

EFEITO DA DISCRETIZAÇÃO NA CALIBRAÇÃO DO MODELO MGB-IPH PARA A BACIA DO RIO URUGUAI

Yuri Timm Müller¹; Fernando Mainardi Fan²; Franco T. Buffon^{3,4} & Francisco F. N. Marcuzzo^{3,5}

RESUMO – Sistemas de alerta de eventos críticos permitem que agências governamentais, instituições públicas e privadas, defesa civil e cidadãos possam ser alertados e auxiliar na tomada de decisão. O presente trabalho teve como objetivo principal analisar o efeito da discretização na calibração do MGB-IPH para a bacia do rio Uruguai, em termos da representação de cheias, tempo de processamento e tempo de pré-processamento. Concomitantemente a este estudo, está a calibração e operacionalização do modelo MGB-IPH para a bacia do rio Uruguai pelo Serviço Geológico do Brasil - CPRM, inserido no projeto “Sistema de Alerta Hidrológico na Bacia do Rio Uruguai”. Os resultados apresentaram, de modo geral, a tendência de quanto menor o tamanho do trecho (dx) mais refinado ficou o modelo, apresentando os melhores resultados, porém maior custo computacional. Na comparação com a discretização inicial (10km), o trecho de 7km apresentou os melhores resultados na representação da cheia, porém o tempo de simulação foi demasiado elevado, não justificando tal refinamento. Já com o trecho de 20km, obteve-se redução do tempo de simulação em torno de 4 vezes com pequena queda na qualidade das métricas de desempenho.

ABSTRACT– Critical event alert systems allow government agencies, public and private institutions, civil defense and citizens to be alerted and assist in decision making. The present work had as main objective to analyze the effect of the discretization in the calibration of the MGB-IPH for the Uruguay River basin, in terms of the representation of floods, processing time and pre-processing time. We attempted to investigate the cost versus benefit relationship in using different lengths of river sections in the process of discretization of the area, more specifically in the segmentation of the drainage network by fixed length. Concomitantly with this study is the calibration and operationalization of the MGB-IPH model for the Uruguay River basin by the Geological Survey of Brazil - CPRM, inserted in the project called "Hydrological Alert System in the Uruguay River Basin". The results showed, in general, the tendency of smaller size of the segment (dx) more refined was the model, presenting better results, but higher computational cost. In the comparison with the initial discretization (10km), the 7km stretch presented the best results in flood representation, but the simulation time was too high, not justifying such refinement. With the 20km stretch, the simulation time was reduced around 4 times with a slight decrease in the quality of performance metrics.

Palavras-Chave – Discretização; Sistema de Alerta de Eventos Críticos; Uruguiana.

1) Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre/RS. yuritimm@gmail.com.

2) Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre/RS, (51) 3308-6414. fernando.fan@ufrgs.br.

3) CPRM/SGB - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil - Rua Banco da Província, no105 - Santa Teresa - Porto Alegre/RS - CEP 90.840-030, Tel.: (51) 3406-7300. franco.buffon@cprm.gov.br; francisco.marcuzzo@cprm.gov.br.

1. Introdução

Os estudos hidrológicos têm por finalidade compreender e avaliar o comportamento das bacias hidrográficas e seus sistemas ambientais associados, servindo de base para projetos de engenharia, embasam soluções e tomada de decisões. Nas últimas décadas com a crescente disponibilidade de dados hidrometeorológicos e capacidade computacional, aliada a preocupação com as questões associadas aos recursos hídricos, os modelos hidrológicos vêm sendo mais utilizados e também aperfeiçoados, buscando fornecer informações cada vez mais precisas e em menor tempo.

Guimarães *et al.* (2018), em um estudo de Sistema de Alerta para a bacia do rio Uruguai, concluíram que há tanto a influência da localização espacial das estações quanto da distribuição espacial da precipitação na bacia. Nesta perspectiva, os autores citam que há um incremento da previsibilidade quanto mais à jusante o posto fluviométrico estiver localizado (ou seja, com maior área da bacia), com as estações de Itaqui e Uruguiana apresentando a maior previsibilidade (três dias). Ainda, os autores relatam que a influência da distribuição espacial da precipitação pode ser analisada comparando os eventos cuja propagação da onda de cheia é proveniente do rio Ibicuí (estação Passo do Mariano Pinto) com os eventos em que a onda de cheia provém do alto rio Uruguai (Itaqui).

Nos modelos hidrológicos a precisão dos resultados e o tempo de processamento são influenciados, dentre outras formas, pela metodologia da discretização da área. A representação dos processos hidrológicos em uma bacia hidrográfica pode ser feita em diferentes níveis de discretização espacial, abrangendo aproximações concentradas até totalmente distribuídas. Para cada modelo, existem ferramentas computacionais que automatizam o estabelecimento da discretização da bacia segundo sua metodologia de discretização (BUARQUE *et al.* 2009). Nos modelos hidrológicos distribuídos (MHD), os quais são mais comumente empregados por considerar a variabilidade das características físicas da bacia, existem inúmeros métodos de discretização, sendo os mais utilizados para bacias de grande escala o de grade regular e o de minibacias. Uma técnica de discretização em minibacias é a de Siqueira *et al.* (2016) com a ferramenta IPH-Hydro Tools. No método é informado ao modelo o comprimento fixo do trecho (dx) que irá dividir a rede de drenagem, do exutório até a cabeceira. Quanto menor o comprimento mais discretizado será o modelo, podendo fornecer resultados mais precisos. Porém, o custo computacional pode se elevar em muito, não justificando tal refinamento.

O presente trabalho teve como objetivo principal analisar o efeito da discretização na calibração do MGB-IPH para a bacia do rio Uruguai, em termos da representação de cheias, tempo de processamento e tempo de pré-processamento. Para tal, buscou-se investigar a relação de custo x

benefício em utilizar diferentes tamanhos de trechos de rio no processo de discretização da área, mais especificamente na segmentação da rede de drenagem por comprimento fixo. Concomitantemente a este estudo está a calibração e operacionalização do modelo MGB-IPH para a bacia do rio Uruguai pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), inserido no projeto denominado “Sistema de Alerta Hidrológico na Bacia do Rio Uruguai”. Com isso, os resultados apresentados nesse trabalho visam orientar possíveis modificações no modelo da CPRM.

2. Metodologia

Na realização do trabalho foi utilizado o MGB-IPH 3.0 em sua versão no MapWindow GIS. O modelo exige inúmeros procedimentos e etapas para ser executado, uma descrição detalhada do funcionamento do modelo e os passos de execução são encontrados em <https://www.ufrgs.br/hge/>, disponibilizado pelo Grupo de Pesquisa em Hidrologia de Grande Escala (HGE / IPH-UFRGS). Para investigar a influência da discretização na calibração, utilizou-se da metodologia de segmentar a rede de drenagem por trechos de comprimentos (dx) fixos (SIQUEIRA *et al.* 2016). Inicialmente o modelo foi calibrado, com período de dados e parâmetros estabelecidos para o comprimento de 10km, conforme recomendado por Fan *et al.*, (2013) em estudo da sensibilidade do modelo inercial a valores de comprimento de trecho. Posteriormente, foram realizados testes variando os comprimentos dos trechos de 7km até 100km, mantendo-se os mesmos dados e parâmetros. Ao total foram oito testes seguindo a seguinte sequência: 10km, 7km, 20km, 35km, 40km, 50km, 70km e 100km. Na Figura 1 está ilustrado um fluxograma simplificado da metodologia utilizada na execução do estudo de discretização na calibração do modelo.

1º Etapa: Banco de dados e Pré-processamento

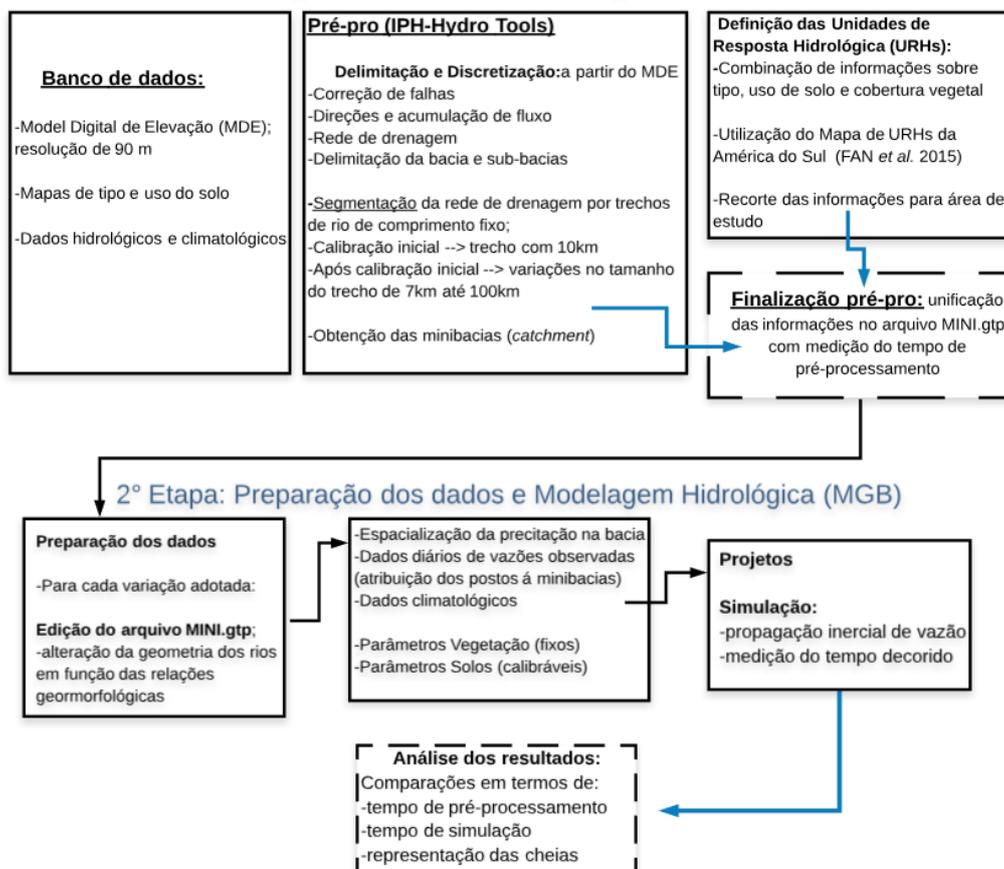


Figura 1 - Fluxograma com as etapas de desenvolvimento do estudo.

2.1 Área de Estudo e Banco de Dados

A área de estudo (Figura 2) é a bacia hidrográfica do rio Uruguai, que na sua totalidade abrange partes dos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul no Brasil, bem como partes da Argentina e do Uruguai até sua foz no rio da Prata. Segundo Marcuzzo (2017), a área territorial da bacia do rio Uruguai no Brasil é de aproximadamente 174.078km², o equivalente a aproximadamente 50% da área territorial da bacia, sendo que no estado do Rio Grande do Sul é de aproximadamente 126.372km² (36%) e no estado de Santa Catarina é de aproximadamente 95.733km² (14%). O mesmo autor relata que área territorial da bacia do rio Uruguai na Argentina é de, aproximadamente, 62.005km² (18%) e no Uruguai é de, aproximadamente, 113.179km² (32%). Na Figura 2 está à localização da porção brasileira da bacia do rio Uruguai, assim como a localização de todas as estações utilizadas na modelagem, destacando as do sistema de alerta (contendo código e nome). O sistema de alerta do rio Uruguai pode ser acessado neste endereço do Serviço Geológico do Brasil: http://www.cprm.gov.br/sace/index_bacias_monitoradas.php#.

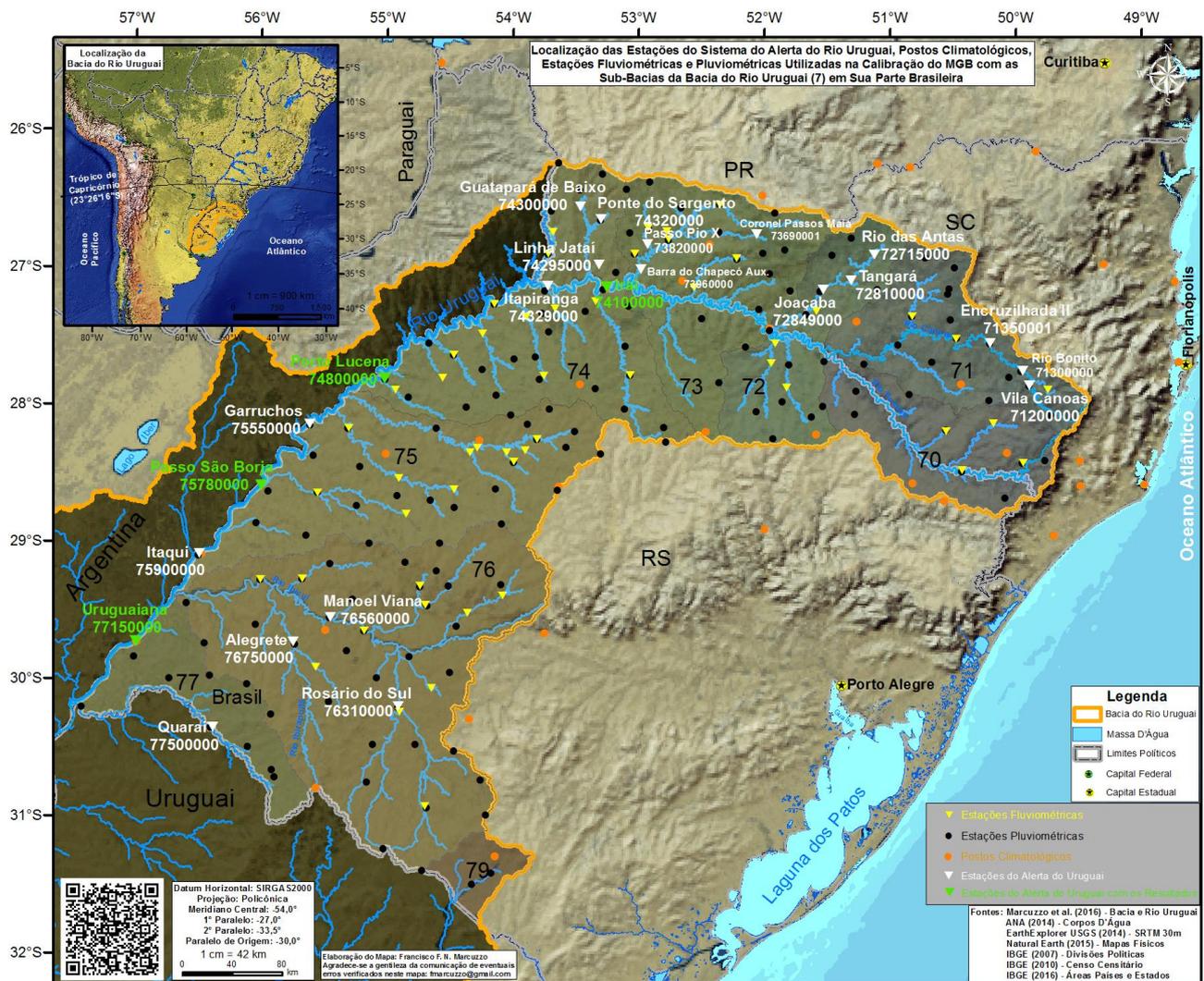


Figura 2 - Mapa com localização das estações utilizadas na modelagem na bacia do rio Uruguai.

Especificamente, o estudo é realizado para a região que vai desde as suas nascentes nos rios Canoas e Pelotas, até logo após a confluência do rio Quaraí com o rio Uruguai, na tríplice fronteira entre Brasil, Argentina e Uruguai, compreendendo uma área total de aproximadamente 216.846 km². Diagramas unifilares detalhados da parte brasileira da bacia hidrográfica do rio Uruguai, incluindo os barramentos, podem ser analisados em Almeida *et al.* (2016) e Souza *et al.* (2017).

O banco de dados utilizado contempla toda a porção brasileira da bacia e consta com 76 Estações fluviométricas, as quais 24 são estações do sistema de alerta do rio Uruguai, e 158 estações pluviométricas. Todas as estações são operadas pela CPRM e os dados são disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA) através da plataforma HidroWeb. Contém também dados de 35 estações climatológicas, estes disponibilizados na própria base interna do MGB-IPH das normais climatológicas de 1960-1990 calculadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil (INMET) para todo o país. O período dos dados selecionados foi de janeiro de 1980 até julho de 2017, cuja determinação deu-se em função da grande disponibilidade de dados e por incluir eventos significativos de cheia como, por exemplo, a do ano de 1983 e a de 2014.

Todas as estações supracitadas podem ser conferidas neste [link](#) e outros mapas com as localizações neste [link](#).

2.2 Pré-processamento

Para execução do MGB-IPH é necessária uma etapa de pré-processamento da área com ferramentas de geoprocessamento. Para tanto, foi utilizado o plugin IPH-Hydro Tools no MapWindow GIS. A partir do modelo numérico de terreno, proveniente da remoção de multi-erros (altura de árvores, ruídos e viés) do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) com 90 metros de resolução espacial (Yamazaki *et al.* 2017), disponibilizado pela Universidade de Tóquio (2017), foram realizados os procedimentos de delimitação e discretização. Ressalta-se que, para melhorar a qualidade da rede de drenagem, o MNT foi previamente condicionado utilizando-se da técnica *stream burning*. Na definição das Unidades de Resposta Hidrológica (URHs), utilizou-se do mapa publicado por Fan *et al.* (2015) das URHs para toda a América do Sul, recortando as informações para a bacia hidrográfica de interesse.

A finalização do pré-processamento ocorre com o passo da unificação dos arquivos gerados nas etapas anteriores em arquivos base para a simulação hidrológica. Dentre eles, é gerado o arquivo MINI.gtp. É nele que contém informações topológicas do modelo, fornecendo para cada minibacia informações como, sub-bacia pertencente, área de drenagem, largura e profundidade do trecho da calha do rio, entre outras.

2.3 Preparação dos Dados e Simulação Hidrológica (MGB)

Na preparação dos dados de entrada foi feita a edição do arquivo MINI.gtp. Mais especificamente, foram modificadas as larguras e profundidades dos trechos de rio e também o Coeficiente de Manning, ambos associados às sub-bacias. Essas alterações foram baseadas em um levantamento (ainda não publicado pela CPRM) das características geomorfológicas da bacia do rio Uruguai, a qual foi dividida em seis regiões distintas, ou seja, cada região tem uma equação que relaciona a profundidade e largura da calha do rio.

Posteriormente foram gerados os arquivos de dados climatológicos, dados com a espacialização da precipitação na bacia, e também com a série dos dados diários das vazões observadas. Os parâmetros fixos e calibráveis do modelo foram ajustados de maneira manual, seguindo o estudo anteriormente citado das características geomorfológicas. Como já mencionado, a discretização utilizada inicialmente para esses parâmetros foi a do trecho (dx) com comprimento de 10km. Por fim, as simulações foram realizadas com propagação inercial de vazão e o tempo decorrido medido, sendo que o modelo fornece o tempo ao final de cada simulação.

2.4 Análise dos Resultados

A análise dos resultados foi realizada para quadro postos fluviométricos ao longo do rio Uruguai, de modo a verificar o efeito da discretização em regiões com diferentes áreas de contribuição ao longo do rio principal. Porém, nesse artigo, são mostradas apenas as análises para o posto de Uruguaiana (código 77150000, área de 190.000km²), cuja região tem forte histórico de inundações e é alvo de muitos estudos pelo sistema de alerta hidrológico da CPRM.

- Métricas de desempenho do MGB-IPH: coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE), Nash-Sutcliffe logaritmo (NSElog) e diferença entre volumes observados e calculados (ΔV).
- Representação das cheias: hidrogramas, vazão de pico (Qmax), vazão média (Qmed) e vazão mínima (Q90).
- Tempos: pré-processamento (medido na geração do arquivo MINI.gtp), e simulação

3. Resultados e Discussão

Os resultados das simulações para cada variação adotada na discretização são apresentados na Tabela 1. Nota-se que no tempo de pré-processamento considerado não teve grandes variações. Em relação às métricas de desempenho do MGB, de modo geral, quanto menor o tamanho do trecho (mais refinado o modelo) melhores foram os resultados obtidos, principalmente quanto ao coeficiente NSE. A relação do tamanho do trecho, tempo de simulação e NSE é apresentada na Figura 3. Relativo às vazões, a tendência apresentada foi de quanto maior o dx maiores foram as vazões baixas (Q90) e menores as vazões de pico (Qmax). Nas discretizações menos detalhadas (50, 70km) não seguiu um padrão e apresentou variações. Com 100km ocorreu instabilidade no modelo, apresentando vazões muito elevadas e picos adiantados.

Um maior detalhamento dos resultados obtidos para outras localidades pode ser verificado em Muller (2019)

Tabela 1 - Resultados para cada comprimento/trecho (km) adotado na discretização, vazões em m³/s.

Trecho (km)	Nº de minibacias	Tempo Pré-pro	Tempo Simulação	URUGUAIANA					
				NSE	NESlog	ΔV	Q90	Qmax	Qmed
7	4847	34min e 10s	1h 39min e 48s	0.934	0.195	3.39%	1604	29467	5079
10	3591	33min e 40s	34min e 40s	0.929	0.187	3.10%	1631	29531	5076
20	2194	33min e 30s	7min e 42s	0.917	0.162	4.77%	1734	29129	5158
35	1631	32min e 47s	5min e 43s	0.890	0.142	4.28%	1785	27872	5134
40	1557	32min e 50s	5min e 12s	0.890	0.145	3.26%	1769	28097	5083
50	1431	32min e 5s	3min 36s	0.879	0.122	7.92%	2033	27490	5301
70	1321	31min e 51s	3min e 12s	0.803	0.125	3.37%	1848	28108	5075
100	1239	31min e 25s	2min e 42s	0.770	0.117	8.92%	2121	36972	5534

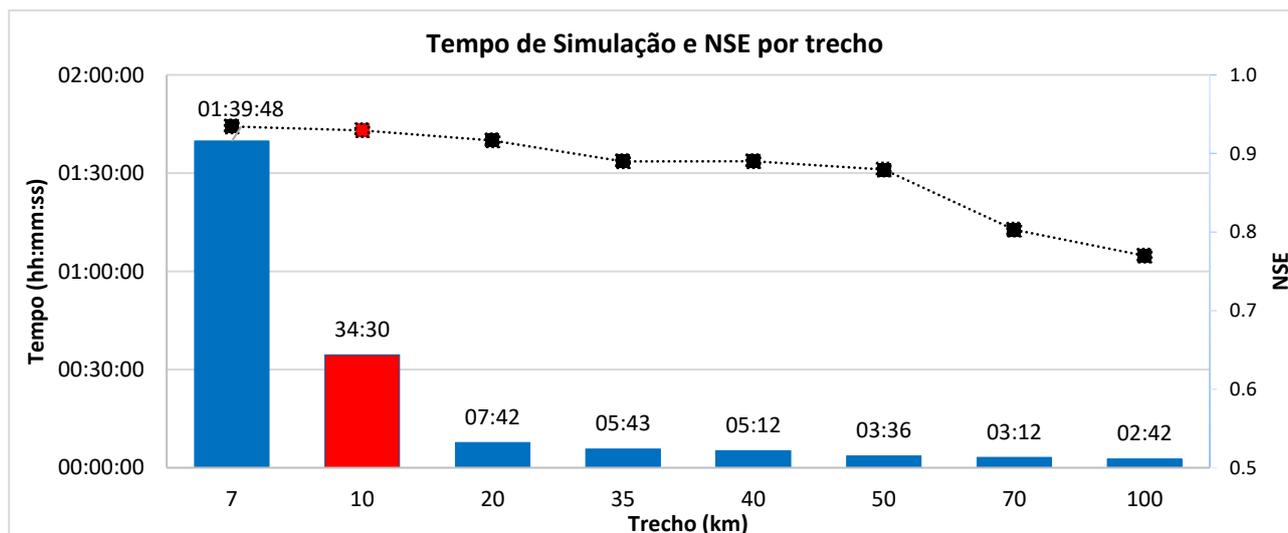


Figura 3 - Tempo de simulação (barras) e a métrica de desempenho NSE (pontuação) por trecho.

Na Tabela 2 são elucidadas as comparações em relação à discretização inicial (10km). Os resultados mais parecidos com o trecho inicial foram das discretizações mais próximas, ou seja, com 7km e 20km. Em geral, nos valores das métricas as diferenças apresentadas foram pequenas, com 7km obtendo-se valores superiores e após 20km os resultados apresentam valores inferiores, se distanciando da qualidade apresentada com a discretização de 10km. Já no tempo de simulação as diferenças são maiores, principalmente nos comprimentos mais próximos ao 10km, sendo o trecho de 7km o único que apresentou maior tempo e as demais discretizações apresentaram tempos menores que o inicial.

Tabela 2 - Comparação com a discretização inicial (10km) dos demais trechos, vazões em m³/s.

Trecho (km)	Nº de minibacias	Tempo Pré-pro	Tempo Simulação	URUGUAIANA					
				NSE	NESlog	ΔV	Q90	Qmax	Qmed
10	3591	00:33:40	00:34:30	0.929	0.187	0.031	1631	29531	5076
7	-3591	+30s	+1h e 5min	0.005	0.009	0.003	-27	-63	3
20	0	-10s	-26min e 48s	-0.013	-0.024	0.017	103	-401	82
35	-1960	-53s	-28min e 47s	-0.039	-0.044	0.012	154	-1659	58
40	-2034	-53s	-29min e 18s	-0.039	-0.041	0.002	138	-1434	8
50	-2160	-1min e 35s	-30min e 54s	-0.050	-0.065	0.048	402	-2041	225
70	-2270	-1min e 49s	-31min e 18s	-0.126	-0.061	0.003	217	-1422	-1
100	-2352	-2min e 15s	-31min e 48s	-0.159	-0.070	0.058	490	7441	459

Na análise da representação das cheias foram gerados hidrogramas para o ano de 1983 (Figura 4) e para o mês da cheia (julho) (Figura 5). Os hidrogramas de 7, 10 e 20km são extremamente próximos, apresentando baixa dispersão entre eles. Nos trechos de 35km a 70km também são muito semelhantes, porém já ocorre declínio na qualidade na representação da cheia. Já no trecho de 100km ocorreu problemas de instabilidade.

As diferenças apresentadas nos resultados podem ter sido ocasionadas por erros no balanço de massa no modelo, os quais não foram calculados. Outra explicação é que parte dessas diferenças

podem estar relacionadas com questões numéricas de difusão em função do tamanho do trecho (dx), ou ainda pela atenuação da propagação da onda de cheia relacionada a erros de fase e erros de amplitude.

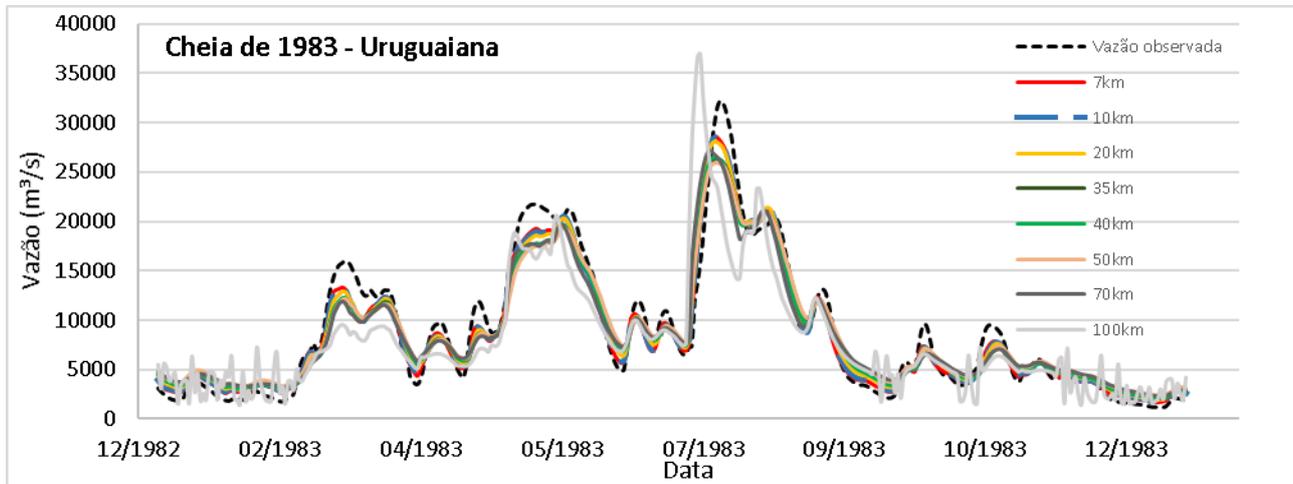


Figura 4 – Hidrogramas para o ano de 1983 em Uruguaiana.

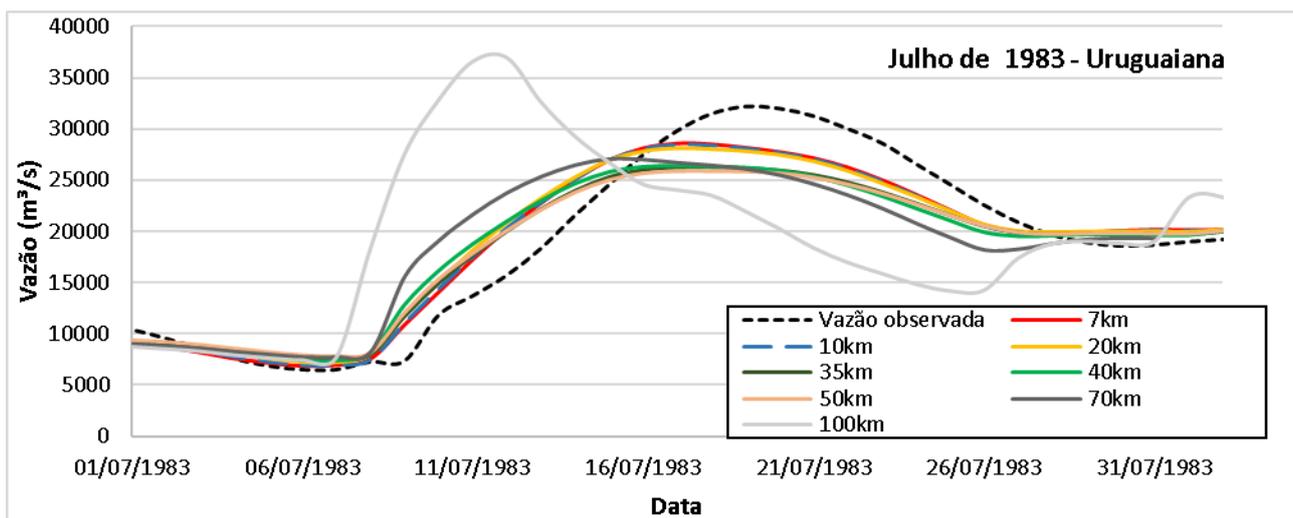


Figura 5 – Hidrogramas para o mês de julho de 1983 em Uruguaiana.

4. Conclusão

De modo geral, quanto menor o tamanho do trecho (dx) melhores foram os resultados, porém com maior custo computacional. Na comparação com a discretização inicial (10km), o dx de 7km apresentou melhores resultados na representação da cheia, todavia o tempo de simulação foi demasiado elevado (+1h e 5min), não justificando tal refinamento. Já com o trecho de 20km, obteve-se redução do tempo de simulação de 27min (indo de 34min para 7min), com pequena queda da qualidade. A partir de 20km os tempos de simulação foram cada vez menores, porém a qualidade dos resultados também decaiu, não se mostrando vantajoso utilizar tamanhos maiores que 20km.

Por fim, a utilização de 20km para a segmentação da rede de drenagem para a bacia do rio Uruguai, se mostrou uma alternativa interessante para o sistema de alerta da CPRM, visto que diminuiu o tempo de simulação em torno de 4 vezes com pequena queda na qualidade das métricas.

Entretanto, ressalta-se que o presente estudo visou investigar o efeito da discretização sem alterar os parâmetros do solo iniciais. Ainda, outras questões que poderiam ser estudadas em uma pesquisa mais aprofundada, contribuindo para a calibração do modelo na bacia do rio Uruguai, são: utilizar trechos menores que 7km, considerar cheias mais rápidas em escala horária, aplicar as hipóteses em bacias de cabeceiras e se aprofundar na compreensão de parâmetros vs. escala do MGB-IPH.

5. Referências

ALMEIDA, D. B.; KOEFENDER, A.; SOUZA, C. J. R.; MARCUZZO, F. F. N. Diagramas unifilares e mapeamento das estações F, FD, P, Pr e barramentos das sub-bacias 70 a 74 no Rio Uruguai. In: Simpósio dos Recursos Hídricos do Nordeste, 13., 2016, Aracaju. **Anais...** Aracaju: ABRH, 2016.

BUARQUE, D.C.; PAZ, A.R.; COLLISCHONN, W. (2008). Extração automática de parâmetros físicos de bacias hidrográficas a partir do MNT para utilização em modelos hidrológicos. in **Anais do Simpósio Sul-Sudeste de Recursos Hídricos**, Rio de Janeiro/RJ, 2008.

FAN, F. M., COLLISCHONN, W., PONTES, P. R., & PAIVA, R. C. (2013). Avaliação da aplicabilidade de um modelo simplificado inercial para propagação de vazão em canais. In: **Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Bento Gonçalves/RS, 2013.

FAN F. M., BUARQUE D. C., PONTES, P.R.M., COLLISCHONN W. Um mapa de unidades de resposta hidrológica para a América do Sul. In: **Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Brasília/DF, 2015.

GUIMARÃES, G. M.; FAN, F. M.; MARCUZZO, F. F. N.; BUFFON, F. T.; GERMANO, A. de O. Com qual antecedência conseguimos prever cheias no rio Uruguai usando um modelo hidrológico de grande escala? In: Encontro Nacional de Desastres, 1., 2018, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2018.

MARCUZZO, F. F. N. Bacia hidrográfica do rio Uruguai: altimetria e áreas. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 22., 2017, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABRH, 2017.

MULLER, Y.T. Efeito da discretização na calibração do modelo MGB-IPH para a bacia do rio Uruguai. 2019. 104 f. TCC (Graduação) Curso de Engenharia Hídrica, UFRGS/IPH, Porto Alegre, 2019.

SIQUEIRA, V.A.; FLEISCHMANN, A.S.; JARDIM, P.F.; FAN, F.M.; COLLISCHONN, W. 2016. IPH-Hydro Tools: uma ferramenta open source para determinação de informações topológicas em bacias hidrográficas integrada a um ambiente SIG. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Vol. 21, n.1. 274-287.

SOUZA, C. J. R.; ALMEIDA, D. B.; KOEFENDER, A.; MARCUZZO, F. F. N. Diagramas unifilares e mapeamento das estações F, FD, P, PR e barramentos das Sub-bacias 75 a 79 no rio Uruguai. **Tecno-lógica**, Santa Cruz do Sul, v. 21, n. 2, p. 65-74, jul./dez. 2017.

YAMAZAKI D., D. IKESHIMA, R. TAWATARI, T. YAMAGUCHI, F. O'LOUGHLIN, J.C. NEAL, C.C. SAMPSON, S. KANAE & P.D. "Bates A high accuracy map of global terrain elevations" **Geophysical Research Letters**, vol.44, pp.5844-5853, 2017 doi: 10.1002/2017GL072874.