

# REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:  
Investigación, desarrollo y práctica.

## IDENTIFICAÇÃO DO INTERVALO DE TEMPO DE MÁXIMA PREVISIBILIDADE DE AFLUÊNCIAS DE UM RESERVATÓRIO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

\*Samuellson Lopes Cabral<sup>1</sup>  
José Nilson Bezerra Campos<sup>2</sup>  
Cleiton da Silva Silveira<sup>3</sup>

## IDENTIFICATION OF TIME INTERVAL OF MAXIMUM PREDICTABILITY OF AFFLUENCE OF A RESERVOIR IN THE BRAZILIAN SEMIARID

Recibido el 3 de marzo de 2016; Aceptado el 23 de marzo de 2017

### Abstract

The aim of this study seek the Time Interval of Maximum Predictability (TIMP) of affluence in reservoir over the semi-arid region of Brazil. Precipitation data were used from the ECHAM 4.5 global and the RAMS 6.0 regional models for the hydrographic basin of the Alto Jaguaribe in Ceará State. The results of the ensemble members of atmospheric models have been corrected by the Probability Density Function (PDF) method and then inserted into the hydrological model Soil Moisture Account (SMA) of the Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System (HEC-HMS), for simulation and analysis of affluences. To determine the TIMP were used the Heidke Skill Score (HSS) and Nash-Sutcliffe (NS) index to analyze the modeled and observed datas. The results show that the coupling of climate and hydrological models has a deficiency in affluence forecast for the first two months of the year with  $TIMP \leq 60$  days ( $HSS < 0.1$  and  $NS < 0.03$ ) and improved performance from March with  $TIMP \geq 60$  days ( $HSS > 0.45$  and  $NS > 0.75$ ).

**Key Words:** Soil Moisture Account, flow forecast, reservoir management.

<sup>1</sup> Centro de Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN, São José dos Campos, São Paulo, Brasil.

<sup>2</sup> Universidade Federal do Ceará – UFC, Fortaleza, Ceará, Brasil.

<sup>3</sup> Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira – UNILAB, Redenção, Ceará, Brasil.

\* Autor correspondente: Centro de Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - CEMADEN, Estrada Doutor Altino Bondesan, 500 - Distrito de Eugênio de Melo, CEP: 12247-016, São José dos Campos, São Paulo, Brasil.

Email: [samuellson.cabral@cemaden.gov.br](mailto:samuellson.cabral@cemaden.gov.br)

## Resumo

O objetivo deste trabalho busca o Intervalo de Tempo de Máxima Previsibilidade (ITEMP) de afluência em um reservatório na região do semiárido do Brasil. Foram utilizados dados de precipitação dos modelos global ECHAM 4.5 e regional RAMS 6.0 para a bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe, no Estado do Ceará. Os resultados dos conjuntos dos membros dos modelos atmosféricos foram corrigidos através da função densidade de probabilidade e em seguida inseridos no modelo hidrológico Soil Moisture Account (SMA) do Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System (HEC-HMS), para a simulação e análise das afluências. Para a determinação do ITEMP foram utilizados os índices Heidke Skill Score (HSS) e Nash-Sutcliffe (NS) para analisar os dados simulados e observados. Os resultados demonstram que o acoplamento dos modelos climáticos e hidrológico apresenta deficiência na previsão das afluências para os primeiros dois meses do ano com  $ITEMP \leq 60$  dias ( $HSS < 0.1$  e  $NS < 0.03$ ) e melhor desempenho a partir do mês de março com  $ITEMP \geq 60$  dias ( $HSS > 0.45$  e  $NS > 0.75$ ).

**Palavras chave:** Soil Moisture Account, previsão de vazões, gestão de reservatório

---

## Introdução

Regiões semiáridas, como o Nordeste do Brasil, são particularmente vulneráveis a flutuações do clima e seus impactos nos suprimentos de água. Modelos de previsão de vazões em rios para horizonte de alguns meses ou ano tornam-se muito atraentes com vistas à operação mais eficiente dos suprimentos de água e o processo de alocação de água entre usos e usuários conflitantes (Souza Filho e Lall, 2004).

Problemas como a prevenção e o controle de cheias, a operação de reservatórios e o planejamento do uso dos recursos hídricos estão diretamente associados ao processo de previsão de vazões, que apresentam incertezas decorrentes, essencialmente, da modelagem do processo e das condições iniciais assumidas (Georgakakos *et al.*, 2004; Doblaz-reyes *et al.*, 2005).

Métodos dinâmicos e estatísticos servem para desenvolver previsões de vazão de longo alcance que poderiam ser usadas para alocação e operação dos recursos hídricos para as demandas existentes. Alguns trabalhos foram realizados com sucesso em regiões semiárida do Nordeste do Brasil e Amazônia, usando condições iniciais e de contorno climáticas na previsão de vazões, demonstrando que a previsão sazonal é significativa quando informações climáticas são fornecidas (Moura e Shukla, 1981; Souza Filho *et al.*, 2003; Uvo *et al.*, 2000; Block *et al.*, 2008 e 2009).

A abordagem dinâmica utiliza modelos de circulação geral (MCG) acoplado oceano atmosfera para o desenvolvimento das previsões, seguido de downscaling (redução de escala) usando modelos climáticos regionais (MCR) ou abordagens estatísticas, seguido por modelos de chuva-vazão concentrados ou distribuídos.

Em uma análise da habilidade da previsão climática global dos principais modelos de circulação global do oceano e atmosfera para precipitação sazonal, Rajagopalan *et al.*, (2008) destacam que o Nordeste do Brasil é uma das poucas regiões do mundo onde há habilidade consistente e estatisticamente significativa durante a estação chuvosa primária (Janeiro–Maio).

Sun *et al.*, (2005), desenvolveram um sistema de previsão que utiliza downscaling dinâmico para o Nordeste do Brasil e têm gerado previsões de chuvas sazonais desde Dezembro de 2001. O ECHAM 4.5 Modelo de Circulação Geral da Atmosfera e o Modelo Espectral Regional (Regional Spectral Model – RSM/NCEP) constituem o núcleo desse sistema de previsão. Este é um sistema de previsão de duas camadas. Previsões da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) são produzidos primeiro, servindo então como condição de contorno forçando o limite inferior para o sistema aninhado ECHAM4.5 – NCEP RSM. Sun *et al.*, 2005, realizaram experiências com o modelo Regional Atmospheric Modeling System (RAMS; Pielke *et al.*, 1992; Cotton *et al.*, 2003) para a região Nordeste do Brasil com intuito de melhorar a previsão de seu sistema e aumentar a resolução espacial da informação gerada.

No Nordeste, as previsões sazonais de precipitações são feitas, inicialmente, na escala de tempo diária. Como nesta escala, os modelos apresentam baixa previsibilidade (*skill*), as precipitações são agrupadas em intervalos maiores como, meses ou anos. Para a previsão hidrológica, a prática é utilizar a escala de tempo mensal e/ou anual.

Com o intuito de testar um novo modelo na prática de acoplamentos de modelos atmosféricos, a modelos hidrológicos aplicados a operação de reservatórios, utiliza-se o modelo precipitação x deflúvio *Soil Moisture Account* -SMA. O SMA é uma ferramenta do programa HEC-HMS. O SMA tem sido utilizado com sucesso por vários autores em várias partes do mundo (Bennett e Peters, 2000; García *et al.*, 2008; Chu e Steinman, 2009; Bashar, 2012; Golian *et al.*, 2012; Koch e Bene, 2013; Gyawali e Watkins, 2013). Todavia, para o Semiárido brasileiro, foram encontradas poucas pesquisas com aplicação do SMA em previsões hidrológicas.

A busca pelo ITEMP se dá principalmente pela necessidade das ações de gerenciamento do sistema hídrico, serem tomadas no começo do primeiro semestre, no planejamento da quadra chuvosa no Ceará, principalmente para mitigar eventos extremos, como as secas e as cheias, que tanto afetam a região do estudo.

Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo estimar o ITEMP das afluências em um reservatório localizado no semiárido brasileiro, utilizando modelagem hidrológica forçada pelo modelo climático global (ECHAM 4.5) e regional (RAMS 6.0) em um horizonte de até 180 dias (seis meses). A metodologia desenvolvida aqui pode ser uma ferramenta importante para avaliar os riscos associados com a variabilidade do clima sazonal e para a construção de estratégias de adaptação sazonal para gestão de riscos hidroclimáticos.

## Metodologia

### Região de Estudo

Localizada no sudoeste do estado do Ceará, a bacia do alto Jaguaribe (Figura 1) tem uma área de aproximadamente 24.538 km<sup>2</sup>. O rio Jaguaribe com 633 km de comprimento, percorre cerca de 325 km até o açude Orós. As precipitações médias anuais variam entre 500 mm a 700 mm, com acentuada irregularidade no tempo e no espaço. As vazões médias anuais no rio Jaguaribe são de 24.45 m<sup>3</sup>/s, porém em alguns períodos do ano a vazão é praticamente nula.

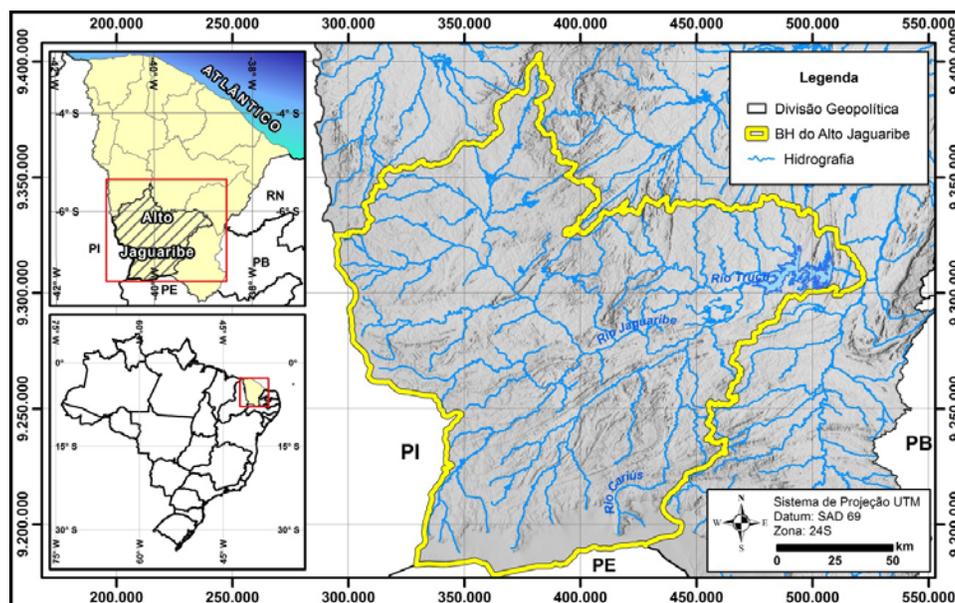


Figura 1. Localização da área de estudo. Fonte: Cabral 2014.

O principal sistema meteorológico na área da bacia é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), com maior intensidade nos meses de março e abril. Na denominada pré-estação, de dezembro a fevereiro, a bacia recebe precipitações, decorrentes da influência das frentes frias, que se localizam no setor centro-norte do Nordeste, e dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs). De maio a junho, as precipitações decorrem do sistema de ondas de leste.

### Dados pluviométricos e fluviométricos

Utilizaram-se dados de 65 estações pluviométricas (Figura 3) inseridas na área da bacia do Alto Jaguaribe, disponibilizados pela FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos). Os dados englobam o período de 1979 a 2009. A precipitação média na bacia do alto Jaguaribe foi estimada pelo método do polígono de Thiessen (1911).

Utilizaram-se os dados de vazões naturais afluentes ao reservatório Óros, da estação fluviométrica do rio Jaguaribe em Iguatu, (código 36160000) da ANA (Agência Nacional de Aguas), disponíveis em [www.hidroweb.ana.gov.br](http://www.hidroweb.ana.gov.br). Os dados apresentam boa consistência, e poucas falhas. A série de vazão foi utilizada para a calibração dos parâmetros (infiltração máxima do solo, armazenamento no solo, armazenamento na zona de tensão, área impermeável, percolação no solo e armazenamento na camada superficial) do SMA.

### Modelagem dinâmica da precipitação

Nesse estudo foram realizadas simulações de precipitação do modelo RAMS 6.0 na bacia do alto Jaguaribe no primeiro semestre de cada ano, na escala mensal, cobrindo o período de 1979 a 2010, com resolução espacial de 30 km. O RAMS 6.0 foi inicializado em modo de simulação com os dados do ECHAM4.5, sendo esta feita com um esquema de relaxamento Newtoniano (nudging), através de um termo adicionado as equações básicas, que faz com que o valor de cada variável nos diversos pontos de grade tenda àquele contido na informação de grande escala. A assimilação foi feita pelas fronteiras laterais, no topo e no centro do domínio do modelo (nudging lateral, topo e do centro), entretanto para os cálculos estatísticos esses pontos laterais foram desprezados, tendo em vista que os mesmos possuem ruídos causados pelo esquema do relaxamento newtoniano do modelo regional.

O modelo RAMS 6.0 foi configurado com uma grade polar estereográfica, cobrindo todo o Nordeste Brasileiro e uma porção do Oceano Atlântico tropical circunvizinho, com 100 pontos em ambas as direções, com espaçamento horizontal de 30 km e centro localizado em 8°S, 40°W. A grade vertical possui 38 níveis, apresenta espaçamento variável de 50 m nas proximidades da superfície a 1100 m próximo ao topo do modelo. As parametrizações adotadas incluem Mellor-Yamada (1974) para turbulência, Walko *et al.*, (1995) para microfísica de nuvens, Chen-Cotton (1983) para radiação e Kuo modificada (1974) para convecção.

A Temperatura da Superfície do Mar (TSM) média mensal observada nos meses de janeiro a dezembro (1979-2010) serviram de elementos de contorno à superfície nas simulações do ECHAM4.5 e do RAMS 6.0. Os modelos ECHAM 4.5/RAMS 6.0 geraram a saída de 10 conjuntos de precipitações mensais.

A metodologia de correção das previsões de precipitação está baseada numa transformação da curva de distribuição de probabilidades empírica de precipitação mensal. Para cada mês do ano

e para cada ponto da grade de previsão do modelo climático são desenvolvidas duas curvas empíricas de distribuição de probabilidade: a dos dados observados e a dos valores previstos de chuva mensal, o período utilizado para as Probability Density Function foi de 1940-1970.

A probabilidade P associada ao valor previsto original é identificada, utilizando a curva de distribuição de probabilidade dos valores previstos. O valor corrigido associado a esta mesma probabilidade é identificado sobre a curva de distribuição de probabilidade das precipitações observadas.

### Modelagem hidrológica

A aplicação do SMA implica no conhecimento de 14 parâmetros; uma parte destes, em função das disponibilidades de dados pode ser obtida por calibração. Os parâmetros iniciais utilizados foram estimados com base nas características fisiográficas da bacia, proposto por Bennett e Peters (2000).

Para o hietograma, utilizou-se o método dos blocos alternados, sendo os dados introduzidos no HMS pela opção Specified Hyetograph, com dados de precipitação informados pelo usuário.

Para o processo Transform, que gera o hidrograma a partir do hietograma da chuva, aplicou-se o método do Hidrograma Unitário Adimensional do NRCS. O método tem como parâmetro o tempo de retardo ( $T_{lag}$ ). O valor de  $T_{lag}$  é obtido pela Equação 1.

$$T_{lag} = 0.6T_c$$

Equação (1)

onde

$T_c$ : denota o tempo de concentração.

Por sua vez,  $T_c$  é estimado pela Equação de Kirpich (Equação 2).

$$T_c = 0.0078 \times \left( \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \right)$$

Equação (2)

onde

L: comprimento do rio em metros

S: declividade do rio em %

### Calibração e validação do SMA

O período de dados escolhido para calibração foi de 1979 - 1995 e de validação foi de 1996 - 2009. Para a calibração paramétrica do SMA foi escolhida uma função objetivo baseada no erro percentual do volume, segundo a Equação 3, essa medida só considera a magnitude de computação volume total.

$$EPV = 100 \left| \frac{q_0(vol) - q_s(vol)}{q_0(vol)} \right|$$

Equação (3)

onde :

EPV é a função objetivo

$q_0(vol)$  é a afluência observada

$q_s(vol)$  afluência simulada

$q_0 (vol)$  é a afluência média

### Determinação do Intervalo de Tempo de Máxima Previsibilidade (ITEMP)

Com a intenção de analisar o desempenho da modelagem hidrológica na estimativa da afluência ao longo do tempo com vista previsão de médio prazo, o ITEMPE foi utilizado. Ele mostra a faixa de previsibilidade onde o modelo apresenta melhor eficiência, tornando-se uma ferramenta que pode auxiliar as tomadas de decisões dos gestores de recursos hídricos no semiárido do Nordeste do Brasil (NEB).

Como critério de avaliação do ITEMPE, foram considerados os valores do Heidke Skill Score (HSS) e coeficiente de Nash-Sutcliffe usados para comparar as previsões a uma serie de dados observados que servem de referência, resumido conforme a Tabela 1 onde valores com maior HSS e NS tem-se o melhor ITEMPE, seguindo a proposta de Alves *et al.*, (2012) e Cabral (2014).

**Tabela 1.** Métricas utilizadas na determinação do ITEMPE.

Métrica	Fórmula	Observação
Heidke Skill Score (HSS)	$HSS = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^k N(F_i O_i) - \frac{1}{N^2} \left( \sum_{i=1}^k N(F_i) N(O_i) \right)}{1 - \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^k N(F_i) N(O_i)}$	Este índice possui valores entre -1 e 1 que indicam, respectivamente, um modelo incapaz e um modelo perfeito.
Nash-Sutcliffe (NS)	$NS = 1 - \frac{\sum_{t=1}^{nt} [Q_{obs}(t) - Q_{sim}(t)]^2}{\sum_{t=1}^{nt} [Q_{obs}(t) - \bar{Q}_{obs}(t)]^2}$	Esse coeficiente é uma medida normalizada, podendo variar entre $-\infty$ e 1, que compara o erro quadrático médio gerado pela simulação de um modelo com a variância da série definida como meta.

Nesse estudo o ITEMP foi utilizado para avaliar os dados das afluências, analisando a evolução das métricas ao longo dos dias. Os horizontes de tempo de simulação foram variando ao longo do primeiro semestre (devido ao regime pluviométrico da região), levando em conta a atuação dos sistemas meteorológicos da região. Foi usado  $n$  dias como condições iniciais da simulação (1, 2, 10, 15, 21, 30, 45, 60, 120 e 180). Essa análise segue a metodologia proposta por Cabral *et al.*, 2016. A Figura 2 sintetiza a metodologia aplicada no estudo.

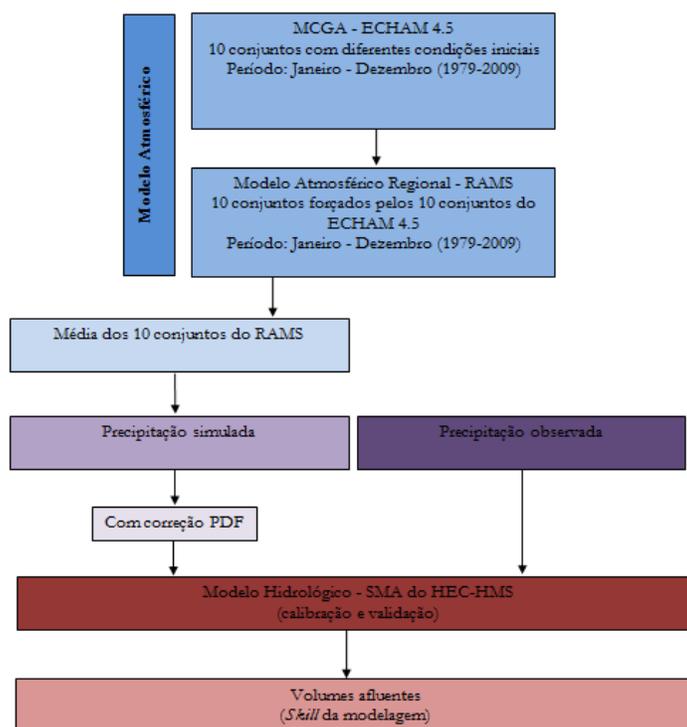


Figura 2. Representação esquemática da metodologia aplicada.

## Resultados e discussões

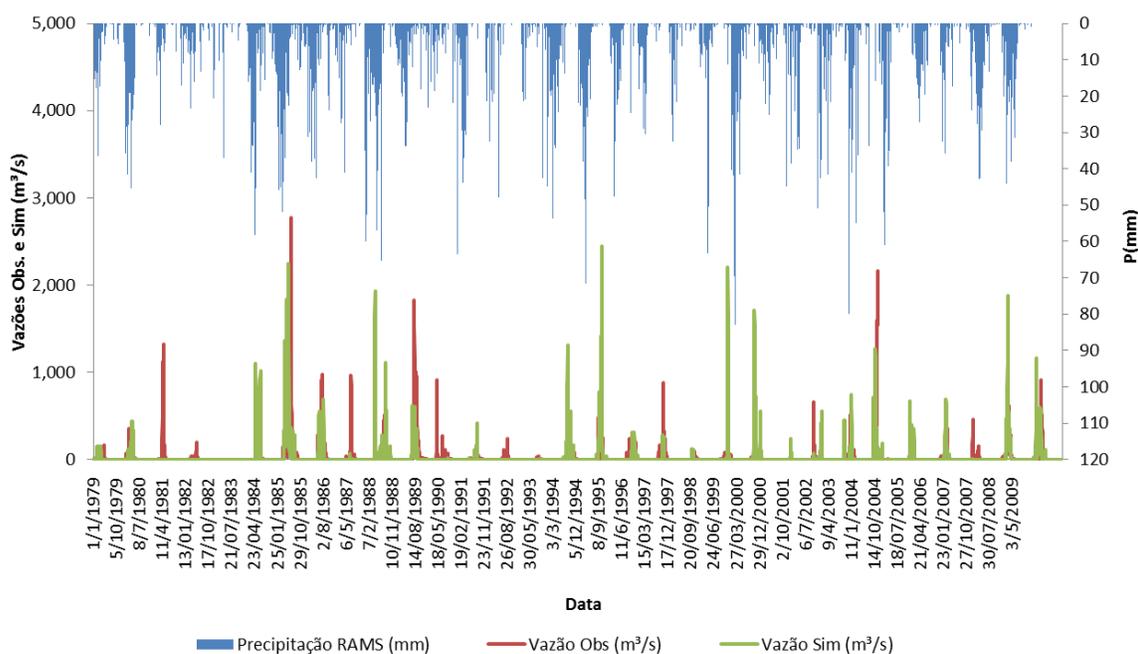
Os valores dos parâmetros calibrados, com dados observados no período de janeiro-junho de 1979 a 1995 apresentam valores de NS igual a 0.89. Com os parâmetros calibrados, foi feita a validação do modelo com dados do período de janeiro-junho de 1996 a 2009. Na validação, obteve-se NS igual a 0.67.

O coeficiente NS é largamente utilizado em estudos hidrológicos por ser altamente influenciado por valores extremos dentro das séries analisadas, sendo, portanto, bastante sensível aos eventos de cheia. Tal fato explica o melhor desempenho do modelo para o período de validação, visto a menor ocorrência de picos extremos de vazão quando comparado ao período de calibração.

Estudos reportam como aceitáveis em modelos precipitação x deflúvio, valores de NS de 0.36 a 0.75. Utilizando o SMA do HEC-HMS em seis bacias no Norte da Espanha, obtiveram-se valores de NS da ordem de 0.52 a 0.79 na fase de calibração e de 0.36 a 0.75 na fase de validação (Collischonn, 2001; Garcia et al. 2008). Comparativamente a outras aplicações do SMA, estes valores podem ser considerados como bons.

Após as simulações das afluições do reservatório Orós, com o uso do SMA, forçados pelos dados de precipitação observados e simulado pelo RAMS com *probability density function*, analisou-se o ITEMP das afluições na região. As simulações das afluições médias mensal mostraram destreza quando comparada com as afluições observadas no reservatório Orós. Souza Filho e Lall (2003) encontraram correlações da ordem de 0.70 e 0.80 respectivamente, quando compararam vazões mensais observadas e simuladas por um modelo chuva-vazão utilizando dados de precipitação oriundos de modelos dinâmicos de precipitação em uma bacia hidrográfica do Ceará.

A Figura 3 apresenta o hidrograma da vazão simulada e observada e hietograma da precipitação média simulada para o período de janeiro de 1979 a dezembro de 2009 na bacia, após as correções *probability density function* na precipitação do modelo regional RAMS na escala mensal.



**Figura 3.** Hidrograma da vazão simulada e observada e hietograma da precipitação média simulada para o período de janeiro de 1979 a dezembro de 2009.

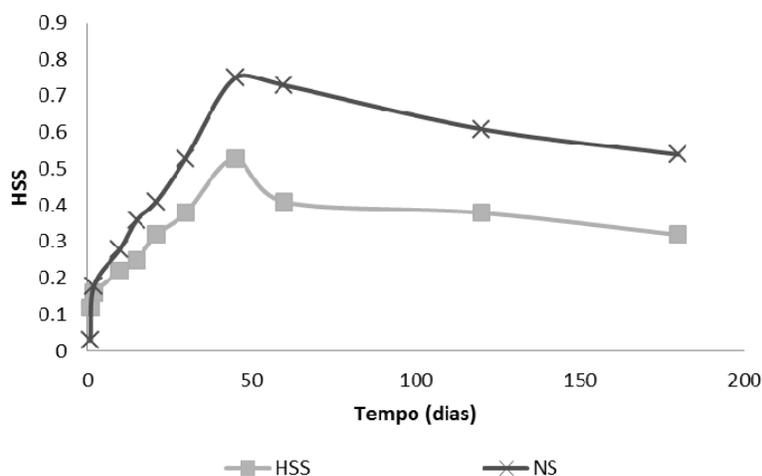
As vazões mensais na sub-bacia simuladas pelo SMA tiveram comportamento razoável, quando forçadas com dados de precipitação do modelo RAMS com *probability density function*. O modelo representa bem alguns períodos da análise do estudo, principalmente vazões abaixo de 500 m<sup>3</sup>/s, evidenciando a boa representação da previsão de precipitação em baixa pluviometria. O modelo SMA reproduz os picos na escala de tempo, mas erram na magnitude, subestimando os eventos. O modelo SMA aninhado ao modelo RAMS subestimou alguns eventos de precipitação tal como: 1985, 1986, 1989, 1990 e 2004, e superestimou nos anos de 1994, 1995, 1999, 2000, 2005 e 2006.

O modelo SMA quando aninhado ao modelo regional RAMS, mostra melhor eficiência nas previsões de vazões da ordem de até 200 m<sup>3</sup>/s/mês, e deficiência para vazões > 200 m<sup>3</sup>/s/mês. Possíveis erros principalmente relacionados ao grau de magnitude das vazões simuladas e observadas podem estar associada a vários fatores como, por exemplo: as condições iniciais do modelo climático global e/ou regional, pode estar associada à deficiência do modelo atmosférico na detecção de sistemas meteorológicos atuantes na região, ou o teor de umidade do solo, ou relacionada às incertezas da modelagem hidrológica, ou a qualidade/quantidade dos dados de vazões, ou a função objetiva de calibração escolhida, que é muito sensível às variações quadráticas das vazões mais intensas ou até mesmo a métrica utilizada para medir a destreza das simulações.

Esses resultados corroboram com Galvão *et al.*, (2005) que mostraram resultados promissores em escala intra-sazonal para downscaling dinâmico da precipitação, juntamente com um modelo de escoamento de chuva e operação do reservatório em duas bacias hidrográficas localizadas na Paraíba e Pernambuco, dois outros estados do NEB.

A Figura 4 mostra o ITEMP das vazões simuladas pelo SMA aninhada ao modelo climático regional RAMS. Valores de HSS da ordem de 0.53 e 0.41 encontram-se no intervalo entre 45 e 60 dias, mostrando por essa métrica que nesse intervalo o modelo tem um melhor desempenho. Analisando o coeficiente de NS, nota que o mesmo corrobora com os valores de HSS, indicando que o mesmo intervalo (45 a 60 dias), o modelo SMA, forçado pelo RAMS com *probability density function*, pode servir de ferramenta de apoio às regras de operação do reservatório. Valores do HSS e NS obtidos pelo modelo SMA acoplado ao RAMS mostraram diferenças nos seus valores, com valores de NS quase sempre superior aos valores de HSS. Essas análises corroboram com o estudo de Alves *et al.*, (2007) que mostram que os resultados de simulações/previsões de vazões com o uso de modelagem dinâmica apresentam resultados promissores, porém quantitativamente, os erros são ainda significativos em alguns anos quando comparados as vazões observadas.

Os resultados apresentados mostram que existe um potencial na utilização das previsões hidrológicas com antecedência de alguns meses baseadas nas previsões climáticas sazonais de modelos de circulação global aninhado ao modelo regional. Entretanto, a utilização de uma técnica estatística de correção das previsões, com base nas precipitações observadas em um período anterior, pode sugerir que os resultados positivos obtidos são devidos, unicamente, à técnica de correção, e não à qualidade das previsões climáticas.



**Figura 4.** Análise da previsibilidade do modelo RAMS.

### Conclusão

O intervalo de tempo de máxima previsibilidade (ITEMP) dá-se para simulações com intervalos superiores há 45 dias com HSS acima de 0.53, podendo ser usada essa simulação para auxiliar o gerenciamento dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe, no Semiárido brasileiro.

O downscaling dimanico da precipitação, apesar de mostrar erros sistemáticos na estimativa da precipitação, apresentou um melhor resultado com as correções pdf nos dados de precipitação, melhorando assim as vazões simuladas na bacia do Alto Jaguaribe.

A utilização da previsão sazonal na determinação dos volumes estocados no reservatório na escala mensal oriundas de precipitações do modelo RAMS 6.0, pode torna-se uma ferramenta importante para a alocação dos recursos hídricos.

### Referências bibliográficas

- Alves, J.B., Campos, J.B., Servain, J. (2012). Reservoir Management Using Coupled Atmospheric and Hydrological Models: The Brazilian Semi-Arid Case. *Water Resources. Management*, **26**, 1365-1385.
- Alves, J.M.B. (2007) Um estudo inter-comparativo de previsão sazonal estatística dinâmica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 354-372.
- Bashar, K.E (2012) Comparative performance of soil moisture accounting approach in continuous hydrologic simulation of the Blue Nile. *Water Science and Engineering*, **5**, 1-10.
- Bennett, T.H., Peters, J.C. (2000) Continuous Soil Moisture Accounting in the Hydrologic Engineering Center Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) *Water Resour. Manage*, **10**, 1-10.
- Block, P.J., Souza Filho, F.A., Sun, L., Kwon, H.H. (2009) Streamflow Forecasting Framework using Multiple Climate and Hydrological Models. *Journal of the American Water Resources Association*, **45**, 828-843.
- Block, P.J., Rajagopalan, B. (2008) Statistical – Dynamical Approach for Streamflow Modeling at Malakal, Sudan, On the White Nile River. *Journal of Hydrologic Engineering*, **14**(2), 185-196.
- Chen, C., Cotton, W.R. (1983) Numerical experiments with a one-dimensional higher order turbulence model: Simulation of the Wangara day 33 case. *Boundary-Layer Meteorology*, **25**, 375-404.
- Chu, X., Steinman, A. (2009) Event and Continuous Hydrologic Modeling with HEC-HMS. *Journal of the Irrigation and Drainage*, **135**(1), 119-124.
- Cabral, S.L., Campos, J.N.B., Silveira, C.S., Rodrigues, J.M. (2016) O intervalo de tempo para uma máxima previsibilidade da precipitação sobre o Semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, **31**, 88-100.
- Cabral, S.L. (2014) *Intervalo de tempo de máxima previsibilidade no acoplamento de modelos climáticos e hidrológico para o gerenciamento de reservatório*, Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (Recursos Hídricos), Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, 139 pp.
- Collischonn, W. (2001) *Simulação hidrológica em grandes bacias*, Tese de Doutorado, Instituto de Pesquisas Hidráulicas Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 270 pp.
- Cotton, W.R., Pielke, R.A., Walko, R.L. (2003) RAMS 2001: Current status and future directions. *Meteorology and Atmospheric Physics*, **82**, 5-29.
- Doblas-Reyes, F.J., Hagedorn, R., Palmer, T.N. (2005) The Reationale Behind the Success of Multi-Model Ensembles in Seasonal Forecasting – II. Calibration and Combination. *Tellus*, **57**, 234-252.
- Galvão, C.O., Nobre, P. Braga, A.C.F.M., Oliveira, K.F., Silva, R.M., Silva, S.R., Gomes Filho, M.F., Santos, C.A.G., Lacerda F., Moncunill, D. (2005) Climatic predictability, hydrology and water resources over Nordeste Brazil. Regional Hydrological Impacts of Climatic Change—Impact Assessment and Decision Making (2005) *Proceedings of symposium S6 held during the Seventh IAHS Scientific Assembly* at Foz do Iguaçu, Brazil, April 2005). IAHS Publ. 295 pp.
- García, A., Sainz, A., Revilla, J.A., Álvarez, C., Juanes, J.A., Puente, A. (2008) A. Surface water resources assessment in scarcely gauged basins in the north of Spain. *Journal of Hydrology*, **356**, 312-326.
- Georgakakos, K.P., Seo, D.J., Gupta, H., Schake, J; Butts, M.B. (2004) Characterizing Streamflow Simulation Uncertainty Through Multimodel Ensembles. *Journal of Hydrology*, **298**, 222-241.
- Golian, S., Saghafian, B., Farokhnia (2012) A. Copula-based interpretation of continuous rainfall–runoff simulations of a watershed in northern Iran. *Can. Journal of Earth Science*, **49**, 681-691.
- Gyawali, R., Watkins, D.W (2013) Continuous hydrologic modeling of snow-affected watersheds in the great lakes basin using HEC-HMS. *Journal of Hydrologic Engineering*, **18**, 29-39.
- Koch, R., Bene, K. (2013) Continuous hydrologic modeling with HMS in the Aggtelek Karst region. *Hydrology*, **1**, 1-7.
- Kuo, H.L. (1974) Further studies of the parameterization of the influence of cumulus convection on large-scale flow *Journal Atmospheric sciences*, **31**, 1232-1240.
- Mellor, G., Yamada, T. (1974) A hierarchy of turbulence closure models for atmospheric boundary layers. *Journal Atmospheric sciences*, **31**, 1791-1806.

- Moura, A.D., Shukla, J. (1981) On the dynamics of droughts in northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. *Journal Atmospheric sciences*, **38**, 2653-2675.
- Nash, J.E., Sutcliffe, J.V. (1970) River flow forecasting through conceptual models, Part I — A Discussion of principles. *Journal of Hydrology*, **10**, 282-290.
- Pielke, R.A., Cotton, W.R., Walko, R. (1992) A comprehensive meteorological modeling system—RAMS. *Meteorology and Atmospheric Physics*, **49**, 69-91.
- Souza Filho, F.A., Lall, U. (2004) Modelo de Previsão de Vazões Sazonais e Interanuais. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, **9**(2), 61-74.
- Souza Filho, F.A., Lall, U. (2003) Seasonal to Interannual Ensemble Streamflow Forecasts for Ceara, Brazil: Applications of a Multivariate, Semiparametric Algorithm. *Water Resources Research*, **39**, 1307-1320.
- Sun, L. Moncunill, D., Huilan, L., Moura, A. D., Filho, F.A.S. (2005) Climate Downscaling over Nordeste, Brazil, Using the NCEP RSM97. *Journal of Climate*, **18**, 551-567.
- Thiessen, A.H (1911) Precipitation Averages for Large Areas. *Monthly Weather Review*, **39**, 1082–1089.
- Uvo, C.B.T.U., Berndtsson, R. (2000) Forecasting discharge in Amazonia using artificial neural networks. *International Journal of Climatology*, **20**, 1495-1507.
- Walko, R., Cotton, W.R., Meyers, M.P., Harrington, J.Y. (1995) New RAMS cloud microphysics parameterization Part I: the single-moment scheme. *Atmospheric Research*, Elsevier Science, **38**, 29-62.