

Análise de previsões subsazonais de vazão para uma bacia hidrográfica do Bioma Cerrado, Brasil

Diversas bacias hidrográficas da região central do Brasil, onde predomina o bioma Cerrado, registraram períodos severos de secas em anos recentes, coincidindo com uma forte expansão da agricultura irrigada. Este cenário, cria condições para conflitos pelo uso da água, impactando em setores como a geração hidrelétrica de energia, navegação e até mesmo o abastecimento das populações. Antecipar as condições hidrológicas futuras é uma das estratégias que podem ser adotadas para a gestão dos recursos hídricos dessas bacias, a fim de melhor alocar as vazões entre os diferentes usos. Neste sentido, o presente estudo teve por objetivo a análise das previsões de vazão por conjunto no horizonte subsazonal para a bacia do rio Paracatu, localizada no bioma Cerrado, região central do Brasil. Essa bacia possui a irrigação como principal forma de utilização da água. Foi realizado o ajuste do Modelo de Grandes Bacias (MGB-IPH), que posteriormente assimilou previsões subsazonais por conjunto do modelo atmosférico Eta, para gerar as previsões de vazão. As previsões foram realizadas para antecedências de até 60 dias, com um conjunto de 20 membros. Analisaram-se os resultados comparando-se as previsões na forma determinística e probabilística. Os resultados da previsão probabilística se mostraram melhores quando comparados com os resultados da previsão determinística. Os melhores resultados foram obtidos para início do período chuvoso (janeiro, fevereiro, abril). Para o início do período de estiagem (setembro e outubro), as previsões não geraram bons resultados, tendendo a superestimar as vazões nos anos testados. Concluiu-se que as previsões subsazonais possuem potencial para aplicação na gestão de recursos hídricos em bacias da região central do Brasil, mas para períodos específicos em que os modelos atmosféricos possuem melhor desempenho na previsão da precipitação.

Palavras-chave: Previsão hidrológica; Previsão subsazonal de vazão; Bacia de larga escala.

Analysis of subseasonal flow forecasts for a hydrographic basin in the Cerrado biome of Brazil

Several hydrographic basins in the Brazilian Cerrado biome predominates, have registered severe periods of drought in recent years, coinciding with a strong expansion of irrigated agriculture. This scenario creates conditions for conflicts over the use of water, impacting various sectors of the economy. Anticipating future hydrological conditions is one of the strategies that can be adopted for the management of water resources in these basins. In this sense, this study aimed to analyze the flow forecasts per set in the subseasonal horizon for the Paracatu river basin, located in the Brazilian Cerrado, central region of Brazil. The adjustment of the Large Basin Model (MGB-IPH) was performed to simulate the flows, which later assimilated sub-seasonal forecasts per set of the Eta atmospheric model, to generate the flow forecasts. The forecasts were made up to 60 days in advance, with a group of 20 members. The results were analyzed comparing the predictions in deterministic and probabilistic ways. The results of the probabilistic prediction were better when compared to the results of the deterministic prediction. The best results were obtained for the beginning of the wet season. For the beginning of the dry season, the forecasts did not generate good results, tending to overestimate the flows in the years tested. It was concluded that subseasonal forecasts have potential for application in water resources management in basins in the central region of Brazil, but for specific periods in which atmospheric models have better performance in predicting precipitation.

Keywords: Hydrological forecasting; Subseasonal flow forecasting; Large-scale basin.

Topic: **Planejamento, Gestão e Políticas Públicas Ambientais**

Received: **09/02/2022**

Approved: **27/02/2022**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Gabriel de Oliveira Machado 
Universidade Federal de Itajubá, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9406112084689668>
<http://orcid.org/0000-0001-7224-6374>
gabrielmachadomg@gmail.com

Benedito Cláudio da Silva 
Universidade Federal de Itajubá, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5122382690957007>
<http://orcid.org/0000-0002-3357-3679>
silvabenedito@gmail.com

Sin Chan Chou 
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4336175279058172>
<http://orcid.org/0000-0002-8973-1808>
chou.sinchan@gmail.com

Nicole Costa Resende Ferreira 
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3768890057485077>
<http://orcid.org/0000-0002-3098-5993>
nicole.resende@yahoo.com.br



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2022.002.0022

Referencing this:

MACHADO, G. O.; SILVA, B. C.; CHAN, C. S.; FERREIRA, N. C. R.. Análise de previsões subsazonais de vazão para uma bacia hidrográfica do Bioma Cerrado, Brasil. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.13, n.2, p.247-265, 2022. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.002.0022>

INTRODUÇÃO

O ciclo hidrológico e os fatores que envolvem a disponibilidade hídrica dentro de uma bacia hidrográfica podem ser melhor compreendidos através das equações de balanço hídrico e da propagação da vazão em rios e reservatórios. A estimativa antecipada dessas variáveis hidrológicas é chamada de previsão hidrológica, que fornece informações úteis para minimizar o impacto das incertezas do clima sobre a gestão dos recursos hídricos, além de auxiliar na tomada de decisão em atividades socioeconômicas (ADAM et al., 2015; SCHUSTER et al., 2020; QUEDI et al., 2020).

Do ponto de vista da sociedade, muitas decisões de gestão na agricultura e segurança alimentar, água, redução do risco de desastres e saúde caem no intervalo de tempo subsazonal. No entanto, esta escala de tempo tem sido considerada um “deserto de previsibilidade” (NASEM, 2016). A previsibilidade nesse horizonte é um dos temas atuais de investigação e recentemente indicaram importantes fontes potenciais de previsibilidade.

Isso foi possível através de uma melhor compreensão e representação dos fenômenos atmosféricos, tais como: a oscilação Madden-Julian (CHOU et al., 2014); acoplamento aprimorado e inicialização dos componentes e suas interações: terra-oceano-criosfera-estratosfera; novos modelos de desenvolvimento; redes de observação mais abrangentes e confiáveis; técnicas aprimoradas de assimilação de dados e recursos computacionais crescentes. Espera-se que essas melhorias se traduzam em previsões mais precisas (BRUNET et al., 2010; HOSKINS, 2012; CHOU et al., 2014).

Normalmente as previsões determinísticas eram comumente utilizadas, contudo, criou-se um paradigma quanto à utilização delas no campo da hidrologia, principalmente relacionado a existência de incertezas e diferentes cenários de evolução da atmosfera, limitando a previsão de eventos extremos. Neste caso, as previsões determinísticas podem não atender às expectativas da sociedade por alertas confiáveis (KRZYSZTOFOWICZ, 2001), o que tem motivado a adoção das previsões por conjunto para a geração de previsões em caráter probabilístico.

Com isso, o conceito de "*Ensemble Forecasting*", surgiu como uma estratégia de gerar um conjunto de diferentes previsões como forma de refletir sobre as incertezas associadas à uma previsão determinística (KALNAY, 2003). Na previsão por conjunto, várias previsões são realizadas a partir da introdução de perturbações nas condições iniciais ou na própria formulação dos modelos de previsão do tempo. Os sistemas de previsão por conjunto partem do princípio de que o conhecimento aproximado do estado da atmosfera, somada às deficiências do modelo, acarreta erros que crescem rapidamente à medida que aumenta o horizonte de previsão.

Os sistemas de previsão hidrológica por conjunto objetivam gerar um conjunto de soluções a partir dos membros que integram o modelo meteorológico para determinado horizonte de previsão. A utilização dessas previsões tem demonstrado benefícios quando comparados com a previsão determinística, se tratando da qualidade das previsões de vazão resultantes, com isso têm motivado o desenvolvimento destes sistemas em diversos locais do mundo (FAN et al., 2014; FAN et al., 2016; YUAN et al., 2015).

Alguns dos benefícios são: Apresentam melhor desempenho em termos de estatísticas de quantificação de erros e métricas econômicas; permitem a quantificação da incerteza, mensurada através do espalhamento dos membros do conjunto; permitem a identificação de eventos extremos com maior ou menor probabilidade de ocorrência; é mais consistente pelo fato de ser mensurado pelo grau de concordância entre as previsões sucessivas; beneficia os sistemas de previsão operacionais, aumentando a credibilidade devido a diminuição de emissão de falsos alarmes (GOLDING, 2009; DIETRICH et al., 2009; VERKADE et al., 2011; BOUCHER et al., 2012; DALE et al., 2014; RAMOS et al., 2013).

Apesar dos benefícios desse sistema de previsões (MELLER et al., 2012; PAGANO et al., 2014; FAN et al., 2016; WETTERHALL et al., 2018) destacaram em seus estudos, algumas questões a serem resolvidas: As investigações da qualidade dessas previsões ainda são incipientes, em relação aos domínios espacial e temporal; a inclusão dessas previsões nas informações para tomadas de decisões pode se tornar tortuosa, visto que esta abordagem requer um conhecimento avançado sobre o tema, bem como para a interpretação dos resultados; Esse sistema é mais complexo do que a previsão determinística e isso implica em maiores gastos financeiros, processamento computacional e aumento da exigência de recursos humanos especializados.

Diante disso, o objetivo geral deste estudo é analisar a qualidade das previsões de vazões por conjunto na bacia do rio Paracatu para o horizonte subsazonal e comparar com previsões determinísticas. Para isso foi necessária a previsão hidroclimática simples e também por conjunto, integrando os modelos hidrológico (MGB-IPH) (COLLISCHONN et al., 2007), o qual foi alimentado pelas previsões do modelo climático (Eta) (CHOU et al., 2000), e a posterior realização de uma análise dos indicadores de desempenho.

MATERIAIS E MÉTODOS

Bacia do Rio Paracatu, Brasil

A unidade territorial compreendida pela Bacia Hidrográfica do Rio Paracatu, está inserida entre as coordenadas geográficas 15°30' a 19°30'S e 45°10' a 47°30'W. Toda a bacia abrange uma área de 45.600 km², sendo que 92% dessa área, aproximadamente 41.600 km², pertencem ao estado de Minas Gerais, e o restante, 5% e 3%, está distribuído entre o estado de Goiás e o Distrito Federal, respectivamente.

A maioria dos municípios que compreende a bacia está inserida na Macrorregião Noroeste de Minas. O rio Paracatu é afluente da margem esquerda do Rio São Francisco, sua nascente está localizada no povoado de Almas, município de Lagamar e após percorrer 485 km, deságua no rio São Francisco, na localidade de Cachoeira da Manteiga, município de São Romão (IGAM, 2006). A figura 1 representa a localização da bacia hidrográfica do Rio Paracatu, bem como as estações fluviométricas (em vermelho) que serão utilizadas no estudo.

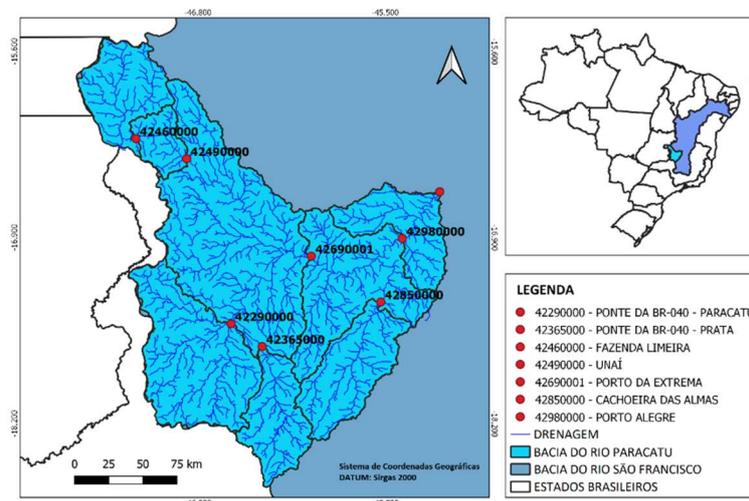


Figura 1: Localização da bacia hidrográfica do Rio Paracatu.

Modelo Atmosférico Regional – Eta

O modelo climático regional Eta, que será usado para a previsão de precipitação no presente estudo, foi desenvolvido pela Universidade de Belgrado em parceria com o Instituto de Hidrometeorologia da Iugoslávia, e é usado atualmente como ferramenta de previsão climática sazonal no Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - CPTEC/INPE desde 2001 (CHOU et al., 2000). A condição inicial vem das análises dos Centros Nacionais de Previsão Ambiental - NCEP e das condições de contorno do modelo global T126128 do CPTEC. O modelo Eta tem resolução horizontal de 20km com resolução vertical de 38 camadas e destina-se a complementar a previsão numérica do tempo realizada pelo Modelo Geral de Circulação Atmosférica MCGA/CPTEC (CHOU et. al., 2000).

Este modelo busca prever com mais detalhes os sistemas organizados em mesoescala, como frentes frias, orografia, brisas marítimas e tempestades severas. Durante a integração do modelo, as variáveis prognósticas são: temperatura, umidade, vento horizontal, pressão superficial, energia cinética turbulenta, hidrometeoros, umidade e temperatura do solo, obtidas para cada ponto da grade. A versão mais atualizada do modelo é descrita no trabalho de Messinger e outros autores.

Modelo hidrológico - MGB

O modelo hidrológico MGB é um modelo conceitual distribuído, indicado para aplicações em grandes bacias (maiores do que 1000 km²) e em regiões onde os processos de propagação fluvial não podem ser negligenciados, ou seja, que o tempo de viagem da água na rede de drenagem seja grande (alto tempo de concentração) e que os processos de translação e atenuação de ondas de cheias sejam relevantes na compreensão das dinâmicas da bacia. O MGB utiliza dados de precipitação, temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento, insolação e pressão atmosférica para calcular as vazões dos rios de uma bacia hidrográfica (COLLISCHONN et al., 2001).

Na versão atualizada, o modelo MGB faz a divisão da bacia hidrográfica em pequenas sub-bacias, denominadas “mini bacias”, utilizando interface dentro do software livre QGIS. A interface facilita a geração e pós processamento dos dados de entrada para o modelo (FAN et al., 2014).

Aquisição de dados

Serão necessárias algumas imagens de satélite para gerar o modelo de previsão de vazão. O Modelo Digital de Elevação - DEM, foi obtido a partir de dados do Shuttle Radar Topographic Mission – SRTM na resolução espacial de 30 metros. As imagens para confecção do mapa de tipo de solo e cobertura vegetal foram obtidas a partir de imagens do satélite Landsat 8, com resolução de 30m (MILLER, 2016). Esses dados foram utilizados para realizar a discretização da bacia hidrográfica, bem como para fornecer parâmetros físicos para posterior calibração do modelo hidrológico.

Para o ajuste do modelo hidrológico serão considerados os dados fluviométricos e pluviométricos, os quais serão obtidos por meio do portal da Agência Nacional de Águas - ANA que é uma ferramenta integrante do Sistema Nacional de informações sobre Recursos Hídricos – SNIRH no Brasil. Esse portal oferece o acesso ao banco de dados que contém todas as informações coletadas pela Rede Hidrometeorológica Nacional – RHN¹.

Os dados das Normais Climatológicas utilizadas foram calculados pelo Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, durante os anos de 1980 até os anos de 2010. As variáveis climatológicas utilizadas são: temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento, pressão atmosférica e insolação (horas de sol por dia). Essas informações são necessárias para realização do cálculo da evapotranspiração, utilizando o método de Penman-monteith. Serão definidas algumas estações meteorológicas, próximas da área de estudo, para que o software MGB faça a interpolação dos dados (disponíveis no MGB). A distribuição espacial dos dados pode ser visualizada na figura 2.

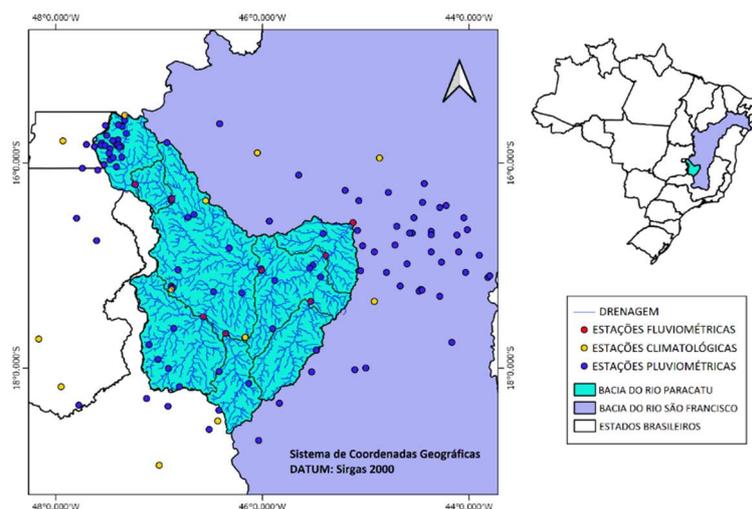


Figura 2: Localização das estações selecionadas para obtenção dos dados hidroclimáticos na bacia do Rio Paracatu.

Tabela 1: Informações dos postos fluviométricos.

POSTO FLUVIOMÉTRICO	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Área de Drenagem (km ²)
42290000	-17.5025	-46.5711	520	7750
42365000	-17.6619	-46.3550	560	3350
42460000	-16.2089	-47.2325	640	3890
42490000	-16.3494	-46.8800	560	5360
42690001	-17.0303	-46.0136	484	30100

¹ disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>

42850000	-17.3506	-45.5325	600	4390
42980000	-16.9067	-45.3825	472	41300

Os dados de vazão serão obtidos das estações fluviométricas cujas informações podem ser visualizadas na tabela 1 e a localização geográfica delas podem ser observadas na figura 2.

Calibração do Modelo Hidrológico MGB

Para a calibração do MGB serão considerados os parâmetros fixos e parâmetros calibráveis. Os fixos são representados pela vegetação e não são alterados durante o processo de calibração. Os calibráveis são representados pelas variáveis do solo e podem ser alterados no processo de calibração, visando uma melhor performance do modelo.

Parâmetros fixos de vegetação

Os parâmetros de vegetação que deverão ser definidos são: Albedo, altura da vegetação, índice de área foliar e resistência superficial em boas condições de umidade do solo. Todos estes parâmetros são utilizados no cálculo da evapotranspiração, assim como os dados climatológicos, pelo método de Penman-Monteith, descrito por Shuttleworth (1991) e Lohmann et al. (1998) e adaptada por Collischonn et al. (2001).

Parâmetros calibráveis de solo

Os parâmetros de solo que deverão ser definidos são: Wm: Capacidade de armazenamento no solo; b: Parâmetro de forma da curva de saturação; Kbas: Parâmetro de escoamento subterrâneo; Kint: Parâmetro da drenagem subsuperficial; XL: Curva de redução da drenagem subsuperficial; CAP: Máximo fluxo de retorno para o solo; Wc: Limite de armazenamento para haver fluxo ascendente ou descendente; Ci: Calibração da propagação superficial; CS: Calibração da propagação subsuperficial; CB: Retardo do reservatório subterrâneo e QB: Vazão de base. Esses parâmetros, de modo geral, são responsáveis por definir a intensidade dos picos do hidrograma resultante na simulação. O valor de cada parâmetro poderá ser definido manualmente, baseado no conhecimento técnico científico, ou de forma automática, através da interação numérica realizada por algoritmo genético contido no MGB.

Para uma avaliação a respeito da calibração do MGB, algumas medidas de desempenho serão consideradas. Os coeficientes para medir o desempenho são chamados de: Nash-Sutcliffe (NS), Nash-Sutcliffe logarítmico (NSLog) e Erro Relativo de Volume (ΔV). Por permitirem uma análise completa das vazões simuladas em comparação com as observadas, considerando os picos, recessões e uma visão geral dos hidrogramas, a utilização dessas medidas de desempenho na calibração do MGB é considerada como suficiente para medir a eficiência do mesmo (NASH et al., 1970; KRAUSE et al., 2005). Além disso, será aplicada a regressão linear simples, a qual faz a associação entre duas variáveis, no caso as vazões observadas e as vazões simuladas.

Previsão Subsazonal por conjunto

Serão realizados dois tipos de previsão de vazão: A previsão determinística e a previsão probabilística/por conjunto. A previsão determinística será utilizada nesse trabalho para comparar com a previsão por conjunto, a fim de verificar se a previsão probabilística realmente apresenta desempenho superior, nesse caso, em uma grande bacia hidrográfica. A previsão por conjunto, por sua vez, será mais explorada e serão calculados alguns indicadores de desempenho para analisar a previsibilidade deste método.

Previsão de vazão

As rodadas de previsão de vazão se iniciam no segundo dia de cada mês, ou seja 02/janeiro, 02/abril e 02/setembro, respectivamente e percorrem durante os próximos 60 dias. Serão 10 dias de previsão, iniciando do 2º dia até o 11º dia de cada mês. Para cada dia de previsão, serão retornados dois valores de vazão, o primeiro referente às 00 horas e o segundo referente às 12 horas. Sendo assim, como serão 10 dias de previsão e 2 resultados para cada dia, tem-se 20 membros de previsão.

Como o primeiro dia de cada membro da previsão é diferente, foram descartados alguns dias para que o período de cada membro seja o mesmo, começando e terminando na mesma data. Para a criação dos cenários de previsão, foram adotados os períodos dispostos na tabela 2. A intenção é primeiramente explorar o período subsazonal de forma bimestral e em seguida de forma mensal a fim de entender a influência que determinado mês tem nos resultados bimestrais.

Tabela 2: Períodos das previsões entre 2015 e 2019.

MESES	INÍCIO	FIM	DIAS
JAN/FEV	11/jan	02/mar	51
ABR/MAI	11/abr	31/mai	51
SET/OUT	11/set	31/out	51
JAN	11/jan	31/jan	20
FEV	01/fev	28-29/fev	28-29
ABR	11/abr	30/abr	19
MAI	01/mai	31/mai	31
SET	11/set	30/set	19
OUT	01/out	31/out	31

Avaliação dos resultados da previsão

Muitas vezes, a tomada de decisão pela emissão ou não de um alerta de secas é desencadeada pela previsão de superação ou não de determinada vazão ou nível de referência. Portanto, as previsões de vazão são analisadas pela variação até as médias observadas, ou seja, a previsão será acertada quando a vazão prevista for igual ou inferior a vazão observada. Para descrever a distribuição conjunta das previsões e observações em termos de suas frequências é usada a tabela de contingência 2x2, apresentada na tabela 3.

Para caracterizar a qualidade das previsões com base nessa tabela de contingência, podem ser calculadas medidas de desempenho tais como: Taxa de Acerto (Hit Rate – H), a Probabilidade de Detecção (*Probability of Detection* – POD), a Razão de Alarme Falso (*False Alarm Ratio* – FAR) e BIAS. As formulações são apresentadas a seguir e as variações dos valores esperados são apresentados na tabela 4.

Tabela 3: Tabela de contingência para um evento dicotômico.

Vazão Simulada	Vazão Observada			Total
	Sim	Não	Total	
Sim	a	b	a+b	
Não	c	d	c+d	
Total	a+c	b+d	n= a+b+c+d	

Fonte: Adaptado de Wilks (2006).

$$H = \frac{a + d}{N} \quad POD = \frac{a}{a + c} \quad FAR = \frac{b}{a + b} \quad Bias = \frac{(a + b)}{(a + c)}$$

Tabela 4: Medidas de desempenho usadas na avaliação das previsões.

Medida de desempenho	Intervalo de variação	Valor ótimo
Taxa de acerto – H	0 a 1	1
Probabilidade de Detecção - POD	0 a 1	1
Razão de Alarme Falso – FAR	0 a 1	0
BIAS	$-\infty$ a $+\infty$	1

Fonte: Adaptado de Wilks (2006).

Duas medidas frequentemente utilizadas na avaliação de previsões probabilísticas é o Brier Score – BS e o Brier Skill Score - BSS. O BS representa o erro médio quadrático das previsões probabilísticas, considerando que o evento ocorra ou não, medindo sua precisão. Tem sua faixa definida de 0 a 1, sendo que valores próximos a zero indicam melhores resultados. A equação a seguir define o BS.

$$BS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (pp_i - po_i)^2$$

Onde n é igual ao número de pares previsão-observação; pp é a probabilidade de ocorrência prevista do evento e po é a probabilidade de ocorrência observada do evento (0 o evento não ocorreu; 1 o evento ocorreu).

De acordo com WMO (2018) quanto mais raro é o evento de superação do limiar na amostra verificada, mais fácil é a obtenção de valores considerados bons para o índice, levando a uma falsa impressão do desempenho da previsão. Por esse motivo, o BSS é preferido ao BS nessa situação. O Brier Skill Score (BSS) é uma medida de destreza e mede o desempenho de uma previsão principal em relação a outra tomada como referência. Tem em seu intervalo de variação de $-\infty$ a 1. Quando assume valores negativos, a previsão de referência possui desempenho superior a previsão em termos de BS. No caso de os valores obtidos serem positivos, a previsão principal possui melhor desempenho que a previsão de referência. A equação a seguir define o BSS.

$$BSS = \frac{BS_p - BS_{ref}}{BS_{perf} - BS_{ref}} = 1 - \frac{BS_p}{BS_{ref}}$$

Onde BS_p é o valor de BS para a previsão principal; BS_{ref} é o valor de BS para a previsão de referência e BS_{perf} é o valor de BS para a previsão perfeita, igual a zero.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resultados da calibração do MGB

Após realizar a calibração manual e em seguida a calibração automática, tendo como base o período de 1980 a 1990, foi realizada a simulação e obteve-se os seguintes hidrogramas (figura 3).

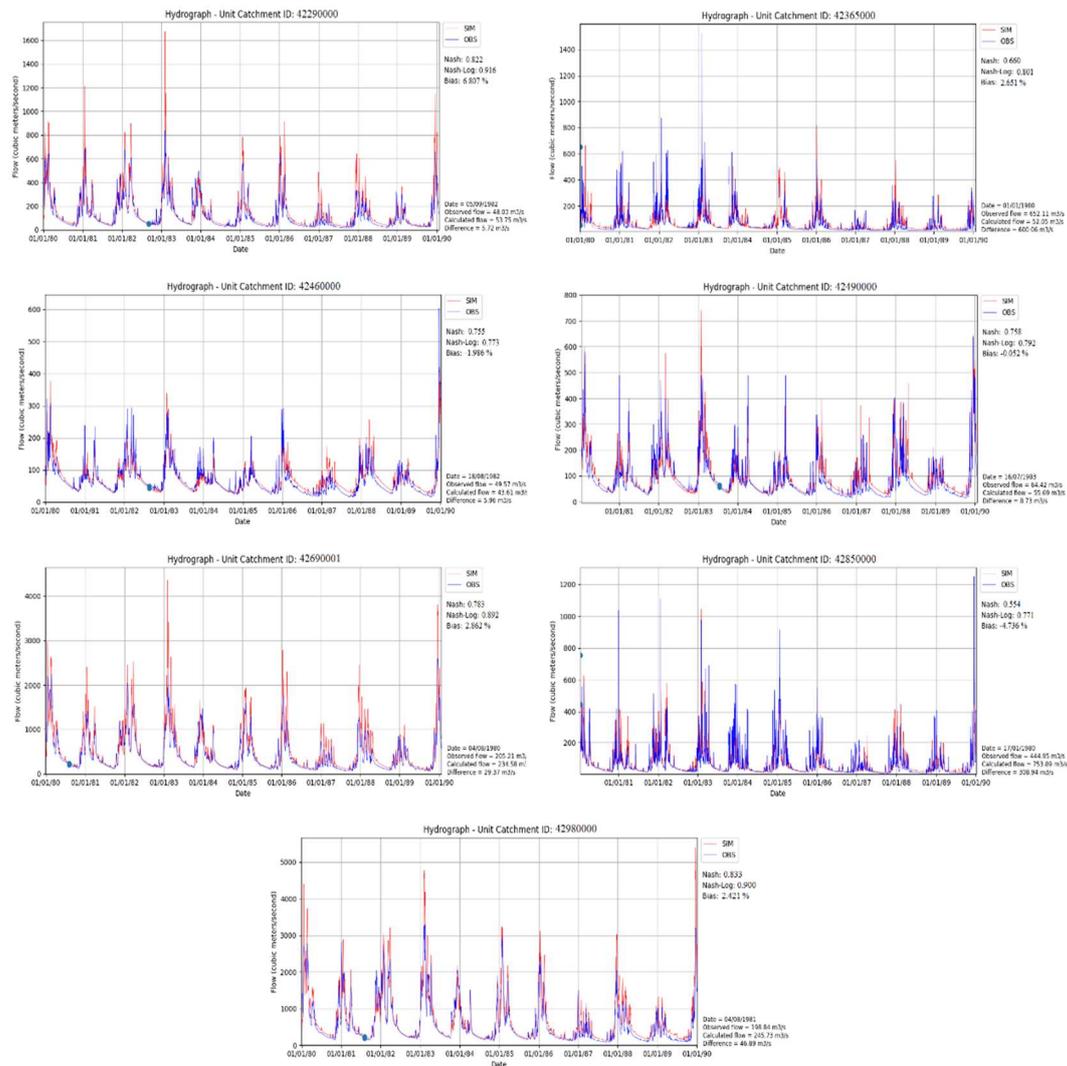


Figura 3: Hidrogramas dos resultados da calibração.

De acordo com Meller et al. (2012), em geral, valores do coeficiente de Nash-Sutcliffe acima de 0,75 são considerados satisfatórios, como apresentados nos resultados de todas as sub-bacias, exceto na sub-bacia 42365000 e 42850000. Essas duas sub-bacias não tiveram resultados ótimos em função da falta de dados de entrada (especialmente a precipitação), o qual apresentaram algumas falhas, ou pouca cobertura espacial e ainda por apresentarem picos muito elevados em seu registro histórico, dificultando assim a simulação das vazões de pico. Por isso, elas obtiveram valores de 0,660 e 0,554 respectivamente. Já para o erro relativo de volume, os valores devem se manter em uma faixa de -10% a +10% e todas as sub-bacias ficaram dentro desse intervalo. Uma representação visual de cada um dos três indicadores pode ser observada na figura 4.

Complementando os resultados da calibração, foi realizada uma regressão linear simples a partir dos gráficos de dispersão, o qual foram calculados os valores de R^2 para cada sub-bacia. A maioria das sub-bacias apresentaram resultados satisfatórios, ou seja, valores de R^2 acima de 0,7, enquanto as sub-bacias 42365000 e 42850000 ficaram próximos de 0,5.

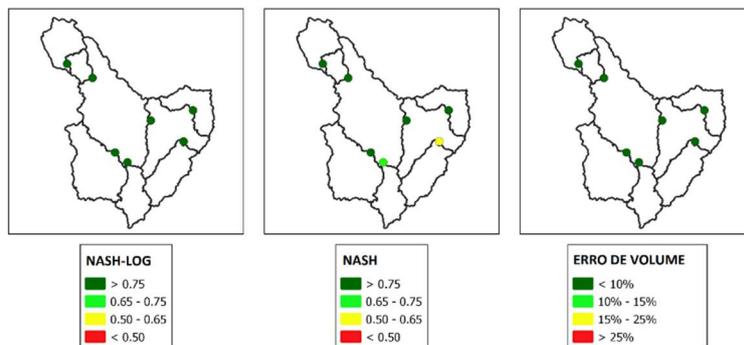


Figura 4: Resultado dos valores de Nash-Log, Nash e Erro de Volume para cada sub-bacia.

De modo geral, as sub-bacias apresentaram valores satisfatórios quanto a dispersão dos dados e quanto a correlação entre as vazões observadas e simuladas. A dispersão dos dados ocorre com maior frequência em vazões mais altas, em praticamente todas as sub-bacias. Os gráficos de dispersão para as sub-bacias e seus respectivos valores de R^2 estão dispostos na figura 5.

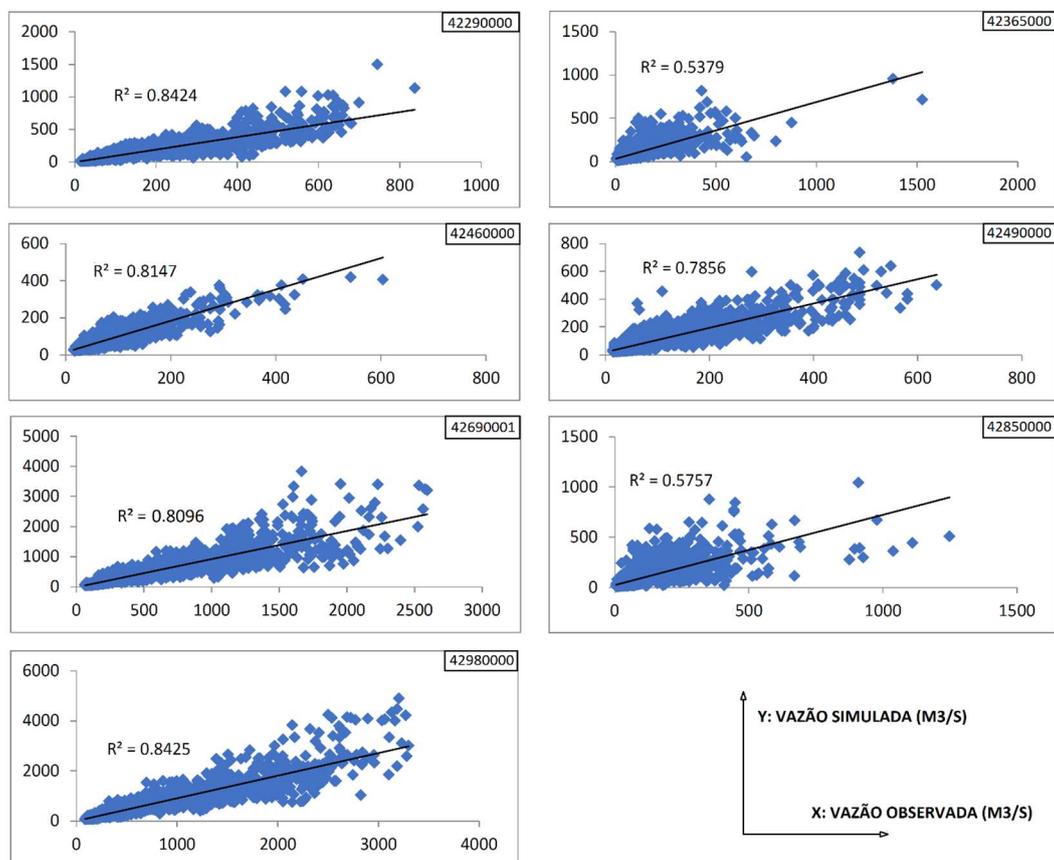


Figura 5: Gráfico de dispersão: Vazão observada x Vazão simulada.

Plumas de previsão da vazão probabilística

Foram geradas inicialmente as plumas de previsão de vazão para complementar a análise visual e destacar o comportamento de cada um dos membros em relação à média e em relação aos dados observados, em dois períodos distintos. Nota-se que para os dados da figura 6, referente ao período de janeiro e fevereiro, a vazão observada é predominantemente inferior ou igual aos membros previstos e consequentemente o mesmo vale para a média. Nota-se ainda que para os dados da figura 7, referente ao período de setembro e outubro, a vazão observada é quase sempre muito inferior aos membros previstos e

consequentemente o mesmo vale para a média, fazendo com que as previsões estejam em sua maioria, superestimadas.

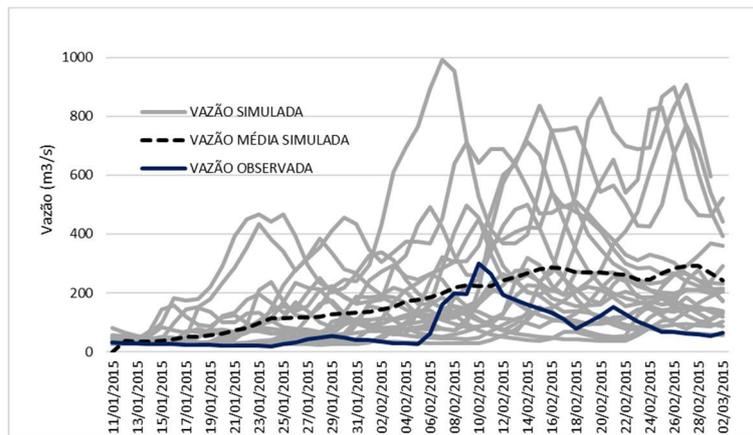


Figura 6: Pluma dos dados de vazão previstos e observado na sub-bacia 42290000. Previsão realizada entre os dias 11/01 a 02/03 de 2015 – 20 membros.

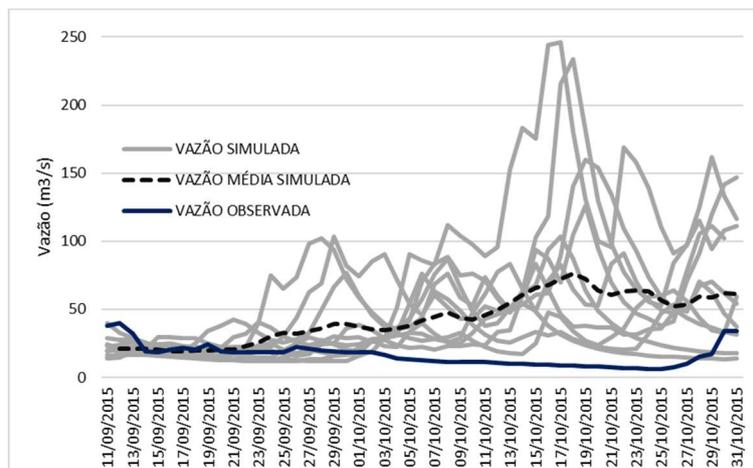


Figura 7: Pluma dos dados de vazão previstos e observado na sub-bacia 42290000. Previsão realizada entre os dias 11/09 a 31/10 de 2015 – 20 membros.

Previsão hidrológica: Método determinístico vs Método probabilístico

Foram geradas as previsões de vazão pelo método determinístico e probabilístico para fins de comparação. Para a realização da análise de comparação, os dados da previsão foram tratados, foram criadas as tabelas de contingência e em seguida foram calculados os indicadores de desempenho BS (erro médio quadrático) e BSS (desempenho médio de uma previsão comparado com outra), conforme citado na metodologia. Os valores de BS padrão correspondem à previsão probabilística e os valores do BS referência correspondem à previsão determinística, de acordo com as tabelas 5 e 6.

Tabela 5: Valores do indicador BS padrão (Previsão probabilística).

BS PADRÃO (Previsão probabilística)							
2015-2019	42290000	42365000	42460000	42490000	42690001	42850000	42980000
JAN	0.14	0.03	0.46	0.17	0.03	0.18	0.14
FEV	0.26	0.22	0.79	0.62	0.34	0.67	0.35
JAN/FEV	0.20	0.11	0.80	0.55	0.24	0.62	0.23
ABR	0.08	0.01	0.62	0.19	0.05	0.04	0.06
MAI	0.61	0.61	1.00	1.00	0.94	0.80	0.94
ABR/MAI	0.40	0.46	1.00	0.80	0.41	0.74	0.41
SET	0.91	1.00	1.00	0.80	1.00	1.00	1.00

OUT	0.87	1.00	1.00	0.60	1.00	1.00	1.00
SET/OUT	0.94	0.94	1.00	0.74	1.00	1.00	1.00

Tabela 6: Valores do indicador BS referência (Previsão determinística).

BS REFERÊNCIA (Previsão determinística)							
2015-2019	42290000	42365000	42460000	42490000	42690001	42850000	42980000
JAN	0.20	0.00	0.60	0.40	0.00	0.20	0.40
FEV	0.60	0.80	1.00	1.00	0.60	0.80	0.60
JAN/FEV	0.20	0.40	1.00	1.00	0.40	0.80	0.40
ABR	0.20	0.00	0.60	0.40	0.00	0.00	0.00
MAI	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	0.80	1.00
ABR/MAI	0.00	0.60	1.00	0.80	0.40	0.80	0.40
SET	0.00	0.60	1.00	0.80	0.40	0.80	0.40
OUT	1.00	1.00	1.00	0.80	1.00	1.00	1.00
SET/OUT	1.00	1.00	1.00	0.60	1.00	1.00	1.00

Os valores de BS (erro médio quadrático) variam de 0 a 1, sendo 0 para valores satisfatórios e 1 para valores insatisfatórios. Observando os meses do ano, nota-se valores parcialmente satisfatórios para os primeiros meses (janeiro, fevereiro e abril) e valores parcialmente insatisfatórios para os outros meses (maio, setembro e outubro). Isso pode ser explicado pelo início tardio da estação chuvosa, que normalmente é prevista para setembro e acabou ocorrendo um pouco depois. Sendo assim, o modelo superestimou a vazão prevista para os últimos meses do ano para todas as sub-bacias.

Se tratando de uma análise que leva em conta as sub-bacias hidrográficas, nota-se valores satisfatórios para a maioria delas, exceto para as sub-bacias 42460000, 42490000 e 42690001. A sub-bacia 42460000 sofre forte influência do reservatório da Usina Hidrelétrica de Queimados, o qual mantém o nível de vazão controlado e prejudica a variação natural de vazão ao longo dos meses do ano, afetando então na previsibilidade do modelo hidrológico. A sub-bacia 42490000 sobre influência da sub-bacia 42460000, que por sua vez também tem a previsibilidade afetada. Já a sub-bacia 42850000 apresenta um formato mais alongado, podendo sofrer maiores interferências associadas aos erros de precipitação.

É importante destacar que faltam dados observados em todas as bacias em pelo menos um período, principalmente nas bacias 42365000, 42460000 e 42980000 que foram as mais afetadas durante o período de previsão. Para comparar o desempenho médio da previsão probabilística com a previsão determinística, calculou-se o BSS e o resultado se encontra na tabela 7.

Tabela 7: Valores do indicador BSS (Previsão Probabilística vs Previsão determinística).

BSS (Previsão probabilística vs Previsão determinística)							
2015-2019	42290000	42365000	42460000	42490000	42690001	42850000	42980000
JAN	+0.30	-	+0.23	+0.58	-	+0.12	+0.66
FEV	+0.57	+0.73	+0.21	+0.38	+0.43	+0.16	+0.42
JAN/FEV	0.00	+0.72	+0.20	+0.45	+0.40	+0.22	+0.42
ABR	0.00	0.00	-0.04	+0.53	0.00	0.00	0.00
MAI	+0.24	+0.39	0.00	0.00	+0.06	0.00	+0.06
ABR/MAI	0.00	+0.24	0.00	0.00	-0.01	+0.07	-0.02
SET	+0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
OUT	+0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SET/OUT	+0.06	-0.18	0.00	+0.07	0.00	0.00	0.00

No presente estudo, a previsão probabilística se mostrou superior à previsão determinística (valores positivos "+" em verde), em raras situações acontece o oposto (valores negativos "-" em vermelho) e em

alguns casos as previsões se equivalem (valores nulos “0”).

Esse resultado pode ser explicado pelo fato de que a previsão probabilística permite a visualização do cenário mais provável dentre as previsões realizadas e tem a vantagem de possibilitar a identificação de eventos raros e extremos de cheia a partir da avaliação individual dos membros gerados na previsão, também beneficia os sistemas de previsão operacionais, aumentando a credibilidade devido a diminuição da emissão de falsos alarmes (DALE et al., 2014; RAMOS et al., 2013).

Análise de desempenho da previsão categórica

Com a intenção de realizar uma análise de desempenho da previsão probabilística, calculou-se os indicadores: Taxa de Acerto (Hit Rate – H), Probabilidade de Detecção (*Probability of Detection* – POD), Razão de Alarme Falso (*False Alarm Ratio* – FAR) e BIAS, conforme citado anteriormente. Primeiramente foram calculados os valores para todo o período de previsão (60 dias) para início em janeiro, maio e setembro. Os resultados se encontram na figura 8.

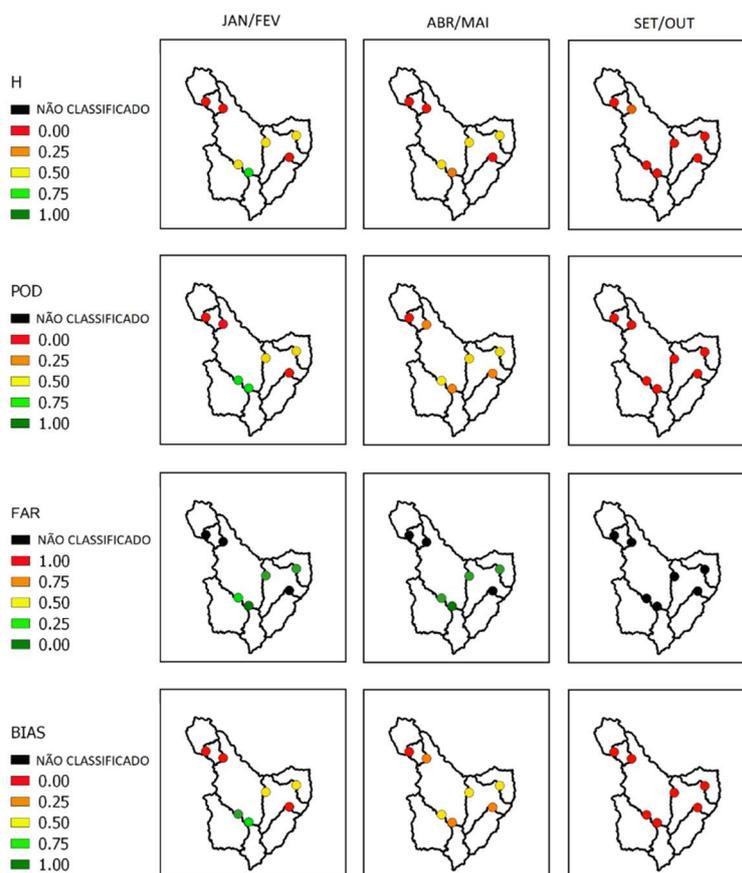


Figura 8: Resultado dos indicadores H, POD, FAR e BIAS da previsão probabilística de 60 dias.

De acordo com os resultados de H, obteve-se uma boa taxa de acerto apenas para o período de janeiro/fevereiro na sub-bacia 42365000; taxa de acerto regular para o período de janeiro/fevereiro e abril/maio nas sub-bacias 42290000, 42690001 e 42980000; taxa de acerto quase regular para o período de abril/maio sub-bacia 42365000 e para o período setembro/outubro na sub-bacia 42490000; taxa de acerto ruim para o período janeiro/fevereiro nas sub-bacias 42460000, 42490000 e 42850000, para o período

abril/maio nas sub-bacias 42460000, 42490000 e 42850000 e para o período setembro/outubro em todas as sub-bacias, exceto para a 42490000.

Seguindo os resultados de POD, obteve-se uma boa probabilidade de detecção para o período de janeiro/fevereiro nas sub-bacias 42290000 e 42365000; probabilidade de detecção regular para o período de janeiro/fevereiro nas sub-bacias 42690001 e 42980000 e para o período abril/maio nas sub-bacias 42290000, 42850000 e 42980000; probabilidade de detecção quase regular para o período de abril/maio nas sub-bacias 42365000, 42490000 e 42850000; probabilidade de detecção ruim para o período de janeiro/fevereiro nas sub-bacias 42460000, 42490000 e 42850000 para o período de abril/maio na sub-bacia 42460000 e para o período de setembro/outubro em todas as sub-bacias.

Para o indicador de FAR, obteve-se uma ótima razão de falso alarme para o período de janeiro/fevereiro nas sub-bacias 42365000, 42490000 e 42980000 e para o período de abril/maio nas sub-bacias 42290000, 42365000, 42690001 e 42980000; boa razão de falso alarme para o período de janeiro/fevereiro na sub-bacia 42290000; razão de falso alarme não classificado para o período de janeiro/fevereiro e abril/maio nas sub-bacias 42460000, 42490000 e 42850000 e para o período de setembro/outubro em todas as sub-bacias.

Por fim, para o BIAS, obteve-se um ótimo resultado para o período de janeiro/fevereiro na sub-bacia 42290000; bom resultado para o período de janeiro/fevereiro na sub-bacia 42365000; um resultado regular para o período de janeiro/fevereiro nas sub-bacias 42690001 e 42980000 e para o período de abril/maio nas sub-bacias 42290000, 42690001 e 42980000; um resultado quase regular para o período de abril/maio nas sub-bacias 42365000, 42490000 e 42850000; e um resultado ruim para o período de janeiro/fevereiro nas sub-bacias 42460000, 42490000 e 42850000, para o período de abril/maio na sub-bacia 42460000, para o período de setembro/outubro em todas as sub-bacias.

De modo geral, o modelo apresentou resultados mais satisfatórios nas sub-bacias 42290000 e 423650000 em relação às outras, exceto para o último período de previsão (setembro/outubro) no qual o modelo performou insatisfatoriamente em todas as bacias. Os bons resultados podem estar associados ao tamanho e formato das sub-bacias, que são relativamente pequenas, também pelo fato de não receberem contribuições de bacias a montante e por apresentarem dados de vazão consistentes. O modelo apresentou resultados menos satisfatórios nas sub-bacias 42460000, 42490000 e 42850000 em relação às outras sub-bacias. Os resultados ruins podem estar associados a presença do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Queimados, localizado na sub-bacia 42460000, que por sua vez contribui com a vazão das bacias a jusante, principalmente para a sub-bacia 42490000. Já a sub-bacia 42850000 apresenta um formato mais alongado, podendo sofrer grandes interferências associadas aos erros de precipitação, conforme citado anteriormente.

Após a verificação dos resultados apresentados na figura 8, realizou-se a estratificação do período de previsão para os primeiros 30 dias (janeiro, abril e setembro) e para os últimos 30 dias (fevereiro, maio e outubro), a fim de verificar a influência de ambos os períodos no resultado geral da previsão de 60 dias. Os indicadores foram então novamente calculados e dispostos nas figuras 9 e 10.



Figura 9: Resultado dos indicadores H, POD, FAR e BIAS da previsão dos primeiros 30 dias.

De acordo com os resultados de H, obteve-se uma ótima taxa de acerto para o período de janeiro nas sub-bacias 42365000 e 42690001 e para o período de abril nas sub-bacias 42365000 e 42850000; uma boa taxa de acerto para o período de janeiro nas sub-bacias 42290000, 42850000 e 42980000 e para o período de abril nas sub-bacias 42290000, 42690001 e 42980000; taxa de acerto quase regular para o período de janeiro e abril na sub-bacia 42460000 e para o período de setembro na sub-bacia 42490000; taxa de acerto ruim para o período de setembro em todas as sub-bacias, exceto para a 42490000.

Segundo os resultados de POD, obteve-se uma ótima probabilidade de detecção para o período de janeiro nas sub-bacias 42290000, 42365000, 42690001 e 42980000 e para o período de abril nas sub-bacias 42365000 e 42850000; uma boa probabilidade de detecção para o período de janeiro na sub-bacia 42850000 e para o período de abril nas sub-bacias 42290000, 42690001 e 42980000; probabilidade de detecção regular para o período de janeiro na sub-bacia 42490000 e para o período abril nas sub-bacias 42460000 e 42490000; probabilidade de detecção ruim para o período de janeiro na sub-bacia 42460000 e para o período de setembro em todas as sub-bacias.

Para o indicador FAR, obteve-se uma ótima razão de falso alarme para o período de janeiro em todas as sub-bacias, exceto para a 42290000 e 42980000 e para o período de abril em todas as sub-bacias; razão de falso alarme não classificado para o período setembro em todas as sub-bacias.

Por fim, para o BIAS, obteve-se um ótimo resultado para o período de janeiro nas sub-bacias 42290000, 42365000, 42690001 e 42980000 e para o período de abril nas sub-bacias 42365000 e 42850000; bom resultado para o período de janeiro na sub-bacia 42850000 e para o período de abril nas sub-bacias

42290000, 42690001 e 42980000; um resultado regular para o período de janeiro e abril nas sub-bacias 42460000; um resultado quase regular para o período de abril na sub-bacia 42460000; e um resultado ruim para o período de janeiro na sub-bacia 42460000 e para o período de setembro em todas as sub-bacias.

É possível verificar que a previsão hidrológica, como qualquer outro tipo de previsão, apresenta previsões mais 'acertadas' ao longo dos primeiros dias que antecedem o evento. Ao longo dos dias subsequentes, as incertezas são acumuladas, comprometendo o resultado das previsões a médio e longo prazo.

Nos primeiros 30 dias de previsão os resultados se apresentaram melhores para todas as sub-bacias e para todos os períodos, exceto para o período de setembro, o que já era esperado. Nota-se, novamente, a influência negativa do Reservatório de Queimados nas previsões das sub-bacias 42460000 e 42490000.

Na figura 10, os resultados dos indicadores da previsão dos últimos 30 dias.

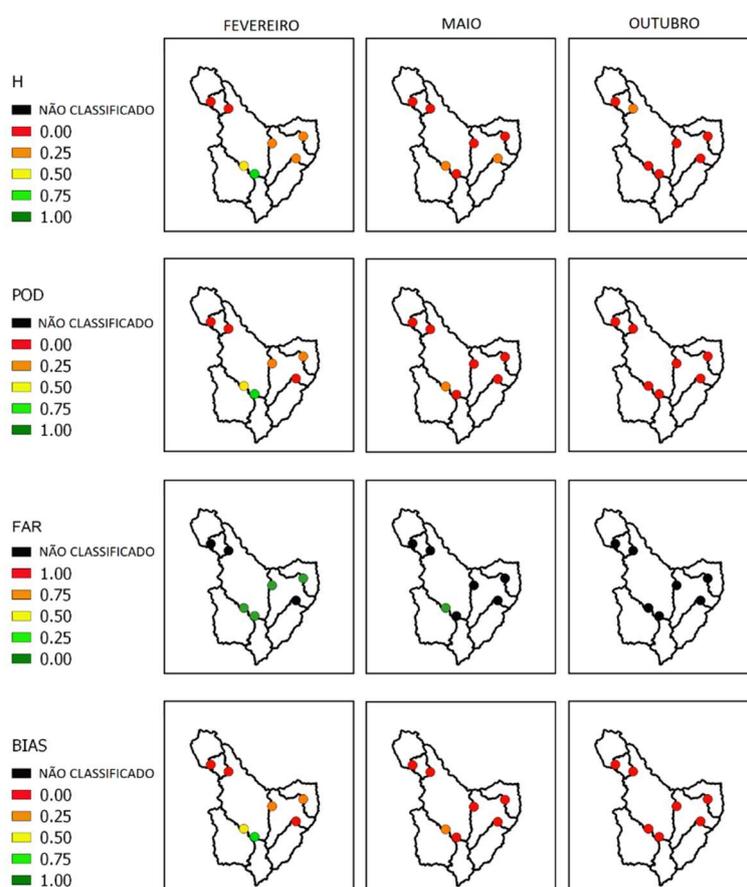


Figura 10: Resultado dos indicadores H, POD, FAR e BIAS da previsão dos últimos 30 dias.

Se tratando mais uma vez dos resultados de H, obteve-se uma boa taxa de acerto apenas para o período de fevereiro na sub-bacia 42365000; taxa de acerto regular para o período de fevereiro na sub-bacia 42290000; taxa de acerto quase regular para o período de fevereiro nas sub-bacias 42690001, 42850000, 42980000, para o período de maio nas sub-bacias 42290000 e 42850000 e para o período de outubro na sub-bacia 42490000; taxa de acerto ruim para o período de fevereiro nas sub-bacias 42460000 e 42490000, para o período de maio em todas as sub-bacias, exceto para a 42290000 e 42850000 e para o período outubro em todas as sub-bacias, exceto para a 42490000.

Para o indicador de POD, obteve-se uma boa probabilidade de detecção apenas para o período de

fevereiro na sub-bacia 42365000; probabilidade de detecção regular para o período de fevereiro nas sub-bacias 42690001 e 42980000 e para o período maio na sub-bacia 42290000; probabilidade de detecção quase regular para o período de fevereiro nas sub-bacias 42690001 e 42980000, e para o período de maio na sub-bacia 42290000; probabilidade de detecção ruim para o período de fevereiro nas sub-bacias 42460000, 42490000 e 42850000, para o período de maio em todas as sub-bacias, exceto para a 42290000 e para o período de outubro em todas as sub-bacias. Seguindo pelos resultados de FAR, obteve-se uma ótima razão de falso alarme para o período de fevereiro nas sub-bacias 42290000, 42365000, 42690001 e 42980000 e para o período de maio na sub-bacias 42290000; razão de falso alarme não classificado para o período de fevereiro nas sub-bacias 42460000, 42490000 e 42850000, para o período de maio em todas as sub-bacia, exceto para a 42290000 e para o período de outubro em todas as sub-bacias.

Por fim, para o BIAS, obteve-se um bom resultado para o período de fevereiro na sub-bacia 42365000; um resultado regular para o período de fevereiro na sub-bacia; um resultado quase regular para o período de fevereiro nas sub-bacias 42850000 e 42980000, e para o período de maio na sub-bacia 42290000; um resultado ruim para o período de fevereiro nas sub-bacias 42460000, 42490000 e 42850000, para o período de maio em todas as sub-bacias, exceto para a 42290000 e para o período de outubro em todas as sub-bacias. Como era de se esperar, os resultados dos indicadores da previsão para os 30 últimos dias contribuíram para que os resultados do período total de 60 dias fossem piores. É muito perceptível a contribuição negativa do período final de 30 dias nas previsões.

Ainda, vale destacar que o número de previsões é considerado baixo, pois o período avaliado foi apenas entre 2015 e 2019, ou seja, 5 anos de previsões. Esse período limitado influência nos resultados e à medida em que se aumenta o histórico de previsões, os resultados dos indicadores se tornarão mais representativos. Por fim, outro fator que pode contribuir consideravelmente para os resultados da previsão de vazão são os resultados da previsão de precipitação, que é o principal dado de entrada inserido no modelo hidrológico.

CONCLUSÕES

A previsão de variáveis hidrológicas, como a precipitação e a vazão em recursos hídricos, feita em prazo de antecedência subsazonal, possui valor e utilidade em diversas aplicações, apesar das incertezas associadas a este horizonte. Ainda, nota-se que o benefício potencial destas previsões está vinculado ao uso final, isto é, deve-se adequar o produto (previsão) à aplicação desejada.

No presente trabalho foi analisada a previsibilidade de vazão por conjunto na bacia do rio Paracatu para o horizonte subsazonal, a partir do modelo MGB-IPH, alimentado pelas previsões de precipitação do modelo Eta. Os resultados da calibração do modelo hidrológico foram considerados satisfatórios, baseando-se nos indicadores Nash, Nash-Log, Erro de Volume, Bias e gráficos de dispersão. Os resultados da previsão probabilística se mostraram melhores quando comparados com os resultados da previsão determinística, avaliados pelos indicadores BS e BSS. Através dos indicadores H, POD, FAR e BIAS, os resultados da previsão probabilística se mostraram satisfatórios para a maioria das sub-bacias, porém limitados aos primeiros meses

de previsão (janeiro, fevereiro e abril) e com maior eficiência nos primeiros 20-30 dias de previsão. Entretanto, os resultados foram insatisfatórios e as vazões foram superestimadas para algumas sub-bacias, por exemplo a 42460000 e 42490000, (que sofrem interferência da UHE de Queimados) principalmente nos últimos meses do ano (setembro, outubro) e nos últimos 30-40 dias de previsão.

Os principais fatores que podem ter comprometido os resultados da previsão probabilística de vazão foram a falha na cobertura de dados, tanto em dimensão espacial quanto temporal; a qualidade dos resultados da previsão de precipitação; o curto período de previsões (2015-2019), que podem deixar os resultados dos indicadores pouco representativos; e por fim o atraso do período chuvoso e fenômeno de estiagem (2014-2015).

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) e a Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA) pelo financiamento do projeto “Incorporação de previsões climáticas e hidrológicas na gestão da alocação de água no Rio São Francisco” no âmbito do edital Capes/ANA nº 16/2017 - Pró-Recursos Hídricos.

Esse estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- ADAM, K. N.; FAN, F. M.; PONTES, P. R.; BRAVO, J. M.; COLLISCHONN, W.. Climate Change and Extreme Streamflows in Paraná River Basin. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.20, n.4, p.999-1007, 2015. DOI: <http://doi.org/10.21168/rbrh.v20n4.p999-1007>
- BOUCHER, M. A.; TREMBLAY, D.; DELORME, L.; PERREAULT, L.; ANCTIL, F.. Hydroeconomic assessment of hydrological forecasting systems. **Journal of Hydrology**, v.416, p.133-144, 2012. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11269-016-1377-8>
- BRUNET, G. M.; SHAPIRO, D.; HOSKINS, M.; MONCRIEFF, R.; DOLE, G. N.; KILADIS, B.; KIRTMAN, A.; LORENC, B.; MILLS, R.; MORSS, S.; POLAVARAPU, D.; ROGERS, J. SCHAAKE, J. SHUKLA.. Collaboration of the weather and climate communities to advance subseasonal to seasonal prediction. **Bulletin of the American Meteorological Society**, p.1397-1406, 2010. DOI: <http://doi.org/10.1175/2010BAMS3013.1>
- CHOU, S. C.; LYRA, A.; MOURÃO, C.; DERECZYNSKI, C.; PILOTTO, I.; GOMES, J.; BUSTAMANTE, J.; TAVARES, P.; SILVA, A.; RODRIGUES, D.; CAMPOS, D.; CHAGAS, D.; SUEIRO, G.; SIQUEIRA, G.; NOBRE, P.; MARENGO, J.. Evaluation of the Eta simulations nested in three Global Climate Models. **American Journal of Climate Change**, Wuhan, v.3, n.5, p.438-454, 2014. DOI: <http://doi.org/10.4236/ajcc.2014.35039>
- CHOU, S. C.; NUNES, A. M. B.; CAVALCANTI, I. F. A.. Extended range forecasts over South America using the regional ETA model. **Journal of Geophysics Research**, v.105, n.8, p.10147-10160, 2000. DOI: <http://doi.org/10.1029/1999JD901137>
- COLLISCHONN, W.; ALLASIA, D.; SILVA, B. C. S.; TUCCI, C. E. M.. The MGB-IPH model for large-scale rainfall-runoff modelling. **Hydrological Sciences Journal**, v.52, n.5, p.878-895, 2007. DOI: <http://doi.org/10.1623/hysj.52.5.878>
- COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M.. Simulação hidrológica de grandes bacias. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.6, n.1, p.95-118, 2001. DOI: <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v6n1.p95-118>
- DALE, M.; WICKS, J.; MYLNE, K.; PAPPENBERGER, F.; LAEGER, S.; TAYLOR, S.. Previsão de inundações probabilísticas e tomada de decisões: uma abordagem inovadora baseada em riscos. **Nat Hazards**, v.70, p.159-172, 2014. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11069-012-0483-z>
- DIETRICH, J.; SCHUMANN, A. H.; REDEZKY, M.; WALTHER, J.; DENHARD, M.; WANG, Y.; PFUTZNER, B.; BUTTNER, U.. Assessing uncertainties in flood forecasts for decision making: prototype of an operational flood management system integrating ensemble predictions. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v.9, p.1529-1540, 2009. DOI: <http://doi.org/10.5194/nhess-9-1529-2009>
- FAN, F. M.; COLLISCHONN, W.; MELLER, A.; BOTELHO, L. C.. Ensemble streamflow forecasting experiments in a tropical basin: The São Francisco river case study. **Journal of Hydrology**, v.519, p.2906-2919, 2014. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.04.038>
- FAN, F. M.; SCHWANENBERG, D.; ALVARADO, R.; REIS, A. A.; COLLISCHONN, W.; NAUMANN, S.. Performance of Deterministic and Probabilistic Hydrological Forecasts for the Short-Term Optimization of a Tropical Hydropower Reservoir. **Water Resources Management**, p.1-17, 2016. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11269-016-1377-8>

GOLDING, B. W.. Long lead time flood warnings: reality or fantasy? **Meteorological Applications**, v.16, p.3-12, 2009.

DOI: <http://doi.org/10.1002/met.123>

HOSKINS, B.. The potential for skill across the range of the seamless weather-climate prediction problem: a stimulus for our science. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.138, n.672, p.573-584, 2012. DOI: <http://doi.org/10.1002/qj.1991>

IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paracatu - PDRHBRP**: Resumo executivo, Comitê da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Paracatu. Belo Horizonte: IGAM, 2006.

KALNAY, E.. **Atmospheric Modeling, Data Assimilation and Predictability**. Cambridge University Press, 2003.

KRAUSE, P.; BOYLE, D. P.; BASE, F.. Comparison of different efficiency criteria for hydrological assessment. **Advances in Geoscience**, v.5, p.89-97, 2005. DOI: <http://doi.org/10.5194/adgeo-5-89-2005>

KRZYSZTOFOWICZ, R.. The case for probabilistic forecasting in hydrology. **Journal of Hydrology**, v.249, n.1-4, p.2-9, 2001. DOI: [http://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00420-6](http://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00420-6)

LOHMANN, D.; RASCHKE, E.; NIJSSEN, B.; LETTENMAIER, D. P.. Regional scale Hydrology: Formulation of the VIC-2L model coupled to a routing model. **Hydrological Sciences Journal**, v.43, n.1, p.131-141, 1998. DOI: <http://doi.org/10.1080/02626669809492107>

MELLER, A.; BRAVO, J. M.; COLLISCHONN, W.. Assimilação de dados de vazão na previsão de cheias em tempo-real com o modelo hidrológico MGB-IPH. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.17, n.3, p.209-224, 2012. DOI: <http://doi.org/10.21168/rbrh.v17n3.p209-224>

MILLER, H. M.. **Users and uses of Landsat 8 satellite imagery – 2014 survey results**: U. S. Geological Survey Open-File Report 2016 – 1032. 2016. DOI: <http://doi.org/10.3133/ofr20161032>

NASEM. The National Academies of Sciences, E. A. **Next Generation Earth System Prediction: Strategies for Subseasonal to Seasonal forecasts**. Washington: The National Academy Press, 2016. DOI: <http://doi.org/10.17226/21873>

NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V.. River flow forecasting through conceptual models part I – A discussion of principles. **Journal**

of Hydrology, v.10, n.3, p.282-290, 1970. DOI:

[http://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](http://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6)

PAGANO, T. C.; WOOD, A. W.; RAMOS, M.-H.; CLOKE, H. L.; PAPPENBERGER, F.; CLARK, M. P.; CRANSTON, M.; KAVETSKI, D.; MATHEVET, T.; SOROOSHIAN, S.; VERKADE, J. S.. Challenges of Operational River Forecasting. **Journal of Hydrometeorology**, v.15, n.4, p.1692-1707, 2014. DOI: <http://doi.org/10.1175/JHM-D-13-0188.1>

QUEDI, E. S.; FAN, F. M.. Subseasonal streamflow forecast assessment at large-scale basins. **Journal of Hydrology**, v.584, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124635>

RAMOS, M. H.; VAN ANDEL, S. J.; PAPPENBERGER, F.. Do probabilistic forecasts lead to better decisions? **Hydrologic Earth System Science**, v.9, n.17, p.2219-2232, 2013. DOI: <http://doi.org/10.5194/hess-17-2219-2013>

SCHUSTER, R. C.; FAN, F. M.; COLLISCHONN, W.. Scenarios of climate change effects in water availability within the Patos Lagoon's Basin. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.25, e9, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1590/2318-0331.252020190061>

SHUTTLEWORTH, W. J.. The role of hydrology in global science. In: KIENITZ, G.; MILLY, P. C. D.; VAN GENUCHTEN, M. T. H.; ROSBJERG, D.; SHUTTLEWORTH, W. J.. **Hydrological interactions between atmosphere, soil and vegetation**. IAHS Publication, 1991. p.361-375.

VERKADE, J. S.; WERNER, M. G. F.. Estimating the benefits of single value and probability forecasting for flood warning. **Hydrology Earth System Science**, v.15, p.3751-3765, 2011. DOI: <http://doi.org/10.5194/hess-15-3751-2011>

WETTERHALL, F.; GIUSEPPE, F. D.. The benefit of seamless forecasts for hydrological predictions over Europe. **Hydrology and Earth System Sciences**, p.3409–3420, 2018. DOI: <http://doi.org/10.5194/hess-22-3409-2018>

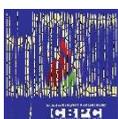
WILKS, D.. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences**. London: Elsevier, 2006.

WMO. World Meteorological Organization. **WWRP/WCRP Sub-seasonal to Seasonal Prediction Project (S2S) Phase II Proposal (Nov 2018 – Dec 2023)**. WMO, 2018.

YUAN, X.; WOOD, E. F.; MA, Z.. A review on climate-model-based seasonal hydrologic forecasting: physical understanding and system development. **WIRES Water**, p.523-536, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1002/wat2.1088>

Os autores detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas ou digitais sob coordenação da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.

Todas as obras (artigos) publicadas serão tokenizadas, ou seja, terão um NFT equivalente armazenado e comercializado livremente na rede OpenSea (https://opensea.io/HUB_CBPC), onde a CBPC irá operacionalizar a transferência dos direitos materiais das publicações para os próprios autores ou quaisquer interessados em adquiri-los e fazer o uso que lhe for de interesse.



Os direitos comerciais deste artigo podem ser adquiridos pelos autores ou quaisquer interessados através da aquisição, para posterior comercialização ou guarda, do NFT (Non-Fungible Token) equivalente através do seguinte link na OpenSea (Ethereum).

The commercial rights of this article can be acquired by the authors or any interested parties through the acquisition, for later commercialization or storage, of the equivalent NFT (Non-Fungible Token) through the following link on OpenSea (Ethereum).



<https://opensea.io/assets/ethereum/0x495f947276749c6e646f68ac8c248420045cb7b5e/44951876800440915849902480545070078646674086961356520679561157633979011039233/>