

MODELAGEM DE ESCOAMENTO COM EQUAÇÕES SIMPLIFICADAS DA PROPAGAÇÃO DE ONDAS EM RIOS COM PROBLEMAS DE CHEIAS

Aloisio José Battisti¹, Fernando Mainardi Fan²

RESUMO

Sabemos que nas últimas décadas, as mudanças climáticas modificaram o cenário dos fenômenos naturais, especificamente das inundações, e a literatura acadêmica vem contribuindo para compreensão desses eventos. Convencionalmente, as modelagens utilizam o aplicativo HEC-RAS para obter gráficos, e as manchas de inundação. Entretanto, devido as dificuldades na disponibilidade de dados, tem-se optado pelas modelagens matemáticas simplificadas, algumas chamadas de inercial unidimensional, que obtém resultados semelhantes aos de tecnologias complexas. Os estudos apontam para a simulação das ondas de cheias, com modelagens das equações inerciais unidimensional, por que o uso dessas ferramentas auxiliares com recursos computacional diminuem o tempo de resposta. Essas modelagens dependem de poucos fatores numéricos, e são conhecidas por simplificação matemática das equações completas de San Venant. Por isso, uma vez editados para testar em estudos de caso, devemos mostrar gráficos numéricos, com representação da propagação das onda de cheia, e os resultados obtidos dos desempenhos dessas equações matemáticas devem contribuir com a sustentabilidade da gestão em bacias hidrográficas com problemas de cheias.

PALAVRAS-CHAVE: Escoamento. Inundação. Modelagem.

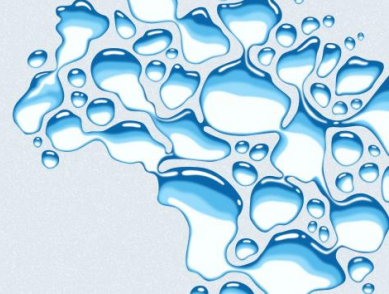
ABSTRACT

We know that in recent decades, climate change has altered the landscape of natural phenomena, specifically flooding, and academic literature has contributed to understanding these events. Conventionally, modeling uses the HEC-RAS application to obtain graphs and flood patches. However, due to data availability difficulties, has been used simplified mathematical modeling, some called one-dimensional inertial modeling, which achieves results similar to those of complex technologies. Studies point to the simulation of flood waves using one-dimensional inertial equation modeling, because the use of these auxiliary tools with computational resources reduces response time. These models rely on few numerical factors, and are knower as mathematical simplifications of the complete San Venant equations. Therefore, once edited for testing in case studies, we should present numerical graphs representing flood wave propagation, and the results obtained from the performance of these mathematical equations should contribute to the sustainability of management in river basins with flood problems.

KEYWORDS: Runoff. Flooding. Modeling.

¹ Aluno da Universidade Federal de Rio Grande do Sul. Metodologias para implementação dos instrumentos de gestão de recursos hídricos. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: aloisio.battisti@gmail.com.

² Docente no Curso de Ciências Agrárias / Instituto de Pesquisas Hidráulicas / Programa de Mestrado Profissional em Gestão dos Recursos Hídricos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: Fernando.fan@ufrgs.br.



INTRODUÇÃO

Sabemos que nas últimas décadas, os fenômenos climáticos de aquecimento global, e desastres naturais estão interligados, de forma sistêmica e ambiental na natureza, com as ações antrópicas, e consequentemente, demandam da gestão de sustentabilidade, para prevenir e proteger áreas urbanas e povoadas.

Os desastres naturais hidrológicos são caracterizados, por riscos ambientais e urbanos, na forma de enchentes, inundações, alagamentos e enxurradas, e nas últimas décadas com as mudanças climáticas esse cenário vem piorando.

Em modelo teórico para previsões de enchentes, entendemos que seja necessária a descrição do problema, com dados experimentais, e seleção das variáveis corretas, para a modelagem da inundação.

O modelo matemático adequado para estudar o comportamento da inundação, deve-se buscar a simplificação da equação de acordo com a demanda da simulação, para trabalhar com a onda de propagação, em rios com problemas de cheias.

Os estudos apontam para a simulação das ondas de cheias com modelagens das equações inerciais unidimensional. Essas modelagens dependem de alguns parâmetros, ou fatores numéricos, e são conhecidas por simplificação das equações completas de San Varnant.

No momento os problemas são da ordem de revisão teórica e estudo de aplicação das equações matemáticas simplificadas, com entendimento do recurso computacional. Uma vez que sejam editadas, os resultados obtidos devem mostrar gráficos numéricos, para interpretar os desempenhos, dessas equações em representação da onda de cheia.

Por isso, a importância da prática de instrumentos que auxiliem, com a ideia de desenvolver medidas não-estruturais, para a gestão das bacias hidrográficas com problemas dos fenômenos de cheias, e de sustentabilidade das cidades.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizadas em modelagem matemática das soluções numéricas para propagação das ondas de cheias em rios, será de modo experimental, e empiricamente na medida em que, os parâmetros sejam regionalizados.

Supondo-se que a regionalização hidrológica, seja eficiente para representar o sistema hidrológico de precipitação e vazão, as variáveis regionalizadas serão escritas na seguinte forma:

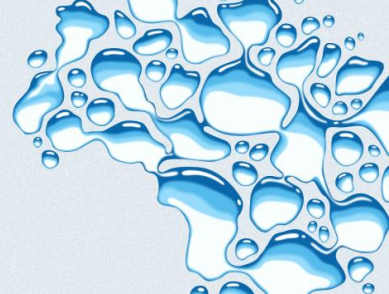
$$Y = F(X, Z, W)$$

onde em que Y é a variável regionalizada em diferentes regiões; X, Z, e W são variáveis explicativas regionalizadas para essa função (TUCCI, 2002, p. 18).

A fundamentação teórica é nas equações de Saint Venant, que são as equações do escoamento unidimensional não-permanente gradualmente variado (TUCCI, p. 91, 1998), escritas a seguir:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial y}{\partial x} + gA(S_0 - S_f) \quad (2)$$



Essas equações são adaptadas, para obter modelo inercial unidimensional, incompletas ou simplificadas com a eliminação do segundo termo da inércia advectiva, da eq. 2, (FAN, p. 139, 2014), e reescrita na forma:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gA \frac{\partial y}{\partial x} + gAS_f = 0 \quad (3)$$

Nessa eq.3, os termos são da inércia local, força de pressão, e da força de atrito, respectivamente, sendo que y é o nível da superfície da água (TUCCI, 2005).

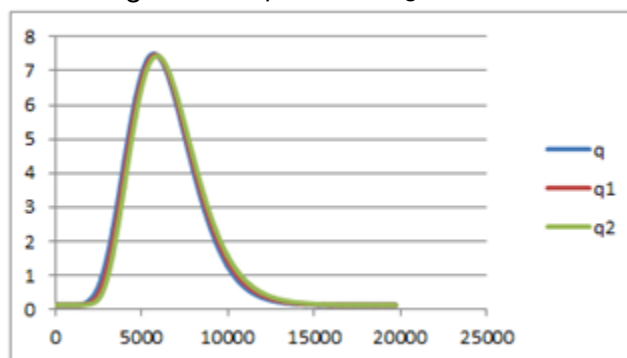
RESULTADOS E DISCUSSÕES

Supondo que a aplicação, das equações matemáticas de modelagem hidrológica sejam importantes, para obter resultados epistemológicos, e produção de conhecimento, em bacias hidrográficas com constantes problemas de inundações. A contextualização da análise documental de conteúdo temático proposto, para contribuir com as ciências por breve que seja, deve mostrar a importância da modelagem de equações matemáticas simplificadas, para a gestão sistêmica, sustentabilidade ambiental e das populações.

A finalidade de estudar o comportamento da onda de cheia, em bacias hidrográficas com inundações, é para configuração da onda de propagação em rios, e determinar o hidrograma de vazões em uma seção transversal de um rio, (COLLISCHONN, 2015, p. 259).

Nessa situação a ênfase nesse trabalho é dada para o hidrograma propagado, que sintetizam as interações sensíveis as variáveis dx/dt (FAN, 2014, p. 142), (v. fig. Abaixo).

Fig. 1: Exemplo de hidrograma



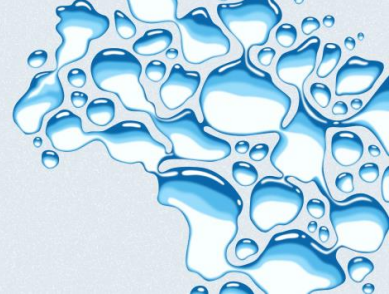
Fonte: IPH (teste Bates)

Nessas condições os hidrogramas são calculados para prever o nível do rio, e a sustentabilidade das cidades a jusante.

CONCLUSÃO

A importância da pesquisa acadêmica, de modelagem de onda de inundação, para estudos de caso em bacias hidrográficas com problemas de cheias, é que são importantes para cidades e comunidades sustentáveis (ODS 11), com ações contra a mudança global do clima (ODS 13).

Essa proposta de pesquisa deve testar soluções do modelo matemático que possam ser simplificadas conforme a demanda da simulação. Na aplicação computacional das equações



matemáticas simplificadas de San Venant, os parâmetros de regionalização devem ser adequados a amplitude das ondas de propagação de cheia. Os resultados da equação unidimensional, para testar a de difusão da onda de inundação, deve avaliar e validar sua eficácia em condições reais, seja da cartografia urbana a jusante, ou dados reversivos dos eventos de inundação passados.

Por isso se quer verificar a validação dos resultados, tempo de resposta, e a equiparação com sistemas complexos de software, com o modelo inercial unidimensional, em sua brevidade de aplicação, com recursos computacionais dessa modelagem IPH de propagação em rios.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) através do Convênio CAPES/UNESP Nº. 951420/2023. Agradeço ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima:** volume 2: estratégias setoriais e temáticas: Portaria MMA n. 150 de 10 de maio de 2016 / Ministério do Meio Ambiente. Brasília: MMA, 2016. 2 v. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br>. Acesso em: 15 fev. 2025.

COLLISCHONN, Walter. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais.** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2015. Disponível em: <https://www.abrhidro.org.br>. Acesso em: 17 ago. 2025.

FAN, Fernando Mainardi. PONTES, Paulo Rógenes Monteiro. PAIVA, Rodrigo Cauduro Dias de. Avaliação de um método de propagação de cheias em rios com aproximação inercial das equações de Saint-Venant. **RBRH**, Volume 19 n. 4 – Out/Dez 2014, 137-147. Disponível em: <https://www.abrhidro.org.br>. Acesso em: 17 ago. 2025.

KOBIYAMA, Masato. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos.** (M. K. e outros). Florianópolis: Ed. Organic Trading, 2006. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 12 jan. 2025.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**/Carlos E.M. Tucci; colaboração da Associação Brasileira de Recursos Hídricos/ABRH. — 2.ed. — Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005.