

**COOPERAÇÃO EM TECNOLOGIAS PARA ANÁLISES
HIDROLÓGICAS EM ESCALA NACIONAL**

**SUBPROJETO – REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES VIA
MODELAGEM HIDROLÓGICA**

**MGB-BHO – PRÉ-PROCESSAMENTO DO MGB A
PARTIR DA BASE HIDROGRÁFICA
OTTOCODIFICADA**

IPH-ANA-HGE-T3

Porto Alegre - RS

Outubro 2021

MGB-BHO –

Pré-processamento do MGB

em cima da base hidrográfica ottocodificada



ESTE MATERIAL FAZ PARTE DE UM CONJUNTO DE RELATÓRIOS CRIADOS NO CONTEXTO DO PROJETO DE COOPERAÇÃO EM TECNOLOGIAS PARA ANÁLISES HIDROLÓGICAS EM ESCALA NACIONAL, ENTRE O INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS (IPH-UFRGS) E A AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA).

AUTORES: Rafael Barbedo, Leonardo Laipelt, Rafaela Oliveira, Gabriel Matte, Vinícius Siqueira, Walter Collischonn, Rodrigo Paiva.

COMO CITAR: Barbedo, R., Laipelt, L., Oliveira, R., Matte, G., Siqueira, V., Collischonn, W., Paiva, R. C. D., 2021. Cooperação em tecnologias para análises hidrológicas em escala nacional: MGB-BHO – Pré-processamento do MGB a partir da base hidrográfica ottocodificada: IPH-ANA-HGE-T3. UFRGS: IPH, [Porto Alegre]. ANA, [Brasília].

Porto Alegre - RS

Outubro 2021

Sumário

1	APRESENTAÇÃO	4
2	DESCRIÇÃO GERAL DO MGB-BHO	5
2.1	Implementação	6
2.2	Filtragem para a área de estudo	6
2.3	Agregação trechos muito curtos	7
2.4	Processamento no Modelo Digital de Elevação	9
2.5	Escreve os arquivos MINI.gtp e COTA-AREA.flp	10
	CatID	10
	MINI	10
	Xcen e Ycen	10
	Sub	10
	Area	10
	AreaM	10
	Ltr	10
	Str	10
	Lrl	10
	Srl	11
	MiniJus	11
	Ordem	11
	Hdr	11
	Width	11
	Depth	11
	Manning	11
	BLC_X	11
	COTA-AREA	11
3	TESTE NA BACIA DO RIO IGUAÇU	11

1 APRESENTAÇÃO

Este relatório é um dos produtos do subprojeto “Regionalizações de vazões via modelagem hidrológica”, no contexto do projeto “Cooperação em tecnologias para análises hidrológicas em escala nacional”, na forma de um Termo de Execução Descentralizada (TED) entre o Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS) e a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

O projeto está dividido em 4 subprojetos voltados para a (i) capacitação e transferência tecnológica do modelo hidrológico MGB para aplicações e desenvolvimento na ANA, (ii) desenvolvimento e avaliação de métodos para a regionalização de vazões naturais em escala nacional usando modelagem hidrológica (Modelo MGB América do Sul), e desenvolvimento de base de dados de estimativas de vazões e respectivas incertezas em nível nacional, (iii) avaliação de estimativas de áreas inundadas do modelo MGB e (iv) estimativas de fluxos e estoques hidrológicos em escala nacional com base no modelo MGB aplicadas às Contas Econômicas Ambientais da Água (CEAA) no Brasil. Os produtos esperados incluem novas bases de dados, relatórios, manuais técnicos, cursos de capacitação e publicações técnico científicas.

O objetivo proposto para o subprojeto “Regionalização de vazões via modelagem hidrológica” é o desenvolvimento e avaliação de métodos para a regionalização de vazões naturais em escala nacional usando o modelo hidrológico MGB, desenvolvido em escala continental para toda a América do Sul (MGB-AS), além do desenvolvimento de base de dados de estimativas de vazões e estimativa das incertezas em nível nacional em compatibilidade com a base de dados BHO da ANA. A transferência de resultados de vazões do MGB se faz necessária porque, em geral, a discretização da bacia hidrográfica adotada no modelo MGB-AS é diferente da divisão da rede de drenagem em trechos adotada na Base Hidrográfica Ottocodificada (BHO) da ANA.

Neste projeto foram identificados dois cenários para a integração e transferência entre a rede hidrográfica do MGB e a BHO. O primeiro cenário pode ser chamado de Cenário de Integração Anterior, em que um novo modelo MGB seria elaborado, para uma bacia ou para todo o continente, já integrado de forma total ou quase total à BHO. O segundo cenário pode ser chamado de Cenário de Integração Posterior, em que os resultados de vazões de referência do modelo MGB já existente são pós-processados para obter estimativas na BHO. Este documento abordará o primeiro cenário.

2 DESCRIÇÃO GERAL DO MGB-BHO

Na metodologia MGB-BHO, o modelo MGB é discretizado com base nos trechos e polígonos da BHO. Com esta metodologia, não é necessária toda a etapa de pré-processamento do MDE, que tipicamente é realizada antes da aplicação do modelo MGB. Isto ocorre porque a BHO já tem nos seus atributos quase todas as informações necessárias para compor o arquivo de entrada principal do modelo MGB, denominado MINI.gtp.

Normalmente, o pré-processamento do MGB consiste em escrever um arquivo de geometria (MINI.gtp) e – no caso da rodada com o modelo de propagação inercial – um arquivo com as informações de área inundada por incremento de cota (COTA-AREA.flp). Usualmente esse processamento é feito com base em um modelo digital de elevação (MDE) usando a ferramenta IPH-HydroTools e em um arquivo com as unidades de reposta hidrológica (URHs) usando mapas de solo e vegetação.

O arquivo MINI.gtp refere-se a informações de geometria e URHs em cada minibacia do domínio em que será processada a modelagem. O formato desse arquivo é uma tabela, na qual as linhas representam as minibacias e as colunas os atributos destas. Os atributos das minibacias podem ser visualizados na Figura 1, onde também é ressaltado quais informações podem ser obtidas diretamente da BHO, quais podem ser obtidas indiretamente, seja por manipulação dos arquivos ou parametrização, e quais necessitam de bases de dados externas para serem obtidas.

É possível observar que a maior parte dos atributos podem ser obtidos direta ou indiretamente da BHO. Os atributos que necessariamente requerem bases de dados externas são as declividades – tanto do rio principal quanto do afluente mais longo da minibacia – e as URHs. As declividades exigem um MDE e as URHs exigem mapas pré-processados de unidades de reposta hidrológica.

O arquivo COTA-AREA.flp contém informações de área inundada por cota em cada minibacia, e só é necessário se a propagação de vazão no canal for feita pelo método inercial. Essa informação também é obtida através de um MDE, a partir de um subproduto deste, o Height Above Nearest Drainage (HAND). Portanto, esta informação também não é obtida de forma direta ou indireta a partir da BHO.

Atributo	Informações
<i>CatID</i>	Código da minibacia original
<i>MINI</i>	Número da mini-bacia em ordem topológica (iniciando pelas minibacias de cabeceira até a minibacia exutório)
<i>Xcen e Ycen</i>	Coordenadas do centróide
<i>Sub</i>	Sub-bacia a qual pertence a minibacia
<i>Area</i>	Área de drenagem da minibacia em km2
<i>AreaM</i>	Área de drenagem total a montante de cada minibacia em km2
<i>Ltr</i>	Comprimento do rio principal que atravessa uma mini-bacia
<i>Str</i>	Declividade do rio principal dentro de uma mini-bacia
<i>Lrl</i>	Comprimento do afluente mais longo dentro de uma mini-bacia
<i>Srl</i>	Declividade do afluente mais longo dentro de uma mini-bacia
<i>MiniJus</i>	Número da mini-bacia localizada imediatamente a jusante
<i>Ordem</i>	Ordem do curso d'água da mini-bacia
<i>Hdr</i>	Flag utilizado antigamente, em versões anteriores do modelo, para acionar o modelo hidrodinâmico nas minibacias.
<i>Width</i>	Largura do trecho baseada na equação geomorfológica.
<i>Depth</i>	Profundidade do trecho baseada na equação geomorfológica.
<i>Manning</i>	Rugosidade de Manning
<i>BLC_X</i>	Porcentagem da área da mini-bacia em que existe cada uma das unidades de resposta hidrológica, onde X varia de 1 até o número de URH

Info obtida diretamente na BHO
 Info obtida indiretamente pela BHO ou parametricamente
 Info que requer base de dados externa para ser obtida

Figura 1. Atributos do arquivo principal de entrada do modelo MGB, enfatizando aqueles que já existem na BHO (cor verde), aqueles que podem ser obtidos a partir das informações da BHO (cor amarela) e aqueles que requerem consulta a outras bases de informação (cor marrom).

2.1 Implementação

O método MGB-BHO está sendo implementado na forma de um conjunto de ferramentas em um plugin no QGIS. O processamento é dividido em quatro etapas. Na primeira etapa, os arquivos de trechos e polígonos da BHO são filtradas para a região de interesse a partir do ponto do exutório da bacia. Na segunda etapa, esses trechos e polígonos são processados internamente para se adequar aos moldes do MGB (agregação de trechos muito curtos). Na terceira etapa, o MDE é processado para gerar arquivos que serão utilizados para escrever os arquivos de entrada do MGB. Na quarta e última etapa, ocorrem processamentos de coleta de informações a partir dos arquivos gerados nas etapas anteriores. Essas etapas serão abordadas com mais detalhes em seguida.

2.2 Filtragem para a área de estudo

Para a aplicação do método MGB-BHO, o usuário informa um ou mais locais, através do atributo cobacia, que serão os exutórios das sub-bacias da região de interesse. O ponto localizado mais a jusante define o domínio da bacia que será representada. Isto permite filtrar as bacias da BHO, permanecendo na análise apenas aquelas localizadas a montante do ponto localizado mais a jusante, como mostra o exemplo da Figura 2.

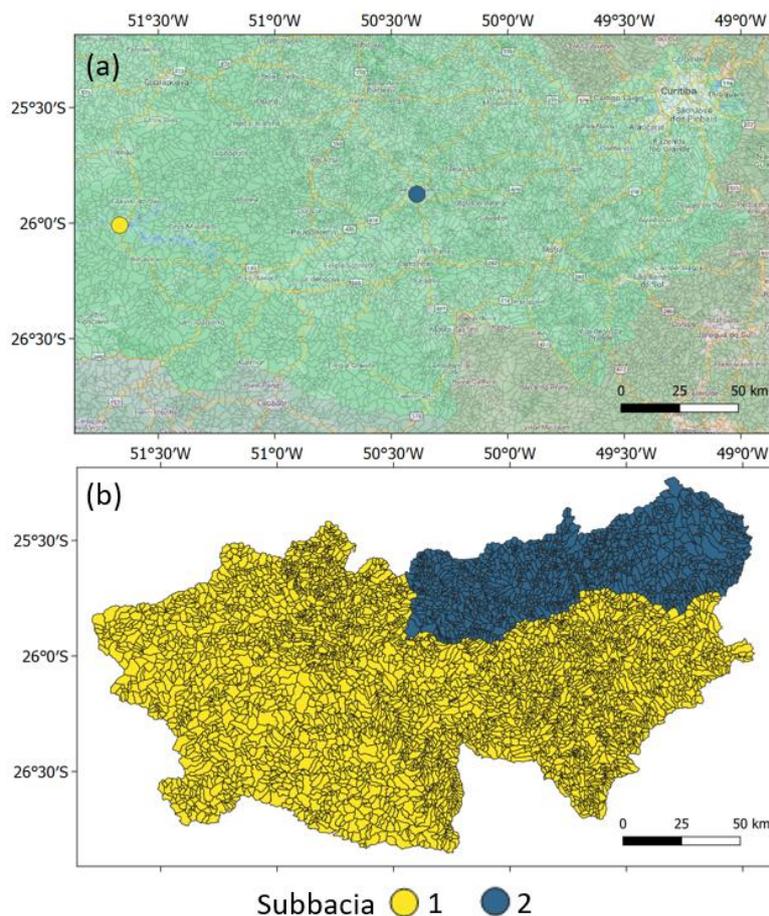


Figura 2. Extração dos polígonos da BHO na bacia a ser representada no MGB no método de integração MGB-BHO Total, com base na informação de código COBACIA de pontos de interesse (exutórios de sub-bacias).

2.3 Agregação trechos muito curtos

Nesta etapa, alguns elementos da BHO (polígonos e trechos) são fundidos com seus vizinhos, através de uma operação de merging. Este procedimento elimina trechos muito curtos e polígonos muito pequenos. Essa etapa se mostra necessária por dois motivos: (1) os polígonos são usados para coletar informações estatísticas do MDE e de URHs, e caso estes sejam muito pequenos (poucas células ou até menor que uma célula), essas informações poderão gerar problemas na simulação; e (2) no modelo inercial de propagação de vazões, trechos muito pequenos acabam aumentando muito o tempo de processamento, além de aumentar a chance de gerar instabilidades numéricas. No procedimento de agregação, o usuário informa a mínima área a montante e o mínimo comprimento de trecho de rio que deve ser respeitado, e os trechos da BHO com comprimento inferior são combinados (merge) formando novos trechos mais longos (mais detalhes adiante). Da mesma forma, os polígonos das mini-bacias da BHO correspondentes aos trechos também devem ser combinados. O resultado deste pré-processamento não garante a homogeneidade de comprimentos e de áreas de mini-bacias, mas garante que não vão existir trechos excessivamente curtos na rede de drenagem.

A agregação de trechos envolve operações geométricas utilizando informações da própria BHO. São utilizados os atributos “nuareamont” (área a montante do trecho) e “nucomptrec” (comprimento do trecho). O primeiro é usado para filtrar trechos mais a montante do domínio que não serão considerados explicitamente (por exemplo, trechos com área a montante menor

do que 30 km²), e o último é usado para filtrar os trechos com comprimento menor que um limiar (por exemplo, 6 km) os quais serão agregados.

O filtro de área a montante serve somente para remover do domínio alguns trechos que o usuário possa não ter a necessidade de simular explicitamente (trechos de cabeceira, com área de contribuição pequena). A área de contribuição desses trechos é incorporada ao trecho de jusante com área superior a A_{min} , que no exemplo é de 30 km², reduzindo o consumo computacional da modelagem.

A próxima etapa é a agregação de trechos. Primeiro os trechos são separados por curso d'água (atributo *cocursodag* da BHO), então em cada curso d'água, os trechos são ordenados por comprimento do menor para o maior. Iniciando pelo menor trecho, verifica-se se ele é ou não menor do que um limite estabelecido pelo usuário. Em caso positivo, o trecho em questão é agregado ao seu menor vizinho, seja ele de montante ou jusante, e o processo recomeça. O processo se repete até que não existam trechos menores do que o limiar estabelecido.

No caso dos trechos de cabeceira, estes podem ser alongados (caso o trecho a montante deste seja o menor vizinho), então os trechos de montante que foram excluídos no filtro de área podem voltar a fazer parte do domínio de simulação. A Figura 3 mostra um exemplo do resultado deste procedimento em comparação com os polígonos BHO originais. A Figura 4 e a Tabela 1 mostram um comparativo dos trechos agregados com os trechos da BHO250, em termos de comprimento. Depois da etapa de agregação o método MGB-BHO segue exatamente os mesmos passos que o método MGB-BHO Total, conforme descrito na seção anterior.

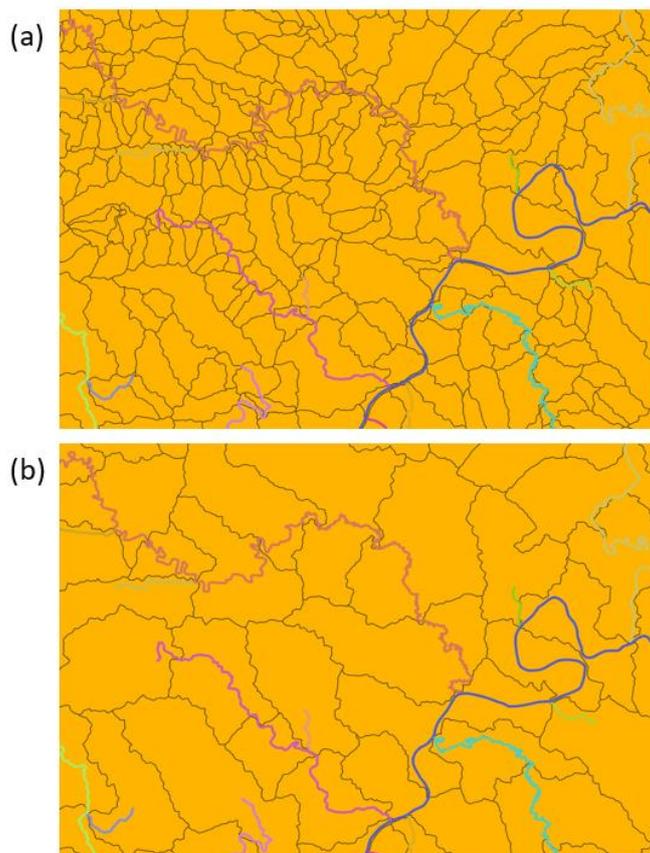


Figura 3. Comparação entre a (a) BHO 250 original e a (b) com polígonos e trechos agregados para evitar trechos curtos na metodologia de integração MGB-BHO.

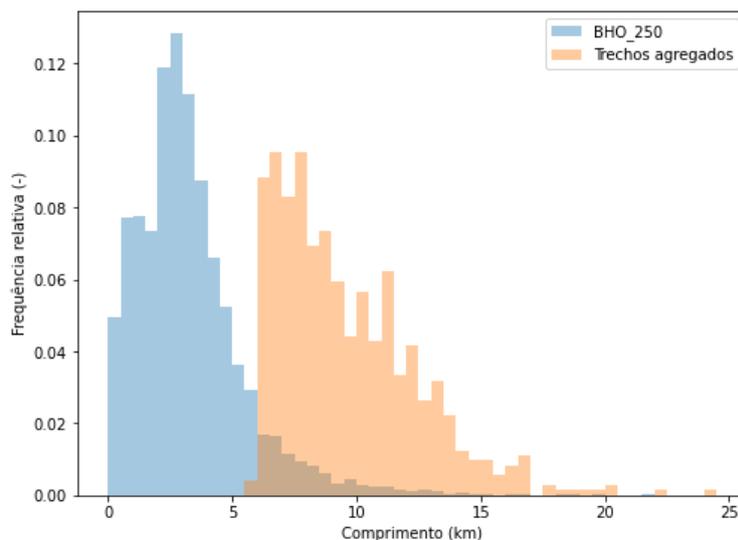


Figura 4. Comparativo dos comprimentos dos trechos agregados com os trechos da BHO250 em termos de histogramas de frequência relativa.

Tabela 1. Dados compilados dos comprimentos dos trechos agregados e da BHO250.

Comprimento dos trechos	Médio	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão
BHO 250	3.25	0.01	24.75	2.21
Trechos agregados	9.60	6.01	24.75	2.84

2.4 Processamento no Modelo Digital de Elevação

O MDE é utilizado no MGB-BHO para obter, além das informações de declividades dos trechos principais, os comprimentos e as declividades do afluente mais longo de cada trecho, e a área inundada por incremento de cota (necessária para escrever o arquivo COTA-AREA.flp). Para obter essas últimas informações, o MDE precisa passar por um processamento com o objetivo de escrever arquivos raster com informações de altura até a drenagem mais próxima (HAND) e comprimento até a drenagem mais próxima (LTND).

Para escrever esses arquivos, precisamos de um raster com a indicação da rede de drenagem e um raster com as direções de fluxo. O raster com a indicação da rede de drenagem é obtido fazendo a rasterização dos trechos obtidos na etapa anterior. O raster com as direções de fluxo é obtido em três etapas. Primeiro, a rede rasterizada é “queimada” no MDE (stream burning), isto é, nos pixels onde a drenagem existe são descontados 100 m do MDE original. O MDE “queimado” é então submetido a um procedimento de remoção de depressões. Existem diversos algoritmos para isto, e alguns foram testados na implementação do MGB-BHO. Por questões de praticidade no processamento, foi utilizada a biblioteca do *pysheds*, que é um conjunto de ferramentas disponibilizado em python (para mais detalhes: <https://mattbartos.com/pysheds/>). Com o MDE sem depressões, as direções de fluxo são calculadas.

Com o MDE original, as direções de fluxo e a drenagem rasterizada, podemos calcular o HAND e o LTND. Os algoritmos de obtenção desses dois indicadores funcionam de forma similar. Primeiro é atribuído o valor 0 em todos os pixels da drenagem. Após isso, todos os pixels que drenam

para os pixels da drenagem recebem – no caso do LTND – o valor da distância, que é a resolução do pixel se a direção for horizontal ou vertical ou a resolução do pixel X 1.41 se a direção for diagonal, ou – no caso do HAND – o valor da elevação do pixel menos a elevação do pixel da drenagem para a qual este drena. No passo seguinte, o mesmo procedimento é repetido, mas dessa vez para as células que drenam para as células anteriores. O processo se repete até que todos os pixels do domínio recebam um valor.

2.5 Escreve os arquivos MINI.gtp e COTA-AREA.flp

A abordagem para obtenção de cada uma das informações necessárias para rodar o modelo MGB a partir da rede BHO é descrita a seguir. São assimiladas informações topológicas, hidráulicas do canal e de fração de uso do solo para compor o arquivos de entrada MINI.gtp e COTA-AREA.flp. Para este procedimento, são necessários os arquivos de trechos e de polígonos agregados obtidos na etapa anterior, além de um MDE e um arquivo raster contendo as URHs. Para cada atributo da mini-bacia i , o processamento se dá da forma seguinte:

CatID

Não é utilizado no modelo, serve somente para identificação. Aqui definido como o atributo “cotrecho” do trecho BHO mais de jusante pertencente a mini-bacia (caso haja agregação de dois ou mais trechos).

MINI

Identificação da mini-bacia. Número gerado a partir dos atributos “nustrahler” e “cobacia”, indo de 1 a N, onde N é o número de mini-bacias. A ordem é de montante para jusante.

Xcen e Ycen

Coordenadas (latitude e longitude) do centróide dos polígonos da mini-bacia. Obtidos por operação GIS.

Sub

Subbacia a qual a mini-bacia pertence. Obtida na primeira etapa do processamento, em que se definem os exutórios das subbacias de interesse.

Area

Área unitária do polígono da mini-bacia. Obtida pela soma dos atributos “nuareacont” dos polígonos agregados da minibacia.

AreaM

Área a montante da mini-bacia. Obtida pelo atributo “nuareamont” do trecho BHO mais de jusante da mini-bacia.

Ltr

Comprimento do trecho principal. Obtido pela soma dos atributos “nucomprio” dos trechos agregados da mini-bacia.

Str

Declividade do trecho principal. Primeiro calcula-se a diferença de cota entre o P85 e o P10 das elevações do trecho principal. Esse valor é dividido pelo comprimento do trecho multiplicado por 0.75.

Lrl

Comprimento do maior afluente. Corresponde ao maior valor do raster LTND dentro do polígono da mini-bacia.

Srl

Declividade do maior afluente. O valor HAND do pixel utilizado para computar o Lrl é dividido pelo valor do Lrl.

MiniJus

Mini-bacia que está a jusante da mini-bacia *i*. Obtido pelo atributo “nutrjus” da rede BHO.

Ordem

Ordem de strahler da mini-bacia. Obtida pelo atributo “nustrahler” da rede BHO.

Hdr

Atributo descontinuado nas últimas versões do MGB.

Width

Largura do trecho da mini-bacia. Obtida de forma análoga às aplicações atuais do MGB.

Depth

Profundidade do trecho da mini-bacia. Obtido de forma análoga às aplicações atuais do MGB.

Manning

Coefficiente de Manning. Parâmetro fornecido pelo usuário.

BLC_X

Porcentagem da mini-bacia ocupada pela URH X, onde X pode ir de 1 a 12, e o último número deve corresponder à URH água. Obtido por contagem de categorias do raster de URHs no polígono da mini-bacia. A contagem é dividida pela soma das contagens dos blocos e multiplicada por 100.

COTA-AREA

Arquivo em formato de tabela com informações de área inundada por incremento de cota. Os incrementos de cota vão de 1 a 100 m e a área para cada incremento é por contagem de pixels do HAND dentro do polígono da mini-bacia menor ou igual a cada cota. A contagem é transformada em área a partir de manipulações geométricas.

3 TESTE NA BACIA DO RIO IGUAÇU

O teste da metodologia de integração MGB-BHO Total foi realizado na bacia do rio Iguaçu, até a barragem da UHE Foz do Areia. O período simulado foi de 1990 a 2010, de forma semelhante a que está relatada no manual 01 (Alves et al., 2020). Para a aplicação do MGB foi utilizada a BHO250, da qual foram extraídos somente os polígonos e trechos localizados a montante da localização da barragem da UHE Foz do Areia, totalizando 6529 mini-bacias. O comprimento médio do trecho de rio destas mini-bacias na região de estudo é de 3,25 km. O comprimento do menor trecho foi de 0.007 km.

Na etapa de agregação de trechos, fundiram-se bacias adjacentes nas quais o comprimento era menor do que 6 km. Desta forma, o número de minibacias foi reduzido de 6529 para 723, e o comprimento de trecho médio passou para 9.60 km. O comprimento do menor trecho foi de 6.01 km. A Figura 5 mostra os polígonos da rede hidrográfica original (BHO 250) e os da rede hidrográfica após a etapa de agregação.

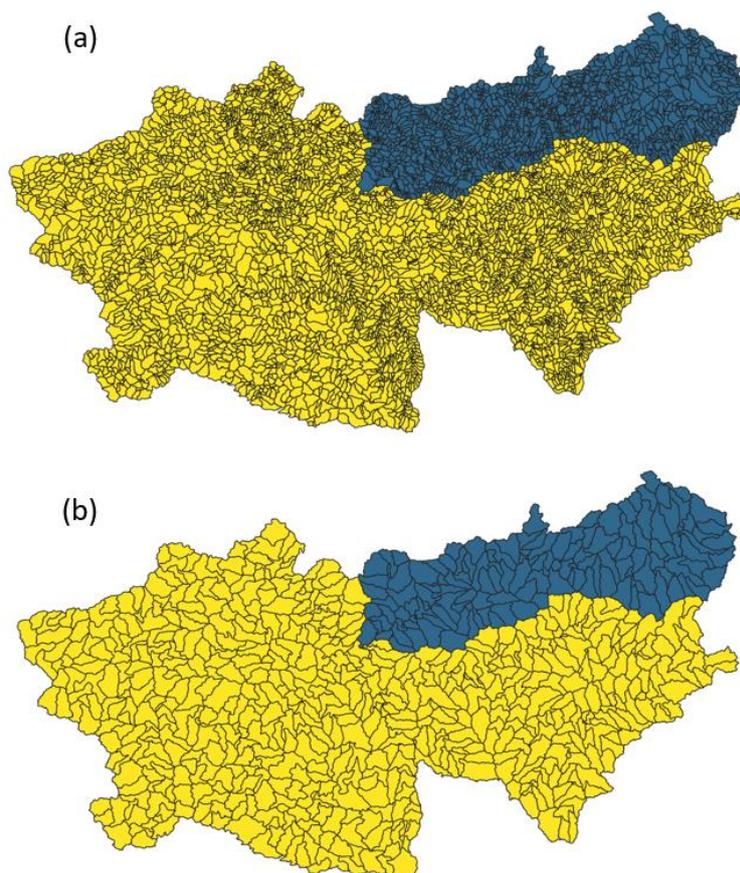


Figura 5. Polígonos com a área de drenagem unitária de cada trecho da bacia do rio Iguazu até a UHE Foz do Areia: a) BHO 250 original, com 6529 trechos; b) BHO 250 agregada para evitar trechos curtos, com 723 trechos.

O pré-processamento foi realizado para obter as informações do MDE, do mapa das URH e do HAND em cada uma das 723 mini-bacias resultantes da etapa de agregação, para gerar o arquivo principal de entrada do MGB (arquivo mini.gtp) também levou cerca de 5 minutos. As outras etapas da aplicação do MGB, como a obtenção e interpolação de dados de precipitação e a obtenção de dados de vazão são idênticas como em uma aplicação regular do modelo MGB.

O mapa de HAND utilizado neste exemplo foi obtido a partir do SRTM-DEM, com as direções de fluxo do HydroSHEDS, e uma drenagem definida com acumulação de fluxo de 8 km² aproximadamente. O arquivo cota-area.flp é escrito com base no HAND e nos arquivos vetoriais de área e trecho das minibacias, após a etapa de agregação, descrita antes.

Para esta aplicação, o modelo MGB não foi calibrado, já que o objetivo foi verificar a viabilidade da integração com a BHO. Os valores dos parâmetros foram definidos com base em consulta aos valores encontrados na calibração descrita no manual 01. Foi utilizado o método de propagação de cheias inercial e os resultados de vazão foram comparados aos dados observados em dois postos fluviométricos, de acordo com a Tabela 2. Os resultados obtidos no teste de aplicação do modelo gerado com o método de integração MGB-BHO estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 2. Postos fluviométricos considerados na bacia do rio Iguazu, no teste do método de integração MGB-BHO.

Código	Nome	Rio	Área de drenagem
65060000	São Mateus do Sul	Iguazu	6.050 km ²
65310000	União da Vitória	Iguazu	24.200 km ²

Tabela 3. Resultados da aplicação do modelo MGB na bacia do rio Iguaçu adotando a discretização da BHO 250 no método de integração MGB-BHO.

Código	Nome	NSE	NSElog	Viés (%)
65060000	São Mateus do Sul	0,74	0,89	-8
65310000	União da Vitória	0,86	0,86	-3

Os resultados da Tabela 3 indicam que a aplicação do modelo MGB com o método de integração MGB-BHO é perfeitamente viável. Os valores das métricas são pouco inferiores aos valores obtidos na calibração do modelo nesta mesma bacia do rio Iguaçu, utilizando a metodologia de discretização padrão do MGB, e descrita no manual (Alves et al., 2020).