

AVALIAÇÃO DA PREVISÃO DE PRECIPITAÇÃO SAZONAL NO NORDESTE DO BRASIL NA ESCALA DE BACIA HIDROGRÁFICA

Carlos Oliveira Galvão¹ e Robin T. Clarke²

Resumo – A precipitação no Nordeste semi-árido é muito variável no espaço e no tempo. Recentemente, previsões da precipitação sazonal têm sido disponibilizadas para a escala regional, e sua utilidade para gerenciamento de recursos hídricos vai depender da possibilidade delas serem produzidas na escala de bacia hidrográfica. Neste artigo, avaliam-se previsões de precipitação sazonal produzidas por um método estatístico-empírico nas escalas regional e de bacia. Medidas de desempenho mostram perda de informação quando as previsões de precipitação sazonal são produzidas na escala de bacia, mas sua "destreza" (conforme definida no texto) continua ainda maior que aquela obtida quando usando normais climatológicas como previsões de referência.

Abstract – Rain in the semiarid Northeast of Brazil is highly variable in space and time. Recently available forecasts of seasonal rainfall are at the regional scale, and their usefulness for water management will depend on how far they can be used to give forecasts at the drainage-basin scale. In this paper seasonal rainfall forecasts produced by a statistical-empirical method at the regional and river basin scales are evaluated. Performance measures show some loss of information where forecasts of seasonal rainfall are produced at the basin scale, but their 'skill' (as defined in the text) is still greater than that obtained when using reference climatological forecasts.

Palavras-Chave - precipitação, previsão sazonal, Nordeste, métodos estatísticos.

¹ Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, Caixa Postal 505, Campina Grande, PB, 58.100-970, tel. (083) 310-1157, fax. (083) 310-1388, galvao@rechid.ufpb.br.

² Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Caixa Postal 15029, Porto Alegre, RS, 91.501-970, tel. (051) 316-6670, fax. (051) 316-6565, clarke@if.ufrgs.br.

INTRODUÇÃO

Nas regiões tropicais, os mecanismos oceânicos e atmosféricos que determinam a maior parte da variabilidade climática interanual já estão razoavelmente caracterizados, dando origem a diversos métodos de previsão de longo prazo da precipitação. A precipitação total acumulada na estação chuvosa (“precipitação sazonal”) têm-se atribuído influência de fatores atmosféricos e oceânicos de larga escala, como variações na temperatura dos oceanos. Esse tipo de previsão tem sido denominado de “sazonal”, “climática”, “climática de curto prazo”, “da variabilidade interanual”, “de longo prazo”. Métodos estatísticos ou assemelhados (regressão, métodos multivariados, análise de periodicidades, redes neurais, entre outros) têm sido os mais empregados nesta tarefa.

O aproveitamento, em recursos hídricos, desses avanços na previsão de precipitação sazonal ainda não está consolidado. A principal razão é a diferença de escalas, espacial e temporal, entre os processos que controlam o clima no horizonte sazonal e os processos hidrológicos relevantes ao manejo de recursos hídricos. A maioria dos métodos de previsão produz suas estimativas entre um e três meses antes da estação chuvosa, que se referem a todo o período da estação – três ou quatro meses – e a toda uma região. As previsões podem eventualmente ser realizadas para escalas temporal e espacial mais detalhadas, ou com maior antecedência, mas a maioria dos autores reconhece que nestes casos se verifica grande perda da capacidade preditiva.

Este trabalho faz parte de um programa de pesquisa para avaliação e viabilização das possibilidades de uso, em recursos hídricos, dos avanços da previsão meteorológica no horizonte sazonal. Neste artigo, apresenta-se os resultados da avaliação da capacidade preditiva, na escala de bacia hidrográfica, de um modelo estatístico que vem sendo utilizado, na escala regional, para previsão da precipitação sazonal no Nordeste do Brasil. A eventual comprovação de que as previsões também têm utilidade quando realizadas para escala de bacia deve se constituir em importante fato motivador do seu emprego operacional pelos hidrólogos e engenheiros de recursos hídricos (Galvão, 1998).

DADOS

Precipitação

Para os estudos de previsão de precipitação montaram-se duas séries, de acordo com a escala: a *regional* e a *bacia*, descritas a seguir.

O *Hadley Centre for Climate Prediction and Research*, do serviço meteorológico do Reino Unido, anualmente realiza a previsão da estação chuvosa para o Nordeste, utilizando como referência uma série histórica de anomalias normalizadas de precipitação regional. Essa série, denominada neste texto de “precipitação regional”, foi fornecida, para este trabalho, pelo *Hadley Centre*. Ela é formada, segundo Ward e Folland (1991) e Colman (1997), para cada ano de 1912 a 1988, pela média de *anomalias normalizadas* de precipitação sazonal (total de fevereiro-maio) de 113 postos sobre todo o norte do Nordeste (região semi-árida dos estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas e norte da Bahia), que cobrem uma área aproximada de 500 000 km².

Para constituir a chamada “precipitação da bacia” usaram-se dados de nove postos pluviométricos na bacia do rio Piancó (área de 4550 km²), na Paraíba, dois dos quais coincidentes com os da região. Os postos foram selecionados com base na sua distribuição espacial na bacia, na extensão da série e na qualidade dos dados, conforme avaliação realizada por Molinier *et al.* (1994). Toda a bacia encontra-se dentro de uma mesma região homogênea pluviometricamente (Silva e Rao, 1994; Molinier *et al.*, 1994) e seu clima não é afetado por barreiras topográficas. Com os dados no nível diário, calculou-se a média na bacia, através de polígonos de Thiessen. As falhas não foram preenchidas diretamente, mas através do cálculo da média diária sem considerar a presença do posto na determinação dos polígonos. Dos nove postos, quatro foram implantados em 1911 e cinco em 1933. A média diária foi acumulada sazonalmente (fevereiro-maio e março-junho) e calcularam-se anomalias normalizadas sazonais.

Anomalias normalizadas

As anomalias normalizadas sazonais foram calculadas tendo como referência o período 1951-80 (Colman *et al.*, 1997) e são expressas, para cada posto, como:

$$I_{i,j} = 100 \frac{P_{i,j} - P_j}{s_j} \quad (1)$$

onde $I_{i,j}$ é a anomalia normalizada, expressa em %, para o ano i no posto j , $P_{i,j}$ é o total de precipitação sazonal (total acumulado nos meses da estação chuvosa), para o ano i no posto j , P_j é a média e s_j o desvio padrão da precipitação no posto j (calculados sobre o período de referência, 1951-80).

As séries apresentam correlação relativamente alta entre si, quando expressas em forma de anomalias normalizadas. As séries fevereiro-maio regional e da bacia têm coeficiente de correlação de 0,82.

O uso de anomalias normalizadas permite distinguir anos secos de anos chuvosos quando se utiliza informações coletadas regionalmente, onde há diferenças intra-regionais nos valores absolutos da precipitação. Muitos dos estudos sobre variabilidade climática usam anomalias de precipitação ao invés dos valores originais. As anomalias são calculadas em relação à média, ou normalizadas (dividindo pelo desvio padrão). Essas últimas seriam mais adequadas para regiões que apresentam grandes variações na variância da precipitação (Jones e Hulme, 1996) e têm sido adotadas na maioria dos estudos sobre o Nordeste.

Tabela 1 – Características das séries de precipitação sazonal (fevereiro-maio): (a) em forma de totais precipitados sazonais, expressos em mm, e de anomalias normalizadas (*I*), expressas em %; (b) definição das categorias de anomalias normalizadas, estabelecidas como equiprováveis no período de 1951-80.

a)

Série	Período	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
Regional:					
precipitação	não disponível	não disponível	não disponível	não disponível	não disponível
anomalia	1912-88	3	73	-158	188
	1951-80	0	67	-138	188
Bacia:					
precipitação	1912-88	623,7	262,6	165,0	1320,2
	1951-80	605,1	223,9	254,6	1078,5
anomalia	1912-88	8	117	-197	319
	1951-80	0	100	-157	211

b)

Série	Limites das categorias de anomalias normalizadas sazonais fevereiro-maio				
	1	2	3	4	5
Regional	$I < -41$	$-41 \leq I < -21$	$-21 \leq I < 14$	$14 \leq I < 42$	$I \geq 42$
Bacia	$I < -97$	$-97 \leq I < -37$	$-37 \leq I < 10$	$10 \leq I < 54$	$I \geq 54$

Categorização

Para uso na análise discriminante linear (descrita na seção seguinte), as séries fevereiro-maio regional e da bacia foram *categorizadas*, isto é, a cada valor de anomalia foi associada uma de cinco categorias. As categorias foram estabelecidas como equiprováveis no período de referência 1951-80 (Tabela 1). Assim, por exemplo, durante 1951-80, para a precipitação regional, em 20% dos anos as anomalias foram inferiores a –41%, em 20% dos anos se situaram entre –41% e –21%, em 20% dos anos foram superiores a +42%, e assim por diante. Em outras palavras, nomeando-se as categorias, pode-se dizer que, segundo esta classificação, na bacia do Piancó os anos *muito secos* (categoria 1) são aqueles que apresentaram anomalias normalizadas de precipitação sazonal inferiores a –97%, os anos *secos* (categoria 2) são aqueles que apresentaram entre –97% e –37%, os anos *normais* (categoria 3) foram os de anomalias entre –37% e +10%, os *chuvosos* (categoria 4) tiveram anomalias na faixa de +10% a +54% e os *muito chuvosos* (categoria 5) tiveram anomalias maiores que +54%.

Temperaturas da superfície do mar

O método para previsão de precipitação sazonal utilizado neste trabalho utiliza como preditor a temperatura da superfície do mar (TSM) nos oceanos Atlântico e Pacífico. As TSMs não foram empregadas diretamente, mas em forma de escores de autovetores de anomalias. A seguir apresenta-se sucintamente o procedimento descrito por Ward e Folland (1991) e Colman *et al.* (1997, 1998).

Originalmente disponíveis em uma malha global de $5^\circ \times 5^\circ$ de latitude e longitude, as TSMs foram combinadas em uma malha de $10^\circ \times 10^\circ$ e transformadas, mês a mês, em anomalias (não normalizadas) em relação às médias mensais do período 1951-80. A seguir, analisaram-se, separadamente, os dados para o Oceano Atlântico (a porção de $30^\circ\text{N} - 30^\circ\text{S}$) e para todo o Oceano Pacífico. Para o Atlântico, foram utilizados 94 pontos da malha; para o Pacífico, 126 pontos. Para cada ponto, uma série temporal para 1901-80 foi considerada. O objetivo pretendido foi transformar, para cada ano, os 94 valores do Atlântico e os 126 valores do Pacífico em poucos valores que representassem a mesma informação contida nos dados originais.

Isto foi realizado através de uma transformação via “autovetores de covariância”. Essa transformação é igual à análise de componentes principais, usando a matriz variância-covariância e não a matriz das correlações (vide, por exemplo, Chatfield e Collins, 1980). Faz-se uma transformação linear de dados correlacionados em uma região (no caso, TSMs em um oceano), de modo que obtém-se como resultado uma série de “componentes” ortogonais (não correlacionados):

$$\begin{aligned} z_{1,t} &= a_{1,1}x_{1,t} + a_{1,2}x_{2,t} + \dots + a_{1,n}x_{n,t}, & \text{componente 1;} \\ z_{2,t} &= a_{2,1}x_{1,t} + a_{2,2}x_{2,t} + \dots + a_{2,n}x_{n,t}, & \text{componente 2;} \\ &\dots & \\ z_{n,t} &= a_{n,1}x_{1,t} + a_{n,2}x_{2,t} + \dots + a_{n,n}x_{n,t}, & \text{componente } n; \end{aligned} \tag{2}$$

onde, $x_{i,t}$ são os valores observados das anomalias de TSM em cada ponto i da malha do oceano em consideração (ou seja, n valerá 94 para o Atlântico e 126 para o Pacífico), para cada ano t . Os coeficientes $a_{1,j}$ formam o autovetor do primeiro componente (ou o primeiro autovetor), os coeficientes $a_{2,j}$ formam o autovetor do segundo componente (ou o segundo autovetor), e assim por diante. O valor de $z_{k,t}$ encontrado quando substituindo os dados observados em cada ponto i da malha é chamado de “escore” do componente k para o ano t .

Em geral, a depender da correlação entre os dados originais, alguns poucos componentes explicam quase toda a variância dos dados e podem ser usados para representá-los. O método é útil, assim, para “compactar” um conjunto de dados originalmente grande em poucos componentes. No caso, transformou uma grande malha de dados em cada oceano em um número bem menor de componentes.

As séries de escores utilizadas pelo *Hadley Centre* e neste trabalho foram produzidas da seguinte forma: (a) os autovetores para cada oceano foram determinados

separadamente utilizando anomalias sazonais de TSM para o período 1901-80 (das quatro estações para o Atlântico, totalizando 320 valores para cada um dos 94 pontos, e da estação dezembro-fevereiro, para o Pacífico, ou seja, 80 valores para cada um dos 126 pontos); (b) a seguir, foram gerados escores mensais de cada componente, para cada ano, aplicando às equações 2 os valores observados mensais de anomalias de TSM (note-se que os autovetores são os mesmos para todos os anos).

Ward e Folland (1991) mostraram que escores produzidos por determinados autovetores estavam mais correlacionados a certos padrões de comportamento da circulação atmosférica, e dois deles explicavam relativamente bem a variabilidade interanual da precipitação sazonal no norte-NEB: o terceiro autovetor para o Atlântico e o primeiro autovetor para o Pacífico. Esses dois autovetores foram utilizados como preditores da precipitação sazonal no norte do Nordeste. O *Hadley Centre* forneceu, para fins de uso nesta pesquisa, as séries mensais dos seus escores. Neste texto, para simplificar a notação, se usará o termo “escores dos autovetores de TSM”.

O MÉTODO DE PREVISÃO

O método de previsão de precipitação sazonal utiliza análise discriminante linear (ADL) para relacionar temperaturas da superfície dos oceanos tropicais e a precipitação fevereiro-maio no norte do Nordeste e foi proposto pelo *Hadley Centre* (Ward e Folland, 1991). As previsões foram produzidas, neste trabalho, nas escalas regional e da bacia, calibrando o modelo sucessivamente usando as mesmas TSMs e dados de precipitação média para cada uma das escalas.

A precipitação sazonal é a acumulada no período fevereiro-maio. Através da ADL relacionam-se os escores de dois autovetores de anomalias de TSM (um para o Atlântico e outro para o Pacífico) aos valores das categorias de precipitação sazonal. O resultado da ADL são estimativas do valor das probabilidades associadas a cada uma das categorias da precipitação.

Neste trabalho, para os escores dos autovetores, usaram-se médias dos meses novembro, dezembro e janeiro, imediatamente anteriores à estação chuvosa fevereiro-maio cuja precipitação se espera prever. Obteve-se uma relação discriminante para a precipitação regional e outra para a precipitação da bacia. Para estabelecimento (calibragem) dessas relações utilizou-se o período 1911-63. Depois testaram-se as relações para o período 1964-88.

A ADL pode ser considerada como um método “categorizado probabilístico”. Estes métodos dividem a amplitude de variabilidade da precipitação sazonal em várias faixas, ou categorias, e emitem a previsão prescrevendo probabilidades de ocorrência para cada categoria. Este artifício na produção e divulgação da informação é utilizado em virtude da alta incerteza associada às previsões e é muito empregado atualmente para várias regiões do mundo. Na previsão para o norte do Nordeste, a maior parte dos métodos usa cinco categorias (Brito *et al.*, 1991; Ward e Folland, 1991; Repelli e Alves, 1994); para o leste do Nordeste, que apresenta previsibilidade mais baixa, três categorias têm sido empregadas (Brito *et al.*, 1994).

A ADL (Ward e Folland, 1991; Johnson e Wichern, 1998) usa o teorema de Bayes para estimar a probabilidade posterior associada a cada uma das cinco categorias de precipitação, dados os valores dos preditores. A formulação, considerando apenas um preditor, x , é:

$$P[Q_i | x] = \frac{q_i f_i(x)}{\sum_i q_i f_i(x)} \quad (3)$$

onde Q_i são as cinco categorias de precipitação; q_i é a probabilidade a priori da categoria i , que vale 0,2 para todas as categorias, equiprováveis neste caso; $f_i(x)$ é a probabilidade de se observar o valor x do preditor quando da ocorrência da categoria i de precipitação, sendo estimada da função densidade de probabilidade de x , para cada categoria, no período de calibragem do modelo. As distribuições de probabilidade das categorias são assumidas Normais com mesmo desvio padrão. Quando há mais de um preditor, como na situação estudada, supõe-se que eles não são correlacionados. As distribuições de probabilidade são assumidas como Normais multivariadas e a equação 3 é modificada para levar em conta a matriz de covariâncias dos preditores.

As análises foram executadas com o programa *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS), versão 6.

AVALIAÇÃO DAS PREVISÕES

O *índice de probabilidade ordenada* (*ranked probability score* – RPS, Wilks, 1995) foi aqui usado para avaliação da exatidão das previsões probabilísticas em categorias. É uma medida sensível à distância; ou seja, penaliza mais as previsões que prescrevam maiores probabilidades a categorias mais afastadas da categoria em que o evento realmente ocorreu. O RPS é função do quadrado dos erros, mas, para que seja sensível à distância, os erros são calculados em relação às probabilidades acumuladas nos vetores de valores previstos e observados. Sejam:

J , o número de categorias e portanto o número de probabilidades que constituem cada previsão;

y_i , as probabilidades previstas associadas às categorias i ($i=1, \dots, J$);

o_i , as probabilidades observadas para cada categoria ($i=1, \dots, J$); apenas uma categoria terá probabilidade 1 , a que contém o valor que foi observado, enquanto as outras têm valor 0 ;

Y_m , as probabilidades previstas acumuladas:

$$Y_m = \sum_{j=1}^m y_j \quad m = 1, \dots, J \quad (4)$$

O_m , as probabilidades observadas acumuladas:

$$O_m = \sum_{j=1}^m o_j \quad m = 1, \dots, J \quad (5)$$

O RPS de uma determinada previsão k é dado por:

$$RPS_k = \sum_{m=1}^J (Y_m - O_m)^2 \quad (6)$$

Para uma previsão perfeita, a probabilidade 1 seria atribuída a um único y_i ; os vetores previstos, y , e observados, o , seriam iguais e $RPS = 0$. O pior valor possível é $RPS = J - 1$, onde J é o número de categorias no qual o espaço de previsão é dividido. Se $J = 5$, caso das previsões neste trabalho, o pior valor é $RPS = 4$. Para uma previsão usando normais climatológicas, probabilidades 0,2 (no caso de 5 categorias) seriam atribuídas a cada categoria. Para uma série de n previsões, o RPS conjunto é definido como a média dos RPS das previsões individuais:

$$RPS = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n RPS_k \quad (7)$$

A *destreza* da previsão se refere à exatidão relativa de um conjunto de previsões em relação a um conjunto de previsões de referência. Neste trabalho a normal climatológica da variável que está sendo prevista foi empregada como referência e é também designada como “previsão climatológica” ou “climatologia”. A destreza é geralmente apresentada em forma percentual, interpretada como a melhoria percentual da previsão em análise em relação à previsão de referência. De forma genérica, a destreza para previsões caracterizadas por uma certa medida de desempenho A , em relação ao desempenho A_{ref} de um conjunto de previsões de referência, é dada por:

$$S_{ref} = 100 \frac{(A - A_{ref})}{(A_{perf} - A_{ref})} \quad (8)$$

onde A_{perf} é o valor da medida de desempenho que seria atingido no caso de previsões perfeitas. Se $A = A_{perf}$, a destreza atinge seu valor máximo de 100%. Se $A = A_{ref}$, então $S_{ref} = 0\%$, indicando que não houve melhoria sobre as previsões de referência. Se as previsões que estão sendo avaliadas forem inferiores às previsões de referência, $S_{ref} < 0\%$ (Wilks, 1995).

A destreza para o RPS pode ser expressa, considerando $RPS_{perf} = 0$, como:

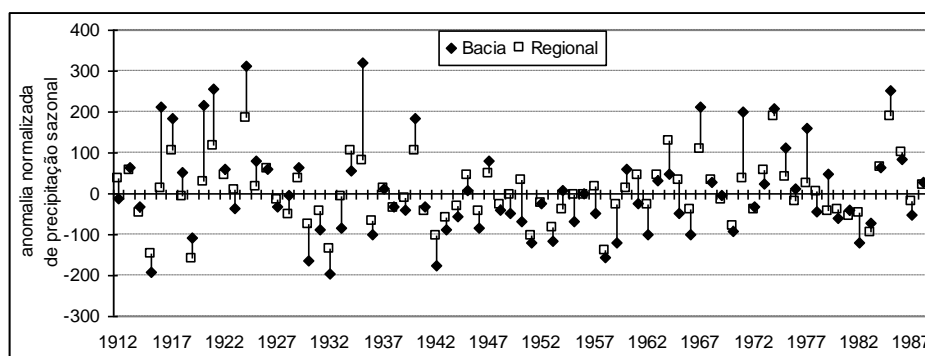
$$S_{ref} = 100 \left(1 - \frac{RPS}{RPS_{ref}} \right) \quad (9)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

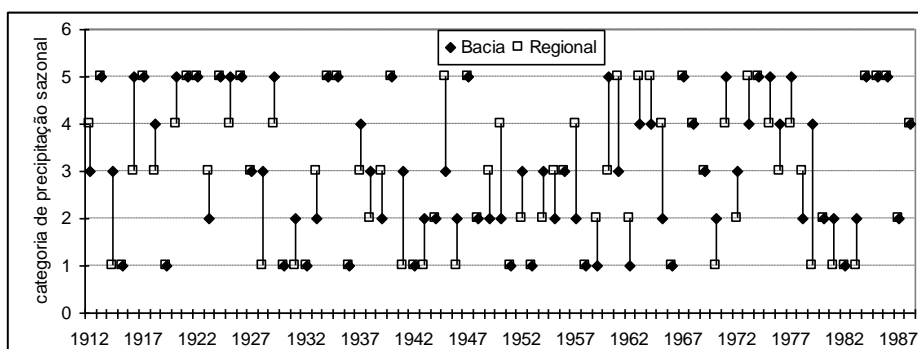
A abordagem utilizada para analisar a previsibilidade da precipitação nas duas escalas (regional e bacia) foi calibrar o modelo separadamente à série de categorias de anomalias de precipitação regional e à série de categorias de anomalias de precipitação da bacia do Piancó. Esta decisão foi baseada na hipótese de que os processos atmosféricos que determinam a variabilidade da precipitação na escala regional também devem ter

grande influência na variabilidade em pequena escala. A correlação relativamente alta – 0,82 – entre as séries de anomalias regionais e da bacia do Piancó incentivou o procedimento. Como pode-se perceber da Tabela 1 e da Figura 1a, a variabilidade das anomalias na escala da bacia é maior que na escala regional. Quando categorizadas (Figura 1b), as duas séries apresentam diferenças em 55% dos anos, o que implica em relações diferentes produzidas pela ADL, já que exatamente os mesmos preditores foram usados para as duas séries. Essas diferenças e a notória influência de fatores sub-regionais e locais, especialmente os topográficos, sobre a precipitação em menor escala (Nobre e Molion, 1988), sugerem perda de previsibilidade para a bacia em relação à região. Isto realmente foi confirmado pelos resultados (Tabela 2), com crescimento do índice RPS da ordem de um décimo para a bacia, em relação à região, o que significou uma perda de previsibilidade de cerca de 40%, medida pela destreza em relação à climatologia (que caiu de 29% para 17%, para 1912-88).

Uma abordagem alternativa para a transferência da previsão entre as duas escalas surge da pergunta: até que ponto as categorias previstas para toda a região poderiam ser utilizadas diretamente para a previsão da precipitação para a bacia do Piancó? Esta questão se justifica pelo problema, real, de não se dispor em tempo hábil dos valores dos escores dos autovetores de TSM para produção da previsão para a bacia, mas apenas das probabilidades da previsão regional divulgadas pelo *Hadley Centre*. Os resultados (Tabela 2) mostram que a destreza total, apesar de menor que em se usando o modelo adequadamente calibrado para a bacia, é positiva e pode potencialmente ser útil para aplicações.



a) em forma de anomalias normalizadas (%)



b) em forma de categorias

Figura 1 – Séries temporais de precipitação sazonal (fevereiro-maio) regional e da bacia do Piancó (1912-88): (a) em forma de anomalias normalizadas (%); (b) em forma de categorias.

Tabela 2 – Avaliação das previsões categorizadas probabilísticas para a precipitação sazonal (fevereiro-maio) usando ADL: (a) regional; e (b) para a bacia do Piancó.

	Calibragem	Validação	Total
a) previsões regionais:			
RPS da climatologia	0.88	0.89	0.88
RPS da ADL	0.67	0.53	0.63
Destreza sobre a climatologia	24%	40%	29%
b) previsões para a bacia do Piancó:			
RPS da climatologia	0.86	0.82	0.85
RPS da ADL para a bacia do Piancó	0.74	0.66	0.71
Destreza sobre a climatologia	15%	20%	17%
RPS da ADL regional aplicada à bacia	0.78	0.64	0.73
Destreza sobre a climatologia	9%	23%	14%

O uso da climatologia como previsão, assumido aqui como a previsão de referência, já produz o RPS médio de aproximadamente 0,9. Qualquer novo sistema de previsão, para ser aceito, deve pelo menos superar o desempenho da previsão de referência, no caso apresentando RPS menor que 0,9. As previsões por ADL, usando os preditores do *Hadley Centre*, superam em desempenho, como mostra a Tabela 2, as previsões de referência, tanto para a região quanto para a bacia. A destreza é uma medida, em termos percentuais, desta superação.

O desempenho do modelo, para os casos estudados, é sistematicamente menor no período de calibragem do que no de validação (Tabela 2). Em geral, pode-se esperar o contrário, ou seja, o modelo apresentar melhor desempenho para o período em que foi

calibrado. Ward e Folland (1991) apresentam resultados semelhantes: quando calibrando o modelo com dados de 1912-48, a destreza sobre o período 1949-85 foi de 34%, e de apenas 16% na situação inversa (destreza para 1912-48 do modelo calibrado para 1949-85). A razão deste comportamento pode estar na qualidade dos dados de TSM na primeira metade do século, segundo esses autores.

De fato, analisando as previsões para a bacia em maior detalhe (Figura 2), percebe-se que as probabilidades atribuídas pela ADL às categorias são mais difusas no período de calibragem (1911-63) do que no período de validação (1964-88). Esse mesmo padrão foi verificado nas previsões regionais.

Como esta abordagem foi devidamente validada pelo *Hadley Centre* (Ward e Folland, 1991), não houve preocupação, aqui, com aspectos de teste do método e preditores empregados. Apenas se observou dois destes aspectos durante a modelagem. A ADL supõe que os preditores não sejam correlacionados, e uma das características de uma boa discriminação é que a variabilidade “intra-grupo” seja significativamente menor que a variabilidade “inter-grupos” (Johnson e Wichern, 1998). O SPSS, programa empregado para execução da ADL, testa estes aspectos, para os quais não houve restrições em qualquer dos casos estudados.

Estes resultados do modelo do *Hadley Centre*, na forma como foi calibrado, tendem a apresentar destreza um pouco menor que a realmente alcançada quando empregado em tempo real. Uma razão para isto é que foi utilizada, como valores dos preditores, a média dos escores dos autovetores para o trimestre novembro-janeiro. Diversos autores, inclusive Ward e Folland (1991), reconhecem que o desempenho dos modelos de previsão está condicionado à persistência das anomalias de TSMs, empregadas na calibragem, durante a estação chuvosa. Assim, a utilização da TSM de janeiro, isoladamente, ao invés da média novembro-janeiro, tende a dar melhores resultados.

A razão de se ter empregado a média novembro-janeiro, seguindo o procedimento de Ward e Folland (1991), é que nas primeiras décadas do século as medições de TSM não cobriam razoavelmente todos os meses. Este motivo é também uma causa da possibilidade de aumento da previsibilidade em relação à calculada neste trabalho. Ward e Folland (1991) afirmam que as previsões em tempo real do *Hadley Centre* são produzidas combinando (através de média aritmética) estimativas realizadas utilizando vários diferentes períodos de treinamento. O período 1912-63, como já comentado acima, apresenta destreza menor que o período 1964-88. A melhoria na qualidade das previsões de TSM obtidas recentemente (vide, por exemplo, Pezzi *et al.*, 1998) pode também trazer melhoria de destreza aos modelos que as utilizam. Neste caso, ao invés do valor de janeiro, pode-se utilizar os valores previstos para a estação chuvosa. O modelo teria sido, também, calibrado com valores de TSM observados nos meses fevereiro-maio.

Além dessas razões para se esperar melhor destreza dos modelos estatísticos que a apresentada aqui, deve-se lembrar que utilização de outros preditores, além das TSMs do Atlântico e do Pacífico, tem trazido melhoria de destreza aos modelos da Universidade de Wisconsin (Hastenrath e Greischar, 1993; Greischar e Hastenrath, 1998). A

precipitação ocorrida na chamada pré-estação chuvosa (outubro-janeiro), por exemplo, apresenta correlação significativa com a precipitação fevereiro-maio.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos mostram que:

(a) a previsibilidade de um método empírico típico, como a Análise Discriminante Linear empregada pelo *Hadley Centre*, supera previsões usando a climatologia;

(b) a aplicação direta da previsão regional a uma bacia específica, apesar de superar a climatologia, não apresenta desempenho melhor que a de um modelo calibrado diretamente aos dados da bacia;

(c) as previsões de precipitação são potencialmente úteis para aplicações em recursos hídricos; e

(d) é importante a continuidade dos esforços de pesquisa que buscam melhorar a previsibilidade em menor escala.

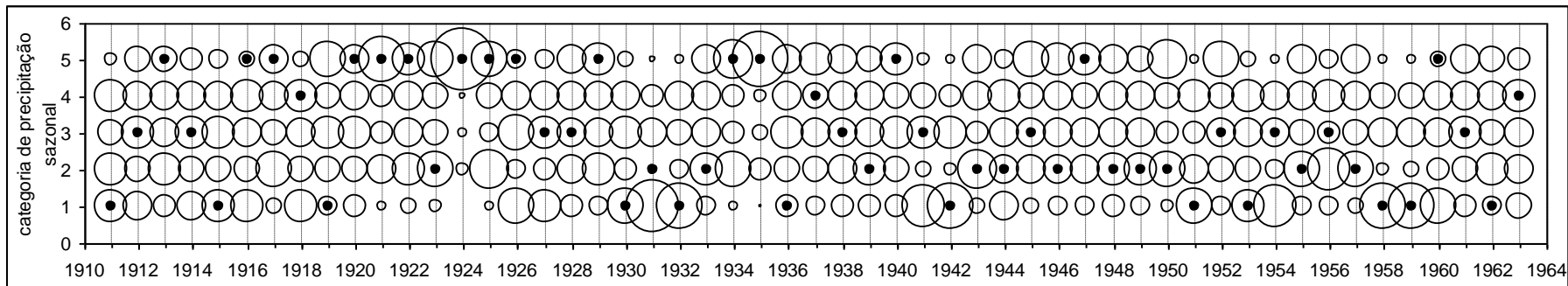
AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Hadley Centre for Climate Prediction and Reseach, ao Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica e ao Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal da Paraíba pela cessão dos dados utilizados neste estudo, e à CAPES pelo apoio aos autores durante a realização da pesquisa.

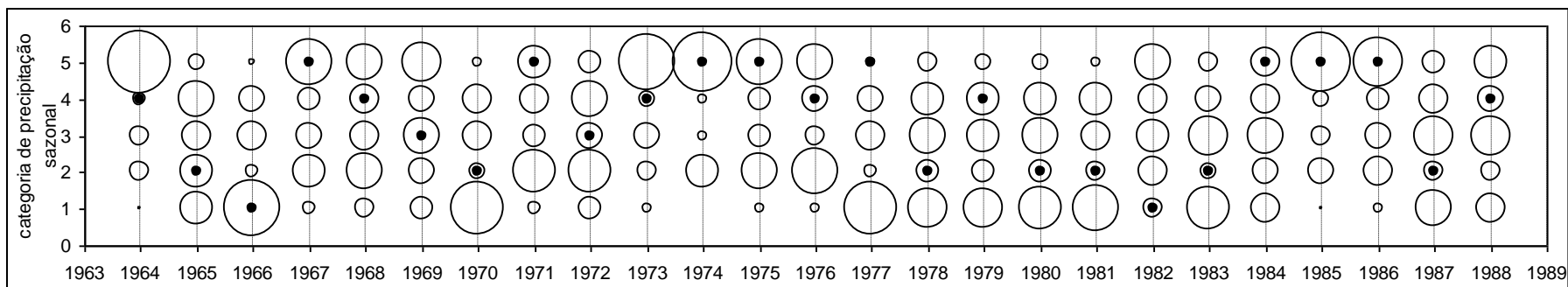
REFERÊNCIAS

- BRITO, J.I.B., NOBRE, C.A., ZARANZA, A.R. 1991. A precipitação da pré-estação chuvosa e a previsibilidade da estação chuvosa do norte do Nordeste. *Climanálise*, São José dos Campos, v.6, n.6, p.39-55.
- BRITO, J.I.B., SILVA JR., A.M., NOBRE, C.A. 1994. Modelo estatístico para previsão da precipitação de inverno no leste do Nordeste. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 8., 1994, Belo Horizonte. *Anais ...* Belo Horizonte: SBMET. v.1, p.502-504.
- CHATFIELD C., COLLINS, A.J. 1980. *Introduction to multivariate analysis*. London: Chapman and Hall.
- COLMAN, A. 1997. *Rainfall series and the Atlantic and Pacific SST indices used for the Hadley Centre's Northeast Brazil forecasts*. Bracknell: Hadley Centre for Climate Prediction and Research, 01 dezembro. [Comunicação pessoal].
- COLMAN, A., DAVEY, M., HARRISON, M., EVANS, T., EVANS, R. 1997. Multiple regression, discriminant analysis predictions of Mar-Apr-May 1997 rainfall in Northeast Brazil. *Experimental Long-lead Forecast Bulletin*, v.6, n.2. Disponível on-line em <http://nic.fb4.noaa.gov/products/predictions/experimental/bulletin/Mar97/A10.html>. 03 Dez 1998.
- COLMAN, A., DAVEY, M., HARRISON, M., EVANS, A. 1998. Prediction of March-April-May 1998 Rainfall in Northeast Brazil Using Input from Multiple Regression, Discriminant Analysis and an Atmospheric Global Circulation Model. *Experimental Long-lead Forecast Bulletin*, v.7, n.1. Disponível on-line em <http://grads.iges.org/ellfb/Mar98/co2.html>. 03 Dez 1998.
- GALVÃO, C.O. 1998. Previsão da precipitação sazonal e manejo dos recursos hídricos no Nordeste. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 4., 1998, Campina Grande. *Anais ...* Campina Grande: ABRH (em CD-ROM).
- GREISCHAR, L., HASTENRATH, S. 1998. Multiple Regression and Discriminant Analysis to Predict Mar-Apr-May-Jun 1998 Rainfall in Northeast Brazil. *Experimental Long-lead Forecast Bulletin*, v.7, n.1. Disponível on-line em <http://grads.iges.org/ellfb/Mar98/re.html>. 03 Dez 1998.
- HASTENRATH, S., GREISCHAR, L. 1993. Further work on the prediction of Northeast Brazil rainfall anomalies. *Journal of Climate*, Boston, v.6, p.743-758.
- JOHNSON, R.A., WICHERN, D.W. 1998. *Applied multivariate statistical analysis*. 4.ed. Englewood Cliffs: Prentice Hall.

- JONES, P.D., HULME, M. 1996. Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation: methods and illustrations. *International Journal of Climatology*, Chichester, v.16, p.361-377.
- MOLINIER, M., ALBUQUERQUE, C.H.C., CADIER, E. 1994. *Análise da pluviometria e isoietas homogeneizadas do Nordeste brasileiro*. Recife: SUDENE.
- NOBRE, C.A., MOLION, L.C.B. 1988. The climatology of droughts and drought prediction. In: PARRY, M.L., CARTER, T.R., KONIJN, N.T. (Ed.) *The Impact of Climate Variations on Agriculture*. Dordrecht: Kluwer:IIASA:UNEP. v.2, p.305-323.
- PEZZI, L.P., REPELLI, C.A., NOBRE, P., CAVALCANTI, I.F.A., SAMPAIO, G. 1998. Forecasts of Tropical Atlantic SST Anomalies Using a Statistical Ocean Model at CPTEC/INPE-Brazil. *Experimental Long-lead Forecast Bulletin*, v.7, n.1. Disponível on-line em <http://grads.iges.org/ellfb/Mar98/pez.html>. 03 Dez 1998.
- REPELLI, C.A., ALVES, J.M.B. 1994. O estado da arte da previsibilidade operacional da quadra chuvosa do setor norte do Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 8., 1994, Belo Horizonte. *Anais ... Belo Horizonte: SBMET*. v.3, p.438-442.
- SILVA, F.A.S., RAO, T.V.R. 1994. Regionalização referente à pluviosidade anual e sua distribuição intra-anual no estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.2, p.93-97.
- WARD, M.N., FOLLAND, C.K. 1991. Prediction of seasonal rainfall in the north Nordeste of Brazil using eigenvectors of sea-surface temperature. *International Journal of Climatology*, Chichester, v.11, p.711-743.
- WILKS, D.S. 1995. *Statistical methods in the atmospheric sciences*. San Diego: Academic Press.



a)



b)

Figura 2 – Previsão categorizada probabilística de precipitação sazonal (fevereiro-maio) na bacia do Piancó usando ADL: (a) período de calibragem; (b) período de validação. As categorias estão definidas na Tabela 1. Os círculos abertos representam as probabilidades previstas para cada categoria e seus tamanhos são proporcionais à magnitude das probabilidades (o círculo maior representa a probabilidade 1); o círculo preto assinala a categoria da precipitação observada.