

## ANÁLISE DA MODELAGEM DINÂMICA DA PRECIPITAÇÃO EM UMA BACIA HIDROGRAFICA NO SEMIÁRIDO

*Samuellson Lopes Cabral<sup>1\*</sup>; José Nilson Bezerra Campos<sup>1</sup>; Cleiton da Silva Silveira<sup>1</sup>; Wictor Edney Dajtenko Lemos<sup>1</sup> & Victor Costa Porto<sup>1</sup>.*

**RESUMO** – A alta variabilidade temporal e sazonal, especialmente no Nordeste Brasileiro faz necessária a utilização de previsões de modelos de precipitação para possíveis ações do ponto de vista do gerenciamento dos recursos hídricos. Entretanto esses modelos apresentam em algumas regiões uma alta discrepância. Neste sentido, este trabalho avalia a climatologia de uma série de precipitação simulada pelo *Regional Atmospheric Modeling System* (RAMS) e observada, em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro nos primeiros semestres dos anos de 1979 a 2010. Os resultados obtidos indicaram que o modelo apresenta erros de viés em todo o período chuvoso na bacia e que as maiores correlações têm-se no segundo trimestre do período chuvoso (ABR-MAI-JUN).

**Palavras chave:** modelo dinâmico, precipitação, análise estatística.

**ABSTRACT** - The high variability temporal and seasonal, mainly in the Brazilian Northeast, orients the use of models precipitation predictions for possible actions in order to water resources management. However, these models have high discrepancy in some regions. Therefore, this study evaluates a climatological series of precipitation simulated by the *Regional Atmospheric Modeling System* (RAMS) and observed in a Brazilian semiarid basin in the first semesters of the years 1979 to 2010. The results indicated bias errors in the RAMS model throughout all the rainy season and showed that the highest correlations are in the second quarter of the rainy season (APR-MAY-JUN).

**Keywords:** dynamic model, precipitation, statistical analysis.

---

<sup>1</sup> Universidade Federal do Ceará. \*[samuellsoncabral@hotmail.com](mailto:samuellsoncabral@hotmail.com)

## INTRODUÇÃO

As regiões semiáridas apresentam altas variabilidades espaciais e temporais da precipitação, especificamente no semiárido brasileiro se têm vivenciado extremos do clima, como as secas e as cheias. Uma alternativa para minimizar os impactos negativos causados por esses extremos é a previsão da sua ocorrência através do uso de modelos meteorológicos de tempo e clima, possibilitando a antecipação de ações mitigadoras. Estudos dos fenômenos meteorológicos em geral, variabilidade climática, previsão de tempo e clima, previsão de vazões, projeções de mudanças climáticas e de cenários de intervenções antrópicas são algumas das finalidades do uso de modelos atmosféricos, em alguns casos acoplados com modelos hidrológicos.

Segundo Paz e Collischonn 2011, um dos principais produtos de tais modelos são os campos de chuva calculados para uma grade de pontos ao nível da superfície. São realizadas previsões de chuva com horizontes de alguns dias até meses, de grande utilidade em áreas como previsão de safras agrícolas, previsão e controle de enchentes e planejamento da operação de reservatórios, entre outras.

Entretanto faz se necessário a análise das estimativas de chuva desses modelos climáticos, que precisam ser avaliadas quanto à destreza em corretamente reproduzir a chuva observada em nível de bacia hidrográfica, com a utilização de métricas estatísticas. A destreza de um sistema de previsão depende da incerteza associada ao sistema meteorológico que se pretende prever e das características do próprio modelo ou conjunto de modelos (resolução espacial, qualidade da representação dos processos físicos, número de membros, qualidade das condições iniciais assimiladas etc). Melhorar o entendimento em relação à confiabilidade, à sensibilidade e às limitações do sistema de previsão é crucial para que o mesmo possa se constituir enquanto ferramenta para definir políticas de planejamento e gestão (Reis Júnior et al., 2009).

Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo geral a avaliação das simulações de precipitação mensal por modelagem atmosférica, comparando as respostas geradas com séries de precipitações observadas na bacia do Alto Jaguaribe no Estado do Ceará, no semiárido brasileiro, auxiliando o gerenciamento e operação do reservatório do Orós.

## Material e Métodos

### Caracterização da área de estudo

A bacia do Alto Jaguaribe (Figura 1) localiza-se na porção sudoeste do Estado do Ceará, sendo a maior do Estado. Esta bacia inicia-se nas nascentes do Rio Jaguaribe e percorre uma extensão de 325 km até alcançar o açude Orós, principal reservatório desta bacia, localizado próximo à sua foz e drena uma área de 24.538 km<sup>2</sup>. As altitudes nesta região variam entre 250m e 400m e o clima é semiárido quente, com precipitações médias anuais entre 500 mm e 700 mm, e temperatura média anual em torno de 28°C.

Climatologicamente, a parte alta da bacia, setor sul do Estado recebe chuvas no mês de janeiro, principalmente proveniente da influência da incursão de frentes frias que se localizam no setor centro-norte do Nordeste. A partir de fevereiro as chuvas são provenientes da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), com maior intensidade nos meses de março e abril. A bacia sofre um longo período de estiagem com pouco aporte de água de julho a novembro.

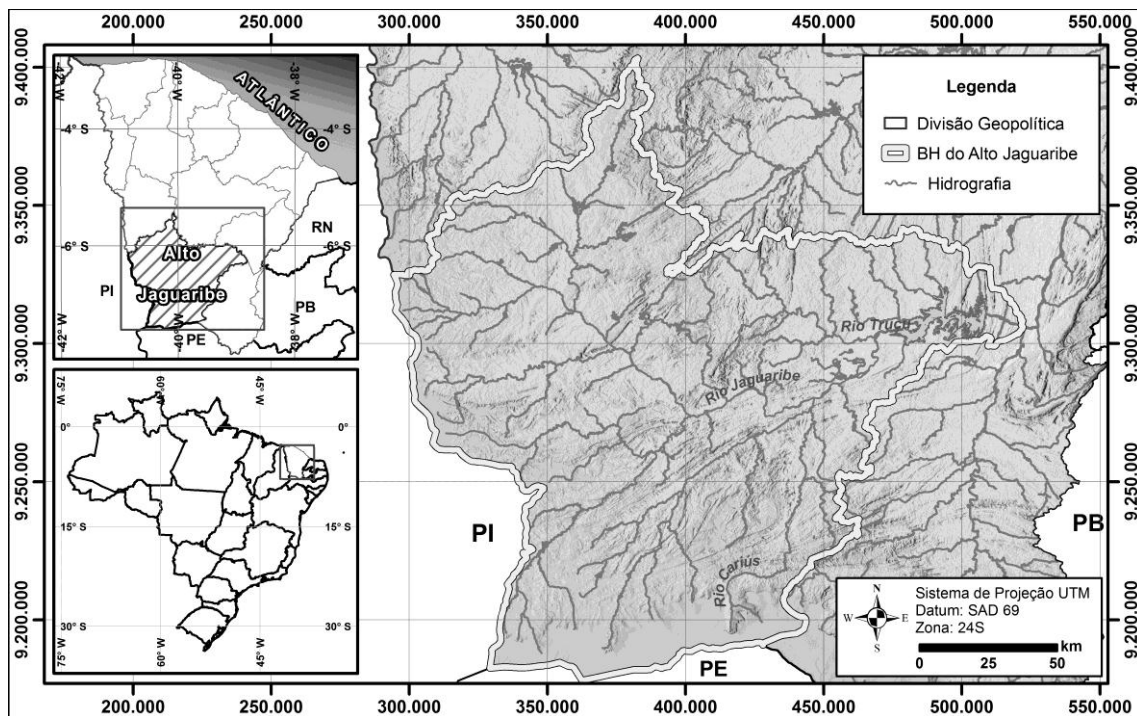


Figura 1 – Localização da área de estudo.

### Dados pluviométricos

Os dados pluviométricos observados na bacia do Alto Jaguaribe estão disponíveis em [www.funceme.br](http://www.funceme.br). Foram utilizados dados consistidos de 65 estações pluviométricas inseridas na área da bacia do Alto Jaguaribe.

A precipitação observada diária foi integrada ao longo da bacia do Alto Jaguaribe durante os primeiros seis meses do período 1979-2010, para o cálculo da precipitação média na Bacia foi utilizando o método do polígono de Thiessen.

### Modelagem atmosférica

O RAMS (*Regional Atmospheric Modeling System*) foi desenvolvido pelo Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade Estadual do Colorado, USA. Trata-se de um modelo regional largamente utilizado e aceito pela comunidade científica, seja para pesquisas ou operacionalmente para previsões numéricas de tempo em instituições dedicadas ao assunto, capaz de reproduzir grande parte dos diversos e mais relevantes fenômenos atmosféricos.

A Figura 2 mostra a distribuição espacial da grade do modelo RAMS e dos postos pluviométricos utilizados na bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe.

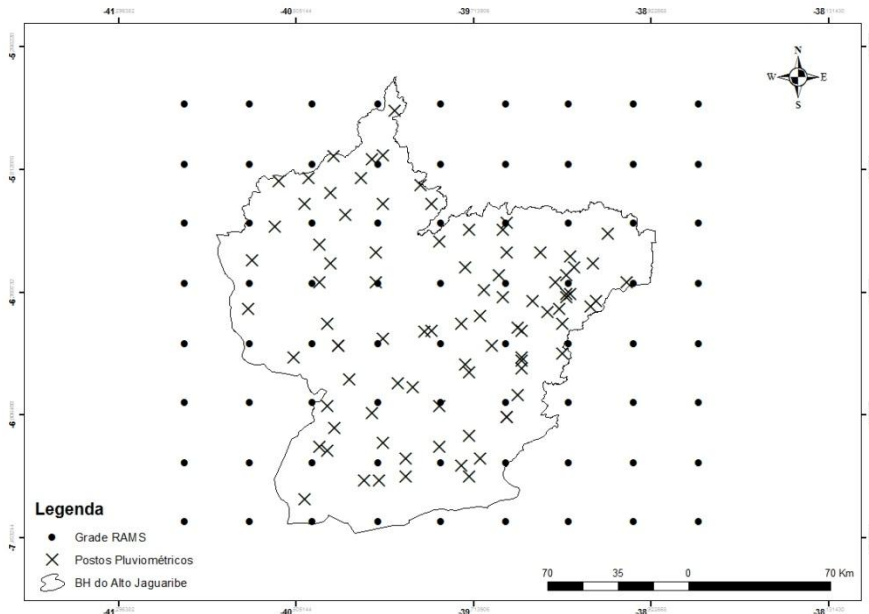


Figura 2 – Distribuição espacial dos postos pluviométricos e a grade do modelo RAMS sobre a bacia do Alto Jaguaribe.

## METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho é apresentada nas seguintes etapas: (1) obtenção dos dados pluviométricos em [www.funceme.br](http://www.funceme.br) (2) cálculo da precipitação média da bacia pelo método de Thiessen, (3) sistema de modelo atmosférico (RAMS), utilizado para simular as precipitações diárias sobre a bacia do Alto Jaguaribe, (4) análise dos membros do RAMS e (5) a análise estatística da eficiência do modelo.

### Análise da Eficiência da Previsão

#### Bias

O Bias (Viés) estatístico ( $b$ ) é dentre as métricas consideradas aqui, a mais simples e menos representativa. É dado pela média da diferença entre a série modelada (simulada) e a observada, e indica o erro sistemático (subestimativa ou superestimativa).

$$b = \frac{1}{N} \sum (V_{0,i} - V_{s,i}) \quad (1)$$

onde  $V_0$  é o valor da variável observada,  $V_s$  é o valor da variável simulada e  $N$  é o período de tempo usado no cálculo. O bias pode ter qualquer valor real, onde os valores mais próximos de zero, por definição, representam menor erro. É medido com a mesma unidade usada nas séries.

#### Erro Absoluto Médio (EAM)

O Erro Absoluto Médio (EAM) é considerado uma medida de erro mais justa. Na mesma os desvios negativos não se cancelam com os positivos, o que o torna mais representativo que o bias.

$$EAM = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |V_{0,i} - V_{s,i}| \quad (2)$$

onde  $V_0$  é o valor da variável observada e  $V_s$  é o valor da variável simulada/prevista. Pela definição, só pode assumir valores não negativos, sendo que quanto menor o valor maior semelhança entre as séries. É medido com a mesma unidade usada nas séries.

### Erro Quadrático Médio (EQM)

O Erro Quadrático Médio (EQM) é definido pela soma dos quadrados das diferenças entre resultados simulados/previstos e as observações.

$$EQM = \frac{1}{N} \left[ \sum_{i=1}^N (V_{0,i} - V_{s,i})^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

onde  $V_0$  é o valor da variável observada e  $V_s$  é o valor da variável simulada/prevista. É a métrica de erro mais comumente usada. É muito sensível a grandes desvios entre os valores das séries comparadas, o que se torna mais relevante quando se trata de avaliação de grandes erros. Pode assumir qualquer valor não negativo e tem a mesma unidade de medida das séries. É maior a semelhança entre as séries simulada/prevista e a observada quanto mais próximo de zero for o seu valor.

### Desvios padrão ( $\sigma$ )

Uma estimativa de erro frequentemente sugerida é a comparação entre os desvios padrão do simulado/previsto e o observado. A síntese é que medidas parecidas de desvio padrão estão associadas à similaridade entre as séries.

$$\sigma_{Obs} = \frac{1}{N} \left[ \sum \left( V_{0,i} - \bar{V}_0 \right)^2 \right]^{1/2} \quad (4)$$

$$\sigma_{Sim} = \frac{1}{N} \left[ \sum \left( V_{s,i} - \bar{V}_s \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5)$$

onde  $V_0$  é o valor da variável observada e  $V_s$  é o valor da variável simulada/prevista, e onde  $\bar{V}_s$  e  $\bar{V}_0$  indicam o valor da média da variável simulada/prevista e observada. Com o cálculo dos desvios padrão pode-se calcular a razão entre os desvios como:

$$R_a = \frac{\sigma_{Obs}}{\sigma_{Sim}} \quad (6)$$

Uma maior semelhança entre os desvios padrão é representada por uma razão mais próxima da unidade. Esta razão é adimensional, podendo assumir qualquer valor não negativo.

### Coefficiente de Correlação (r)

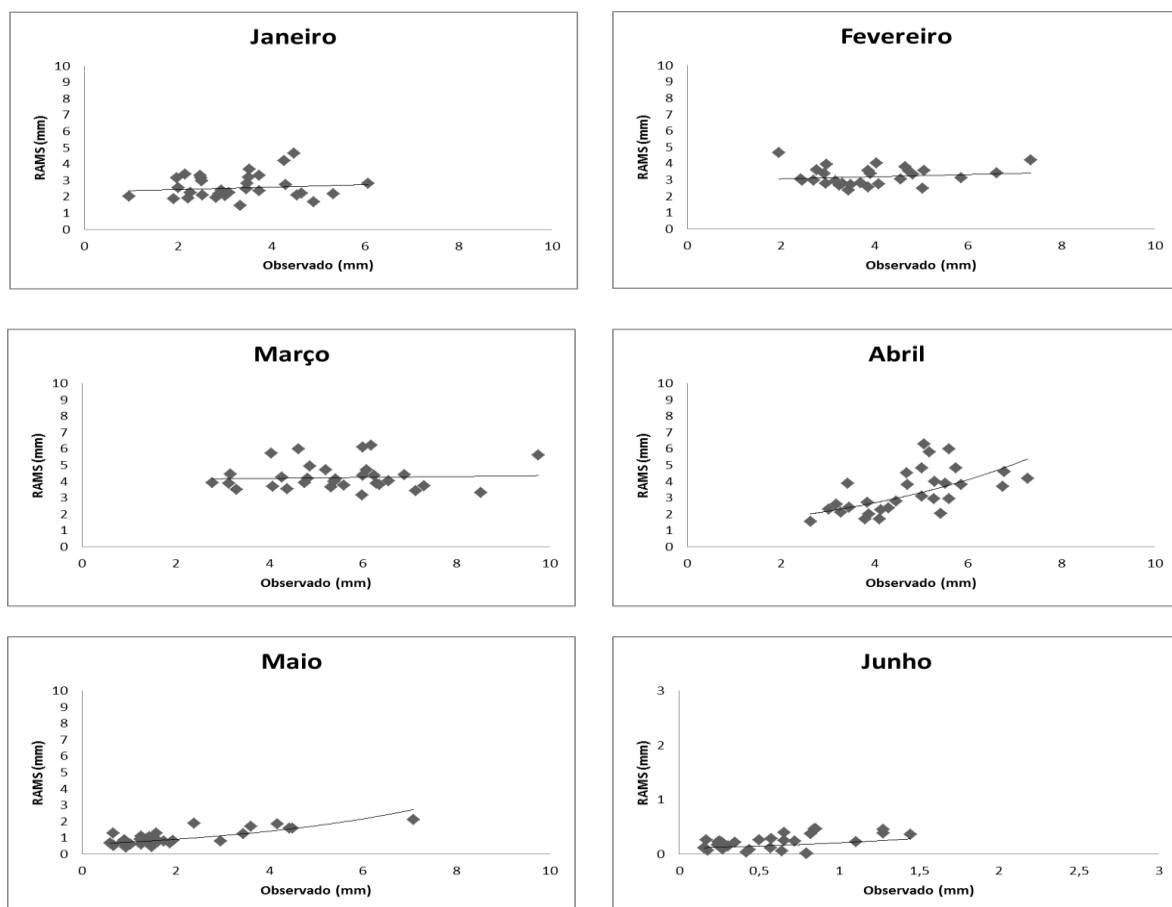
O Coeficiente de Correlação (r), segundo a literatura, é a mais relevante métrica de comparação de todas as apresentadas. Sua fórmula é mostrada abaixo.

$$r = \frac{1}{N} \sum \frac{V'_{o,i} V'_{s,i}}{\sigma_{obs} \sigma_{sim}} \quad (7)$$

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Precipitação

A Figura 3 apresenta a comparação climatológica mensal dos dados de precipitação sobre a bacia do Alto Jaguaribe, nela pode-se verificar a dispersão dos valores em torno da reta 1:1, para o mês de abril nota-se nitidamente acúmulo de pontos acima da reta 1:1, caracterizando tendência de superestimativa dos valores de precipitação média tal comportamento mostra que o mesmo deve ser aplicado com ressalva, em virtude da sua menor confiabilidade estatística. Os demais gráficos de dispersão mostram boa qualidade estatística, com baixa dispersão dos valores e sem acúmulo significativo de pontos, acima ou abaixo da reta 1:1.



**Figura 3** – Comparativo das precipitações médias climatológicas observadas e do RAMS.



No primeiro trimestre nota-se maior discrepância sobre a reta 1:1 no mês de janeiro e março, presumindo que o modelo RAMS tenha menos destreza na previsão climática sobre a bacia nesse período, possivelmente devido às incertezas e a variabilidade dos sistemas meteorológicos na pré-estação na bacia. Já durante fevereiro notamos um maior ordenamento na precipitação sobre a bacia. No segundo semestre no fim da estação chuvosa na bacia, o modelo comporta-se com uma melhor eficiência, principalmente nos meses de maio e junho, com pequenas variações comparando as precipitações observadas e modeladas sobre a bacia.

### **Análise estatística do modelo**

A Tabela 1 apresenta os resultados das métricas aplicadas nesse estudo, como viés, o erro absoluto médio, erro quadrático médio, desvio, razão dos desvios e a correlação para o período estudado na bacia do Alto Jaguaribe.

O modelo apresenta erros de viés em todo o período chuvoso na bacia ora subestimando ora superestimando os resultados. Ainda no escopo da análise integrada no espaço, é interessante questionar a performance das estimativas de ocorrência de chuva em função da intensidade da chuva observada.

As possíveis causas da subestimação do modelo RAMS, quando comparada com os dados observados pode ser: os dados de umidade do solo não inseridos no modelo, e muito menos na precipitação do dia anterior; erros na precipitação e na distribuição vertical de calor latente associada ao tratamento de parametrização das grades externas afetam explicitamente a previsão nas grades internas (WARNER e HSU, 2000).

**Tabela 1** – Métricas avaliadas para a precipitação no Alto Jaguaribe.

<b>Métricas</b>	<b>JAN</b>	<b>FEV</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAI</b>	<b>JUN</b>
<b><i>VIES</i></b>	0,866	0,590	1,354	1,568	1,022	0,308
<b><i>EAM</i></b>	1,130	1,046	1,658	1,585	0,348	0,360
<b><i>EQM</i></b>	1,105	0,958	2,225	1,648	1,304	0,106
<b><i>DESVIO (OBS)</i></b>	1,142	1,268	1,551	1,162	1,483	0,359
<b><i>DESVIO (SIM)</i></b>	0,698	0,282	0,400	0,727	0,432	0,267
<b><i>RAZÃO DESVIO (OBS/SIM)</i></b>	1,635	4,499	3,875	1,598	3,432	1,344
<b><i>R</i></b>	0,178	0,088	-0,110	0,600	0,519	0,417

Os valores dos EAM e do EQM mostraram-se maiores no primeiro trimestre (JAN-FEV-MAR), melhorando seu desempenho no segundo trimestre (ABR-MAI-JUN). Os maiores desvios foram encontrados justamente na série observada, quando comparada com os desvios simulados para todo o período, alertando uma maior atenção à qualidade dos dados, principalmente os que dependem de um sistema manual de coleta de dados.

As melhores correlações foram nos meses de abril e maio com 0,6 e 0,51 respectivamente, correlações relativamente boas, quando analisada em uma escala de bacia hidrográfica. Entretanto para o mês de março o resultado não mostrou nenhuma correlação com valor de -0.11.

## CONCLUSÃO

O modelo RAMS apresentou erro de viés em todo período estudados, e erros quadráticos médios e erros absolutos médios em todo período analisado.

Entretanto o modelo apresentou uma boa correlação principalmente no segundo trimestre do período analisado (ABR-MAI-JUN).

O modelo RAMS apesar de algumas discrepâncias torna-se uma ferramenta imprescindível do ponto de vista de auxiliar o gerenciamento dos recursos hídricos e principalmente a agricultura.

## REFERÊNCIAS

Cabral, S. L, Campos, J. N. B, Silveira, C. S, Avaliação da previsibilidade do modelo RAMS: estudo do intervalo de tempo de máxima previsibilidade. Revista Brasileira de Meteorologia, (2013), em submissão.

Paz, A. R. D.; CollischonN, W. Avaliação de estimativas de campos de precipitação para modelagem hidrológica distribuída. Revista Brasileira de Meteorologia, 2011. 109-120.

Reis Junior, D. S.; Sombra, S. S.; Costa, A. A.; Neto, O.L.;Santos, A.C.S.; Firmino, M.B.M.. Verificação da Previsão Operacional de Chuva sobre Bacias Hidrográficas do Estado do Ceará. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009, Campo Grande.

Warner, T. T.; Hsu, H. M. Nested-Model Simulation of Moist Convection: The Impact of Coarse-Grid Parameterized Convection on Fine-Grid Resolved Convection. WARNER AND HSU, Julho 2000. 2211-2231.