

ANÁLISE DO ESCOAMENTO GRADUALMENTE VARIADO EM CANAL: COMPARATIVO ENTRE EXPERIMENTO, HEC-RAS E STEP METHOD

JARDSON MACEDO DA SILVA^{1*}, WANDSON DE FREITAS PEREIRA²

¹ Engenheiro Civil, Juazeiro do Norte-CE, jardsonmacedo94@gmail.com;

² Engenheiro Civil, Juazeiro do Norte-CE, wandsonf@gmail.com

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2017
8 a 11 de agosto de 2017 – Belém-PA, Brasil

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo analisar o comportamento de um escoamento gradualmente variado através de um experimento em um canal artificial e comparar com os resultados obtidos através de uma modelagem computacional e do Step Method. No experimento, foi utilizado um canal de largura de 0,06394m, altura máxima para a lâmina d'água de 0,25m, comprimento aproximado de 6m com seção monitorada de 4,59m, e vertedouro de soleira espessa com altura (Δh) de 0,09194m; na modelagem computacional foi utilizado o software HEC-RAS 4.1.0 e para implementar o cálculo do Step Method foi utilizada uma planilha eletrônica no software Excel 2007. Os resultados obtidos mostraram que o HEC-RAS apresenta um comportamento mais próximo do que foi observado no experimento do que a resolução através da planilha com o Step Method. O Step Method superestimou os resultados, não permitindo o cálculo dentro da zona de transição do escoamento, imediatamente após a queda. A modelagem no HEC-RAS também superestimou os cálculos, porém, de forma geral, acompanhou todo comportamento da linha d'água do experimento.

PALAVRAS-CHAVE: Hidráulica de canais, linha d'água, condutos livres

ABSTRACT: This work aimed to analyze the behavior of a gradually varying flow through an experiment in an artificial channel and compare with the results obtained through a computational modeling and the Step Method. In the experiment, a channel width of 0.06394m was used, maximum height for the 0.25m water depth, approximate length of 6m with a monitored section of 4.59m, and a thick sill with a height (Δh) of 0.09194m; The HEC-RAS 4.1.0 software was used in the computational modeling. In order to implement the Step Method calculation, a spreadsheet was used in the Excel 2007 software. The results showed that the HEC-RAS presents a behavior closer to what was observed in the experiment than the resolution through the worksheet with the Step Method. The Step Method overestimated the results, not allowing the calculation inside the transition zone of the flow immediately after the fall. The HEC-RAS modeling also overestimated the calculations, but generally followed all behavior of the water line in the experiment.

KEYWORDS: Channel hydraulics, water line, free conduits

INTRODUÇÃO

A água potável é um recurso natural finito e sua quantidade usável, per capita, diminui a cada dia com o crescimento da população mundial e com a degradação dos mananciais. (Barbosa, 2008). A disponibilidade de água potável é um fator essencial para o desenvolvimento socioeconômico de uma região. O aumento da densidade demográfica dos grandes centros urbanos, o uso irrestrito, a escassez de chuvas e a poluição, são fatores que contribuem diretamente para a redução da disponibilidade de água potável. Uma das alternativas mais frequentes para sanar o problema da escassez de água potável é transpor a água de áreas onde este recurso é abundante, para áreas onde é escasso. Dentre as técnicas utilizadas de transposição destaca-se o uso dos condutos livres.

Tanto nas transposições de água a grandes distâncias, quanto em outros problemas relacionados à gestão de recursos hídricos, está presente a utilização de condutos livres. O estudo de condutos livres é de extrema importância na concepção de canais para o transporte de água, identificando o comportamento da linha d'água e garantindo que o escoamento se mantenha dentro dos limites do canal, de forma a prevenir inundações, evitando prejuízos.

Nesse aspecto, é fundamental reconhecer o tipo de escoamento que deverá ocorrer no canal. A variabilidade das características hidráulicas do fluxo d'água em canais entre seções distinguem os escoamentos em permanentes ou transientes e em uniformes ou variados, com relação ao tempo e ao espaço, respectivamente. (Lima Neto, 2012).

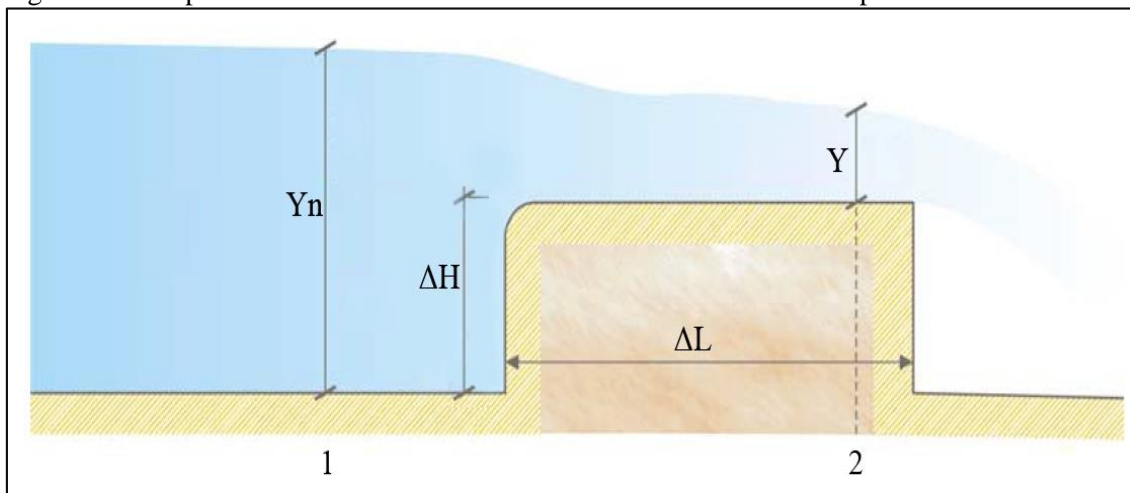
O escoamento gradualmente variado é observado por uma mudança progressiva ao longo da linha d'água, percebida a grandes distâncias da singularidade que deu origem ao mesmo. O surgimento dessas curvas pode se dar pela construção de uma barragem, comporta ou vertedor em um canal que cause interferências no fluxo d'água. A sobrelevação da linha d'água que ocorre a montante das estruturas é denominada remanso (Porto, 2006).

A análise da linha d'água desse tipo de escoamento pode ser feita através de métodos teóricos, computacionais ou experimentais. Este artigo tem como objetivo estudar o comportamento da linha d'água de um escoamento gradualmente variável utilizando três métodos de análise, um experimento realizado em um canal de laboratório, uma modelagem computacional utilizando o software HEC-RAS e uma planilha de cálculo implementada com o Step Method.

MATERIAIS E MÉTODOS

A primeira fase deste estudo constituiu-se da realização de um experimento no canal instalado no Laboratório de Recursos Hídricos da Universidade Federal do Cariri (UFCA). O canal possui largura (B) de 0,06394m, altura máxima para a lâmina d'água de 0,25m, e comprimento aproximado de 6m, onde foi inserido um componente que simula um vertedouro de soleira espessa com altura (Δh) de 0,09194m, elevando o fundo do canal a jusante e gerando um escoamento gradualmente variado. Os demais parâmetros adotados no experimento foram uma inclinação do canal (I_0) de 0,0067m/m, coeficiente de Manning (n) de 0,001 e vazão (Q_0) de 3,400 L/h, que foi corrigida e convertida para m^3/s , totalizando uma vazão (Q_0) corrigida de 0,00098 m^3/s . Os resultados foram lidos em seções pré-definidas do canal, através de um Vernier acoplado a uma régua milimétrica. O trecho monitorado do canal utilizado no experimento foi de 4,59m, sendo o ponto 0,00m o exutório do canal. A Figura 1 apresenta um exemplo de escoamento com vertedouro de soleira espessa.

Figura 1. Exemplo de escoamento em canal com vertedouro de soleira espessa



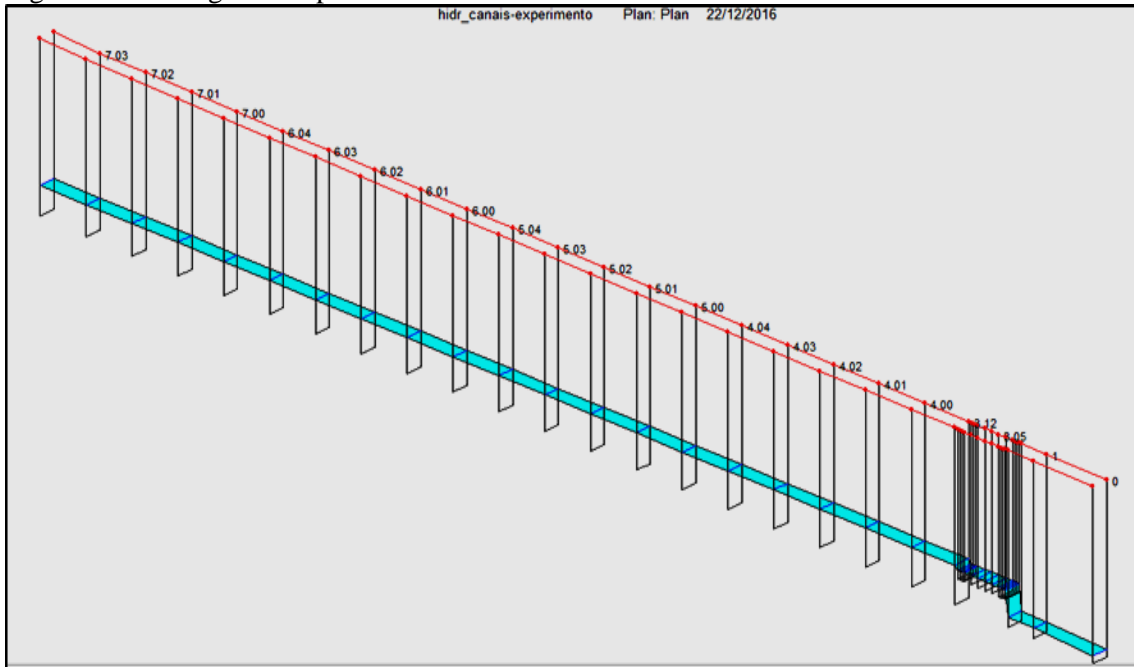
Fonte: Adaptado de Raimundo (2007, p. 39)

A modelagem computacional foi realizada através do software HEC-RAS 4.1.0, onde foi criado um trecho de rio e inseridas as seções de monitoramento do canal utilizando como

parâmetros de entrada todos os parâmetros do experimento. A condição de contorno escolhida foi a de *Normal Depth*, onde foram inseridos os valores da declividade do canal tanto para o *Upstream* quanto para o *Downstream*.

No software HEC-RAS a contagem das seções de monitoramento do rio é realizada na ordem inversa, tendo como início do trecho monitorado a estação 0-00, seção de jusante do escoamento, situada a 0,00m, correspondente ao exutório do escoamento, e como última seção de monitoramento a estação 7-04 situada 4,59m à montante do exutório do escoamento. A Figura 2 ilustra as seções de monitoramento e mostra o resultado gráfico obtido para a linha d'água.

Figura 2. Modelagem computacional através do software HEC-RAS



A planilha foi elaborada no software Excel 2007, para facilitar a análise das curvas do escoamento considerou-se três trechos distintos, o trecho 01 do início do escoamento até o início da soleira do vertedouro, abrangendo as seções de número 7-04 a 4-00; o trecho 02 que corresponde à soleira do vertedouro e abrange as seções de 3-11 a 3-01; e o trecho 03 correspondente ao pós-queda e abrange as seções 2-00, 1-00 e 0-00.

A eficiência do resultado foi obtida pela observação do coeficiente de Nash-Sutcliffe (1970) (NSE) dado pela Equação 1 (Eq. 1), onde o valor pode variar de infinito negativo a 1,00, sendo 1,00 o valor ótimo. Simulações com valores entre 0,50 e 1,00 são consideradas satisfatórias, valores entre 0,00 e 0,50 podem ser aceitos, dependendo da necessidade de precisão da análise. Simulações com valores inferiores a 0,00 são rejeitados.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_i^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{\sum_i^n (Y_i^{obs} - Y_i^{obs,méd})^2} \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que: NSE: Coeficiente de Nash-Sutcliffe; Y_i^{obs} : valores observados para a variável; Y_i^{sim} : valores simulados para a variável; $Y_i^{obs,méd}$: média dos valores observados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

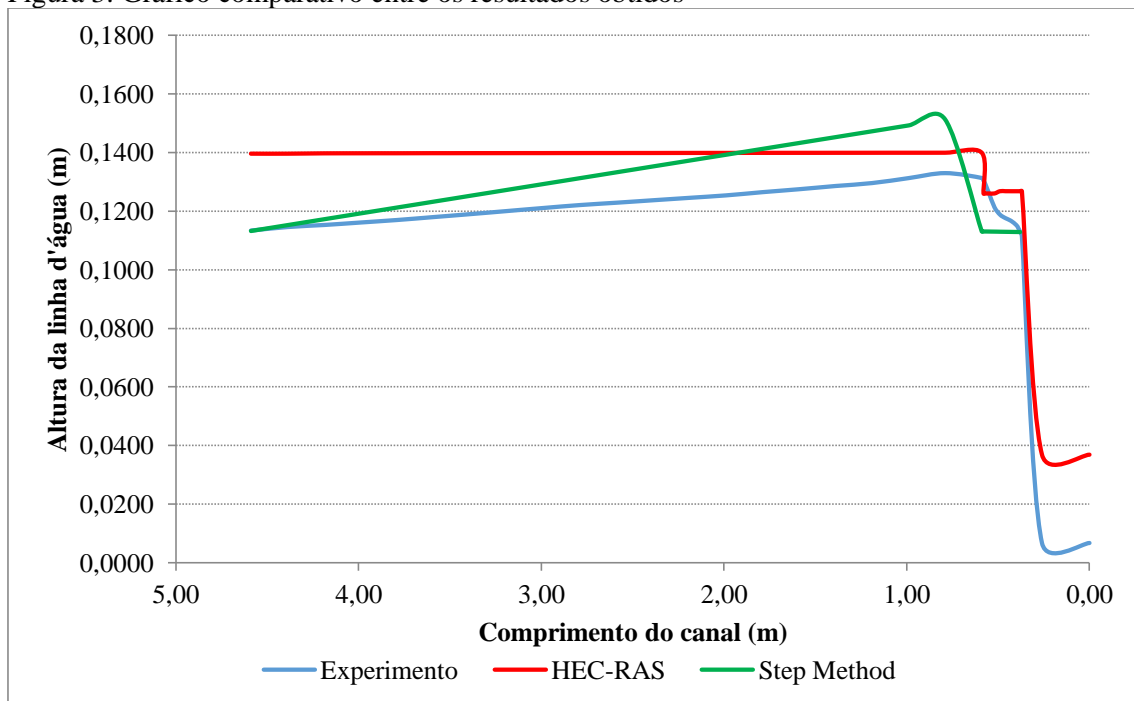
Os parâmetros que descrevem as características do canal são apresentados na Tabela 1, onde: Q_0 representa a vazão do canal; n é coeficiente de Manning; B é largura do canal; I_0 representa a declividade de fundo do canal; Y_n é a altura normal; PH o perímetro molhado; AH a área molhada; RH é o Raio Hidráulico.

Tabela 1. Parâmetros utilizados

Parâmetro	Valor
Qo	0,00098 m ³ /s
n	0,001
B	0,06394 m
Io	0,00674
Yn	0,006218 m
Ph	0,076376 m
Ah	0,000398 m ²
Rh	0,005206 m

O gráfico da Figura 3 mostra os resultados das modelagens dos escoamentos pelos três métodos. Os resultados obtidos para os NSEs, adotando como valor observado o resultado do experimento no canal, foram 0,636 para o HEC-RAS e 0,370 para a planilha com o Step Method, podendo considerar como um resultado satisfatório, visto que não houve nenhum NSE negativo. Ambos os resultados superestimaram o resultado real observado no experimento, e também ambos obtiveram divergências nas transições e na superfície da soleira do vertedouro, o que pode ser explicado pela variação entre os coeficientes de Manning do canal e da soleira, que para efeito de simplificação foi considerado constante.

Figura 3. Gráfico comparativo entre os resultados obtidos



Baseando-se nos resultados obtidos, pode-se observar que, a modelagem através do software HEC-RAS apresentou um comportamento mais próximo do que foi observado no experimento do que a resolução através da planilha com o Step Method, ao contrário do estudo de Lima Neto (2012) que havia indicado que os resultados do método teórico estariam mais próximos do experimental.

Os NSEs obtidos, 0,636 para o HEC-RAS e 0,370 para a planilha, refletem a proximidade da modelagem do software com os dados lidos no experimento.

CONCLUSÕES

O Step Method superestimou os resultados e não permitiu o cálculo dentro da zona de transição do escoamento, imediatamente após a queda. A modelagem no HEC-RAS também

superestimou os cálculos, porém acompanhou todo comportamento da curva do experimento, obtendo um NSE de 0,636, considerado satisfatório. Na região sobre a soleira do vertedouro houve certa discrepância entre os resultados, o que pode ter ocorrido em função da diferença entre o coeficiente de Manning do canal e o coeficiente de Manning da soleira, visto que para os cálculos o coeficiente de Manning foi considerado constante para todo o canal.

Como prosseguimento a este estudo sugere-se a aplicação deste trabalho com a substituição do canal experimental por um canal real monitorado em campo, o que complementa este estudo, contribuindo para a identificação do método de cálculo mais eficaz para esse tipo de análise.

REFERÊNCIAS

- BARBOSA, D. L. A exploração de um sistema de Reservatórios: uma análise otimizada Dos usos e objetivos múltiplos na Bacia do rio Capibaribe-PE. 2008. 281p. 440 p. Dissertação. UFCG.
- LIMA NETO, O. C.; MENEZES, O. L. M. P. F.; TAVARES, P. R. L. Modelagens experimental, teórica e computacional de escoamento gradualmente variado em canal retangular. In: IV Encontro Universitário da UFC no Cariri, 2012, Juazeiro do Norte. IV Encontro Universitário da UFC no Cariri. Juazeiro do Norte: UFC, 2012. p. 1-5.
- NASH, J. SUTCLIFFE, I. V.; River Flow Forecasting Through Conceptual Models Part I – A Discussion of Principles. Journal of Hydrology. v. 10, p. 282-290, 1970.
- PORTO, Rodrigo de Melo. Hidráulica Básica. 4ª ed. EDUSP. São Paulo – SP. 519p, 529p. 2006
- RAIMUNDO, A. P.; Estruturas hidráulicas utilizadas em reservatórios de controle de cheias. 179f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Hidráulica). Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP. 2007.
- USACE. (2010). HEC-RAS: River Analysis System User's Manual. Version 4.1. Davis, Calif.: U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.