

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

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

**RELATÓRIO TÉCNICO: SELEÇÃO DE POSTOS
FLUVIOMÉTRICOS**

IPH-ANA-HGE-SR-R3

Porto Alegre - RS

Outubro 2021

Seleção de Postos Fluviométricos



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: Cléber Henrique de Araújo Gama, Mino Viana Sorribas, Larissa de Castro Ribeiro, Rodrigo Cauduro Dias de Paiva e Walter Collischonn.

COMO CITAR: Gama, C. H. de A., Sorribas, M. V., Ribeiro, L. de C., Paiva, R. C. D., Collischonn, W., 2021. Cooperação em tecnologias para análises hidrológicas em escala nacional: Relatório técnico: Seleção de postos fluviométricos: IPH-ANA-HGE-SR-R3. UFRGS: IPH, [Porto Alegre]. ANA, [Brasília].

Porto Alegre - RS

Outubro 2021

Sumário

1	Apresentação	4
2	Seleção e análise de observações de vazão em postos fluviométricos para validação	5
3	Hidroreferenciamento de postos fluviométricos e base de sub-bacias	7
4	Degree of Regulation - Grau de regularização	12
5	Vizinhança hidrológica	17
6	Referências Bibliográficas	21

1 APRESENTAÇÃO

Este relatório refere-se ao produto “IPH-ANA-HGE-SR-R3”, 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.

Neste relatório será apresentado os critérios para seleção dos postos fluviométricos utilizados para análises e validação neste subprojeto. Primeiramente, são apresentados os filtros e bases de dados considerados e, em seguida, explorados a metodologia para definição do grau de regularização de cada trecho de rio e discutido o conceito de vizinhança hidrológica, a partir da consideração do índice de Jaccard.

2 SELEÇÃO E ANÁLISE DE OBSERVAÇÕES DE VAZÃO EM POSTOS FLUVIOMÉTRICOS PARA VALIDAÇÃO

Para construção da base de dados fluviométricos a ser utilizada nas análises deste projeto foram ponderados o uso em aplicações anteriores, a existência de outras bases de dados (Ex. CAMELS-BR, Chagas et al., 2020) e a necessidade de uma nova seleção de postos.

Para a aplicação do modelo MGB no domínio da América do Sul (Siqueira et al., 2018) foram utilizados dados de postos fluviométricos do banco de dados da ANA e de outros órgãos/agências, incluindo instituições de fora do Brasil. As estações da ANA foram selecionadas a partir de filtros para exclusão de estações com área de drenagem inferiores a 10.000km² e/ou estações com menos de cinco anos de dados disponíveis. Além disso, foram descartadas as estações com provável influência de reservatórios – processo realizado de forma manual, com base na inspeção dos hidrogramas. Ao fim, foram utilizadas aproximadamente 410 estações.

A base de dados CAMELS-BR (Catchment Attributes and Meteorology for Large-sample Studies – Brazil, Chagas et al., 2020) disponibiliza uma seleção de 817 estações. Estas estações resultam de uma sequência de filtros da base de dados original da ANA, onde foram removidas: estações com menos de um ano de dados disponíveis para o período de 1990 a 2009; estações que apresentam medições de 0 m³/s no lugar de falhas; estações com vazões de ordem de grandeza de 1000mm/dia; estações com vazões anuais maiores que a chuva observada e; estações que apresentam a repetição de um mesmo valor por vários dias consecutivos. Esta inspeção também foi realizada de forma manual.

Para o escopo do presente projeto foi decidido que não se deve ter filtro de estações por área de drenagem e que se torna inviável a exclusão de toda a série de vazões de uma estação por possíveis erros pontuais – conforme realizado na base CAMELS-BR. Desta forma, optou-se pela construção de uma nova base de dados.

Para tal, foi realizado o download de todas as estações fluviométricas presentes no banco de dados da ANA (15536 estações) e aplicada a seguinte sequência de filtros:

- I) Exclusão de estações com disponibilidade menor do que dois anos de dados para o período de 01/01/1979 e 31/12/2014;
- II) Medições identificadas como 0 (zero) m³/s no lugar de falha tornam-se falha. A identificação deu-se de forma automática pela consideração de que: em postos com Q90 superior a zero as vazões iguais a zero; em postos com Q90 igual à zero, se medições de 0 m³/s ocorrem na vizinhança de falhas ou se a vazão no dia anterior for maior do que 50 m³/s, também representam falhas;
- III) Vazões constantes por um longo período tornam-se falhas. Neste caso verificou-se quantas vezes um mesmo valor de medição se repetia ao longo da série disponível. Caso o valor mais repetido na série apresentasse mais que uma vez e meia o número de repetição de 99% dos outros dados, este valor era considerado falho quando ocorrido em dias sequentes;
- IV) Medições superiores a 1000mm/dia e vazões negativas tornam-se falhas.
- V) Estações localizadas em trechos de rio com DOR>5, conforme procedimento explicado no item 4 deste relatório, são consideradas sob influência de reservatórios e excluídas da base de dados;

Ao fim deste processo, resultaram aproximadamente 2000 estações fluviométricas. Contudo, observou-se, ao fim desta sequência automática de filtragem, que alguns postos ainda apresentavam dados inconsistentes nas medições (por exemplo, ruídos na série temporal, valores extremos incoerentes com a realidade do posto, alteração abrupta do comportamento da série temporal, efeitos decorrentes de operação de reservatórios e etc.). Para remoção destas estações da base de dados, foi realizada uma inspeção manual e excluídos alguns postos. A Figura 1 apresenta exemplos de hidrogramas considerados como incoerentes e, portanto, cuja estação fluviométrica foi retirada da base de dados deste projeto.

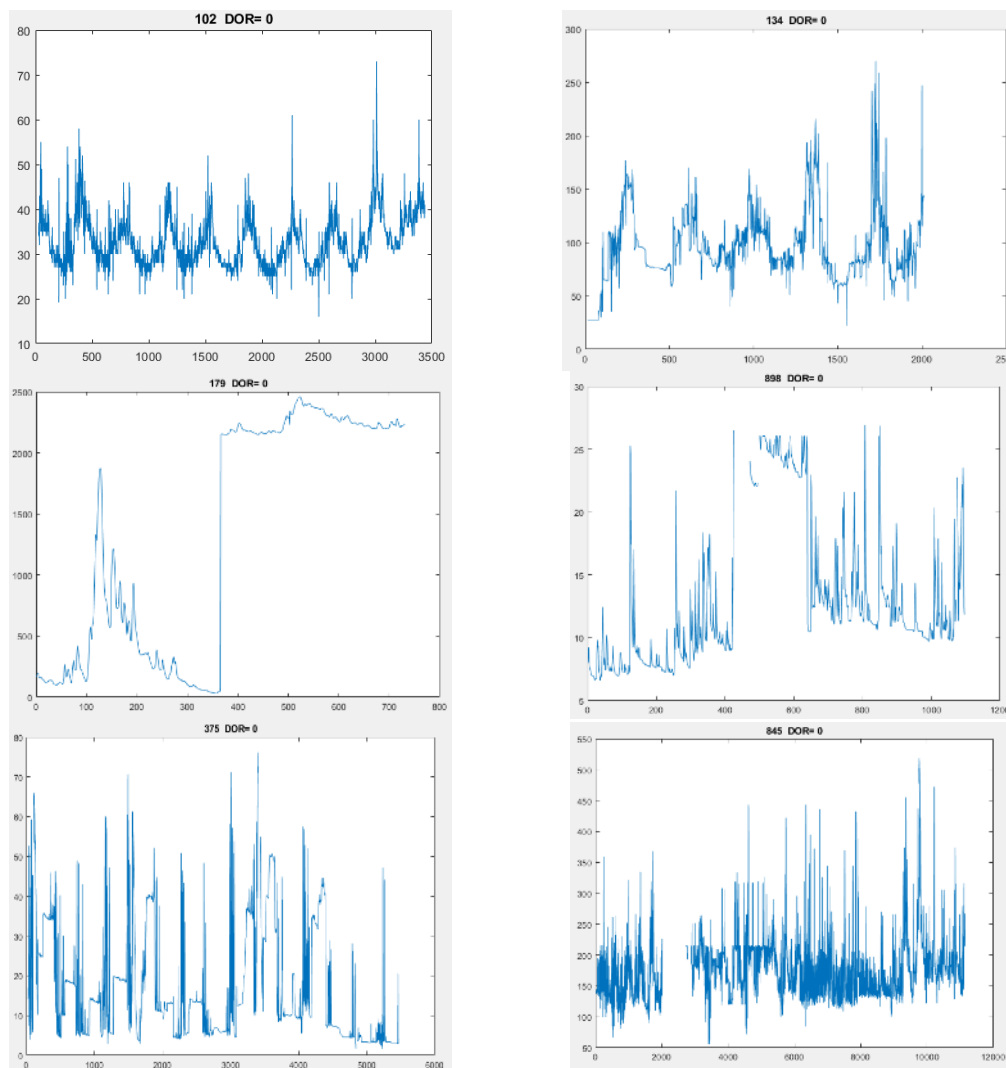


Figura 1 - Exemplos de estações fluviométricas com série de dados incoerentes e removidas da base de dados do projeto por processo manual.

Além disso, para aplicações de reanálise hidrológica, apresentadas no relatório IPH-ANA-HGE-SR-R9, foi necessária uma filtragem para manutenção apenas de postos com área de drenagem superior a 1000km², devido a necessidade de compatibilização com a resolução da rede de drenagem do modelo MGB-SA. Por fim, também foram incluídas estações com vazões naturalizadas pelo Operador Nacional de Sistema Elétrico (ONS, 2020).

3 HIDROREFERENCIAMENTO DE POSTOS FLUVIOMÉTRICOS E BASE DE SUB-BACIAS

Para realizar o processamento de dados de vazão em postos fluviométricos, visando a elaboração da base de vazões regionalizadas e suas incertezas compatível com a BHO5K é importante estabelecer um relacionamento entre o local dos postos e a base hidrográfica.

Este processo, aqui referido como hidrorreferenciamento, pode ser realizado a partir de operações de distância entre os postos fluviométricos e as linhas referentes aos trechos da BHO. Os postos são representados geometricamente por pontos, enquanto os trechos são representados por linhas. Em princípio, o trecho da BHO mais próximo ao local do posto fluviométrico proporciona a melhor solução de hidrorreferenciamento. Dessa forma, o processo de busca por vizinho mais próximo (entre posto e trecho) deve ser suficiente.

No entanto, as bases de dados apresentam limitações que podem exigir a necessidade de critérios complementares. Por exemplo, relacionadas a precisão do registro existente das coordenadas do posto fluviométrico (em relação ao ponto real de medição), mas também referentes a resolução do trecho da BHO5K e sua compatibilidade com o percurso real da rede de drenagem. Em geral, dificuldades ocorrem quando existem erros de coordenada de postos, próximos a confluências, localizado entre dois rios.

Além do critério de proximidade, a verificação da área de drenagem no posto x BHO permite avaliar a qualidade do hidrorreferenciamento, embora não seja suficiente. Devido a resolução da rede hidrográfica, é possível que mesmo que o ponto esteja relacionado ao trecho mais próximo e na melhor localização possível, existem diferenças entre a área de drenagem do posto fluviométrico e da BHO. Esse efeito pode ocorrer devido ao cadastro, ou seja, a área de drenagem no posto fluviométrico não ter sido calculado da mesma forma que na rede hidrográfica. A posição do posto em relação aos nós de jusante e montante do trecho mais próximo também acarreta diferenças.

Após aplicação de busca por vizinho mais próximo (e.g. via snapping), a Figura 2 ilustra os postos hidrorreferenciados. Considerando a base inicial de 2697 postos, 2370 apresentaram erro relativo inferior a 30%, 2274 postos apresentaram erro relativo inferior a 15%, dentro de um raio de busca de cerca de 1,5 km. Adicionalmente, 47 postos apresentaram erros acima desse percentual, mas foram localizados no melhor local possível. A Figura 3 e Figura 4 ilustram a seleção de postos com erros na faixa entre 15 e 30%, e acima.

Alternativas metodológicas, podem considerar feições adicionais, tais como os polígonos de áreas de contribuição hídrica, ou mesmo atributos informativos (i.e. nomes de rios), testes de jusante/montante, dentre outros. Por outro lado, os postos com erros consideráveis na busca por vizinho próximo indicam alguma incompatibilidade de coordenadas do posto com a rede BHO.

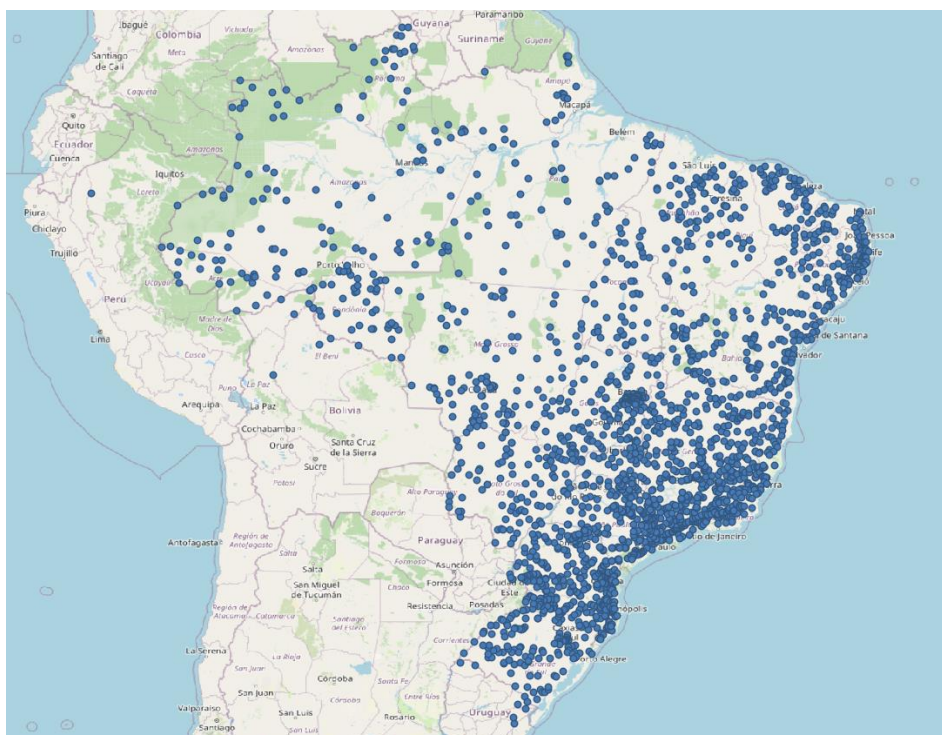


Figura 2. Mapa de postos hidrorreferenciados

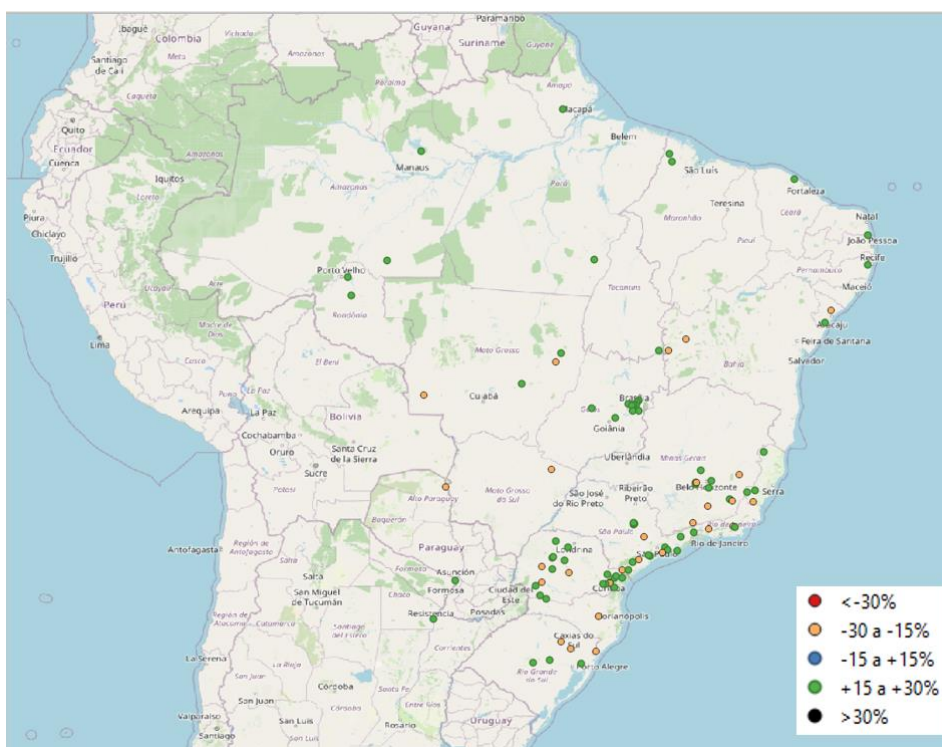


Figura 3. Mapa de postos hidrorreferenciados e erros relativos na área de drenagem entre 15 e 30% (positivo ou negativo)

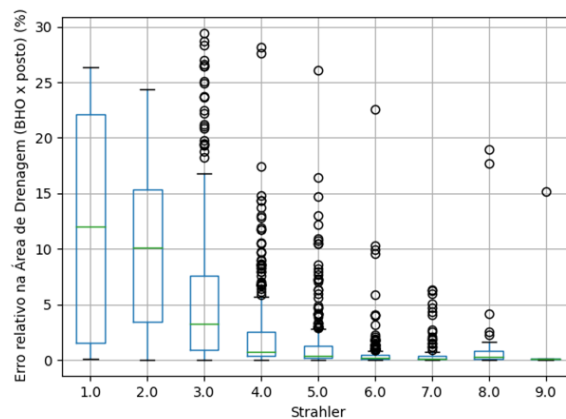


Figura 6. Relação entre número de Strahler e Erro relativo entre a área de drenagem (trecho BHO x posto fluviométrico associado) para uma tolerância de 30%

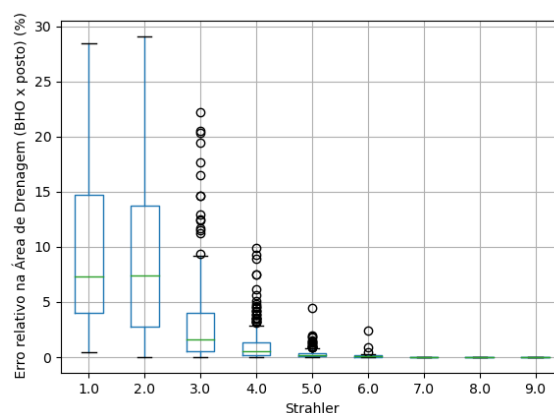


Figura 7. Relação entre número de Strahler e Erro relativo entre a área de drenagem (trecho BHO x posto fluviométrico associado) para uma tolerância de 30% e verificado a área do posto, em relação a área de drenagem a montante e a jusante do trecho escolhido.

Após a triagem dos postos fluviométricos hidrorreferenciados uma base de polígonos referente a cada posto foi gerada, por meio da varredura das áreas de contribuição a montante de cada local (incluindo o próprio) na BHO. A base foi armazenada em um conjunto de arquivos (formato GeoPackage), por posto fluviométrico, mas também em um único arquivo. A Figura 8 ilustra a base para melhor compreensão, após a aplicação de filtros para melhor visualização de bacias sobrepostas.

Esta base de polígonos das bacias a montante de cada posto fluviométrico permitirá a análise de variáveis internas da bacia, se necessário, na elaboração de métodos alternativos ou benchmarks.

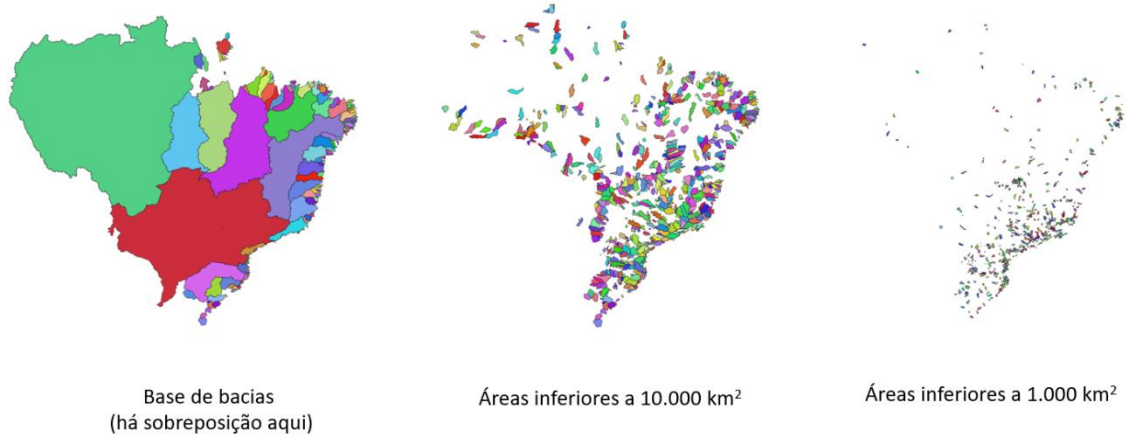


Figura 8. Ilustração de base de sub-bacias em postos hidrorreferenciados

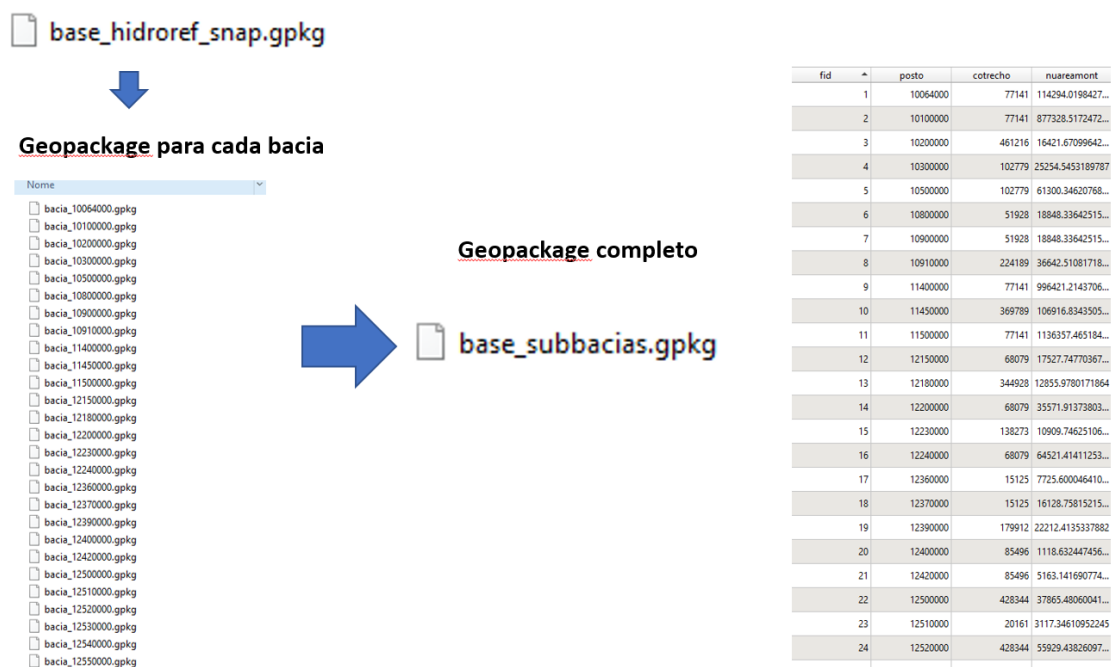


Figura 9. Representação de base de dados e tabela de atributos de sub-bacias em postos hidrorreferenciados

4 DEGREE OF REGULATION - GRAU DE REGULARIZAÇÃO

Para avaliar o desempenho das diferentes metodologias na estimativa de vazões de referência é necessário identificar e descartar os postos fluviométricos que são muito afetados pela regularização de vazão, pois nesses locais a vazão calculada a partir das séries observadas não reflete a vazão natural.

A rede hidrográfica e de massas de água nacional é marcada por um vasto número de reservatórios de água, utilizados para diferentes fins, tais como produção de energia hidrelétrica, abastecimento de água e irrigação. Neste sentido, existem locais onde o efeito de regularização dos reservatórios, ou seja, a alteração do regime hídrico natural, é mais acentuado.

Em geral não é possível saber o grau de alteração do regime hidrológico provocado por um reservatório sem conhecer a sua regra de operação, e esta regra não é conhecida em muitos reservatórios, e nem sequer existe em outros, como os reservatórios do SIN, que operam segundo uma lógica de otimização em escala nacional.

No entanto, é possível estimar de forma aproximada o impacto dos reservatórios sobre o regime hidrológico utilizando uma métrica simplificada, denominada Degree of Regulation (DOR), e proposta por Lehner et al. (2011).

O DOR é definido pela razão entre soma dos volumes úteis dos reservatórios localizados a montante de um trecho de rio e a vazão média anual (em volume) que passa através deste trecho. Ou seja, é um índice que quantifica o efeito de reservatórios em relação ao regime natural do rio. Além disso, é possível interpretar o DOR como uma medida do tempo de residência, em percentual de um ano. O cálculo de DOR em um local indexado em j , é calculado pela equação 3.

$$DOR_j = \frac{100}{D_j} \sum_{i=1}^{n_j} S_{ij} \quad (3)$$

onde, j é o índice do local de interesse, D_j é a vazão média (em volume) no local j ; $S_{i,j}$ é o volume do reservatório i , a montante do local de interesse, sendo n_j o total de reservatórios a montante do local de interesse.

De acordo com a equação 3, o valor do DOR pode ser de 0 a mais de 100. Um valor de 0 significa que o regime hidrológico no trecho não é afetado pela regularização a montante. Um valor igual a 50 em um trecho de rio significa que o volume útil somado de todos os reservatórios localizados a montante é capaz de manter a vazão média do rio no trecho durante 50% de um ano.

Para estimar o DOR de cada trecho de rio da BHO foi utilizada a base denominada Massas d'água (Fuckner, 2020) que é compatível com a BHO5K2017 e contém um identificador para os locais dos barramentos. Em primeiro momento, foi considerado o volume informado na base de Massas d'água da ANA, identificados com regularização ou regularização ONS. A seguir, foram inseridos e/ou substituídos valores em 115 locais para os quais existem dados de volume útil obtidos do Operador Nacional do Sistema - Sistema Interligado Nacional. Em geral, nos reservatórios onde não há informação sobre o volume útil (sem especificar se é útil ou total) assume-se, para fins de aplicação da metodologia, que o volume informado é o volume útil.

Para cada trecho de rio foi calculado a soma do volume útil a montante, e este valor foi comparado com a vazão média da base de disponibilidade hídrica elaborada pela ANA, através da equação 3, para obter o valor do DOR.

O mapa da Figura 10 mostra em destaque os rios com DOR maior do que 0, ou seja, afetados, de alguma forma, pela presença de reservatórios a montante. Observa-se trechos intensamente afetados a jusante da barragem de Serra da Mesa, no rio Tocantins, e nos rios Paraíba do Sul, Parnaíba, Grande e São Francisco, entre outros.

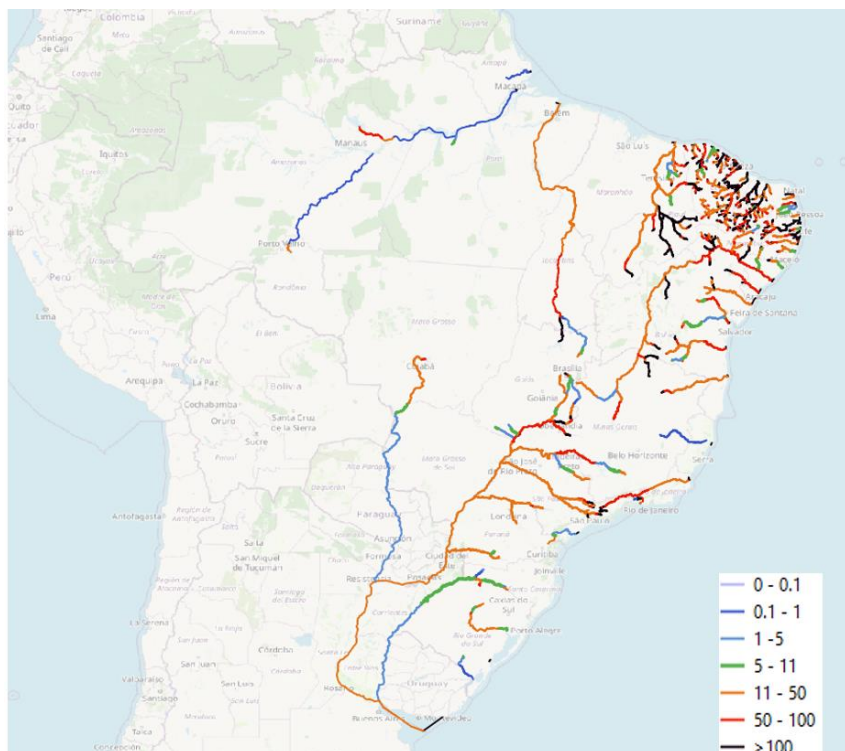


Figura 10. Estimativa de Degree of Regulation (DOR) na BHO5K2017 (somente trechos DOR >0,1)

As informações do hidrorreferenciamento dos postos fluviométricos e do DOR dos trechos da BHO5K2017 foram comparadas, permitindo estimar para cada posto fluviométrico o valor da métrica DOR. Assim, podem ser identificados os postos fluviométricos com diferentes graus de influência da regularização, conforme mostram os mapas das próximas figuras (Figura 11, Figura 12 e Figura 13).

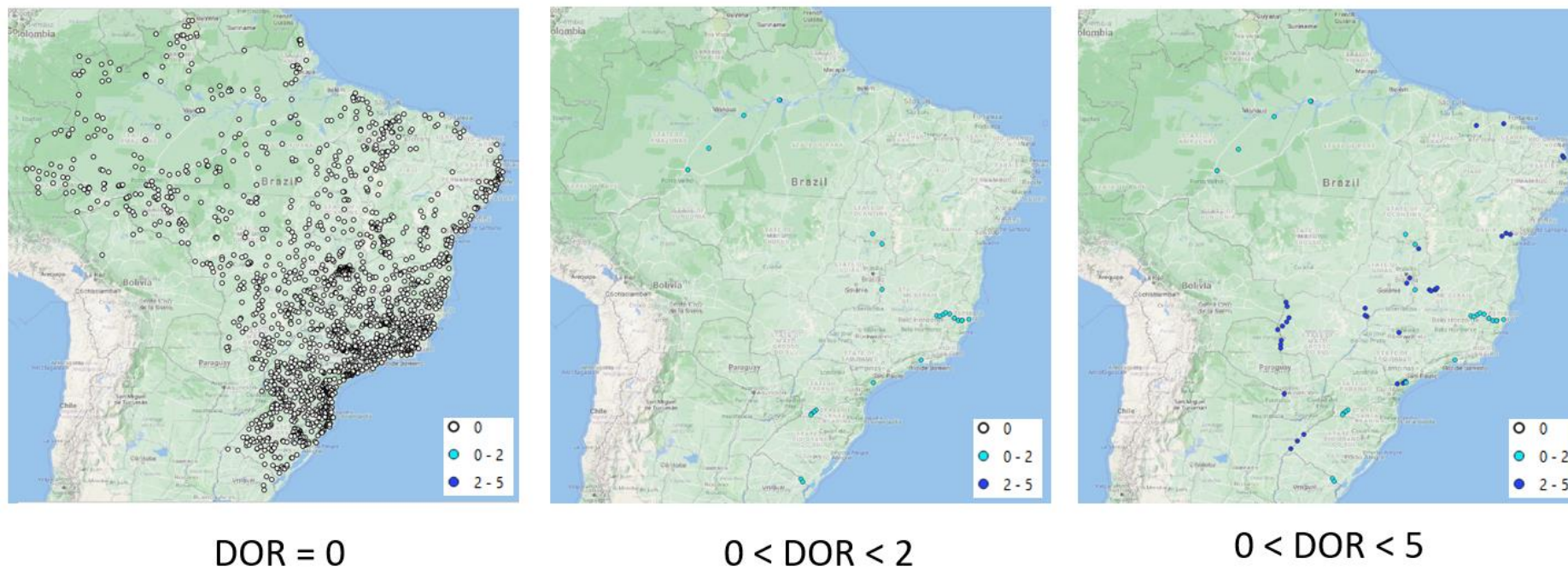


Figura 11. Mapas de Degree of Regulation em locais com postos fluviométricos hidrorreferenciados: sem efeito significativo(esquerda); $0 < \text{DOR} < 2$ (centro); $\text{DOR} < 5$ (direita)

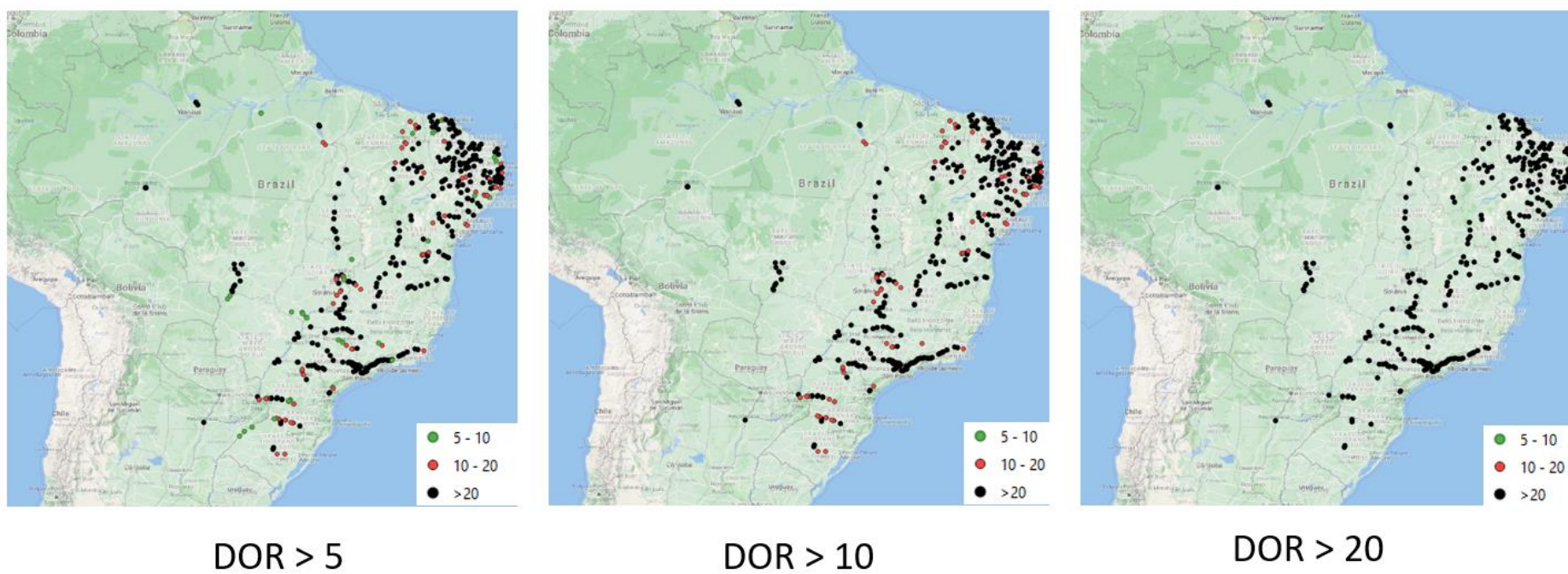


Figura 12. Mapas de Degree of Regulation em locais com postos fluviométricos hidrorreferenciados: DOR >5 (esquerda), DOR até 10 (centro) e DOR >20 (direita)

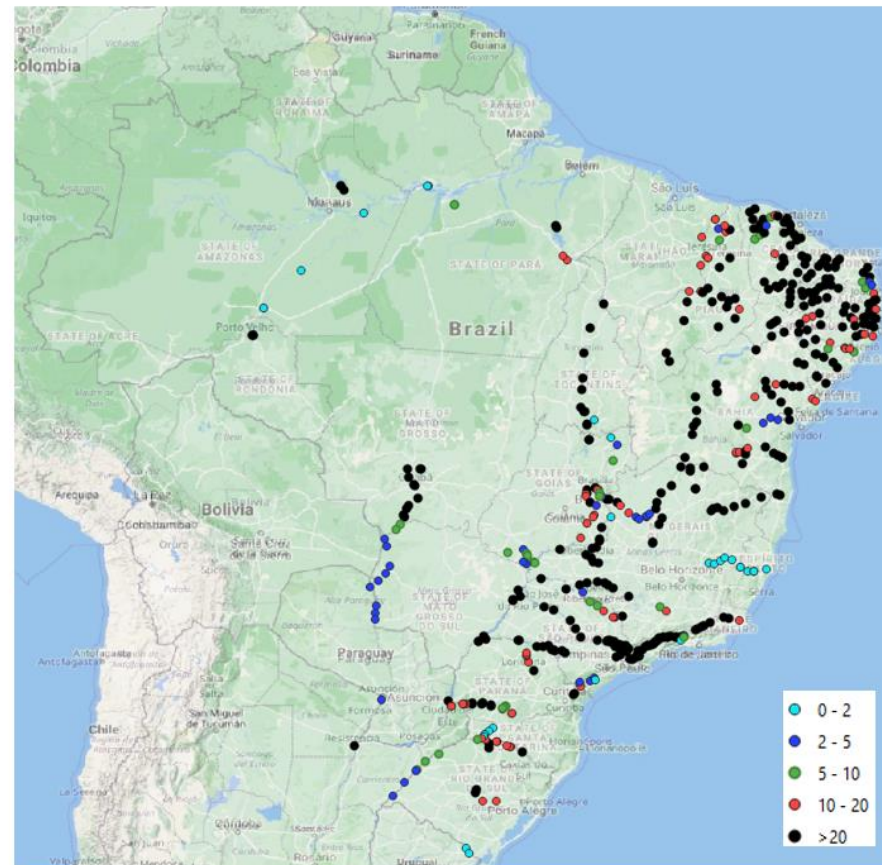


Figura 13. Mapas de Degree of Regulation em locais com postos fluviométricos hidroreferenciados, com DOR>0

5 VIZINHANÇA HIDROLÓGICA

Os métodos de pós-processamento e os métodos alternativos para estimativa de vazões em locais sem dados (benchmarks) ainda não estão completamente definidos, mas possivelmente serão baseados em alguma medida de vizinhança entre postos fluviométricos, entre um posto fluviométrico e um trecho não monitorado, e entre trechos não monitorados.

Em muitos casos a simples distância euclidiana entre postos fluviométricos, ou a distância euclidiana entre os centroides das bacias hidrográficas não é adequada para avaliar a proximidade entre dois postos fluviométricos. Uma métrica alternativa, mais adequada para medir a proximidade hidrológica entre dois pontos localizados sobre a rede de drenagem é o índice de Jaccard, que mede o grau de embutimento (nesting) entre duas bacias hidrográficas.

O índice de Jaccard para duas bacias hidrográficas é uma medida de similaridade (valores entre 0 e 1) que mede a relação entre a área definida pela intersecção das duas bacias e a área definida pela união das duas bacias, conforme a equação 4. Em bacias embutidas, o índice de Jaccard tem um valor que corresponde à área da bacia menor sobre a área da bacia maior, ou seja, seu valor máximo é 1. Em bacias não embutidas o valor do índice é zero.

$$J(A, B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|} \quad (4)$$

A Figura 14 ilustra alguns casos, com o índice de Jaccard correspondente. Observa-se que no caso de $J=0,77$, a semelhança entre as bacias é maior do que no caso em que $J=0,16$.

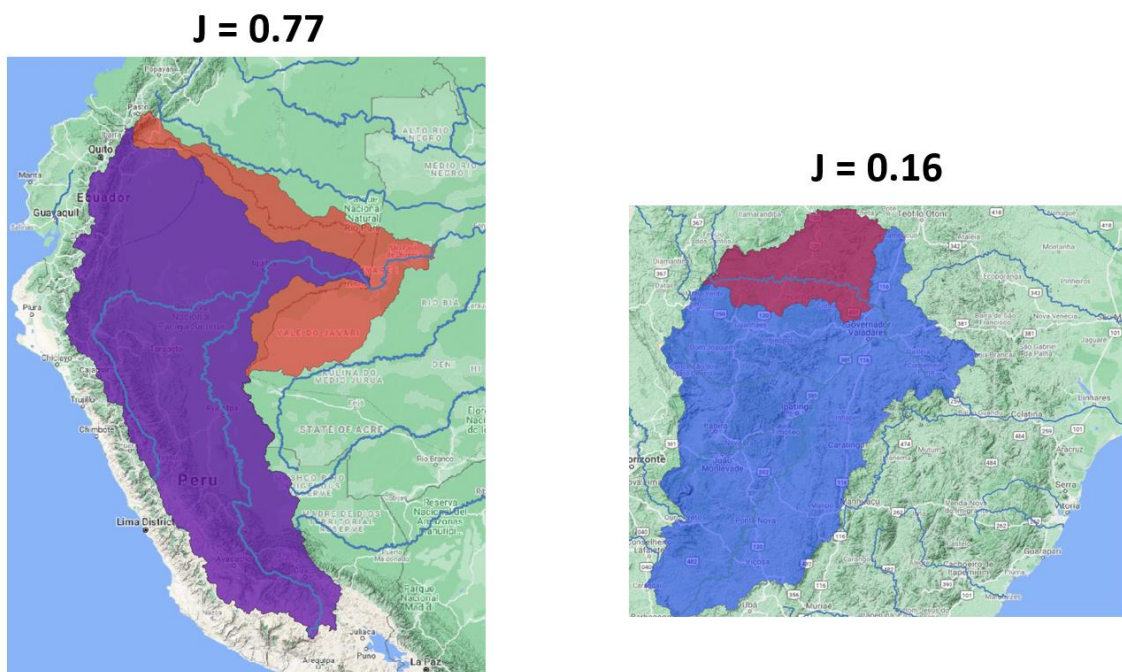


Figura 14. Exemplo de relação de áreas de bacias encadeadas (ou índice de Jaccard)

Em bacias não embutidas, no entanto, onde o índice de Jaccard é zero, a proximidade entre bacias hidrográficas pode ser estimada pela distância euclidiana entre centroides de bacias (Figura 15), o que também foi calculado para todos os pares de bacias dos postos fluviométricos da base selecionada.

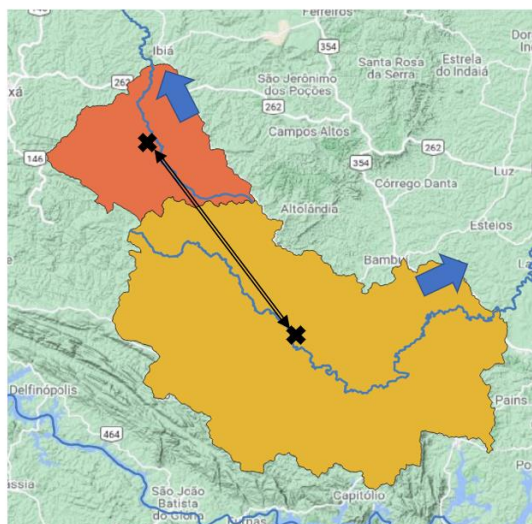


Figura 15. Exemplo de distância entre centroides de bacias

Assim, foi possível elaborar tabelas que relacionam as medidas de vizinhança, tais como o índice de Jaccard e a distância entre centroides (Figura 16).

Tabela do índice de Jaccard

	A	B	C	D	E	F
1		cotrecho	cotrecho	jaccard	jusante	
2	0	393548	25130	0.130275	2	
3	1	393548	39306	0.114705	2	
4	2	393548	40650	0.100579	2	
5	3	393548	7241	0.064338	2	
6	4	393548	86886	0.05185	2	
7	5	393548	102619	0.026264	2	
8	6	393548	28970	0.024461	2	
9	7	25130	39306	0.88048	2	
10	8	25130	40650	0.772053	2	
11	9	25130	7241	0.49386	2	
12	10	25130	86886	0.398002	2	
13	11	25130	102619	0.201601	2	
14	12	25130	28970	0.187766	2	
15	13	48788	106442	0.267889	2	
16	14	48788	39306	0.016481	2	
17	15	48788	40650	0.014451	2	
18	16	48788	7241	0.009244	2	
19	17	48788	86886	0.00745	2	
20	18	48788	102619	0.003774	2	
21	19	48788	28970	0.003515	2	
22	20	388237	106442	0.41198	2	
23	21	388237	39306	0.025345	2	

Tabela das distâncias de centróides

	A	B	C	D	E
1		posto_1	posto_2	distance_deg	
2	0	10100000	11400000	0.472440207	
3	1	10200000	10300000	0.975666399	
4	2	10200000	10500000	0.874412041	
5	3	10200000	13150000	0.821472069	
6	4	10300000	10500000	0.455450233	
7	5	10300000	10800000	0.904174618	
8	6	10300000	10900000	0.904174618	
9	7	10300000	13150000	0.934942874	
10	8	10300000	14100000	0.749653342	
11	9	10500000	13150000	0.500925917	
12	10	10500000	14100000	0.906415687	
13	11	10800000	10900000	0	
14	12	10800000	10910000	0.306690906	
15	13	10800000	14100000	0.303826876	
16	14	10900000	10910000	0.306690906	
17	15	10900000	14100000	0.303826876	
18	16	10910000	14100000	0.582007736	
19	17	11400000	11500000	0.646955106	
20	18	12150000	12180000	0.884005202	
21	19	12150000	12200000	0.532788499	
22	20	12180000	12200000	0.399180062	
23	21	12180000	12240000	0.620028216	

20090 pares
subbacias de cotrechos hidroreferenciados

39080 pares
postos fluviométricos (raio de 100 km)

Figura 16. Exemplo das tabelas com índice de Jaccard (em trechos da BHO) e distâncias de centroides (até 100 km, em postos fluviométricos)

A seguir, a Figura 17 exemplifica uma bacia com postos fluviométricos, as sub-bacias associadas e a representação de centroides de minibacias. Assim, é possível observar que existem diferentes possibilidades de postos de apoio a serem utilizados num procedimento de regionalização nessa vizinhança.

A Figura 18 ilustra o que seria a distância euclidiana entre o local dos postos, uma medida de proximidade bastante simples, onde é possível verificar que o posto da bacia vermelha está mais próximo ao posto no exutório da bacia (azul), enquanto o posto da bacia em verde está mais distante. A Figura 19 apresenta uma representação do índice do Índice de Jaccard, representando o percentual de área entre as bacias aninhadas. Nesse caso, a bacia em vermelho

apresenta um índice baixo, enquanto a bacia em verde tem um índice maior. Por fim, a Figura 20 demonstra a distância entre centroides das sub-bacias, onde a sub-bacia central possui a menor distância. A Figura 21 ilustra também, o caso de bacias vizinhas não aninhadas – onde o índice de Jaccard entre elas é nulo – mas medidas de distância podem ser utilizadas.

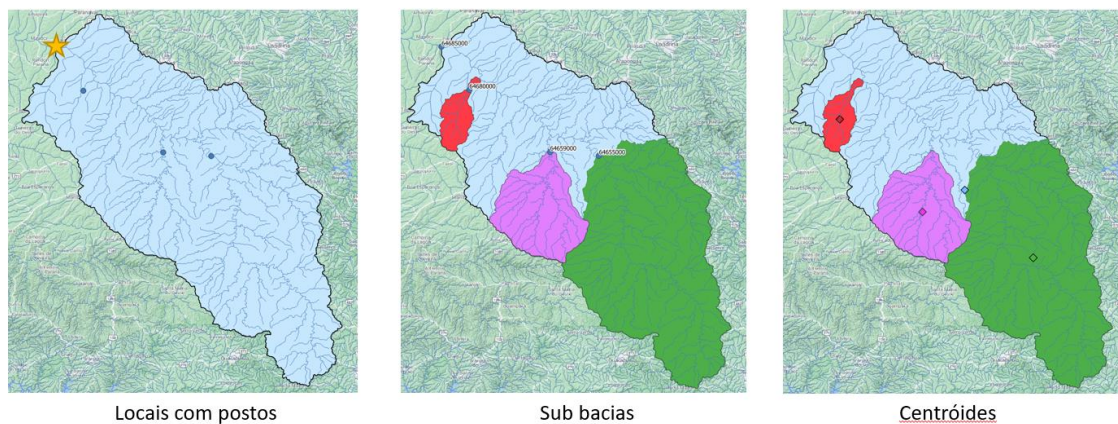


Figura 17. Exemplo de bacia com postos fluviométricos (esquerda), sub-bacias (centro) e centroides (direita)

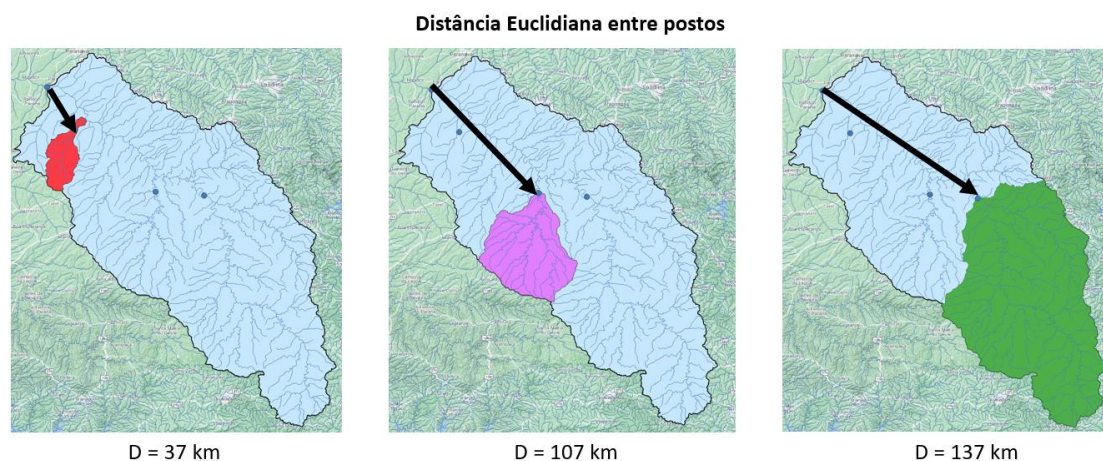


Figura 18. Exemplo ilustrativo para distâncias euclidianas entre postos

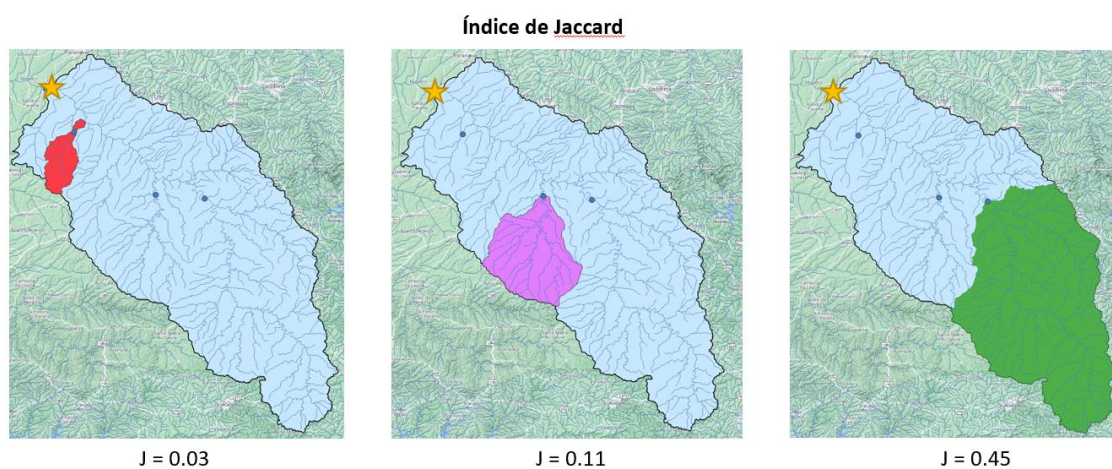


Figura 19. Exemplo ilustrativo para Índice de Jaccard

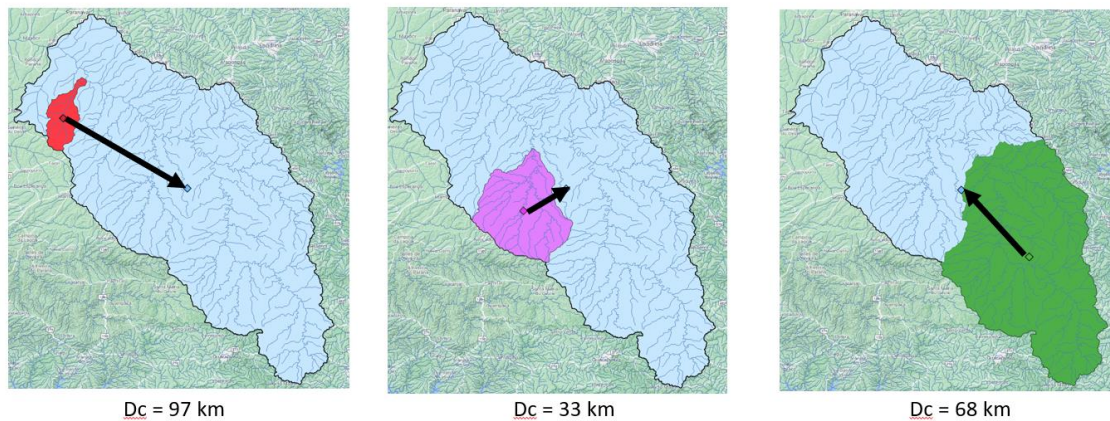
Distância de Centróides de Sub bacias

Figura 20. Exemplo ilustrativo para distância entre centróides de sub-bacias

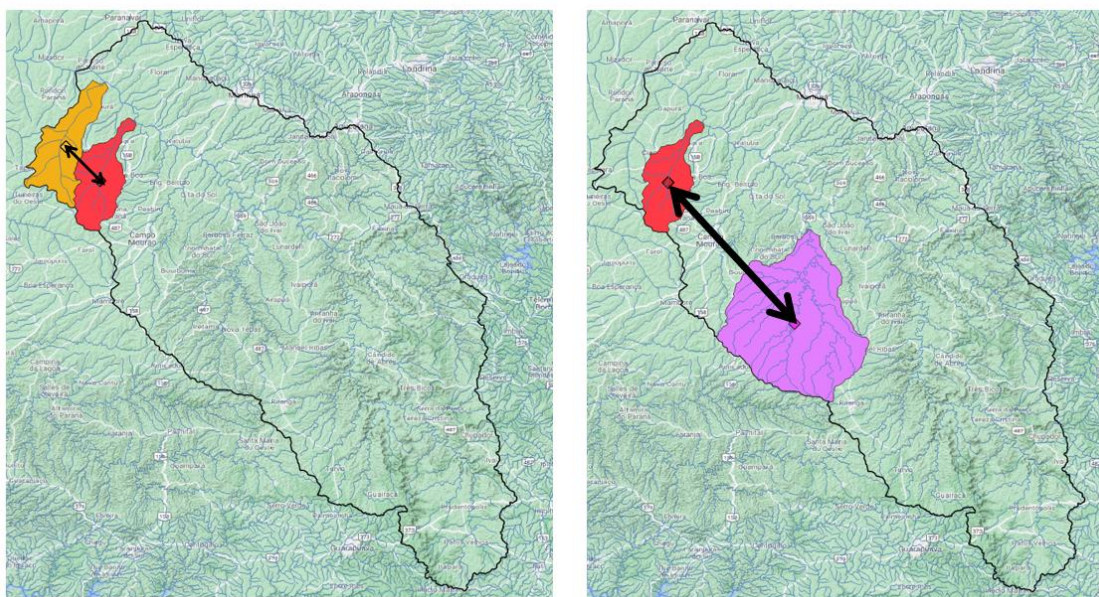


Figura 21. Exemplo ilustrativo de possibilidades para a bacia vermelha, a partir de bacias vizinhas não aninhadas

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Chagas, V. B. P., Chaffe, P. L. B., Addor, N., Fan, F. M., Fleischmann, A. S., Paiva, R. C. D., and Siqueira, V. A.: CAMELS-BR: hydrometeorological time series and landscape attributes for 897 catchments in Brazil, *Earth Syst. Sci. Data*, 12, 2075–2096, <https://doi.org/10.5194/essd-12-2075-2020>, 2020.

Fuckner, M. A. (2020). Massas d'água. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos, Agência Nacional de Águas – ANA. Disponível em <https://metadados.ana.gov.br/>.

Lehner, B., Liermann, C.R., Revenga, C., Vorosmarty, C., Fekete, B., Crouzet, P., Doll, P., Endejan, M., Frenken, K., Magome, J., Nilsson, C., Robertson, J.C., Rodel, R., Sindorf, N., Wisser, D., 2011. High-resolution mapping of the world's reservoirs and dams for sustainable river-flow management. *Front. Ecol. Environ.* 9 (9), 494–

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico (2020). Atualização de séries históricas de vazões – período 1931 a 2019. SINtegre-ONS.

SIQUEIRA, V. A. et al. (2018). Toward continental hydrologic–hydrodynamic modeling in South America. *Hydrology and Earth System Sciences*. Göttingen: Copernicus. Vol. 22, n. 9 (set. 2018), pp. 4815-4842.