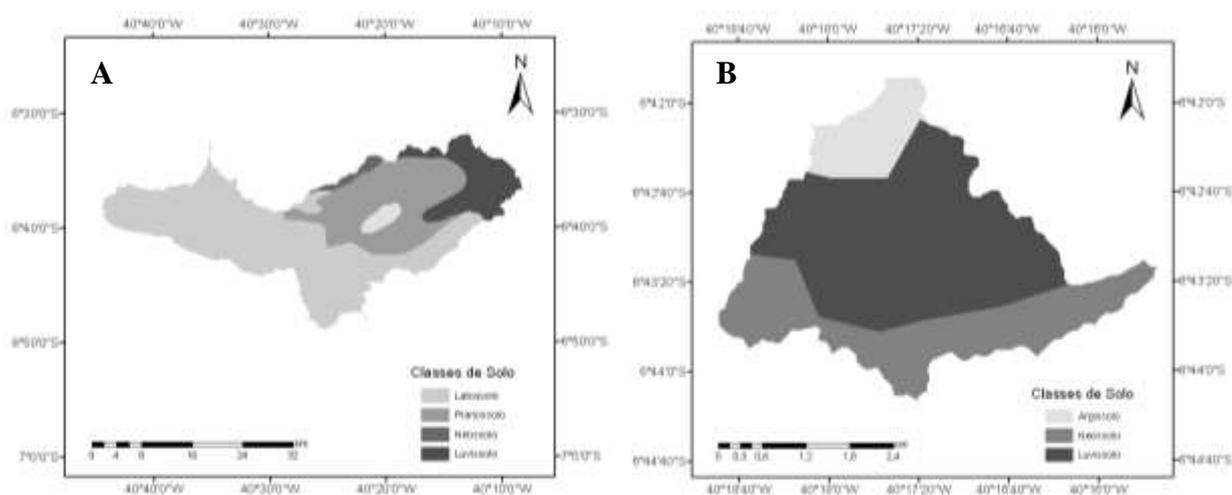
O tipo de vegetação predominante na região de estudo é a Caatinga, sendo que a BRB apresenta duas classes de Caatinga, uma preservada e outra degradada. Já a BEA está totalmente inserida dentro da Estação Ecológica do IBAMA (ESEC de Aiuaba), portanto com

vegetação preservada. Ambas as bacias possuem uma geologia localizada numa zona de transição entre a formação cristalina e sedimentar (CREUTZFELDT, 2006).

Os solos tendem a serem rasos com frequentes fragmentos de rochas, sendo as classes predominantes: Latossolo, Luvisolo, Argissolo, Planossolo e Neossolo (RADAMBRASIL PROJECT, 1981 *apud* MAMEDE, 2008), Figura 2.

O clima da região é tropical semiárido com média anual de evaporação potencial de 2.500 mm e precipitação média anual de 560 mm. A temperatura média é de 25°C e a elevação do terreno varia de 400 a 800 m acima do nível do mar (MAMEDE, 2008).

Figura 2. Mapa com as classes de solo para as bacias investigadas, BRB (A) e BEA (B).



Fonte: Radambrasil Project (1981 *apud* MAMEDE, 2008).

2.2 Delimitação das bacias e características fisiográficas

Para a delimitação automática das bacias em estudo utilizou-se dos dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) com resolução espacial de 92 m e da extensão ArcHydro “Terrain Preprocessing” do ArcGis, com thresholds 50, segundo proposta apresentada por Costa (2008). Após a delimitação das bacias e definição dos cursos de drenagem, se procedeu a determinação de algumas características morfométricas, Tabela 1 (VILELLA; MATOS, 1975).

Tabela 1. Características morfométricas da BRB e BEA

Características	BRB	BEA
Área (km ²)	928,5	12,6
Perímetro (km)	272,3	17,7
Comprimento do rio principal (km)	78,2	6,28
Densidade de Drenagem (km.km ⁻²)	2,9	2,5



Coefficiente de Compacidade	8,9	5,0
Fator de Forma	0,15	0,32

2.3 Determinação do pico de descarga pelo Método SCS (Soil Conservation Service, 1972 e 1990)

A precipitação efetiva ou excesso de chuva foi determinado de acordo com a Eq. 1 (SCS, 1990).

$$P_e = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \quad (1)$$

Em que:

P_e : Precipitação efetiva por pixel (mm);

P : Precipitação máxima diária por pixel (mm);

S : Potencial máximo de retenção de água do solo por pixel (mm).

A precipitação máxima diária sobre a área de estudo foi obtida a partir de uma série histórica de 34 anos (1978 a 2011) em cinco pluviômetros localizados dentro dos limites da região de estudo, Tabela 2.

Tabela 2. Precipitação máxima diária para uma série histórica de 34 anos para o município de Aiuaaba - CE

Postos pluviométricos	Precipitação máxima diária (mm)
Estação Ecológica	196
Bom Nome	161
Fazenda Nova	133
Cedro	103
Barra	100

Com os valores das precipitações máximas diárias dos postos georeferenciados, gerou-se um arquivo ASCII de precipitação no Software SURFER 8.0, pelo método do inverso do quadrado da distância. O arquivo foi salvo no formato de planilha (.xls) e exportado para o software ArcGIS, onde foi processado um mapa com valores pontuais de precipitação para cada pixel.

Para a determinação do S foi aplicada uma equação empírica proposta pelo SCS (1972) que relaciona o parâmetro CN (Curva Número) com o S (Eq. 2). Para P e P_e dado em milímetros, tem-se:



$$S = \frac{1000}{CN} - 254 \quad (2)$$

Para obtenção dos valores de *CN*, dois critérios são utilizados: uso e grupo do solo. Para a classificação do tipo de uso do solo foram classificadas imagens para a área de estudo, para tal procedimento foram utilizadas imagens do Satélite Landsat 5 TM do dia 06/07/03 e 27/04/10, adquiridas junto ao Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE), cujos pontos e órbitas utilizados foram: 217/65 e 218/65. A classificação digital das imagens foi efetuada utilizando um algoritmo de classificação supervisionada, denominado “Máxima verossimilhança” do Software ENVI 4.2. Neste processo foi necessário especificar inicialmente o nome e número de classes pretendidas, bem como o número mínimo de pixels em cada classe. Para a imagem estudada foram escolhidas quatro classes: Solo exposto, Forragem, Caatinga rala e Caatinga densa. Em seguida vetorizou-se todas as classes exportando-as no formato *shapefile* para o ArcGis 9.3.

Quanto à classe de solo, o método SCS engloba os solos em quatro grupos (A, B, C e D) de acordo com o potencial de escoamento superficial e taxa de infiltração (Aquino *et al.*, 2008).

O tempo de concentração foi estimado pela Eq. 3 proposta pelo SCS (1990).

$$TC = L^{0,8} \left[\frac{\left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0,7}}{4407 + (Sg)^{0,5}} \right] \quad (3)$$

Em que:

TC: tempo de concentração para cada pixel (h);

L: comprimento da diagonal do pixel (m);

CN: Curva número para cada pixel (adimensional e tabelado);

Sg: declividade de cada pixel da bacia ($m \cdot m^{-1}$).

O comprimento da diagonal do pixel foi estabelecido em 42 m, obtido através do teorema de Pitágoras, sendo que os catetos de cada pixel da imagem SRTM foram ajustados para a uma malha de 30 m, a fim de compatibilizar com a resolução das imagens Landsat 5.

A declividade (*Sg*) foi obtida por meio do modelo numérico do terreno a partir dos dados SRTM, o software Global Mapper 5.0 foi utilizado no processamento, onde foi gerado

um arquivo ASCII que permitiu interface com o ArcGIS onde foi feito o processamento do modelo.

Para a determinação do pico de descarga de cada pixel para as escalas estudadas, utilizou-se da Eq.4, proposta pelo SCS (1990).

$$Qp = \alpha A \frac{Pe}{Tc} \quad (4)$$

Em que:

Qp : vazão de pico para cada pixel ($m^3.s^{-1}$);

A : área do pixel (ha);

Pe : precipitação efetiva por pixel (mm);

Tc : tempo de concentração para cada pixel (h);

$\alpha = 0,0028$: constante de conversão de unidade.

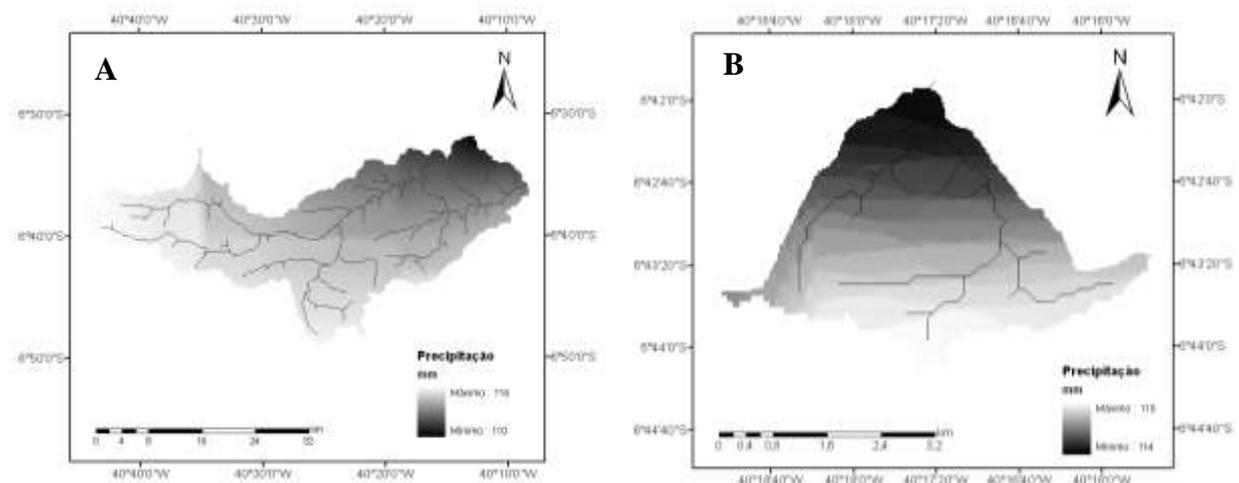
Todos os mapas, interpolações e operações matemáticas para as escalas em estudo foram feitos com o SURFER 8.0 e ArcGIS 9.3 numa resolução espacial de 30m x 30m.

3. Resultados e discussão

3.1 Estimativa do pico de descarga pelo Modelo SCS

A primeira variável analisada para a determinação do pico de descarga foi a precipitação máxima diária (P) obtida de maneira distribuída para as bacias em estudo, Figura 3.

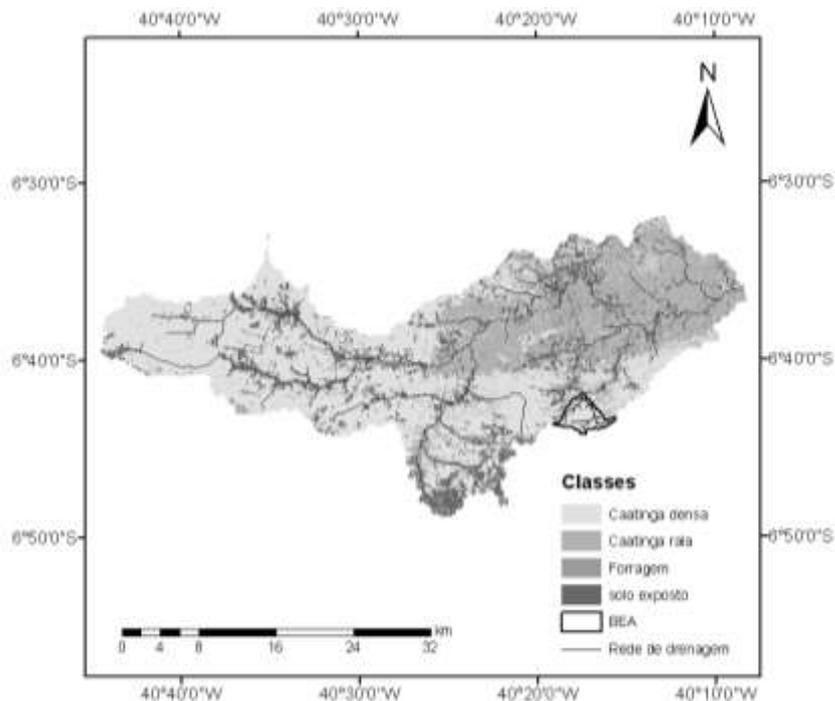
Figura 3. Mapas de precipitação máxima diária por pixel para a BRB (A) e BEA (B)



Os valores oscilaram de 110 mm a 116 mm para a BRB e de 114 mm a 115 mm para a BEA, sendo que os maiores valores foram registrados nas maiores cotas, ou seja, nas cabeceiras dos rios. Mesmo sendo uma variação pequena para ambas as bacias, se verifica que a BRB apresentou a maior amplitude das máximas anuais, da ordem de 6%, enquanto que a BEA por representar uma escala menor, apresentou uma variação de 1%. Chow *et al.* (1988) afirmam que a precipitação varia grandemente tanto na escala espacial quanto na temporal e que depende fundamentalmente do padrão geral de circulação atmosférica e dos fatores locais. Yu e Chen (1997) mostram que as atuais redes de monitoramento de precipitação não conseguem representar bem as variações espaciais e temporais, sabe-se também que a alta variabilidade espacial da precipitação não depende somente do número de postos, mas também da distribuição destes na área amostrada. Portanto, para uma maior confiabilidade das respostas geradas por modelos hidrológicos, Michaelides *et al.* (2009) afirmam que há a necessidade de se representar as medidas de precipitação de forma tal a capturar as características de distribuição típicas da escala de estudo.

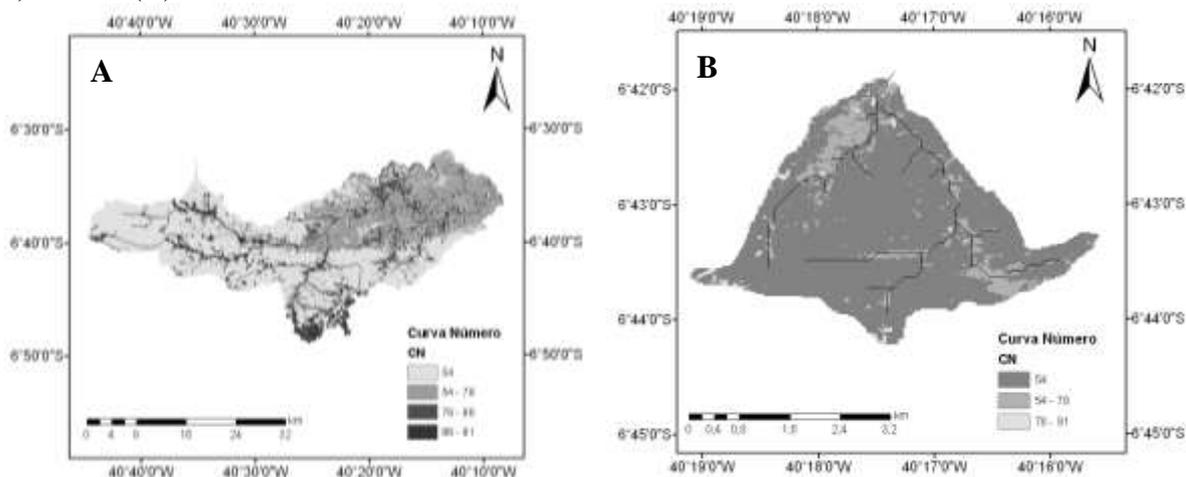
A Figura 4 mostra o resultado da classificação da área de interesse quanto ao uso do solo. A BRB possui 54% de sua área coberta com Caatinga densa, 30% com Caatinga rala, 1% com forragens e 15% com solo exposto. O fato de boa parte da bacia está coberta com Caatinga densa se deve à presença da estação ecológica de Aiuaba (ESEC) dentro da BRB. Ainda de acordo com a Figura 4, se observa que a distribuição dos solos expostos seguiu o contorno dos rios, isso provavelmente se deve à presença de atividades agrícolas, visto que na margem dos rios se encontram os solos mais férteis e maior disponibilidade hídrica para as culturas. Já a BEA possui 86,1% da sua área coberta com Caatinga densa, 12,3% com Caatinga rala e apenas 1,6% com solo exposto. Esse padrão de cobertura vegetal se deu devido esta bacia está totalmente inserida dentro da ESEC de Aiuaba, portanto, preservada, condição esta bastante positiva do ponto de vista hidrológico.

Figura 4. Mapa de classificação do uso do solo para as regiões de interesse



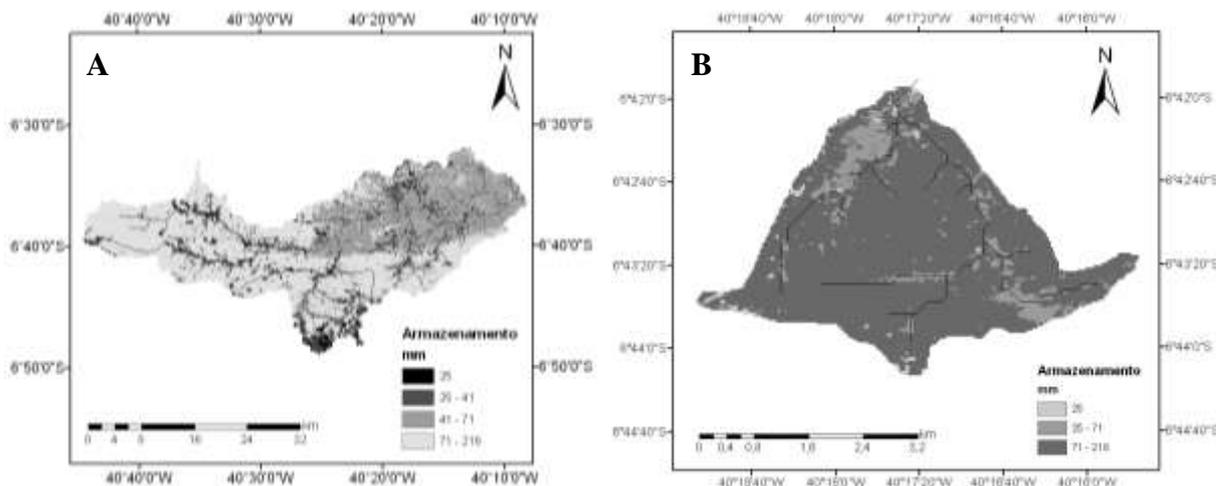
Quanto aos tipos de solos das bacias, levando em consideração que a área de estudo está localizada em grande parte no embasamento cristalino (MAMEDE, 2008), considerou o grupo C do SCS (1972), taxa de infiltração de 1-4 mm/h, como o mais representativo para toda a área estudada. Portanto, sabendo que os valores de *CN* variam em função do uso e grupo de solo, encontrou-se os valores de *CN* para cada classe de solo, a saber: Solo exposto (91); Forragem (86); Caatinga rala (78) e Caatinga densa (54), Figura 5.

Figura 5. Mapa com os valores de *CN* (Curva Número) para as duas bacias estudadas, BRB (A) e BEA (B)



Com os valores de CN (Curva Número) se determinou o potencial máximo de retenção de água do solo (S) que oscilou de 25 mm a 216 mm, sendo que as áreas cobertas com Caatinga densa apresentaram maior armazenamento, enquanto que os menores valores ficaram restritos à condição de solo exposto, Figura 6.

Figura 6. Mapa de armazenamento (mm) para a BRB (A) e BEA (B)



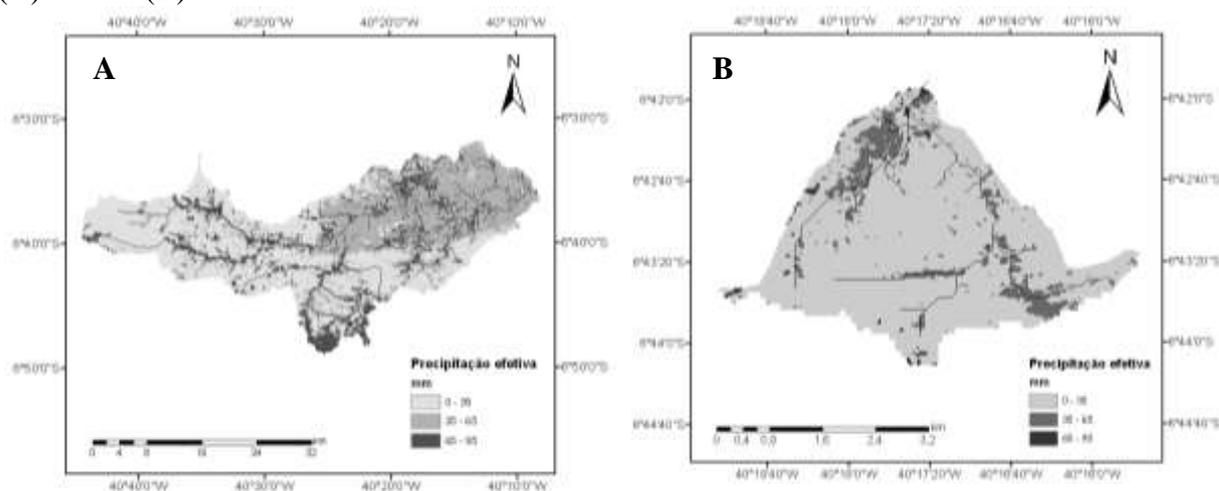
Bracken e Croke (2007) argumentam que as áreas vegetadas intensificam a infiltração devido o aumento do teor de matéria orgânica do solo, redução da massa específica do solo e aumento da condutividade hidráulica. Ainda de acordo com os autores *op. cit.*, esses efeitos são mais evidentes em ambientes extremos (condições áridas e semiáridas) onde a vegetação é esparsa.

Uma vez com os valores de S e P , se estimou a precipitação efetiva (Pe), ou seja, quanto efetivamente da precipitação foi convertida em escoamento superficial (*runoff*). A Pe para ambas as escalas oscilou da ordem de 15 mm a 90 mm. Para uma melhor visualização a fim de comparação, dividiu-se em 3 classes com intervalos iguais para ambas as bacia, Figura 7. É evidente que as áreas que estão cobertas com vegetação obtiveram os menores valores de Pe , portanto, menor tendência de transportar sedimentos e mais sujeita a quebra de conectividade hidrológica (MEDEIROS *et al.*, 2010; LÓPEZ -VICENTE *et al.*, 2011).

Aquino *et al.* (2008), aplicando a mesma metodologia para uma microbacia semiárida, encontrou valores da ordem de 16,62 a 114,88 mm. Silva (2009) encontrou valores médios de 72,9 mm para uma bacia semiárida de mesoescala. Ao analisarem em escala de microbacias o escoamento superficial em regiões semiáridas na Austrália, Bartley *et al.* (2006) verificaram

uma grande variabilidade espacial e temporal do coeficiente de escoamento superficial e constataram também que, mesmo em áreas com cobertura vegetal e declividade semelhantes, dependendo do arranjo da cobertura vegetal, essas podem apresentar respostas hidrológicas bastante diferenciadas.

Figura 7. Mapa com os valores de precipitação efetiva para as duas bacias estudadas, BRB (A) e BEA (B)



Para a estimativa do tempo de concentração do pixel se fez necessário o cálculo da declividade para cada pixel. De acordo com a metodologia da EMBRAPA (2006), a BEA possui valores de declividade entre 0 - 3% caracterizando relevo plano; 3 - 8% relevo suavemente ondulado; 8 - 20% relevo ondulado e 20 - 45% relevo fortemente ondulado. A BRB engloba todas as classes de relevo da BEA, possuindo ainda relevo montanhoso que compreende a declividade de 45 - 65%, no entanto, estes valores estão restritos a poucos pixels localizados nas encostas próximas aos rios, Figura 8.

O tempo de concentração dos pixels oscilou de 0,0045 a 0,021 horas, Figura 9. Aquino *et al.* (2008) encontraram boa relação entre o tempo de concentração e o valor de *CN*, concluindo que quanto maior o *CN*, menor tende a ser o tempo de concentração, resultados similares encontrados por este trabalho.

Figura 8. Mapa com as classes de declividade para as duas bacias estudadas, BRB (A) e BEA (B)

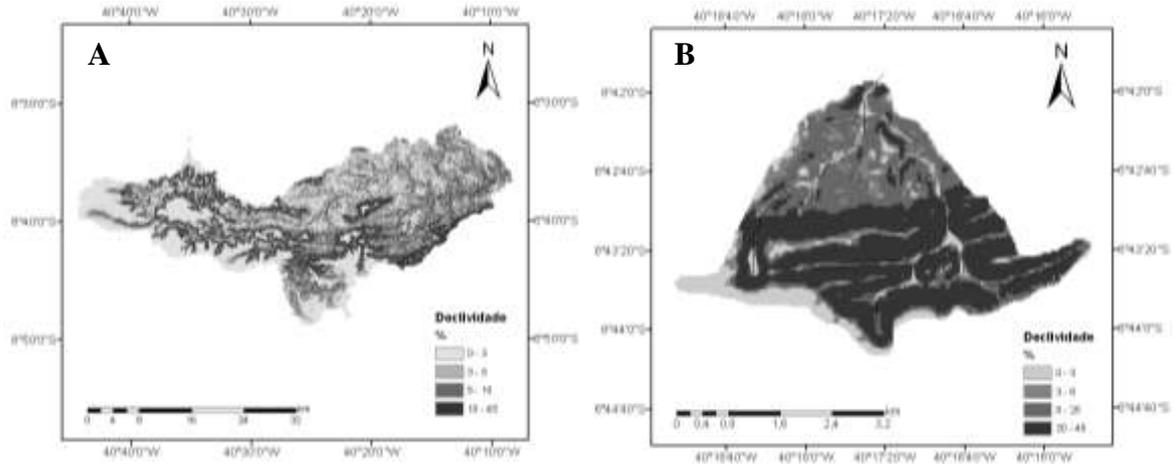
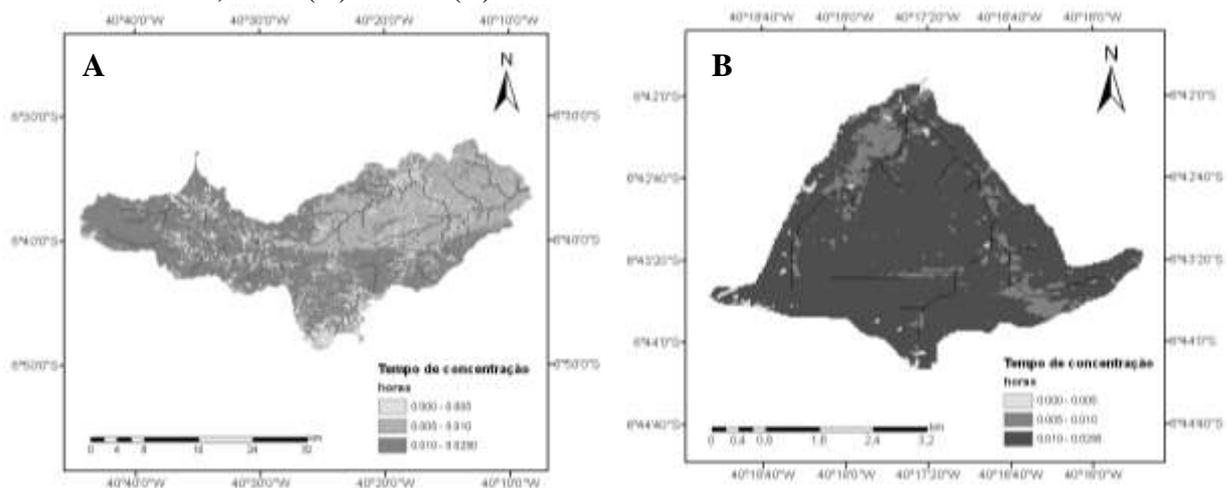


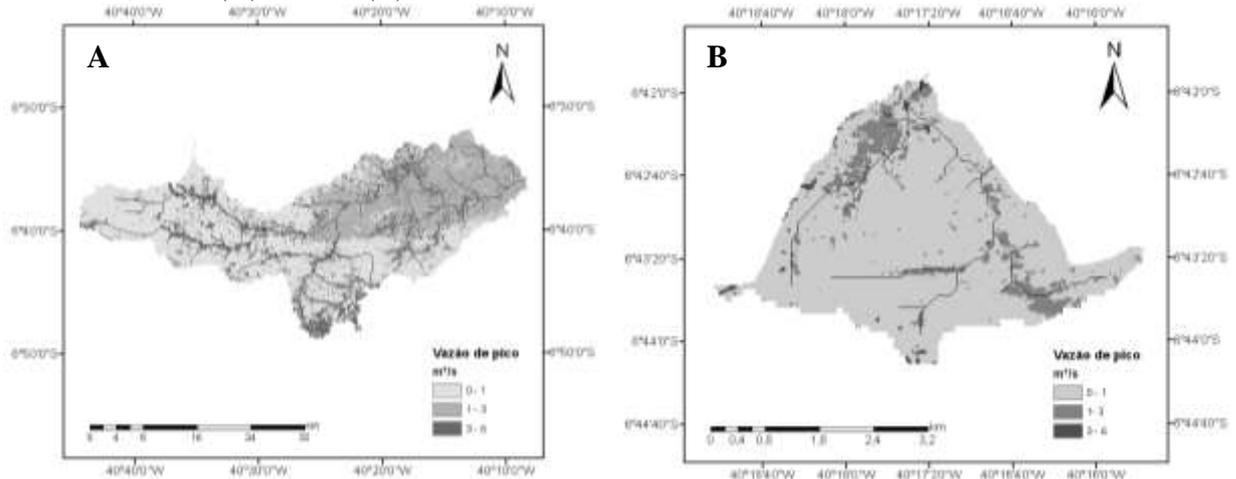
Figura 9. Mapa com os valores do tempo de concentração (horas) dos pixels para as duas bacias estudadas, BRB (A) e BEA (B)



Com os resultados de todas as etapas necessárias para o cálculo da vazão de pico, calculou-a para cada pixel, evidenciando-se que a descarga máxima pontual para as duas bacias oscilou de $0,18 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a $5,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Mas ao serem comparadas, observa-se que quase toda a BEA está dentro da classe com pico de descarga mínimo (Figura 10). Mostrando que o tipo de uso do solo foi preponderante para os valores encontrados tanto para a BRB quanto para a BEA, onde os pixels com maior descarga estão sempre localizados na classe de solos expostos, picos intermediários nas classes pertencentes à Caatinga rala e pastagem e os menores valores nas áreas cobertas com Caatinga densa. Para López-Vicente *et al.* (2011), os pixels com maior pico de descarga possuem maior potencial de produção de sedimentos e

capacidade de transporte, necessitando portanto de maior atenção quanto a aplicação de práticas conservacionistas.

Figura 10. Mapa com os valores pontuais do pico de descarga ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) para as duas bacias estudadas, BRB (A) e BEA (B)



Neste trabalho foi utilizada uma malha de pixels de 30 x 30 m, Aquino et al. (2008), trabalhando com uma malha de pixels com 92 x 92 m, encontraram valores máximo de descarga oscilando de $0,76 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a $24,42 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, concluindo que a declividade teve pouca interferência nos resultados, porém o uso do solo foi determinante, resultado similar encontrado por este trabalho. López-Vicente *et al.* (2011) afirmam que as respostas hidrossedimentológicas em escala de bacias são bastante influenciadas pelo surgimento da cobertura vegetal. Diante disso, Cabezas *et al.* (2009) afirmam que o padrão hidrológico de uma bacia pode ser modificado fortemente devido as intervenções antrópicas. Para Puigdefabregas *et al.* (1999), nas regiões semiáridas, ocorre uma relação dinâmica entre áreas de solo exposto e áreas vegetadas, sendo que a geração de escoamento predomina nas primeiras, que tendem a ser produtoras de escoamento superficial, enquanto que as áreas vegetadas funcionam como receptoras.

4. Conclusões

Para as condições deste estudo, concluiu-se que: (i) o tipo de uso do solo tem forte influência com padrão espacial dos picos de descarga, onde as áreas vegetadas apresentaram as maiores faixas de armazenamento de água no solo; (ii) a importância da vegetação nas respostas do modelo se deu principalmente devido o CN ser é o principal parâmetro de



entrada do modelo, que depende grandemente das condições de uso do solo, daí a importância dos estudos locais de parametrização do *CN*; (iii) a declividade teve pouca influência nos resultados gerados pelo modelo; (iv) quanto maior o *CN* menor o tempo de concentração do pixel.

5. Referências

- AQUINO, D.N.; TEIXEIRA, A.S; ANDRADE, E.M; LOPES, F.B; OLIVEIRA, A.D.S. *Estimativa do escoamento superficial em microbacia do semi-árido brasileiro pelo emprego do SIG*. Revista Tecnologia de Fortaleza, v.29, n. 1, p. 37-45, 2008.
- BARTLEY, R.; ROTH, C.H.; LUDWIG, J.; MCJANNET, D.; LIEDLOFF, A.; CORFIELD, J.; HOWDON, A.; ABBOTT, B. *Runoff and erosion from Australian's tropical semi-arid rangelands: influence of ground cover for differing space and time scale*. Hydrological Processes, v.20, p. 3317–3333, 2006.
- BOARDMAN, J. *Soil erosion science: Reflections on the limitations of current approaches*. Catena, v.68, p.73-86, 2006.
- BRACKEN, L.J.; CROKE, J. *The concept of hydrological connectivity and its contribution to understanding runoff-dominated geomorphic systems*. Hydrological Processes, v. 21, n. 13, p. 1749-1763, 2007.
- CABEZAS, A.; COMÍM, F.A.; BEGUERÍA, S.; TRABUCCHI, M. *Hydrologic and landscape changes in the Middle Ebro River (NE Spain): implications for restoration and management*. Hydrology and Earth System Sciences, v. 13, n. 2, p. 273–284, 2009.
- CHOW, V.T.; MAIDMENT, D.R.; MAYS, L.W. *Applied Hydrology*. McGRAWHILL International Editions: Civil Engineering Series, Singapore. 572 p. 1988.
- COSTA, A.C. *Hidrologia de uma bacia experimental em caatinga conservada no semiárido brasileiro*. 2007. 167 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.
- COSTA, C.A.G. *Validação dos dados SRTM através de análise altimétrica e morfométrica de bacias hidrográficas no Semi-Árido*. 2008.114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.
- CREUTZFELDT, B. *Remote sensing based characterization of land cover and terrain properties for hydrological modeling in the semi-arid Northeast of Brazil*. Final Year Work. University of Potsdam, Potsdam, 2006.



- EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisas de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de Solos*. 2 ed. Rio de Janeiro – EMBRAPA Solos, 2006. 306p.
- KINNELL, P.I.A. *Comment on “SCS-CN based time-distributed sediment yield model” by Tyagi et al. Journal of Hydrology 352 (2008) 388–403*. Journal of Hydrology, v.367, p.293–294, 2009.
- LÓPEZ-VICENTE, M.; POESEN, J.; NAVAS, A.; L. GASPAR, L. *Predicting runoff and sediment connectivity and soil erosion by water for different land use scenarios in the Spanish Pre-Pyrenees*. Catena, 2011.
- MAMEDE, G.L. *Reservoir Sedimentation in Dryland Catchments: Modelling and Management*. 120 f. Final Year Work. University of Potsdam, Potsdam, 2008.
- MAYOR, A.G.; BAUTISTA, S.; BELLOT, J. *Scale-dependent variation in runoff and sediment yield in a semiarid Mediterranean catchment*. Journal of Hydrology, v. 397, p. 128–135, 2011.
- MEDEIROS, P.H.A.; GUENTNER, A.; FRANKE, T.; MAMEDE, G.L.; ARAÚJO, J.C. *Modelling spatio-temporal patterns of sediment yield and connectivity in a semi-arid catchment with the WASA-SED model*. Hydrological Sciences Journal, v. 55, p. 636-648, 2010.
- MICHAELIDES, S.; LEVIZZANI, V.; ANAGNOSTOU, E.; BAUER, P.; KASPARIS, T.; LANE, J. E. *Precipitation: Measurement, remote sensing, climatology and modeling*. Atmospheric Research, v.94, p.512–533, 2009.
- PUIGDEFABREGAS, J.; SOLE, A.; GUTIERREZ, L.; DEL BARRIO, G.; BOER, M. *Scales and processes of water and sediment redistribution in drylands: results from the Rambla Honda field site in Southeast Spain*. Earth-Science Reviews, v.48, n.1-2, p.39-70, 1999.
- SILVA, E. J. *Caracterização hidrogeológica de bacias hidrográficas do semiárido baiano através de técnicas de geoprocessamento*. 2009. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.
- SINGH, V.P. *Watershed modeling*: In: Computer Models of Watershed Hydrology (ed.) Highlands Ranch: Water Resources Publications, 2002. p. 1-22.
- SOIL CONSERVATION SERVICE. *HYDROLOGY*. In: ENGINEERING *Field Manual*. Washington, DC. 1990. chapter 2. Litho.
- SOIL CONSERVATION SERVICE. *Hydrology*. In: NATIONAL *Engineering handbook*. Washington, DC, 1972. section 4. GPO.

SOULSBY, C.; RODGERS, P.J.; PETRY, J.; HANNAH, D.M.; MALCOLM, I.A.; DUNN, S.M. *Using tracers to upscale flow path understanding in mesoscale mountainous catchments: two examples from Scotland*. Journal of hydrology, v. 291, p. 174-196, 2004.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia Aplicada. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 245p. 1975.

YU, P.; CHEN, C. *Potential of extending the rainfall intensity-duration-frequency relationship to non-recording rain gauges*. Hydrological processes, vol. 11, p. 377-390, 1997.