

Modelagem computacional de ressalto hidráulico em canal urbano

Computer modeling of hydraulic jump in urban channel

• **Data de entrada:**
25/09/2017

• **Data de aprovação:**
26/02/2018

Francisco Guedes Cavalcante* / Paulo Roberto Lacerda Tavares / Renato de Oliveira Fernandes / Pétrus Eduardo Feliciano de Sá

DOI: <https://doi.org/10.4322/dae.2019.028>

Resumo

Com o objetivo de avaliar o processo de transição de regime, apresentam-se discussões sobre a geração de ressalto hidráulico em um canal urbano, avaliando os efeitos da variação de rugosidade das paredes e da declividade longitudinal do canal, por meio de modelagem computacional, utilizando o software HEC-RAS. De forma específica, analisam-se simulações na porção artificial de canal do rio Granjeiro, localizado no município do Crato, no Estado do Ceará, Brasil. Considerando que o canal se caracteriza, longitudinalmente, por dois trechos com declividades diferentes, foram avaliados cenários com diferentes rugosidades da parede do canal. A análise evidenciou que a modificação na rugosidade por meio de uma completa reforma nas paredes do canal desloca a formação do ressalto hidráulico para uma posição 340 m a jusante, mas ainda localizando-se na parte urbana do canal.

Palavras-chave: Ressalto Hidráulico. HEC-RAS. Rugosidade.

Abstract

In order to evaluate the regime transition process, we present discussions about the hydraulic jump generation in an urban canal, evaluating the effects of the wall roughness variation and the longitudinal slope of the canal, through computational modeling, using the software HEC-RAS. Specifically, simulations are analyzed in the artificial portion of the Granjeiro river channel, located in the city of Crato, State of Ceará, Brazil. Considering that the channel is characterized, longitudinally, by two stretches with different slopes, and scenarios with different roughness of the channel wall were evaluated. The analysis showed that the change in roughness through a complete remodeling of the canal walls displaces the formation of the hydraulic jump to a position 340 m downstream, but still located in the urban part of the canal.

Keywords: Hydraulic Jump. HEC-RAS. Roughness.

Francisco Guedes Cavalcante – Graduado em Engenharia Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - Campus Juazeiro do Norte. Mestre em Engenharia Civil (Recursos Hídricos) pela Universidade Federal do Ceará.

Paulo Roberto Lacerda Tavares – Doutor em Engenharia Civil (Recursos Hídricos) pela Universidade Federal do Ceará. Professor Adjunto IV da Universidade Federal do Cariri, no curso de graduação em Engenharia Civil. Professor do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará.

Renato de Oliveira Fernandes – Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Campina Grande. Doutor em Engenharia Civil (Recursos Hídricos) pela Universidade Federal do Ceará. Professor Adjunto da Universidade Regional do Cariri.

Pétrus Eduardo Feliciano de Sá – Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Cariri. Mestrando em Engenharia Civil (Recursos Hídricos) pela Universidade Federal do Ceará.

***Endereço para correspondência:** Rua Domingos Coelho Correia, Barbalha, CE. E-mail fguedes100@hotmail.com.

1 INTRODUÇÃO

Estudos de modelagem hidráulica em canais artificiais são essenciais para projetos de drenagem urbana. Os problemas associados a um sistema de drenagem urbana ineficiente são diversos, entre os quais inundações de áreas baixas e erosão das superfícies de canais e de solos, podendo causar prejuízos sociais, ambientais e econômicos.

Os modelos computacionais de modelagem hidrológica e hidráulica têm ganhado espaço devido à crescente evolução da capacidade de processamento dos hardwares, o que tem permitido a utilização mais frequente dessa ferramenta e vem se tornando uma alternativa cada vez mais interessante (ARAÚJO FILHO; OTA, 2016).

Existem várias ferramentas computacionais para modelagem hidráulica de canais, entre as quais pode ser destacado o modelo *Hydrologic Enginnering Center's River Analisis System* - HEC-RAS (USACE, 2010). O HEC-RAS consiste em um software que permite o cálculo hidráulico de escoamento unidimensional, em regime permanente e não permanente, para canais naturais e artificiais. Os cálculos podem ser realizados em regimes subcrítico, supercrítico e misto, em que poderão ocorrer mudanças do regime torrencial para fluvial ou de fluvial para torrencial.

As aplicações do HEC-RAS como ferramenta para estudos de escoamento em canais naturais ou artificiais são várias, entre as quais podemos citar Cabral, Campos e Silveira (2016), que utilizaram uma integração entre HEC-RAS e HEC-HMS com um SIG para obter informações acerca da área de inundação provocada pela cheia do Rio Granjeiro, Crato, Ceará. Fernandez, Mourato e Moreira (2013) utilizaram o HEC-RAS em comparação com LISFLOOD-FP, na delimitação de zonas inundáveis, no rio Lis, Portugal. Oliveira et al. (2016) utilizaram o HEC-RAS para determinar o limite da faixa de inundação para o parque linear do córrego macambira em Goiânia. Calçada et al.

(2004) recorreram ao HEC-RAS para proceder à delimitação de áreas inundáveis em Timor Leste. Rao e Hromadka II (2016) utilizaram o modelo HEC-RAS e o WSPG em modelagem numérica de escoamento rapidamente variado. Ead e Rajaratnam (2002) buscaram entender os efeitos da rugosidade da parede do canal na formação dos ressaltos hidráulicos e concluíram que o aumento da rugosidade favorece a ocorrência e reduz o comprimento do ressalto hidráulico em relação aos formados em canais de paredes lisas.

O ressalto hidráulico é um fenômeno que se caracteriza pela superfície da água que sobe abruptamente _formam-se rolos de superfície com grande quantidade de energia dissipada (CHAUDHRY, 2008). A variação da declividade longitudinal e a rugosidade do canal interferem na formação do ressalto hidráulico. Particularmente em canais íngremes, o ressalto hidráulico pode ser classificado em quatro tipos: *A-Jump*, quando tem formação no início do aclave; *B-Jump*, se ocorre sobre parte do aclave; *C-Jump*, se coincide com o início do aclave e *D-Jump*, se iniciar e terminar sobre a parte inclinada do canal (KATEB; DEBABECHE; RIGUET, 2015). Esses tipos de ressaltos têm sido objeto de muitas pesquisas. Carollo, Ferro e Pampalone (2012), por exemplo, propuseram uma nova equação para o cálculo do comprimento de ressalto produzido em canais rugoso e do tipo *B-Jump*. Bejestan e Shokrian (2014), seguindo a mesma tendência, desenvolveram uma expressão matemática para a relação de profundidade alternada de *B-Jump* em leito inclinado.

O ressalto hidráulico é uma das formas mais comuns de dissipação de energia nos escoamentos em canais (TRIERWEILER NETO, MARQUES, 2008). As flutuações de pressões, de velocidades e do nível da água geram turbulências no escoamento que são características do processo de dissipação de energia (DAI et al. 2016). Nes-

se sentido, graves problemas podem ocorrer em canais urbanos devido à dissipação localizada de energia. Tais problemas estão associados à destruição do canal e a alagamentos das áreas marginais à jusante, com elevado risco de produzir danos físicos e materiais à população.

Este estudo apresenta discussões sobre a geração de ressalto hidráulico em um canal urbano, avaliando a variação de rugosidade das paredes e da declividade longitudinal do canal, por meio de modelagem computacional, utilizando o software HEC-RAS. De forma específica, analisam-se simulações na porção artificial de canal do rio Granjeiro, localizado no município do Crato, Estado do Ceará, Brasil. O canal caracteriza-se, longitudinalmente, por dois trechos com declivi-

dades diferentes, e foram avaliados cenários com diferentes rugosidades da parede do canal.

2 MATERIAS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A área de estudo corresponde a todo o trecho do canal do Rio Granjeiro que teve parte da calha de solo natural substituída por concreto (Figura 1) em decorrência dos danos causados pela cheia do ano de 2011. O canal atravessa o centro urbano do município de Crato-CE, abrangendo parte do bairro Pimenta, o bairro do Centro e pequena parte do bairro Palmeiral, com extensão de aproximadamente 2.240 metros.

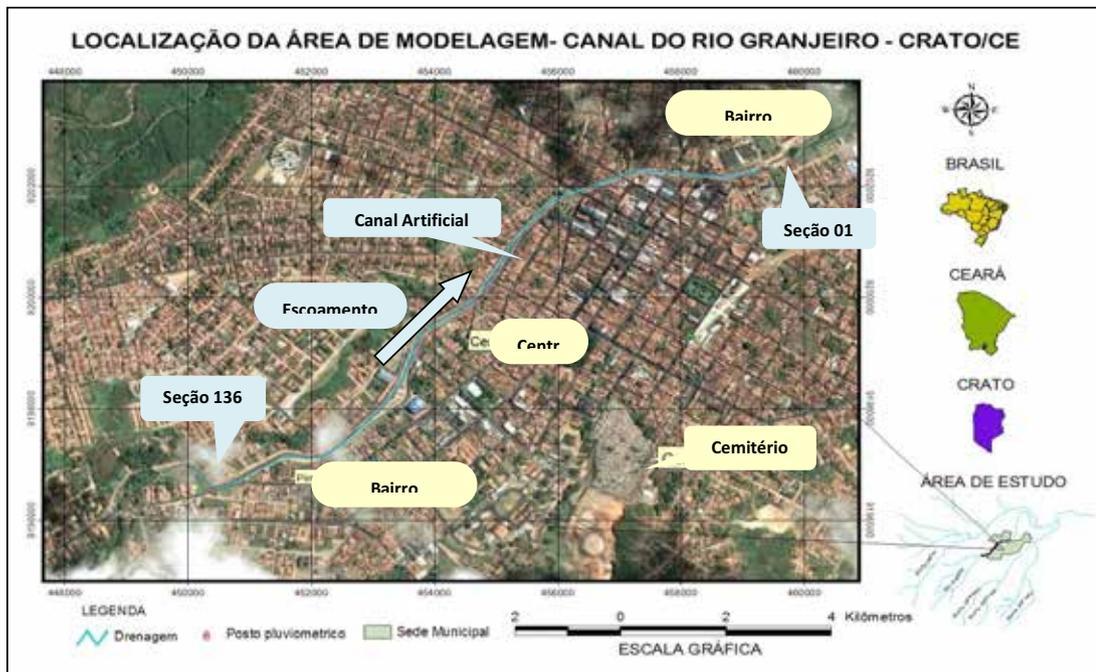


Figura 1: Localização da área de modelagem (Silva, 2013).

O canal do Rio Granjeiro está localizado entre as coordenadas UTM's E-453378 N-9199841, DATUM SIRGAS 2000, com altitude ortométrica de 459,43 metros em formato trapezoidal. No primeiro quilômetro se concentraram os maiores danos da cheia de 2011, e no trecho erodido o

solo natural teve que ser estabilizado e recomposto (Figura 2). Após a reconstrução do canal, além da seção padrão trapezoidal (Figura 2A), outra seção foi construída (Figura 2B). Dessa forma, a seção transversal do canal não é uniforme e apresenta trechos com estreitamento do leito.

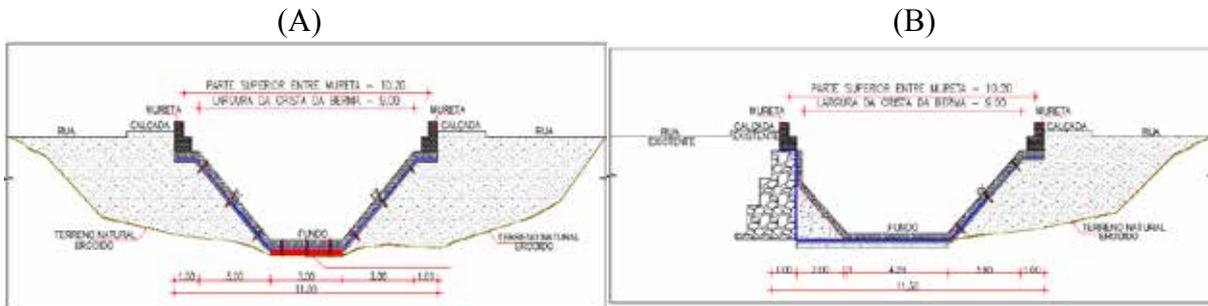


Figura 2: Representação da seção padrão do canal com indicação do solo que foi necessário recompor (A) e seção transversal do trecho do reformado (B).

2.2 Dados observados e simulação da vazão afluente ao canal.

Para modelagem do comportamento hidrológico e hidráulico da bacia hidrográfica, foram necessários dados hidrológicos observados e morfométricos. Assim, para suprir parte desses dados, que estão ausentes na maioria das bacias urbanas, é comum utilizar técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento com auxílio dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) (ex. RIBEIRO; LIMA, 2011, AMARAL; RIOS, 2012).

Os dados morfométricos da bacia hidrográfica e do canal em estudo foram obtidos por meio do ArcGIS 9.3 integrado com a extensão HEC-GeoRAS e o apoio do *software* GPS TrackMaker Pro (SILVA, 2013). Além disso, foram lançadas sobre o traçado discretizado pelo HEC-RAS 136 seções transversais, com dados de campo, obtidas de levantamento geodésico concedido pelo Departamento de Arquitetura e Engenharia do Ceará (DAE-CE). As 136 seções foram enumeradas em ordem decrescente, de montante para jusante. Considerando as declividades longitudinais, o canal foi dividido em dois trechos. O trecho 1 compreende a parte reformada e corresponde ao comprimento da seção 41 até a seção 136 (mais a montante), totalizando 935m, com declividade de 0,0268 m/m. O trecho 2 possui comprimento de 1.305m, declividade de 0,0061 m/m, estando entre a seção 1 (ponto mais a jusante) e a seção 41.

A vazão afluente ao canal foi obtida pelo *software* HEC-HMS por meio do método do SCS (USDA, 1986). No método SCS, a geração do escoamento superficial direto é determinada a partir da precipitação acumulada em um evento específico e da retenção potencial do solo (equações I e II).

$$Pe = \frac{(P - 0,2 \cdot S)^2}{P + 0,8 \cdot S}, \text{ se } P > 0,2 \cdot S \quad (I)$$

$$S = \frac{25.400}{CN} - 254 \quad (II)$$

Em que: P_e é a precipitação efetiva, ou escoamento superficial (mm); P é a precipitação acumulada de um evento (mm); S é a retenção potencial do solo (mm) e CN é chamado de “número da curva” (adimensional).

O valor do Número da Curva (CN) médio foi obtido pela caracterização do uso e ocupação da bacia hidrográfica. Para a modelagem da vazão, adotaram-se as seguintes considerações: (i) evento de chuva com período de retorno de 50 anos; (ii) distribuição espacial uniforme da precipitação por toda a bacia; (iii) distribuição temporal da precipitação pelo o método do hietograma dos blocos alternados; (iv) chuva máxima estimada pela equação de chuvas intensas do município do Crato e (v) duração do evento igual ao tempo de concentração da BHG, que contempla a vazão máxima no seu exutório, calculado pelo método do SCS. O tempo de simulação foi de 4 horas e houve verificação dos dados a cada dois minutos, sem considerar armazenamento no rio. A caracterização e o estudo hidrológico da bacia do Rio Granjeiro foram realizados por Moreira (2013).

A vazão afluyente ao canal nos trechos selecionados (trecho 1 e 2) para o período de retorno de 50 anos foi de 256,3 m³/s. O valor do período de retorno adotado é muito usado para projeto de

drenagem em áreas urbanas residenciais e comerciais, como é o caso da área de estudo.

2.3 Modelagem hidráulica

A fim de avaliar o comportamento do ressalto hidráulico sob condições de mudanças de rugosidade e declividade longitudinal do canal, foram realizadas duas simulações no HEC-RAS. Uma simulação foi feita com o canal na condição atual (simulação 1), considerando o valor de 0,013 para o coeficiente de Manning nos taludes laterais e fundo do canal no trecho reformado (trecho 1) e que corresponde cerca de 40% da extensão do canal. A declividade longitudinal média desse trecho é de 0,0268 m/m. Nos 60% restantes (trecho 2), com 0,0061 m/m de declividade e que não recebera reforma, adotou-se um coeficiente de rugosidade de 0,013 apenas para os taludes laterais e 0,023 para o fundo do canal (Tabela 1).

A simulação 2 avaliou a possibilidade de reconstrução total do canal em concreto pré-moldado, mantendo as declividades de cada trecho, leito limpo e coeficiente de rugosidade de 0,013 para toda a extensão e superfície. Os valores de rugosidades adotados nas duas simulações são os valores recomendados na literatura técnica (BAPTISTA; LARA, 2003).

Tabela 01: Descrição dos parâmetros usados nas simulações.

Simulação	Trecho 1 (L=935m)			Trecho 2 (L=1.305m)		
	Rugosidade do fundo	Rugosidade dos taludes	Declividade (m/m)	Rugosidade do fundo	Rugosidade dos taludes	Declividade (m/m)
1	0,013	0,013	0,0268	0,023	0,013	0,0061
2	0,013	0,013		0,013	0,013	

Para simular o escoamento permanente e gradualmente variado, o HEC-RAS usa as equações da energia e da continuidade em um processo iterativo para o cálculo do perfil da linha da água. A equação (III) mostra a expressão base para o cálculo da linha de energia entre duas seções transversais consecutivas (USACE-a, 2010).

$$WS_2 + \frac{\alpha_2 \cdot v_2^2}{2 \cdot g} = WS_1 + \frac{\alpha_1 \cdot v_1^2}{2 \cdot g} + h_{L(1,2)} \quad (III)$$

Em que:

WS_1, WS_2 (m): elevações da superfície da água;

α_1, α_2 : coeficiente de ponderação das velocidades;

v_1, v_2 (m/s): velocidades médias;

g (m/s²): aceleração da gravidade;

$h_{L(1,2)}$ (m): perda de carga hidráulica entre as seções.

A equação da força específica (Equação IV), derivada da equação do momento, é utilizada, no HEC-RAS, para determinar o tipo de regime do escoamento e para descrever a ocorrência dos ressaltos hidráulicos (USACE-b, 2010).

$$F_E = \frac{Q^2 \beta}{gA} + Ay \quad (IV)$$

Em que:

F_E (m): força específica;

A (m²): área de fluxo na qual há movimento;

β coeficiente de momento;

Q (m³/s): vazão;

y (m): profundidade da superfície da água para o centróide da área.

A avaliação da energia nas diferentes seções do canal foi realizada a partir do número de Froude (Equação V). O número de Froude igual à unidade indica que o fluxo está em estado crítico, quando é menor que a unidade o escoamento é classificado como subcrítico e quando é superior à unidade o escoamento é considerado supercrítico.

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gy_h}} \quad (V)$$

Em que:

Fr (adimensional): número de Froude;

v (m/s): velocidade média do escoamento;

g (m/s²): aceleração da gravidade;

y_h (m): altura hidráulica do escoamento.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise da energia foi feita tomando como base o número de Froude, o qual propicia a observação da mudança de regime de escoamento torrencial para fluvial ou vice e versa. De acordo com o número de Froude, para a Simulação 1 (que apresenta maior rugosidade no trecho 2), com coeficiente de Manning variando entre as laterais e o fundo do canal e período de retorno de 50 anos, a mudança de regime de torrencial para fluvial ocorre na seção 32, que se encontra a 1.220m do início do canal (Figura 3A).

Na Simulação 2, que considera o canal completamente reformado com concreto pré-moldado, a alteração de regime foi deslocada para a seção 24, que está a 1.560 m do início do canal (Figura 3B). Observa-se que nas duas situações o escoamento retorna ao regime supercrítico, mas na Simulação 1 o escoamento fluvial se processa em uma maior

extensão do canal em comparação com o escoamento fluvial na Simulação 2. Esse resultado indica, como consequência real para a Simulação 1, que a onda de inundação se inicia numa seção

mais a montante, determinando uma maior área de inundação que a obtida na Simulação 2 e, portanto, representando potencial de prejuízos mais abrangente à população ocupante da região.

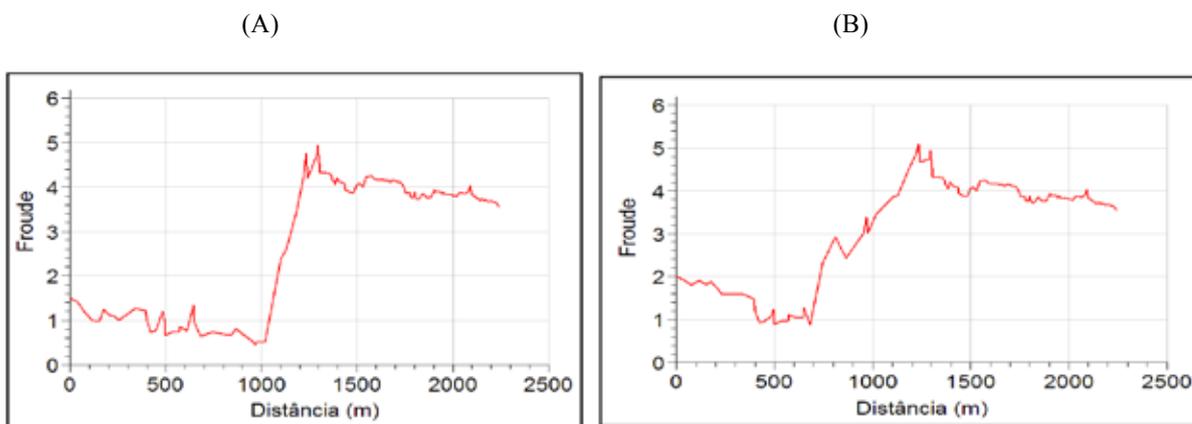


Figura 3: Distribuição longitudinal de energia no escoamento do canal rio Granjeiro, Crato, CE, representada pelo nº de Froude, associadas ao período de retorno de 50 anos na simulação 1 (A) e simulação 2 (B).

Os perfis de velocidade no escoamento mostraram que, para a Simulação 1, o valor é em média de 17,44 m/s, enquanto na simulação 2 ele aumentou para 18,69 m/s. Foi verificado, na Simulação 1, que em 42,41% das seções do canal o escoamento apresenta valores de velocidades acima de 20 m/s (Figura 4A) e 44,64% para a Simulação 2 (Figura 4B). Na figura 4 observa-se que a velocidade permanece alta até a seção de mudança do

regime do fluido em ambas as simulações. Essas verificações corroboram os dados anteriores referentes à alta energia envolvida no escoamento do canal. O fato de o fluxo possuir altas velocidades, o que geralmente implica elevadas energias, favorece a desestabilização dos taludes e o consequente desmoronamento das margens. Dessa forma, qualquer obstrução ao longo do canal oferece grande risco para a integridade do leito.

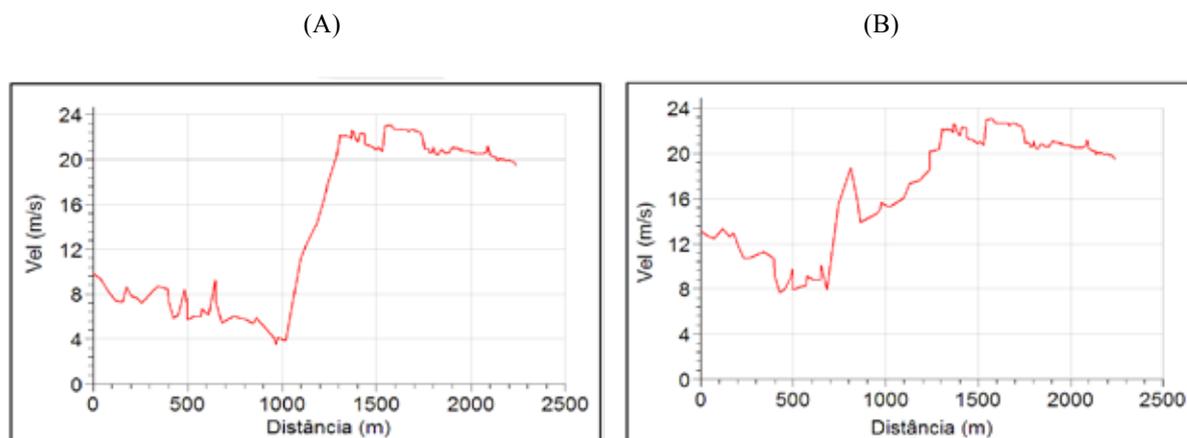


Figura 4: Distribuição longitudinal de velocidades médias no escoamento do canal rio Granjeiro, Crato, CE, associadas ao período de retorno de 50 anos na simulação 1 (A) e simulação 2 (B).

Para a classificação do tipo de ressalto hidráulico formado, avaliou-se a localização da ocorrência em relação aos trechos em declive. Ficou constatada, para ambas as simulações, que o ressalto hidráulico ocorre apenas no trecho 02, em declive, sendo, portanto, classificado como ressalto do tipo D-Jump (Figura 5A, 5B). Essa ocorrência caracteriza a concentração do fenômeno em um comprimento relativamente pequeno do canal, favorecendo um processo destrutivo bem localizado. Outro resultado que corrobora a caracte-

rística estacionária do ressalto hidráulico são os valores do número de Froude superiores a 4,5 nas seções a montante da elevação da linha d'água, onde o escoamento é supercrítico. Essa situação representa, na prática, um elevado potencial de dissipação de energia numa extensão pequena de canal e que provoca danos consideráveis à estrutura dessa parte artificial e urbana do rio Granjeiro, como pode ser observado na Figura 6, que mostra um trecho destruído do canal após o evento de chuva intenso ocorrido em janeiro de 2011.

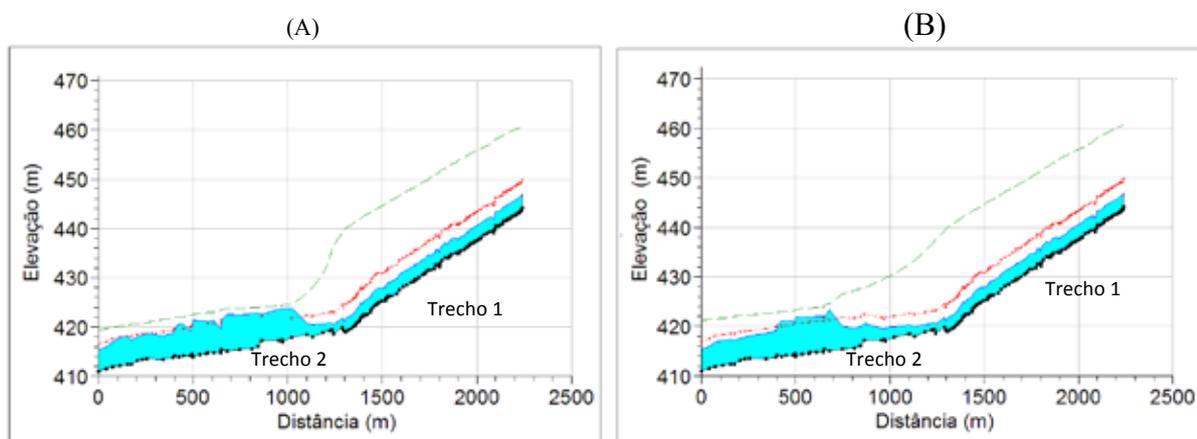


Figura 5: Representação longitudinal da elevação do escoamento no canal do rio Granjeiro, Crato, CE, associado ao período de retorno de 50 anos para a simulação 1 (A) e simulação 2 (B).



Figura 6: Canal do rio Granjeiro destruído após evento de chuva ocorrido no ano de 2011

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A modelagem computacional realizada representou a ocorrência do ressalto hidráulico no canal do rio Granjeiro, Crato, CE, e mostrou os altos valores de energia e de velocidade no escoamento superficial, que constantemente causam prejuízos na área urbana desse município.

As simulações mostraram que a elevada energia no escoamento do canal estudado é dissipada numa faixa localizada e explica, parcialmente, o processo destrutivo e de inundação provocado por eventos extremos de chuvas, como a ocorrida no ano de 2011, quando se registrou a desestabilização dos taludes, o desmoronamento das margens e o transbordamento do canal, causando prejuízos à cidade do Crato, CE, Brasil.

O estudo evidenciou que o trecho com maior declividade (trecho 1) não apresenta tendência de formação do ressalto hidráulico, e que a ocorrência desse fenômeno é totalmente no trecho de menor declividade (trecho 2). A análise também mostrou que a redução da rugosidade do fundo do canal no trecho de menor declividade com o uso do concreto como revestimento deslocaria o ressalto para uma posição 340 m a jusante do local que ocorre nas condições atuais. Apesar de a intervenção construtiva citada a dissipação da energia ocorreria na parte urbana do canal e ainda apresentaria potenciais prejuízos a população.

A análise dos resultados mostrou que a utilização de sistemas de macrodrenagem tradicionais, que se baseia apenas na condução da água, é insuficiente para a solução dos problemas de erosão e de inundação causados pela dissipação de energia associada ao ressalto hidráulico na área estudada. Para minimizar tais problemas recomenda-se combinar intervenções estruturais, que historicamente são usadas, com intervenções não estruturais, como, por exemplo, o planejamento do uso e da ocupação do solo para favorecer a infiltração de água e reduzir as vazões afluentes ao canal.

5 AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Hidroinformática da Universidade Federal do Cariri (UFCA) pelo suporte técnico, e ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Científico (CNPq) pelo aporte financeiro por meio do processo 134028/2015-5.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, A. B.; RIOS, A. S. Geoprocessamento: Mapeamento do uso e ocupação do solo no alto curso do rio piedade. **Revista de Geografia**, p. 1-8, 2012.
- ARAÚJO FILHO, M, F; OTA, J, J. Modelagem computacional tridimensional de um vertedouro de baixa queda. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v.21, n 2. porto Alegre. 2016. <https://dx.doi.org/10.21168/rbrh>.
- BAPTISTA, M. B.; COELHO, M. M. L. P. **Fundamentos de Engenharia Hidráulica**. Belo Horizonte: Editora UFMG/Escola de Engenharia da UFMG, 2003. 2. ed. rev.
- BEJESTAN, M,S; SHOKRIAN, M. Mathematical Expression for the B-Jump Sequent Depth Ratio on Sloping Bed. **Journal of Civil Engineering**. 19(3):790-795, 2015. <https://doi.org/10.1007/s12205-013-0434-6>.
- CABRAL, S, L; CAMPOS, J, N, B; SILVEIRA, C, S. Integração do sig, hec/hms e hec/ras no mapeamento de área de inundação urbana: aplicação à bacia do rio granjeiro-CE. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 35, n. 1, p.90-101, 2016.
- CALÇADA, M.; PORTELA, M. M.; MATOS, J. **Análise de Cheias e Delimitação de Zonas Inundáveis em Timor Leste - Abordagem por Modelação Geográfica**. Instituto Superior Técnico, 16 p. 2004.
- CAROLLO, F, G, G; FERRO, V; PAMPALONE, V. New expression of the hydraulic jump roller length. **Journal of hydraulic engineering**, November.2012. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0000634](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000634).
- CHAUDHRY, M, H. **Open Channel Flow**. Springer. 2 Edition. New York, 2008. ISSN 0733-9429/91/0009-1195.
- EAD, S, A; RAJARATNAM, N. Hydraulic Jumps on Corrugated Beds. **Journal of hydraulic engineering**. July, 2002. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2002\)128:7\(656\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2002)128:7(656)).
- FERNADEZ, P; MOURATO, S; MORREIRA, M. Comparação dos modelos hec-ras e lsflood-fp na delimitação de zonas inundáveis. **Revista Recursos Hídricos**, Vol. 34, Nº 1, 63-73, 2013.
- GHARANGIK, M; CHAUDHRY, M, H. Numerical simulation of hydraulic jump. **Journal of Hydraulic Engineering**. 117(9), 1991.

HOUGHTALEN, R. J.; HWANG, N. H. C.; AKAN, A. O. **Engenharia hidráulica**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2012.

KATEB, S; DEBABECHE, M; RIGUET, F. Hydraulic jump in a sloped trapezoidal channel. **Energy Procedia**, 74, 251 – 257, 2015. [https:// doi: 10.1016/j.egypro.2015.07.591](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.591).

MOREIRA, A. A. C. **Modelagem Hidrológica da Bacia do Rio Granjeiro – Crato –CE Composição do Cenário Atual e Simulações de Uso e Ocupação do Solo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). 2013. Universidade Federal do Cariri.

OLIVEIRA, F, A; et al. Determinação do limite da faixa de inundação com uso do hec-ras para o parque linear do córrego macambira em Goiânia. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**. Vol 11 - nº 1, 57-66. 2016.

PORTO, R, M. **Hidráulica básica**. 4 ed. São Carlos, EESC-USP, 2006.

PRA, M. DAI; PRIEBE, P. DOS S.; TEIXEIRA, E. D.; MARQUES, M. G. Avaliação das Flutuações de Pressão em Ressalto Hidráulico pela Dissociação de Esforços. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** [online]. 2016, vol.21, n.1, pp.222-231. ISSN 2318-0331. [https:// dx.doi.org/10.21168/rbrh.v21n1.p222-231](https://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v21n1.p222-231).

RAO, P; HROMADKA II, T, V. Numerical modeling of rapidly varying flows using HEC RAS and WSPG models. **SpringerPlus**, 2016. [https:// doi 10.1186/s40064-016-2199-0](https://doi.org/10.1186/s40064-016-2199-0).

RIBEIRO MELO, C. B.; LIMA SOUZA, R. N. Simulação de Inundações Urbanas a partir da Integração de Técnicas de Geoprocessamento à Modelagem Hidráulica e Hidrológica. **Revista de Geografia**. p. 1-9, 2011.

SILVA, T A. **Modelagem Hidráulica Do Canal Do Rio Granjeiro, Crato/CE, Utilizando O Programa Computacional HEC-RAS**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). 2013. Universidade Federal do Cariri.

TRIERWEILER NETO, E, F; MARQUES, M, G. Análise do Campo de Pressões em Ressalto Hidráulico Submerso a Jusante de uma comporta. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Volume 13 n.4, 55-68, 2008. [https:// doi:10.21168/rbrh.v13n4.p55-68](https://doi.org/10.21168/rbrh.v13n4.p55-68).

U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. **HEC-RAS River Analysis System: User's Manual, version 4.1**. Hydrologic Engineering Center, 790 p. 2010a.

U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. **HEC-RAS River Analysis System: Hydraulic Reference Manual, version 4.1**. Hydrologic Engineering Center, 411 p. 2010b.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Urban Hydrology for Small Watersheds**. EUA: USDA, 1986.