

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

SÁVIO AUGUSTO ROCHA PINHEIRO

**AVALIAÇÃO DA REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES USANDO DADOS DE
PRECIPITAÇÃO ORIUNDOS DE BASES DISTINTAS COMO VARIÁVEL
PREDITIVA**

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2021**

SÁVIO AUGUSTO ROCHA PINHEIRO

**AVALIAÇÃO DA REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES USANDO DADOS DE
PRECIPITAÇÃO ORIUNDOS DE BASES DISTINTAS COMO VARIÁVEL
PREDITIVA**

Relatório final, apresentado à
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências para a obtenção do
título de Engenheiro Agrícola e
Ambiental.

Orientador: Demetrius David da Silva

Coorientadores: Guilherme Barbosa Reis
Micael de Souza Fraga

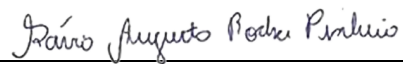
SÁVIO AUGUSTO ROCHA PINHEIRO

**AVALIAÇÃO DA REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES USANDO DADOS DE
PRECIPITAÇÃO ORIUNDOS DE BASES DISTINTAS COMO VARIÁVEL
PREDITIVA**

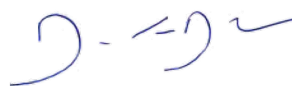
Relatório final, apresentado a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências, para obtenção do título de Engenheiro Agrícola e Ambiental.

APROVADO: 20 de outubro de 2021.

Assentimento:



Sávio Augusto Rocha Pinheiro
Autor



Demétrius David da Silva
Orientador

Primeiramente a Deus, por todas as bênçãos que me concedeu. Segundo, a minha namorada Laura Parma, a meus familiares e a meus amigos Guilherme Reis e Micael Fraga! Só tenho a agradecer a Deus por tantas pessoas incríveis em minha vida, me incentivando e me fazendo acreditar que irei conseguir! Esse TCC é dedicado a vocês!

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por todas as bênçãos que me deu na vida. Não somente pela paciência e perseverança ao longo do TCC, mas pela minha vida, pelas minhas qualidades e meus defeitos e acima de tudo, pela minha capacidade de perseverar perante os desafios.

A minha namorada Laura Parma, por estar ao meu lado durante toda a execução do meu TCC, me ajudando a perseverar nos momentos de desespero e me dando forças, tanto por meio de palavras, quanto gestos de carinho. Obrigado meu amor!

Aos meus super co-orientadores Guilherme Reis e Micael Fraga, não somente pela confiança ao longo da pesquisa, mas por estarem ao meu lado em tantos momentos de desespero e vitórias, me incentivando e me colando para cima. Vocês se tornaram irmãos da minha vida e é com muito orgulho que chamo vocês de meus Bro's.

Ao meu Pai e minha Mãe, Everson e Nalva, por estarem ao meu lado acreditando no meu potencial. Obrigado por me amarem, cada um na sua maneira e por me ajudarem a persistir nos meus sonhos.

Aos meus avós maternos, Vovó Elvira e Vovô Adair, e paternos, Vovó Hilda e Vovô Jeré, por cuidarem de mim e por me darem toda a base da minha vida. Se eu sou alguém, é por ter puxado um pouquinho de cada um de vocês. Vocês sempre serão meus heróis.

Aos meus novos Pai e Mãe, Seu José e Dona Romilda, por terem me acolhido em tantos momentos da vida de vocês, confiando os momentos de felicidade e, acima de tudo, a razão da vida de vocês: nossa princesa.

Ao meu Dindim Hebim e minha prima Myllena, por tantos momentos lindos de aprendizado e felicidade. Obrigado por sempre que estamos juntos, vocês me incentivarem e me colocarem para cima, estando ao meu lado e me fazendo mais e mais feliz.

Ao meu Dindinho Joaquim (in memoriam) e minha Dindinha Elza (in memoriam)! Acabou que não consegui dar um abraço em vocês de formado... é, isso é verdade. Mas quero que saibam, onde quer que estejam, que seu menino conseguiu, viu? E vocês foram peça fundamental para minha vitória, me passando ensinamentos de vida, desde os momentos que escondia embaixo da cadeira do Dindinho, até os abraços apertados da Senhora Dindinha. Eu sempre amarei vocês dois com tudo que há em mim e vocês sempre serão meus pais.

A minha família em geral, pelo voto de confiança. Por acreditarem no meu crescimento e permitirem que eu me desafiasse em Viçosa, local onde pude dar o primeiro passo rumo ao meu crescimento pessoal e profissional. Obrigado por me amarem e fazerem de tudo pela minha felicidade, independente da distância.

Aproveito para agradecer também ao meu melhor amigo Alisson Vieira, se não fosse por você meu irmão, UFV teria sido apenas um sonho. Obrigado pelo companheirismo no desbravamento das terras de Viçosa, essa aventura foi memorável e só foi possível graças aos seus conselhos, me incentivando a não desistir.

Aos meus professores que com sabedoria e dedicação ajudaram a construir a pessoa quem sou, tanto a nível profissional como também pessoal.

Ao Professor Demetrius David pela confiança em me orientar, não somente ao longo de toda a pesquisa, mas também ao longo dos meus bons anos de crescimento no Centro de Referência em Recursos Hídricos (CRRH).

Aos meus amigos de curso, que tive a honra de conhecer em Viçosa. Em especial meus Bro's de caminhada: João Victor, Jean Carlos, Neuller, Rogério, Jeremias, Marcos, Juliana, Lucas, Uilson e Jasmine que compartilharam comigo grandes momentos de batalhas da graduação, bem como ótimos momentos de paz.

Deixo meus votos de agradecimento também as entidades que tive o privilégio de participar ao longo da minha caminhada na graduação: PET.EAA, Agrijúnior, CRRH, CENTREINAR, GEAPPA e Cargill. Em especial, gostaria de agradecer ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), pois muito dos conhecimentos aplicados ao longo do TCC, eu aprendi e pratiquei ao longo do meu estágio no Órgão.

Por fim agradeço a cidade de Viçosa e a Universidade Federal de Viçosa (UFV) que me acolheram nesses melhores anos da minha vida. A UFV deixa uma marca muito forte em todos que passam por suas generosas mãos, comigo não é diferente, sinto e sentirei para sempre marcado em meu coração ter feito parte com orgulho dessa universidade.

Não me tornei somente Engenheiro Agrícola e Ambiental, mas sim, Engenheiro Agrícola e Ambiental da Universidade Federal de Viçosa.

“Não me subestime! Eu não vou desistir! Eu vou continuar! Mesmo que eu seja um Genin para sempre! Eu vou me tornar um Hokage, então tome cuidado! Eu não tenho medo! Eu não vou fugir e nunca voltar atrás na minha palavra. Esta é a minha conduta, é o meu jeito ninja!”

(Naruto Uzumaki)

RESUMO

Em estudos de regionalização de vazões, as incertezas associadas à precariedade ou inexistência dos dados de vazão e de precipitação são problemas enfrentados por parte dos pesquisadores e gestores de recursos hídricos, especialmente em países emergentes como o Brasil. Diante disso, a utilização de bases de dados de precipitação obtidas por satélite tem ganhado espaço, permitindo realizar estimativas precisas da precipitação em regiões onde os dados pontuais, obtidos em estações pluviométricas, são precários. Sendo assim, objetivou-se com esse estudo comparar diferentes bases de dados de precipitação, usadas como variáveis preditivas, em estudos de regionalização de vazões. A área de estudo considerada foi a bacia hidrográfica do rio Paranaíba. Foram utilizados dados de vazão oriundos de estações pluviométricas presentes na área de estudo e dados de precipitação obtidos de estações pluviométricas, que foram interpolados pelo método da krigagem simples, do satélite TRMM e do WorldClim. A área de estudo foi dividida em quatro regiões homogêneas, sendo que apenas para a região 4 as equações de regionalização geradas possuem alguma restrição de uso, uma vez que alguns ajustes se mostraram pouco satisfatórios. Para as equações de regionalização os melhores ajustes foram obtidos utilizando os dados de precipitação oriundos das estações pluviométricas interpolados por krigagem simples, no entanto, a utilização dos dados de precipitação do TRMM e do WorldClim para obtenção de equações de regionalização de vazão proporcionaram resultados semelhantes. Sendo assim, pode-se considerar que as bases de dados alternativas empregadas no estudo se apresentam como uma opção em substituição aos dados observados nas estações pluviométricas, resultando em ganho de tempo por parte dos pesquisadores e órgãos gestores nos estudos de regionalização de vazão, uma vez que tais dados já se encontram prontamente disponíveis para utilização.

Palavras-chave: Dados hidrológicos; Geoestatística; Krigagem Simples; TRMM; WorldClim.

ABSTRACT

In studies of flow regionalization, uncertainties associated with precariousness or lack of precipitation data are problems faced by researchers and managers of water resources, especially in emerging countries such as Brazil. Therefore, the use of satellite precipitation databases has gained space, allowing for accurate estimates of precipitation in regions where data are precarious. Thus, the aim of this study was to compare different precipitation databases as predictive variables for regionalization of flows. The study area considered was the hydrographic basin of the Paranaíba River. Flow data from fluvimetric stations present in the study area and precipitation data obtained from pluviometric stations were used, which were interpolated by the simple kriging method, the TRMM satellite and the WorldClim. The study area was divided into four homogeneous regions, and only for region 4, that the generated regionalization equations have some use restriction, since some adjustments proved to be unsatisfactory. The best fits obtained for the regionalization equations were using the precipitation data from the pluviometric stations interpolated by simple kriging, however, the use of precipitation data from TRMM and WorldClim to obtain flow regionalization equations provided similar results. Therefore, it can be considered that the alternative databases used in the study, are presented as an option to replace the data observed in the rainfall stations, which would result in time savings on the part of researchers and management bodies in the regionalization studies of throughput, since such data are readily available for use.

Keywords: Geostatistics; Hydrological data; Simple Kriging; TRMM; WorldClim.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	MATERIAL E MÉTODOS	13
2.1	Área de estudo	13
2.2	Dados de vazão	15
2.3	Dados de Precipitação	16
2.3.1	Dados das estações pluviométricas	16
2.3.2	WorldClim	17
2.3.3	TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission)	18
2.4	Descrição das variáveis dependentes da regionalização	18
2.5	Identificação de tendências temporais das séries de vazão	19
2.6	Descrição da variável independente	21
2.7	Regionalização das vazões	21
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
3.1	Dados de precipitação	25
3.2	Determinação de regiões hidrologicamente homogêneas	28
3.3	Equações de regionalização de vazões	31
4	CONCLUSÃO	37
	REFERÊNCIAS	38
	ANEXOS	42
	ANEXO I	42
	ANEXO II	46
	ANEXO III	49
	ANEXO IV	52
	ANEXO V	56
	ANEXO VI	68

1 INTRODUÇÃO

Para uma adequada gestão de recursos hídricos é necessário o desenvolvimento de diversos estudos no campo da hidrologia. Dentre os estudos, podemos citar a estimativa das vazões mínimas de referência, essenciais para concessão de outorgas de captação de água e lançamento de efluentes; a estimativa das vazões máximas que, por sua vez, é indispensável para o dimensionamento de obras hidráulicas e a determinação de regiões susceptíveis a inundações; e a determinação da vazão média de longa duração, que é a maior vazão possível de ser regularizada em um curso d'água. Esse planejamento adequado auxilia na melhora do desempenho de atividades essenciais, tais como a produção de alimentos, abastecimento humano, saúde pública, geração de energia elétrica, obras hidráulicas, dentre outras (MAHMOOD e JIA, 2019; WILSON; HISDAL; LAWRENCE, 2010).

Para auxiliar no planejamento e na gestão de recursos hídricos, o monitoramento dos rios, por meio de estações fluviométricas, é imprescindível (AGARWAL et al., 2020). No entanto, em países emergentes esse processo é quase sempre inexistente ou precário, tanto em termos de qualidade como em quantidade de dados (AMORIM et al., 2020; OCIO; BESKEEN; SMART, 2019). No Brasil, esse cenário não é diferente, uma vez que as estações fluviométricas estão instaladas, na sua maioria, em corpos hídricos principais. Tal fato, dificulta a gestão dos recursos hídricos por parte dos órgãos competentes nas menores áreas de drenagem (NRUTHYA; SRINIVAS, 2015). Sendo assim, estudos conhecidos como regionalização de vazões vêm sendo realizados e aprimorados, visando possibilitar a transferência de informações de locais com a presença dos dados pontuais, para locais onde tal informação é desconhecida (PRUSKI et al., 2013; AMORIM et al., 2020)

Dentre os métodos existentes para estudos de regionalização de vazões, a metodologia mais empregada é a regionalização com base em equações de regressão regionais (ELESBON et al., 2015; PRUSKI et al., 2013; SERRANO et al., 2020). Nesse caso, é possível estimar valores de vazões para locais sem a presença de monitoramento físico ou com informações escassas por intermédio de variáveis explicativas, ou seja, de informações adicionais das respectivas bacias de contribuição (ARSENAULT; BRISSETTE, 2014). Dentre as variáveis preditivas aplicadas, destaca-se a precipitação, que representa a principal entrada de água no sistema hídrico (AMORIM et al., 2020; ELESBON et al., 2015; MATOS et al., 2020).

Apesar de ser um dos métodos mais empregados no Brasil, as equações de regressão que utilizam a precipitação como variável preditiva também apresentam desafios e limitações. Assim como os dados de vazão são obtidos por estações fluviométricas, os dados de

precipitação são obtidos por meio de estações pluviométricas, que também estão sujeitas a falhas e deficiências na rede de monitoramento. Dessa forma, o processo de interpolação, normalmente realizado por Krigagem (SERRANO et al., 2020) ou Inverso da Potência das Distâncias (IDW) (PRUSKI et al., 2013), pode vir a ser comprometido, seja pela insuficiência do número de estações ou pela quantidade de dados da série histórica.

No Brasil, os dados de precipitação são obtidos das series históricas disponíveis em estações pluviométricas, cujas informações podem ser baixadas pelos sites de domínio da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) ou Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). No entanto, o processo de obtenção e consistência desses dados demanda muito tempo e é bastante oneroso.

Uma alternativa viável e de fácil obtenção para dados de precipitação, a fim da sua utilização como variável preditiva em equações de regionalização de vazão, são os produtos provenientes de satélites. Estes possuem fácil obtenção de dados e amplas series históricas disponíveis, bem como resolução temporal adequada e resolução espacial com ampla cobertura, podendo apresentar leituras para todo o globo terrestre, o que minimiza o problema dos dados precários e/ou inexistentes em regiões de países emergentes (WANG; ZHONG; LAI, 2017), como é o caso do Brasil.

Os dados de precipitação obtidos por satélites podem ser oriundos de diferentes plataformas. Uma opção que vem ganhando destaque são os dados de chuva do satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission), lançado em 1997 com o objetivo específico de medir a precipitação nos trópicos (KUMMEROW et al., 1998; PASSOW, 2015). Este produto possui resolução espacial de 27 km e período base de 1998 a 2017, no entanto, ainda não foram encontrados estudos hidrológicos voltados para a obtenção de equações de regionalização de vazão empregando dados oriundos do satélite TRMM como variável preditiva.

Outra alternativa é utilizar a base de dados disponibilizada pelo Projeto WorldClim (FICK; HIJMANS, 2017), que apesar de não ser diretamente proveniente de satélite, fornece uma base de dados global para diversas variáveis meteorológicas, com resolução espacial de 1km. Estes dados de precipitação são gratuitos e apresentam um período base de 31 anos (1970 a 2000). A informação disponibilizada é referente a uma interpolação média mensal para todos os meses da série histórica, oriundos de 34.542 estações meteorológicas (FICK; HIJMANS, 2017). Vale ressaltar que o número de estudos hidrológicos empregando a plataforma do WorldClim são escassos, sendo os dados empregados, na sua maioria, para pesquisas voltadas à modelagem da erosão do solo (BALLABIO et al., 2017).

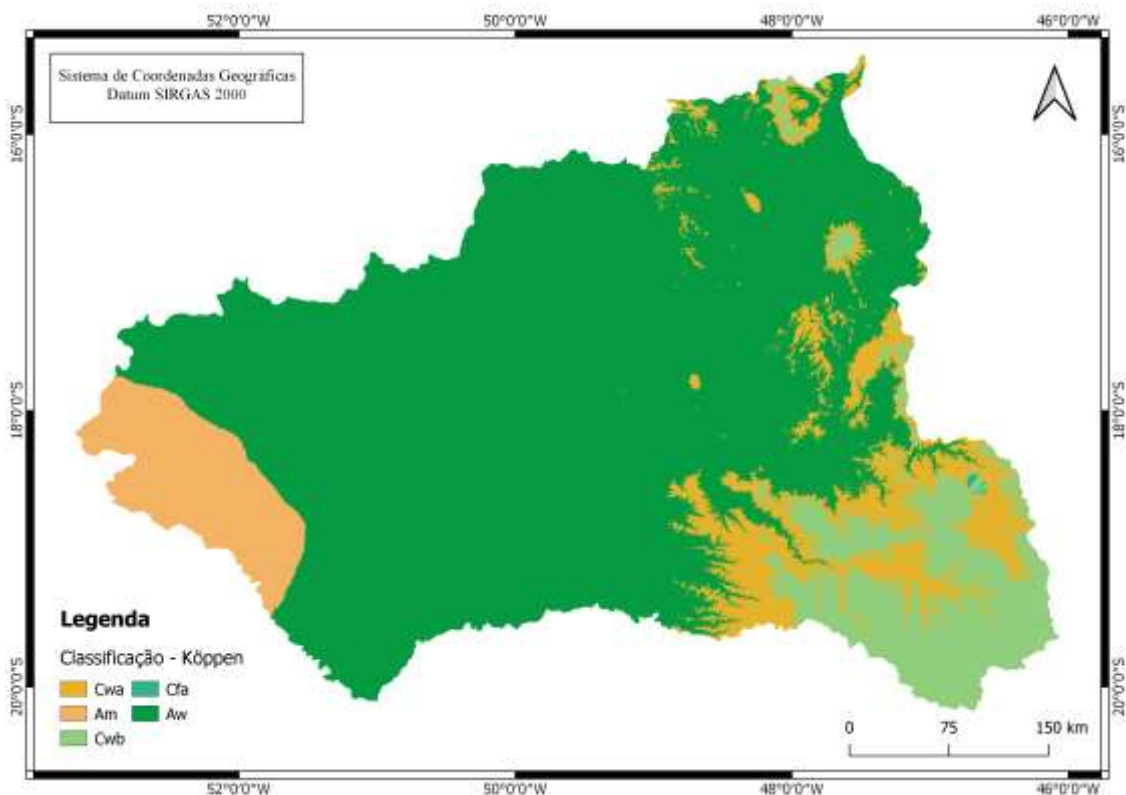
Estudos de regionalização de vazão são importantes para diversas regiões e bacias hidrográficas brasileiras, dentre as quais se destaca a bacia hidrográfica do rio Paranaíba, devido a sua importância econômica e ambiental para o território regional e nacional. Por apresentar boa parte de sua área na região Centro-Oeste do país, evidencia-se sua relevância para o agronegócio brasileiro. Em termos de produção agrícola, os maiores produtos da região são a soja, o milho e a cana-de-açúcar. Já em relação a pecuária, os principais rebanhos são os bovinos, aves e suínos (PRH-PARANAÍBA, 2011). Em termos ambientais, evidencia-se a presença de nove aquíferos de grande representatividade, sendo eles: Cristalino Sudeste de Goiás, Canastra, Paranoá, Araxá, Bambuí, Aquidauana, Guarani, Serra Geral e Bauru, (PRH-PARANAÍBA, 2011).

Diante de tudo, objetivou-se com o presente estudo analisar a viabilidade da obtenção de equações de regionalização de vazão para a bacia do rio Paranaíba utilizando, como variável explicativa, dados de precipitação oriundos de estações pluviométricas, do satélite TRMM e da base de dados do WorldClim. A hipótese do trabalho foi de que os dados do TRMM e do WorldClim apresentam bons ajustes e podem ser considerados como opção em substituição aos dados interpolados oriundos das estações pluviométricas. Dessa forma, busca-se otimizar e dar celeridade ao processo de regionalização de vazões.

estados de Minas Gerais (56 municípios), Goiás (137 municípios) e Mato Grosso do Sul (4 municípios).

Segundo a Classificação de Köppen (Figura 2), a bacia do rio Paranaíba se enquadra, na sua maioria, na classificação Aw (Tropical com inverno seco), sendo esse o clima predominante na parte central. Além disso, apresenta a região da nascente do rio Paranaíba (porção mineira da bacia), caracterizada na maioria como Cwb (Subtropical úmido, com inverno seco e verão temperado) e Cwa (Subtropical úmido, com inverno seco e verão quente), com uma pequena região classificada como Cfa (Úmido em todas as estações, verão quente). Por fim, a parte a oeste da bacia apresenta uma porção caracterizada como Am (clima tropical de monção) (ALVARES et al., 2013). De acordo com o Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paranaíba (2013) as temperaturas médias anuais variam de 16 a 18 °C nas regiões com maiores altitudes e superam 22 °C na parte central da bacia.

Figura 2 - Classificação climática de Köppen-Geiger para a bacia do rio Paranaíba

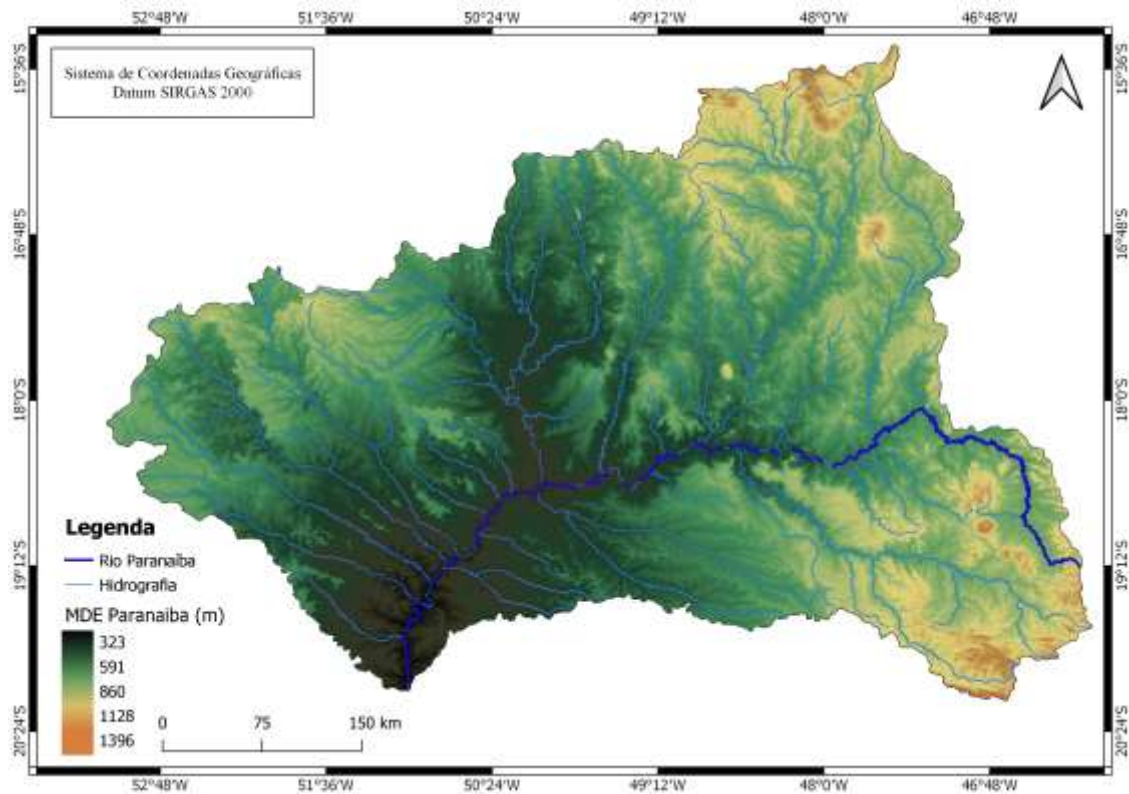


Fonte: Próprio Autor.

O relevo da bacia (Figura 3), apresenta variação altimétrica de 240 a 1.400 metros, em que as maiores altitudes ocorrem nas porções nordeste e sudeste. Em relação ao uso e ocupação da terra na bacia, cerca de 70% da área total apresenta predominância de atividades

agrícolas. Além disso, a pecuária é predominante no setor oeste, enquanto a agricultura domina a porção centro-sudeste e diversas áreas de cabeceira da bacia, inclusive com concentração de pivôs centrais de irrigação em alguns trechos, como nas bacias dos rios São Marcos e Araguari (ANA, 2013).

Figura 3 – Modelo digital de elevação da bacia do rio Paranaíba



Fonte: Próprio Autor.

2.2 Dados de vazão

Para o cálculo das vazões de referência foi empregado as séries históricas de dados das estações fluviométricas inseridas dentro da BHRP. Todos os dados de vazão foram obtidos no Sistema de Informações Hidrológicas (Hidroweb) da ANA (SNIRH, 2021).

Em decorrência da disponibilidade da base de dados das estações utilizadas, optou-se por realizar o estudo para o período-base de 1990 a 2019. Para a seleção das estações foi estabelecido o critério de, no mínimo, 20 anos de dados com menos de 5% de falhas, dentre os 30 anos analisados, conforme realizado por LELIS et al. (2020). Dessa forma, foi possível selecionar 68 estações fluviométricas.

Para obter a área de drenagem de cada estação fluviométrica usada foi utilizado o Modelo Digital de Elevação SRTM 1 Arc-Second Global, oriundo da missão espacial SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), onde o download gratuito é disponibilizado pela plataforma do EarthExplorer do United States Geological Survey (USGS) (EARTH EXPLORER, 2021). O MDE SRTM 1 Arc-Second Global escolhido apresenta uma resolução espacial de 30 metros, oferecendo uma cobertura mundial de dados (FARR et al., 2007).

2.3 Dados de Precipitação

Os dados de precipitação foram obtidos por três bases de dados diferentes, sendo elas: i) dados oriundos de estações pluviométricas da rede hidrometeorológica da ANA; ii) dados provenientes do satélite TRMM; e iii) dados provenientes da base de dados do WorldClim. A contextualização e explicação de cada base de dados será descrita a seguir.

2.3.1 Dados das estações pluviométricas

Quanto ao período de dados analisados para as estações pluviométricas, foi utilizado o mesmo período-base das estações fluviométricas, ou seja, de 1990 a 2019. Dessa forma, assim como para as estações fluviométricas, também foi adotada a condição de pelo menos 20 anos de dados dentre os 30 apresentados na série histórica, sendo os dados obtidos na plataforma Hidroweb. Selecionou-se, também, estações pluviométricas localizadas em um raio de até 30 km fora dos limites da bacia.

Por meio desses critérios foi possível selecionar 144 estações pluviométricas. As séries históricas das estações tiveram as suas falhas preenchidas pelo método da regressão linear simples (TUCCI, 2012), sendo adotado o critério do coeficiente de determinação mínimo de 0,70. As informações referentes a cada uma das estações pluviométricas utilizadas no estudo são apresentadas no Anexo I.

De posse das séries históricas completas, foi utilizado o software Excel para obtenção da precipitação total anual de cada ano da série histórica. Posteriormente, foi obtida a precipitação total anual média para cada uma das estações pluviométricas do estudo. Por fim, a interpolação dos dados de precipitação foi realizada por meio da krigagem simples. Para essa etapa foi utilizado o software R – pacote geoR (RIBEIRO JÚNIOR, P. J. et al, 2020).

Na interpolação por krigagem simples foram analisados diversos semivariogramas experimentais e selecionado aquele que melhor expressou as seguintes características:

alinhamento dos pontos, menor efeito pepita e estabilização na variância dos dados (GUEDES et al., 2020; YAMAMOTO; LANDIM, 2013). O ajuste dos modelos teóricos de semivariograma foram realizados pelos métodos dos mínimos quadrados ordinários (OLS), mínimos quadrados ponderados (WLS), máxima verossimilhança (ML) e máxima verossimilhança restrita (REML). Para aferição da qualidade do ajuste foi efetuada a Leave-One-Out Cross Validation (LOOCV), sendo o melhor ajuste aquele com média nula e variância unitária em relação aos erros padronizados (KASMAEEYAZDI et al., 2020). A principal característica da krigagem simples é que a média da variável deve ser conhecida. O preditor empregado no processamento da krigagem simples pode ser descrito conforme Equação 1 (OLEA, 1999).

$$Z_{KS}^*(x_0) = m + \sum_{i=1}^{n(u)} \lambda_i [Z(x_i) - m] \quad (1)$$

Em que: $Z_{KS}^*(x_0)$ é o valor predito na seção de interesse; x_0 ; $Z(x_i)$ é o valor observado da variável num dado local; x_i ; λ_i é o peso atribuído aos valores próximos da seção de interesse; m é a média constante em toda a área e $n(u)$ é o número de observações, ou estações de apoio.

2.3.2 WorldClim

O WorldClim é uma plataforma gratuita que oferece um banco de dados climáticos e meteorológicos globais de alta resolução. Foi utilizada no presente estudo a versão mais atualizada dessa base de dados que é a 2.1, sendo o período de dados contemplado entre os anos de 1970 a 2000, ou seja, uma base de dados de 31 anos. As precipitações mensais referentes ao período em questão foram interpoladas usando o software ANUSPLIN (XU; HUTCHINSON, 2011), permitindo uma resolução espacial de 30 segundos de arco, proporcional a aproximadamente 1 km x 1 km (FICK; HIJMANS, 2017). O download dos dados utilizados no estudo foi feito no site da plataforma (Global climate and weather data — WorldClim) (WORLDCLIM, 2021).

2.3.3 TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission)

O satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) oferece algumas das mais valiosas imagens para acompanhamento, previsão e análise de precipitação, oriundas do produto 3B43 e outras fontes de produtos de precipitação, versão 7 (3B43-v7). Os dados são gratuitos para *download*, estando disponíveis no site TRMM da NASA (National Aeronautics and Space Administration) (TRMM, 2021). Importante ressaltar que o satélite apresenta dados referentes ao período de 1998 a 2017, onde é possível obter uma precipitação total mensal média para todo o período analisado. Após baixar os dados, foi feito um somatório dos 12 mapas em formato raster obtendo-se a precipitação total anual média. Por fim, como a resolução oferecida é de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$, tem-se um grid com pixels de aproximadamente 27 km x 27 km de resolução.

2.4 Descrição das variáveis dependentes da regionalização

A área de estudo compreende parte de três estados distintos, sendo eles: Minas Gerais (MG), Goiás (GO) e Mato Grosso do Sul (MS). Para concessão da outorga do direito de uso de recursos hídricos em rios estaduais no estado de Minas Gerais, o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) utiliza a vazão mínima média de sete dias consecutivos e período de retorno de 10 anos, denominada $Q_{7,10}$ (UFV; IGAM, 2012); enquanto os estados de GO e MS utilizam a vazão associada à permanência de 95% no tempo (Q_{95}) (CERH-GO, 2005; COSTA; VASCONCELOS, 2015), bem como a ANA para a concessão de outorga em rios federais.

A definição da vazão de referência a ser adotada depende da garantia de atendimento que se deseja considerar para os usos a serem instalados em determinada bacia (ANA, 2011). Se os usos exigem maior garantia, deve-se optar por vazões mais conservadoras. Dessa forma, buscou-se também gerar equações para a Q_{90} (vazão associada à permanência de 90% no tempo), uma vez que ela é comumente utilizada para a concessão da outorga do direito de uso de recursos hídricos em outros estados no Brasil, bem como para a vazão média de longa duração (Q_{mld}), sendo essa última inserida ao estudo por caracterizar a maior vazão possível de ser regularizada em um curso d'água.

De posse da série histórica obtida para cada estação fluviométrica e conforme descrito nos tópicos anteriores, foi utilizado o software SisCAH - Sistema Computacional para Análises Hidrológicas (SOUSA et al., 2009), desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em

Recursos Hídricos, vinculado ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, para obtenção das vazões de referência empregadas no estudo.

2.5 Identificação de tendências temporais das séries de vazão

Para as séries anuais de vazões médias (Q_m) e mínima da média de sete dias consecutivos (Q_7) de todas as estações fluviométricas pré-selecionadas na área de estudo, aplicou-se o teste estatístico não paramétrico de Pettitt (PT) (PETTITT, 1979) associado a um nível de significância de 5%, para a identificação de tendências temporais. Em estudos de regionalização de vazão, é muito interessante que as séries históricas sejam estacionárias, porque, dessa forma, pode-se garantir que não houve variação expressiva ao longo do tempo e, com isso, as equações terão uma maior confiabilidade dos dados, dentro do período analisado, validando o emprego das mesmas. Para a aplicação do teste, utilizou-se o software estatístico R – pacote `pettitt.test` (POHLERT, 2020).

O teste de Pettitt é utilizado para verificar a estacionariedade de uma série por meio da identificação de um ponto de mudança de tendência no comportamento dos dados (ULIANA et al., 2014). As equações das estatísticas do teste são apresentadas nas Equações 2, 3 e 4.

$$U_{t,N} = U_{t-1,N} + \sum_{j=1}^N \text{sgn}(x_t - x_j) \quad \text{para } t = 2, \dots, N \quad (2)$$

Em que: $U_{t,N}$ é a estatística do teste de Pettitt, adimensional; N é o tamanho da série, adimensional; t e j são posições dos valores na série, adimensional; x_t e x_j são valores da série, $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ e sgn é o sinal da operação $(x_t - x_j)$, adimensional.

O valor máximo absoluto $|U_{t,N}|$ indica a posição do possível ponto de mudança. Sendo assim, a estatística $k_{(t)}$, apresentada na Equação 3, representa o ponto de mudança t associado ao nível de significância p (Equação 4).

$$k_{(t)} = \max_{1 \leq t \leq N} |U_{t,N}| \quad (3)$$

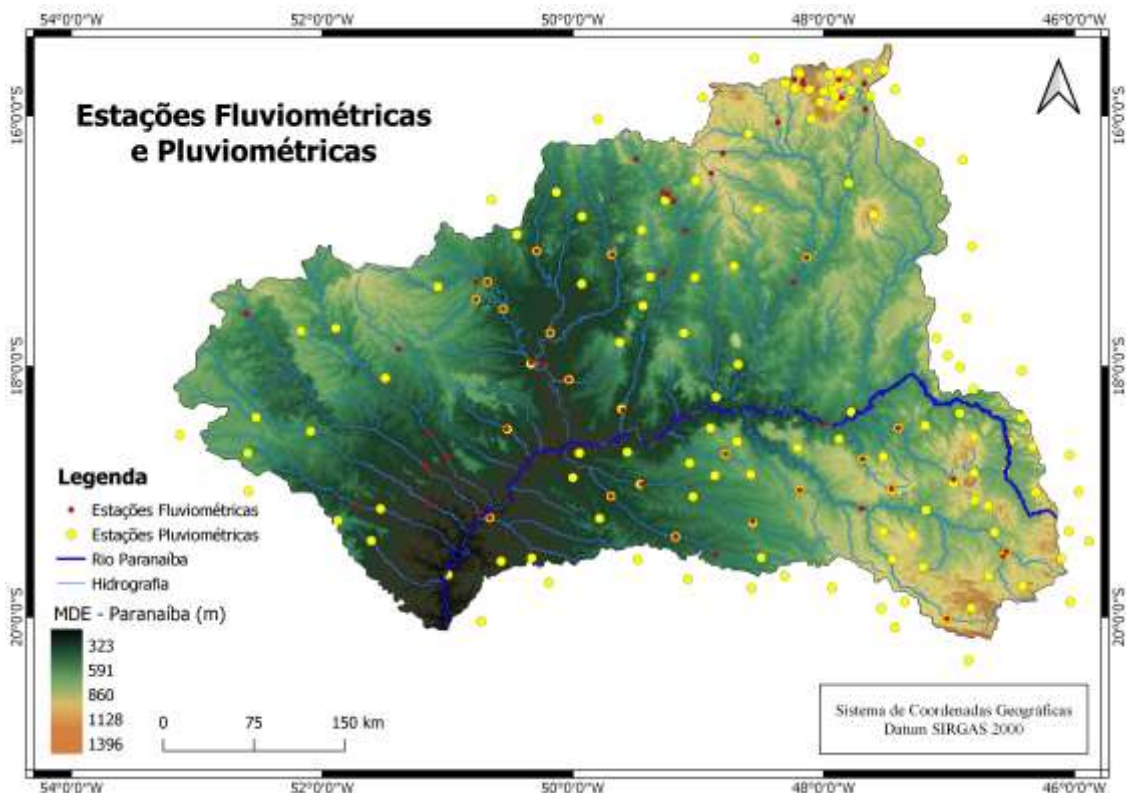
$$\rho \cong 2 \exp \left\{ \frac{-6(k_t^2)}{(N^3 + N^2)} \right\} \quad (4)$$

Em que: $k_{(t)}$ é o ponto de mudança, adimensional; t é a posição dos dados na série, adimensional e p é o valor crítico associado a um nível de significância α , adimensional.

Quando o valor de p foi menor que o nível de significância adotado, admitiu-se que houve mudança estatisticamente significativa no comportamento dos dados.

Como o presente trabalho visa gerar equações para vazões de referência mínimas e média, a estação fluviométrica cuja série de dados não se mostrou estacionária para ambas as vazões anuais (Q_m e Q_7) foi descartada da base de dados. Vale ressaltar que, como as duas vazões de permanência do estudo (Q_{95} e Q_{90}) e a Q_{710} representam vazões mínimas de referência, foi empregado na análise de tendência somente a mais restritiva entre elas, nesse caso, representada pela Q_7 . Dessa forma, foram eliminadas 10 estações, restando um total de 58 postos fluviométricos selecionados para o estudo. A distribuição geográfica das estações pode ser visualizada na Figura 4, juntamente com as 144 estações pluviométricas empregadas no estudo. Os resultados obtidos da análise de tendência para cada estação fluviométrica, podem ser visualizados no Anexo II.

Figura 4 – Estações fluviométricas e pluviométricas utilizadas no estudo



Fonte: Próprio Autor.

2.6 Descrição da variável independente

Para o presente estudo, optou-se por utilizar apenas uma variável independente, sendo essa um produto da combinação de duas variáveis explicativas: a área de drenagem e a precipitação total anual média, em que a primeira é uma variável fixa, característica de cada estação fluviométrica, e a segunda o propósito principal do estudo, onde foram comparadas três bases de dados distintas. Sendo assim, a variável combinada, que contempla as duas variáveis preditivas do estudo, foi a vazão equivalente ao volume precipitado menos 750 mm (Peq750) (PRUSKI et al., 2013), que pode ser obtida por meio da Equação 5.

$$P_{eq750} = \frac{(P - 750)A}{31536} \quad (5)$$

Em que: P_{eq750} = vazão equivalente ao volume precipitado considerando a subtração do fator de abstração igual a 750 mm, m³ s⁻¹; P = precipitação total anual média na área de drenagem considerada, mm; A = área de drenagem, km².

A P_{eq750} foi escolhida por apresentar melhores ajustes, quando comparado com outras possíveis variáveis independentes, para a porção da BHRP (OLIVEIRA; GONÇALVES, 2017). Além disso, de acordo com Serrano et al., (2020), o uso da P_{eq750} reduz a variância na estimativa da equação, quando comparado às equações com múltiplas variáveis independentes.

2.7 Regionalização das vazões

De posse das variáveis dependentes e das explicativas, foi possível obter as equações de regionalização de vazão. Foi empregado o método das regressões regionais (ELETROBRÁS, 1985), sendo necessária a obtenção preliminar das Regiões Hidrológicamente Homogêneas (RHHs).

Para determinar as RHHs foi aplicada a metodologia da Análise de Cluster (AC) e os cálculos foram processados no software estatístico R – pacote MVar.pt: Análise multivariada (OSSANI; CIRILLO, 2021). Para este procedimento foram utilizadas as vazões específicas associadas às quatro vazões regionalizadas (Q_{7,10}, Q₉₅, Q₉₀ e Q_{mid}), bem como os valores de

latitude e longitude das estações fluviométricas. Vazão específica é caracterizada como sendo a vazão por unidade de área, ou seja, o valor das vazões de referência pela área de drenagem de cada estação fluviométrica.

A latitude e a longitude foram empregadas na análise de cluster para obter regiões geograficamente contínuas (RAMACHANDRA; RAOSRINIVAS, 2006). O agrupamento hierárquico foi aplicado por meio do algoritmo de *Ward* no conjunto de dados, utilizando a distância euclidiana como medida de dissimilaridade (FARSADNIAA et al., 2014). A quantidade de RHHs foi obtida a partir do critério de inércia entre saltos, em que a primeira descontinuidade visível do gráfico definiu o ponto de corte, ou seja, onde ocorre a melhor separação dos grupos no dendrograma (ELESBON et al., 2014; FRAGA et al., 2020).

O cálculo do número mínimo de estações fluviométricas por RHH, para o presente estudo, foi feito seguindo os preceitos apresentados por Sousa, Pruski e Sousa (2009), a respeito do número mínimo de graus de liberdade da regressão (p), onde se admite um mínimo de dois graus de liberdade para o resíduo ($n-p-1 = 2$). Como adotou-se a $Peq\ 750$ como única variável independente das equações de regionalização, $p=1$. Por fim, para que o resíduo tenha dois graus de liberdade ($n-p-1=2$), sendo $p = 1$, o número mínimo de estações fluviométricas por RHH (n) deve ser quatro, estando dentro do proposto no estudo.

Foram determinados os coeficientes de determinação das equações de regionalização de todas as vazões de referência adotadas ($Q_{7,10}$, Q_{95} , Q_{90} e Q_{mld}) para cada RHH definida. Este procedimento foi feito utilizando o software R – pacote hydroGOF (ZAMBRANO-BIGIARINI, 2020), em que as informações fornecidas para o processamento dos dados foram os valores das quatro vazões mínimas de referência ($Q_{7,10}$, Q_{95} , Q_{90} e Q_{mld}), bem como os respectivos valores de $Peq750$ para cada uma das bases de dados de precipitação empregadas, para cada estação fluviométrica.

Foram testados quatro diferentes tipos de modelos de regressão, sendo eles: Linear (Equação 6), Potencial (Equação 7), Exponencial (Equação 8) e Logarítmico (Equações 9), sendo escolhido aquele que apresentou melhor ajuste aos dados.

$$Q_{lin} = \beta_0 + \beta_1 * Peq750 \quad (6)$$

$$Q_{pot} = \beta_0 * Peq750^{\beta_1} \quad (7)$$

$$Q_{exp} = \beta_0 * \exp (Peq\ 750 * \beta_1) \quad (8)$$

$$Q_{log} = \beta_0 + \beta_1 * \log(\text{Peq } 750) \quad (9)$$

Em que: Q_{lin} é a vazão estimada pelo modelo linear, $m^3 s^{-1}$; Q_{pot} é a vazão estimada pelo modelo potencial, $m^3 s^{-1}$; Q_{exp} é a vazão estimada pelo modelo exponencial, $m^3 s^{-1}$; Q_{log} é a vazão estimada pelo modelo logarítmico, $m^3 s^{-1}$ e $\beta_0, \beta_1 =$ parâmetros de ajuste do modelo.

Para determinar qual o modelo que melhor se ajusta, bem como verificar se há consistência das equações de regionalização obtidas, foram utilizados cinco índices estatísticos, sendo eles: o coeficiente de determinação (R^2) (Equação 10); a raiz do erro quadrático médio (RMSE) (Equação 11); o coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE) (Equação 12); o percentual de tendência ou viés (PBIAS) (Equação 13) e Índice de Concordância de Willmott (WILLMOTT) (Equação 14), (WILLMOTT et al., 1985).

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - \bar{Q}_{obs}) (Q_{est} - \bar{Q}_{est})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{est} - \bar{Q}_{est})^2}} \right)^2 \quad (10)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (Q_{obs} - Q_{est})^2} \quad (11)$$

$$NSE = 100 \left[1 - \frac{\sum (Q_{obs} - Q_{est})^2}{\sum (Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})^2} \right] \quad (12)$$

$$PBIAS = 100 \left[\frac{\sum (Q_{est} - Q_{obs})}{\sum (Q_{obs})} \right] \quad (13)$$

$$WILLMOTT = 1 - \left[\frac{\sum (Q_{est} - Q_{obs}^2)}{\sum ((Q_{est} - \bar{Q}_{obs}) + (Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})^2)} \right] \quad (14)$$

Em que: n é o número de estações fluviométricas; Q_{obs} é a vazão observada ($m^3 s^{-1}$); Q_{est} é a vazão estimada ($m^3 s^{-1}$); \bar{Q}_{obs} é a média das vazões observadas ($m^3 s^{-1}$); e \bar{Q}_{est} é a média das vazões estimadas ($m^3 s^{-1}$).

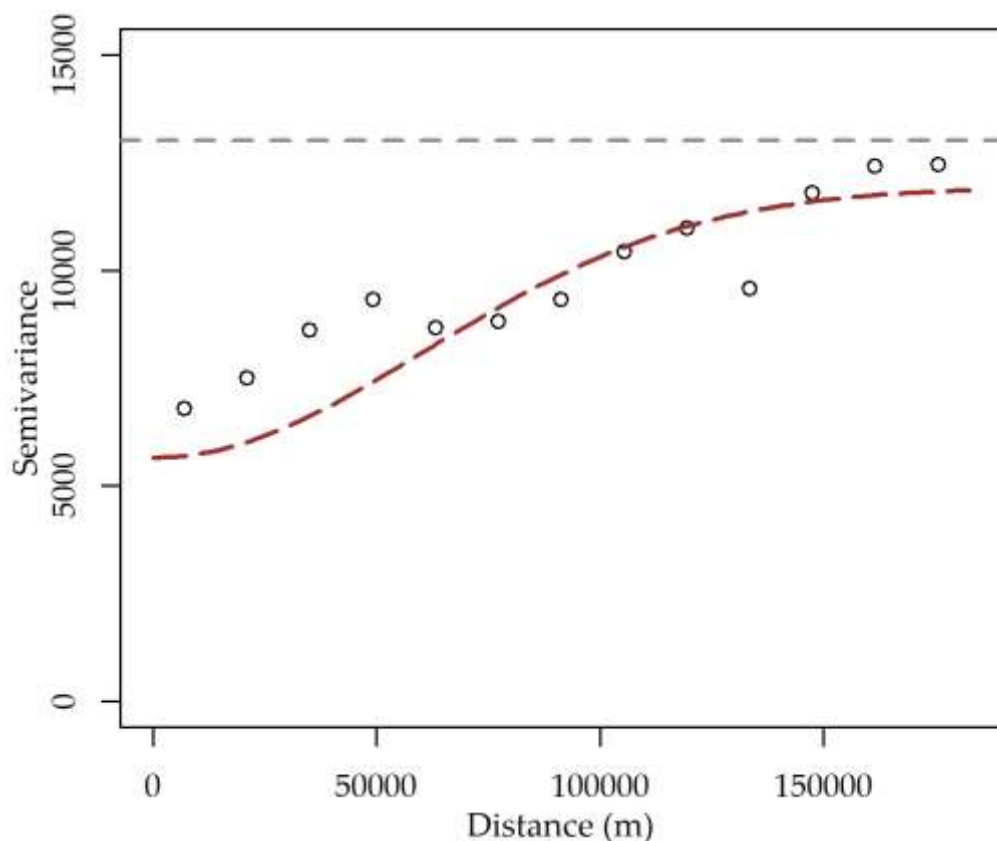
Para interpretar os dados obtidos e caracterizar qual dos ajustes apresentou a melhor variável preditiva empregada no estudo, verificou-se o resultado como um todo, onde o melhor cenário se deu pelos valores de R^2 , NSE e WILLMOTT mais próximos de 1; e os valores de PBIAS e RMSE mais próximos de zero.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Dados de precipitação

Na interpolação dos dados provenientes das 144 estações pluviométricas por meio da krigagem simples, o melhor ajuste dos semivariograma ocorreu com o modelo gaussiano. O método que contribuiu para o melhor ajuste foi o WLS (mínimos quadrados ponderados). Na Figura 5 é apresentado o semivariograma que refletiu o melhor indicador de ajuste para os dados de precipitação na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba. Para o semivariograma ajustado, obteve-se um alcance de 85.757,40 m, efeito pepita (C_0) de 5.650,00, contribuição (C) de 6.276,37 e patamar de 11.926,37 ($C_0 + C$).

Figura 5 – Semivariograma ajustado aos dados de precipitação na bacia hidrográfica do rio Paranaíba

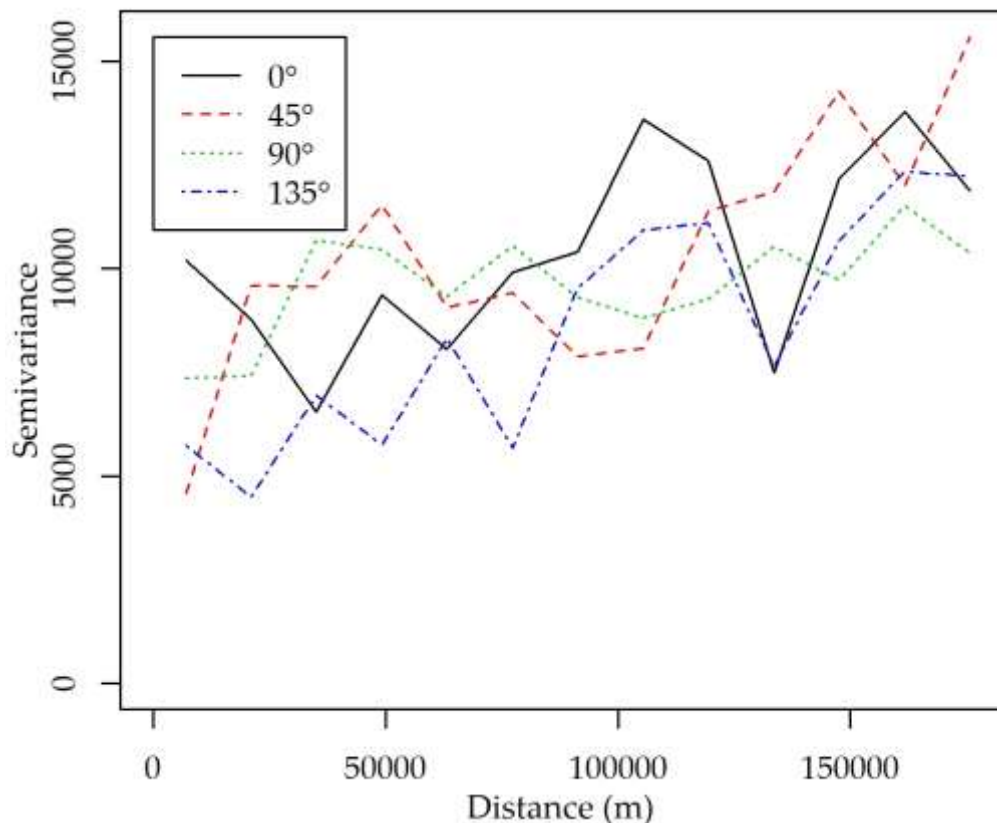


Fonte: Próprio Autor.

Adicionalmente, analisou-se a anisotropia dos dados (Figura 6). A anisotropia é o comportamento da dependência espacial detectada pelo semivariograma teórico, quando este

não apresenta um mesmo comportamento em todas as direções (LUNDGREN; SOUZA; LUNDGREN, 2017). Neste caso é possível perceber que os dados seguem um comportamento isotrópico, uma vez que, quanto mais as linhas se cruzam, melhor é a relação estabelecida, significando que, para todas as direções, o comportamento da variável é semelhante, sendo isso favorável na estimativa da precipitação para toda a área.

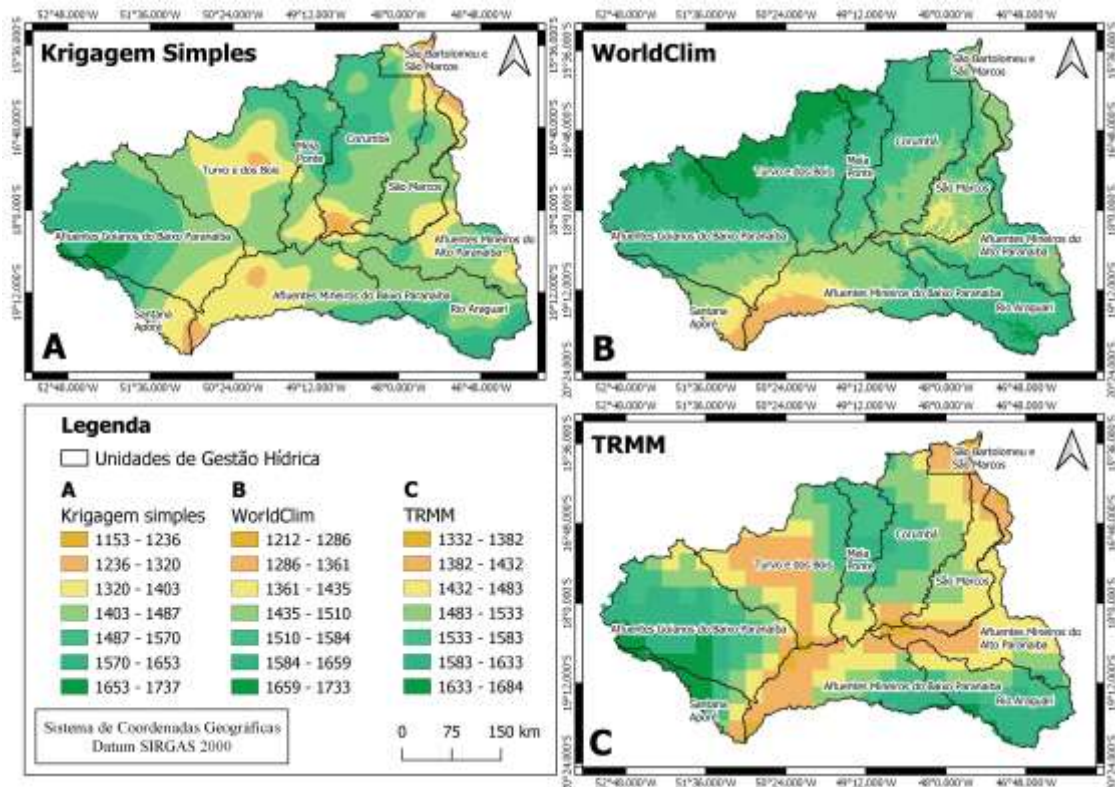
Figura 6 – Gráfico de anisotropia dos dados de precipitação na bacia hidrográfica do rio Paranaíba



Fonte: Próprio Autor.

Na Figura 7 são apresentados os mapas de precipitação total anual média, utilizados como variável explicativa na regionalização de vazões, das três diferentes bases de dados, sendo elas a interpolação por krigagem simples (7A), a base de dados do WorldClim (7B) e as imagens de satélite do TRMM (7C). Conforme era esperado, percebe-se a variação entre os valores máximos, mínimos e médios para as três bases de dados.

Figura 7 – Mapas de precipitação total anual média para a bacia hidrográfica do rio Paranaíba, sendo: A) dados oriundos de estações pluviométricas e interpolados por krigagem simples; B) WorldClim; C) TRMM



Fonte: Próprio Autor.

A distribuição espacial da precipitação total anual média mostrou-se semelhante para as três bases de dados, guardadas as devidas diferenças de resolução. Os locais com maior altura precipitada para os dados interpolados por krigagem (Figura 7A), bem como para os dados do TRMM (Figura 7C), são expressos nas regiões dos Afluentes Goianos e Mineiros do Baixo Paranaíba, Santana Aporé, Rio Araguaçu e Meia Ponte. Já para os dados do WorldClim (Figura 7B), os maiores níveis de precipitação ocorrem na porção superior da bacia, nas regiões do Afluentes Goianos do Baixo Paranaíba, Turvo e dos Bois, Meia Ponte e Corumbá, bem como na porção mineira do Rio Araguaçu.

Já a respeito dos menores valores de precipitação, é possível perceber que as três bases de dados apresentam a região do exutório da bacia como aquela com um dos menores índices pluviométricos, com ênfase na base de dados do WC (Figura 7B) e do TRMM (Figura 7C). Por fim, é possível observar que não existe uma grande variabilidade da precipitação dentro da área de estudo, com 584 mm (Figura 7A), 521 mm (Figura 7B) e 352 mm (Figura 7C) de amplitude entre os valores extremos para as diferentes bases de dados analisadas.

De acordo com o Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paranaíba (2013) e analisando o Modelo Digital de Elevação (Figura 4), é possível aferir que os valores mais elevados são observados na parte setentrional da bacia do rio Corumbá, com maior expressividade na base de dados do WC (Figura 7B), bem como na região sudeste da bacia (cabeceiras das bacias do rio Araguari e do Alto Paranaíba), onde as altitudes são mais elevadas (as três bases de dados evidenciam esse aspecto). Enquanto as regiões de menor pluviosidade estão situadas próximas da região sudoeste, prolongando-se para a região central (Médio Paranaíba), conforme também comprovado nas três bases de dados.

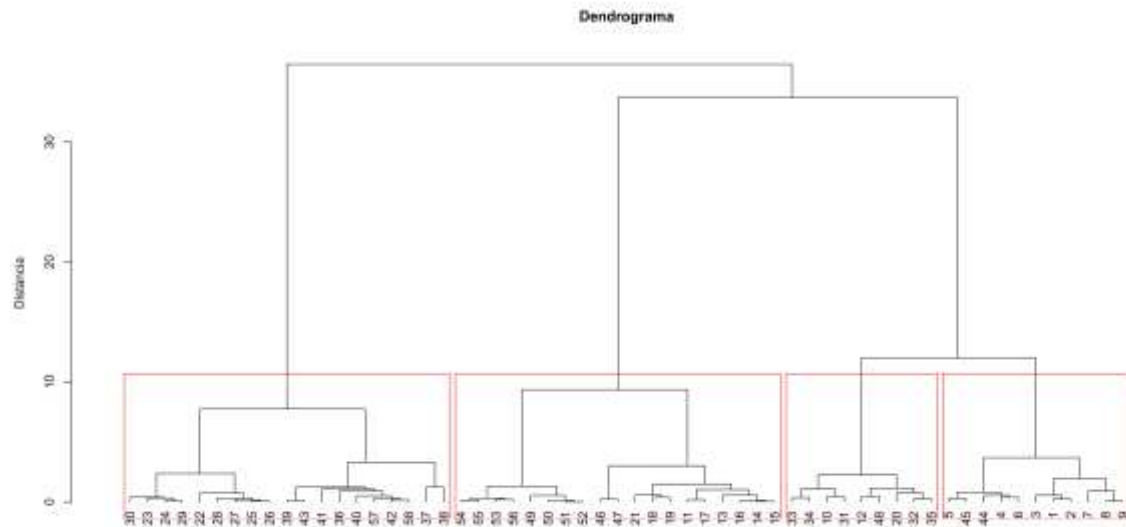
Outro ponto interessante de comparação é referente à média da precipitação para as três bases de dados, cujos valores são de 1457.5, 1546.8 e 1504.4 mm para os dados interpolados por krigagem simples (Figura 7A), WorldClim (Figura 7B) e TRMM (Figura 7C), respectivamente, em que é possível perceber certa similaridade entre os valores.

A diferença observada entre os mapas apresentados na Figura 7, pode ser explicada pela resolução espacial de cada base, uma vez que uma resolução menor tende a suavizar os valores extremos, pelo fato de abranger maior área. Como é o caso das imagens de satélite que apresentam um valor médio dentro de cada pixel (ZAD; ZULKAFLI; MUHARRAM, 2018). Já os dados pluviométricos pontuais, por captarem a informação observada na condição real do relevo, ficam sujeitos as especificidades e efeitos locais (TAN et al., 2018). Segundo Soares, da Paz e Piccilli (2016), o TRMM pode apresentar uma superestimativa dos dados, em termos de valores médios sobre a área do pixel, que é significativamente maior, quando comparado com a abrangência dos dados pluviométricos, além da enorme variabilidade espaço-temporal do fenômeno em questão, a chuva.

3.2 Determinação de regiões hidrologicamente homogêneas

O dendrograma gerado pela análise de cluster (AC) (Figura 8) sugeriu o emprego de quatro Regiões Hidrologicamente Homogêneas (RHHs), onde as 58 estações fluviométricas ficaram distribuídas da seguinte forma: 11 na primeira região (RHH 1); nove na segunda região (RHH 2); 19 na terceira região (RHH 3); e 19 na quarta região (RHH 4). Na Tabela 1 é possível observar os códigos das estações fluviométricas pertencentes a cada RHH. As informações referentes a cada estação fluviométrica, como Código, Nome, Latitude, Longitude, RHH, Área de drenagem e Precipitação para cada base de dados são apresentadas no Anexo III.

Figura 8 - Dendrograma resultante da Análise de Cluster, mostrando o agrupamento das estações fluviométricas em regiões homogêneas



Fonte: Próprio Autor.

Tabela 1 – Estações fluviométricas separadas por Regiões Hidrológicamente Homogêneas (RHH)

HHR	Estações Fluviométricas*
1	60010000; 60011000; 60100000; 60110000; 60145000; 60150000; 60160080; 60220000; 60250000; 60265000; 60335080
2	60381000; 60610080; 60615000; 60680000; 60835000; 60845000; 60848000; 60850000; 60855000
3	60432000; 60433000; 60435000; 60435200; 60435300; 60476100; 60477400; 60478600; 60490000; 60540000; 60544990; 60635000; 60640000; 60642000; 60650000; 60653000; 60654000; 60665000; 60715000;
4	60750000; 60765000; 60772000; 60778000; 60781000; 60785005; 60790000; 60798000; 60810000; 60870000; 60895000; 60901800; 60903800; 60910000; 60920400; 60921500; 60925001; 60950000; 60968000;

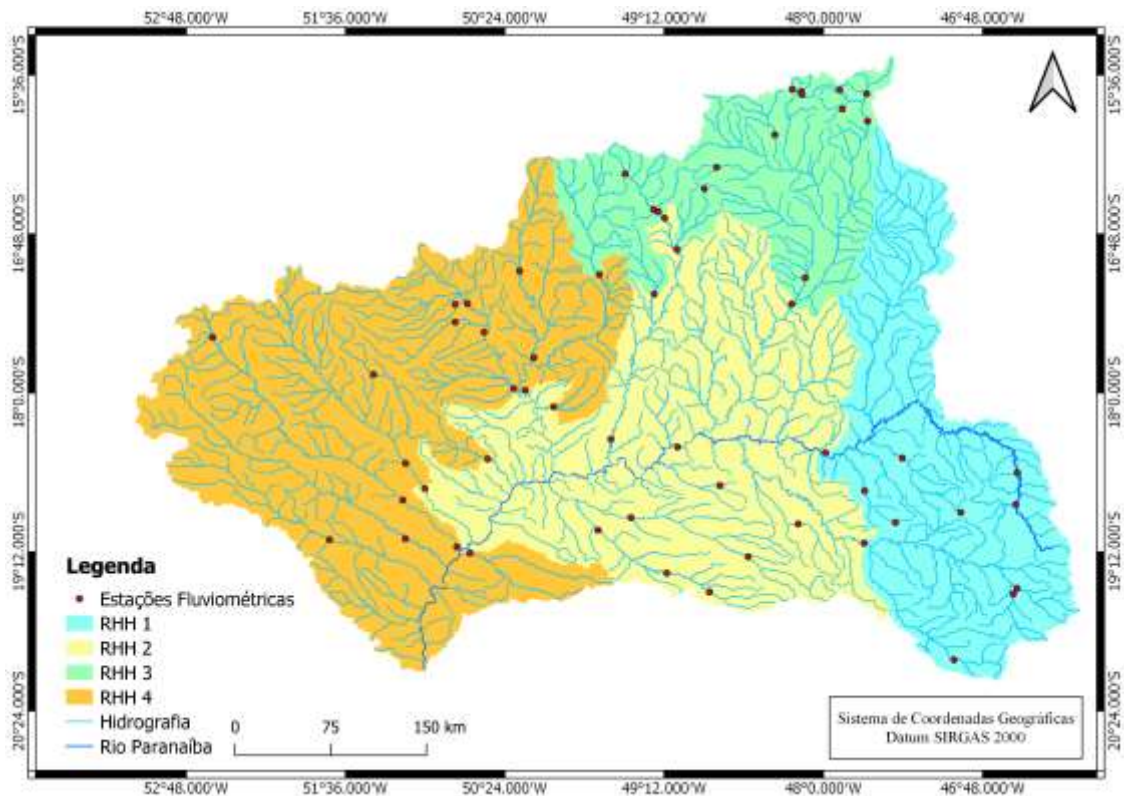
*O Código das estações fluviométricas foi obtido pela base de dados disponibilizados pela Agência Nacional das Águas.

Fonte: Próprio Autor.

Para determinar os limites das RHH's utilizou-se a divisão estabelecida pela área de drenagem das estações fluviométricas de cada agrupamento gerado na Análise Cluster. Não foi necessário realizar alterações manuais, uma vez que a delimitação das RHHs não apresentou descontinuidade geográfica. É importante priorizar a continuidade geográfica das RHHs, para evitar a aplicação da equação de regionalização em regiões espacialmente desconectadas, que, por sua vez, geram ou aumentam as descontinuidades de vazão ao longo

da hidrografia. Além disso, vazões em posições de jusante menores que vazões de montante constituem um problema na gestão hídrica, uma vez que influenciam na compatibilização da disponibilidade hídrica, bem como na demanda pelo uso dos recursos hídricos, reforçando ainda mais a importância da continuidade geográfica. Na Figura 9 pode ser observada a bacia do Rio Paranaíba subdividida nas quatro RHHs obtidas.

Figura 9 - Regiões hidrologicamente homogêneas (RHHs) na bacia hidrográfica do rio Paranaíba



Fonte: Próprio Autor.

Na Tabela 2 apresenta-se a precipitação média e a amplitude da precipitação de todas as quatro RHHs, considerado cada uma das bases de dados de precipitação. Analisando os resultados é possível perceber que, comparando as três bases de dados, a que apresentou os maiores valores médios de precipitação foi a do WorldClim, seguida da TRMM e, por fim, da krigagem, característica que se inverteu na amplitude de precipitação, onde os maiores valores foram para a krigagem, com exceção da RHH 4 que teve o maior índice para o WorldClim.

Tabela 2 – Precipitação média e amplitude da precipitação das quatro RHHs considerado as três bases de dados de precipitação

Regiões Hidrologicamente Homogêneas	Precipitação Média			Amplitude da Precipitação		
	Krigagem	WorldClim	TRMM	Krigagem	WorldClim	TRMM
RHH 1	1449,36	1543,73	1497,95	405,80	309,00	315,90
RHH 2	1435,98	1506,37	1490,90	584,00	325,00	295,90
RHH 3	1485,42	1581,97	1500,72	389,50	280,00	263,40
RHH 4	1471,43	1574,94	1522,12	427,60	516,00	349,14

Fonte: Próprio Autor.

Analisando as RHHs e comparando os resultados gerados, é possível perceber que, ao analisar os valores de precipitação média, tem-se que a região mais seca é a RHH 2, seguida das regiões 1, 4 e 3, tanto para a krigagem quanto para a base de dados do WorldClim. Já para os dados do TRMM, a ordem da região mais seca para a mais chuvosa é 2, 1, 3 e 4.

3.3 Equações de regionalização de vazões

Dentre os modelos de regressão avaliados (Linear, Potencial, Exponencial e Logarítmico), o modelo Potencial apresentou o melhor ajuste (Tabela 3) e seus coeficientes de desempenho estão apresentados nas Tabelas 4 a 7 para as RHHs 1 a 4, respectivamente. Os coeficientes de desempenho dos demais modelos são apresentados no Anexo V. Dessa forma, a discussão apresentada a seguir é pautada nos ajustes feitos com o modelo potencial.

Na Tabela 3 são apresentados os coeficientes ajustados das equações de regionalização obtidos para as quatro RHHs referentes às vazões $Q_{7,10}$, Q_{95} , Q_{90} e Q_{mld} , sendo utilizado o modelo potencial (Equação 7) e as três diferentes fontes de dados de precipitação para o cálculo da Peq_{750} . Os coeficientes ajustados para as equações de regionalização com os outros modelos são apresentados no Anexo IV.

Tabela 3 – Coeficientes ajustados das equações de regionalização, usando modelo potencial, com base nos diferentes bancos de dados de precipitação para a bacia do rio Paranaíba

Vazão	Base de dados	RHH 1		RHH 2		RHH 3		RHH 4	
		β_0	β_1	β_0	β_1	β_0	β_1	β_0	β_1
Q _{mid}	Interpolação	0,86620	0,96040	0,50090	1,02810	0,36430	1,09720	1,00040	0,92550
	WorldClim	0,77640	0,95840	0,47310	1,02130	0,28560	1,11730	1,35930	0,84140
	TRMM	0,65940	0,99420	0,43800	1,03900	0,34540	1,10340	1,19560	0,88540
Q ₉₅	Interpolação	0,19980	1,02380	0,12690	1,03790	0,05532	1,21257	0,64870	0,85190
	WorldClim	0,17600	1,02300	0,11990	1,03100	0,04185	1,23635	1,34880	0,69090
	TRMM	0,14050	1,06980	0,11120	1,04810	0,05202	1,21988	0,83820	0,79750
Q ₉₀	Interpolação	0,40260	0,93510	0,11850	1,08960	0,07999	1,18474	0,72610	0,85080
	WorldClim	0,36100	0,93360	0,11150	1,08260	0,06118	1,20726	1,41400	0,70200
	TRMM	0,30460	0,97050	0,10380	1,09940	0,07537	1,19178	0,92780	0,79850
Q _{7,10}	Interpolação	0,15450	0,98450	0,12890	0,95570	0,03420	1,22200	0,74220	0,76230
	WorldClim	0,13640	0,98450	0,12270	0,94910	0,02587	1,24562	1,33510	0,62920
	TRMM	0,11200	1,02600	0,11310	0,96630	0,03213	1,22937	0,91790	0,71620

Fonte: Próprio Autor.

De acordo com a Tabela 3, verifica-se a influência que os níveis de subestimativa ou superestimativa dos índices pluviométricos exerceram sobre os coeficientes das equações de regionalização. Vale destacar que enquanto β_0 denota a capacidade de geração das vazões na bacia hidrográfica, β_1 representa a intensidade com que esta capacidade varia à medida que se torna maior o valor da variável explicativa (Peq750).

Com isso, verifica-se que os maiores valores de β_1 presentes na RHH 3, em comparação com as demais, estão estreitamente relacionados com a variabilidade pluviométrica temporal e espacial entre essas RHHs. Neste sentido, entende-se que o aumento na magnitude do valor deste coeficiente para a variável Peq750, em regiões mais secas (RHH 2), foi provocado pelo ajuste das equações para compensar a menor capacidade de sustentação da vazão nestas regiões ao longo do tempo. Outro ponto a se destacar é o fato de que o expoente da equação de regionalização para a RHH 4 foi o menor dentre as demais regiões, sendo que segundo Oliveira; Gonçalves, (2017), expoentes menores indicam uma tendência de superestimativa das vazões para pequenas áreas de drenagem.

Em relação ao β_0 , os resultados demonstraram como as diferentes bases de dados pluviométricas podem influenciar as estimativas na regionalização de vazões. Analisando-se as equações de regionalização referentes aos dados do TRMM e WorldClim, identificou-se que os valores mais baixos de β_0 no ajuste das equações da RHH 2 são consistentes com os índices pluviométricos que essas bases de dados forneceram para as regiões mais secas da bacia. Já os maiores valores de β_0 para as RHHs 1 e 4 são associados com as maiores superestimativas das bases de dados de satélite para as regiões mais chuvosas da bacia. Analisando a região mais chuvosa (RHH 4), percebe-se que esta situação está mais evidente

em equações associadas aos dados do WorldClim, quando comparado com TRMM, visto que apresentaram valores de β_0 sistematicamente superiores àqueles das demais bases de dados pluviométricas.

Foi constatado que todas as bases apresentaram maiores valores de β_0 na RHH 4, o que está associado às suas melhores condições de precipitação (índices pluviométricos mais elevados). Deste modo, independentemente da base de dados que se analisa, nota-se que a capacidade de geração do deflúvio superficial na RHH 4 é mais acentuada do que nas demais regiões.

Os índices estatísticos obtidos para o modelo potencial são apresentados nas Tabelas 4 a 7 em referência às RHHs 1 a 4, respectivamente. Observa-se que os cinco índices estatísticos adotados apresentaram desempenhos semelhantes para as equações de regionalização ajustadas, quando se compara as três bases de dados de precipitação utilizadas.

Tabela 4 - Índices estatísticos das equações de regionalização da bacia do rio Paranaíba para a RHH 1

Vazão	Base de Dados	R ²	NSE	RMSE	PBIAS	WILLMOTT
Q _{md}	Interpolação	0,99941	0,999415	3,025300	0,0	0,999853
	WorldClim	0,99914	0,999144	3,660555	-0,1	0,999786
	TRMM	0,99912	0,999057	3,842872	-1,1	0,999765
Q ₉₅	Interpolação	0,99120	0,991095	4,141214	1,5	0,997747
	WorldClim	0,99031	0,990238	4,335969	1,2	0,997530
	TRMM	0,99273	0,992735	3,740371	0,0	0,998173
Q ₉₀	Interpolação	0,97450	0,973490	8,293614	4,3	0,993123
	WorldClim	0,97348	0,972547	8,439834	4,2	0,992878
	TRMM	0,97893	0,978412	7,484319	3,1	0,994447
Q _{7,10}	Interpolação	0,98284	0,982708	3,481416	1,6	0,995593
	WorldClim	0,98157	0,981479	3,603042	1,3	0,995280
	TRMM	0,98495	0,984948	3,248119	0,2	0,996190

Fonte: Próprio Autor.

Tabela 5 - Índices estatísticos das equações de regionalização da bacia do rio Paranaíba para a RHH 2

Vazão	Base de Dados	R ²	NSE	RMSE	PBIAS	WILLMOTT
Q _{md}	Interpolação	0,99984	0,999822	5,330441	-0,9	0,999955
	WorldClim	0,99981	0,999789	5,803351	-0,9	0,999947
	TRMM	0,99993	0,999922	3,510127	-0,6	0,999980
Q ₉₅	Interpolação	0,99934	0,999319	2,850473	-1,0	0,999830
	WorldClim	0,99933	0,999308	2,873385	-1,1	0,999827
	TRMM	0,99949	0,999481	2,487451	-0,7	0,999870
Q ₉₀	Interpolação	0,99957	0,999537	3,271300	-1,2	0,999884
	WorldClim	0,99955	0,999515	3,347252	-1,3	0,999879
	TRMM	0,99970	0,999682	2,710292	-1,0	0,999920
Q _{7,10}	Interpolação	0,99926	0,999254	1,606657	-0,5	0,999813
	WorldClim	0,99925	0,999245	1,616491	-0,5	0,999811
	TRMM	0,99943	0,999433	1,400447	-0,3	0,999858

Fonte: Próprio Autor.

Tabela 6 - Índices estatísticos das equações de regionalização da bacia do rio Paranaíba para a RHH 3

Vazão	Base de Dados	R ²	NSE	RMSE	PBIAS	WILLMOTT
Q _{md}	Interpolação	0,99691	0,996651	3,949146	-3,2	0,999166
	WorldClim	0,99547	0,995154	4,750422	-3,5	0,998793
	TRMM	0,99649	0,996202	4,205601	-3,4	0,999054
Q ₉₅	Interpolação	0,99177	0,991261	1,972841	-5,0	0,997822
	WorldClim	0,99007	0,989464	2,166160	-5,4	0,997373
	TRMM	0,99131	0,990760	2,028552	-5,1	0,997697
Q ₉₀	Interpolação	0,99311	0,992705	2,195935	-4,3	0,998182
	WorldClim	0,99147	0,990995	2,439845	-4,7	0,997754
	TRMM	0,99260	0,992159	2,276679	-4,5	0,998046
Q _{7,10}	Interpolação	0,98898	0,988264	1,497447	-5,8	0,997076
	WorldClim	0,98733	0,986516	1,605095	-6,2	0,996637
	TRMM	0,98847	0,987717	1,531914	-6,0	0,996939

Fonte: Próprio Autor.

Tabela 7 - Índices estatísticos das equações de regionalização da bacia do rio Paranaíba para a RHH 4

Vazão	Base de Dados	R ²	NSE	RMSE	PBIAS	WILLMOTT
Q _{md}	Interpolação	0,95209	0,951810	17,03571	0,8	0,987347
	WorldClim	0,91101	0,909550	23,33935	1,7	0,975121
	TRMM	0,93249	0,931785	20,26861	1,2	0,981691
Q ₉₅	Interpolação	0,74697	0,745114	18,87096	2,1	0,918964
	WorldClim	0,62091	0,615802	23,16852	3,1	0,860399
	TRMM	0,71316	0,710227	20,12102	2,5	0,904357
Q ₉₀	Interpolação	0,77625	0,774466	19,33767	2,0	0,930206
	WorldClim	0,65810	0,653235	23,97815	3,0	0,878676
	TRMM	0,74292	0,740083	20,75940	2,4	0,916595
Q _{7,10}	Interpolação	0,67792	0,674980	15,002750	2,4	0,890674
	WorldClim	0,56007	0,554405	17,566530	3,1	0,831016
	TRMM	0,64420	0,640216	15,784720	2,8	0,874515

Fonte: Próprio Autor.

Como pode ser observado nas Tabelas 4 a 7, os valores de R² também mostraram que as equações obtidas pelo método das regressões regionais se ajustaram bem à variação da precipitação para as três fontes de dados utilizados. No geral, os indicadores estatísticos mostram que as equações de regionalização forneceram melhores previsões para as vazões menos restritivas. Em outras palavras, os melhores resultados foram encontrados para a vazão média de longa duração (Q_{md}); na sequência para as vazões com permanência de 90 e 95% (Q₉₀ e Q₉₅) e, por fim, para a vazão mínima de sete dias consecutivas com período de retorno de dez anos (Q_{7,10}), independentemente da fonte de dados de precipitação utilizada no cálculo da Peq750.

Ainda a respeito do R², importante ressaltar que, segundo Moriasi et al. (2015), valores acima de 0,60 são considerados satisfatórios ao estudo, sendo esse parâmetro melhor simbolizado para coeficientes maiores que 0,85, que representam uma classificação muito boa. Partindo disso, pode-se perceber que as RHHs 1, 2 e 3 apresentaram índices muito bons,

pois todos apresentaram valores acima de 0,85, enquanto as vazões mais restritivas da RHH 4 apresentaram valores satisfatórios, com exceção da Q_{710} utilizando a base de dados do WorldClim, que se mostrou como o único dado insatisfatório da pesquisa, para esse índice.

Em relação ao NSE, a classificação proposta por Moriasi et al. (2015) estabelece que valores acima de 0,80 demonstram um indicativo de classificação muito boa, valores entre 0,70 e 0,80 caracterizam uma boa classificação, valores entre 0,50 e 0,70 uma classificação satisfatória e, por fim, valores menores que 0,50 são considerados insatisfatórios. Portanto, todas as equações de regionalização de vazões obtidas apresentaram ajustes satisfatórios, sendo a RHH 4 aquela que apresentou os menores índices, porém, satisfatórios. Ao analisar as regiões em um contexto geral, percebe-se que os valores de NSE foram bem próximos para todas as vazões analisadas, mostrando que as diferentes fontes de dados de precipitação proporcionam resultados semelhantes.

Quanto ao RMSE, é possível observar que a RHH 4 apresentou os maiores valores, demonstrando o pior ajuste quando comparado às demais regiões. Analisando as RHHs 2 e 3, percebe-se que apresentaram ajustes semelhantes, com melhores resultados para a $Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90} e Q_{mld} , nessa ordem, sendo que os piores ajustes foram obtidos utilizando a base de dados de precipitação do WorldClim e os melhores utilizando os dados interpolados por krigagem para a RHH 3 e utilizando o TRMM para a RHH 2. A respeito da RHH 1, com exceção da Q_{mld} , todas as demais vazões apresentaram melhores ajustes com os dados de precipitação oriundos do satélite TRMM, seguidos pela krigagem simples. Para a Q_{mld} na RHH 1, há uma inversão da ordem para os melhores ajustes, sendo a krigagem simples a que proporcionou o melhor e o TRMM o pior.

Ainda a respeito do RMSE, é possível perceber no Anexo VI o cálculo do desvio padrão, onde o RMSE não pode ultrapassar a metade do desvio padrão calculado. Seguindo esse preceito, é possível perceber que somente as vazões mais restritivas da RHH 4 apresentaram alguns resultados insatisfatórios, sendo elas a Q_{710} em todas as bases de precipitação, bem como as vazões de permanência de 95 e 90% para a base de dados do WorldClim e do satélite TRMM.

Em relação ao PBIAS, as RHHs 1, 2 e 4 apresentaram ajustes muito bons para todas as vazões de referência avaliadas; a RHH 3 teve resultados muito bons para as vazões Q_{90} e Q_{mld} e bons para as demais. Todos os resultados apresentaram características semelhantes ao RMSE, em que para as RHHs 2 e 3 os dados do WorldClim apresentaram os piores índices de desempenho entre todas as vazões de referência e os melhores resultados foram os dados interpolados por krigagem para a RHH 3 e os dados do TRMM para a RHH 2. Já na RHH 1,

os dados interpolados por krigagem foram os melhores para a Q_{mld} e, para as demais vazões, a base de dados de satélite TRMM apresentou melhores resultados. Por fim, analisando a RHH 4, evidencia-se que a krigagem simples apresentou os melhores índices para todas as vazões de referência e os dados do WorldClim os piores.

Comparando os resultados do Índice de Concordância de Willmott, evidencia-se que os ajustes foram satisfatórios para as 4 RHHs, com valores do coeficiente próximos de um. Além disso, quando comparado as três bases de dados de precipitação, o WorldClim apresentou o menor dos ajustes para todas as quatro RHHs. Em contrapartida, a interpolação por krigagem simples apresentou os melhores ajustes para todas as vazões nas RHHs 3 e 4 e para a Q_{mld} na RHH 1. Para as demais vazões da RHH 1 e da RHH 2 os melhores ajustes ocorreram utilizando os dados do TRMM, corroborando com os índices do RMSE e PBIAS.

De maneira geral, percebe-se que, com exceção do RMSE para as vazões $Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90} na RHH 4, todos os demais índices se mostraram satisfatórios, ressaltando que as RHHs 1, 2 e 3 apresentaram resultados muito bons.

Analisando as quatro RHHs percebe-se que, de maneira geral, os dados interpolados por krigagem simples apresentaram melhores ajustes, seguidos pela base de dados de satélite do TRMM e, por fim, pela base de dados do WorldClim. No entanto, essa diferença é muito pouco expressiva, conforme mostram os índices estatísticos, dando liberdade ao usuário para utilizar os dados de satélite do TRMM ou do WorldClim para obter as equações de regionalização em áreas de interesse, resultando em ganho de tempo por parte dos pesquisadores e órgãos gestores, uma vez que tais dados se encontram prontamente disponíveis para utilização.

4 CONCLUSÃO

As três bases de dados de precipitação (dados pluviométricos interpolados por krigagem, WorldClim e TRMM) proporcionaram ajustes semelhantes e satisfatórios às equações de regionalização de vazões para a bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

O modelo de regressão potencial foi o que apresentou melhores resultados nos ajustes das equações de regressão nas quatro regiões hidrologicamente homogêneas identificadas na bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

Os dados do satélite TRMM ou da base de dados WorldClim podem ser usados na bacia hidrográfica do rio Paranaíba em substituição aos dados convencionais de precipitação interpolados por krigagem simples, possibilitando maior agilidade na obtenção das equações de regionalização, uma vez que tais dados se encontram prontamente disponíveis para utilização. Destaca-se, entretanto, a necessidade de novas avaliações para outras bacias hidrográficas, a fim de averiguar a utilização dessas e de outras fontes de precipitação em substituição aos dados das estações pluviométricas pontuais, otimizando e agilizando os estudos de regionalização de vazões.

REFERÊNCIAS

- AGARWAL, A. et al. Optimal design of hydrometric station networks based on complex network analysis. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 24, p. 2235–2251, 2020.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- AMORIM, J. DA S. et al. Streamflow regionalization for the Mortes River Basin upstream from the Funil Hydropower Plant, MG. **Rev. Ambient. Água**, 2020.
- ANA. **Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos**. 2011.
- ANA. **Agência Nacional de Águas. Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paranaíba**. 2013.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS - ANA. **Hidroweb: Sistemas de informações hidrológicas**. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>>. Acesso em: 6 jul. 2021.
- ARSENAULT, R.; BRISSETTE, F. P. Continuous streamflow prediction in ungauged basins: The effects of equifinality and parameter set selection on uncertainty in regionalization approaches. **Water Resour Res**, v. 50, p. 6135–6153, 2014.
- BALLABIO, C. et al. Mapping monthly rainfall erosivity in Europe. **Science of the Total Environment**, v. 579, n. September 2016, p. 1298–1315, 2017.
- CERH-GO. Resolução nº 09, de 04 de maio de 2005. p. 1–7, 2005.
- COBRAPE. **Diagnóstico da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba - Parte A**, 2011. (Nota técnica).
- COSTA, L. S.; VASCONCELOS, J. Critérios de outorga de recursos hídricos . 2015.
- EarthExplorer**. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 13 set. 2021.
- ELESBON, A. A. A. et al. Methodological proposal for hydrometric network design: Part II - Exclusion, rearrangement and inclusion of monitoring stations. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 10, p. 1023–1030, 2014.
- ELESBON, A. A. A. et al. Multivariate statistical analysis to support the minimum streamflow regionalization. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 5, p. 838–851, 2015.
- ELETROBRÁS. **Metodologia para regionalização de vazões Centrais Elétricas Brasileiras S.A**. Rio de Janeiro, 1985.
- FARR, T. G. et al. The shuttle radar topography mission. **Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)**, v. 45, n. 2004, p. 65–77, 2007.

FARSADNIAA, F. et al. Identification of homogeneous regions for regionalization of watersheds by two-level self-organizing feature maps. **Journal of Hydrology**, v. 509, p. 387–397, 2014.

FICK, S. E.; HIJMANS, R. J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International Journal Climatology**, v. 37, p. 4302–4315, 2017.

FRAGA, M. DE S. et al. Use of multivariate statistical methods to analyze the monitoring of surface water quality in the Doce River basin, Minas Gerais, Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, n. 28, p. 35303–35318, 2020.

GES DISC. Disponível em: <<https://disc.gsfc.nasa.gov/mirador-guide>>. Acesso em: 23 out. 2021.

Global climate and weather data — WorldClim. Disponível em: <<https://www.worldclim.org/data/index.html>>. Acesso em: 13 set. 2021.

GUEDES, L. P. C. et al. Nugget effect influence on spatial variability of agricultural data. **Engenharia Agrícola**, v. 4430, n. 1, p. 96–104, 2020.

JÚNIOR, P. J. R. et al. **Analysis of Geostatistical Data**, 2020.

KASMAEEYAZDI, S. et al. How different data supports affect geostatistical modelling: the new aggregation method and comparison with the classical regularisation and the theoretical punctual model. **Int J Mining, Reclam Environ**, v. 34, p. 34–54, 2020.

KUMMEROW, C. et al. The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Sensor Package. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 15, p. 809–817, 1998.

LELIS, L. C. DA S. et al. Assessment of hydrological regionalization methodologies for the upper Jaguari River basin. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 97, n. October 2019, 2020.

LUNDGREN, W. J. C.; SOUZA, I. F. DE; LUNDGREN, G. A. Krigagem na construção de mapa pluviométrico do Estado de Sergipe. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 01, p. 13–22, 2017.

MAHMOOD, R.; JIA, S. Assessment of hydro-climatic trends and causes of dramatically declining stream flow to Lake Chad, Africa, using a hydrological approach. **Science of the Total Environment**, v. 675, p. 122–140, 2019.

MATOS, T. S. et al. Regionalization of maximum, minimum and mean streamflows for the Juruena River basin, Brazil. **Revista Ambiente e Agua**, v. 15, n. 3, p. 445–458, 2020.

MORIASI, D. N. et al. Hydrologic and Water Quality Models: Performance Measures and Evaluation Criteria. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v. 58, n. 6, p. 1763–1785, 2015.

National Aeronautics and Space Administration. Disponível em: <<https://disc.gsfc.nasa.gov/mirador-guide>>. Acesso em: 13 set. 2021.

NRUTHYA, K.; SRINIVAS, V. V. Evaluating Methods to Predict Streamflow at Ungauged Sites Using Regional Flow Duration Curves: A Case Study. **Aquatic Procedia**, v. 4, n. December, p. 641–648, 2015.

OCIO, D.; BESKEEN, T.; SMART, K. Fully distributed hydrological modelling for catchment-wide hydrological data verification. **Hydrology Research**, v. 50, n. 6, p. 1520–1534, 2019.

OLEA, R. A. **Geostatistics for Engineers and Earth Scientists**. 1999.

OLIVEIRA, A. C. M. DE; GONÇALVES, C. J. Estudo de regionalização de vazões para a bacia do rio Paranaíba. 2017.

OSSANI, P. C.; CIRILLO, M. A. Package ‘MVar.pt’. 2021.

PASSOW, M. TRMM: Trazendo o sensoriamento remoto de precipitação para sua sala de aula. **Terrae Didatica**, v. 6, n. 1, p. 3, 2015.

PETTITT, A. N. A. Non-Parametric Approach to the Change-Point Problem. **Applied Statistics**, v. 28, n. 2, p. 126–135, 1979.

POHLERT, T. **Non-Parametric Trend Tests and Change-Point Detection**, 2020. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/package=Kendall>>

PRH-PARANAÍBA. **Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba**. 2011.

PRUSKI, F. F. et al. Improved regionalization of streamflow by use of the streamflow equivalent of precipitation as an explanatory variable. **Journal of Hydrology**, v. 476, p. 52–71, 2013.

RAMACHANDRA, A.; RAOSRINIVAS, V. V. Regionalization of watersheds by hybrid-cluster analysis. **J Hydrol**, v. 318, p. 37–56, 2006.

SERRANO, L. DE O. et al. Low-Flow Seasonality and Effects on Water Availability throughout the River Network. **Water Resources Management**, v. 34, n. 4, p. 1289–1304, 2020.

SOARES, A. S. D.; DA PAZ, A. R.; PICCILLI, D. G. A. Avaliação das estimativas de chuva do satélite TRMM no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 2, p. 288–299, 2016.

SOUSA, H. T. DE et al. **SisCAH 1.0 - Sistema Computacional para Análises Hidrológicas**, 2009.

SOUSA, H.; PRUSKI, F.; SOUSA, J. **SisCORV 1.0 - Sistema Computacional para a Regionalização de Vazões**, 2009.

TAN, M. L. et al. Hydro-meteorological assessment of three GPM Satellite Precipitation

Products in the Kelantan River Basin, Malaysia. **Remote Sensing**, v. 10, n. 7, 2018.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação, 4th edn.** 2012.

UFV; IGAM. **Estudo de regionalização de vazão para o aprimoramento do processo de outorga no Estado de Minas Gerais**, 2012.

ULIANA, E. M. et al. Análise de tendência em séries históricas de vazão e precipitação: uso de teste estatístico não paramétrico. **Revista Ambiente e Agua**, v. 10, n. 1, 2014.

WANG, Z.; ZHONG, R.; LAI, C. Evaluation and hydrologic validation of TMPA satellite precipitation product downstream of the Pearl River Basin, China. **Hydrol Process**, v. 31, p. 4169–4182, 2017.

WILLMOTT, C. J. et al. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, v. 90, n. C5, p. 8995, 1985.

WILSON, D.; HISDAL, H.; LAWRENCE, D. Has streamflow changed in the Nordic countries? – Recent trends and comparisons to hydrological projections. **Journal of Hydrology**, v. 394, p. 334–346, 2010.

XU, T.; HUTCHINSON, M. **ANUCLIM version 6.1 user guide.**The Australian National University, Fenner School of Environment and Society, Canberra, 2011.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações.** 2013.

ZAD, S. N. M.; ZULKAFI, Z.; MUHARRAM, F. M. Satellite rainfall (TRMM 3B42-V7) performance assessment and adjustment over Pahang river basin, Malaysia. **Remote Sensing**, v. 10, n. 3, p. 1–24, 2018.

ZAMBRANO-BIGIARINI, M. **Package ‘hydroGOF’** March, 2020. Disponível em: <<https://github.com/hzambran/hydroGOF>>

ANEXOS

ANEXO I

Tabela 1: Estações pluviométricas empregados no estudo

Código	Nome	Média Prec.Total	Latitude	Longitude
1547002	PLANALTINA	1242,049711	-15,6431	-47,6508
1547004	BRASÍLIA	1464,233333	-15,79	-47,9228
1547008	ETE SUL	1304,94842	-15,8414	-47,9086
1547009	ETE NORTE	1272,039287	-15,7433	-47,8772
1547010	CONTAGEM	1466,858319	-15,6531	-47,8789
1547013	TAQUARA	1239,106602	-15,6322	-47,5203
1547015	ETE - SOBRADINHO	1320,598558	-15,6611	-47,8117
1547017	SANTA MARIA	1241,261893	-15,67	-47,9525
1547018	JOCKEY CLUB	1499,175468	-15,8058	-47,9981
1547019	ETA CABEÇA DE VEADO	1393,501662	-15,8908	-47,8456
1547020	ETE PARANOÁ	1357,457493	-15,7967	-47,7836
1547021	BARREIRO DF-130	1291,668386	-15,8386	-47,6272
1547022	RIO PRETO	1258,014877	-15,7922	-47,4328
1547026	RONCADOR	1395,602951	-15,9333	-47,8833
1548003	PIRENÓPOLIS	1614,818604	-15,8547	-48,9661
1548005	GAMA ETE ALAGADO	1550,669935	-16,0247	-48,0978
1548006	TAGUATINGA - ETA RD	1453,057472	-15,7897	-48,1128
1548007	ETA - BRAZLÂNDIA	1466,391021	-15,6592	-48,1906
1548008	DESCOBERTO	1394,082245	-15,7794	-48,2303
1548010	ETE RIACHO FUNDO-GM-3	1493,75738	-15,8906	-48,025
1548011	FAZENDA MARAJÁ	1357,133889	-15,5414	-48,5542
1548020	ÁGUAS LINDAS	1581,519911	-15,7414	-48,3056
1646001	UNAI	1214,677711	-16,3514	-46,8897
1647001	UHE BATALHA RIO SÃO BARTOLOMEU	1380,694799	-16,5375	-47,8006
1647002	UHE BATALHA CRISTALINA	1552,34956	-16,7881	-47,6033
1647008	FAZENDA LIMEIRA	1216,07628	-16,2089	-47,2325
1648001	PONTE ANÁPOLIS - BRASÍLIA	1447,612763	-16,1431	-48,6
1648002	VIANÓPOLIS	1631,93687	-16,7478	-48,5264
1649001	ARAGOIÂNIA	1535,26853	-16,9119	-49,4522
1649004	GOIANÁPOLIS	1457,372458	-16,5164	-49,0203
1649007	ITABERAÍ	1647,287426	-16,0275	-49,8003
1649010	PALMEIRAS DE GOIÁS	1311,400676	-16,8031	-49,9286
1649013	GOIÂNIA	1607,773773	-16,6736	-49,2639
1650000	CACHOEIRA DE GOIÁS	1356,4665	-16,6694	-50,6492
1650003	TURVÂNIA	1487,216667	-16,6094	-50,1328
1746017	FAZENDA POÇÕES	1331,935383	-17,0419	-46,8178
1746018	FAZENDA LIMOEIRO	1332,823535	-17,9156	-47,0106
1746019	FAZENDA CÓRREGO DO OURO	1317,593266	-17,6133	-46,8592

1747005	GUARDA-MOR	1423,797023	-17,7725	-47,0986
1748000	CRISTIANÓPOLIS	1458,890504	-17,1981	-48,715
1748004	MARZAGÃO	1431,815282	-17,9831	-48,6833
1748005	UHE CORUMBÁ I RIO PIRACANJUBA	1433,848962	-17,1314	-48,1372
1749000	EDÉIA (ALEGRETE)	1286,592443	-17,3414	-49,9303
1749001	FAZENDA BOA VISTA	1464,064546	-17,1056	-49,6908
1749002	JOVIÂNIA	1518,104495	-17,8094	-49,6264
1749003	MORRINHOS	1426,943705	-17,7328	-49,1153
1749004	PONTALINA	1366,858999	-17,5169	-49,4417
1749005	PIRACANJUBA	1743,119395	-17,2894	-49,0272
1749009	CROMÍNIA	1431,526077	-17,2847	-49,3828
1750000	BARRA DO MONJOLO	1398,213703	-17,7322	-50,1808
1750001	FAZENDA NOVA DO TURVO	1339,562195	-17,0792	-50,2894
1750003	PONTE RIO VERDÃO	1368,774255	-17,5414	-50,5561
1750004	PONTE RODAGEM	1341,124171	-17,3253	-50,6819
1750008	FAZENDA PARAÍSO	1400,113863	-17,4658	-50,7742
1750013	PARAUNA	1509,653241	-16,9489	-50,4469
1751002	BENJAMIN BARROS	1506,617515	-17,695	-51,8922
1751004	MONTIVIDIU	1416,450726	-17,3647	-51,0767
1752006	BOM JARDIM	1535,063524	-17,7181	-52,17
1845014	TIROS	1551,348623	-18,9997	-45,9661
1846002	CHARQUEADA DO PATROCÍNIO	1405,951859	-18,93	-46,9667
1846003	MAJOR PORTO	1280,330216	-18,7069	-46,0369
1846004	GUIMARANIA	1430,682198	-18,8497	-46,8008
1846005	PRESIDENTE OLEGÁRIO	1507,673128	-18,4125	-46,4222
1846006	PANTANO	1607,920805	-18,5594	-46,8003
1846007	SANTANA DE PATOS	1358,066667	-18,8411	-46,5508
1846015	VAZANTE	1333,80249	-18,005	-46,9111
1846016	PONTE FIRME	1390,582846	-18,0339	-46,4194
1846017	LEAL DE PATOS	1383,201231	-18,6411	-46,3344
1846018	PATOS DE MINAS	1416,940901	-18,6	-46,5167
1846019	ROCINHA	1419,744427	-18,3736	-46,915
1846023	LAGAMAR	1549,2152	-18,1828	-46,8042
1847000	MONTE CARMELO	1411,760499	-18,7206	-47,5244
1847001	ESTRELA DO SUL	1404,243333	-18,7381	-47,69
1847003	ABADIA DOS DOURADOS	1302,22433	-18,4911	-47,4064
1847006	TRÊS RANCHOS	1391,892864	-18,3633	-47,7806
1847007	CASCALHO RICO	1543,3	-18,5789	-47,8792
1847008	COROMANDEL	1517,325425	-18,4711	-47,1883
1847010	IRAÍ DE MINAS	1421,772074	-18,9819	-47,4575
1848000	MONTE ALEGRE DE MINAS	1434,883833	-18,8722	-48,8694
1848004	FAZENDA CACHOEIRA	1315,349384	-18,6983	-48,7819
1848006	TUPACIGUARA	1434,158152	-18,6008	-48,6908
1848007	CORUMBAZUL	1148,643508	-18,2425	-48,8586
1848008	BRILHANTE	1492,335698	-18,4922	-48,9028
1848009	XAPETUBA	1409,995572	-18,8625	-48,5839

1848010	ARAGUARI	1469,321027	-18,6511	-48,2092
1849000	ITUIUTABA	1359,26938	-18,9411	-49,4631
1849002	IPIAÇU	1402,302214	-18,6919	-49,9486
1849006	AVANTIGUARA	1407,140905	-18,7719	-49,0697
1849016	PONTE MEIA PONTE	1390,591536	-18,3394	-49,6114
1849017	CAPINÓPOLIS	1457,63809	-18,6833	-49,5667
1849026	PONTE BR-365 (FAZ. BOA VISTA)	1280,358954	-18,8869	-50,0003
1850001	FAZENDA ALIANÇA	1449,934368	-18,1047	-50,0314
1850002	QUIRINÓPOLIS	1429,750971	-18,5011	-50,5219
1850003	MAURILÂNDIA	1344,829307	-17,9797	-50,3372
1851001	CAMPO ALEGRE	1714,29526	-18,5178	-52,0928
1851004	POMBAL	1564,366657	-18,0931	-51,4969
1852001	FAZENDA FORMOSO	1640,709952	-18,4067	-52,5269
1852002	INDÁIA GRANDE	1664,744165	-18,9978	-52,5881
1852003	CIDADE CHAPADÃO GAUCHO	1651,457334	-18,6917	-52,5939
1853004	COSTA RICA	1682,245379	-18,5472	-53,1353
1945002	BARRA DO FUNCHAL	1490,45389	-19,3947	-45,8844
1946000	TAPIRAÍ - JUSANTE	1558,01	-19,8794	-46,0328
1946004	IBIÁ	1414,716097	-19,475	-46,5419
1946005	SALITRE	1420,449055	-19,0706	-46,7958
1946007	FAZENDA SÃO MATEUS	1350,010831	-19,5167	-46,5711
1946008	SERRA DO SALITRE	1506,942656	-19,1128	-46,6883
1946009	SÃO GOTARDO	1406,483742	-19,3153	-46,0444
1946010	PRATINHA	1647,251692	-19,7514	-46,4119
1946011	TAPIRA	1647,916667	-19,9269	-46,8253
1946018	PONTE DO RIO SÃO JOÃO	1463,714201	-19,3233	-46,6372
1946019	ARGENITA	1440,07366	-19,675	-46,6828
1946020	SÃO JOSÉ DA BELA VISTA	1671,940163	-19,5308	-46,1003
1946022	CARMO DO PARANAIBA	1378,54292	-19,0033	-46,3061
1947001	SANTA JULIANA	1447,213242	-19,3158	-47,5261
1947002	CONQUISTA	1536,621112	-19,9303	-47,5428
1947006	PONTE JOÃO CÂNDIDO	1430,06737	-19,1467	-47,1847
1947007	PERDIZES	1618,931657	-19,3486	-47,2953
1947008	LAGOA	1560,803014	-19,8786	-47,3547
1947009	ZELÂNDIA	1613,418827	-19,5375	-47,4531
1947016	UBERABA	1616,519138	-19,7667	-47,9333
1947025	ITAIPU	1385,050324	-19,6003	-47,2089
1948003	VERÍSSIMO	1493,750956	-19,6731	-48,3097
1948005	FAZENDA PARAÍSO	1464,19642	-19,2469	-48,5661
1948006	FAZENDA LETREIRO	1474,027125	-18,9883	-48,1903
1948007	CAMPO FLORIDO	1554,542951	-19,7706	-48,5742
1948014	PONTE BR-153	1456,112028	-19,0394	-49,0425
1948016	PATRIMÔNIO RIO DO PEIXE	1508,405732	-19,5253	-48,4983
1949002	FAZENDA BURITI DO PRATA	1444,528248	-19,3597	-49,1803
1949003	GURINHATÃ	1332,546726	-19,2133	-49,7881
1949004	CAMPINA VERDE	1367,933333	-19,5422	-49,4831

1949005	COMENDADOR GOMES	1515,17	-19,6981	-49,0839
1949006	PONTE DO PRATA	1403,4405	-19,0353	-49,6967
1950000	ITURAMA	1390,983333	-19,7247	-50,1917
1950011	PONTE SÃO DOMINGOS	1329,328868	-19,2081	-50,6628
1950012	UNIÃO (VILA UNIÃO)	1386,188702	-19,5289	-50,3286
1950017	PORTO ALENCASTRO	1302,279262	-19,6617	-50,9964
1950018	LIMEIRA DO OESTE	1404,34113	-19,5547	-50,5731
1951001	ITAJÁ	1447,967338	-19,1364	-51,5344
1951003	FAZENDA PINDORAMA	1449,303844	-19,3908	-51,6089
1951004	ARVORE GRANDE	1565,62732	-19,2292	-51,875
2046009	DELFINÓPOLIS	1428,857449	-20,3478	-46,8458
2047005	RIFAINA	1481,048236	-20,0833	-47,4333
2047037	DESEMBOQUE	1648,928916	-20,0136	-47,0192
2050001	SANTA ALBERTINA	1253,903201	-20,0333	-50,7333

Fonte: Próprio Autor.

ANEXO II

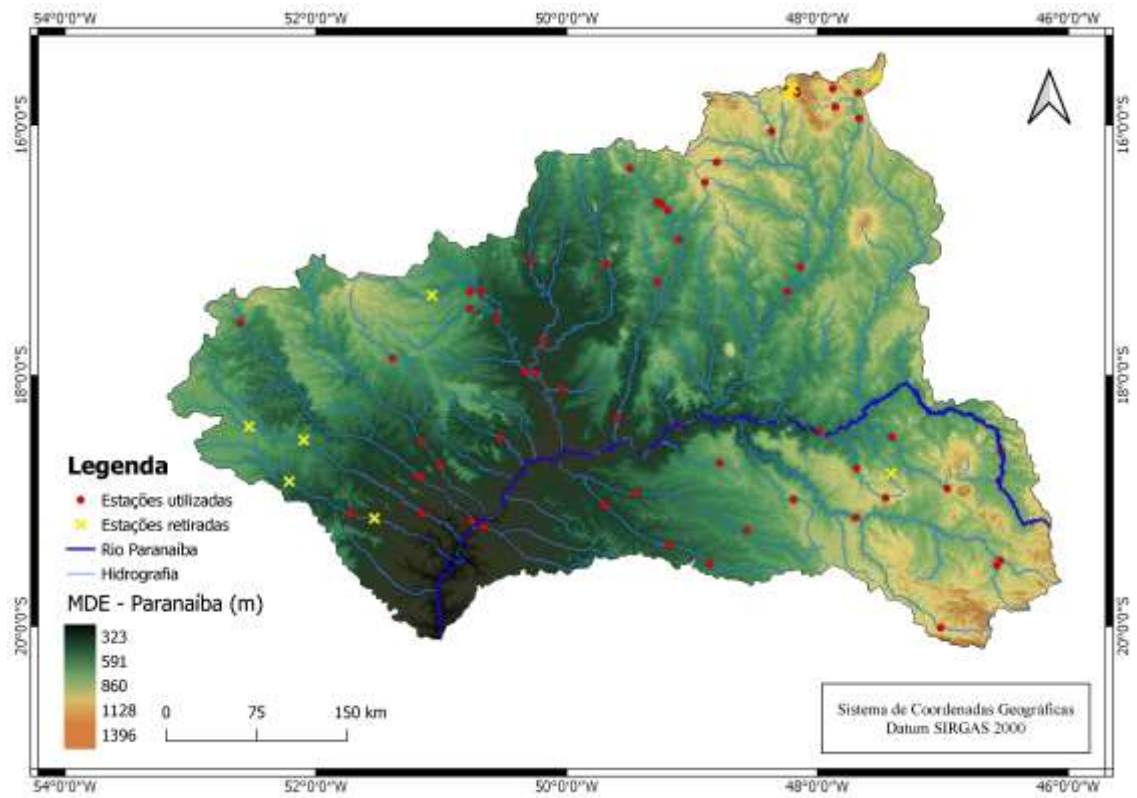
Tabela 1: Identificação de tendências temporais das séries de vazão utilizando o teste de Pettitt

Estações	Regiões	Vazão Mínima - Q_7			Vazão Média - Q_{mld}		
		p-value	U	Ponto de Mudança	p-value	U	Ponto de Mudança
60010000	1	0,01	146	20	0,19	100	23
60011000	1	0,05	126	20	0,85	54	14
60100000	1	0,09	102	20	0,96	50	22
60110000	1	0,03	128	20	0,17	92	22
60130000	1	0,00	171	20	0,04	128	22
60145000	1	0,09	114	22	0,52	75	23
60150000	1	0,01	158	20	0,09	114	22
60220000	1	0,04	133	9	0,40	82	24
60250000	1	0,02	144	24	0,08	116	23
60265000	1	0,02	136	22	0,17	97	23
60160080	1	0,01	90	10	0,34	50	8
60335080	1	0,34	50	12	0,44	46	12
60381000	2	0,73	62	6	0,75	61	23
60615000	2	0,08	122	8	0,12	104	20
60680000	2	0,22	68	5	0,04	84	14
60835000	2	1,00	30	10	1,00	24	17
60845000	2	0,10	90	19	0,23	72	20
60848000	2	0,03	102	18	0,11	84	16
60850000	2	0,24	80	6	0,48	62	13
60855000	2	0,07	120	22	0,24	90	22
60610080	2	0,15	60	6	0,08	67	9
60432000	3	0,26	66	4	0,03	94	14
60635000	3	0,01	158	8	0,05	124	17
60640000	3	0,02	122	8	0,27	92	25
60642000	3	0,06	104	6	0,40	66	5
60650000	3	0,02	146	8	0,14	106	24
60653000	3	0,08	110	17	1,00	46	20
60654000	3	0,24	94	25	0,51	76	25
60665000	3	0,19	94	20	0,42	77	15
60715000	3	0,01	140	8	0,59	68	24
60540000	3	0,29	68	6	0,83	46	6
60544990	3	0,80	44	4	0,67	42	12
60433000	3	0,04	74	10	0,71	38	8
60435000	3	0,01	147	8	0,18	90	6
60435100	3	0,02	131	7	0,02	132	22
60435150	3	0,02	129	7	0,02	124	6
60435200	3	0,11	99	20	0,74	58	20
60435300	3	0,08	111	11	0,10	107	20
60436000	3	0,00	120	10	0,03	102	6
60472200	3	0,01	96	13	0,02	79	11

60476100	3	0,05	106	6	0,21	78	6
60477400	3	0,05	105	21	0,48	62	5
60478600	3	0,07	106	6	0,26	83	5
60490000	3	0,57	42	12	0,41	47	5
60750000	4	0,02	136	8	0,95	56	16
60765000	4	0,04	134	22	0,34	86	22
60772000	4	0,10	96	8	0,58	58	14
60774000	4	0,01	154	20	0,01	146	20
60778000	4	0,15	105	22	0,24	94	22
60781000	4	0,01	160	20	0,21	92	22
60785005	4	0,02	119	17	0,21	83	21
60790000	4	0,01	146	20	0,07	118	22
60798000	4	0,01	156	20	0,08	116	22
60810000	4	0,06	116	21	0,68	54	13
60870000	4	0,07	106	21	0,08	99	19
60895000	4	0,75	37	3	1,00	22	10
60910000	4	0,48	62	20	0,61	50	20
60925001	4	0,30	89	8	0,31	84	22
60930000	4	0,02	120	19	0,04	116	19
60940000	4	0,00	176	20	0,00	172	20
60950000	4	0,00	148	16	0,07	101	21
60960000	4	0,02	132	22	0,04	130	14
60968000	4	0,07	101	13	0,18	90	22
60970000	4	0,00	168	19	0,01	154	22
60920400	4	0,02	79	14	0,47	45	17
60921500	4	0,02	80	14	0,13	62	14
60901800	4	0,83	35	11	0,17	59	11
60903800	4	0,47	45	15	0,41	47	11

Fonte: Próprio Autor.

Figura 1 – Estações fluviométricas utilizadas e retiradas do estudo



Fonte: Próprio Autor.

ANEXO III

Tabela 1: Informações relativas às estações fluviométricas, para todas as Regiões Hidrológicamente Homogêneas

RHH	Código	Latitude	Longitude	Área de drenagem	Precipitação krigagem	Precipitação TRMM	Precipitação WorldClim	Q _{md} (m ³ /s)	Q ₇₁₀ (m ³ /s)	Q ₉₅ (m ³ /s)	Q ₉₀ (m ³ /s)
1	60010000	-18,8411	-46,5508	2733,39	1424,919964	1518,809488	1529,614429	41,8831	4,773097317	8,047	10,061
1	60011000	-18,6017	-46,5394	3796,41	1415,246321	1508,263017	1513,817486	59,2377	6,147265978	11,17	14,047
1	60100000	-18,9011	-46,9658	78,2811	1415,301817	1500,607666	1583,094737	1,4597	0,166193777	0,275	0,349
1	60110000	-18,4911	-47,4064	1952,09	1432,979251	1458,810769	1548,014073	24,4252	2,25274455	4,589	6,008
1	60145000	-18,9772	-47,4575	91,8261	1421,421116	1458,548462	1590,646018	1,6953	0,379755038	0,54	0,696
1	60150000	-18,7389	-47,6897	872,55	1422,726868	1462,66031	1565,762127	13,0125	1,912475202	3,405	4,375
1	60160080	-18,4519	-47,9844	29107,1	1421,777281	1453,969863	1512,853635	415,6738	83,94499419	141	154,77
1	60220000	-20,0139	-47,0172	1067,4108	1608,267193	1611,645265	1657,208271	27,7824	6,413726448	8,29	9,66
1	60250000	-19,5175	-46,57	1300,9779	1526,47155	1606,648073	1606,561231	27,2455	9,292626967	11,624	12,747
1	60265000	-19,475	-46,5419	1364,5485	1576,596843	1580,658574	1571,437574	25,8499	5,924861089	8,987	10,548
1	60335080	-19,1333	-47,6944	15326,7	1501,537783	1580,716312	1601,605799	251,588	57,84626277	91,81	121
2	60381000	-18,9883	-48,1903	773,4906	1487,279867	1553,566154	1593,698958	12,4653	2,434638305	3,703	4,383
2	60610080	-18,4081	-49,0989	94671,8	1454,60001	1492,026978	1533,568632	1313,8894	194,3826596	359	498
2	60615000	-18,6983	-48,7806	194,4279	1377,380746	1465,489042	1514,129167	3,0309	0,720317099	1,08	1,291
2	60680000	-18,3489	-49,6017	11501,2881	1517,140984	1552,118003	1597,697881	153,3483	25,6642433	39,471	49,2
2	60835000	-19,2369	-48,5667	1538,7183	1503,056831	1604,050505	1574,087389	23,955	4,167190699	6,056	7,573
2	60845000	-18,9408	-49,4497	6309,477	1454,888845	1541,130425	1521,987188	89,5177	18,53256317	28,392	33,323
2	60848000	-19,5019	-48,8586	831,141	1511,371841	1606,957858	1560,251938	12,0756	1,541996735	2,64	3,379
2	60850000	-19,3597	-49,1803	2450,4219	1492,822008	1589,035625	1533,260026	38,6997	6,8348998	10,09	11,992
2	60855000	-19,0356	-49,6972	5224,4775	1447,036464	1547,095034	1486,726332	68,7857	11,23055805	16,086	20,644
3	60432000	-16,2969	-48,8044	223,0848	1499,256244	1539,154475	1650,84	6,3289	1,259704405	1,631	2,076
3	60433000	-16,0506	-48,3664	1116,66	1506,637926	1479,041272	1571,648012	20,1612	2,828883968	4,222	4,876
3	60435000	-15,7089	-48,2339	114,7104	1462,930548	1393,622265	1547	1,9442	0,157836799	0,298	0,496
3	60435200	-15,725	-48,1683	109,7082	1409,440865	1383,198608	1542,580153	1,4597	0,100237994	0,182	0,236
3	60435300	-15,7467	-48,1617	15,5385	1432,828491	1392,103654	1535,05	0,3054	0,044202162	0,078	0,101

3	60476100	-15,7414	-47,6744	691,5321	1271,742657	1354,86186	1491,760999	8,7781	2,189941677	3,135	3,636
3	60477400	-15,7119	-47,8783	232,9902	1341,624243	1379,556902	1522,548387	2,2948	0,068826209	0,15	0,243
3	60478600	-15,8561	-47,8578	31,2399	1379,054787	1407,616699	1512,447368	0,3463	0,041328718	0,065	0,09
3	60490000	-15,9478	-47,6678	2127,3696	1336,771708	1380,585157	1502,911446	31,1036	7,997219605	10,956	13,152
3	60540000	-17,1314	-48,1372	3678,3162	1524,979496	1524,908758	1555,465983	51,8624	9,09563872	14,405	17,867
3	60544990	-17,3283	-48,2392	20693,4	1467,34312	1476,796549	1547,771127	312,8613	63,34565963	96,655	117,762
3	60635000	-16,3464	-49,4942	532,4571	1582,750054	1542,142571	1689,078341	6,5911	1,206075523	1,664	2,115
3	60640000	-16,6136	-49,2797	1740,1248	1564,9469	1544,829447	1672,527804	20,2897	2,9527328	4,051	5,715
3	60642000	-16,6317	-49,2439	759,7368	1514,166102	1540,834731	1646,347357	10,0372	1,765979289	3,027	3,676
3	60650000	-16,6811	-49,1964	2833,0587	1553,804052	1545,643553	1665,409499	38,23	5,683707797	9,03	12,474
3	60653000	-16,4581	-48,8972	51,4728	1482,160501	1540,590088	1642,184615	0,8407	0,114789013	0,213	0,278
3	60654000	-16,9136	-49,1047	1292,0346	1528,976129	1556,761528	1609,30676	17,019	2,998383653	4,759	6,061
3	60665000	-17,2536	-49,275	1250,5	1549,250847	1584,635197	1613,756739	18,7878	2,693774581	3,974	4,91
3	60715000	-17,1069	-49,6883	4639,0743	1495,550127	1541,769773	1664,395505	53,8	7,22529729	11,917	15,536
4	60750000	-17,0792	-50,2894	2641,1769	1457,494131	1484,135397	1677,643034	29,3282	3,421558013	5,72	7,103
4	60765000	-17,7322	-50,1808	7879,68	1381,25595	1452,781733	1646,886557	79,5047	9,526345865	15,751	19,732
4	60772000	-17,9808	-50,2469	17302,7	1419,774495	1489,670136	1636,170631	191,3117	26,04624154	46,588	55,551
4	60778000	-17,3308	-50,7742	807,1938	1441,611276	1446,449394	1685,997986	15,357	5,189878878	6,81	7,392
4	60781000	-17,3258	-50,6819	5951,4984	1421,926421	1420,728755	1688,917455	101,8599	29,86883197	40,513	46,304
4	60785005	-17,4658	-50,7742	1168,9857	1447,783169	1459,368623	1675,14617	21,3739	8,736497051	10,607	11,741
4	60790000	-17,5411	-50,5564	8755,0182	1417,272407	1422,060686	1681,166636	142,0899	42,91987561	55,986	63,478
4	60798000	-17,9678	-50,3325	12792,5955	1412,422123	1435,171033	1663,314178	205,3186	53,49282273	76,283	89,987
4	60810000	-18,1044	-50,0333	1357,3656	1461,010198	1479,027645	1574,685561	19,3364	2,803141597	5,438	6,929
4	60870000	-18,4983	-50,5286	1629,234	1441,059672	1527,8709	1559,862774	26,5577	8,202098857	10,838	12,355
4	60895000	-17,8608	-51,39	1283,0148	1485,751212	1491,2028	1681,835025	25,549	10,4981905	13,46	14,774
4	60901800	-18,5306	-51,1478	12123	1514,031676	1538,272767	1636,4894	212,1761	71,28672208	89	98,27
4	60903800	-18,7217	-51,0033	12578,8	1510,763362	1539,538292	1632,612661	216,6331	61,30335742	91	99,96
4	60910000	-17,5794	-52,6014	642,7935	1515,38155	1543,214467	1662,727848	12,5894	3,538330865	4,655	5,335
4	60920400	-18,8086	-51,1694	10981,4	1575,177564	1593,922459	1594,013408	188,2589	68,94424826	108	120
4	60921500	-19,1617	-50,7619	11846,8	1560,592854	1587,769974	1584,321928	202,6634	74,17200295	114	120

4	60925001	-19,2081	-50,6628	3509,9379	1356,838707	1430,045501	1346,336636	31,5849	6,00379727	8,698	10,397
4	60950000	-19,1003	-51,1492	6880	1581,961802	1618,521549	1558,166274	114,1193	53,15088905	69,613	76,191
4	60968000	-19,1075	-51,7208	4712,0247	1636,906463	1643,162549	1549,736137	94,6861	56,55799205	63,489	66,46

Fonte: Próprio Autor.

ANEXO IV

Tabela 1: Coeficientes das equações ajustados para a vazão Q_{mld} , utilizando os dados interpolados por Krigagem Simples, referentes a todos os modelos ajustados

Q_{mld} - KRIGAGEM						
Variável		Região 1	Região 2	Região 3	Região 4	
Coeficientes	Linear	β_0	2,538400	-1,729000	-2,103400	3,028400
		β_1	0,670600	0,621000	0,657100	0,647700
	Potencial	β_0	0,866200	0,500900	0,364300	1,000400
		β_1	0,960400	1,028100	1,097200	0,925500
	Exponencial	β_0	36,924166	46,948145	14,511620	40,080747
		β_1	0,003979	0,001575	0,006531	0,005143
	Logaritmo	β_0	-118,100000	-570,400000	-27,200000	-212,140000
		β_1	56,080000	180,800000	22,920000	68,470000

Fonte: Próprio Autor.

Tabela 2: Coeficientes das equações ajustados para a vazão Q_{95} , utilizando os dados interpolados por Krigagem Simples, referentes a todos os modelos ajustados

Q_{95} - KRIGAGEM						
Variável		Região 1	Região 2	Região 3	Região 4	
Coeficientes	Linear	β_0	-1,026600	-0,745000	-1,429000	2,193900
		β_1	0,234200	0,169700	0,201900	0,274900
	Potencial	β_0	0,199800	0,126900	0,055320	0,648700
		β_1	1,023800	1,037900	1,212570	0,851900
	Exponencial	β_0	11,908742	12,540342	3,640295	19,522871
		β_1	0,004074	0,001586	0,006971	0,004646
	Logaritmo	β_0	-41,730000	-155,810000	-8,427000	-92,510000
		β_1	19,180000	49,310000	6,764000	29,800000

Fonte: Próprio Autor.

Tabela 3: Coeficientes das equações ajustados para a vazão Q_{90} , utilizando os dados interpolados por Krigagem Simples, referentes a todos os modelos ajustados

Q_{90} - KRIGAGEM						
Variável		Região 1	Região 2	Região 3	Região 4	
Coeficientes	Linear	β_0	-0,155800	-3,179500	-1,569900	2,591300
		β_1	0,269200	0,236200	0,246400	0,305300
	Potencial	β_0	0,402600	0,118500	0,079990	0,726100
		β_1	0,935100	1,089600	1,184740	0,850800
	Exponencial	β_0	15,524015	15,350007	4,637901	21,688491
		β_1	0,003833	0,001645	0,006877	0,004656
	Logaritmo	β_0	-48,710000	-216,390000	-10,298000	-102,500000
		β_1	22,550000	68,010000	8,329000	33,080000

Fonte: Próprio Autor.

Tabela 4: Coeficientes das equações ajustados para a vazão Q_{710} , utilizando os dados interpolados por Krigagem Simples, referentes a todos os modelos ajustados

Q_{710} - KRIGAGEM						
Variável		Região 1	Região 2	Região 3	Região 4	
Coefficientes	Linear	β_0	-0,159600	1,192270	-0,91420	3,574700
		β_1	0,140700	0,091380	0,132000	0,182500
	Potencial	β_0	0,154500	0,128900	0,034200	0,742200
		β_1	0,984500	0,955700	1,222000	0,762300
	Exponencial	β_0	7,629474	8,316110	2,373256	15,087223
		β_1	0,003965	0,001490	0,006982	0,004245
	Logaritmo	β_0	-24,940000	-84,190000	-5,47600	-62,080000
		β_1	11,620000	27,000000	4,417000	20,390000

Fonte: Próprio Autor.

Tabela 5: Coeficientes das equações ajustados para a vazão Q_{mld} , utilizando os dados do WorldClim, referentes a todos os modelos ajustados

Q_{mld} - WorldClim						
Variável		Região 1	Região 2	Região 3	Região 4	
Coefficientes	Linear	β_0	2,774800	-0,694300	-2,638900	7,498500
		β_1	0,590400	0,558000	0,589300	0,518400
	Potencial	β_0	0,776400	0,473100	0,285600	1,359300
		β_1	0,958400	1,021300	1,117300	0,841400
	Exponencial	β_0	37,008824	47,054154	14,390407	48,178269
		β_1	0,003501	0,001416	0,005889	0,003597
	Logaritmo	β_0	-131,840000	-605,000000	-31,310000	-227,940000
		β_1	57,760000	184,600000	23,090000	69,220000

Fonte: Próprio Autor.

Tabela 6: Coeficientes das equações ajustados para a vazão Q_{95} , utilizando os dados do WorldClim, referentes a todos os modelos ajustados

Q_{95} - WorldClim						
Variável		Região 1	Região 2	Região 3	Região 4	
Coefficientes	Linear	β_0	-0,9350000	-0,4630000	-1,5876000	7,6630000
		β_1	0,2061000	0,1525000	0,1809000	0,2003000
	Potencial	β_0	0,1760000	0,1199000	0,0418500	1,3488000
		β_1	1,0230000	1,0310000	1,2363500	0,6909000
	Exponencial	β_0	11,9326010	12,5698150	3,6031490	24,5044150
		β_1	0,0035840	0,0014250	0,0062880	0,0029510
	Logaritmo	β_0	-46,3900000	-165,2600000	-9,6530000	-92,9600000
		β_1	19,7500000	50,3800000	6,8200000	28,7800000

Fonte: Próprio Autor.

Tabela 7: Coeficientes das equações ajustados para a vazão Q_{90} , utilizando os dados do WorldClim, referentes a todos os modelos ajustados

		Q₉₀ - WorldClim				
Variável		Região 1	Região 2	Região 3	Região 4	
Coefficientes	Linear	β_0	-0,0486800	-2,7881000	-1,7655000	8,1227000
		β_1	0,2368800	0,2122000	0,2209000	0,2255000
	Potencial	β_0	0,3610000	0,1115000	0,0611800	1,4140000
		β_1	0,9336000	1,0826000	1,2072600	0,7020000
	Exponencial	β_0	15,5532320	15,3873960	4,5930740	26,9445400
		β_1	0,0033730	0,0014780	0,0062020	0,0030060
	Logaritmo	β_0	-54,2000000	-229,4600000	-11,8060000	-103,9700000
		β_1	23,2100000	69,4800000	8,3970000	32,1400000

Fonte: Próprio Autor.

Tabela 8: Coeficientes das equações ajustados para a vazão Q_{710} , utilizando os dados do WorldClim, referentes a todos os modelos ajustados

		Q₇₁₀ - WorldClim				
Variável		Região 1	Região 2	Região 3	Região 4	
Coefficientes	Linear	β_0	-0,1018000	1,3451700	-1,0180000	7,4788000
		β_1	0,1238000	0,0821200	0,1183000	0,1315000
	Potencial	β_0	0,1364000	0,1227000	0,0258700	1,3351000
		β_1	0,9845000	0,9491000	1,2456200	0,6292000
	Exponencial	β_0	7,6431150	8,3341080	2,3488000	18,3996730
		β_1	0,0034890	0,0013390	0,0062980	0,0027090
	Logaritmo	β_0	-27,7300000	-89,3400000	-6,2810000	-61,6700000
		β_1	11,9500000	27,5800000	4,4550000	19,5400000

Fonte: Próprio Autor.

Tabela 9: Coeficientes das equações ajustados para a vazão Q_{mld} , utilizando os dados de satélite do TRMM, referentes a todos os modelos ajustados

		Q_{mld} - TRMM				
Variável		Região 1	Região 2	Região 3	Região 4	
Coefficientes	Linear	β_0	1,612500	-3,870900	-2,226100	5,018300
		β_1	0,632300	0,590600	0,647700	0,607400
	Potencial	β_0	0,659400	0,438000	0,345400	1,195600
		β_1	0,994200	1,039000	1,103400	0,885400
	Exponencial	β_0	35,327312	46,707110	14,479877	44,305090
		β_1	0,003866	0,001498	0,006451	0,004485
	Logaritmo	β_0	-122,040000	-596,600000	-27,080000	-211,680000
		β_1	56,060000	182,500000	22,730000	67,770000

Fonte: Próprio Autor.

Tabela 10: Coeficientes das equações ajustados para a vazão Q_{95} , utilizando os dados de satélite do TRMM, referentes a todos os modelos ajustados

		Q_{95} - TRMM				
Variável			Região 1	Região 2	Região 3	Região 4
Coefficientes	Linear	β_0	-1,363700	-1,331800	-1,465000	3,750800
		β_1	0,220900	0,161400	0,199000	0,253300
	Potencial	β_0	0,140500	0,111200	0,052020	0,838200
		β_1	1,069800	1,048100	1,219880	0,797500
	Exponencial	β_0	11,372360	12,478018	3,630921	21,705251
		β_1	0,003960	0,001508	0,006886	0,003964
	Logaritmo	β_0	-43,030000	-162,940000	-8,400000	-91,280000
		β_1	19,160000	49,790000	6,711000	29,270000

Fonte: Próprio Autor.

Tabela 11: Coeficientes das equações ajustados para a vazão Q_{90} , utilizando os dados de satélite do TRMM, referentes a todos os modelos ajustados

		Q_{90} - TRMM				
Variável			Região 1	Região 2	Região 3	Região 4
Coefficientes	Linear	β_0	-0,631400	-3,994500	-1,614200	4,250100
		β_1	0,254600	0,224600	0,242900	0,281700
	Potencial	β_0	0,304600	0,103800	0,075370	0,927800
		β_1	0,970500	1,099400	1,191780	0,798500
	Exponencial	β_0	14,915878	15,269863	4,626036	24,060997
		β_1	0,003724	0,001565	0,006793	0,003984
	Logaritmo	β_0	-50,310000	-226,230000	-10,262000	-101,240000
		β_1	22,540000	68,660000	8,262000	32,510000

Fonte: Próprio Autor.

Tabela 12: Coeficientes das equações ajustados para a vazão Q_{710} , utilizando os dados de satélite do TRMM, referentes a todos os modelos ajustados

		Q_{710} - TRMM				
Variável			Região 1	Região 2	Região 3	Região 4
Coefficientes	Linear	β_0	-0,373400	0,875170	-0,93770	4,764000
		β_1	0,132800	0,086920	0,130100	0,167200
	Potencial	β_0	0,112000	0,113100	0,032130	0,917900
		β_1	1,026000	0,966300	1,229370	0,716200
	Exponencial	β_0	7,303512	8,277810	2,366823	16,561936
		β_1	0,003854	0,001417	0,006897	0,003624
	Logaritmo	β_0	-25,730000	-88,110000	-5,46000	-60,990000
		β_1	11,600000	27,260000	4,382000	19,980000

Fonte: Próprio Autor.

ANEXO V

Tabela 1: Índices estatísticos das equações de regionalização para a vazão Q_{mld} , para todos os modelos ajustados utilizando dados de precipitação interpolados por Krigagem Simples

		Q_{mld} – krigagem			
	Variável	Região 1	Região 2	Região 3	Região 4
R²	Linear	0,99923240	0,99971281	0,99363390	0,95012080
	Potencial	0,99941580	0,99984462	0,99691700	0,95209440
	Exponencial	0,92737140	0,99108175	0,96720170	0,85738860
	Logaritmo	0,59924860	0,60206204	0,38616820	0,86499800
RMSE	Linear	3,46771000	6,77357650	5,44512000	17,33185000
	Potencial	3,02530000	5,33044154	3,94914600	17,03571000
	Exponencial	35,10256000	37,95132566	12,50669000	30,18796000
	Logaritmo	79,23181000	252,14106940	53,46799000	28,51383000
NSE	Linear	0,99923240	0,99971280	0,99363390	0,95012080
	Potencial	0,99941570	0,99982210	0,99665140	0,95181080
	Exponencial	0,92134010	0,99098470	0,96641490	0,84867990
	Logaritmo	0,59924860	0,60206200	0,38616820	0,86499800
PBIAS	Linear	0,00000000	0,00000000	0,00000000	0,00000000
	Potencial	0,00000000	-0,90000000	-3,20000000	0,80000000
	Exponencial	9,50000000	1,90000000	5,40000000	3,80000000
	Logaritmo	0,00000000	0,00000000	0,00000000	0,00000000
WILLMOTT	Linear	0,99980800	0,99992819	0,99840080	0,98705550
	Potencial	0,99985390	0,99995562	0,99916650	0,98734770
	Exponencial	0,97818140	0,99772114	0,99130420	0,95397490
	Logaritmo	0,86007780	0,86294158	0,72318270	0,96276180

Fonte: Próprio Autor.

Tabela 2: Índices estatísticos das equações de regionalização para a vazão Q_{95} , para todos os modelos ajustados utilizando dados de precipitação interpolados por Krigagem Simples

		Q_{95} - KRIGAGEM			
	Variável	Região 1	Região 2	Região 3	Região 4
R²	Linear	0,991327500	0,999136909	0,980895000	0,737602400
	Potencial	0,991201300	0,999348221	0,991777800	0,746972800
	Exponencial	0,905903100	0,991258400	0,975836400	0,624690100
	Logaritmo	0,570290500	0,599507113	0,351771500	0,706178100
RMSE	Linear	4,086935000	3,210517010	2,917003000	19,147010000
	Potencial	4,141214000	2,850473726	1,972841000	18,870960000
	Exponencial	14,044150000	10,270579208	3,316315000	23,262980000
	Logaritmo	28,768140000	69,158266687	16,991330000	20,261110000
NSE	Linear	0,991327500	0,999136900	0,980895000	0,737602400
	Potencial	0,991095600	0,999319600	0,991261100	0,745114200
	Exponencial	0,897590100	0,991167200	0,975306400	0,612663300
	Logaritmo	0,570290500	0,599507100	0,351771500	0,706178100
PBIAS	Linear	0,000000000	0,000000000	0,000000000	0,000000000
	Potencial	1,500000000	-1,000000000	-5,000000000	2,100000000
	Exponencial	12,200000000	1,800000000	4,900000000	4,600000000
	Logaritmo	0,000000000	0,000000000	0,000000000	0,000000000
WILLMOTT	Linear	0,997817700	0,999784088	0,995157100	0,918891900
	Potencial	0,997747000	0,999830213	0,997822700	0,918964400
	Exponencial	0,970887200	0,997767935	0,993670600	0,851439300
	Logaritmo	0,846989800	0,861799803	0,694214000	0,907703700

Fonte: Próprio Autor.

Tabela 3: Índices estatísticos das equações de regionalização para a vazão Q_{90} , para todos os modelos ajustados utilizando dados de precipitação interpolados por Krigagem Simples

		Q₉₀ - KRIGAGEM			
	Variável	Região 1	Região 2	Região 3	Região 4
R²	Linear	0,971948900	0,998818967	0,984422900	0,766726000
	Potencial	0,974503700	0,999576353	0,993114100	0,776254300
	Exponencial	0,851312900	0,993325517	0,974093000	0,651582300
	Logaritmo	0,584820200	0,588857482	0,359288500	0,733136800
RMSE	Linear	8,531419000	5,226027934	3,208990000	19,666690000
	Potencial	8,293614000	3,271300301	2,195935000	19,337670000
	Exponencial	20,345370000	12,496310497	4,185624000	24,448070000
	Logaritmo	32,821950000	97,507235174	20,580540000	21,034990000
NSE	Linear	0,971948900	0,998819000	0,984422900	0,766726000
	Potencial	0,973490900	0,999537200	0,992705600	0,774466000
	Exponencial	0,840471300	0,993247200	0,973498600	0,639510200
	Logaritmo	0,584820200	0,588857500	0,359288500	0,733136800
PBIAS	Linear	0,000000000	0,000000000	0,000000000	0,000000000
	Potencial	4,300000000	-1,200000000	-4,300000000	2,000000000
	Exponencial	13,200000000	1,700000000	5,100000000	4,500000000
	Logaritmo	0,000000000	0,000000000	0,000000000	0,000000000
WILLMOTT	Linear	0,992836500	0,999704480	0,996061600	0,929731600
	Potencial	0,993123900	0,999884572	0,998182600	0,930206400
	Exponencial	0,951988100	0,998296909	0,993194500	0,865366500
	Logaritmo	0,854442200	0,857010067	0,700939000	0,918175400

Fonte: Próprio Autor.

Tabela 4: Índices estatísticos das equações de regionalização para a vazão Q_{710} , para todos os modelos ajustados utilizando dados de precipitação interpolados por Krigagem Simples

Q₇₁₀ - KRIGAGEM					
	Variável	Região 1	Região 2	Região 3	Região 4
R²	Linear	0,9826605	0,9992092	0,9769369	0,6561470
	Potencial	0,9828440	0,9992630	0,9889821	0,6779295
	Exponencial	0,8889868	0,9868965	0,9757762	0,5408874
	Logaritmo	0,5746008	0,6201185	0,3495949	0,6670873
RMSE	Linear	3,4862730	1,6544471	2,0992080	15,4312900
	Potencial	3,4814160	1,6066576	1,4974470	15,0027500
	Exponencial	9,1562900	6,7647609	2,1718600	18,0540900
	Logaritmo	17,2679900	36,2620672	11,1478000	15,1838200
NSE	Linear	0,9826605	0,9992092	0,9769369	0,6561470
	Potencial	0,9827088	0,9992543	0,9882643	0,6749802
	Exponencial	0,8803942	0,9867795	0,9753129	0,5293267
	Logaritmo	0,5746008	0,6201185	0,3495949	0,6670873
PBIAS	Linear	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000
	Potencial	1,6000000	-0,5000000	-5,8000000	2,4000000
	Exponencial	11,9000000	1,9000000	4,6000000	4,1000000
	Logaritmo	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000
WILLMOTT	Linear	0,9956080	0,9998022	0,9941391	0,8878509
	Potencial	0,9955935	0,9998137	0,9970762	0,8906743
	Exponencial	0,9654431	0,9966455	0,9936784	0,8083301
	Logaritmo	0,8496348	0,8708535	0,6922448	0,8930240

Fonte: Próprio Autor.

Tabela 5: Índices estatísticos das equações de regionalização para a vazão Q_{mld} , para todos os modelos ajustados utilizando dados de precipitação da base de dados do WorldClim

		Q_{mld} - WorldClim			
	Variável	Região 1	Região 2	Região 3	Região 4
R²	Linear	0,9989755000	0,9997203292	0,9910045000	0,9000121000
	Potencial	0,9991450000	0,9998139695	0,9954777000	0,9110175000
	Exponencial	0,9269449000	0,9910454305	0,9679908000	0,7616776000
	Logaritmo	0,6138314000	0,6155276051	0,3834413000	0,8612796000
RMSE	Linear	4,0061420000	6,6843541813	6,4726300000	24,5391300000
	Potencial	3,6605550000	5,8033515307	4,7504220000	23,3393500000
	Exponencial	35,2002900000	38,0242712672	12,3620600000	39,0334400000
	Logaritmo	77,7768800000	247,8383388462	53,5866200000	28,9038400000
NSE	Linear	0,9989755000	0,9997203000	0,9910045000	0,9000121000
	Potencial	0,9991446000	0,9997892000	0,9951546000	0,9095504000
	Exponencial	0,9209015000	0,9909500000	0,9671872000	0,7470103000
	Logaritmo	0,6138314000	0,6155276000	0,3834413000	0,8612796000
PBIAS	Linear	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000
	Potencial	-0,1000000000	-0,9000000000	-3,5000000000	1,7000000000
	Exponencial	9,5000000000	1,8000000000	5,4000000000	4,5000000000
	Logaritmo	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000
WILLMOTT	Linear	0,9997437000	0,9999300676	0,9977359000	0,9731091000
	Potencial	0,9997861000	0,9999474028	0,9987935000	0,9751212000
	Exponencial	0,9780509000	0,9977123927	0,9915060000	0,9139658000
	Logaritmo	0,8672942000	0,8693507462	0,7206114000	0,9616694000

Fonte: Próprio Autor.

Tabela 6: Índices estatísticos das equações de regionalização para a vazão Q_{95} , para todos os modelos ajustados utilizando dados de precipitação da base de dados do WorldClim

		Q_{95} - WorldClim			
	Variável	Região 1	Região 2	Região 3	Região 4
R²	Linear	0,990411500	0,999177431	0,977201300	0,579292200
	Potencial	0,990315300	0,999339264	0,990070200	0,620917400
	Exponencial	0,905223900	0,991227328	0,976196300	0,445641800
	Logaritmo	0,583586300	0,613076809	0,349816700	0,641541300
RMSE	Linear	4,297347000	3,134244175	3,186531000	24,244400000
	Potencial	4,335969000	2,873385679	2,166160000	23,168520000
	Exponencial	14,089460000	10,287834790	3,292091000	28,196860000
	Logaritmo	28,319580000	67,976543315	17,016940000	22,379000000
NSE	Linear	0,990411500	0,999177400	0,977201300	0,579292200
	Potencial	0,990238300	0,999308700	0,989464500	0,615802500
	Exponencial	0,896928100	0,991137500	0,975665800	0,430938300
	Logaritmo	0,583586300	0,613076800	0,349816700	0,641541300
PBIAS	Linear	0,000000000	0,000000000	0,000000000	0,000000000
	Potencial	1,200000000	-1,100000000	-5,400000000	3,100000000
	Exponencial	12,100000000	1,800000000	4,900000000	4,300000000
	Logaritmo	0,000000000	0,000000000	0,000000000	0,000000000
WILLMOTT	Linear	0,997585500	0,999794231	0,994203100	0,850530600
	Potencial	0,997530400	0,999827484	0,997373100	0,860399700
	Exponencial	0,970684100	0,997760447	0,993764200	0,730188100
	Logaritmo	0,853986100	0,868282784	0,691986600	0,880944600

Fonte: Próprio Autor.

Tabela 7: Índices estatísticos das equações de regionalização para a vazão Q_{90} , para todos os modelos ajustados utilizando dados de precipitação da base de dados do WorldClim

		Q_{90} - WorldClim			
	Variável	Região 1	Região 2	Região 3	Região 4
R²	Linear	0,97094030	0,99888546	0,98101570	0,61846570
	Potencial	0,97348340	0,99955780	0,99147670	0,65810820
	Exponencial	0,85051560	0,99329973	0,97454410	0,48005200
	Logaritmo	0,59853620	0,60231196	0,35724140	0,67451130
RMSE	Linear	8,68343600	5,07677719	3,54260400	25,15156000
	Potencial	8,43983400	3,34725235	2,43984500	23,97815000
	Exponencial	20,39475000	12,51906976	4,15020600	29,78497000
	Logaritmo	32,27524000	95,89852205	20,61339000	23,23090000
NSE	Linear	0,97094030	0,99888550	0,98101570	0,61846570
	Potencial	0,97254790	0,99951550	0,99099520	0,65323510
	Exponencial	0,83969610	0,99322260	0,97394520	0,46494530
	Logaritmo	0,59853620	0,60231200	0,35724140	0,67451130
PBIAS	Linear	0,00000000	0,00000000	0,00000000	0,00000000
	Potencial	4,20000000	-1,30000000	-4,70000000	3,00000000
	Exponencial	13,10000000	1,70000000	5,10000000	4,30000000
	Logaritmo	0,00000000	0,00000000	0,00000000	0,00000000
WILLMOTT	Linear	0,99257320	0,99972113	0,99518670	0,86960980
	Potencial	0,99287870	0,99987916	0,99775480	0,87867630
	Exponencial	0,95172420	0,99829072	0,99331080	0,75620200
	Logaritmo	0,86142440	0,86356334	0,69867380	0,89521260

Fonte: Próprio Autor.

Tabela 8: Índices estatísticos das equações de regionalização para a vazão Q_{710} , para todos os modelos ajustados utilizando dados de precipitação da base de dados do WorldClim

		Q_{710} - WorldClim			
	Variável	Região 1	Região 2	Região 3	Região 4
R²	Linear	0,9814161000	0,9991733055	0,9732822000	0,5037516000
	Potencial	0,9815746000	0,9992544222	0,9873303000	0,5600780000
	Exponencial	0,8881823000	0,9868497996	0,9760994000	0,3809986000
	Logaritmo	0,5871001000	0,6338274290	0,3478721000	0,5967697000
RMSE	Linear	3,6092040000	1,6916130727	2,2594220000	18,5381100000
	Potencial	3,6030420000	1,6164916625	1,6050950000	17,5665300000
	Exponencial	9,1858660000	6,7761939731	2,1575780000	20,9215200000
	Logaritmo	17,0124100000	35,6017546478	11,1625500000	16,7106200000
NSE	Linear	0,9814161000	0,9991733000	0,9732822000	0,5037516000
	Potencial	0,9814795000	0,9992451000	0,9865164000	0,5544051000
	Exponencial	0,8796202000	0,9867348000	0,9756365000	0,3679457000
	Logaritmo	0,5871001000	0,6338274000	0,3478721000	0,5967697000
PBIAS	Linear	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000
	Potencial	1,3000000000	-0,5000000000	-6,2000000000	3,1000000000
	Exponencial	11,9000000000	1,9000000000	4,6000000000	3,7000000000
	Logaritmo	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000	0,0000000000
WILLMOTT	Linear	0,9952884000	0,9997931981	0,9931887000	0,8148375000
	Potencial	0,9952804000	0,9998114264	0,9966379000	0,8310161000
	Exponencial	0,9651995000	0,9966341268	0,9937628000	0,6883619000
	Logaritmo	0,8561606000	0,8771737379	0,6902227000	0,8620678000

Fonte: Próprio Autor.

Tabela 9: Índices estatísticos das equações de regionalização para a vazão Q_{mld} , para todos os modelos ajustados utilizando dados de precipitação da base de dados do satélite TRMM

		$Q_{\text{mld}} - \text{TRMM}$			
	Variável	Região 1	Região 2	Região 3	Região 4
R²	Linear	0,99916680	0,99975720	0,99283660	0,92726970
	Potencial	0,99912940	0,99993430	0,99649900	0,93249270
	Exponencial	0,94047310	0,99108530	0,96761840	0,80996190
	Logaritmo	0,59880710	0,59867330	0,38316080	0,85403130
RMSE	Linear	3,61263600	6,22832100	5,77603400	20,92874000
	Potencial	3,84287200	3,51012700	4,20560100	20,26861000
	Exponencial	31,92931000	37,94545000	12,43091000	34,87515000
	Logaritmo	79,27544000	253,21240000	53,59881000	29,64936000
NSE	Linear	0,99916680	0,99975720	0,99283660	0,92726970
	Potencial	0,99905730	0,99992290	0,99620230	0,93178540
	Exponencial	0,93491890	0,99098750	0,96682060	0,79804190
	Logaritmo	0,59880710	0,59867330	0,38316080	0,85403130
PBIAS	Linear	0,00000000	0,00000000	0,00000000	0,00000000
	Potencial	-1,10000000	-0,60000000	-3,40000000	1,20000000
	Exponencial	9,20000000	1,90000000	5,40000000	4,20000000
	Logaritmo	0,00000000	0,00000000	0,00000000	0,00000000
WILLMOTT	Linear	0,99979160	0,99993930	0,99819950	0,98080880
	Potencial	0,99976520	0,99998070	0,99905480	0,98169170
	Exponencial	0,98217730	0,99772180	0,99140980	0,93492790
	Logaritmo	0,85986410	0,86140150	0,72040220	0,95939750

Fonte: Próprio Autor.

Tabela 10: Índices estatísticos das equações de regionalização para a vazão Q_{95} , para todos os modelos ajustados utilizando dados de precipitação da base de dados do satélite TRMM

		Q_{95} - TRMM			
	Variável	Região 1	Região 2	Região 3	Região 4
R²	Linear	0,992239500	0,999236600	0,979831200	0,695051800
	Potencial	0,992736000	0,999497100	0,991315000	0,713161600
	Exponencial	0,920869800	0,991272100	0,976093900	0,563051600
	Logaritmo	0,569056500	0,596178500	0,349374500	0,686708600
RMSE	Linear	3,866071000	3,019420000	2,997115000	20,641160000
	Potencial	3,740371000	2,487451000	2,028552000	20,121020000
	Exponencial	12,944860000	10,263350000	3,299375000	25,126610000
	Logaritmo	28,809420000	69,445070000	17,022720000	20,921620000
NSE	Linear	0,992239500	0,999236600	0,979831200	0,695051800
	Potencial	0,992735900	0,999481900	0,990760600	0,710227000
	Exponencial	0,912994600	0,991179700	0,975558000	0,548117500
	Logaritmo	0,569056500	0,596178500	0,349374500	0,686708600
PBIAS	Linear	0,000000000	0,000000000	0,000000000	0,000000000
	Potencial	0,000000000	-0,700000000	-5,100000000	2,500000000
	Exponencial	11,900000000	1,800000000	5,000000000	4,800000000
	Logaritmo	0,000000000	0,000000000	0,000000000	0,000000000
WILLMOTT	Linear	0,998048500	0,999809000	0,994882800	0,902324100
	Potencial	0,998173800	0,999870600	0,997697700	0,904357900
	Exponencial	0,975613500	0,997771000	0,993735500	0,811695900
	Logaritmo	0,846490100	0,860275100	0,691673300	0,899954700

Fonte: Próprio Autor.

Tabela 11: Índices estatísticos das equações de regionalização para a vazão Q_{90} , para todos os modelos ajustados utilizando dados de precipitação da base de dados do satélite TRMM

		Q_{90} - TRMM			
	Variável	Região 1	Região 2	Região 3	Região 4
R²	Linear	0,978239300	0,998877400	0,983356200	0,724774100
	Potencial	0,978938700	0,999705500	0,992603000	0,742920300
	Exponencial	0,870312600	0,993333600	0,974365500	0,589988700
	Logaritmo	0,584648200	0,585580800	0,356749900	0,713952300
RMSE	Linear	7,514202000	5,095207000	3,317049000	21,362040000
	Potencial	7,484319000	2,710292000	2,276679000	20,759400000
	Exponencial	19,077050000	12,489680000	4,164533000	26,546700000
	Logaritmo	32,828750000	97,895020000	20,621270000	21,777970000
NSE	Linear	0,978239300	0,998877400	0,983356200	0,724774100
	Potencial	0,978412000	0,999682300	0,992159300	0,740083800
	Exponencial	0,859741300	0,993254400	0,973765000	0,574964800
	Logaritmo	0,584648200	0,585580800	0,356749900	0,713952300
PBIAS	Linear	0,000000000	0,000000000	0,000000000	0,000000000
	Potencial	3,100000000	-1,000000000	-4,500000000	2,400000000
	Exponencial	13,100000000	1,700000000	5,100000000	4,700000000
	Logaritmo	0,000000000	0,000000000	0,000000000	0,000000000
WILLMOTT	Linear	0,994469600	0,999719100	0,995788100	0,914196700
	Potencial	0,994447400	0,999920700	0,998046200	0,916595300
	Exponencial	0,958526500	0,998298700	0,993263400	0,827862900
	Logaritmo	0,854488200	0,855478700	0,698324300	0,910897600

Fonte: Próprio Autor.

Tabela 12: Índices estatísticos das equações de regionalização para a vazão Q_{710} , para todos os modelos ajustados utilizando dados de precipitação da base de dados do satélite TRMM

		Q₇₁₀ - TRMM			
	Variável	Região 1	Região 2	Região 3	Região 4
R²	Linear	0,9849067	0,9993877	0,9758176	0,6111254
	Potencial	0,9849513	0,9994358	0,9884799	0,6442072
	Exponencial	0,9050085	0,9869222	0,9760020	0,4827551
	Logaritmo	0,5733918	0,6167238	0,3472939	0,6453226
RMSE	Linear	3,2526350	1,4558060	2,1495480	16,4104600
	Potencial	3,2481190	1,4004470	1,5319140	15,7847200
	Exponencial	8,5038680	6,7586490	2,1620930	19,1767800
	Logaritmo	17,2925100	36,4237300	11,1675000	15,6723000
NSE	Linear	0,9849067	0,9993877	0,9758176	0,6111254
	Potencial	0,9849486	0,9994334	0,9877178	0,6402162
	Exponencial	0,8968317	0,9868034	0,9755345	0,4689697
	Logaritmo	0,5733918	0,6167238	0,3472939	0,6453226
PBIAS	Linear	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000
	Potencial	0,2000000	-0,3000000	-6,0000000	2,8000000
	Exponencial	11,7000000	1,9000000	4,6000000	4,2000000
	Logaritmo	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000
WILLMOTT	Linear	0,9961835	0,9998469	0,9938483	0,8682259
	Potencial	0,9961909	0,9998584	0,9969394	0,8745155
	Exponencial	0,9706404	0,9966514	0,9937356	0,7657860
	Logaritmo	0,8491716	0,8693554	0,6897923	0,8838931

Fonte: Próprio Autor.

ANEXO VI

Tabela 1: Cálculo estatístico do RMSE a partir da raiz do erro quadrático médio

RHH	RMSE	Q _{md} (m ³ /s)	Q ₇₁₀ (m ³ /s)	Q ₉₅ (m ³ /s)	Q ₉₀ (m ³ /s)
1	Desvio Padrão	131,267865	27,76768721	46,02785403	53,42476103
	Desvio Padrão/2	65,6339325	13,8838436	23,01392701	26,71238051
	Krigagem	3,0253	3,481416	4,141214	8,293614
	TRMM	3,842872	3,248119	3,740371	7,484319
	WorldClim	3,660555	3,603042	4,335969	8,439834
2	Desvio Padrão	423,9475885	62,40289809	115,9105476	161,2935156
	Desvio Padrão/2	211,9737943	31,20144904	57,95527379	80,64675779
	Krigagem	5,33044154	1,606657552	2,850473726	3,271300301
	TRMM	3,510127	1,400447	2,487451	2,710292
	WorldClim	5,803351531	1,616491662	2,873385679	3,347252345
3	Desvio Padrão	70,11479996	14,20161253	21,68223202	26,4159424
	Desvio Padrão/2	35,05739998	7,100806267	10,84111601	13,2079712
	Krigagem	3,949146	1,497447	1,972841	2,195935
	TRMM	4,205601	1,531914	2,028552	2,276679
	WorldClim	4,750422	1,605095	2,16616	2,439845
4	Desvio Padrão	79,73077431	27,03687434	38,40269113	41,83488709
	Desvio Padrão/2	39,86538715	13,51843717	19,20134556	20,91744354
	Krigagem	17,03571	15,00275	18,87096	19,33767
	TRMM	20,26861	15,78472	20,12102	20,7594
	WorldClim	23,33935	17,56653	23,16852	23,97815

Fonte: Próprio Autor.