

AVALIAÇÃO DO MODELO HEC-RAS 1D EM UM TRECHO DE RIO DECLIVOSO, VARIANDO OS PARÂMETROS DO MÉTODO LOCAL PARTIAL INERTIA

Erik Schmitt Quedi, Juliana Andrade Campos y Fernando Mainardi Fan

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Instituto de Pesquisas Hidráulicas (UFRGS-IPH), Brasil.
E-mail. erik.quedi@gmail.com, juliana_esa@outlook.com, fernando.fan@ufrgs.br

Introdução

A modelagem de escoamento em rios uma importante ferramenta para o entendimento de sistemas hidrológicos e hidráulicos, permitindo a análise de níveis d'água, perfis de velocidade e outras variáveis do escoamento simulado.

O modelo HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center-Analysis System) é capaz de simular escoamentos variados e não variados, em 1D e 2D, em que a cada iteração são resolvidas as equações da continuidade e dinâmica, comumente denotadas de equações de Saint-Venant.

O modelo HEC-RAS 1D é baseado na solução das equações da continuidade (Equação 1) e quantidade de movimento (Equação 2). Estas equações possuem formas derivadas e quando assumidas algumas suposições, são denotadas de equações de Saint-Venant:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad [1]$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} + gAS_f - gAS_0 = 0 \quad [2]$$

onde x é a distância na direção do escoamento; t é o tempo; A é a área molhada da seção; Q é a vazão; h é a profundidade da lâmina d'água; g é a aceleração da gravidade; S_0 é a declividade de fundo e S_f é a declividade da linha de energia.

Embora os métodos numéricos empregados no HEC-RAS sejam capazes de resolver as equações em situações complexas, como a modelagem de escoamentos não permanentes com regimes transitórios, são assumidas algumas aproximações e, com isso, surgem limitações (Toombes e Chanson, 2011). Os algoritmos do modelo tornam-se instáveis quando o escoamento passa pela mudança de regime (altura crítica) e, por vezes, compromete o sucesso da simulação.

Segundo USACE (2016) a modelagem de regimes transitórios pode levar a instabilidade numérica da solução, isto decorre das derivadas (variações no espaço e tempo) de velocidade e altura hidráulica assumirem valores superestimados, causando oscilações numéricas na solução.

Para resolver este problema, pode ser empregado um artifício matemático, desenvolvido por Fread et. al. (1996), denominado método LPI (Local Partial Intertia technique). Este método propõe um fator de redução aplicado aos termos inerciais da equação da conservação da quantidade de movimento, conforme o número de Froude na seção local.

Fread et. al. (1996) incorporaram o artifício matemático a um modelo de propagação de vazões e concluíram que, além de tornarem a solução numérica mais estável, o LPI melhora a acurácia dos modelos, chegando a ordem de 6% no erro de vazão na comparação entre modelos com e sem o método implementado.

O presente estudo tem como objetivo avaliar o desempenho do modelo HEC-RAS 1D em termos de estabilidade (convergência) da solução, variando os parâmetros do método Local Partial Intertia (LPI) na simulação de um trecho de rio com altas declividades, caracterizado por quedas d'água sequenciais.

Método Local Partial Intertia (LPI) no HEC-RAS

O LPI baseia-se na aplicação de um filtro numérico aos

termos inerciais da equação da quantidade de movimento, conforme o Froude da seção local. O método possui dois parâmetros, o Froude limiar (F_t) e um fator exponencial m . O primeiro é o valor limite para o qual os termos inerciais serão considerados na equação, desta forma quando o Froude da seção for superior ao F_t o fator σ é zero e os termos inerciais são negligenciados. O expoente m é um fator de redução dos valores numéricos dos termos inerciais, este controla a forma da curva característica do método (Figura 1). A equação da conservação do movimento modificada pelo método LPI é mostrada na Equação 3.

$$\sigma \left[\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) \right] + \left(gA \frac{\partial h}{\partial x} + S_f \right) = 0 \quad [3]$$

O fator σ é calculado da forma:

$$\sigma = 1.0 - \left(\frac{F_r}{F_t} \right)^m \text{ se } F_r < F_t \text{ e } m \geq 1 \quad [4]$$

$$\sigma = 0 \text{ se } F_r \geq F_t \quad [5]$$

onde σ é o fator LPI multiplicador dos termos inerciais; F_t é o Froude limiar para o qual o fator LPI é igualado a zero; F_r é o Froude da seção analisada; m é um fator exponencial de redução, que define a curva do valor σ .

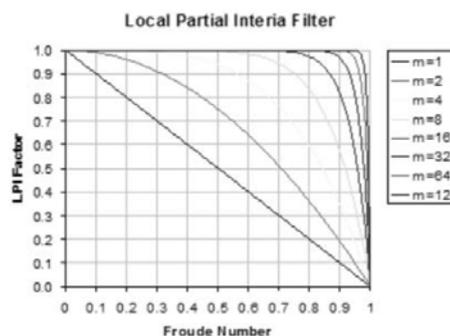


Figura 1.- Curvas características do LPI.

Mustafa et. al. (2009) salienta que o método LPI realiza a conversão da equação de conservação do movimento para a equação de onda difusiva, quando o Froude se aproxima do valor crítico, por meio da eliminação dos termos de inércia (aceleração local e advecção).

O método pode ser implementado marcando a opção *mixed flow regime* na simulação de escoamentos não permanentes. Com o método habilitado pode-se configurar os valores de F_t e m .

Metodologia

A simulação foi realizada para um trecho do Rio Chapecó, localizado no município de Abelardo Luz, Estado de Santa Catarina – SC (Figura 2). O trecho estudado possui característica de leito rochoso e irregular e possui uma sequência de quedas d'água.

As vazões utilizadas na construção de hidrogramas sintéticos foram referentes a um estudo de vazões na estação fluviométrica Abelardo Luz (cód. ANA 73600000), com 50 anos de dados de vazão. Assim, determinou-se uma curva de permanência e a vazão máxima para TR 10 anos utilizando a distribuição de Gumbel.

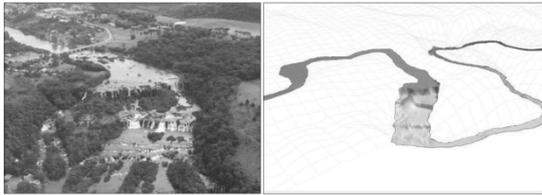


Figura 2a.- Quedas d'água. Figura 2b.- Representação no MDT.

Na modelagem hidrodinâmica, seguiu-se as recomendações de USACE (2016), sendo desenvolvido o esquema geométrico por meio da extensão GeoHEC-RAS e utilizando um MDT de resolução 1m x 1m disponibilizado no Sistema de Informações Geográficas de Santa Catarina (SIGSC).

Também se seguiu recomendações da literatura como Brunner (2014), Sharkey (2014) e USACE (2016) para inclusão de um canal piloto na seção do rio, definição do coeficiente de Manning em rios rochosos, declivosos e similares, e a escolha do passo espacial (dx) e temporal (dt), de forma que se obedeça a condição de estabilidade de Courant. A escolha do dx foi de 1m e dt 1s.

Utilizou-se as rotinas de Hot Start e Warm Up implementadas no modelo. O mesmo foi inicializado a partir de uma simulação de escoamento permanente (Q95 do estudo de vazões) em todas as seções, com isso o programa estabelece, *a priori*, curvas de cota-vazão ao longo do trecho. Desta forma é garantida uma maior estabilidade do modelo (USACE, 2016).

Os parâmetros e tolerâncias do modelo foram mantidos nas configurações padrão (*default*), e utilizou-se a opção *mixed flow regime*, que incorpora o método LPI aos cálculos das equações. Com este recurso habilitado, pode-se variar os parâmetros Ft e m, para posterior análise.

Portanto, neste estudo foram concebidos dois cenários para simulação. No primeiro deles (vazões baixas) o trecho de rio foi simulado em 48 horas, sendo que à montante se propôs como condição de entrada um hidrograma hipotético com início na vazão Q30, com tempo de pico de 18 horas e vazão referente a Q10 e decrescendo (recessão do hidrograma) até a vazão Q95. Como condição de jusante foi escolhida a equação de Manning. No segundo cenário (vazão alta) modificou-se o hidrograma de montante, com o valor do pico igual a vazão máxima de tempo de retorno de 10 anos (TR 10).

Fez-se então uma sequência de simulações, para cada cenário, combinando os parâmetros Ft e m e os resultados das simulações foram avaliados utilizando ferramentas do próprio modelo, tais como a visualização de perfis, tabelas com as variáveis hidráulicas e gráficos dinâmicos.

Como objeto de análise foram escolhidas 15 combinações de Ft e m, que correspondem ao Ft variando de 0.1 até 1.5 e o valor de m é o maior possível antes da instabilidade da solução.

Resultados e discussão

Para o cenário 1 o modelo apresentou bom desempenho, já que foi capaz de convergir para uma solução numérica estável e dentro dos critérios de erros adotados (*default* do modelo), mesmo com valores dos parâmetros LPI altos.

No segundo cenário nota-se uma maior sensibilidade a estes parâmetros, principalmente com o Froude limiar (Ft) próximo do valor crítico. Nesta região crítica o modelo foi capaz de convergir à solução mediante a adoção de valores de m pequenos, ou seja, maior parcela de redução nos termos inerciais da equação da quantidade de movimento.

As Figuras 3 e 4 apresentam os resultados da simulação para os dois cenários, em que as combinações em preto representam a não convergência da solução (fracasso) e em cinza claro, as simulações bem-sucedidas (sucesso).

Figura 3.- Resultados e fracassos da simulação do cenário 1.

m/Ft	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
1															
2															
4															
8															
16															
32															
64															
128															

Figura 4.- Resultados e fracassos da simulação do cenário 2.

m/Ft	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
1															
2															
4															
8															
16															
32															
64															
128															

A análise dos perfis hidráulicos entre as soluções mostrou que a aplicação do método LPI influencia na altura da lâmina d'água e velocidade do escoamento nas seções, sobretudo naquelas em que o Froude local é próximo ao crítico. Também pode-se constatar que algumas das soluções que foram numericamente estáveis (convergentes) apresentaram perfil hidráulico atípicos, com picos espúrios na linha de energia, em geral onde a altura da lâmina d'água está próxima a crítica.

Considerações finais

Este estudo demonstrou que o modelo HEC-RAS 1D foi capaz de simular um trecho de rio com quedas d'água, considerando as simplificações inerentes ao modelo. Embora não se validou os resultados de altura d'água com dados observados, pode-se compreender o funcionamento do método LPI na simulação.

Foi demonstrado que o método LPI influencia na capacidade de o modelo convergir a uma solução numérica estável bem como nas variáveis hidráulicas velocidade e altura d'água, sobretudo em regiões com variações do número de Froude.

Recomenda-se que em estudos de escoamentos transitórios seja dada atenção especial aos parâmetros do LPI na parametrização do modelo, situações como estudos de rompimento de barragem, trechos com alta declividade, simulação de cheias, entre outras situações.

Referências bibliográficas

- Brunner, G. (2014). Common model stability problems when performing an unsteady Flow analysis. <http://nws.noaa.gov/oh/hrl/modelcalibration/6.%20%20Hydraulic>.
- Fread, D. L., Jin, M., Lewis, J. M. (1996). An LPI Numerical Implicit Solution for Unsteady Mixed-Flow Simulation. North American Water and Environment Congress, ASCE, Anaheim, California.
- Mustafa, S. A., Enrique, E. M, Marcus, Z. M. (2009). New Generation Modeling and Decision Support Tools for Studying Impacts of Dam Failures. ASDSO Dam Safety 2009 Annual Conference, Florida.
- Sharkey, J. K. (2014). Investigatin Instabilities with HEC-RAS Unsteady Flow Modeling for Regulated Rivers at Low Flow Stages. Master's Thesis, University of Tennessee.
- Toombes, L., Chanson, H. (2011). Numerical Limitations of Hydraulic Models. The 34th International association for Hydraulic Research World Congress, Brisbane, Australia, pp. 2322-2329.
- USACE (2016). HEC-RAS Analysis System User's Manual Version 5.0.3. pp. 960. <http://hec.usace.army.mil/software/hecras/hecras-download.html>.