

## **SIMULAÇÕES EXPERIMENTAIS DE DERRAMAMENTO DE POLUENTES**

### **A MONTANTE DE PORTO ALEGRE**

*Elisa Bolzan Steinke<sup>1\*</sup>; Fernando Mainardi Fan<sup>1</sup>;*

**RESUMO** – Acidentes que acarretam derramamentos de poluentes em rios podem afetar a segurança ao uso da água pela sociedade, além de gerar diversos problemas ao meio aquático. Grande parte das cidades, incluindo Porto Alegre, carece de um sistema de previsão de alerta para esses acontecimentos específicos em rios. A partir de um trabalho de conclusão de curso, iniciou-se o desenvolvimento de uma proposta de sistema para simular a dispersão de poluentes até a chegada ao Delta do Jacuí, usando dados simulados pelo modelo hidrológico-hidrodinâmico MGB-IPH compatibilizados para o modelo HEC-RAS através de uma rotina. O objetivo desse trabalho foi apresentar o desenvolvimento desse sistema e os resultados de experimentos realizados no rio Jacuí. Escolheu-se adotar para os experimentos três coeficientes de dispersão fixos e um calculado internamente pelo HEC-RAS. Os resultados evidenciaram a importância da definição correta desses coeficientes, mostrando a sensibilidade em cada experimento para alterações deles. Os testes iniciais deste trabalho contaram com incertezas na simulação hidráulica, logo, como recomendação para desenvolvimentos seguintes da ferramenta destaca-se a melhor calibração da parte hidráulica. Com os resultados demonstrados nos experimentos, procurou-se contribuir com futuros trabalhos que objetivem a criação de um sistema para monitoramento e alerta para a região.

**ABSTRACT**– Accidents involving pollutant spills in rivers can affect the safety of society's use of water, in addition to various problems for the aquatic environment. Most cities, including Porto Alegre, lack a warning system for these events in rivers. From a conclusion's of course work, the development of a system proposal to simulate the dispersion of pollutants until the arrival in the Jacuí Delta was started, using data simulated by hydrodynamic-hydrodynamic model MGB-IPH compatibilized for the HEC-RAS model through a routine. The objective was to present the development of this system and the results of experiments carried out in the Jacuí River. It was chosen to adopt for the experiments three fixed dispersion coefficients and one calculated internally by HEC-RAS. The results evidenced the importance of correct definition of these coefficients, showing the sensitivity in each experiment for their changes. The initial tests of this work had uncertainties in the hydraulic simulation, so as a recommendation for the following developments of the tool stay the best calibration of the hydraulic part. With the results demonstrated in the experiments, it was tried to contribute with future works that aim at the creation of a system for monitoring and alert to the region.

**Palavras-Chave** – Dispersão de Poluentes, MGB-IPH, HEC-RAS

---

<sup>1</sup> Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/Brasil.  
\*elisa.b.steinke@gmail.com

## INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos estão relacionados com o desenvolvimento e segurança da civilização humana desde os primórdios da organização em sociedades. No Brasil estão localizadas bacias de grande destaque pela sua área de drenagem e volume escoado, entretanto, é lembrado também pela péssima qualidade da água de muitos dos seus rios. O estado do Rio Grande do Sul conta com três, dentre os dez rios mais poluídos do país, rio dos Sinos, rio Gravataí e rio Caí (IBGE, 2013).

Derramamentos de poluentes podem afetar significativamente a qualidade da água de um rio, e seu tratamento depende de bom conhecimento dos parâmetros de qualidade encontrados na água captada. Mesmo diante da importância dessa informação para garantia de segurança ao abastecimento da população, indústrias, agricultura e de preservação do meio ambiente, na cidade de Porto Alegre não existe um sistema operacional que simule de forma rápida e efetiva eventuais despejos em os rios que desaguam no delta do Jacuí. Para esse trabalho, despejos e derramamentos são considerados a queda de poluente de forma pontual e esporádica no corpo hídrico, por exemplo, os ligados a acidentes com tombamento de caminhões, trens e transporte hidroviários.

A partir dessa lacuna, foi feito um estudo de desenvolvimento de uma ferramenta para simulação da dispersão de poluentes de lançamentos pontuais que possam vir a atingir a região da cidade de Porto Alegre. Foi testado o protótipo baseado no acoplamento do Modelo Hidrológico de Grandes Bacias, MGB-IPH (Collischonn e Tucci, 2001; Fan e Collischonn, 2014) e do modelo HEC-RAS (HEC, 2016). O modelo hidrológico MGB-IPH já foi usado com sucesso em diversas bacias do Brasil e continente, sendo adequado para gerar os dados necessários a simulação no modelo de qualidade do HEC-RAS.

Nesse contexto, o desenvolvimento de novas técnicas com auxílio de diferentes ferramentas computacionais é de suma importância para prever impactos ambientais e garantir a segurança ao uso da água pela sociedade. Com o acoplamento dos dois modelos, é possível também efetuar outras simulações que auxiliem o planejamento de estratégias para reduzir os efeitos da poluição nas águas dos rios que nos cercam.

## MÉTODOS

### Área de estudo

A bacia hidrográfica do Guaíba é composta pelas seguintes bacias hidrográficas: Alto Jacuí, Baixo Jacuí, Pardo, Vacacaí, Taquari-Antas, Caí, Sinos e Gravataí. Elas estão localizadas no estado do Rio Grande do Sul. Nessa região se encontram cidades com importância econômica para o estado, como Caxias do Sul, Bento Gonçalves e região metropolitana de Porto Alegre, apresentando intenso transporte de matéria prima, combustíveis e produtos nas rodovias.

### Simulação extraída do MGB-IPH

A área a montante de Porto Alegre, escolhida para os experimentos de dispersão de poluentes, está contida dentro de uma bacia mais abrangente, da Lagoa dos Patos. Essa bacia foi estudada e calibrada nas simulações encontradas em Lopes (2015) e Lopes (2018). Os resultados simulados no período de 1990 a 2010 na etapa de calibração do trabalho foram selecionados para a continuação dos estudos com o HEC-RAS.

### **Pontos de possíveis acidentes**

Acidentes com derramamentos nos rios costumam acontecer em pontes de rodovias ou ferrovias. A FEPAM disponibiliza em seu site o registro de 681 acidentes que ocorreram desde 1994 até abril de 2017 no Estado do Rio Grande do Sul. Foram escolhidos com essa base de locais dos acidentes os pontos para simular os experimentos. Poluentes comuns encontrados nesses registros foram: óleo, diesel, gasolina, ácidos diversos, tintas, entre outros.

### **Simulação no HEC-RAS**

Os dados exportados do MGB-IPH forneceram os dados hidráulicos necessários para simular os trechos de rios das bacias, a geometria foi arbitrada como retangular. Pontos com área de drenagem menor que 1750 km<sup>2</sup> não foram extraídos e as seções nos rios foram interpoladas a cada quilômetro. Foi mantido o coeficiente de Manning padrão do programa 0,035. Neste trabalho optou-se por usar a ferramenta de cálculo do coeficiente de dispersão interna do HEC-RAS, além de fixar outros coeficientes para verificar a sensibilidade da simulação a sua alteração, sem uso de outras equações. Os constituintes do derramamento foram considerados poluentes conservativos.

### **Experimentos realizados**

Neste trabalho a proposta foi analisar os testes realizados no rio Jacuí, atentando para mais detalhes encontrados, mas ainda fazendo algumas comparações com os outros testes. Experimentos em outros cinco rios podem ser encontrados em Steinke (2018). Em todos os experimentos foi definido simular o derramamento pontual e instantâneo de dez toneladas de poluente conservativo, por ser uma massa comumente encontrada em carregamentos com caminhões. O percurso simulado foi desde o ponto escolhido até a chegada ao delta do Jacuí. Essa distância foi medida com o auxílio do Google Earth e a própria geometria esquemática da rede gerada no HEC-RAS, podendo-se definir assim o número da seção na qual seria injetada a massa de poluente.

Pelo programa foi informada a localização (número do rio, trecho e seção), data e hora, massa em gramas e tempo instantâneo. As datas foram escolhidas com base no hidrograma gerado após simulação hidráulica, contemplando uma vazão menor e outra maior no período de seis meses simulado. O tamanho da célula para simulação da qualidade escolhido foi 1000m por ser, aproximadamente, a distância entre as seções já predefinidas. Já as condições de contorno foram ajustadas em todos os experimentos para zero em todos os locais, ou seja, a concentração do poluente, antes do experimento, é zero em todos os rios. Os coeficientes de dispersão fixos

escolhidos foram 2, 5 e 20. Para a quarta simulação em cada data foi utilizada a ferramenta de cálculo do HEC-RAS, que utiliza a equação de Fischer (1975) para calcular este coeficiente de dispersão entre um intervalo escolhido, de 2 a 100 m<sup>2</sup>/s.

## RESULTADOS

O mapa com a localização do ponto de lançamento, próximo à ponte da rodovia BR-471, e o ponto de chegada ao delta do Jacuí pode ser visto abaixo na Figura 01. A distância medida foi de 87 km até o encontro com o rio Taquari em Triunfo, mais 50 km até o delta, totalizando 137 km a serem percorridos.



Figura 1: Local de lançamento e chegada do derramamento no rio Jacuí.

A primeira data escolhida foi 30 de março 1990 dentro do período de seis meses, o hidrograma gerado pode ser visto na Figura 02 abaixo. Os polutogramas a seguir mostram, a cada quatro horas, o local da pluma de poluentes e a concentração ao longo da distância percorrida no rio Jacuí, identificado por 1-2586 até Triunfo, acima do gráfico e seguindo pelos trechos identificados por 1-2588 e 1-2591, até o delta do Jacuí.

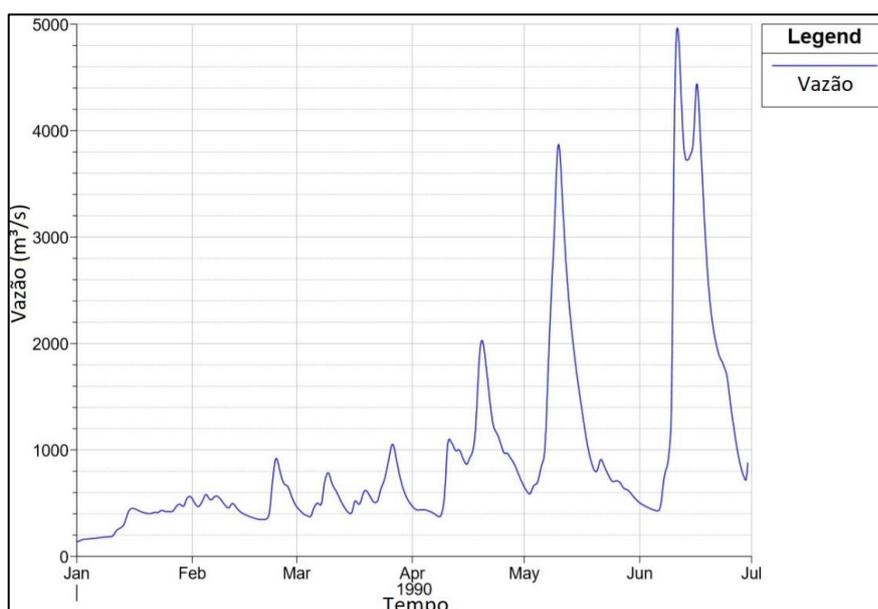


Figura 2: Hidrograma gerado pelo HEC-RAS do rio Jacuí próximo à cidade de Rio Pardo.

Para esse teste, o pico de concentração no encontro com o rio Taquari, na cidade de Triunfo, foi após, aproximadamente, 52 horas. Já o pico de concentração, no delta, próximo a Porto Alegre, ocorreu 82 horas após o lançamento. Na simulação do dia 30 de março, para o coeficiente de dispersão fixo escolhido de 2 m<sup>2</sup>/s (Figura 3) a concentração na chegada do delta foi de aproximadamente 0,32 mg/l, reduzindo muito pouco para o coeficiente de 5 m<sup>2</sup>/s (Figura 3), e atingindo aproximadamente 0,27 mg/l com o coeficiente de 20 m<sup>2</sup>/s (Figura 4). Entretanto, utilizando-se a ferramenta de cálculo interna do HEC-RAS (Figura 5) a concentração atingiu, aproximadamente, 0,16 mg/l, evidenciando que o coeficiente de dispersão utilizado deveria ser maior. A montante da cidade de Triunfo, no rio Jacuí, para a simulação com o coeficiente calculado pelo HEC-RAS, a concentração variou de 1,48 mg/l após 6 horas do derramamento até 0,48 mg/l próximo ao encontro com o rio Taquari.

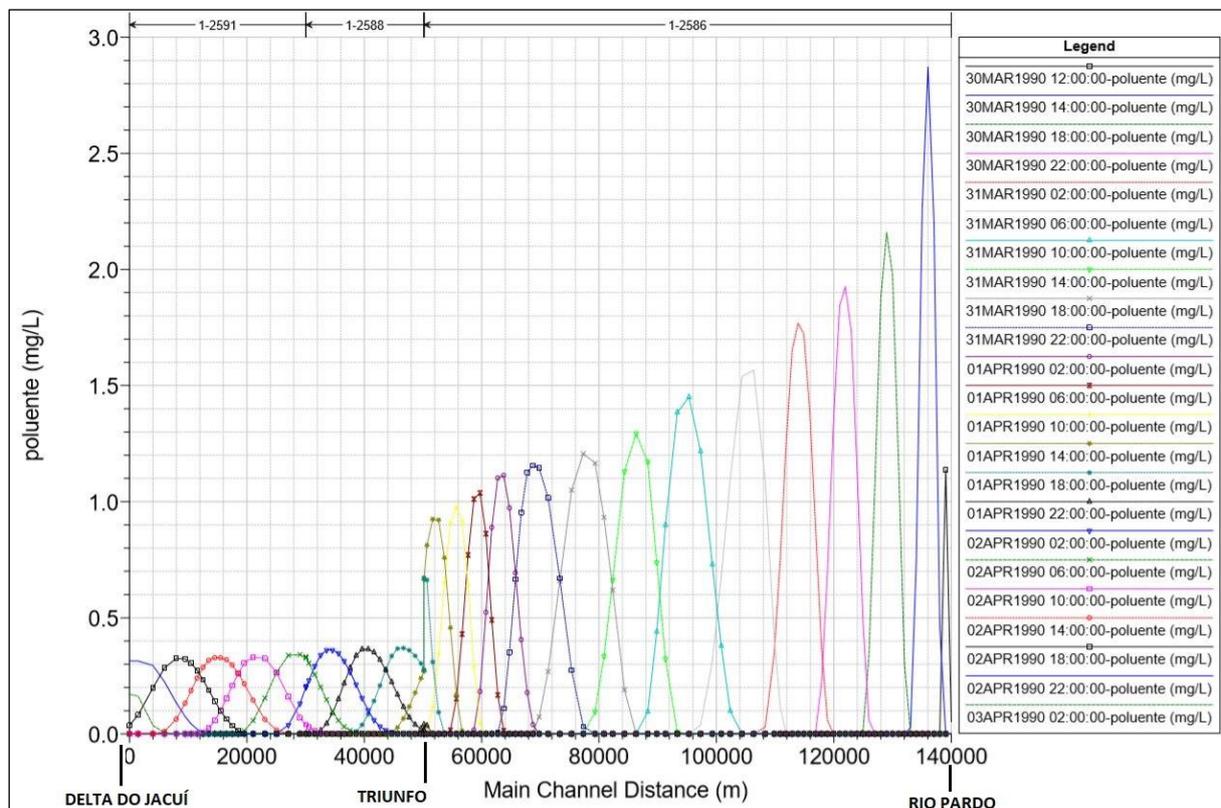


Figura 3: Polutograma do derramamento em 30 de março de 1990 às 12h próximo à cidade Rio Pardo no rio Jacuí com coeficiente de dispersão de 2 m<sup>2</sup>/s ou 5 m<sup>2</sup>/s.

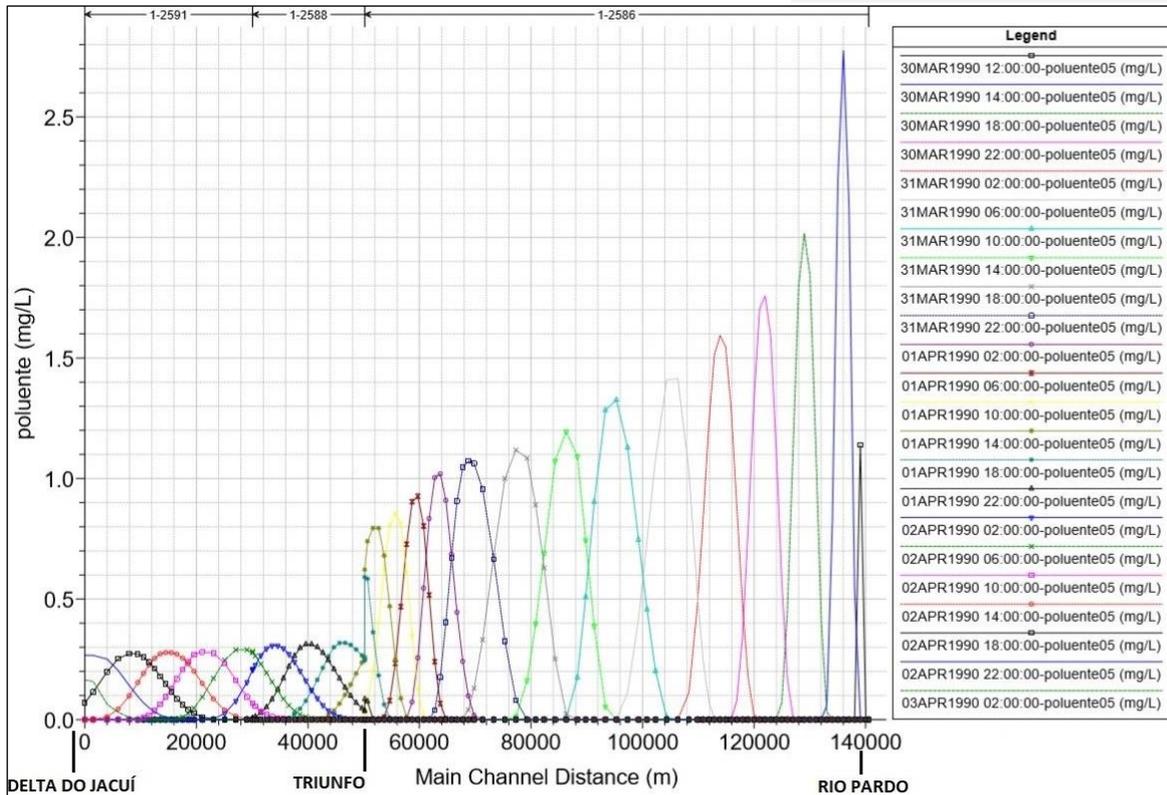


Figura 4: Polutograma do derramamento em 30 de março de 1990 às 12h próximo à Rio Pardo no rio Jacuí com coeficiente de dispersão de 20 m<sup>2</sup>/s.

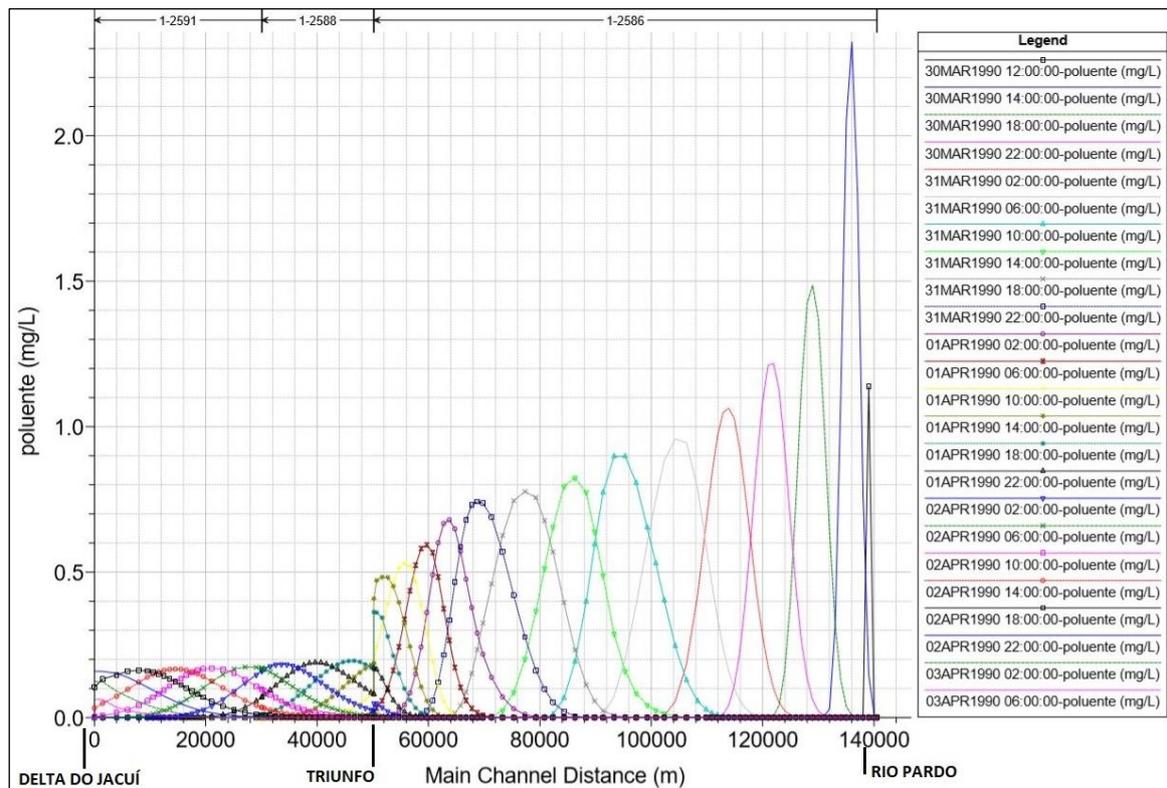


Figura 5: Polutograma do derramamento em 30 de março próximo à cidade Rio Pardo no rio Jacuí utilizando-se coeficiente de dispersão calculado pelo HEC-RAS no intervalo de 2 a 100 m<sup>2</sup>/s.

Para o derramamento de dez toneladas de poluente no dia 09 de junho ao meio dia, o pico de concentração no encontro com o rio Taquari, na cidade de Triunfo, foi após, aproximadamente, 24 horas. Já pico de concentração, no delta, próximo a Porto Alegre, ocorreu 34 horas após o

lançamento. Na simulação com coeficiente de dispersão fixo escolhido de 2 m<sup>2</sup>/s (Figura 6), a concentração na chegada do delta foi de aproximadamente 0,11 mg/l, reduzindo muito pouco para o coeficiente de 5 m<sup>2</sup>/s (Figura 6), e atingindo 0,10 mg/l com o coeficiente de 20 m<sup>2</sup>/s (Figura 7). Utilizando-se a ferramenta de cálculo interna do HEC-RAS (Figura 8) a concentração também ficou muito próxima de 0,11 mg/l, evidenciando que o coeficiente de dispersão calculado está próximo de 5 m<sup>2</sup>/s, visto que concentrações em outros horários também são semelhantes nos dois polutogramas. A montante da cidade de Triunfo, no rio Jacuí, para a simulação com o coeficiente calculado pelo HEC-RAS a concentração variou de 1,18 mg/l após 6 horas do derramamento até 0,54 mg/l próximo ao encontro com o rio Taquari.

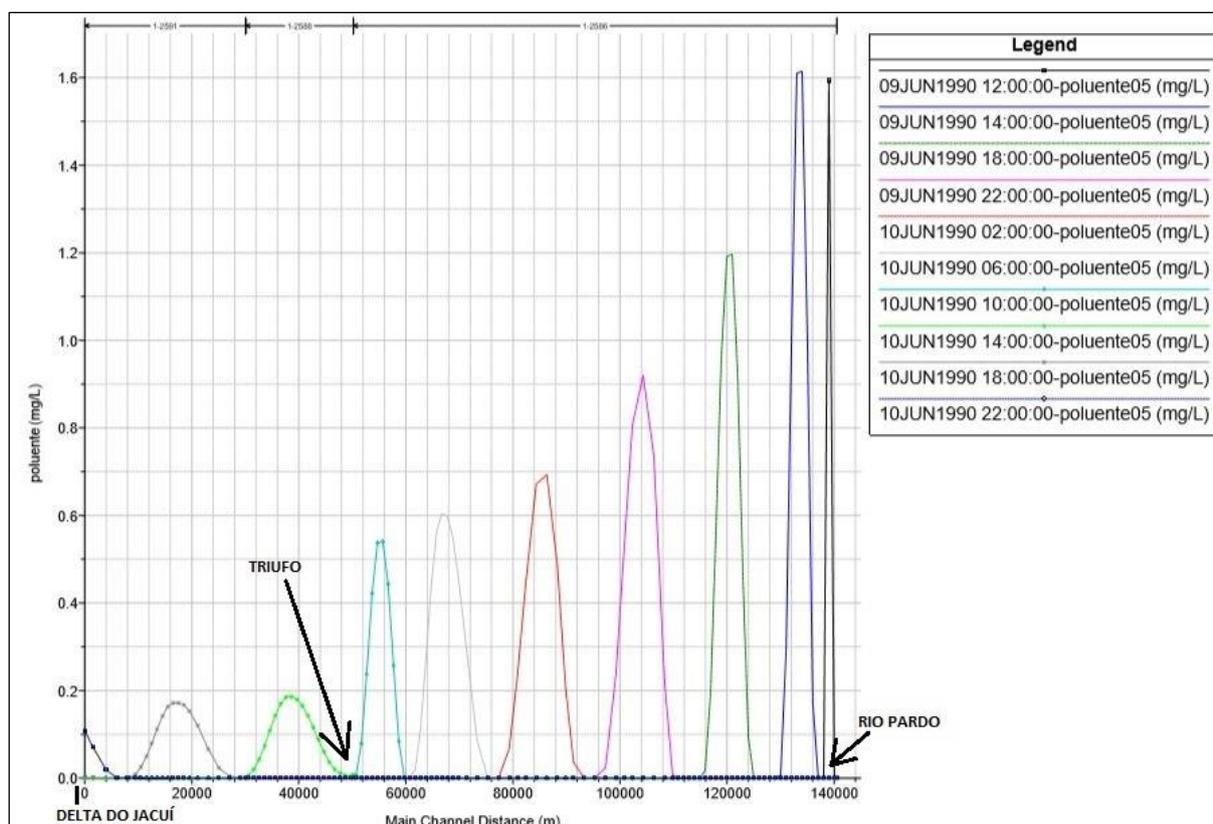


Figura 6: Polutograma do derramamento em 09 de junho de 1990 às 12h próximo à cidade Rio Pardo no rio Jacuí com coeficiente de dispersão de 2 m<sup>2</sup>/s e 5 m<sup>2</sup>/s.

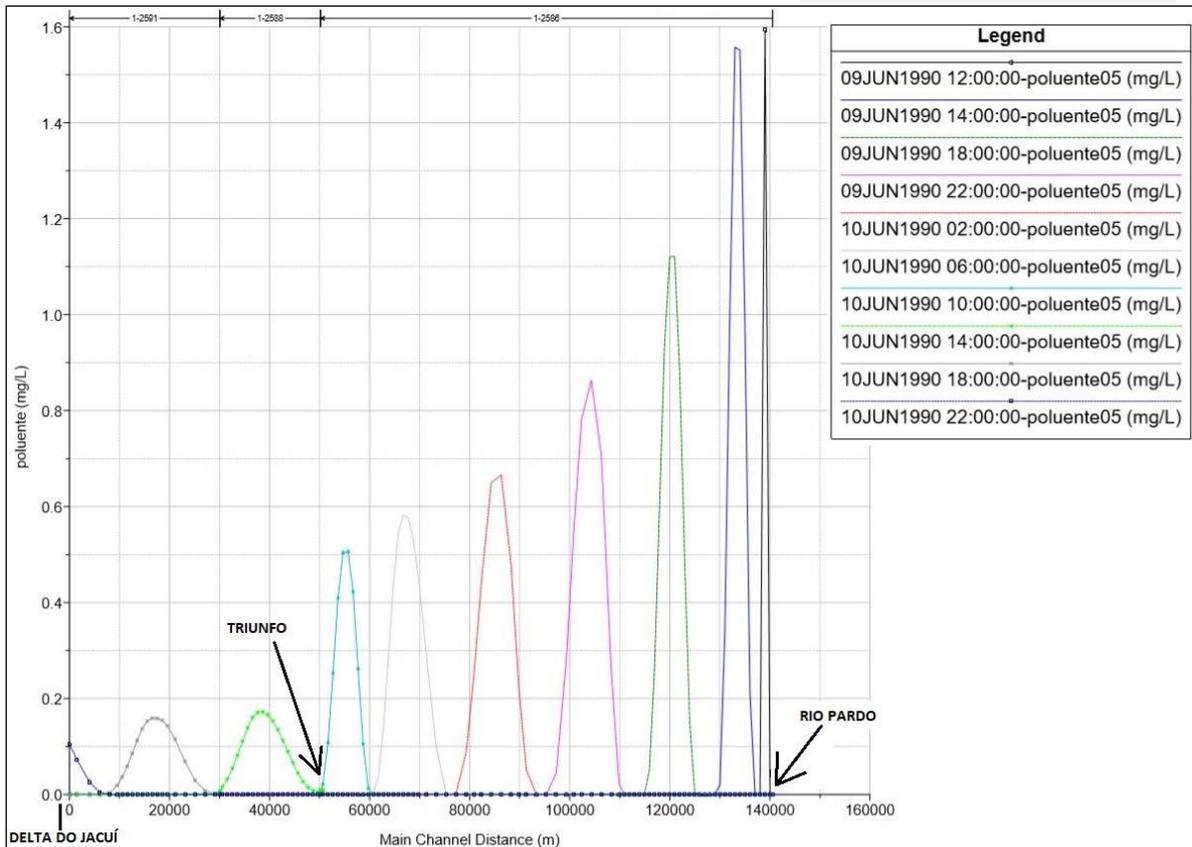


Figura 7: Polutograma do derramamento em 09 de junho de 1990 às 12h próximo à cidade Rio Pardo no rio Jacuí com coeficiente de dispersão de 20m<sup>2</sup>/s.

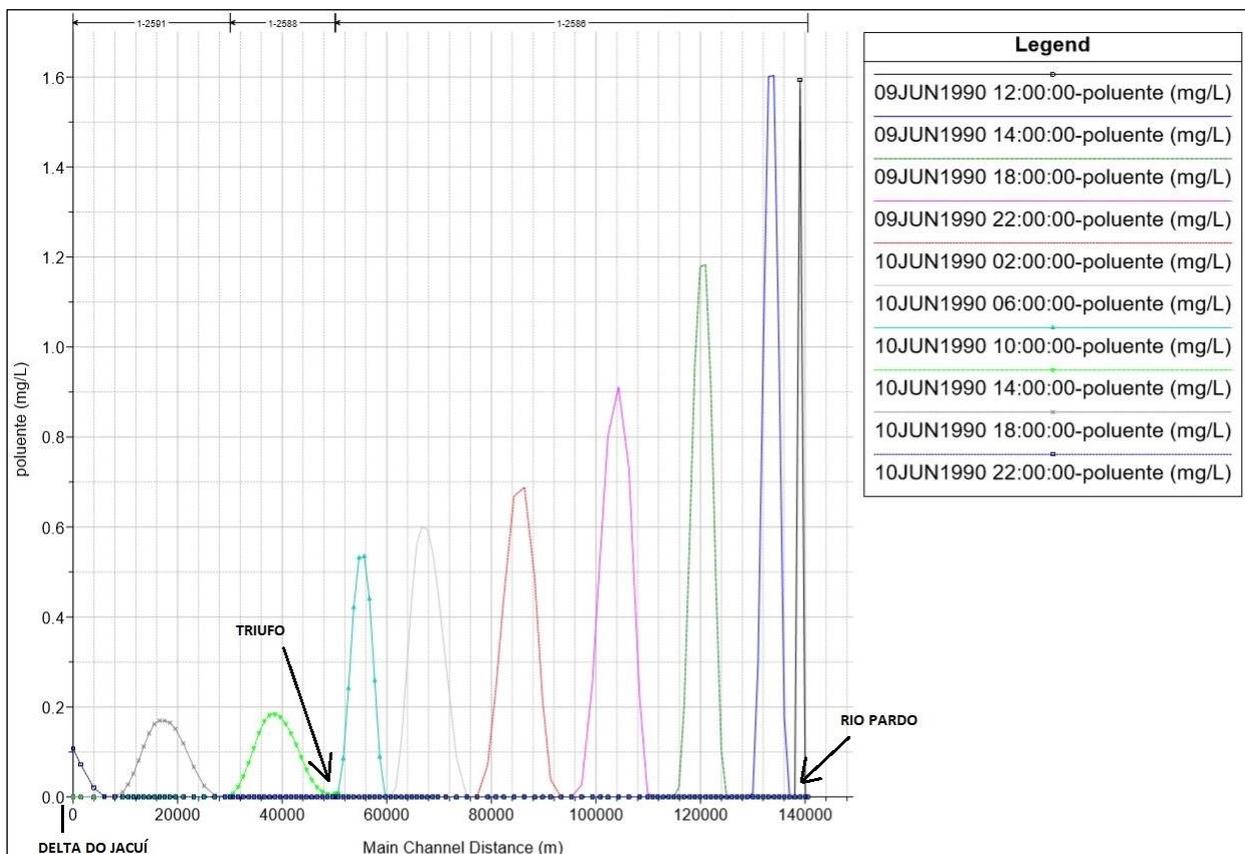


Figura 8: Polutograma do derramamento em 09 de junho próximo à cidade Rio Pardo no rio Jacuí utilizando-se coeficiente de dispersão calculado pelo HEC-RAS no intervalo de 2 a 100 m<sup>2</sup>/s.

Pode ser verificado que o tempo total de deslocamento das plumas de poluentes não sofreu interferência do coeficiente de dispersão, sendo semelhante nos testes feitos na mesma data para o mesmo rio. Quanto a sensibilidade à variação do coeficiente de dispersão, os experimentos tiveram pequena redução na concentração ao longo do percurso ao se comparar os polutogramas de coeficiente de dispersão de 2 para 5 m<sup>2</sup>/s, indicando baixa sensibilidade. Ao alterar-se para 20 m<sup>2</sup>/s houve redução perceptível na concentração ao chegar ao delta nas duas datas. Pode-se verificar maior sensibilidade no experimento com vazão menor. Percebendo-se a sensibilidade das simulações a alterações nos coeficientes, é reforçada a importância de definir adequadamente este coeficiente para correta representação da pluma. A seguir, a Tabela 01 resume os resultados encontrados.

Derramamento no rio Jacuí- próximo à cidade de Rio Pardo				
Data	Coefficiente de dispersão (m <sup>2</sup> /s)	Concentração no delta (mg/l)	Tempo de Deslocamento (h)	Distância (km)
30/mar/90 vazão baixa	2,00	0,32	82	137
	5,00	0,32	82	137
	20,00	0,27	82	137
	calculado	0,16	82	137
09/jun/90 vazão alta	2,00	0,11	34	137
	5,00	0,11	34	137
	20,00	0,10	34	137
	calculado	0,11	34	137

Tabela 1: Resumo de resultados da simulação no rio Jacuí.

## DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Os experimentos no rio Jacuí mostram de que forma os resultados da simulação no HEC-RAS podem ser apresentados com geração na própria interface. Após comparação entre os polutogramas de simulações com diferentes coeficientes de dispersão visualiza-se a sensibilidade desse coeficiente em cada rio com duas situações diferentes de vazão. Ele mostrou-se um parâmetro de grande importância para simulação confiável da dispersão dos poluentes. Quando superestimado, gera resultados de concentração que são abaixo dos reais, entretanto, apresenta tempos menores para primeiras detecções no ponto final.

Com o sistema de acoplamento de dados oriundos da simulação do MGB-IPH para o software HEC-RAS, o trabalho demonstrou ser possível usar dessa solução tecnológica de forma experimental testando a simulação da dispersão de poluentes nos rios que desaguam no delta do Jacuí. Os testes foram feitos em um ponto de possíveis acidentes com derramamento, servindo como um primeiro passo no desenvolvimento de uma futura ferramenta de sistema de alerta para derramamento de poluentes a montante de Porto Alegre, mais precisamente o Delta do Jacuí.

Esses dois modelos foram escolhidos para os primeiros testes dessa ferramenta com a justificativa de disponibilidade de forma livre internet e constante atualização. O funcionamento dos

primeiros experimentos reforça a hipótese de que eles são ferramentas apropriadas para o desenvolvimento de um futuro sistema de alerta para derramamentos de poluentes nos rios que chegam ao delta do Jacuí. Diversas etapas ainda precisam ser desenvolvidas para validar um futuro um sistema de qualidade, que também poderia ser estudado para outras bacias, visto que muitas outras já têm uma boa calibração no MGB-IPH.

Ainda não foi possível comparar os resultados da dispersão de poluentes com ocorrências reais, visto que há incertezas na simulação hidráulica devido a não calibração. Para essa análise também são necessários dados medidos e informações confiáveis sobre derramamentos. Visando a aproximação com acidentes verídicos, os testes procuraram se adequar às condições comuns com derramamento de poluentes em rio, como em pontes de rodovias e usando a massa de tombamento a capacidade de caminhões de carga comum.

Esse trabalho se inspirou na lacuna existente para um diagnóstico de risco preciso diante de acidentes em bacias que drenem para o delta do Jacuí e posteriormente para o Lago Guaíba, fonte de abastecimento de água para cidade de Porto Alegre. O desenvolvimento desse trabalho procurou realizar os testes e estudos iniciais que auxiliem futuros trabalhos para criação de um sistema de alerta para a cidade de Porto Alegre e outras dentro dessas bacias.

## REFERÊNCIAS

- COLLISCHONN, W. (2001) Simulação Hidrológica de Grandes Bacias. (Tese Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Porto Alegre (RS). Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- COLLISCHONN, W., TUCCI, C. E. M. (2001) Simulação hidrológica de grandes bacias. Revista Brasileira de Recursos Hídricos.
- FAN, Fernando Mainardi; COLLISCHONN, Walter (2014) Integração do modelo MGB-IPH com sistema de informação geográfica. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 19, n. 1, p. 243-254
- FISCHER H. B. (1975) Discussion of a simple method for predicting dispersion in streams, by R.S. McQuivey and T.N. Keifer. J Environ Eng Div ASCE, v.5, p. 101:45.
- HEC (2016). *HEC-RAS River Analysis System, User's Manual, Version 5.0*, CPD-68, February, 2016. Hydrologic Engineering Center, Institute for Water Resources, U.S. Corps of Engineers, Davis, CA, 2016.
- IBGE (2013) <http://www.ciespjacarei.org.br/noticias/ibge-apresenta-ranking-dos-10-rios-mais-poluidos-do-brasil/>
- LOPES, V. A., (2015) Fan, F. M., Collischonn, W., Pontes, P. R., & Siqueira, V. A., Aplicação Preliminar do Modelo MGB-IPH para a Bacia Hidrográfica Completa da Laguna dos Patos. In: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Brasília - DF. Anais XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.
- LOPES, V. A. et al. (2018) A first integrated modelling of a river-lagoon large-scale hydrological system for forecasting purposes. Journal of hydrology, v. 565, p. 177-196.
- STEINKE, E. B. (2018). Proposta de sistema para simulação de derramamento de poluentes a montante de Porto Alegre.