

Artigo

Conectividade de sedimentos na Bacia Hidrográfica Riacho do Tigre, ambiente semiárido no município de São João do Tigre-PB

Virna Vieira Franco

Universidade Federal da Paraíba

Jonas Otaviano Praça de Souza

Universidade Federal da Paraíba

p. 697-711

revista

Geo 

USP

espaço e tempo

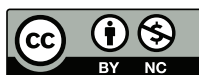
Volume 23 • nº 3 (2019)

ISSN 2179-0892

Como citar este artigo:

FRANCO, V. V.; SOUZA, J. O. P. Conectividade de sedimentos na Bacia Hidrográfica Riacho do Tigre, ambiente semiárido no município de São João do Tigre-PB. **Geosp – Espaço e Tempo** (Online), v. 23, n. 3, p. 697-711, dez. 2019, ISSN 2179-0892.

Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/geosp/article/view/151940>.
doi: <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geosp.2019.151940>.



Este artigo está licenciado sob a Creative Commons Attribution 4.0 Licence

Conectividade de sedimentos na Bacia Hidrográfica Riacho do Tigre, ambiente semiárido no município de São João do Tigre-PB

Resumo

O presente artigo analisa a conectividade da paisagem da Bacia Hidrográfica do Riacho do Tigre a partir de uma análise quantitativa de índice de conectividade de sedimentos. A bacia fica no município de São João do Tigre-PB, em ambiente semiárido, apresentando apenas riachos intermitentes e efêmeros. O índice de conectividade utiliza informações topográficas, hidrológicas e de uso da terra para identificar o potencial de conectividade de sedimento. Portanto, as porções mais centrais, a norte e nordeste da bacia, apresentam conectividade entre intermediária, baixa e muito baixa. Nas bordas da bacia, em especial na porção sudeste, encontram-se os índices de conectividade mais elevados, cujas áreas apresentam maiores declividades e elevadas altitudes, concorrendo para uma maior produção de sedimentos. Por fim, é importante compreender que alguns aspectos controlam o índice de conectividade como, por exemplo, o uso e a ocupação da terra, a declividade e a altitude.

Palavras-chave: Geomorfologia fluvial. Semiárido. Conectividade. Paisagem.

Sediment connectivity in the basin of the Tigre Creek, semi-arid environment in the municipality of São João do Tigre-PB

Abstract

The actual article aims analysis the connectivity of the landscape of basin hydrographic stream of Tiger, from the analysis quantity of sediment connectivity index. The basin is located in the county of São João do Tigre-PB and is inserted in environment semi-arid, presenting only intermittent and ephemeral streams. The connectivity index uses topographic, hydrological and land cover information

to address the potential of sediment connectivity. Therefore, the most central portions, at North and northeast of the basin presenting connectivity between intermediate, low and very low. At the borders of the basin, especially at portion southeast, are the highest indexes of the connectivity, whose areas have higher slopes and high altitudes, corroborating for to higher production of sediments. Lastly, it is essential to understand that some aspect controls the connectivity index, such as land use and occupation, slope and altitude.

Keywords: Fluvial geomorphology. Semi-arid. Connectivity. Landscape.

Conectividad de sedimentos en la cuenca del Riacho do Tigre, ambiente semiárido en São João do Tigre-PB

Resumen

Este artículo tiene como objetivo analizar la conectividad del paisaje de la Cuenca Hidrográfica del Riacho do Tigre, a partir de un análisis cuantitativo del índice de conectividad de sedimentos. La cuenca se encuentra en el municipio de São João do Tigre-PB y se encuentra en un entorno semiárido, presentando solo corrientes intermitentes y efímeras. El índice de conectividad utiliza información topográfica, hidrológica y de uso del suelo para identificar el potencial de conectividad de sedimentos. Por lo tanto, las porciones más centrales, norte y noreste de la cuenca, tienen conectividad intermedia, baja y muy baja. En los bordes de la cuenca, especialmente en la parte sureste, se encuentran los índices de conectividad más altos, cuyas áreas tienen pendientes más altas y altitudes más altas, lo que corrobora una mayor producción de sedimentos. Finalmente, es importante comprender que algunos aspectos controlan el índice de conectividad, como el uso y la ocupación del suelo, la pendiente y la altitud.

Palabras clave: Geomorfología fluvial. Semiárido. Conectividad. Paisaje.

Introdução

A bacia hidrográfica ou bacia de drenagem definida por Christofolletti (1980) é composta por um conjunto de canais de escoamento inter-relacionados, estabelecida como a área drenada por um determinado rio ou rede de drenagem, cujo volume de água nos canais depende de diversos fatores como tamanho da área ocupada pela bacia, da precipitação total e de seu regime, e das perdas devido à evapotranspiração e à infiltração. Os estudos da Geomorfologia fluvial são fundamentais tanto para entender a evolução das paisagens geográficas e as modificações de sua dinâmica fluvial quanto para determinar o domínio dos processos de erosão e sedimentação resultantes de meios naturais ou da ação antrópica na área de estudo, assim como a declividade para entender a energia de transporte, velocidade do fluxo de água, profundidade e, principalmente, para compreender a dinâmica do ambiente fluvial (Rodrigues; Castro; Malafaia, 2010).

É essencial compreender os fatores controladores dos processos de erosão, transporte e sedimentação, os quais podem ser climáticos e geológicos, por exemplo, enredados no abastecimento de sedimentos e água ao sistema fluvial. Nessa perspectiva, a conectividade da paisagem pode ser entendida como a capacidade de transporte de energia e matéria dentro do sistema, onde eventos como precipitações extremas podem mudar o fluxo de água e sedimento, influenciando diretamente a (des)conectividade da paisagem (Almeida; Souza; Corrêa, 2016). Assim, para um ambiente fluvial semiárido, os fatores geológicos e, principalmente, os climáticos mantêm ou não a estabilidade no sistema. Além disso, a (des)conectividade da paisagem pode ser avaliada de modo quali-quantitativo, uma vez que as modelagens matemáticas do relevo possibilitam a produção de mapas de índice de conectividade, uso e ocupação do solo e altimétricos, entre outros (Cavalli et al., 2013; Borselli; Casi; Torri, 2008).

Para entender melhor os ambientes estudados, a análise morfométrica é uma ferramenta fundamental para o diagnóstico da dinâmica e da sensibilidade da bacia à deterioração ambiental. Assim, os parâmetros morfométricos são obtidos a partir dos dados físicos de uma bacia, tendo conexão com a morfologia, o clima e a pedofoma. Além disso, apresentam determinadas classes de informações e diferenças essenciais entre as diferentes paisagens da bacia, fornecendo dados sobre o número de canais e sua ordem, assim como área, extensão, perímetro e dados altimétricos (Feitosa; Santos; Araújo, 2011). Em suma, a análise morfométrica é muito relevante para os estudos geomorfológicos, permitindo obter informações sobre a dinâmica da paisagem. Além disso, esse tipo de análise dá uma visão ampla e esclarecedora da morfologia da paisagem do ambiente fluvial, incluindo a possibilidade de avaliação de índices de conectividade que podem identificar áreas que apresentam conectividade ou desconectividade da paisagem.

É imprescindível levar em conta o advento do geoprocessamento, uma vez que suas técnicas viabilizam uma observação holística e um aprimoramento da análise do ambiente em estudo (Carelli; Lopes, 2011). Seguindo essa ideia, com o advento do geoprocessamento e dos dados topográficos digitais, os modelos digitais de elevação (MDE), em especial os gerados a partir dos dados SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission), Topodata e Aster (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), têm ganhado relevância por decorrerem de técnicas rápidas e precisas para a coleta de dados topográficos. Os dados digitais são disponibilizados gratuitamente na internet, permitindo mapear áreas, delinear redes de drenagem,

disponibilizar dados altimétricos do relevo, delimitar bacias hidrográficas e imagens de alta resolução por sensoriamento remoto, bem como a facilidade de analisar, comparar e atualizar informações da superfície terrestre (Oliveira et al., 2010).

Além disso, é essencial realizar o estudo em ambientes fluviais no semiárido, uma vez que os rios são considerados intermitentes, pois seu leito seca em determinado período do ano. Daí a importância de levar em conta as características do ambiente fluvial, já que informações como, por exemplo, nível de vazão, competência, energia do fluxo e capacidade de transmissão da água e de sedimentos entre as unidades (conectividade) ou fatores de desconectividade permitem uma boa administração do uso da água (Souza; Corrêa, 2012a).

Nessa perspectiva, os principais componentes de captação da conectividade são: ambiente climático, escoamento potencial da encosta, posição da paisagem, caminho de transporte e impedimento lateral. Esses fatores influenciam diretamente a conectividade da paisagem, a qual pode ser trabalhada a partir da conectividade de sedimentos e da conectividade hidrológica. Ambas estão diretamente relacionadas por se referirem à ligação ou transferência de sedimentos e de água, respectivamente, entre os compartimentos da bacia hidrográfica (Cavalli et al., 2013).

A partir desse entendimento, de acordo com Bracken e Croke (2007), há que levar em conta os padrões temporais e espaciais relativos à complexidade da conectividade de escoamento, uma vez que a conectividade hidrológica é significativamente influenciada pelo grau em que as encostas estão fisicamente conectadas aos canais. Limitando o escoamento de sedimentos e de transferência para o canal, bem como a identificação de elementos (artificiais ou naturais) que afetam a conectividade hidrológica, como, por exemplo, a construção de barragens que podem diminuir o fluxo da conectividade ou superfícies compactadas de estradas que podem aumentar o escoamento. Assim, todos os fatores que influenciam os limiares de escoamento são importantes tanto para a conectividade hidrológica quanto para a conectividade de sedimentos, visto que a transferência de sedimentos está diretamente relacionada com o deslocamento de água superficial.

A partir disso, a conectividade de sedimentos pode ser compreendida pela ligação física do sedimento através do sistema de canais, a qual se expressa pela transferência de sedimentos de um lugar a outro, e deve-se levar em conta o potencial de uma partícula para se mover através do sistema. Logo, para compreender a conectividade de sedimentos, é preciso analisar fatores que influenciam o transporte do sedimento como as condições desse transporte, rotas, distâncias do transporte percorridas pelas partículas, além dos mecanismos e das fontes locais de sedimentos (Hooke, 2003).

Nesses termos, o presente artigo analisa a conectividade da paisagem da Bacia Hidrográfica do Riacho do Tigre, a partir de uma análise quantitativa do índice de conectividade de sedimentos. Assim, é possível compreender a conectividade hidrológica e a conectividade de sedimento, bem como os fatores que influenciam essas conectividades para melhor compreender a dinâmica da paisagem, os aspectos físicos, o comportamento da bacia como um todo e os fatores que influenciam a (des)conectividade na dinâmica de transferência de sedimento e de água entre os compartimentos. A bacia fica no município de São João do Tigre-PB, em ambiente semiárido, apresentando apenas riachos intermitentes e efêmeros.

Metodologia

A área de estudo (Bacia do Riacho do Tigre – BRT) foca na microrregião do Cariri ocidental, no semiárido paraibano, fazendo divisa com Pernambuco na porção sul do estado da Paraíba. A bacia fica no município de São João do Tigre-PB e tem o bioma caatinga. O município tem área de 816.166 km² e população de aproximadamente 4.396, embora o IBGE tenha apresentado estimativas de 4.432 habitantes para 2015 (Silva, 2016).

Sendo assim, quanto aos processos metodológicos aplicados nesta pesquisa, inicialmente se delimitou a BRT e extraiu sua drenagem automaticamente, corrigindo-a manualmente a partir de imagens do Google Earth e tendo informações de campo sobre pontos de controle obtidos com GPS para a correção do posicionamento dos canais. Depois, se exportou a drenagem para um formato compatível com o ArcGis 10.2.2, permitindo o processamento das informações. No processamento das informações de relevo, foi utilizado o MDE gerado a partir de dados Aster Gdem de 30 m, o qual cobre 99% da superfície da Terra. Diferentemente do SRTM, que obtém os resultados por radar, o Aster Gdem produz imagens óticas por infravermelhos, podendo sofrer interferências de nuvens ou de efeitos da atmosfera (Ferraz, 2014).

Os resultados obtidos no Aster Gdem foram processados possibilitando o cálculo das características morfométricas da bacia como a altitude, declividade, densidade de drenagem (ou seja, a dissecação da paisagem), largura do vale (medida pela distância entre as margens do vale). Dentro dessa perspectiva, o índice de conectividade visa analisar a transmissão de fluxos de água e sedimento na bacia de drenagem, bem como a existência de impedimentos ou não, visto que os impedimentos podem ser de ordem natural ou antrópica.

A declividade mostra o grau de declive do relevo da bacia, e as classes definidas no mapa seguem orientação do Manual Técnico de Pedologia da Embrapa (IBGE, 2015). O gradiente do canal principal é extraído pela diferença entre a altitude máxima e a mínima (em metros) e o comprimento do canal (em quilômetros) e o perfil longitudinal, permitindo observar o perfil do nível de declínio da bacia.

A metodologia aplicada para calcular o índice de conectividade da BRT foi baseada em Borselli, Cassi e Torri (2008), cuja fórmula é:

$$IC = \log_{10} \left(\frac{D_{up}}{D_{dn}} \right)$$

Onde IC é o t de conectividade, D_{up} ou *upslope* designa a área de drenagem onde o sedimento é produzido, sendo necessário compreender a morfologia e o uso da terra, e D_{dn} ou *downslope* designa o caminho que o fluxo percorre, bem como a rugosidade e a inclinação na superfície.

Assim, o *downslope* se calcula pela seguinte fórmula:

$$D_{dn} = \sum_i \frac{d_i}{W_i S_i}$$

Onde D_{dn} representa o *downslope*, d_i é o comprimento da i-ésima célula ao longo do caminho do *downslope* (em m), W_i é o peso da i-ésima célula (sem dimensão) e S_i é a inclinação da i-ésima célula (m/m).

Já o *upslope* é calculado pela fórmula:

$$D_{up} = \bar{W}\bar{S}\sqrt{A}$$

Onde D_{up} é o próprio *upslope*, W é o fator de passagem médio da área contributiva alta (sem dimensões), S é a inclinação média da área contributiva alta (m/m) e A , a área contributiva alta (m²).

Nesse contexto, de acordo com Borselli, Cassi e Torri (2008), é necessário avaliar diversos parâmetros para compreender e obter o índice de conectividade, uma vez que é preciso levar em conta as propriedades topográficas e geométricas, ou seja, as características morfométricas da bacia.

Um dos elementos essenciais à análise da conectividade da paisagem é o fator C (Borselli; Cassi; Torri, 2008), usado nas equações de perda de solo e que considera o tipo de cultura/vegetação e o fator de gestão presentes na área, uma vez que esses aspectos são usados para determinar a eficácia relativa dos sistemas de manejo de culturas em termos de perda de solo. Os autores ainda ressaltam que o fator C atinge seu valor máximo quando o solo está em risco mais alto de erosão (menos protegido) e vai para zero quando o solo está totalmente protegido.

Todavia, é importante ressaltar que a tabela com os dados do fator C foi adaptada à realidade do semiárido do Nordeste brasileiro (Tabela 1). O fator C foi baseado na classificação de uso e cobertura da terra, com os seguintes resultados: os índices de $-0,09$ a 0 são apresentados como água; de 0 a $0,15$, como solo exposto, cultivo e vegetação esparsa; de $0,15$ a $0,19$, como caatinga arbustiva aberta; de $0,19$ a $0,26$, como caatinga arbustiva fechada; e, de $0,26$ a $0,49$, como caatinga arbórea arbustiva (Ribeiro et al., 2014).

Tabela 1 – Dados do fator C adaptados à realidade do semiárido nordestino do Brasil

classificação	classes	km ²	%
água	-0,09-0	0,03	0,01%
solo exposto, cultivo e vegetação esparsa	0-0,15	383,34	7%
caatinga arbustiva aberta	0,15-0,19	161,65	32%
caatinga Arbustiva fechada	0,19-0,26	17,97	41%
caatinga arbórea arbustiva	0,26-0,49	1,95	20%
total		565	100,00%

fonte: Borselli, Cassi e Torri (2008).

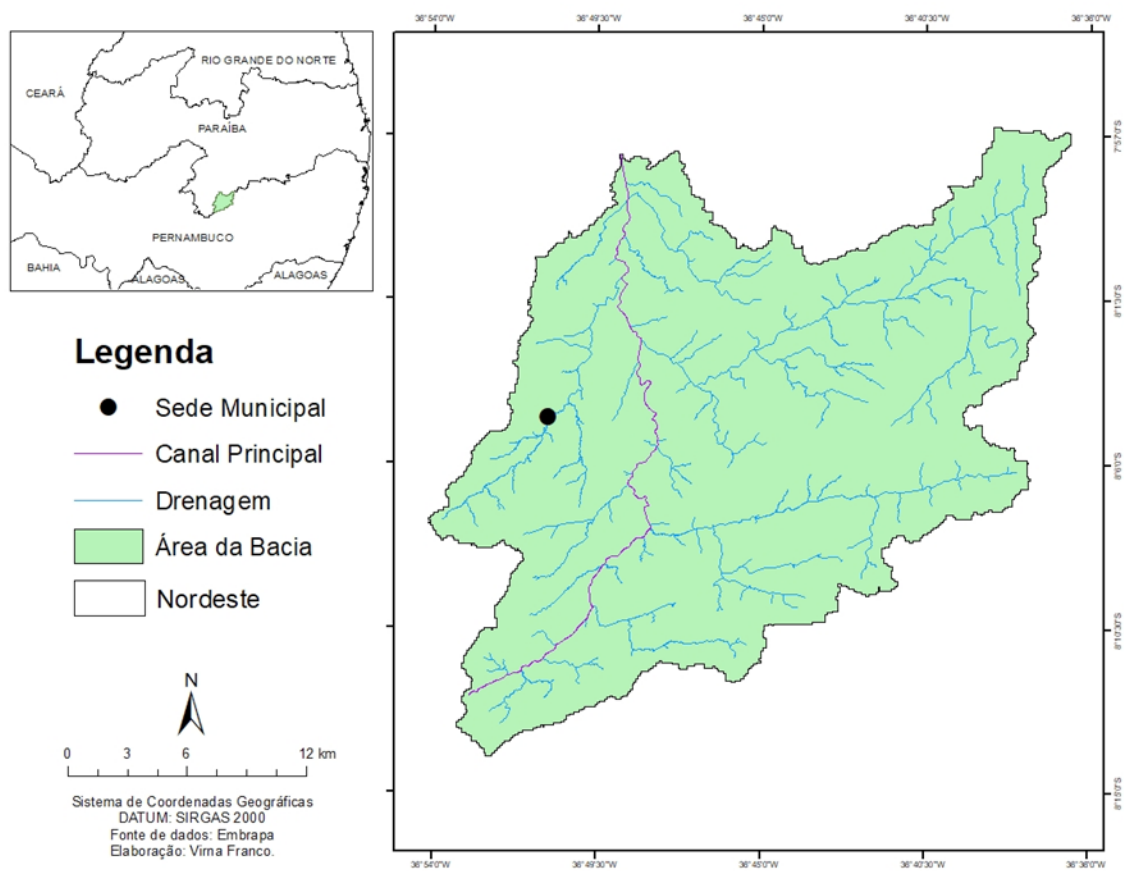
Assim, fizeram-se algumas alterações como por exemplo, adaptar as áreas de pasto na tabela de Borselli a áreas de solo exposto e vegetação esparsa. Logo, embora baseadas na tabela de Borselli, Cassi e Torri (2008), as informações apresentadas aqui se referem à realidade do semiárido brasileiro.

Por fim, foi confeccionado o mapa de índice de conectividade da paisagem, cujo procedimento realizado no ArcGis 10.2.2. está descrito em Borselli, Cassi e Torri (2008), e importa ressaltar que as informações obtidas foram processadas sobretudo pela ferramenta raster calculator. Após a análise de gabinete dos resultados obtidos a partir das técnicas de geoprocessamento, mais precisamente dos SIG, avaliaram-se pontos com características particulares, os quais foram visitados em campo para verificar deposição ou não de sedimentos.

Resultados e discussão

A área da bacia hidrográfica do BRT é de 564,899 km², apresentando canal de 5ª ordem, como o caso do canal principal (Figura 1).

Figura 1 – Localização da BRT, no município de São João do Tigre-PB



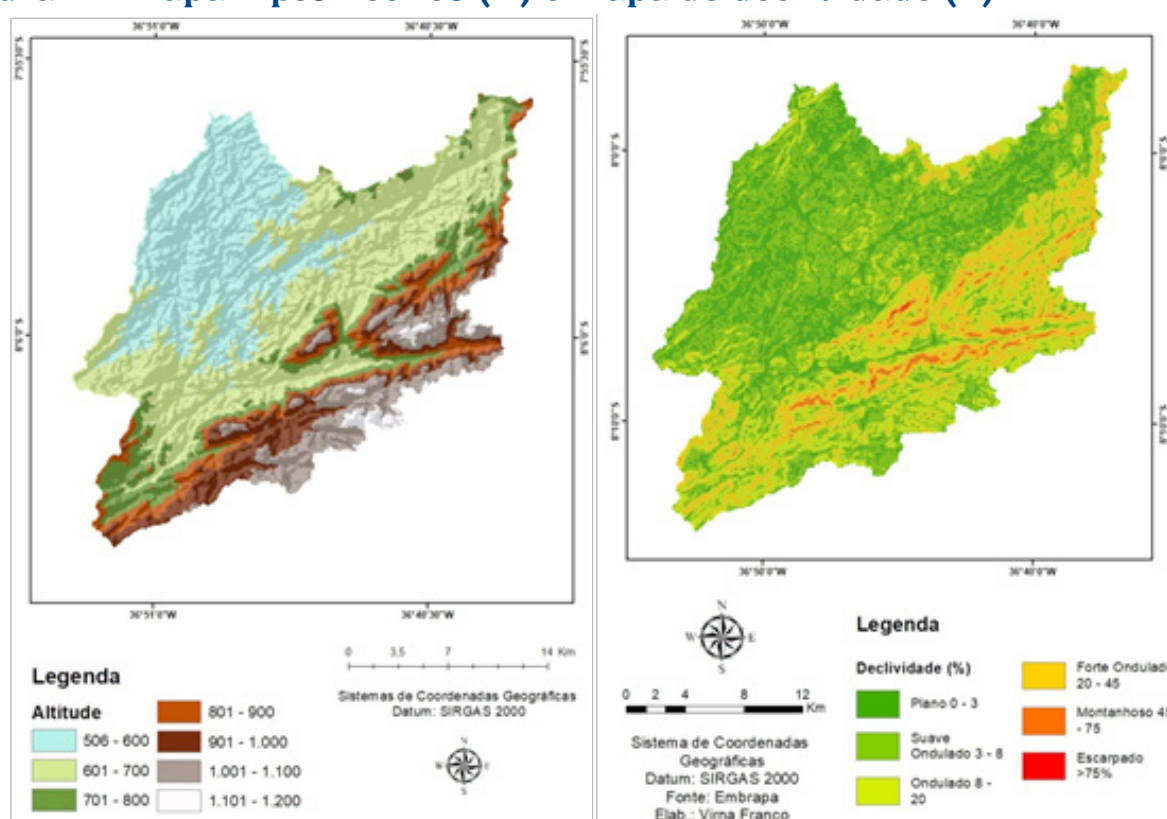
De modo geral, quanto à geomorfologia e à geologia da área, a porção norte da bacia está localizada na unidade do Planalto da Borborema, num setor de depressão intraplanáltica paraibana, com cotas topográficas de 400 m a 600 m, onde reina um clima semiárido, que não permite o desenvolvimento de regolito e apresenta feições bastante planas. Já a porção sul está no setor dos maciços remobilizados do domínio da zona transversal, a qual apresenta uma sucessão de maciços isolados, cristas e depressões intraplanálticas estreitas, atingindo cotas topográficas superiores a 1.000 m (Corrêa et al., 2010).

Como se vê na Figura 2A, a altitude máxima da BRT é de 1.172 m e a altitude mínima, de 506 m, logo, com amplitude de 666 m. A altitude média da área é de 838 m, com desvio padrão de 191,99 m. Os dados altimétricos da bacia permitem inferir que, comparada a outras áreas semiáridas, a amplitude altimétrica da BRT é grande. Ainda é possível verificar que, nas regiões sudoeste e sudeste, a bacia apresenta as maiores altitudes, onde estão suas áreas de cabeceiras, além de estar inserida no setor de maciços remobilizados do domínio da zona transversal, apresentando cimeiras mais elevadas e relevos mais vigorosos com a presença de intrusões brasilianas de variadas dimensões, cujas classes de rochas predominantes são ígneas e metamórficas. Todavia, essa altitude vai diminuindo na mesma proporção em que o rio segue seu médio e baixo curso, passando a fazer parte do setor de depressão intraplanáltica paraibana e apresentando um relevo de formas bastante planas (Corrêa et al., 2010).

Quanto ao mapa de declividade (Figura 2B), que mostra o grau de inclinação do relevo, foi possível perceber que a área tem declividade máxima de 114%, declividade média de 10% e o desvio padrão de 10,99%, influenciando os processos erosivos, a densidade de drenagem, velocidade de escoamento, entre outros diversos fatores, a partir do controle da energia da encosta que, conseqüentemente, aumenta a velocidade de fluxo e a sua capacidade erosiva.

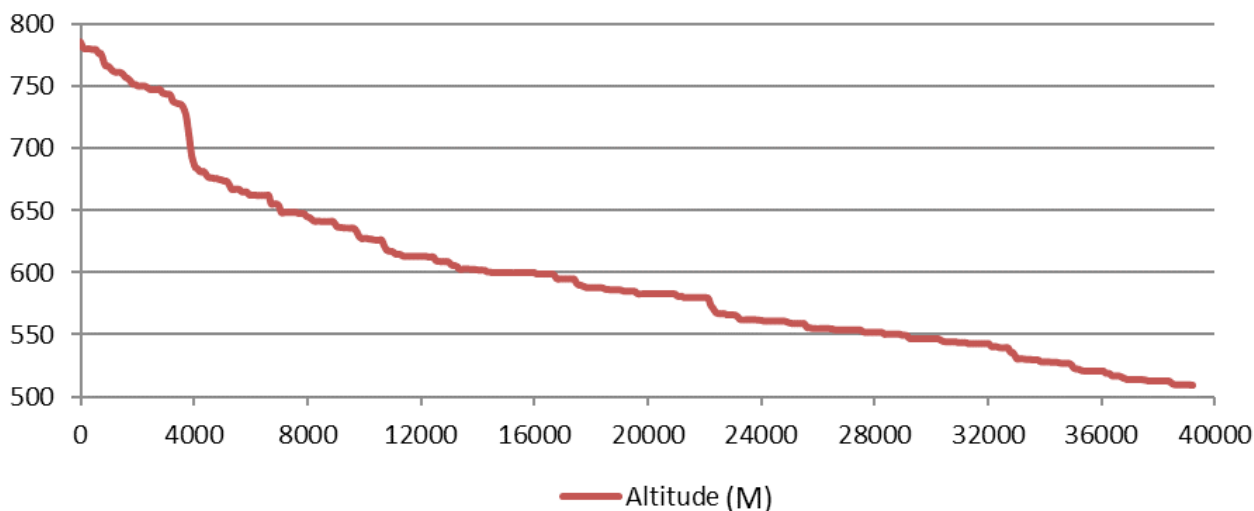
Vale ressaltar que as classes definidas para o mapa seguem orientação do Manual Técnico de Pedologia da Embrapa (IBGE, 2015). Assim como no mapa altimétrico, na região sudoeste e especialmente na região sudeste, a bacia apresenta um índice de declividade mais elevado com índices montanhosos, por exemplo. Entretanto, na porção norte, a maior parte da bacia tem uma declividade suave ondulada. Logo, predomina ali um relevo suave ondulado e ondulado (Figura 2B).

Figura 2 – Mapa hipsométrico (A) e mapa de declividade (B)



Além disso, a partir do perfil longitudinal do canal principal (Figura 3) observa-se que o canal apresenta desequilíbrios ao longo de sua extensão, configurando um perfil longitudinal desajustado ao perfil de rios em equilíbrio, assim as quebras nos valores de gradiente do canal geram diversas áreas com a possibilidade de aumento significativo de velocidade e energia da vazão nos trechos de aumento de declive, como no trecho a cerca de 4 km da cabeceira. As anormalidades existentes no rio podem estar relacionadas a controles estruturais como a presença de falhas ou variações litológicas. O gradiente para todo o canal principal foi medido a partir da diferença altimétrica máxima e mínima do canal principal em metros e o comprimento do canal em quilômetros, que foi igual a 7,6 m/km (Monteiro; Souza, 2016).

Figura 3 – Perfil longitudinal do canal principal da BRT



fonte: Monteiro e Souza (2016).

Como afirmam Feitosa, Santos e Araújo (2011), a cobertura vegetal pode funcionar como um elemento de proteção natural dos solos, diminuindo o potencial erosivo das precipitações sobre eles. Assim, o fator vegetação torna-se um elemento de extrema relevância para a análise da conectividade da paisagem, uma vez que, no semiárido paraibano, os índices de desmatamento de vegetação são elevados.

Nessa perspectiva, o mapa de cobertura da terra visa compreender o estágio de degradação do ambiente. Como se vê na Figura 4, a maior parte da área apresenta estado de degradação da vegetação, principalmente na porção central, uma vez que as características de uso, especialmente para a agricultura, concorrem para a presença de solo exposto ou de vegetação esparsa. Ainda é possível observar que só a porção sudeste da bacia mostra maior densidade de cobertura vegetal, onde há áreas mais declivosas e de altitudes elevadas.

Assim, associando os valores da Tabela I com a espacialização dos dados da Figura 4 e as adaptações realizadas a partir da tabela de fator C de Borselli, Cassi e Torri (2008), foi possível classificar na área cinco tipos de ocupação da terra: água, solo exposto e vegetação esparsa, caatinga arbustiva aberta, caatinga arbustiva fechada e caatinga arbórea arbustiva.

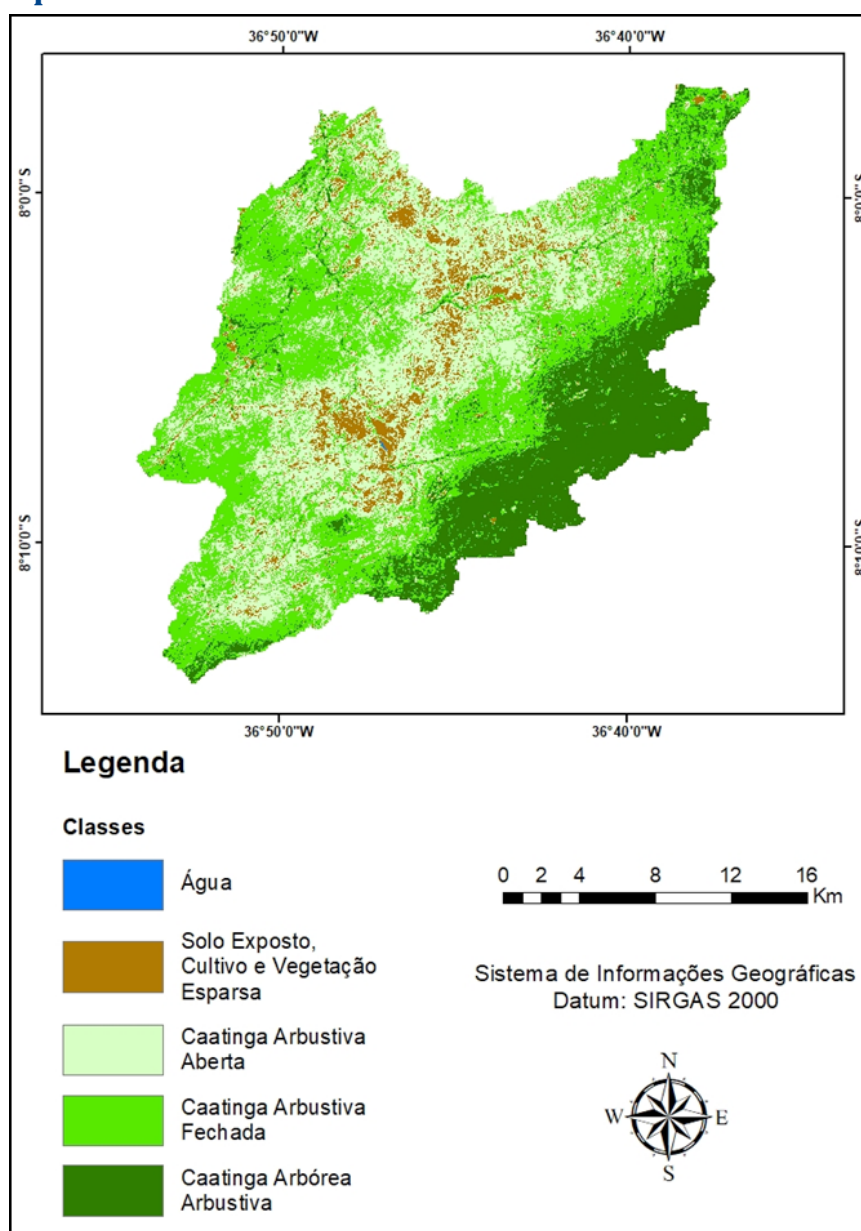
Assim, vale ressaltar que esse índice leva em conta o fator C, a declividade e a distância que o sedimento percorre na bacia como fatores fundamentais para compreendê-la. O fator C leva em conta o uso da terra com relação à presença ou não de vegetação, influenciando diretamente a produção de sedimentos. Portanto, quanto mais protegido o solo estiver, menor será a produção de sedimentos na área e, conseqüentemente, menor será o índice de conectividade.

Além do fator C relativo à cobertura da terra, alguns fatores morfométricos da bacia influenciam diretamente o índice de conectividade, e a partir da análise conjunta foi possível analisar com maior propriedade seu índice de conectividade (Figura 5). Cumpre ressaltar que no mapa de conectividade não foram consideradas as áreas urbanas ou as estradas, uma vez que nenhuma delas seria tão relevante no resultado, pois ocupam uma pequena área relativa. Assim, a declividade também é um dos fatores determinantes da produção de sedimentos, visto que áreas com declividade acentuada apresentam elevada produção de sedimentos. Analogamente,

áreas com baixa declividade configuram ambientes de acumulação de sedimentos, onde geralmente se encontram indicadores de baixa conectividade.

Sendo assim, correlacionando as Figuras 2B e 5, a porção noroeste (Figuras 5 e 6A) apresenta declividade plana, suave ondulada e ondulada, ou seja, declividade não muito acentuada. Nessa mesma área, a conectividade se apresenta predominantemente baixa, o que pode ser explicado pelo fato de ser uma área que, além de declividades baixas, tem maior densidade vegetacional, a qual aumenta a cobertura e a rugosidade do solo, prevenindo tanto a erosão quanto o transporte de sedimento. O inverso ocorre no extremo norte da bacia (Figuras 5 e 6B), onde, apesar da baixa declividade, predomina o uso agrícola, favorecendo a erosão e o transporte; conseqüentemente, a conectividade é predominantemente alta. Esses elementos são predominantes nas áreas de menor altitude da bacia.

Figura 4 – Mapa de cobertura da terra



fonte: Classes adaptadas de Borselli, Cassi e Torri (2008).

Do mesmo modo, a conectividade da porção sudeste é predominantemente muito baixa ou baixa (Figuras 5 e 6C). A elevada altitude da área proporciona um ambiente mais úmido para o crescimento da vegetação (como se pode observar na correlação dos mapas de altitude e uso da terra). Por essas informações, a porção sudeste configura baixa produção de sedimentos para ser transportados devido à presença de vegetação, atenuando o impacto, sobretudo o climático, na superfície. Consequentemente, há um maior desenvolvimento de solos nessa área, podendo-se encontrar solos com profundidade superior a dois metros.

Observa-se no centro-sul da bacia a concentração de uma área significativa com elevada conectividade (Figura 5 e 6D), incluindo áreas com alta densidade de vegetação. Essa particularidade se deve ao fato de o relevo ser mais dissecado nessa região devido à variação litológica, além de apresentar relevos com encostas íngremes e declividades escarpada e montanhosa, de difícil acesso, o que explica a conservação da vegetação. Ou seja, essas áreas com índice de conectividade como muito alto conseguem transportar o sedimento mais facilmente, apresentando inclusive áreas com afloramentos rochosos.

O índice de conectividade também indica o nível de conectividade nos canais, apontando as áreas onde há maior probabilidade de retenção ou remoção. Desse modo, observa-se no centro-norte da bacia, na confluência dos dois principais canais, um trecho com baixa conectividade no ambiente fluvial, consequentemente esse trecho é dominado por um espesso depósito fluvial, caracterizando um canal de leito arenoso entrelaçado (Figuras 5 e 6E). Por outro lado, o centro sul da bacia (Figuras 5 e 6F) é dominado por vales encaixados com alto gradiente e alta energia, consequentemente com alto índice de conectividade, o que gera canais de leito rochoso com alta capacidade de remoção/transporte de sedimentos.

Figura 5 – Mapa do índice de conectividade da BRT

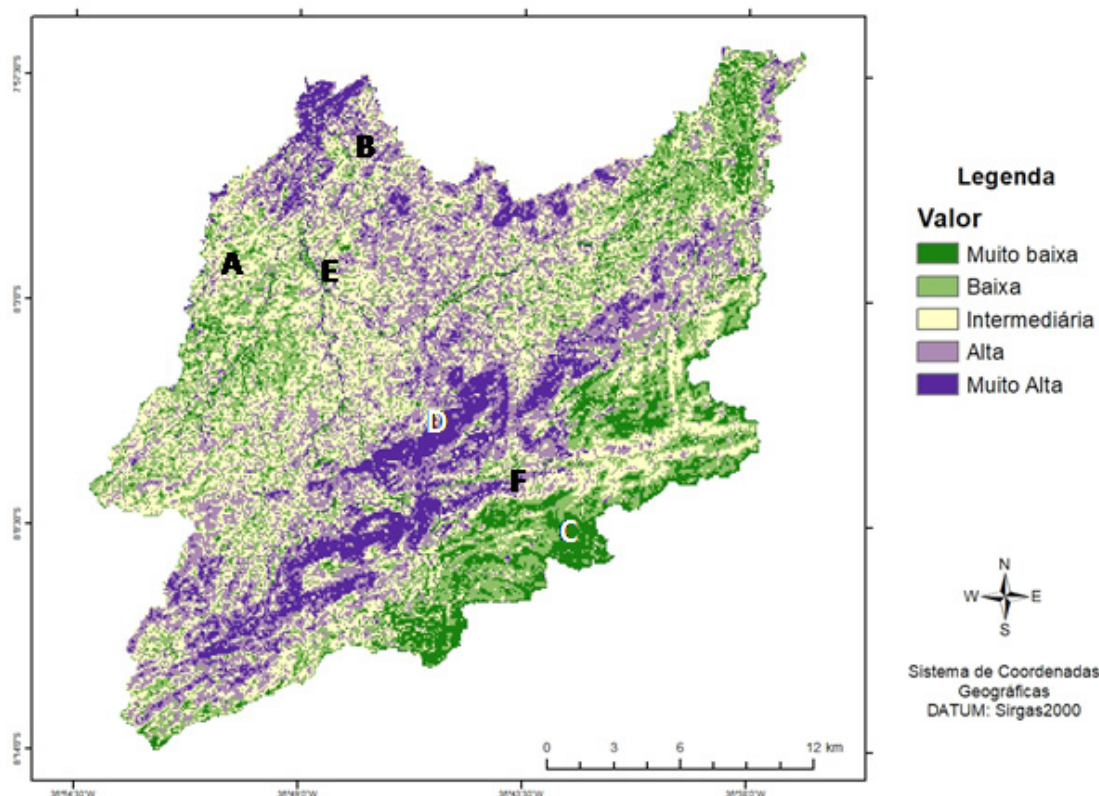
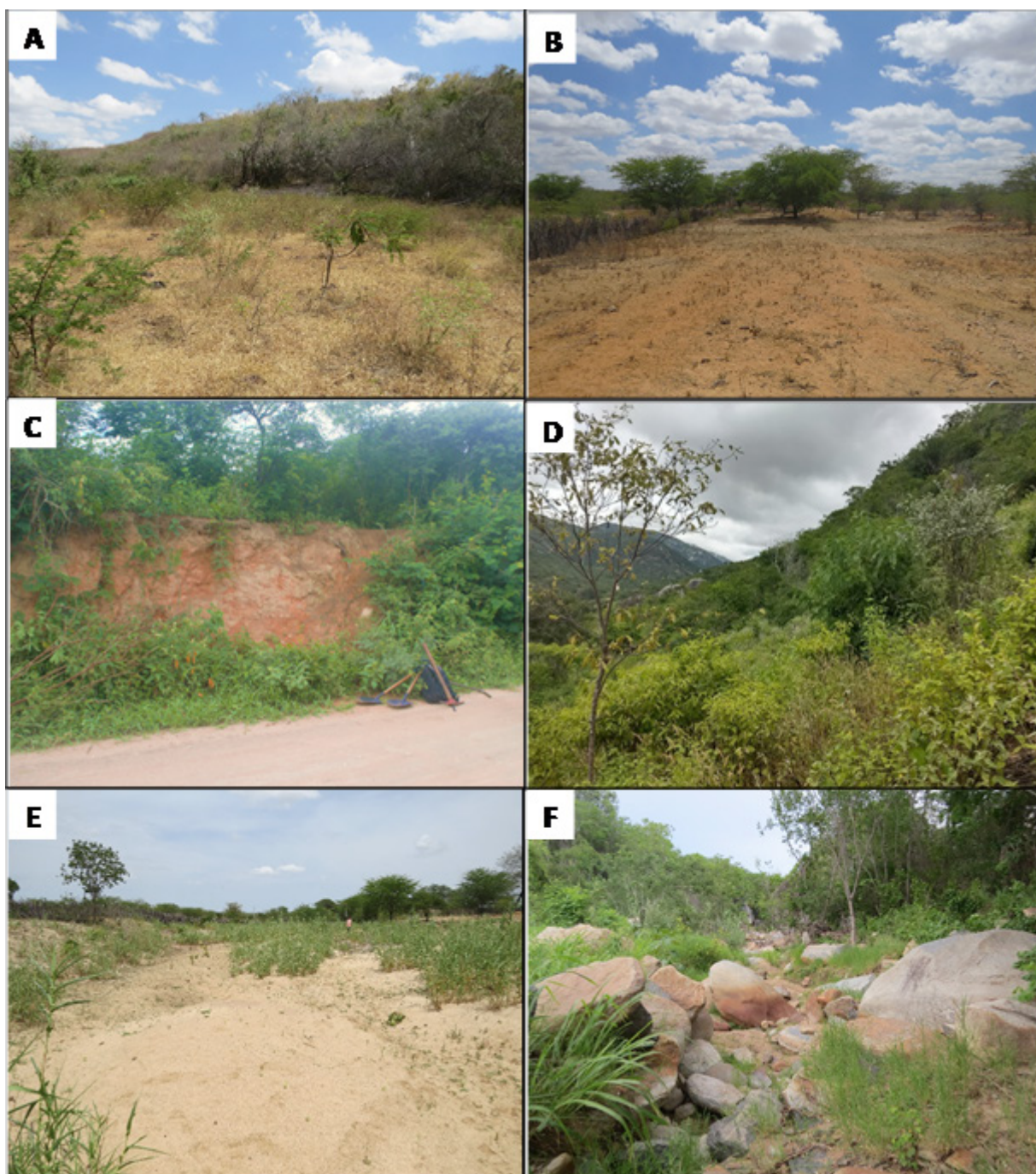


Figura 6 – Áreas com diferentes arranjos ambientais e diferentes índices de conectividade.



(A) Área pedimentar com vegetação densa e baixa conectividade. (B) Área pedimentar com vegetação esparsa e alta conectividade. (C) Área de escarpa com declividade alta, vegetação densa e conectividade muito alta. (D) Área de topo plano com vegetação densa, solo profundo e conectividade muito baixa. (E) Área de confluência entre canais arenosos com baixo gradiente e conectividade muito baixa. (F) Canal de leito rochoso com alto gradiente e conectividade muito alta

Esta análise vai ao encontro de outras avaliações de conectividade realizadas em ambientes secos do Nordeste brasileiro. A predominância das baixas conectividades nas encostas em ambientes pedimentares são características do semiárido nordestino, havendo a possibilidade de aumento quando muda o uso da terra, especialmente com a remoção da vegetação e a expansão do uso agrícola (Lopes; Pinheiro, 2013; Souza; Corrêa; Brierley, 2016; Santos et al., 2017). Bem como, a variação da conectividade nas áreas de contato com as áreas elevadas do Planalto da Borborema, na qual as áreas de escarpa da transição pedimento/topo apresentam conectividade muito alta, com a ocorrência de afloramentos rochosos e solos rasos, e as áreas de topo plano apresentam conectividade muito baixa, com a presença de solos profundos mais desenvolvidos e maior potencial agrícola (Souza; Corrêa; Brierley, 2016).

Outro resultado representativo é a identificação da predominância de baixa conectividade na rede de drenagem semiárida, caracterizada pelo domínio de canais com leitos arenosos e pouco entalhados (Souza; Corrêa, 2012b; Barros et al., 2014; Almeida; Souza; Corrêa, 2016). Para uma pesquisa mais aprofundada ressalta-se a importância da inclusão de outras estruturas antrópicas, não apenas áreas urbanas e estradas, tais como barramentos (Souza; Corrêa, 2012a; Souza; Corrêa; Brierley, 2016) e passagens molhadas (Cavalcante et al., 2014). A inclusão de interferências antrópicas na análise é importante para analisar a (des)conectividade do ambiente fluvial nos trechos de intervenção. Todavia, uma vez que esta pesquisa usa escala pequena com detalhamento reduzido e área extensa, não se consideraram as áreas urbanas ou as estradas.

Considerações finais

Compreender o índice de conectividade da paisagem da bacia de São João do Tigre permite entender o comportamento da bacia como um todo – por exemplo, áreas de deposição e áreas de erosão –, bem como associar essas informações aos tipos de uso e ocupação da terra na região, especialmente no âmbito da agricultura.

Assim, as porções mais centrais, ao norte e nordeste da bacia, apresentam conectividade entre intermediária, baixa e muito baixa, uma vez que é nessas áreas que o uso e a ocupação da terra são mais intensos. Nas bordas da bacia, em especial na porção sudeste, encontram-se os índices de conectividade mais elevados, cujas áreas apresentam maiores declividades e elevadas altitudes, concorrendo para uma maior produção de sedimentos.

Os resultados apontam a eficiência do índice, que pôde ser validado a partir das características verificadas em campo, e corroboram os resultados obtidos em diferentes análises de conectividade em ambientes semelhantes. Ao mesmo tempo, mostra-se a necessidade de integrar ao índice os efeitos desconectantes gerados por barramentos diversos nos ambientes fluviais.

Por fim, é importante compreender que alguns aspectos controlam o índice de conectividade; por exemplo, o uso e a ocupação da terra, a declividade e a altitude. A percepção da influência desses fatores no índice de conectividade permite criar possibilidades de trabalhos futuros em outras áreas semiáridas usando informações deste trabalho como fonte de dados e intensificar a aplicabilidade de técnicas e pesquisas na área em questão.

Referências

- ALMEIDA, J. D. M.; SOUZA, J. O. P.; CORRÊA, A. C. B. Dinâmica e caracterização fluvial da bacia do Riacho Grande, Serra Talhada-PE: abordagem da conectividade da paisagem. **Geo UERJ**, v. 1, p. 308-331, 2016.
- BARROS, A. C. M.; ALMEIDA, J. D. M.; SOUZA, J. O. P.; CORRÊA, A. C. B. Dinâmica dos sedimentos em bacia do semiárido: conectividade e a relação com o escoamento superficial como suporte para a gestão dos recursos hídricos local. **Revista GeoNorte**, v. 10, n. 1, p. 332-336, 2014.
- 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.
- CARELLI, L.; LOPES, P. P. Caracterização fisiográfica da bacia Olhos D'água em Feira de Santana-BA: geoprocessamento aplicado à análise ambiental. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 31, n. 2, p. 43-54, 2011.
- CAVALCANTE, A. A.; BEZERRA, M. B.; COELHO, G. K. S.; BALTAZAR, J. J. Estudo das passagens molhadas à jusante da barragem do Castanhão-CE e possíveis alterações na dinâmica fluvial. **Revista GeoNorte**, v. 10, n. 1, p. 291-297, 2014. Número Especial 4.
- CAVALLI, M.; TREVISANI, S.; COMITI, F.; MARCHI, L. Geomorphometric assessment of spatial sediment connectivity in small Alpine catchments. **Geomorphology**, v. 188, p. 31-41, 2013.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.
- CORRÊA, A. C. B.; TAVARES, B. A. C.; MONTEIRO, K. A.; CAVALCANTI, L. C. S.; LIRA, D. R. Megageomorfologia e morfoestrutura do planalto da Borborema. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 31, n. 1-2, p. 35-52, 2010.
- FEITOSA, A.; SANTOS, B. O.; ARAÚJO, M. S. B. Caracterização morfométrica e identificação de áreas susceptíveis a erosão na bacia do rio Pajeú, PE: o estudo de caso da bacia do rio Pajeú-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 4, p. 820-836, 2011.
- FERRAZ, R. S. Avaliação de modelos digitais de terreno para delimitação de áreas de bacias hidrográficas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 5., 2014, Recife. **Anais...** Recife, 2014.
- HOOKE, J. Coarse sediment connectivity in river channel systems: a conceptual framework and methodology. **Geomorphology**, v. 56, n. 1-2, p. 79-94, 2003.

- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Pedologia**. 3a ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.
- LOPES, J. W. B.; PINHEIRO, E. A. R. Análise temporal da conectividade e da capacidade de transporte potencial de sedimentos em meso-bacia semiárida, CE, Brasil. **Revista Agro@ambiente** On-line, v. 7, n. 2, p. 136-144, maio/ago. 2013.
- MONTEIRO, D. C. S.; SOUZA, J. O. P. Perfil longitudinal e aplicação do índice de Gradiente na bacia do Riacho do Tigre, semiárido paraibano. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 11., 2016, Maringá. **Anais...** Maringá, set. 2016.
- OLIVEIRA, P. T. S.; ALVES SOBRINHO, T.; STEFFEN, J. L.; RODRIGUES, D. B. B. Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas através de dados SRTM. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 8, p. 819-825, 2010.
- RIBEIRO, G. N.; FRANCISCO, P. R. M.; NETO, J.; ARAGÃO, K. P. Análise temporal da vegetação de caatinga utilizando NDVI. **Revista Educação Agrícola Superior**, Brasília: Abeas, v. 29, n. 1, p. 3-6, 2014.
- RODRIGUES, A. S. L.; CASTRO, P. T. A.; MALAFAIA, G. Utilização dos protocolos de avaliação rápida de rios como instrumentos complementares na gestão de bacias hidrográficas envolvendo aspectos da geomorfologia fluvial: uma breve discussão. **Enciclopédia Biosfera**. Goiânia: Centro Científico Conhecer, 2010. v. 6.
- SANTOS, J. C. N. D.; ANDRADE, E. M. D.; MEDEIROS, P. H. A.; PALÁCIO, H. A. D. Q.; ARAÚJO NETO, J. R. D. Sediment delivery ratio in a small semi-arid watershed under conditions of low connectivity. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 1, p. 49-58, 2017.
- SILVA, A. F. P. L. **Caracterização hidrossedimentológica dos trechos aluviais da Bacia Riacho do Tigre-PB**. Monografia (Graduação em Geografia) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.
- SOUZA, J. O. P.; ALMEIDA, J. D. M. Modelo digital de elevação e extração automática de drenagem: dados, métodos e precisão para estudos hidrológicos e geomorfológicos. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 32, n 2, p. 134-149, 2014.
- SOUZA, J. O. P.; CORRÊA, A. C. B. Conectividade e área de captação efetiva de um sistema fluvial semiárido: Bacia do Riacho Mulungu, Belém de São Francisco-PE. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia: UFU, v. 24, p. 319-332, maio/ago. 2012a.
- SOUZA, J. O. P.; CORRÊA, A. C. B. Sistema fluvial e planejamento local no semiárido. **Mercator**, v. 11, n. 24, p. 149-168, jan./abr. 2012b.
- SOUZA, J. O. P.; CORRÊA, A. C. B.; BRIERLEY, G. J. An approach to assess the impact of landscape connectivity and effective catchment area upon bedload sediment flux in Saco Creek Watershed, Semiarid Brazil. **Catena**, n. 138, p. 13-29, 2016.