

Análise temporal da conectividade e da capacidade de transporte potencial de sedimentos em meso-bacia semiárida, CE, Brasil¹

Temporal analysis of the connectivity and potential transport capacity of sediments in semiarid meso-basin, CE, Brazil

José Wellington Batista Lopes^{2*} e Everton Alves Rodrigues Pinheiro³

Resumo - A transferência de energia e matéria entre duas unidades topográficas compreende o processo de conectividade. A identificação dos padrões de conectividade em uma bacia hidrográfica permite representar o grau de ligação entre áreas produtoras de sedimentos e a rede de drenagem. Objetivou-se com esta pesquisa analisar a conectividade espaço-temporal e estimar a capacidade potencial de transporte de sedimentos em uma meso-bacia semiárida. A área foco do estudo compreende a Bacia Representativa de Madalena (BRM) com área de 124 km², localizada no Estado do Ceará, Brasil. Foram avaliadas as seguintes variáveis: conectividade, o pico de descarga e a capacidade de transporte de escoamento da bacia. A avaliação da conectividade foi realizada por meio de um índice quantitativo. A determinação do pico de descarga foi pelo método NRCS (*Natural Resources Conservation Service*) e a capacidade de transporte do escoamento (CT; Mg ha⁻¹ ano⁻¹) foi calculada a partir do método de Morgan (2001) modificado. Os resultados encontrados permitiram concluir que: o índice potencial de conectividade não apresentou linearidade, mas um possível padrão de distribuição espacial de alternância entre áreas produtoras e receptoras; o uso e ocupação do solo é determinante na variação espacial das vazões de pico; a capacidade de transporte potencial associada ao índice de conectividade fornece melhores estimativas dos processos erosivos na bacia; em ambos os modelos utilizados, o uso e ocupação do solo foi determinante nos resultados finais.

Palavras-chave - Modelagem hidrológica. Produção de sedimentos. SIG.

Abstract - The transfer of energy and matter between two topographic units comprise the connectivity process. The identification of the connectivity patterns in the catchments allow to represent the linking degree between sediment producing areas and network drainage. The aim of this study was to evaluate spatial and temporal connectivity and estimate the potential capacity of sediment transport on a meso-semiarid Basin. The study area comprises the Representative Madalena Basin (RMB) with area 124 km², located at federal state from Ceara, Brazil. The assessing the connectivity was done by using the quantitative index. The determination of peak discharge was by the method NRCS (*Natural Resources Conservation Service*) and the transport capacity (CT, t ha⁻¹ yr⁻¹) was calculated by the method of Morgan (2001). The results showed that: the connectivity potential index was not linearity, but a possible spatial distribution pattern of alternating between producing and receiving areas. The use and occupation of land is determinant in the spatial variation of peak flows; transportation capacity concerns associated with potential connectivity provides best estimates of erosion in the basin; in both models used, the use and occupation of soil was crucial in the results.

Key words - Hydrologic modeling. Sediment yield. GIS.

* Autor para correspondência

¹ Enviado para publicação em 01/10/2012 e aprovado em 15/08/2013.

² Eng. Agrônomo, Mestrando em Engenharia Agrícola, Depto. de Engenharia Agrícola, *Campus* do Pici, CCA/UFC, Fortaleza-CE, wellingtonjwl@gmail.com

³ Eng. Agrônomo, MSc. em Engenharia Agrícola, Doutorando em Engenharia de Sistemas Agrícolas, ESALQ/USP, Divisão de Funcionamento de Ecossistemas Tropicais/CENA/USP, Piracicaba-SP, evertonvest@yahoo.com.br

Introdução

A conectividade pode ser entendida como a transferência de energia e matéria entre duas unidades topográficas (FRYIRS *et al.*, 2007), tornando, portanto, necessária a visualização dos padrões de conectividade na bacia hidrográfica, haja vista que esses são importantes para identificação do grau de ligação entre as áreas produtoras de sedimentos e a rede de drenagem (HELMING *et al.*, 2005). Devido à necessidade de identificação e controle dessas áreas, um número significativo de estudos, como por exemplo, o caso do impacto das construções rurais ou das estruturas de contenção/controla da erosão (*e.g.* terraços) sobre a conectividade, têm sido conduzidos no intuito de permitir a compreensão daquele processo nos diversos campos da hidrossedimentologia (CAMMERAAT, 2004; CALLOW; SMETTEM, 2009; LEXARTZA-ARTZA; WAINWRIGHT, 2009; MEERKERK *et al.*, 2009; NOTEBAERT *et al.*, 2009; SHERIDAN *et al.*, 2009; LÓPEZ-VICENTE; NAVAS, 2009; MEDEIROS *et al.*, 2010; PALÁCIO *et al.*, 2012).

Dentre os fatores preponderantes da conectividade, Bracken e Croke (2007) e Cammeraat (2004) associam a conectividade hidrológica principalmente a características da precipitação (magnitude, frequência e duração), mas também a limites controlados por condições físicas e biológicas. Sobre o aspecto biológico, destaca-se o padrão espacial da vegetação como um importante fator de conectividade na escala de encosta (BEUSELINCK *et al.*, 2000), de modo que faixas vegetadas funcionam como barreiras para o transporte de sedimentos (BRACKEN; CROKE, 2007). Em regiões sob condições áridas e semiáridas ocorre uma relação dinâmica entre áreas de solo nu e áreas vegetadas, sendo que a geração de escoamento predomina nas primeiras, enquanto que as áreas vegetadas funcionam como receptoras de tais recursos (BOIX-FAYOS *et al.*, 2006; CAMMERAAT, 2004). Sobre o aspecto físico, as alterações na conectividade resultam, principalmente, do efeito acumulativo das estruturas hidráulicas de barramento (MALVEIRA *et al.*, 2012), refletindo da quebra de conectividade da água (CALLOW; SMETTEM, 2009); e da urbanização, que tem efeito significativo no balanço hídrico e no regime hidrológico da bacia hidrográfica (GROVE *et al.*, 2001; JENNINGS; JARNAGIAN, 2002; BARRON *et al.*, 2009).

As alterações do padrão de conectividade na bacia podem ter efeitos significativos sobre os processos de erosão, sedimentação e transporte de sedimentos, que por sua vez podem comprometer a qualidade da água, devido a eutrofização acelerada pelo aumento na quantidade de nutrientes; e a fertilidade do solo, uma vez que as alterações nos padrões de conectividade podem favorecer a maior perda de solo (FREEMAN *et al.*, 2007). Portanto,

considerando a importância da conectividade sobre os processos e condições ambientais na bacia hidrográfica, um melhor conhecimento daquela é essencial no auxílio a gestão dos recursos naturais e na compreensão do potencial de suporte do meio às alterações induzidas no sistema.

Além disso, a crescente demanda por um modelo de gestão integrada da bacia vem exigindo a aplicação/incorporação de novas óticas de integralização, moldada sobre um sistema por inteiro, ao invés de partes individuais que analisam processos isolados. Dentro dessa visão, a conectividade ganhou destaque, pois permite a incorporação das diversas áreas do conhecimento e, assim, proporciona uma compreensão mais holística de sistemas complexos (PETTS *et al.*, 2006).

Nesse contexto, objetivou-se com esta pesquisa analisar os padrões espaciais e temporais da conectividade e estimar a capacidade potencial de transporte de sedimentos em uma meso-bacia semiárida.

Material e métodos

Área de estudo

A área foco do estudo compreende a Bacia Representativa de Madalena (BRM) (124 km²), inserida no Assentamento 25 de Maio, no Estado do Ceará, Brasil (Figura 1). Na BRM são encontrados onde reservatórios superficiais, dos quais cinco são os principais responsáveis pelo abastecimento das comunidades existentes (Tabela 1).

O clima é tropical semiárido, com precipitação média anual da ordem de 600 mm (média de 31 anos da cidade de Madalena) e evaporação potencial de aproximadamente 2.100 mm por ano (FUNCEME, 2012). A elevação da bacia varia de 250 a 470 metros acima do

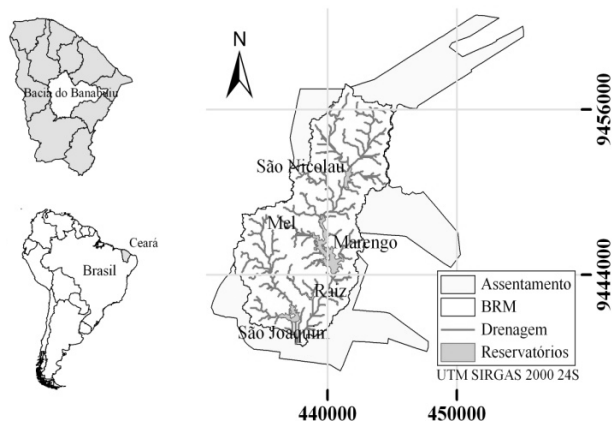


Figura 1 - Localização da área de estudo – Bacia Representativa de Madalena, Ceará, Brasil.

Tabela 1 - Características gerais dos principais reservatórios da Bacia Representativa de Madalena¹

Reservatório	Volume (hm ³)	Bacia hidrográfica (km ²)	Bacia hidráulica (km ²)
Raiz	1,50	5,03	0,12
Mel	0,06	3,02	0,03
Marengo	15,40	75,38	2,84
São Nicolau	0,89	36,10	0,53
São Joaquim	5,00	31,05	0,82

¹ Fonte: Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Ceará - COGERH (2012).

nível do mar, com declividades variando de 5 - 45%. Os solos presentes na região são: Luvisso e Neossolo Litólico (RADAM BRASIL, 1981). A vegetação predominante é a Caatinga caducifólia de caráter xerófilo. A temperatura média anual é de $25 \pm 1^\circ\text{C}$ (LÓPEZ, 2011).

Índice de conectividade

Nesse estudo fez-se uso do índice de conectividade (IC) baseado em SIG, proposto por Borselli *et al.* (2008). O IC considera as características da área de drenagem (módulo de jusante, D_{dn}) e o comprimento do percurso que uma partícula tem de percorrer até chegar ao dissipador mais próximo (módulo de montante, D_{up}). Desta forma, este índice fornece uma estimativa do potencial de conectividade entre os sedimentos erodidos nas encostas e o sistema de drenagem. Para cada pixel na bacia, o IC estima os componentes de montante e os componentes a jusante, D_{up} e D_{dn} , respectivamente. O componente de D_{dn} considera a probabilidade do sedimento chegar a um dissipador ao longo de uma linha de fluxo e o componente de D_{up} é o potencial de deposição do sedimento produzido a montante. O IC é calculado conforme a equação 1.

$$IC_K = \log_{10} \left(\frac{D_{up,K}}{D_{dn,K}} \right) = \log_{10} \left(\frac{\overline{W}_K \cdot \overline{S}_K \cdot \sqrt{A_K}}{\sum_{i=K, A_K} \frac{d_i}{W_i \cdot S_i}} \right) \quad (1)$$

Onde: \overline{W}_k - fator médio de ponderação da área de contribuição; \overline{S}_k - fator médio de ponderação da área de contribuição; \overline{S}_k - gradiente de inclinação média da área de contribuição à montante (m/m); A_k - área de contribuição à montante (m²), d_i - comprimento da célula i ao longo do caminho descendente (m); W_i - valor de peso da célula i (adimensional); S_i - gradiente de declividade da célula i (m / m). Os valores de declividade inferior 0,005 foram substituído pelo valor de $S_i = 0,005$ para evitar erros computacionais ou valores extremos. O subscrito K indica

que cada célula tem o seu próprio valor de IC. Este índice pode variar de $[-\infty, +\infty]$, sendo que a conectividade aumenta quando IC aumenta para $+\infty$.

Para a análise temporal do IC, fez-se necessário a classificação do tipo de uso do solo na bacia em três períodos distintos: 1985, 1996 e 2004. Para tal, foram utilizadas imagens do Satélite Landsat 5 TM dos dias 20/07/85, 02/07/96 e 24/07/04, adquiridas junto ao Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE), cujo ponto e órbita foram 217/63. A classificação digital das imagens foi efetuada utilizando um algoritmo de classificação não-supervisionada, denominado "ISodata".

Para o IC de 2004, os valores originais foram escalados entre 0 (baixa ou nula conectividade) e 100 (alta ou total conectividade). Esse procedimento foi realizado para que o índice fosse inserido como um fator de ponderação na capacidade de transporte de sedimentos.

Determinação do pico de descarga pelo método NRCS (Natural Resources Conservation Service)

A precipitação efetiva ou excesso de chuva foi determinado de acordo com equação 2.

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

Onde: Pe - Precipitação efetiva por pixel (mm); P - Precipitação máxima diária por pixel (mm); S - Potencial máximo de retenção de água no solo por pixel (mm).

Admitiu-se que, para a máxima vazão de pico a precipitação deve ser máxima. Assim, os valores da lâmina precipitada máxima na área foram obtidos a partir de uma série histórica de 24 anos (1988-2012) em quatro pluviômetros localizados próximos a BRM. Com esses valores foi gerado um mapa de precipitação a partir da interpolação dos quatro postos.

O potencial máximo de retenção de água no solo (S) foi determinado pela equação empírica que relaciona o parâmetro *Curve Number* (CN) ao S (Equação 3).

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3)$$

O parâmetro CN foi obtido pela ponderação entre uso e ocupação do solo e tipo de solo. Para o uso e ocupação do solo foi utilizada a classificação da imagem do Satélite Landsat 5 TM do dia 24/07/04. 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 (CHOW, 1988).

O tempo de concentração proposto pelo SCS (1990) é dado pela equação 4.

$$TC = L^{0,8} \left[\frac{\left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0,7}}{4407 + Sg^{0,5}} \right] \quad (4)$$

Onde: TC - tempo de concentração para cada pixel (h); L - comprimento da diagonal do pixel (m); CN - *Curve Number* para cada pixel (tabelado); Sg - declividade de cada pixel da bacia (m.m⁻¹).

O comprimento da diagonal do pixel foi estabelecido em 42 m, obtido por meio do teorema de Pitágoras.

Para a determinação do pico de descarga em cada pixel, utilizou-se a equação 5, proposta pelo método NRCS (1990).

$$Qp = \alpha \cdot A \cdot \frac{Pe}{Tc} \quad (5)$$

Onde: Qp - vazão de pico para cada pixel (m³.s⁻¹); A - área do pixel (ha); Pe - precipitação efetiva por pixel (mm); Tc - tempo de concentração para cada pixel (horas); α - constante de conversão de unidade (0,0028).

Capacidade de transporte de escoamento

A capacidade de transporte do escoamento de pico (CT; Mg ha⁻¹ ano⁻¹) foi calculado a partir da equação 6, adaptada de Morgan (2001).

$$CT = C \cdot P \cdot Q_p^2 \cdot \sin S \cdot 10^{-2} \quad (6)$$

Onde: C e P - fatores de uso/ocupação do solo e práticas conservacionistas; Qp - vazão de pico; S - declividade.

Resultados e discussão

Conectividade hidrológica

A partir classificação das imagens foram identificadas 4 classes de uso por ocupação distintas na bacia, a saber: água, uso antrópico, vegetação rala e vegetação densa. As amplitudes do IC da bacia oscilaram entre -10,53 e 1,39; -13,33 e 1,77; e -10,53 e 1,69 para 1985, 1996 e 2004, respectivamente. De acordo com Borselli *et al.* (2008), os maiores valores negativos de IC

correspondem a áreas com intensa sedimentação, enquanto que os valores positivos da IC representam as áreas de alta conectividade. Pode-se observar que os valores de IC são maiores nas áreas correspondentes aos cursos dos rios e nas regiões de uso antrópico (áreas urbanas, solo exposto). (Figura 2A, 2B e 2C).

O índice médio de conectividade para a BRM foi de -4,23; -4,52 e -4,18 para 1985, 1996 e 2004, respectivamente. Pode-se observar que a média do IC não apresentou tendência, uma vez que os valores apresentaram um decréscimo com posterior aumento. Isso decorre, provavelmente, das alterações do padrão vegetacional da área, uma vez que, essas são dependentes do período chuvoso que antecedeu a aquisição dos dados. No ano em que as imagens de satélite apresentam uma vegetação mais vigorosa (1996), a região norte da bacia apresentou uma menor conectividade, decorrente da maior densidade de plantas. Esse reflexo no IC pode ser em função na maior deposição de material vegetal, o que aumenta de matéria orgânica no solo, reduz da densidade e, portanto, aumenta da condutividade hidráulica (BRACKEN; CROKE, 2007), favorecendo, assim, a infiltração da água no solo quebrando a conectividade (Figura 2A, 2B e 2C).

Ainda, os valores médios indicam que a conectividade do escoamento superficial e sedimentos foi maior em 2004, menor em 1996 e intermediária em 1985. Essa não linearidade dos valores pode ser função das alterações no tipo e modelo de ocupação da região, uma vez que o fator de ponderação do componente vegetacional tem sensibilidade considerável na interferência dos resultados do IC. Entretanto, as oscilações encontradas podem inferir que o comportamento da conectividade em meso-bacia semiárida siga um padrão cíclico de deposição e produção de sedimento, já que as áreas produtoras de sedimento no início tornaram-se de deposição e, ao final (2004) retornaram a condição de produtoras (Figura 3A e 3B).

Determinação do pico de descarga pelo Modelo NRCS

A precipitação máxima diária variou de 145 a 115 mm entre os quatro postos selecionados (Tabela 2), sendo que no resultado da interpolação, a distribuição espacial da precipitação máxima na BRM variou 137 a 145 mm.

Para o parâmetro CN (solos do grupo C, taxa de infiltração de 1- 4 mm h⁻¹), os valores foram 91; 78 e 54 para solo exposto, vegetação rala e vegetação densa. Para o potencial máximo de retenção de água do solo (S), determinado em função do CN, os valores variaram de 25 mm a 216 mm, sendo o valor inferior correspondente a áreas antropizadas e o superior aos locais com vegetação densa.

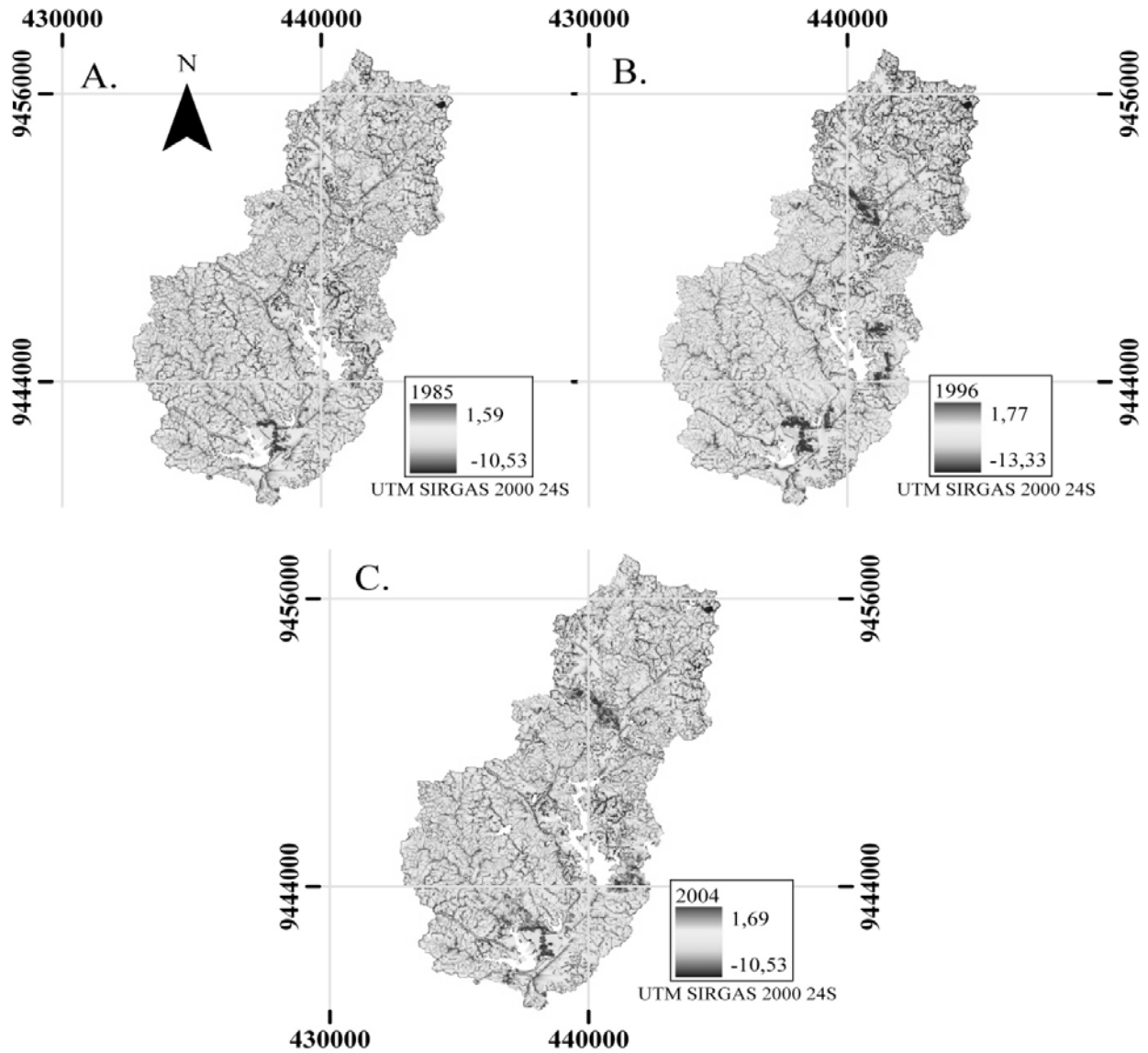


Figura 2 - Distribuição temporal do índice de conectividade para os anos de 1985 (A), 1996 (B) e 2004 (C) na Bacia Representativa de Madalena, Ceará.

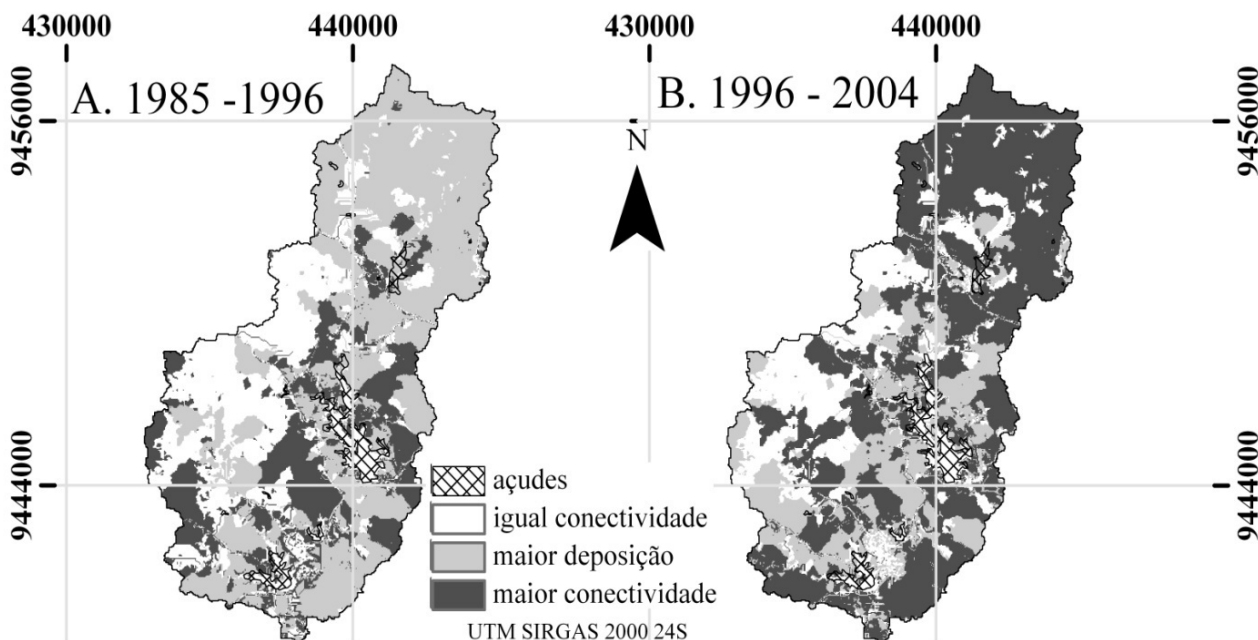


Figura 3 - Mudanças do índice de conectividade no período de 1985 – 1996 (A) e 1996 – 2004 (B) na Bacia Representativa de Madalena, Ceará, Brasil.

Tabela 2 - Precipitação máxima diária da série histórica de 24 anos

Postos pluviométricos	Precipitação máxima diária (mm)
Madalena	139
Fazenda Várzea Alegre	115
Açude Fogareiro	136
São Domingos	145

A precipitação efetiva (Pe) oscilou entre 29 mm e 120 mm. Assim como para o IC, 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; LOPEZ-VICENTE *et al.*, 2011) (Figura 4B).

O tempo de concentração variou de 0,0045 a 0,0210 horas (Figura 4B). Observou-se que o tempo de concentração da BRM apresentou relação inversa ao CN, corroborando com os resultados encontrados por Aquino *et al.* (2008) em uma micro-bacia semiárida. Esses autores concluíram que quanto maior o CN, menor tende a ser o tempo de concentração.

A vazão de pico máxima para a BRM oscilou de 0,35 m³ s⁻¹ a 6,72 m³ s⁻¹ (Figura 4C). Observa-se que as

maiores descargas estão sempre localizadas nas áreas antropizadas, já as menores nas áreas de vegetação densa. A ação antrópica, em especial a urbanização, tem efeitos relevantes pois, aumenta a magnitude do pico de descarga e consequentemente a vazão na seção, reduz o tempo de resposta entre a precipitação e o início do escoamento, bem como reduz o tempo de residência da água na bacia (BURNS *et al.*, 2005).

Pode-se constatar que os resultados encontrados por Aquino *et al.* (2008) são semelhantes aos observados nesta pesquisa. Segundo esses autores, a declividade teve pouca interferência nos resultados, porém o uso do solo foi determinante. Para Cabezas *et al.* (2009), o padrão hidrológico de uma bacia pode ser modificado fortemente devido as intervenções antrópicas.

Capacidade de transporte

A capacidade de transporte de sedimentos máxima variou de 0 a 0,45 ton/ha/ano, sendo que para a CT ponderada a variação foi de 0 a 0,42 ton/ha/ano (Figura 5A e 5B). Esta redução foi em função do IC, de modo que, a máxima capacidade de transporte só pode ser alcançada se a conectividade for máxima (100%). Assim, por exemplo, mesmo para o valor extremo de CT (0,45 ton/ha/ano) ocorreu uma redução significativa, pois a conectividade foi 93%. Portanto, a aplicação da CT associada ao IC pode melhorar as estimativas de perda de solo e consequentemente as de assoreamento em reservatórios.

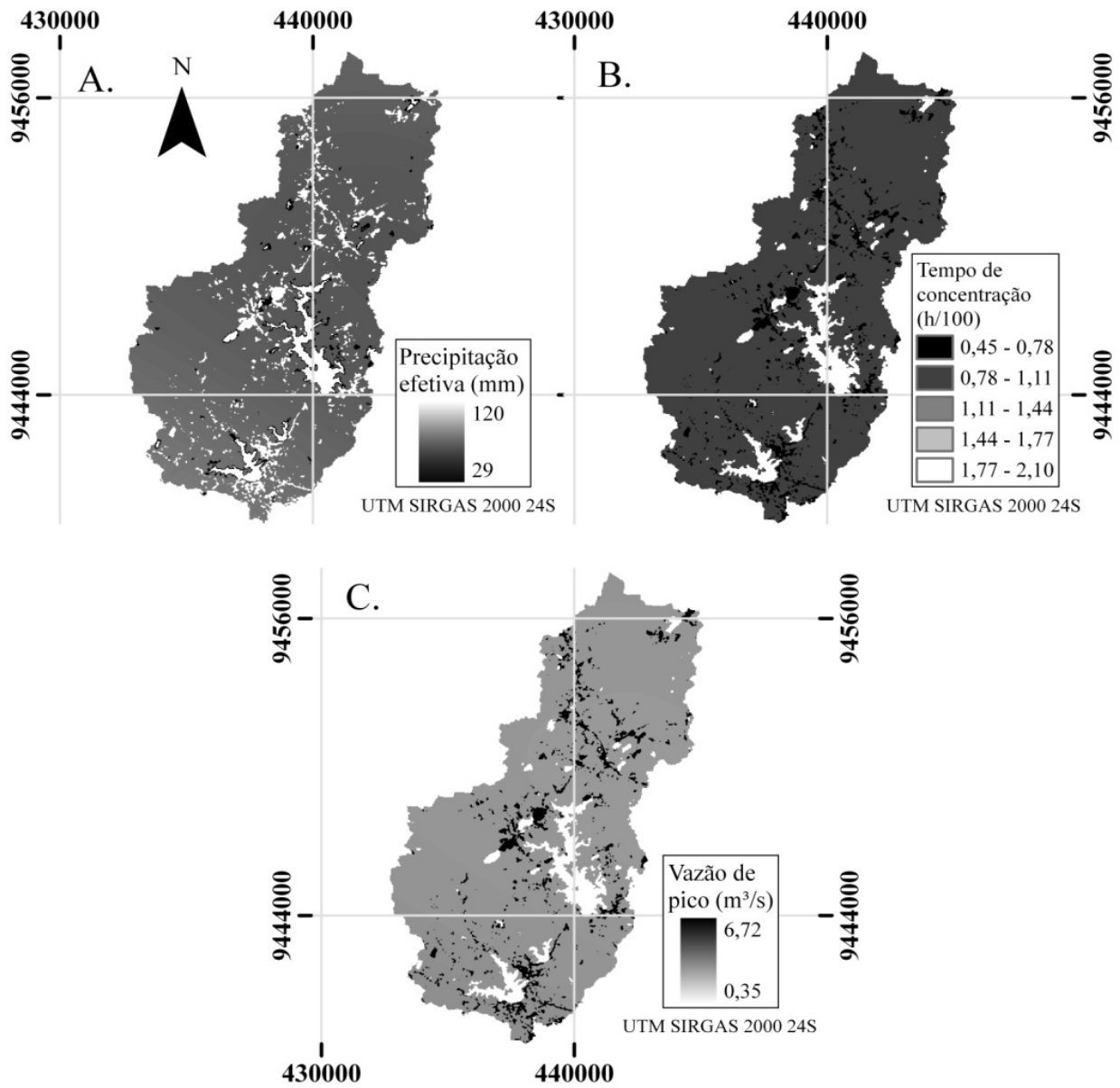


Figura 4 - Distribuição espacial da precipitação efetiva (A), tempo de concentração (B) e vazão de pico (C) na Bacia Representativa de Madalena, Ceará, Brasil.

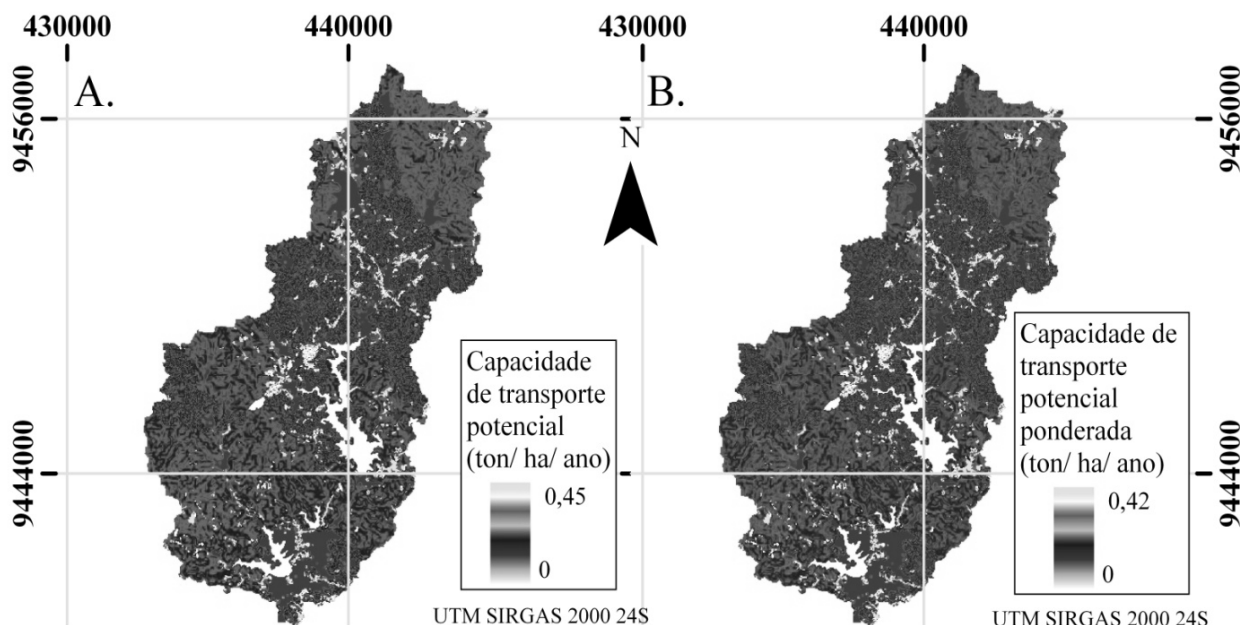


Figura 5 - Distribuição espacial da capacidade de transporte potencial (A) e ponderada pelo índice de conectividade (B) na Bacia Representativa de Madalena, Ceará, Brasil.

Conclusões

A conectividade potencial não apresenta tendência, mas um possível padrão espacial de alternância entre áreas produtoras e receptoras;

O uso do solo interfere na variação da distribuição espacial das vazões de pico;

A capacidade de transporte de sedimentos ponderada pode fornecer uma melhor estimativa dos processos erosivos na bacia em relação aos métodos tradicionais, pois considera a conectividade existente;

Em ambos os modelos utilizados, o uso e ocupação do solo foi determinante nos resultados finais.

Literatura científica citada

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. 01, p. 37-45, 2008.

BEUSELINCK, L.; STEEGEN, A.; GOVERS, G.; NACHTERGAELE, J.; TAKKEN, I.; POESEN, J. Characteristics of sediment deposits formed by intense rainfall events in small catchments in the Belgian Loam Belt. *Geomorphology*, v. 32, p.69-82, 2000.

BOIX-FAYOS, C.; MARTÍNEZ-MENA, M.; ARNAU-ROSALÉN, E.; CALVO-CASES, A.; CASTILLO, V.; ALBALADEJO, J. Measuring soil erosion by field plots: understanding the sources of variation. *Earth-Sciences Reviews*, v. 78, p.267-285, 2006.

BORSELLI, L.; CASSI, P.; TORRI, D. Prolegomena to sediment and flow connectivity in the landscape: a GIS and field numerical assessment. *Catena*, v.75, n.3, p.268-277, 2008.

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.

BURNS, D.; VITVAR, T.; MCDONNELL, J.; HASSETT, J.; DUNCAN, J.; KENDALL, D. Effects of suburban development on runoff generation in the Croton River basin, New York, USA. *Journal of Hydrology*, v.311, p.266-281, 2005.

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.

CALLOW, J. N.; SMETTEM, K. R. J. The effect of farm dams and constructed banks on hydrologic connectivity and runoff estimation in agricultural landscapes. *Environmental Modelling and Software*, v.24, n.8, p.959-968, 2009.

CAMMERAAT, E. L. H. Scale dependent thresholds in hydrological and erosion response of a semi-arid catchment in southeast Spain. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v.104, n.2, p.317-332, 2004.

COGERH - Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Ceará, 2012. Disponível em <http://www.cogerh.com.br>

CHOW, V.T.; MAIDMENT, D.R.; MAYS, L.W. Applied Hydrology. Singapore: McGRAWHILL International Editions: Civil Engineering Series, 1988. 572 p.

- FREEMAN, M. C.; PRINGLE, C.; JACKSON, M.; RHETT, C. Hydrologic connectivity and the contribution of stream headwaters to ecological integrity at regional scales. **Journal of the American Water Resources Association**, v.43, n.1, p.5-14,2007.
- FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia, 2012. Disponível em: <http://www.funceme.br/>
- FRYIRS, K.A.; BRIERLEY, G.J.; PRESTON, N.J.; KASAI, M. Buffers, barriers and blankets: The (dis)connectivity of catchment-scale sediment cascades. **Catena**, v.70, n.1, p.49-67,2007.
- GROVE, M.; HARBOR, J.; ENGEL, B.; MUTHUKRISHNAN, S. Impacts of urbanization on surface hydrology, Little Eagle Creek, Indiana, and analysis of LTHIA model sensitivity to data resolution, **Physical Geography**, v.22, p.135-153, 2001.
- HELMING, K.; AUZET, A. V.; FAVIS-MORTLOCK, D. Soil erosion patterns: evolution, spatiotemporal dynamics and connectivity. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.30, p.131-132, 2005.
- JENNINGS, D. B.; JARNAGIAN, S. T. Changes in anthropogenic impervious surfaces, precipitation and daily stream flow discharge: a historical perspective in a mid-atlantic subwatershed, **Landscape Ecology**, v.17, p.471-489, 2002.
- LEXARTZA-ARTZA, I.; WAINWRIGHT, J. Hydrological connectivity: linking concepts with practical implications. **Catena**,v.79, n.2, p.146-152, 2009.
- LÓPEZ, O. C. Estudio comparativo del manejo de los recursos hídricos en dos cuencas tropicales latinoamericanas en diferentes condiciones ambientales: la cuenca de Madalena, Ceara, Brasil y la cuenca del Río San Diego, Pinar Del Río, Cuba. 2011. 66 p. Tese (Doutorado em Geografia) –Universidad de La Habana, Habana, 2011.
- LÓPEZ-VICENTE, M.; NAVAS, A. Predicting soil erosion with RUSLE in Mediterranean agricultural systems at catchment scale. **Soil Science**, v.174, n.5, p.272-282, 2009.
- MALVEIRA, V. T. C.; ARAÚJO, J. C.; GÜNTNER, A. Hydrological impact of a high-density reservoir network in the semiarid north-eastern Brazil. **Journal of Hydrologic Engineering**. DOI:10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000404. 2012.
- MEDEIROS, P. H. A.;GUNTNER, A.; FRANCKE, T.; MAMEDE, G. L.; ARAUJO, 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.
- MEERKERK, A. L.; VAN WESEMAEL, B.; BELLIN, N. Application of connectivity theory to model the impact of terrace failure on runoff in semi-arid catchments. **Hydrological Processes**,v.23, n.19, p.2792-2803, 2009.
- MORGAN, R. P. C. A simple approach to soil loss prediction: a revised Morgan– Morgan–Finney model. **Catena**,v.44, n.4, p.305-322, 2001.
- NOTEBAERT, B.; VERSTRAETEN, G.; ROMMENS, T.; VANMONTFORT, B.; GOVERS, G.; POESEN, J. Establishing a Holocene sediment budget for the river Dijle. **Catena**, v.77, n.2, p.150-163, 2009.
- PALÁCIO H. A. Q., SILVA FILHO J. A., ANDRADE E. M., SANTOS J. C. N., BRASIL P. P. Uso da terra e resposta hidrossedimentológica de microbacia no semiárido. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 6, n. 3, p. 187-194, setembro-dezembro, 2012.
- PETTS, G.; MORALES, Y.; SADLER, J. Linking hydrology and biology to assess the water needs of river ecosystems. **Hydrological Processes**, v.20, n.10, p.2247-2251, 2006.
- RADAM BRASIL. Levantamento de Recursos Naturais. Ministério de Minas e Energia, Rio de Janeiro, 1981, v.23.
- SHERIDAN, G. J.; JONES, O. D.; LANE, P. N. J. Stochastic rainfall-runoff equations for quantifying runoff and pollutant connectivity between hillslopes and streams. **Geophysical Research Abstracts**, v.11, 2009.