

CHAMADA FAPEMIG 03/2022

PROJETO APRIMORAMENTO DA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NO ESTADO DE MINAS

GERAIS

TEMAS PRIORITÁRIOS E LINHAS TEMÁTICAS

Tema Prioritário 3: Sistema de Informações em Recursos Hídricos

Linha Temática: *Desenvolvimento de sistema de modelagem de chuva/vazão para as bacias hidrográficas estaduais - desenvolver, calibrar e validar modelos chuva/vazão para as bacias hidrográficas estaduais de modo a avaliar as variações meteorológicas, hidrológicas sobre o regime de escoamento do curso de água, es mando o deflúvio gerado por um evento de chuva.*

TÍTULO DO PROJETO

Caracterização Hidrológica e Modelagem Chuva-Vazão nas Principais Bacias Hidrográficas de MG

EQUIPE DE TRABALHO

Celso Bandeira de Melo Ribeiro (D.Sc)

(Prof. Associado do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – ESA da Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF)

Leonardo Goliatt da Fonseca (D.Sc)

(Prof. Adjunto do Departamento de Mecânica Computacional Aplicada – MAC da Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF)

Alunos de Mestrado (dois alunos a serem selecionados)

Juiz de Fora (MG), 12 de março de 2022

Introdução

A simulação dos processos hidrológicos em bacias hidrográficas consiste em uma das principais ferramentas de apoio na gestão dos recursos hídricos. Assim, os modelos hidrológicos surgem para aproximação do sistema real simulados em ambiente computacional, e são utilizados para prever as saídas para um certo conjunto de variáveis de entrada, em bacias hidrográficas.

Pode-se dizer que um dos grandes desafios da atualidade consiste na previsão de vazões, em eventos extremos provocados por chuvas intensas. Assim, a gestão de recursos hídricos moderna deve contar com ferramentas e tecnologias disponíveis para auxiliar a prevenção e alerta de pessoas, evitando perdas econômicas e até de vidas humanas.

O escoamento que ocorre em rios e córregos é o resultado da interação entre a água precipitada e as condições ou características da bacia (tipo de solo, uso e cobertura do solo, topografia, etc.), que vão influenciar o quanto da água precipitada irá infiltrar, escoar superficial e subsuperficialmente e evapotranspirar.

Os processos relacionados ao escoamento superficial podem ser entendidos em duas partes: a geração do escoamento na bacia e propagação do escoamento em rios e canais. Para isso, existem diferentes metodologias, que permitem estimar a geração e propagação do escoamento em uma bacia hidrográfica.

O desenvolvimento da simulação hidrológica decorre da divisão dos processos físicos do ciclo hidrológico e do uso de condições de contornos na bacia. Dentre as diversas ferramentas disponíveis para simulação hidrológica voltadas para estudos de escoamento em bacias, o sistema *Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System* (HEC-HMS), vem se destacando e consolidando pela sua ampla utilização e pelas atualizações com novas funcionalidades (Scharffenberg & Harris, 2008). Este modelo, do tipo chuva-vazão, vem sendo desenvolvido e aprimorado, há muitos anos, pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA (US Army Corps of Engineers-USACE) (USACE, 2021).

O HEC-HMS é um modelo numérico que simula a transformação da chuva-vazão em sistemas de bacias e sub-bacias hidrográficas. Ele permite estimar o escoamento superficial, calculando as vazões resultantes de uma determinada precipitação de entrada, em diferentes pontos da rede de drenagem, por meio de diversos modelos matemáticos, permitindo realizar simulações a partir de diferentes conceitos de representação dos processos do ciclo hidrológico.

O sistema HEC-HMS permite, em suas versões mais recentes, a integração com o sistema de informações geográficas, possibilitando a delimitação das sub-bacias e canais de drenagem principais, a partir do modelo digital do terreno em base georreferenciada. O modelo permite simulações concentradas, semi-distribuídas e distribuídas e trabalha com diversos métodos de estimativa da chuva efetiva, hidrogramas de resposta das bacias, propagação de cheias em rios e reservatórios e a simulação contínua ou de eventos discretos.

Em conjunto com os modelos hidrológicos de base física e empírica, também, cabe destaque às técnicas de aprendizagem de máquina e inteligência artificial, que vem contribuindo bastante nas estimativas de vazões a partir de eventos de chuva e outras informações hidrológicas correlacionadas. O uso dessas técnicas como alternativas de modelagem são encontradas em diversos problemas de previsão de variáveis de interesse na hidrologia como precipitação, vazão, transporte de poluentes em cursos d'água, evapotranspiração, transporte de sedimentos, qualidade da água e estimação de coeficiente de dispersão longitudinal de córregos

naturais. (Adnan et al., 2017, Pini et al., 2020; Adnan et al., 2020; Li et al., 2019; Goliatt et al., 2021). Atualmente, estes métodos são frequentemente empregados para o desenvolvimento de modelos de séries temporais associadas ao processo de modelagem chuva-vazão.

Sendo assim, esse trabalho propõe-se em realizar a parametrização, calibração e validação do sistema chuva-vazão, HEC-HMS, para nas principais bacias hidrográficas do Estado de Minas Gerais (Bacia do rio São Francisco, Bacia do rio Doce, Bacia do rio Jequitinhonha; Bacia do rio Paraíba do Sul e Bacia do rio Verde Grande), considerando a utilização de bases de dados físicas disponíveis e a utilização de metodologias de aprendizagem de máquina, visando a preparação de uma ferramenta de gestão, capaz de simular eventos extremos de cheias, realizar previsão de futuros, bem como reproduzir hidrogramas de vazões máximas registrados nas estações telemétricas da rede hidrometeorológica nacional, a serem estrategicamente escolhidas nessas bacias.

Justificativa(s) para realização do projeto

Segundo o último relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC-2022, as mudanças climáticas são irrefutáveis, irreversíveis e vem se agravando, sendo necessário ações imperativas para promover a mudança do quadro da crise climática e ambiental.

Ainda de acordo com esse relatório do IPCC, os riscos associados à inundações, deslizamentos de terra, ondas de calor e limitações de fornecimento de água potável estão se tornando cada vez mais frequentes e intensos, devido às alterações meteorológicas. Esses riscos são intensificados em razão da somatória de eventos extremos e da vulnerabilidade da sociedade, que resultam em desastres naturais (MORENO & RAVACHE, 2021).

Os problemas advindos dos eventos extremos de precipitação têm chamado atenção, haja vista que em distintas regiões do planeta ocorrem prejuízos como danos à infraestrutura das cidades, agricultura, turismo, além de perdas de bens materiais e de vidas humanas.

No Brasil, diversos estados vêm sofrendo prejuízos com as ocorrências frequentes de eventos extremos, tais como: Minas Gerais, São Paulo, Rio de Janeiro e Bahia.

O estudo e a previsão de vazões por modelos hidrológicos do tipo chuva-vazão e aprendizagem de máquina possibilitam um melhor entendimento do comportamento hidrológico em bacias hidrográficas, bem como o mapeamento das áreas vulneráveis em caso de enchentes.

Sendo assim, considerando os recentes eventos extremos de seca e cheias em diversas cidades de Minas Gerais, propõe-se implementar (parametrizar, calibrar e validar) o modelo HEC-HMS para as principais bacias hidrográficas do estado de Minas Gerais, como forma de auxiliar o gerenciamento dos recursos hídricos nessas bacias e a tomada de decisão.

Objetivo geral e específico(s)

Objetivo Geral: Implementar o modelo HEC-HMS nas principais bacias hidrográficas do estado de Minas Gerais.

Objetivos Específicos:

- Parametrizar o modelo HEC-HMS nas cinco bacias hidrográficas, a saber: bacia do rio São Francisco, Bacia do rio Doce, Bacia do rio Jequitinhonha, Bacia do rio Paraíba do Sul e Bacia do rio Verde Grande.
- Calibrar e validar o modelo HEC-HMS em cada uma das cinco principais bacias hidrográficas de MG, com base em séries históricas, com frequências diárias e sub-diárias, de estações fluviométricas e pluviométricas convencionais e telemétricas, da rede hidrometeorológica nacional, escolhidas em pontos estratégicos.
- Reproduzir os principais eventos extremos ocorridos em Minas Gerais, nos três últimos anos (2020, 2021 e 2022) utilizando o modelo HEC-HMS devidamente calibrado.
- Realizar estudos de aprendizagem de máquina para fazer previsões de chuvas futuras visando alimentar o modelo HEC-HMS, em previsões de vazões futuras, visando possibilitar a realização de alertas para as populações que habitam essas cinco principais bacias mineiras.

Metodologia

Implementação e parametrização do modelo HEC-HMS

A modelagem será realizada de modo diário e sub-diário, contínuo e por eventos discretos extremos.

Nesta pesquisa serão utilizados os métodos, no HEC-HMS: (i) SCS-CN *Curve Number*: para separação de escoamentos; (ii) SCS Unit Hydrograph: para geração do hidrograma; e (iii) Muskingum-Cunge: para propagação de cheias em rios. Os modelos de aprendizado de máquina empregados para previsão de vazão serão as Redes Neurais Artificiais, Gradient Boosting e Máquinas de Vetores Suporte.

A parcela da chuva que se transforma em escoamento superficial é chamada de chuva efetiva, ou precipitação efetiva. Existem vários métodos para estimar a chuva efetiva durante um evento. Neste projeto utilizamos o método conhecido como SCS-CN, porque foi desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo (*Soil Conservation Service*) dos Estados Unidos. O termo CN (*Curve Number*) é um parâmetro que representa as características do solo e da ocupação da bacia.

Otimização (Calibração e Validação)

Para o processo de otimização serão utilizados parâmetros hidrológicos internos do modelo, como por exemplo o CN. O HEC-HMS permite a introdução de intervalos (mínimo e máximo) para cada parâmetro, de modo a buscar limitar estes valores respeitando as condições físicas da bacia. A função objetivo a ser utilizada para as bacias será o indicador estatístico Nash Sutcliffe, o qual tende a ajustar melhor as vazões elevadas.

A escolha adequada dos parâmetros consiste em um problema de difícil solução e que demanda tempo dos especialistas. Uma alternativa é a automatização deste processo. O problema de ajuste pode ser representado como um problema de busca e otimização, onde pretende-se maximizar o indicador estatístico Nash Sutcliffe. O problema de busca pode ser resolvido com heurísticas de otimização, e neste contexto os Algoritmos Genéticos surgem como uma alternativa robusta. Estes algoritmos inspirados na natureza simulam o processo de seleção natural e têm sido usados com sucesso em problemas de otimização. Além disso, por serem naturalmente paralelos, permitem a construção de modelos para serem executados em nuvem ou em clusters de computadores, explorando ao máximo o poder computacional, permitindo o ajuste rápido e preciso para várias bacias ao mesmo tempo.

Pelo menos 03 (três) referências bibliográficas mais relevantes relacionadas ao objeto da proposta

Natarajan S, Radhakrishnan N (2021) Simulation of rainfall–runoff process for an ungauged catchment using an event-based hydrologic model: a case study of koraiyar watershed in Tiruchirappalli city. India J Earth Syst Sci 130:30. <https://doi.org/10.1007/s12040-020-01532-8>

DALAGNOL, R; GRAMCIANINOV, C.B; CRESPO, N.M.; LUIZ, R.; CHIQUETTO, J.B.; MARQUES, M.T.A.; DOLIF NETO, G.; ABREU, R.C.; LI, S.; LOTT, F.C.; ANDERSON, L.O.; SPARROW, S. Extreme rainfall and its impacts in the Brazilian MinasGerais state in January 2020: Can we blame climate change? Climate Resilience and Sustainability. DOI: 10.1002/cli2.15

Umut Okkan, Zeynep Beril Ersoy, Ahmet Ali Kumanlioglu, Okan Fistikoglu, Embedding machine learning techniques into a conceptual model to improve monthly runoff simulation: A nested hybrid rainfall-runoff modeling, Journal of Hydrology, Volume 598, 2021, 126433, ISSN 0022-1694, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126433>

Identificação das principais atividades, responsabilidades e contrapartidas

1) Prof. Celso Bandeira de Melo Ribeiro(D.Sc)

Prof. Associado do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – ESA da Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil -PEC/UFJF. Doutor em Recursos Hídricos. Desenvolve pesquisas em recursos hídricos.

Atividades: Coordenar todas as atividades da equipe do projeto, acompanhando e participando de todo o desenvolvimento dos trabalhos dos membros da equipe, realizar a parametrização, calibração e validação do modelo HEC-HMS para as bacias hidrográficas de MG, gerar relatórios parciais e final do desenvolvimento das atividades.

2) Prof. Leonardo Goliatt da Fonseca (D.Sc)

Prof. Adjunto do Departamento de Mecânica Computacional Aplicada – MAC da Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF e do Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional (PGMC-UFJF). Doutor em Modelagem Computacional, coordenador do PPG Modelagem Computacional (UFJF). Atua nas áreas de Aprendizado de Máquina, Computação Evolucionista, Ciência de Dados e Simulação.

Atividades: Colaborar com as atividades de modelagem hidrológica do projeto, participar da parte de programação para previsões de chuvas com técnicas de aprendizagem de máquina e gerar e analisar as informações relativas à modelagem hidrológica e programação.

3) Aluno de Mestrado PEC/UFJF: a ser selecionado para participar do projeto. Mestrando em Engenharia Civil (PEC-UFJF).

Atividades: auxiliar os trabalhos de modelagem hidrológica com o HEC-HMS para as cinco principais bacias hidrográficas de MG, obter bases de dados georreferenciados de características físicas e hidrológicas das bacias hidrográficas, bem como de forçantes atmosféricas com base em estações meteorológicas do INMET e da ANA, também, por meio de técnicas de sensoriamento remoto. Apoiar o desenvolvimento de simulações hidrológicas com diferentes condições atmosféricas.

4) Aluno de Mestrado PGMC/UFJF: a ser selecionado para participar do projeto. Mestrando em Modelagem Computacional pela Universidade Federal de Juiz de Fora, com experiência na área de recursos hídricos.

Atividades: Auxiliar no desenvolvimento de modelos de inteligência artificial e aprendizado de máquina para modelagem hidrológica com o objetivo de assistir no ajuste e calibração do modelo HEC-HMS para as cinco principais bacias hidrográficas de MG. O bolsista também realizará colaborações na obtenção de bases de dados de séries históricas de vazão no sítio eletrônico da Agência Nacional de Águas (ANA). Apoiar o desenvolvimento de simulações hidrológicas com diferentes condições atmosféricas.

Contrapartidas

Como principais contrapartidas a Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) irá: (i) dispor da infraestrutura necessária ao desenvolvimento do projeto, conforme o termo de compromisso que acompanha essa proposta de projeto; e (ii) disponibilizar pesquisadores e alunos de mestrado, dedicados ao desenvolvimento do projeto, conforme o cronograma de atividades e metas que acompanha essa proposta.

Resultados esperados

- a. Implementação do modelo HEC-HMS calibrado e validado para as cinco principais bacias hidrográficas do estado de MG.
- b. Disponibilizar o modelo HEC-HMS otimizado e calibrado para os órgãos gestores de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais, com objetivo de auxiliar no alerta de eventos extremos e na tomada de decisões.
- c. Treinamento de aluno em nível de mestrado com temas de pesquisa associados a pesquisa propostas neste projeto.

Benefícios e impactos a serem gerados por meio da execução do projeto

O projeto interessa diretamente aos órgãos gestores dos recursos hídricos, incluindo os âmbitos estadual e comitês de bacia hidrográfica; para as populações em geral e os setores de baixa renda em particular, cujo risco deve ser minimizado com o desenvolvimento de melhores modelos de previsão hidrológica. Em particular, as populações mais vulneráveis que ocupam as áreas de risco, serão amplamente beneficiadas com os estudos que estarão sendo conduzidos no âmbito do projeto.

Ao final dos trabalhos espera-se disponibilizar o sistema HEC-HMS do tipo chuva-vazão, para estimativa e previsão de vazões, visando auxiliar o gerenciamento da qualidade e quantidade dos recursos hídricos superficiais e a segurança hídrica nas bacias hidrográficas de MG.

Sob o ponto de vista técnico-científico e de formação de recursos humanos, propõe-se a ampliar o conhecimento sobre a hidrologia e integrar as atividades desenvolvidas no âmbito da área de recursos hídricos para o estado de MG, estudadas ao longo de alguns anos nos departamentos e programas de pós-graduação da UFJF.

Do ponto de vista da atuação local e regional, espera-se contribuir para a melhoria da qualidade das previsões hidrológicas para a sociedade, sob a ótica dos múltiplos usos dos recursos hídricos. O objetivo é fazer isto integrando diferentes metodologias, utilizando, por exemplo, modelos matemáticos e técnicas de aprendizagem de máquina para estimar os campos de precipitação do modelo hidrológico. Finalmente, pretende-se empregar a informação obtida a partir da modelagem hidrológica e meteorológica de meso-escala como suporte ao planejamento e gestão de recursos hídricos em MG.

Evidência do porquê que a equipe proposta está capacitada a desenvolver o projeto de forma eficiente e eficaz

A equipe é composta por pesquisadores experientes na área de modelagem e gestão de recursos hídricos compreendendo pesquisadores que possuem experiência em desenvolvimento de projetos de pesquisa da mesma natureza desse projeto proposto.

Forma de disponibilização dos resultados para a sociedade

Os resultados serão disponibilizados para a sociedade em forma de matérias jornalísticas, artigos científicos e transferência do modelo devidamente parametrizado, calibrado e validado, para os gestores de políticas públicas de MG.

Forma de gestão e monitoramento dos recursos financeiros do projeto

A gestão e monitoramento será realizada pela Fundação de Apoio e Desenvolvimento ao Ensino, Pesquisa e Extensão da Universidade Federal de Juiz de Fora (FADEPE). Na qualidade de gestora financeira dos projetos, a FADEPE tem por responsabilidade realizar todas as aquisições e contratações, mediante solicitação prévia do coordenador, de acordo com as especificações demandadas e previamente aprovadas pelos órgãos financiadores.

Produtos pactuados:

- Produto: artigos submetidos para a Revista Mineira de Recursos Hídricos (RMRH)
- Quantidade: 2
- Tipo: Artigos científicos
- Especificação: (i) o primeiro artigo terá como conteúdo a modelagem com o HEC-HMS para as principais bacias hidrográficas de MG; (ii) o segundo artigo científico terá como conteúdo as técnicas de aprendizagem de máquina utilizadas para calibrar o modelo HEC-HMS nas principais bacias hidrográficas de MG.

OBS: além desses “Produtos Pactuados”, para submissão à RMRH, esse projeto pretende, também, encaminhar artigos para congressos e para outros periódicos.

Membros de equipe:

1) Nome: Celso Bandeira de Melo Ribeiro(D.Sc)

Email: celso.bandeira@ufjf.edu.br

Função: coordenador

Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3578245523901121>

2) Nome: Leonardo Goliatt da Fonseca (D.Sc)

Email: leonardo.goliatt@ufjf.br

Função: colaborador

Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9030707448549156>

3) Nome: A definir (2 alunos de mestrado)

Email: N/A

Função: colaborador

Currículo Lattes:

Metas

[illegible]

Referências

Adnan, R. M., Yuan, X., Kisi, O., Yuan, Y., 2017. Streamflow forecasting using artificial neural network and support vector machine models. American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS) 29 (1), 286–294.

Adnan, Rana Muhammad; Liang, Zhongmin; Heddami, Salim; Zounemat-kermani, Mohammad; Kisi, Ozgur; Li, Binqun. Least square support vector machine and multivariate adaptive regression splines for streamflow prediction in mountainous basin using hydro-meteorological data as inputs. Journal of Hydrology, v. 586, p. 124371, 2020. ISSN 0022-1694.

Li, Jun; Wang, Zhaoli; Lai, Chengguang; Zhang, Zhenxing. Tree-ring-width based streamflow reconstruction based on the random forest algorithm for the source region of the Yangtze River, China. CATENA, v. 183, p. 104216, 2019. ISSN 0341-8162.

Goliatt, Leonardo; Sulaiman, Sadeq Oleiwi; Khedher, Khaled Mohamed; Farooque, Aitazaz Ahsan; Yaseen, Zaher Mundher. Estimation of natural streams longitudinal dispersion coefficient using hybrid evolutionary machine learning model. Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics, Taylor & Francis, v. 15, n. 1, p. 1298–1320, 2021.

MORENO, Y. S.; RAVACHE, R. L. A vulnerabilidade das cidades com relação às mudanças climáticas. Connection Line, n. 24, p. 124-129, 2021.

Pini, Michele; Scalvini, Andrea; Liaqat, Muhammad Usman; Ranzi, Roberto; Serina, Ivan; Mehmood, Tahir. Evaluation of Machine Learning Techniques for Inflow Prediction in Lake Como, Italy. Procedia Computer Science, v. 176, p. 918–927, 2020. ISSN 1877-0509. Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems: Proceedings of the 24th International Conference KES2020.

Scharffenberg, William, and Jeff Harris. "Hydrologic engineering center hydrologic modeling system, HEC-HMS: interior flood modeling." World Environmental and Water Resources Congress 2008: Ahupua'A. 2008.

USACE (2021). "Hydrologic Modeling System HEC-HMS: Reference Manual". Davis, California, USA: U.S. Army Corps of Engineers. Link: <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmsum/latest>