Programa de Pós-graduação em Economia – Universidade Federal do Pará

CADERNOS CEPEC
ECONOMIA DA AMAZÔNIA

CEPEC/UFPA
CENTRO DE PESQUISA ECONÔMICA

Um modelo de Cultura Nacional e Gestão do Conhecimento para melhorar a relação entre Universidades, Sociedade Civil e Empresas na maior enchente do Rio Grande do Sul, Brasil

A model of National Culture and Knowledge Management to improve the relationship between Universities, Civil Society and Companies in the biggest flood in Rio Grande do Sul, Brazil

Cristiano Trindade de Angelis [1]a

Resumo: Após as fortes enchentes que atingiram o Rio Grande do Sul pergunta-se quais são as necessidades de pesquisa e infraestrutura num contexto de planejamento urbano desordenado. Com as mudanças climáticas e intensa alteração da cobertura vegetal das bacias urbanas, há uma tendência de aumento da intensidade e frequência de eventos de inundação. O objetivo principal deste trabalho é entender a relação entre o combate as inundações e as medidas estruturais e não estruturais. Através da metodologia de revisão de literatura, este trabalho apresenta soluções de modelos matemáticos que podem ser usados para a prevenção e controle de cheias, fazendo uma crítica construtiva as soluções apresentadas na maior inundação do Rio Grande do Sul propondo soluções alternativas. Os modelos hidrodinâmicos requerem condições de entrada que dependem de dados das estações hidrométricas que são escassas e tem precisão comprometida em eventos extremos. Com o enfoque de relacionar as medidas estruturais (ex. aumentar a infiltração e recarga de águas subterrâneas que auxiliam no controle e direcionamento adequado do escoamento pluvial) com as medidas não estruturais (ex. políticas para reduzir a geração de escoamento superficial) e desenvolver um plano de emergência este trabalho faz um estudo sobre a seguinte pergunta de pesquisa: Qual o impacto da Cultura sobre a gestão do conhecimento de inundações (ex.: modelos hidrodinâmicos) e alagamentos (ex.: drenagem)?As técnicas de remineralização de solos, como o uso do pó de rocha, são consideradas rotas alternativas na fertilização de solos visto que o Brasil importa cerca de 65% das matérias-primas necessárias à fabricação de fertilizantes e apresenta uma projeção preocupante de demanda sobre produção neste setor, que deverá atingir 83% em 2025.O resultado principal é que o modelo de Inteligência Cultural, Gestão do Conhecimento e Participação Social ajuda a criar um plano ideal de controle de inundações baseado no modelo HydroPol2D. Não obstante, o modelo de previsão HydroPol2D escolhido é reavaliado por não considerar o impacto da agricultura na hidrologia e então é proposto o modelo complementar de avaliação da água do solo (SWAT+) com o módulo de água subterrânea (GWFlow), que tem o potencial de superar essas limitações do primeiro modelo.

[1] Skema Business School, Lille, France. Correio eletrônico: cristianotrindade@protonmail.com. 0000-0002-8025-7871.

Cadernos CEPEC, Belém, 14 (1): 93-119, jan. – jul. 2025
ISSN impresso: 2238-118X / ISSN online: 2966-1110
CC BY-NC 4.0
Recebido em: 28/02/2025
Aprovado em: 07/04/2025
Publicado em: 07/07/2025

Palavras-chave: Cultura. Gestão do Conhecimento. Modelo Biodinâmico. Modelo Hidrodinâmico. Inteligência Organizacional.
Classificação JEL: C00; C60; Q54.

Abstract: After the strong floods that hit Rio Grande do Sul, the question is what are the research and infrastructure needs in a context of disordered urban planning. With climate change and intense changes in the vegetation cover of urban basins, there is a tendency for the intensity and frequency of flood events to increase. The main objective of this work is to understand the relationship between combating floods and structural and non-structural measures. Soil remineralization techniques, such as the use of rock dust, are considered alternative routes in soil fertilization since Brazil imports about 65% of the raw materials needed to manufacture fertilizers and has a worrying projection of demand on production In this sector, which should reach 83% in 2025. Using a literature review methodology, this work presents mathematical model solutions that can be used for flood prevention and control, making a constructive criticism of the solutions presented in the biggest flood in Rio Grande do Sul, proposing alternative solutions. Hydrodynamic models require input conditions that depend on data from hydrometric stations, which are scarce and have compromised accuracy in extreme events. With the focus of relating structural measures (e.g. increasing infiltration and recharge of groundwater that help control and adequately direct rainwater runoff) with non-structural measures (e.g. policies to reduce the generation of surface runoff) and develop a emergency plan this work studies the following research question: What is the impact of Culture on the management of knowledge of floods (e.g. hydrodynamic models) and flooding (e.g. drainage)?This research question leads to the proposal of a model of Cultural Intelligence, Knowledge Management and Social Participation in order to create an ideal flood control plan. Nevertheless, the chosen Hydropol2D forecast model is reevaluated by not considering the impact of agriculture on hydrology and then the complementary soil water assessment model (Swat+) is proposed with the Grely Water Module (GWFlow), which has the potential to overcome these limitations of the first model.

Keywords: Culture. Knowledge Management. Biodynamic Model. Hydrodynamic Model. Organizational Intelligence.
JEL Classification: C00; C60; Q54.

1. Introdução

O objetivo desse trabalho é demonstrar que a complementariedade dos modelos Hydropol2D e SWAT+GWFlow é capaz de melhorar a capacidade de previsão e impacto das enchentes. Além disso, o artigo busca demonstrar o impacto da cultura no conhecimento e inteligência a fim de chamar a atenção para importância da melhor comunicação entre a universidade, detentora do conhecimento, com o governo, empresas e a sociedade.

O Rio Grande do Sul, assim como todo Brasil, sofre muito com inundações e alagamentos. Ambos os efeitos podem ocorrer simultaneamente. Em especial, modelos de previsão de mudanças climáticas apontam o Rio Grande do Sul como um dos estados brasileiros que mais irá sofrer com grandes eventos de inundação no futuro.

Em relação a falha do sistema de proteção de Porto Alegre, caso a operação e manutenção tivesse sido feita, os efeitos da inundação seriam minimizados. O sistema conta com diversas bombas e comportas e a falha de apenas uma delas pode significar o colapso do sistema. Em particular, no evento de maio de 2024, uma das comportas falhou e o sistema

CC BY-NC 4.0
Recebido em: 28/02/2025
Aprovado em: 07/04/2025
Publicado em: 07/07/2025

elétrico da casa de máquinas não foi dimensionado para trabalhar inundado. Nesse caso, para evitar riscos de choques elétricos, todo o sistema de bombeamento foi desligado, causando um efeito em cascata.

Além dos processos de manutenção e operação do sistema, um modelo de previsão de cheias é de grande valia para o manejo das inundações. É possível, com um horizonte de previsão de 1-2 dias, prever com certa exatidão o impacto das cheias nas cidades.

Segundo Nonnemacher e Fan (2023), a cada 1 real gasto em sistemas de prevenção de inundação, cerca de R$ 40,00 podem ser poupados pela redução dos potenciais danos da cheia no Rio Grande do Sul. Para a correta prevenção, um sistema que conta com novas estações pluviométricas em densidade adequada, equipe de monitoramento, modelagem e geração de resultados.

Já em um nível de previsão, é necessário não somente previsões de precipitação, mas também de nível d'água, profundidade em ruas, quarteirões, e em todo o sistema de infraestrutura das cidades. Em cidades que não contam com sistemas de proteção de inundações (i.e., diques), a previsão e o alerta, principalmente em tempo hábil de deslocamento, são fundamentais para a redução dos impactos das cheias. Para isso, é necessário dados precisos das estações de monitoramento e modelos adequados e rápidos para a previsão dos efeitos da cheia. A ação conjunta de previsões adequadas e correto monitoramento das estruturas de proteção é a estratégia ideal para a gestão das inundações.

Segundo nota técnica intitulada "Critérios hidrológicos para adaptação à mudança climática: Chuvas e cheias extremas na Região Sul do Brasil" publicada recentemente por Paiva *et al*. (2024) projetos de infraestrutura ou planejamento de grande porte, para os quais ssão adotados usualmente, Tempos de Retorno de 50 anos ou mais, devem ser capazes de superar a maior cheia do histórico, independentemente do Tempo de Retorno estimado para esta cheia.

Por definição, um tempo de retorno (TR) é um intervalo de tempo em anos que um evento de inundação acontece em média, pelo menos uma vez. No entanto, com as mudanças climáticas e intensa alteração da cobertura vegetal das bacias urbanas, há uma tendência de aumento da intensidade e frequência de eventos de inundação, que são a combinação de diversos fatores como (i) a condição inicial de umidade da bacia, (ii) intesidade e duração do evento de chuva, (iii) distribuição espacial da precipitação, entre outros. Essa combinação de efeitos, altamente não-lineares, converte a precipitação em escoamento superficial, que se

CC BY-NC 4.0
Recebido em: 28/02/2025
Aprovado em: 07/04/2025
Publicado em: 07/07/2025

desloca nas superfícies até encontrar os rios, que eventualmente extravazam devido ao grande e rápido volume que chegam em seu leito.

O planejamento urbano das cidades geralmente estabelece riscos toleráveis associados a esses sistemas, de modo que sistemas de microdrenagem (i.e., galerias de águas pluviais, bocas de lobo) são dimensionados para tempos de retorno da ordem de 10 a 25 anos, enquanto obras de macrodrenagem, isto é, aquelas associadas com rios e canais de maior magnitude são tipicamente projetadas para tempos de retorno da ordem de 50-100 anos. Com as mudanças climáticas, o conceito de risco tolerável para os projetos de drenagem deve ser revisado devido a não-estacionariedade das chuvas. Em outras palavras, se faz necessário um grande Projeto de Macrodrenagem Urbana para enfrentar incidentes de inundação.

De um modo conceitual, é evidente que é preciso desacelerar as velocidades do escoamento dos quatro rios que afluem sobre o lago Guaíba e então sobre as seis EBABs (cinco no Guaíba e uma no Jacuí), e sobre as seis barragens (três em Bento Gonçalves). Para isso, estudos detalhados sobre o comportamento hidrológico-hidráulico das bacias de cada um dos rios devem ser elaborados para servir de base para uma abordagem integrada de planejamento de bacias hidrográficas, em particular para as águas superficiais e subterrâneas.

Há dezoito barragens no Rio Grande do Sul, sendo que no mês de maio de 2024 seis estão em emergência, com risco iminente de rompimento, sendo uma já rompida parcialmente. Devido a alta declividade da bacia do rio Taquari-Antas, um grande volume de escoamento chega rapidamente ao complexo das barragens, principalmente quando a chuva se distribuí mais intensamente na cabeceira da bacia, como foi o caso deste evento de maio de 2024. Segundo nota técnica publicada recentemente pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), algumas estações pluviométricas recordaram acumulados de precipitação maiores que 1000 mm em duas semanas. Em várias estações, o volume precipitado nesse curto intervalo de tempo foi superior a 40% do volume esperado para o ano todo.

Alguns processos de descarga de cheias podem sim ser geridos em pequenos reservatórios no curso do rio. Estes reservatórios não somente atenuam os volumes de escoamento, como também reduzem a elevada concentração de poluentes transportados pelo escoamento e, portanto, os seus impactos nas operações das estações de tratamento de água. No entanto, no caso de uma grande cheia como a ocorrida em maio de 2024, a solução de medidas estruturais como o uso de reservatórios é praticamente inviável dado o grande volume que seria

CC BY-NC 4.0
Recebido em: 28/02/2025
Aprovado em: 07/04/2025
Publicado em: 07/07/2025

necessário armazenar para ter efeitos mínimos de mitigação. Medidas não-estruturais podem ser o caminho mais coerente para o futuro e, no caso particular de medidas estruturais, estudos detalhados devem ser feitos para evitar possíveis danos e impactos ambientais.

Esse trabalho está dividido em quatro capítulos. A primeira seção uma análise comparativa dos modelos hidrodinâmicos. A seção dois faz uma revisão de literatura sobre os modelos hidrodinâmicos. A seção 3 trata da importância de Planos Padrão de Emergência de Gerenciamento de Risco e Participação Social a partir das Práticas de GC e IO. A seção 4 finalmente apresenta os modelos Cultura – Conhecimento – Inteligência (CCI) a partir do que foi exposto nas seções anteriores.

2. Uma análise comparativa dos modelos hidrodinâmicos

De Acordo com Rennó e Suares (2022) um modelo hidrológico pode ser definido como uma representação matemática do fluxo de água e seus constituintes sobre alguma parte da superfície e/ou subsuperfície terrestre. Modelos matemáticos hidrodinâmicos que resolvem equações fundamentais de escoamento podem, portanto, ser usados para prever o comportamento das cheias.

Há uma estreita relação entre a modelagem hidrológica, a biológica e a ecológica, pois o transporte de materiais pela água é influenciado por atividades biológicas que podem aumentar ou diminuir a quantidade desses materiais na água, e o regime do fluxo de água pode afetar diversos habitats.

Os modelos hidrodinâmicos são construídos para discutir o que acontece quando os fluidos fluem, sem restringir a fluidos que fluem de forma “laminar”, buscando sim os que fluem de forma “turbulenta” que é o caso das grandes inundações.

Os modelos hidrodinâmicos ambientais são ferramentas indispensáveis à gestão e ao planejamento de ações em corpos de água naturais, pois permitem analisar processos relativos a três fenômenos de interesse (Rossman, 2001):

(i) Circulação Hidrodinâmica: avalia a alterações em Quantidades de Movimento (massa × velocidade), que geram variações em níveis de água e correntes;

(ii) Qualidade das Águas: avalia o transporte de substâncias que geram alteração nos constituintes das águas e sua qualidade;

(iii) Processos Sedimentológicos: avalia os ciclos de erosão, transporte e deposição de

CC BY-NC 4.0
Recebido em: 28/02/2025
Aprovado em: 07/04/2025
Publicado em: 07/07/2025

sedimentos que geram a evolução da morfologia, ou a morfodinâmica.

O objetivo dos modelos é computar movimentos, transportes, escoamentos e fluxos da água e seus constituintes, como gases, salinidade, nutrientes, calor, sedimentos etc.

De acordo com Stokes Oceanografia (2023) o processo de Modelagem é dividido em 10 passos: Montar modelo conceitual do fenômeno de interesse; Buscar os dados de entrada; Definir os limites do domínio numérico; Digitalizar a linha de costa ou, no caso de bacias hidrográficas, usar modelos de elevação do terreno; Construir a grade numérica que discretiza o espaço em intervalos finitos onde as equações fundamentais de conservação de massa e energia são resolvidas; Gerar a batimetria de rios, canais, e reservatórios ; Definir os cenários de simulação e condições de contorno do modelo; Montar e configurar as rodadas; Analisar os resultados; Reiterar o processo até que os resultados simulados sejam próximos dos observados e Apresentar os resultados.

No Brasil, a fonte de dados mais utilizada em estudos hidrológicos-hidrodinâmicos é o Portal HidroWeb, que é uma ferramenta que disponibiliza todas as informações coletadas pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), sendo tudo coordenado pela Agência Nacional das Águas (ANA). Dados como séries históricas de vazões observadas em rios, batimetria, entre outros, são disponíveis gratuitamente. No entanto, essas observações de vazão não apenas os únicos dados de entrada que modelos hidrológicos-hidrodinâmicos precisam. Especialmente modelos mais completos que incluem o comportamento das bacias hidrográficas, condições sobre o teor de umidade do solo, propriedades topográficas e de uso e cobertura do solo e dados sobre a distribuição temporal e espacial das precipitações são necessários e tornam o processo de modelagem ainda mais complexo. Em países como os Estados Unidos, séries e mapas completos, em alta resolução, são gratuitamente disponíveis em toda cobertura do país, o que facilita a construção de modelos de previsão de inundações.

Além disso, nem sempre terá disponível a série medida para o rio e período desejados. Rios muito pequenos não são contemplados na rede de monitoramento da ANA. Mas muitas vezes é possível obter tais dados de maneira indireta através de cálculos de proporcionalidade de área de bacias hidrográficas próximas ou a partir de curvas de chuva-vazão. Essas “regionalizações” servem até certo ponto para determinar vazões mais recorrentes nos rios; no entanto, em eventos extremos, esse tipo de análise não é aplicável.

CC BY-NC 4.0
Recebido em: 28/02/2025
Aprovado em: 07/04/2025
Publicado em: 07/07/2025

Getirana *et al*. (2012) explicam que as superfícies de águas abertas dependem estreitamente da geometria e da topografia dos rios. A geometria define se o transbordamento do rio pode ocorrer e a topografia, que prescreve o perfil da superfície da planície de inundação dentro do domínio de abrangência, determina a área inundada dado um volume de água transbordado. Mas ambos apresentam limitações devido a problemas com os dados de entrada necessários. Os erros dos Modelos Digitais de Elevação – MDE permanecem como uma das principais fontes de incerteza na modelagem das interações entre rios e planícies aluviais, essa comummente conhecidas como várzeas. Os atuais MDEs baseados em satélite não são adequados para fornecer perfis precisos de elevação de planícies aluviais. Em particular, a abordagem de "queima de planícies aluviais", que leva em conta mapas de rios e planícies aluviais, pode ser uma forma eficiente de alterar gradualmente as elevações de pixels de alta resolução em áreas inundadas (Getirana *et al*., 2012).

Gomes Junior *et al*. (2023) explicam que os modelos hidrológicos, hidrodinâmicos e de transporte de poluentes são ferramentas fundamentais para a tomada de decisões sobre a mitigação de inundações e má qualidade da água (Fan; Collischonn, 2014). Na literatura existem diversos modelos que auxiliam na quantificação de processos hidrodinâmicos em diferentes escalas temporais e espaciais.

Na escala de eventos de resposta rápida e bacias hidrográficas urbanas, o modelo Weighted Cellular Automata 2D (WCA2D) (Guidolin *et al*., 2016) utiliza a abordagem de autômatos celulares para distribuir o escoamento e estimar mapas de inundação na superfície da água. Guidolin *et al*. (2016) demonstraram que o modelo de rápida análise de inundação WCA2D poderia ser usado para realizar simulações de inundação 2D em grande escala devido ao seu alto desempenho computacional e baixo requisito de memória com um comprometimento mínimo na precisão e um número significativamente grande de simulações (por exemplo, para análise de risco).Esse modelo 2D para modelagem de inundações terrestres é integrado ao modelo 1D CADDIES para modelagem de rede de esgoto desenvolvida por Austin *et al*. (2014), para produzir um modelo rápido e simplificado de drenagem urbana para modelagem de inundações urbanas. No entanto, em grandes eventos de inundação, o efeito da microdrenagem é reduzido em relação aos grandes volumes de precipitação e escoamento gerados.

CC BY-NC 4.0
Recebido em: 28/02/2025
Aprovado em: 07/04/2025
Publicado em: 07/07/2025

Uma tendência recente é o uso de ferramentas de inteligência artificial para a rápida predição das inundações, especialmente pelo fato de que modelos hidrológicos-hidráulicos fisicamente baseados tem custo computacional elevado. Lago *et al*. (2024) destacam o modelo de aprendizagem profunda (MAP) e afirmam que essa abordagem é mais aplicável em áreas de drenagem menores que 500 ha e por fim recomendam que canais que transportam águas pluviais de áreas maiores devem ser por um método alternativo (por exemplo, modelos 1D). Alertam também para o fato que a construção de modelos hidrodinâmicos 1D requer investimentos e dados significativos.

Para Gomes Júnior *et al*. (2023) o modelo HydroHP-1D permite simular escoamento permanente e transitório em canais unidimensionais e os resultados da modelagem podem ser visualizados por meio de vídeos e GIFs. Exemplos dessa abordagem podem ser vistos em um repositório online, disponível em Gomes Jr., (2024). A apresentação de animações, vídeos e mapas onde a população afetada pode aumentar a percepção de risco é uma abordagem em ascensão na comunidade científica. Jogos educativos chamados de *serious games* são ferramentas onde os usuários, isto é, possivelmente quem será afetado pelo evento danoso, joga um jogo sério onde os resultados do jogo fazem com que o usuário compreenda melhor os riscos e impactos associados de um determinado problema.

Uma abordagem recente de jogos sérios é o desenvolvido em Gomes Jr., (2024). Os autores criaram um jogo que simula o rompimento de barragem e permite aos usuários entenderem qual a força da água que chegaria na cidade, a altura e a velocidade. A aplicação do jogo para 21 barragens, incluindo Brumadinho e a barragem 14 de julho foi feita. Gomes Junior *et al*. (2023) destacam que o modelo HydroPol2D que contribui para o campo de modelos hidrológicos e hidrodinâmicos, permitindo uma modelagem 2D de inundações e qualidade da água com a simulação da transferência de momento da planície de inundação, infiltração espacialmente distribuída e cálculo de evapotranspiração, e simulação de transporte e destino de poluentes. Essas abordagens permitem uma análise mais integrada do comportamento hidrológico das bacias hidrográficas que contribuem para o escoamento nos rios.

Já o software HEC-RAS, desenvolvido pelo corpo de engenheiros dos Estados Unidos da America, permite a representação de fluxos bidimensionais a partir da solução numérica das equações de águas rasas. Representa os termos de inércia, gradiente de pressão e efeitos gravitacionais, fricção, turbulência e efeitos de Coriolis (uma curva que as correntes de água e

CC BY-NC 4.0
Recebido em: 28/02/2025
Aprovado em: 07/04/2025
Publicado em: 07/07/2025

ar têm em diferentes hemisférios). A grande dificuldade do modelo HEC-RAS é o seu grande custo computacional para simular inundações em alta resolução. Detalhes das formulações e esquemas numéricos utilizados no modelo (versão 6.1.0) podem ser encontrados em Brunner (2016). Um mapa topográfico composto foi produzido pela fusão de vários bancos de dados. No rio Amazonas e nas áreas de águas abertas da planície de inundação, a topografia estimada por Fassoni-Andrade *et al*. (2020a) foi utilizada resolução espacial de 30 m (disponível em data.mendeley.com/datasets/vn599y9szb/1). Este mapeamento foi criado através da digitalização de cartas náuticas dos rios e utilizando o método Flood2Topo (Fassoni-Andrade *et al*., 2020) via dados de satélite óptico (Gomes Júnior *et al*., 2023).

Lago *et al*. (2024) avaliaram o desempenho do modelo proposto em relação a um modelo do Sistema de Análise de Rios (RAS) do Centro de Engenharia Hidrológica (HEC) de resolução de 3 m – modelo HEC-RAS – em sete bacias hidrográficas nas cidades de San Antonio e São Paulo. Os resultados indicam que o MAP acomplado com o cGAN-Inundação melhorou a precisão do mapa de inundações, primeiro identificando células úmidas e depois estimando as profundidades da água, através da distribuição de um volume de inundação, sendo que as vezes subestima o volume total a ser distribuído (vt). Outra desvantagem é que o cGAN-Inundação não pode prever velocidades, um parâmetro crítico para a criação de mapas de risco. Também, o cGAN- Inundação só foi treinado em expansão de inundação. Infelizmente, isso restringe sua aplicação em situações em que a resolução de dados varia ou em cenários que exigem previsões de inundações mais detalhadas

Mesmo assim, o cGAN-Inundação foi 50 e 250 vezes mais rápido que WCA2D e HEC-RAS, respectivamente. No entanto, o cGAN-Inundação tem limitações e pesquisas futuras são necessários para melhorar a sua aplicabilidade. O uso de ferramentas de inteligencia artificial que tipicamente não contam com profundos aprendizados sobre o comportamento hidrológico das bacias hidrográficas tem de ser feito com cautela, dado a escassez de grande volume de dados observados. A aplicação em grande escala dessas técnicas requer um cenário de extensos dados de monitoramento de enchentes onde seria possível treinar modelos de aprendizado de máquinas com observações fidedignas comportamento de bacias hidrográficas.

De acordo com Fassoni-Andrade *et al*. (2023) em um estudo para compreensão da dinâmica dos complexos sistemas hidrológicos da Amazônia e a inundação das comunidades ribeirinhas o modelo HEC-RAS utiliza uma malha computacional não estruturada na qual a

CC BY-NC 4.0
Recebido em: 28/02/2025
Aprovado em: 07/04/2025
Publicado em: 07/07/2025

orientação e o tamanho das células podem variar de acordo com a topografia, de forma que podem ser incluídas quebras para definir a orientação das faces das células computacionais. Os pesquisadores adicionam quebras considerando uma digitalização manual dos contornos topográficos das margens dos rios. Nas áreas de várzea foram utilizadas as isolinhas formadas pelos limiares de frequência de inundação de 90% e 60% do mapa de frequência de inundação elaborado por Fassoni-Andrade *et al*. (2020).

Erros no mapeamento topográfico, a condição de contorno a jusante e a falta de representação dos processos hidrológicos na planície de inundação, como infiltração local, precipitação, evaporação e fluxo de água subterrânea, podem ser fontes de incerteza no mapeamento da extensão da inundação pelo modelo hidrodinâmico, especialmente no período de águas baixas. Parte dos erros de modelagem pode estar relacionada aos dados de entrada e validação do modelo, como mapas de sensoriamento remoto da extensão da superfície da água, e à falta de representação de processos hidrológicos, como infiltração local, precipitação, evaporação e fluxo de água subterrânea (Fassoni-Andrade *et al*., 2023).

De acordo com Long *et al*. (2023) o seu estudo melhorou a simulação de vazão ao acoplar modelos hidrológicos e hidrodinâmicos. Construíram um modelo hidrológico a partir da ferramenta de avaliação de água (SWAT) da Bacia do Lago Dongting para simular o fluxo de corrente nas áreas com escassez de dados, que foi ainda acoplado ao sistema hidrodinâmico MIKE21, modelo com condições de contorno adicionais, observando às escalas características dos dados de entrada.

Long *et al*. (2023) encontraram que uma abordagem amplamente utilizada é a regionalização (Arsenault *et al*., 2019), que é um processo de transferência de informações hidrológicas da área de medição para as áreas com escassez de dados (Bao *et al*., 2012; Yang *et al*., 2020). Jillo *et al*. (2017) aplicaram um modelo chuva-vazão à área de observação de escoamento, e estimaram aproximadamente a produção de água na área restante com escassez de dados pelo método de regionalização, mas os resultados não foram validados.

No rio Amazonas e nas áreas de águas abertas da planície de inundação, a topografia estimada pela pesquisadora gaúcha Fassoni-Andrade *et al*. (2020) foi utilizada resolução espacial de 30 m (disponível em data.mendeley.com/datasets/vn599y9szb/1). Este mapeamento foi criado através da digitalização de cartas náuticas dos rios e utilizando o método Flood2Topo (Fassoni-Andrade *et al*., 2020) Já o pesquisador chinês Yuannan Long e colegas acoplaram

CC BY-NC 4.0
Recebido em: 28/02/2025
Aprovado em: 07/04/2025
Publicado em: 07/07/2025

modelos hidrológicos e hidrodinâmicos. O modelo hidrológico foi feito a partir da ferramenta de avaliação de água (SWAT) da Bacia do Lago Dongting para simular o fluxo de corrente nas áreas com escassez de dados e foi ainda acoplado ao sistema hidrodinâmico MIKE21, modelo com condições de contorno adicionais, observando às escalas características dos dados de entrada. Sugere rever decisões operacionais como construção de barragens no local de captação e novas ETAs onde as existentes operam acima da capacidade, o que é o caso.

Dada a grande disponibilidade de modelos e soluções numérica, modelos que sejam capazes de lidar com a falta de dados, muitas vezes recorrentes, em grandes bacias, podem ser uma solução rápida para a previsão de inundações.

Nessa direção, De Angelis e Gomes Júnior (2024) encontraram que o modelo HydroPol2D pode ser uma solução de baixo custo para a previsão do comportamento hidrológico-hidráulico das bacias hidrográficas, em particular estimar mapas de inundação que contém as profundidades de água nas ruas, quadras, bairros, canais e, por consequência, em toda a bacia hidrográfica. Além disso, pesquisas recentes utilizam o modelo HydroPol2D para avaliar o risco de arrasto de pessoas, gerando mapas de risco a cada 15-minutos que podem ser usados como auxílio a tomada de decisão. No entanto, a qualidade do resultado dos modelos pode ser melhorada com mais dados disponíveis. Atualmente, o RS tem 1,7 mil estações pluviométricas (medem a chuva que cai na bacia do rio), fluviométricas (medem o nível e a vazão dos rios) e só 25% fazem a transmissão dos dados em tempo real. Só assim os modelos hidrodinâmicos podem ser alimentados, se não contam com dados fornecidos pela própria população enviado por vídeos e fotos (De Angelis e Gomes Júnior, 2024).

Com as mudanças climáticas em andamento, a maioria dos especialistas prevê um aumento nos eventos climáticos extremos (IPCC, 2014). Devido ao impacto da agricultura na hidrologia, surgiram modelos alternativos, embora apenas alguns sejam projetados para prever e controlar esses efeitos.

Le Li *et al*. (2021) fornecem novas idéias sobre as interações complexas e não lineares entre processos hidrológicos e mudanças ambientais. Um modelo amplamente adotado é a Ferramenta de Avaliação do Solo e da Água (SWAT), desenvolvida pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA). Este modelo pode simular a dinâmica diária de sedimentos e nutrientes em bacias hidrográficas de mesoescala a macroescala (Arnold *et al*., 1998).

ISSN impresso: 2238-118X / ISSN online: 2966-1110
CC BY-NC 4.0
Recebido em: 28/02/2025
Aprovado em: 07/04/2025
Publicado em: 07/07/2025

O modelo SWAT é particularmente valioso para identificar os principais processos hidrológicos que afetam as cargas de nitrato nas áreas de estudo, especialmente durante as estações secas. Os principais dados de entrada para a modelagem do SWAT incluem um modelo de elevação digital (DEM), mapas de uso da terra, mapas de solo, dados meteorológicos diários, dados de qualidade da água e práticas de gerenciamento agrícola. O DEM usado (ASMAT V2, resolução de 30 m) foi proveniente do site do USGS (http://www.usgs.gov) para delinear as bacias hidrográficas (Le Li *et al*., 2021).

Yimer *et al*. (2023) descobriram que os sistemas de drenagem agrícola são essenciais para remover o excesso de água subterrânea e garantir oxigênio suficiente para as culturas. No entanto, esses sistemas de drenagem têm impactos ambientais e hidrológicos, particularmente reduzindo o volume das águas subterrâneas e transportando contaminantes a jusante.

Para entender melhor esses impactos, os pesquisadores se voltaram para ferramentas avançadas de modelagem, como o modelo SWAT+ com o módulo de água subterrânea integrada (GWFlow). A drenagem agrícola da água pode esgotar significativamente os níveis de água subterrânea, afetando adversamente os processos hidrológicos. O desenvolvimento de modelos com e sem esses recursos de drenagem fornece informações valiosas sobre seus efeitos na geo-hidrologia.

Pesquisas futuras devem priorizar a medição dos fluxos de drenagem e a calibração dos modelos geo-hidrológicos para entender melhor as águas subterrâneas e a dinâmica de drenagem. Tais esforços podem reduzir as incertezas na previsão do fluxo de água em estação seca e outros componentes do balanço da água. Quantificar a água drenada é essencial para avaliar seu impacto ambiental.

O modelo SWAT+ GWFlow acoplado se mostrou mais adequado que o modelo SWAT+ independente para esses estudos de caso (Arnold, 1998). Bailey *et al*. (2023) desenvolveram ainda um módulo GWFlow avançado que é fisicamente baseado e espacialmente integrado ao SWAT+. Este modelo acoplado simula o fluxo de água da superfície e da subsuperfície nas escalas de captação e incorpora explicitamente a drenagem agrícola na estrutura do modelo.

O módulo GWFlow também permite a calibração e a validação do modelo usando dados observados na margem das águas subterrâneas e séries de descarga de águas subterrâneas

ISSN impresso: 2238-118X / ISSN online: 2966-1110
CC BY-NC 4.0
Recebido em: 28/02/2025
Aprovado em: 07/04/2025
Publicado em: 07/07/2025

temporais, aumentando sua confiabilidade para estudos hidrológicos (https://www.dov.vlaanderen.be/).

3. Metodologia

A metodologia escolhida é uma revisão de literatura e uma análise exploratória da maior inundação do Rio Grande do Sul. Snyder (2019) destaca que a revisão de literatura como método de pesquisa é mais relevante do que nunca. As revisões de literatura tradicionais muitas vezes carecem de exaustividade e rigor e são realizadas ad hoc, em vez de seguir uma metodologia específica.

Este trabalho realiza uma revisão integrativa da literatura. A integração ocorre não apenas na própria revisão bibliográfica, em que a interseção entre esses conceitos é demonstrada por meio de diferentes fontes, mas também por meio do modelo de pesquisa em que todos os construtos estão presentes.

Então esse trabalho apresenta três modelos de pesquisa, sendo os dois primeiros modelos complementares e o terceiro (modelo CCI), auxiliar. Isso porque a questão cultural é que move a ação tanto dos pesquisadores, como dos agricultores, ribeirinhos, empresários e governantes. A cultura tem um forte impacto nos processos de criação e aplicação de conhecimento (inteligência). Diante disso é preciso entender quais foram os erros culturais que levaram a triste consequência da inundação de maio de 2024.

Além da revisão de literatura este trabalho utiliza a metodologia de pesquisa-ação. A investigação-ação é um método de investigação que visa simultaneamente investigar e resolver um problema. Por outras palavras, como o próprio nome sugere, a investigação-ação conduz a investigação e toma medidas ao mesmo tempo. A investigação-ação é simplesmente uma forma de investigação auto-reflexiva levada a cabo por participantes em situações sociais, a fim de melhorar a racionalidade e a justiça das suas próprias práticas, a sua compreensão dessas práticas e as situações em que as práticas são levadas a cabo (Carr; Kemmis 1986).

4. O modelo Cultura–Conhecimento–Inteligência (CCI)

Roland (2000) compartilhou algumas explicações práticas sobre a formação de culturas e a relação de estado com o conhecimento e a inteligência. Fincher *et al*. (2008) e Murray e Schaller (2010) descobriram que os países onde havia uma forte presença de patógenos antes do século XX desenvolveram culturas mais coletivistas.

CC BY-NC 4.0
Recebido em: 28/02/2025
Aprovado em: 07/04/2025
Publicado em: 07/07/2025

Novamente, a ideia é que em áreas com alta presença de patógenos, aquelas comunidades que desenvolvem normas mais coletivistas, restringindo o comportamento individual e mostrando uma atitude menos aberta para os estrangeiros tendem a ter maiores chances de sobreviver. Outras explicações sobre a origem do individualismo frente ao colectivismo implicam a maior frequência de cultivos de arroz sobre outros cultivos de trigo, já que o arroz requer mais mão de obra e requer uma melhor coordenação (Talhelm *et al*., 2014) ou uma maior presença de Riego (Buggle, 2015) no espírito de Wittfogel (1957). Por outro lado, Knudsen (2017) descobriu que uma grande dependência da pesca para o sustento ao longo da história está mais associada ao individualismo (Roland, 2000).

Roland (2000) explicou que a geografia pode ter desempenhado um papel importante na hora de determinar se as sociedades antigas se converteriam em sistemas estatistas ou de mercado. Roland (2000) demonstrou que os países que só podem ser governados por sistemas estatísticos têm hoje uma cultura mais colectivista, enquanto os países onde se desenvolvem sistemas de mercado no passado têm uma cultura mais individualista. Essas sociedades sul-americanas possuem sistemas jurídicos que se concentram mais nos conflitos entre cidadãos, como nos conflitos de propriedade.

A primeira definição de cultura que foi formulada a partir de um ponto de vista antropológico pertence a Edward Tylor, no primeiro parágrafo de seu livro Cultura Primitiva (1871). Tylor buscou, além disso, demonstrar que a cultura pode ser objeto de um estudo sistemático, por ser um fenômeno natural que tem causas e regularidades, permitindo um estudo e análise com o objetivo de fornecer a formulação de leis sobre o processo cultural e a evolução. Para Kroeber, a cultura é um processo acumulativo, resultante de toda a experiência histórica das gerações anteriores. Este processo limita ou estimula a ação criativa do indivíduo.

Félix Keesing e Alfred Kroeber coincidem em que não existe correlação entre genética e cultura, por exemplo, qualquer pessoa que nasceu, independentemente de onde nasceu, absorveu a cultura do lugar onde cresceu. Kroeber vai mais além e afirma que o homem só se diferencia dos animais graças à cultura. Pois o homem é um ser que está acima de suas limitações orgânicas, a cultura é um processo acumulativo, é dito, o homem acumula experiências e, por tanto, cultura.

1. A cultura, além da herança genética, determina o comportamento do homem e justifica seus logros.

CC BY-NC 4.0
Recebido em: 28/02/2025
Aprovado em: 07/04/2025
Publicado em: 07/07/2025

2. O homem atua de acordo com as normas culturais. Seus instintos ficaram parcialmente anulados pelo longo processo evolutivo do que aconteceu.
3. Ao adquirir a cultura, o homem começou a depender muito mais do aprendizado do que da atuação através de atitudes determinadas geneticamente.
4. Como sabe a humanidade desde a Ilustração, é este processo de aprendizagem (socialização ou endocultura, não importa o termo) que determina seu comportamento e sua capacidade artística ou profissional.
5. A cultura é um processo acumulativo, resultante de toda a experiência histórica das gerações anteriores. Este processo limita ou estimula a ação criativa do indivíduo.

Em geral, os acadêmicos sugerem que os governos devem garantir que a ciência esteja na vanguarda da estratégia para a recuperação econômica e o crescimento econômico. Para eles, a ciência produz conhecimento e, por tanto, produz inovação, o que melhora a qualidade de vida, a democracia, o crescimento econômico e a capacidade de resolver problemas maiores. No entanto, Rothberg e Erickson (2004) afirmam que o conhecimento é estático e, em última instância, só tem valor se as pessoas o utilizam.

Em 1989, Richard Ackoff estabeleceu uma taxonomia simples de estímulos ambientais que foi amplamente adotada no que diz respeito à Gestão do Conhecimento - GC, sustentando que existem quatro classes de entradas para qualquer sistema: dados, informação, conhecimento e inteligência (Ackoff, 1989).

Davenport e Pruzak (1998) realizaram um importante estudo sobre as diferenças entre dados, informações e conhecimento. Os dados são um conjunto de assuntos discretos e objetivos sobre eventos. Em um contexto organizacional, os dados são descritos de forma mais útil como registros estruturados de transações.

Como muitos pesquisadores que estudaram a informação, a descreveremos como uma mensagem, geralmente em forma de documento ou comunicação audível ou visível. Como toda mensagem, você tem um remetente e um destinatário. A informação é projetada para mudar a forma em que o receptor percebe algo, tendo um impacto em sua justiça e comportamento. A maioria das pessoas tem uma sensação intuitiva de que o conhecimento é mais amplo, mais profundo e mais rico que os dados ou a informação.

ISSN impresso: 2238-118X / ISSN online: 2966-1110
CC BY-NC 4.0
Recebido em: 28/02/2025
Aprovado em: 07/04/2025
Publicado em: 07/07/2025

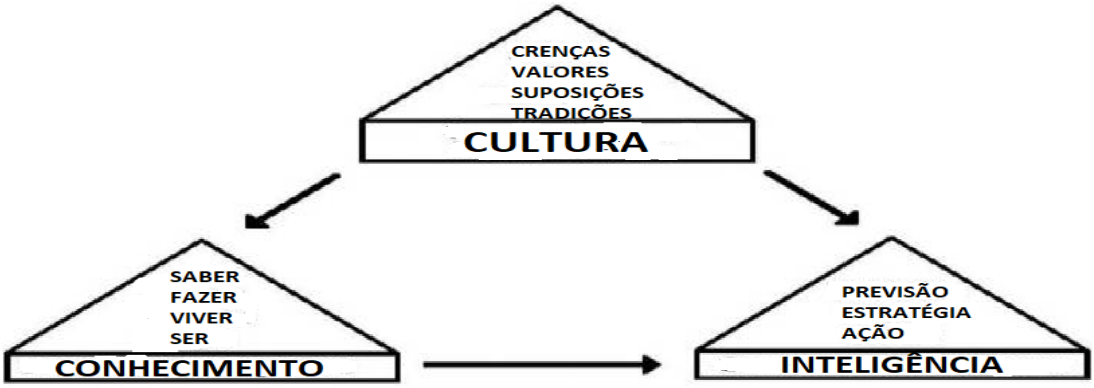
O conhecimento é uma mistura fluida de experiência marcada, valores, informações contextuais e conhecimento especializado que fornece um marco para avaliar e incorporar novas experiências e informações. É originado e aplicado na mente dos conhecedores. O que esta definição deixa imediatamente claro é que o conhecimento não é claro ou simples. É uma mistura de vários elementos; é fluido e formalmente estruturado; é intuitivo e, por isso, difícil de captar palavras ou compreender completamente os termos lógicos (Davenport *et al*., 1998).

A transformação do conhecimento em inteligência é uma operação realizada pela capacidade humana de interpretar, analisar, integrar, prever e atuar. As informações são analisadas no contexto dos padrões, critérios e expectativas pessoais de quem toma as decisões para adquirir conhecimentos. Finalmente, quem toma a decisão aplica-se ao conhecimento de uma situação específica para criar inteligência.

Rothberg e Erickson (2004) afirmam que o conhecimento é construído socialmente por meio de atividades colaborativas, mas o acesso a esse conhecimento não tem sucesso na tomada de decisão, pois o conhecimento sem aplicação é inócuo. Em resumo, o conhecimento é a base da inteligência, e a inteligência é o conhecimento em ação para resolver problemas.

Rothberg e Erickson (2004) sustentam que o conhecimento é estático e, em última instância, só tem valor se as pessoas o utilizam. Choo (2002) define a Inteligência como um ciclo contínuo de atividades que inclui sentir o ambiente, desenvolver conhecimentos e criar significado através da interpretação, utilizando a memória de experiências passadas para atuar sobre as interpretações desenvolvidas. Com base nos fundamentos teóricos anteriores, constrói-se o modelo Cultura-Conhecimento-Inteligência (CCI), que é mostrado na Figura 1.

Figura 1 - o modelo cultura-conhecimento-inteligência



Fonte: Adaptado de Choo (1998)

ISSN impresso: 2238-118X / ISSN online: 2966-1110
Recebido em: 28/02/2025
Aprovado em: 07/04/2025
Publicado em: 07/07/2025

CC BY-NC 4.0

As premissas do modelo CCI são: (i) A cultura é formada por crenças, valores, supostos e tradições de uma sociedade (Shein, 1985); (ii) O argumento central é que, para que a educação tenha sucesso em suas tarefas, o currículo como seu núcleo deve ser reestruturado ou reformulado em torno dos quatro pilares da aprendizagem: aprender a conhecer, aprender a fazer, aprender a conviver e aprender a ser (Nan-Zhao, 2000); e (iii) Os três pilares da inteligência são: previsão, estratégia e ação (Rothberg e Erickson, 2004). O modelo CCI baseia-se em três hipóteses (Quadro 1):

Quadro 1 - Premissas do modelo CCI

Hipóteses	Fontes	Resultados
A cultura tem um impacto positivo no conhecimento	O sucesso da implementação de um sistema de gestão do conhecimento depende estreitamente análise crítica da cultura organizacional existente (de Ré et al., 2017)	SUPORTADO
A mudança cultural tem um impacto positivo na inteligência	A cultura afeta os comportamentos organizacionais e sociais, como as pessoas agirão em uma determinada situação, como o pensamento e a tomada de decisões (Schein, 1985).	SUPORTADO
O conhecimento (GC) tem um impacto positivo na inteligência quando aplicado	Rothberg e Erickson (2004) esclarecem que o que o conhecimento sem aplicação é inócuo. Em síntese, o conhecimento é a base da inteligência, pois inteligência é o conhecimento em ação para resolver problemas.	SUPORTADO

Fonte: Elaboração própria

O modelo CCI mostrou que a relação entre cultura, conhecimento e inteligência. No caso da inundação do Rio Grande do Sul ficou muito claro que a cultura de falta de planejamento (imediatismo) e falta de investimento em melhorias que não atraem votos da população teve um forte impacto no conhecimento, em particular o tácito (experiência prática difícil de articular e então compartilhar e por isso depende muito de confiança, engajamento e identidade social), sobre os meios para diminuir os estragos causados pelas cheias. A inteligência também foi impactada pela cultura já que houve muita dificuldade de transformar a experiência de alguns técnicos e professores-pesquisadores em resultados concretos antes e depois do momento de maior necessidade: a inundação das casas de máquina e a passagem da água sobre os diques de contenção.

5. Gestão do Conhecimento e as Comunidades de Prática

Gestão do Conhecimento é uma tentativa das organizações para capturar, codificar, organizar e redistribuir as formas tácitas de conhecimento da organização e torná-las explícitas (Rothberg; Erickson, 2004). Para lidar com a interdisciplinaridade existente entre os temas relacionados com as inundações se faz necessário a criação de espaços públicos de qualidade

CC BY-NC 4.0
Recebido em: 28/02/2025
Aprovado em: 07/04/2025
Publicado em: 07/07/2025

para colaboração entre pesquisadores, formuladores de política e comunidades e consciência social sobre as mudanças climáticas e suas consequências.

A participação dos cidadãos é crucial para garantir que as soluções implementadas sejam adequadas e aceitas pela comunidade. De fato, hipóteses sobre o comportamento humano e decisões baseadas em previsões qualitativas testáveis dependem do fortalecimento da colaboração interdisciplinar entre diferentes áreas do conhecimento. Importante notar que o índice de vulnerabilidade social de CUTTER serve como indicador para prevenção de danos ambientais (Cutter; Boruff; Shirley, 2012) e ajuda na compreensão dos impactos dos desastres nas comunidades e nos ecossistemas, avaliação das necessidades de recuperação ou deslocamento e desenvolvimento de sistemas de alerta precoce.

Por essas razões e constatações, a prática de gestão do Conhecimento aplicada nesse trabalho é as Comunidades de Prática ou Fóruns Comunitários. Morgado da Silva e Araújo (2019) apontam que os Fóruns Comunitários são uma proposta capaz de contribuir sobremaneira para a construção e exercício da cidadania. Primeiro, porque deve ser um ambiente democrático e participativo onde os conflitos éticos e sociais da comunidade sejam revelados, analisados e debatidos com o intuito de transformar a realidade. Esse ambiente é criado a partir da prática de gestão do conhecimento conhecida como “Comunidades de Prática – CoPs. Porém, o debate deve ser mediado por experts para não causar entendimento incompleto ou uma avalanche de informações.

Oliveira e Villardi (2014) explicam que para estimular a formação de CoPs é preciso considerar, como adverte Gherardi (2003), que as pessoas, suas emoções e desejos influenciam diretamente nas interações sociais e na forma como elas percebem a si mesmas e aos grupos de trabalho. para o autor, as pessoas também são motivadas pela busca do conhecimento como um fim em si mesmo. No entanto, Moura (2009) aponta que a CoP raramente foi estudada sob uma perspectiva crítica, embora

Lave e Wenger (1991) reconhecem a dimensão do poder envolvidos em COPs, e Wenger (2000) recomenda ou não entender os COP com uma visão romântica, pois “São o berço do espírito humano, mas também podem ser suas prisões” (Wenger, 2000, p. 230) Ao participar em contextos de aprendizagem, dialogando com as pessoas, negociando significados a partir das suas experiências profissionais e quotidianas, promovendo os seus processos de reflexão individual e contribuindo para a reflexão dos outros. Assim, a reflexividade, o

CC BY-NC 4.0
Recebido em: 28/02/2025
Aprovado em: 07/04/2025
Publicado em: 07/07/2025

aprendizado e a competência social do grupo se expandem coletivamente, e comunidades de prática (CoP) podem ser estabelecidas nas organizações (Souza-Silva; Davel, 2007)

Três elementos devem estar presentes em uma CoP: domínio, comunidade e prática (a) Domínio, uma CoP apresenta uma identidade definida por um conjunto compartilhado de interesses, membros comprometidos que compartilham competências, aprendem uns com os outros, se destacam e são valorizados por essa competição coletiva, não apenas um clube de amigos; (b) Comunidade, a participação em um COP envolve participar e discutir atividades conjuntas, ajudando-se mutuamente e compartilhando informações entre os membros devido ao interesse pelo domínio que possuem. Para manter isso, os CDPs constroem relacionamentos que permitem que aprendam uns com os outros, mesmo que não trabalhem juntos diariamente; (c) A prática é característica de uma CoP porque nela seus membros são praticantes e compartilham experiências, histórias, ferramentas, formas de resolver problemas, ou seja, realizam uma prática compartilhada (Wenger, 2006) na comunidade é realizado por sua participação progressiva, participando de práticas coletivas por sua "participação periférica legítima" (PPL) que perpetua uma CoP pela qual os aprendizes aprendem e socializam até pouco a pouco serem reconhecidos como membros dessa comunidade (Gherardi *et al*., 1998).

A adesão ao ambiente informal de interação social e a participação coletiva da CoP são importantes para construir, transmitir conhecimento e promover aprendizagem grupal localizada (ancorada) na prática (Gherardi *et al*., 1998). Sugere-se a criação de uma Comunidade de Práticas para discutir as melhores práticas e lições aprendidas para conter as inundações e a designação de um especialista em cada tema (comunidade) para analisar, facilitar, motivar e entregar as propostas para a tomada de decisão. Um dos resultados dessas comunidades de prática é a mudança cultural.

Nesse ponto, segundo De Angelis (2023), é importante destacar três grandes desafios: (i) A criação de uma cultura de troca de conhecimento dentro e fora da administração pública para a cocriação e implementação de políticas, programas, projetos e atividades; (ii) Motivar e facilitar uma expressão concisa e organizada no debate online, usar ferramentas inteligentes especializadas e sistemas para transformar informação em conhecimento (contextualização) e sabedoria (aplicação).

O reconhecimento da importância da participação ativa dos cidadãos, setor privado e funcionários públicos para a criação de novos conhecimentos, bem como de sistemas

CC BY-NC 4.0
Recebido em: 28/02/2025
Aprovado em: 07/04/2025
Publicado em: 07/07/2025

inteligentes e especialistas para facilitar/orientar a colaboração e analisar esse novo conhecimento gerado. A questão da mudança cultural beneficia fortemente um plano de Emergência baseado em práticas de Gestão do Conhecimento (Comunidades de Prática) e Inteligência Organizacional (análise de experts em cada grupo temático).

De Angelis (2024) assinala que os planos de emergência devem ser baseados na seleção de medidas proativas, tanto estruturais (ex. obras de engenharia hidráulica) como não estruturais (ex.; políticas públicas de transferência de conhecimento à sociedade), que reduzirão a potencial perda de vidas e perdas econômicas.

De Angelis e Gomes Júnior (2024) destacam que o software HAZUS do Mapeamento de Riscos de Inundação Associados a Incidentes e Falhas em Barragens do governo americano (FEMA) permite que os planejadores de mitigação usem informações sobre rupturas de barragens para estimar danos potenciais e fazer análises de custo-benefício para as áreas populacionais mais vulneráveis e então permite desenvolver projetos de infraestrutura e esforços de rezoneamento.

Araújo (2024) encontrou que de acordo com a FEMA 40% das empresas não volta a funcionar após ser atingida por uma catástrofe; outras 25% acabam encerrando atividades no período de um ano. Outra questão colocada é a necessidade de desassoreamento da bacia do Taquari, assunto que já se discuti há quarenta anos. Wendland *et al*. (2023) encontraram que materiais sintéticos podem ser concebidos para aumentar a eficiência e a sustentabilidade da produção, armazenamento e uso de energia.

Por exemplo, células solares avançadas, baterias e catalisadores eficientes podem ajudar a reduzir a atual dependência de combustíveis fósseis e mitigar as mudanças climáticas. Com relação ao transporte, em particular o transporte público que é responsável por uma grande emissão de CO2, os custos de produção do hidrogénio verde (renovável) ainda são muito superiores aos do hidrogénio obtido a partir de fontes fósseis, que emite gases com efeito de estufa. Contudo, de acordo com estudos e práticas nesta área, este custo tende a igualar-se ao dos combustíveis fósseis no curto prazo.

O hidrogénio verde é produzido por eletrólise, e a eletricidade provém de fontes de energia renováveis, como solar, eólica, hidráulica, geotérmica, das marés, entre outras. O hidrogénio renovável também pode ser produzido utilizando biogás (em vez de gás natural) ou conversão bioquímica de biomassa, desde que cumpra requisitos de sustentabilidade. Os custos,

CC BY-NC 4.0
Recebido em: 28/02/2025
Aprovado em: 07/04/2025
Publicado em: 07/07/2025

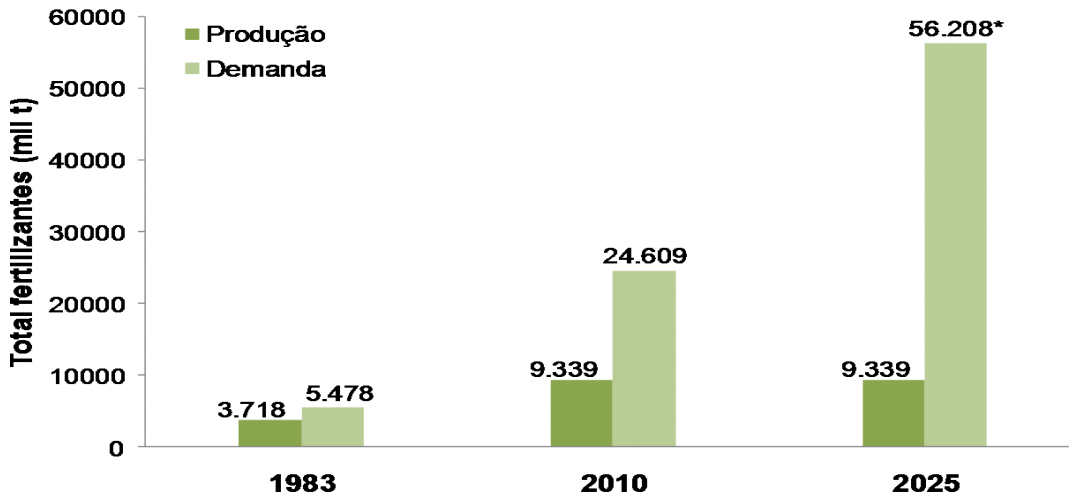
aqueles relacionados com os custos de produção, ainda são muito superiores aos do hidrogénio obtido a partir de fontes fósseis, que emite gases com efeito de estufa.

6. O Modelo Biodinâmico – Hidrodinâmico

A agricultura biodinâmica, com uso de pó de rocha a fim de reduzir a forte necessidade de fertilizantes químicos, tem o potencial de melhorar os indicadores climáticos e então hídricos. Como vimos, os fertilizantes químicos além de contaminar as águas, aumentam o sequestro-estoque de carbono no solo o que ajuda a elevar as temperaturas e então as chuvas. A agricultura biodinâmica, com uso de pó de rocha a fim de reduzir a forte necessidade de fertilizantes químicos, tem o potencial de melhorar os indicadores climáticos e então hídricos.

De acordo com Bergmann e Holand (2023) as técnicas de remineralização de solos, como o uso do pó de rocha, são consideradas rotas alternativas na fertilização de solos empobrecidos por perda de nutrientes. Sua importância é grande em países como o Brasil, que importa cerca de 65% das matérias-primas necessárias à fabricação de fertilizantes e apresenta uma projeção preocupante de demanda sobre produção neste setor, que deverá atingir 83% em 2025 (Figura 2).

Figura 2- Gráfico da produção e demanda de fertilizantes no Brasil



Fonte: ANDA (2011) e adaptado de Martins (2013).

Os modelos hidrodinâmicos são usados em casos de situações de enchentes e alagamentos para prever a densidade da água perto do vertedouro e criar um plano ideal de descarga de inundações. Conforme encontrou Angelis (2014) um plano de emergência depende da variabilidade nas propriedades hidráulicas e hidrológicas, já que os indicadores hidráulicos são impactados pela utilização dos solos e então as alterações climáticas. Nesse trabalho sugere-

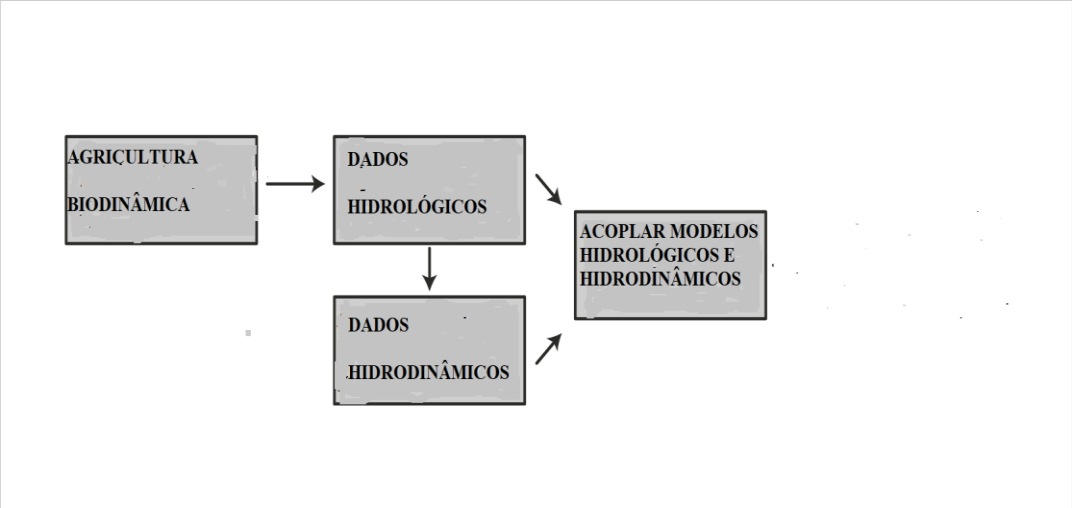
CC BY-NC 4.0
Recebido em: 28/02/2025
Aprovado em: 07/04/2025
Publicado em: 07/07/2025

se as seguintes Comunidades de Prática para compartilhamento de conhecimentos e experiências para melhora do processo decisional:

1. Agricultura e Mudanças Climáticas
2. Modelos hidrodinâmicos e dados necessários
3. Melhora da previsão em casos de inundações
4. Planos de Emergência e relação com a população
5. Estruturas elétricas das casas de máquinas

Com base nessa revisão de literatura, o modelo de relação entre modelo de Agricultura Biodinâmica e o Modelo de Hidrodinâmica é construído (Figura 3):

Figura 3 - Modelo hidrodinâmico



Fonte: Elaboração própria

Importante notar nesse modelo há melhoras dos dados agropecuários hidrológicos e hidrodinâmicos visto a relação com o câmbio climático e até mesmo o respeito ao meio-ambiente.

7. Resultados e discussão

O principal resultado dessa revisão de literatura foi considerar o modelo HydroPol2D como uma solução de baixo custo para a previsão do comportamento hidrológico-hidráulico das bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul, em particular estimar mapas de inundação que contém as profundidades de água nas ruas, quadras, bairros, canais e, por consequência, em toda a bacia hidrográfica.

CC BY-NC 4.0
Recebido em: 28/02/2025
Aprovado em: 07/04/2025
Publicado em: 07/07/2025

E não somente isso. Como vimos, o modelo HydroPol2D pode ser utilizado para avaliar o risco de arrasto de pessoas, gerando mapas de risco a cada 15-minutos que podem ser usados como auxílio a tomada de decisão. No entanto, este trabalho chama a atenção quanto a necessidade de dados das estações pluviométricas e fluviométricas e sugere a melhor estrutura dessas estações, assim como a construção de novas por parte do poder público.

Importante notar que a questão da mudança cultural é ainda mais importante que o próprio modelo HydroPol2D. Isso porque foi percebido o uso de soluções paliativas tanto na enchente de 2023 como na de 2024 que levaram a piora da situação que deixou 151 mortos, mais de 100 desaparecidos e mais de 600 desalojados.

Ficou claro que a Universidade não conseguiu se comunicar com a população, nem antes da tragédia para coletar dados que alimentam os modelos hidrodinâmicos, nem durante a fim de explicar o caminho da água e suas causas e consequências, e nem mesmo pós-inundação para melhorar a capacidade de previsão, estratégia e ação da universidade em parceria com os agentes públicos.

Os alertas meteorológicos de que haveria chuvas fortes foram emitidos com cerca de cinco dias de antecedência pois não houve manutenção nas estruturas existentes para proteção contra inundações, incluindo diques, comportas e bombas, tanto que o sistema colapsou antes de atingir o limite de inundação de 6m. Como vimos, as bombas, inundadas, não foram capazes de bombear a água para fora da cidade devido à falta de capacidade dessas em funcionar com excesso de água.

Obviamente faltou também trabalho em equipe multidisciplinar para melhor gestão da urbanização e a impermeabilização do solo, em particular das comunidades que moram próximos as zonas de inundação. Sem um plano de Gestão do Conhecimento e Inteligência Organizacional houve falta de uma boa comunicação por parte do poder público para instruir a população sobre como reduzir riscos e como agir em emergências.

8. Conclusão

O artigo apresentou dois modelos de pesquisa que se retroalimentam: o modelo Cultura-Conhecimento-Inteligência (CCI) e o modelo de gestão de risco com participação social. O primeiro modelo demonstra a importância do aprendizado com outras culturas, a inteligência cultural, visto inclusive que a questão das inundações é um problema global e então a

CC BY-NC 4.0
Recebido em: 28/02/2025
Aprovado em: 07/04/2025
Publicado em: 07/07/2025

necessidade de troca de conhecimentos e experiências com outros países, em particular a Argentina.

Os efeitos das mudanças climáticas, associados a ocupação de áreas de inundação faz com que eventos como o de maio de 2024 possam ser cada vez mais frequentes. No entanto, a atual capacidade matemática de modelos de previsão permite, com algum intervalo razoável da ordem de alguns dias, prever com certa acurácia o impacto das inundações e servir de base para planos de ação emergencial. Para isso, é necessário um levantamento de dados de elevação, pluviometria, batimetria e outros que sirvam de informações de entrada para modelos de previsão. Estados como Santa Catarina ou Pernambuco contam com informações do tipo. Essas e outras medidas foram sugeridas por pesquisadores do Instituto de Pesquisas Hidráulicas no final de 2023 após as cheias de novembro, no entanto, não foram atendidas pelos órgãos públicos responsáveis.

Pesquisadores também relatam a questão governamental da manutenção das obras (diques de contenção e nas barreiras anti-alagamento). Os sistemas de proteção, especialmente em Porto Alegre, necessitam de intensa mobilização de agentes treinados para a correta operação das comportas e casas de máquinas. A preservação na memória das pessoas sobre os impactos imprecedentes da cheia de 2024 deve não somente servir como alerta a população, mas também se apresentar em ações de adequadas e frequentes de operação e manutenção dos sistemas de proteção.

Paiva *et al*. (2024) recomendam que os projetos de infraestrutura e o planejamento sejam adaptáveis e flexíveis, e que facilitem ou não inviabilizem sua ampliação (e.g. largura de pontes, seções de bueiros, cota de coroamento de barragens e diques), possibilitando assim considerar futuros aumentos dos valores de referência, dado um certo risco associado aos eventos hidrológicos extremos.

O treinamento das equipes responsáveis do manejo dos sistemas de proteção de maneira frequente e não somente em eventos de cheia deve ser prioridade. Esse trabalho tem a intenção de buscar diretrizes para uma solução sem necessariamente encontrar culpados. A população afetada é quem mais sofre pois deve se deslocar de áreas outrora estáveis, e então traz a importância da inteligência e seus três pilares 1. previsão (de responsabilidade do modelo hidrodinâmico), 2. estratégia e ação (de responsabilidade do plano de emergência com participação social).

CC BY-NC 4.0
Recebido em: 28/02/2025
Aprovado em: 07/04/2025
Publicado em: 07/07/2025

Conforme discutido nesse trabalho se faz necessário uma melhor relação entre a Universidade e o governo com a participação da população a fim de que os detentores de conhecimento e experiência possam ter melhores dados hidrológicos, não somente da chuva, mas também nível d'água em todo o sistema de infraestrutura das cidades a fim de alimentar seus modelos de previsão, estratégia e ação. Ademais é preciso um plano de emergência padrão para todo Estado que possa ser replicado em todo Brasil, considerando a educação da população em particular a ribeirinha e fluvial.

Referências

ARAÚJO. L. Emergência climática traz necessidade de mudança em parâmetros de risco de desastres. **Jornal do Comércio**. 2024. Disponivel em: https://www.jornaldocomercio.com/cadernos/empresas-e-negocios/2024/05/1155968-emergencia-climatica-traz-necessidade-de-mudanca-em-parametros-de-risco-de-desastres.html. Acesso em: 10 dez. 2024.

ARSENAULT, R. *et al*. Streamflow prediction in ungauged basins: analysis of regionalization methods in a hydrologically heterogeneous region of Mexico. **Hydrological Sciences Journal**, v. 64, n. 11, p. 1297 – 1311, 2019.

BAO, Z. *et al*. Comparison of regionalization approaches based on regression and similarity for predictions in ungauged catchments under multiple hydro-climatic conditions. **Journal of Hydrology**, v. 466, p. 37 – 46, 2012.

BRUNNER, G. W. **HEC-RAS river analysis system, 2D modeling users' manual**. U.S. Army Corps of Engineer, Institute for Water Resource, Hydrologic Engineering Center. 2016.

CHOO, C.W. **The Knowing Organisation**. Oxford University Press, New York, NY. 1998.

CUTTER, S.; BORUFF, B.; SHIRLEY, L. "Social vulnerability to environmental hazards". **Social Science Quarterly**, v. 84, n. 2, 2003.

DAVENPORT, T.H.; PRUSAK, L. **Working Knowledge**. 2ª ed. Harvard Business School Press, Boston, MA. 2000.

DE ANGELIS, C. T. GOMES JÚNIOR, M. N. Uma sugestão de modelo hidrodinâmico para prever e gerir inundações. **Jornal do Comércio**. 2024. Disponível em: https://www.jornaldocomercio.com/opiniao/2024/07/1160994-uma-sugestao-de-modelo-hidrodinamico-para-prever-e-gerir-inundacoes.html. Acesso em: 10 dez. 2024.

DE ANGELIS, C. T. Um modelo e Plano de Emergência Padronizado para as inundações. **Jornal do Comércio**. 2024. Dispononível em: https://www.jornaldocomercio.com/opiniao/2024/07/1165074-um-modelo-e-plano-de-emergencia-padronizado-para-as-inundacoes.html. Acesso em: 10 dez. 2024.

CC BY-NC 4.0
Recebido em: 28/02/2025
Aprovado em: 07/04/2025
Publicado em: 07/07/2025

DE ANGELIS, C. T. Um plano de educação ambiental baseado na educação infantil, participação social: um estudo de caso na Aldeia Terere em Sidrolândia. **Revista Ambientale**, v.15, n. 4. 2023. DOI: 10.48180/ambientale.v15i4.535

DO LAGO, C. *et al*. Improving pluvial flood mapping resolution of large coarse models with deep learning. **Hydrological Sciences Journal**, v. 69, n. 5, p. 607 – 621, 2024. DOI: 10.1080/02626667.2024.2329268

FASSONI-ANDRADE, A. C. *et al*. High-resolution mapping of floodplain topography from space: A case study in the Amazon. **Remote Sensing of Environment**, v.251, 2020.

FASSONI-ANDRADE, A. C. *et al*. Seasonal to interannual variability of the tide in the Amazon estuary. **Continental Shelf Research**, v. 255, 2023.

GETIRANA, A. *et al*. The hydrological modeling and analysis platform (HyMAP): evaluation in the Amazon basin. **Journal of Hydrometeorology**, v.13, p. 1641–1665, 2012.

GOMES JÚNIOR, M. N. *et al*. HydroPol2D — Distributed hydrodynamic and water quality model: Challenges and opportunities in poorly-gauged catchments. **Journal of Hydrology**, v. 625, 2023. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2023.129982

GOMES JÚNIOR, M. N. *et al*. Global optimization-based calibration algorithm for a 2D distributed hydrologic-hydrodynamic and water quality model. **Environmental Modelling & Software**, v. 179, 2024. DOI: 10.1016/j.envsoft.2024.106128

GUIDOLIN, M. *et al*. A weighted cellular automata 2D inundation model for rapid flood analysis. **Environmental Modelling & Software**, v.84, p. 378 – 394, 2016. DOI: 10.1016/j.envsoft.2016.07.008

HU, D. *et al*. An implicit 1D-2D deeply coupled hydrodynamic model for shallow water flows. **Journal of Hydrology**, v. 631, 2024. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2024.130833

JILLO, A. Y. *et al*. Characterization of regional variability of seasonal water balance within Omo-Ghibe River Basin, Ethiopia. **Hydrological Sciences Journal**, v. 62, n. 8, p. 1200–1215, 2017.

KROEBER, A. L. The Concept of Culture in Science. **The Journal of General Education**, v. 3, n. 3, p. 182-196, 1949.

LI, G. *et al*. A combined hydrodynamic model and deep learning method to predict water level in ungauged rivers. **Journal of Hydrology**, v. 625, 2023. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2023.130025

LONG, Y. *et al*. Improving streamflow simulation in Dongting Lake Basin by coupling hydrological and hydrodynamic models and considering water yields in data-scarce areas. **Journal of Hydrology**: **Regional Studies**, v 47, 2023. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2023.130025

CC BY-NC 4.0
Recebido em: 28/02/2025
Aprovado em: 07/04/2025
Publicado em: 07/07/2025

MORGADO DA SILVA, M., ARAÚJO, U. Aprendizagem-serviço e fóruns comunitários: articulações para a construção da cidadania na educação ambiental. **Revista de Educação Ambiental**, v. 24, n. 1. 2019. DOI: 10.14295/ambeduc.v24i1.8157

NONNEMACHER, L.; FAN, F. Análise da viabilidade econômica da previsão de cheias no Rio Grande do Sul. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 20, e8, 2023. DOI: 10.21168/rega.v20e8

PAIVA, R. *et al*. Critérios hidrológicos para adaptação à mudança climática: Chuvas e cheias extremas na Região Sul do Brasil. **Relatório IPH-UFRGS**. 2024. Disponivel em: https://www.ufrgs.br/iph/wp-content/uploads/2024/05/CriteriosAdaptacaoMudancaClimaticaChuvasCheiasExtremasSul.pdf. Acesso em: 10 dez. 2024.

RENNÓ, C.D.; SOARES, J. V. Modelos hidrológicos para gestão ambiental. Cursos INPE. 2022. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/geopro/modelagem/relatorio_modelos_. Acesso em: 10 dez. 2024.

ROSMAN, P. C.C. Um Sistema Computacional de Hidrodinâmica Ambiental. *In*: ROSMAN, P. C.C. (Org.). **Métodos Numéricos em Recursos Hídricos**. Editora ABRH e Fundação COPPETEC, 2001.

ROTHBERG, H. N. ERICKSON, G. S. **From Knowledge to Intelligence**: Creating Competitive Advantage in the Next Economy. Routledge, 2004.

SCHEIN, E. H. **Organizational Culture and Leadership**. San Francisco: Jossey-Bass Publishers. 1985.

STOKES OCEANOGRAFIA. **Estudos sobre modelos hidrodinâmicos**. 2023. Disponível em: http://stokesoceanografia.com.br/2020/08/07/modelos-hidrodinamicos1/. Acesso em: 10 dez. 2024.

YANG, L, *et al*. Effects of the Three Gorges Dam on the downstream streamflow based on a large-scale hydrological and hydrodynamics coupled model. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 40, 2022. DOI: 10.1016/j.ejrh.2022.101039

CC BY-NC 4.0
Recebido em: 28/02/2025
Aprovado em: 07/04/2025
Publicado em: 07/07/2025