

## QUANTIFICAÇÃO DA ÁREA DE PERFIS TRANSVERSAIS EM UM RIACHO EFÊMERO NO CEARÁ DURANTE O PERÍODO DA QUADRA CHUVOSA DE 2024

### INTRODUÇÃO

O entendimento dos ajustes do canal fluvial às condições ambientais naturais e antrópicas requer dados de referência sobre a geometria do canal. Os levantamentos de seções transversais fornecem os meios para análise quantitativa das mudanças morfológicas no canal. Através de levantamentos consecutivos do perfil ao longo do tempo, é possível identificar mudanças na área da seção que podem ser provocadas pela erosão, deposição ou migração lateral.

As técnicas de levantamento e análise de perfis transversais foram avançando e adotando mais recursos tecnológicos. Os primeiros pesquisadores utilizaram técnicas de levantamento topográficos usando teodolitos (Simon e Hupp, 1992; Dose e Roper, 1994; James, 1997) ou cordas e régua (Olson-Rutz e Marlow, 1992; Gordon et al., 2004).

Nos últimos anos, o uso das geotecnologias vem contribuindo no aprimoramento desses estudos como o LIDAR instalados em plataformas tripuladas e não tripuladas (VANT) (Coveney e Roberts, 2017; Yao et al., 2019, Bandini et al., 2020) e sistemas fotogramétricos terrestres (Marzolff, 2016).

A variação da profundidade do canal obtida nos levantamentos das seções transversais por quaisquer das técnicas citadas acima, pode ser analisada quantitativamente mediante diversos parâmetros estatísticos apresentados por Olson-Rutz e Marlow (1992). No exterior vários autores adotaram esses parâmetros (Allen-Diaz et al. 1998; Hardy et al., 2005; Harding et al., 2009, Long e Davis, 2016 entre outros). No Brasil, os parâmetros estatísticos de Olson-Rutz e Marlow (1992) foram adotados também por vários autores (Bortoluzzi e Fernandez, 2010, Binda e Fernandez 2011; Marçal, 2013; Xavier, 2021; Campanholo, 2021; Andrade e Fernandez, 2022).

O objetivo do presente trabalho é analisar as mudanças na área da seção transversal em um riacho com regime efêmero localizado no semiárido cearense durante a quadra chuvosa de 2024, empregando os parâmetros estatísticos de Olson Rutz e Marlow (1992).

### METODOLOGIA

Área de Estudo

A bacia hidrográfica do Sítio Saquinho está localizada no município de Limoeiro do Norte, situado na região leste do Estado do Ceará na Sub-Bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe. A bacia do Sítio Saquinho, composta integralmente por canais efêmeros, possui área de 7,93 km<sup>2</sup> e perímetro de 12,6 km, sendo tributário da margem direita do rio Jaguaribe.

O clima predominante na área de estudo é o Tropical Semiárido, que é caracterizado por um período chuvoso de fevereiro a maio (quadra chuvosa), permanecendo seco o resto do ano. O principal sistema meteorológico responsável pelas chuvas na região é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que atua de fevereiro a maio e corresponde a uma área de intensa atividade convectiva, baixas pressões, alta nebulosidade e abundante precipitação (Ferreira e Mello, 2005). A temperatura média anual varia de 26 a 28°C e a precipitação média anual é de 752,4 mm (FUNCEME, 2024).

A bacia do Sítio do Saquinho está inserida geologicamente no domínio do embasamento cristalino (província de Borborema); rochas sedimentares da Bacia Potiguar (Formações Açú e Jandaíra) e depósitos Quaternários da planície aluvial do rio Jaguaribe. Do ponto de vista geomorfológico, a bacia do Sítio Saquinho é formada por três unidades de relevo: planície fluvial (paleo-terraços) do rio Jaguaribe, inselberg e chapada do Apodi (Lima, 2022). Nas últimas décadas, a mudança no uso da terra na área de estudo ocorreu pela conversão de vegetação nativa (caatinga arbustiva e arbórea) para agricultura principalmente na chapada do Apodi (Gameiro et al., 2023).

### Procedimentos Metodológicos

O estudo da variação temporal das seções transversais no riacho efêmero Sítio do Saquinho foram realizadas adotando a técnica das seções transversais permanentes (Fernandez et al., 2001; Oliveira e Mello, 2007). A seção consiste na instalação de estacas de madeira inseridas na superfície de ambas as margens que demarcam a extensão do perfil. As estacas, cujas extremos superiores estão nivelados, servem para fixar uma corda fortemente esticada que constitui o plano referencial na medição da profundidade do canal feita a cada 10 cm com auxílio de régua.

Os dados de profundidade do canal dos levantamentos consecutivos foram analisados aplicando dois parâmetros estatísticos propostos por Olson-Rutz e Marlow (1992), descritos a seguir.

Variação total da área da seção transversal ( $|A\%|$ ): este parâmetro indica a porcentagem da área da seção afetada tanto pela erosão como pela deposição (Equação 1). Por exemplo, o

valor de  $|A\%|=25\%$ , indica que 25% da área da seção foi alterada pela ação combinada dos processos de erosão e deposição.

$$|\Delta A\%| = \frac{\sum_{i=1}^n |(Y_{ant} - Y_{post})|}{\sum_{i=1}^n Y_{ant}} \cdot 100 \quad (\text{equação 1})$$

Onde,  $Y$  é a profundidade do canal no  $i$ -ésimo ponto medida ao longo da seção a partir de um plano horizontal fixo e  $n$  é o total de leituras de profundidade do canal. As distâncias verticais de  $Y_{ant}$  e  $Y_{post}$  representam os dados obtidos nos levantamentos anterior e posterior, considerados em cada comparação.

Variação residual da área da seção transversal ( $\Delta A\%$ ): este parâmetro indica a processo dominante na seção transversal entre dois levantamentos consecutivos. Os valores positivos de  $\Delta A\%$  indicam o predomínio da deposição e valores negativos sugerem erosão. Este parâmetro é calculado pela equação 2:

$$\Delta A\% = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{ant} - Y_{post})}{\sum_{i=1}^n Y_{ant}} \cdot 100 \quad (\text{equação 2})$$

Considerando o caso hipotético anterior, quando  $|A\%|=25\%$  e se o valor residual de  $\Delta A\%=5\%$ , indica o predomínio da deposição em 5% tendo em conta o valor total da área afetada (25%). Assim, discretizando a área da seção modificada pelos dois processos, teremos que 15% da área foi alterada pela deposição e 10% pela erosão.

Os dados diários da precipitação, usados no trabalho, foram coletados na estação climatológica de Limoeiro do Norte (código 538009) (ANA, 2024) durante a quadra chuvosa de 2024 (fevereiro a maio). O tempo de retorno ( $Tr$ ) das máximas precipitações diárias anuais (período 1985-2024) foi calculado pela fórmula de Weibull (Gordon et al., 2004). Para estimar  $Tr$ , os dados da precipitação foram organizados numa sequência crescente, na qual a máxima precipitação anual diária da série histórica ocupa a primeira posição ( $m=1$ ). O valor de  $Tr$  para cada evento máximo anual foi estimado empregando a equação 3:

$$Tr = \frac{n + 1}{m} \quad (\text{equação 3})$$

Onde  $n$ =número de anos com dados de chuva disponível e  $m$ =posição da máxima precipitação diária anual na ordem crescente.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As seções transversais foram posicionadas nos domínios da planície aluvial do rio Jaguaribe formada por paleo-terraços, onde o canal apresenta traçado meândrico alternando

com trechos retilíneos e leito entalhado com profundidades variando de 2 a 3 m. As margens são compostas por sedimentos arenosos e lamosos e o leito é constituído por sedimentos de tamanho areia e localmente por sedimentos rudáceos. Os levantamentos dos perfis foram executadas em 5 de janeiro e 15 de maio de 2024, período que abarca o início e o fim da quadra chuvosa.

O primeiro perfil transversal, citando de montante para jusante, é a seção 1 estabelecido num trecho retilíneo do riacho com coordenadas  $-5,111553^\circ$  e  $-38,021029^\circ$ . Deste ponto 180 m para jusante foi posicionada a seção 2 em uma curva de meandro com coordenadas  $-5,100176^\circ$  e  $-38,022407^\circ$  e, por último, 290 m desta seção, foi instalada a seção 3 num trecho retilíneo com coordenadas  $-5,108220^\circ$  e  $-38,023099^\circ$ , já nas proximidades da desembocadura do riacho Sítio do Saquinho no rio Jaguaribe.

A comparação dos dois levantamentos realizados nas três seções forneceram os seguintes resultados. Na seção 1 a área transversal da seção aumentou de 17,69 para 18,08 m<sup>2</sup>. O valor de  $|A\%|=1,87$  significa que 1,87 % dos 18,08 m<sup>2</sup>, ou seja 0,34 m<sup>2</sup> foi modificada tanto pela erosão como pela deposição. O valor negativo de  $A\% = -1,51$  indica que a área de 18,08 m<sup>2</sup> teve um incremento de 1,51 % (0,27 m<sup>2</sup>) devido exclusivamente a erosão no período da quadra chuvosa de 2024. Por sua vez, na seção 2 a área transversal aumentou de 14,16 para 14,40 m<sup>2</sup>, apresentou valor de  $|A\%|$  igual a 2,61 e  $A\%=-2,42$  representa o predomínio do processo erosivo. Finalmente, na seção 3 a área transversal diminuiu de 8,84 para 8,56 m<sup>2</sup>, apresentou valor de  $|A\%|$  igual a 6,44 e o resultado positivo de  $A\% = 3,35$  indica a primazia do processo deposicional.

Os parâmetros estatísticos demonstram que a erosão prevaleceu nas duas seções situadas à montante do trecho em estudo (seções 1 e 2), onde o riacho possui maior declividade e o grau de entalhamento do canal é maior, enquanto que na seção mais a jusante (seção 3) predominou a deposição num segmento com menor declividade e menor grau de entalhamento.

Os processos erosivos e deposicionais registrados nas seções transversais permanentes ocorreram num período da quadra chuvosa de 2024, caracterizado por precipitações acima da média em nível estadual. O volume médio acumulado das precipitações para o Ceará foi de 764,8 mm nesta quadra chuvosa, ou seja 25,6 % acima da média histórica que é de 609,2 mm (FUNCEME, 2024).

Na área de estudo, o volume acumulado foi maior a média estadual, alcançando 790 mm na estação de Limoeiro do Norte (ANA, 2024). A grande irregularidade espacial e

temporal da precipitação é uma característica importante na região Nordeste do país (Silva et al., 2010). Essa variabilidade da chuva acarreta problemas nos estudos hidrológicos no semiárido (Galvão et al., 2005), tendo em vista a dificuldade na aplicação dos modelos de transformação chuva-vazão. Embora o acumulado seja maior a média estadual, a chuva máxima diária na estação de Limoeiro do Norte foi de somente 54 mm. Para fim de comparação, nessa estação a média da precipitação máxima diária no período 1985-2024 foi de 70,86 mm, com valor máximo de 137 mm em 2009 (41 anos de recorrência) e valor mínimo de 29 mm em 2015 (1,1 ano de recorrência). Neste contexto histórico, a maior precipitação diária em 2024 (54 mm) teve um tempo de retorno de 1,41 ano. Analisando os dados acima, depreende-se que as baixas magnitudes das chuvas em 2024 teriam gerado vazões menores que causariam assoramentos e erosões menos expressivas aos esperados para uma quadra chuvosa com acumulados acima da média histórica.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os parâmetros estatísticos de Olson-Rutz e Marlow (1992) ajudam a descrever quantitativamente a área de um perfil transversal modificada pela ação combinada da erosão e da deposição ( $|A\%|$ ) e, também o processo dominante ( $A\%$ ). Nas seções transversais monitoradas durante a quadra chuvosa de 2024 no riacho Sítio do Saquinho foram observadas que nas seções com predomínio da erosão, as áreas aumentaram em 1,51 e 2,42 % e na seção com prevalência da deposição a área diminuiu em 3,35 %. Estes resultados denotam a magnitude das mudanças nas seções transversais num período chuvoso caracterizado por precipitações cujo acumulado superou a média da série histórica da estação climatológica de referência.

**Palavras-chave:** Regime efêmero, Bacia do rio Jaguaribe, Caatinga.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos aos amigos Raimundo Guerreiro Mendes e Otaciano Gomes Ferreira pelo auxílio nas atividades de campo.

## **REFERÊNCIAS**

ALLEN-DIAZ, B.; JACKSON, R. D.; FEHMI, J. S. Detecting channel morphology change in California's hardwood rangeland spring ecosystems. **Journal of Range Management**, V. 51, N. 5, P. 514-518, 1998.

ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico) **Hidroweb: Sistema de Informações Hidrológicas.** Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>>. Acesso em junho de 2024.

ANDRADE, J.H.R.; FERNANDEZ, O.V.Q. Mudanças morfológicas na seção transversal de um rio com alta açudagem: estudo de caso no rio Jaguaribe no município de Quixeré – Ceará. **Boletim de Geografia (Maringá)**, V. 40, P. 385-398, 2022.

BANDINI, F.; SUNDING, T.P.; LINDE, J.; SMITH, O.; JENSEN, I.K.; KÖPPL, C.J.; BUTTS, M.; BAUER-GOTTWEIN, P. Unmanned Aerial System (UAS) Observations of water surface elevation in a small stream: Comparison of radar altimetry, LIDAR and photogrammetry techniques. **Remote Sens. Environ.**, V. 237, 111487, 2020.

BINDA, A.L.; FERNANDEZ, O.V.Q. Acumulações de detritos lenhosos e mudanças na morfologia do canal fluvial no rio Guabirola, Guarapuava (PR). **Revista Geografia (Londrina)**, V. 20, N. 1, P. 31-50, 2011.

BORTOLUZZI, L.N.; FERNANDEZ, O.V.Q. Variações morfológicas em córregos que drenam a área urbana de Marechal Cândido Rondon, Paraná. **Revista Geográfica**, V. 2, N. 2, P. 3-27, 2010.

CAMPANHOLO, K. **Influência dos detritos lenhosos na dinâmica fluvial de um rio de cabeceira em floresta de araucária.** 141f. Tese. Doutorado Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

COVENEY, S.; ROBERTS, K. Lightweight UAV digital elevation models and orthoimagery for environmental applications: data accuracy evaluation and potential for river flood risk modelling. **Int. J. Remote Sens.**, V. 38, P. 3159–3180, 2017.

DOSE, J.J.; ROPER, B.B. Long-term changes in low-flow channel widths within the South Umpqua watershed, Oregon. **Water Resources Bulletin**, V. 30, N. 6, P. 993-1000. 1994.

FERNANDEZ, O.V.Q.; REBELATTO, G.; SANDER, C. Análise quantitativa de seções transversais em pequenos canais fluviais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, V. 2, N. 1, P. 85-92, 2001.

FERREIRA, A.G.; MELLO, N.G.S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, V. 1, N. 1, P. 15-28. 2005.

FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos). Disponível em <http://www.funceme.br/>. Acesso em 04/06/2024.

GALVÃO, C.O.; NOBRE, P.; BRAGA, A.C.F.M.; OLIVEIRA, K.F.; SILVA, R.M.; SILVA, S.R.; SANTOS, C.A.G.; GOMES FILHO, M.F.; LACERDA, F.; MONCUNILL, D. Climatic predictability, hydrology and water resources over Nordeste Brazil. **IAHS Publication**, V. 295, P. 211-220, 2005.

GAMEIRO, S.; FRAZÃO, A.P.; LIMA, G.S.A.; MOREIRA, H.G.B.; FREITAS, V.V.; ROCHA, J.M.; COSTA, J.V.S.; FERREIRA, M.E.; NASCIMENTO, V.N. Análise espaço-temporal das mudanças no uso da terra na bacia hidrográfica do baixo Jaguaribe. In: **Anais do XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis, 5p 2023.

GORDON, N.D.; McMAHON, T.A.; FINLYASON, B.L.; GIPPEL, C.J.; NATHAN, R.J. **Stream Hydrology: An Introduction for Ecologists**. Chichester: John Wiley and Sons Ltd., 429 pp., 2004.

HARDING, J.; CLAPCOTT, J.; QUINN, J.; HAYES, J.; JOY, M.; STOREY, R.; GREIG, H.; HAY, J.; JAMES, T.; BEECH, M.; OZANE, R.; MEREDITH, A.; BOOTHROYD, I. **Stream Habitat Assessment Protocols for wadeable rivers and streams of New Zealand**. School of Biological Sciences, University of Canterbury, New Zealand. 136 p., 2009.

HARDY, T.; PALAVI, P.; DEAN, M. WinXSPRO, a channel cross section analyzer, user's manual. **General Technical Report RMRS-GTR-147**. Fort Collins, CO. U.S. Dep. of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 94 p. 2005.

JAMES, L.A. Channel incision on the lower American River, California, from streamflow gage records. **Water Resources Research**, V. 33, N. 3, P. 485–490. 1997.

LIMA, T.R.S. **Dinâmica geomorfológica dos sertões no Baixo Jaguaribe, Ceará**. 83f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2022.

LONG, J.W.; DAVIS, J. Erosion and restoration of two headwater wetlands following a severe wildfire. **Ecological Restoration**, V. 34, N. 4, P. 317-332, 2016.

MARÇAL, M. dos S. Análise das mudanças morfológicas em seções transversais ao rio Macaé/RJ. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, V. 13, N.1, P. 59-68, 2013.

MARZOLFF, I. Advances in image-based measuring and monitoring of gully erosion. **Proceedings of the 7th International Symposium on Gully Erosion**, West Lafayette, Indiana, USA, 23–27 May, 2016.

OLIVEIRA, F.L.; MELLO, E.F. A mineração de areia e os impactos ambientais na bacia do rio São João, RJ. **Revista Brasileira de Geociências**, V. 37, N. 2, P. 374-389, 2007.

OLSON-RUTZ, K.L.; MARLOW, C.B. Analysis and interpretation of stream channel cross-sectional data. **North American Journal of Fisheries Management**, V. 12, P. 55-61, 1992.

SILVA, R.M.; SILVA, L.P.; MONTENEGRO, S.M.G.; SANTOS, C.A.G. Análise da variabilidade espaço-temporal e identificação do padrão da precipitação na Bacia do Rio Tapacurá, Pernambuco. **Sociedade & Natureza**, V. 22, N. 2, P. 357-372, 2010.

SIMON, A.; HUPP, C.R. Geomorphic and vegetative recovery processes along modified stream channels of west Tennessee. **U.S. Geological Survey Open-File Report 91-502**, 142 p. 1992.

XAVIER, P.C.D.S. **Análise hidrossedimentológica da bacia do alto rio Paraíba: uma contribuição à morfodinâmica fluvial em ambientes semiáridos**. 160f. Tese. Doutorado em Geografia. Universidade Federal da Paraíba, 2021.

YAO, H.; QIN, R.; CHEN, X. Unmanned aerial vehicle for remote sensing applications - a review. **Remote Sens.**, V. 11, 1443, 2019.