



Desempenho de modelo climático aplicado à precipitação pluvial do Estado de Pernambuco

Bernardo B. da Silva¹, Maria A. F. Ferreira², Vicente de P. R. da Silva¹ & Rafael da C. Ferreira¹

RESUMO

Nesta pesquisa se analisou o desempenho de um modelo probabilístico de previsão climática aplicado à pluviometria do Estado de Pernambuco. Definiram-se quatro estações chuvosas (EC), subdivididas em dois períodos – inicial (X) e final (Y), para três mesorregiões do estado. A metodologia proposta consiste em ajustar as proporções Z_i (razão entre o total pluviométrico do período inicial (X_i) de cada EC e o total pluviométrico ($X_i + Y_i$) da correspondente EC), obtidas anualmente para séries temporais com 30 anos ou mais de duração à distribuição de probabilidade Beta, para prognosticar a precipitação pluviométrica mínima esperada a 80% de probabilidade para o período Y_i da EC. Utilizou-se o teste paramétrico Lilliefors para avaliar o ajuste do modelo probabilístico Beta a todas as amostras de Z_i . A validação do modelo foi verificada com dados de 1994 a 2002, para cada EC, em que os resultados evidenciaram bom ajuste da distribuição empírica ao modelo teórico Beta. Observou-se tendência de maior número de falhas nos prognósticos de Y_{min} em anos secos ou chuvosos e maiores acertos nos anos considerados normais; enfim, o índice de acerto foi superior a 80% nos prognósticos da precipitação mínima (Y_{min}) no período de validação do modelo.

Palavras-chave: distribuição Beta, prognóstico climático, clima do Nordeste

Performance of a climate forecast model applied to seasonal rainfall in the State of Pernambuco - Brazil

ABSTRACT

In this research the performance of a probabilistic climate forecast model applied to seasonal rainfall of Pernambuco State was assessed. Four rainy seasons (EC) were defined and each one was subdivided in two periods - initial (X_i) and final (Y_i) - for three mesoregions of Pernambuco State. The methodology proposed consisted in adjusting proportions of Z_i (ratio of accumulated rainfall of the first period (X_i) and the total rainfall of each EC ($X_i + Y_i$) in the corresponding EC, year by year, over a time series of at least 30 years, to the Beta distribution for obtaining the minimum accumulated rainfall expected at 80% probability level for the period Y_i of EC. The validation of the model was verified with data collected from 1994 to 2002 for each EC. The Lilliefors goodness-of-fit test was used to evaluate the adjustment of model for each set of Z_i values. Results showed a good agreement between the empirical distribution and Beta model. There was an increasing trend of lesser agreement in the prediction of Y_{min} during dry or rainy years and good agreement in years considered as normal. The performed model showed success in the prognostics of Y_{min} in more than 80% of the studied localities, over the validation period.

Key words: Beta distribution, climate forecast, Northeast climate

¹ UACA/UFPG - Av. Aprígio Veloso 822. Bairro Universitário. CEP 58429-900, Campina Grande, PB. E-mail: bernardo@dca.ufcg.edu.br; vicente@dca.ufcg.edu.br; rafael@dca.ufcg.edu.br

² Sistema de Proteção da Amazônia/Centro Técnico Operacional Manaus, Estrada do Turismo 1350. Tarumã. CEP 69049-630, Manaus, AM. E-mail: maria.ferreira@sipam.gov.br

INTRODUÇÃO

A região Nordeste do Brasil (NEB) é reconhecida em todo o mundo em virtude da grande variabilidade espaço-temporal do seu regime pluviométrico que tem, como consequência, secas severas e chuvas em excesso, em diferentes áreas da região (Silva et al., 2006). Os períodos de duração das secas e enchentes dependem do período de atuação, duração e intensidade e cobertura de eventos de grande escala, como o El Niño/Oscilação do Sul (ENOS) e do Dipolo do Atlântico.

Os sistemas atmosféricos e/ou oceânicos, responsáveis pela produção de chuva na região Nordeste do Brasil, têm sido intensamente estudados em diversas partes do mundo (Makham & McLain, 1977; Hastenrath & Heller, 1977; Kousky, 1979; Kousky & Gan, 1981; Moscati & Gan, 2007). Por outro lado, modelos estatísticos e/ou numéricos, destinados ao prognóstico climatológico das chuvas no NEB, há muito vêm sendo propostos por diversos pesquisadores (Walker, 1928; Girardi & Teixeira, 1978; Silva, 1988; Ward & Folland, 1991; Azevedo et al., 1998; Xavier et al., 1998; Galvão, 1999; Moura, 2001; Silva & Lima, 2004). Mais recentemente, o IRI - International Research Institute for Climate and Society, tem formulado prognósticos trimestrais da precipitação para diferentes continentes, em particular para a América do Sul, em que um dos seus principais produtos é o mapeamento da probabilidade associada a três categorias de chuva trimestral: abaixo da normal, normal e acima da normal. Em sua forma final, a resolução espacial é pouco refinada e não apresenta o prognóstico das alturas pluviais esperadas.

Desde a última década meteorologistas, pesquisadores e técnicos de instituições dos estados do NEB e do CPTEC/INPE, se reúnem regularmente nos primeiros meses que antecedem a quadra chuvosa da porção setentrional do NEB para elaborar previsões e análises dos campos globais oceânicos e atmosféricos, para suas diferentes regiões. A previsão é anunciada, pela primeira vez, em dezembro, para o período janeiro-março, e atualizada mensalmente. Apesar do bom desempenho qualitativo alcançado pelos modelos numéricos de previsão climática para esta região, ainda existe uma carência de informações em escala espacial menor, tal como estados, microrregiões ou municípios; neste sentido, o modelo climático proposto por Silva (1988) foi testado com êxito na pluviometria do Estado do Ceará (Azevedo et al., 1998), da região costeira do NEB (Santos et al., 2002) e do Estado da Paraíba (Silva & Lima, 2004) e se constatou que ele possibilita a estimativa da pluviometria de diferentes períodos da estação chuvosa de cada localidade com boa precisão; as vantagens deste método, são: a) o caráter espacial das previsões, uma vez que ele pode ser aplicado a localidades isoladas ou em áreas pluviometricamente homogêneas e b) o seu caráter temporal, pois diferentes datas-limite entre a precipitação ocorrida e a precipitação a ser prevista, dentro da estação chuvosa, podem ser usadas no modelo. Ademais, além das precipitações mínima e máxima esperadas a 80% de probabilidade, ou outro nível, pode-se obter, de forma precisa, a probabilidade de ocorrência de precipitação igual ou superior a um valor de interesse, inclusive a média histórica, com antecedência de três ou mais meses.

Pretende-se que o modelo de Silva (1988) venha, também, a ser usado nas avaliações realizadas por meteorologistas dos diferentes laboratórios estaduais de Meteorologia do NEB e do Brasil, em virtude de suas particularidades que, aliadas aos modelos numéricos atualmente em uso, podem resultar em prognósticos mais objetivos e com maior detalhamento espacial desse importante elemento climático. Neste contexto, a referida pesquisa objetiva avaliar o desempenho do modelo probabilístico de Silva (1988) no prognóstico das precipitações pluviais de diferentes mesorregiões do Estado de Pernambuco.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição da região de estudo

O Estado de Pernambuco está localizado na região Nordeste do Brasil e ocupa uma área de 98.938 km², o que representa 6,3% da área. Existem, pelo menos, três mesorregiões com regimes pluviais distintos no estado: Sertões, Agreste e Zona da Mata/Litoral. Nos Sertões, as chuvas máximas ocorrem nos meses de janeiro a abril (60 a 70% do total anual), sendo março o mês frequentemente mais chuvoso, enquanto o Agreste se caracteriza como região intermediária entre as áreas de climas úmidos e secos, com o setor ocidental tendo o seu principal período chuvoso de fevereiro a junho e o setor oriental de março a julho; a Zona da Mata/Litoral apresenta um período chuvoso mais longo que as demais mesorregiões, ou seja, seis meses (março a agosto), com 75 a 80% do total anual.

Base de dados

Utilizaram-se totais pluviométricos mensais de 94 postos pluviométricos localizados no Estado de Pernambuco (Figura 1) com, no mínimo, 30 anos de registros, contínuos ou não. Os dados pluviométricos que serviram de base ao estudo foram extraídos do banco de dados do Laboratório de Meteorologia de Pernambuco (LAMEPE) e da publicação de Séries Pluviométricas Mensais do Nordeste (SUDENE). Todas as localidades incluídas na pesquisa estão representadas, com suas respectivas coordenadas geográficas, na Tabela 1.

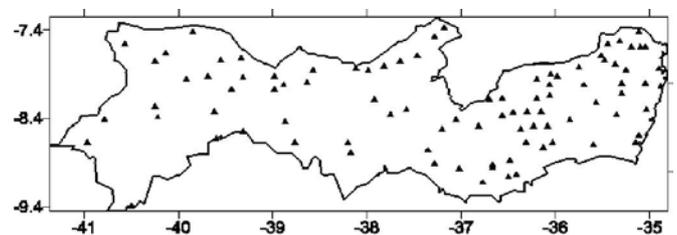


Figura 1. Distribuição espacial dos postos pluviométricos selecionados para o estudo

Modelo proposto por Silva (1988)

O modelo proposto por Silva (1988) estima os valores máximo e mínimo da precipitação pluviométrica da segunda metade (Y_i) da estação chuvosa (EC_i) de uma localidade ou

Tabela 1. Relação dos postos pluviométricos usados na pesquisa e suas respectivas coordenadas

Localidade	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Localidade	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Mesorregião do Sertão							
A.Ingazeira	7° 45'	37° 39'	525	Itapetim	7° 22'	37° 11'	630
Afrânio	8° 40'	40° 58'	500	Mirandiba	8° 01'	38° 53'	620
Araripina	7° 33'	40° 34'	620	Moreilândia	7° 44'	39° 33'	750
Coverde	8° 25'	37° 03'	663	Orocó	8° 37'	39° 36'	370
B.S.Francisco	8° 40'	38° 46'	365	Ouricuri	8° 23'	40° 13'	380
Bodocó	7° 57'	39° 55'	472	Parnamirim	8° 04'	39° 26'	427
Cabrobó	8° 32'	39° 19'	350	Petrolândia	8° 40'	38° 12'	390
Carnaíba	7° 48'	37° 49'	450	Petrolina	9° 23'	40° 30'	376
Cedro	7° 43'	39° 20'	610	Salgueiro	8° 4'	38° 59'	490
Custódia	8° 21'	37° 45'	500	Serrita	7° 56'	39° 19'	425
Dormentes	8° 25'	40° 47'	500	Sertânia	8° 18'	37° 35'	470
Exu	7° 25'	39° 51'	650	S.J.Belmonte	7° 59'	38° 38'	450
Flores	7° 51'	37° 59'	460	S.J.Egito	7° 28'	37° 17'	575
Floresta	8° 26'	38° 52'	350	S.C.Venerada	8° 16'	40° 15'	489
Granito	7° 55'	39° 41'	520	Serra Talhada	7° 51'	38° 34'	550
Ipupi	7° 39'	40° 08'	560	Tabira	7° 41'	37° 28'	550
Triunfo	7° 50'	38° 07'	1010	Tacaratu	8° 47'	38° 10'	390
Verdejante	7° 55'	38° 59'	455	Trindade	7° 45'	40° 15'	450
Mesorregião do Agreste							
Aguas Belas	8° 58'	37° 01'	500	Lajedo	8° 40'	36° 19'	663
Alagoinha	8° 29'	36° 49'	762	Macaparana	7° 33'	35° 27'	350
Altinho	8° 29'	36° 05'	470	Machados	7° 41'	35° 31'	320
Belo Jardim	8° 20'	36° 27'	616	Panelas	8° 40'	36° 02'	620
Betânia	8° 11'	37° 55'	480	Paranatama	8° 55'	36° 40'	830
Brejão	9° 03'	36° 30'	620	Pedras	8° 19'	39° 37'	550
B.M.Deus	8° 10'	36° 12'	509	Pesqueira	8° 10'	36° 34'	770
B. Conselho	9° 07'	36° 46'	487	Porção	8° 11'	36° 42'	1035
Bom Jardim	7° 44'	35° 29'	200	Saloá	8° 57'	36° 40'	850
Buenos Aires	7° 47'	35° 22'	150	Sanharó	8° 22'	36° 34'	653
Buique	8° 31'	37° 12'	655	S.C.Capibaribe	7° 57'	36° 12'	472
Cachoeirinha	8° 29'	36° 14'	780	S.B.Una	8° 31'	36° 22'	645
Caruaru	8° 08'	36° 04'	501	S.Caetano	8° 19'	36° 09'	552
Condado	7° 35'	35° 06'	95	S.J.Monte	8° 25'	35° 51'	501
Correntes	9° 02'	36° 25'	624	Surubim	7° 49'	35° 45'	380
Cumarú	8° 01'	35° 42'	395	Tacaimbó	8° 19'	36° 18'	570
Garanhuns	8° 52'	36° 29'	866	Taquaritinga N	7° 54'	36° 03'	785
Gravatá	8° 13'	35° 34'	447	Toritama	8° 01'	36° 04'	376
Ibirajuba	8° 13'	35° 34'	447	Tupanatinga	8° 45'	37° 21'	709
Itaíba	8° 54'	37° 17'	510	Vertentes	7° 55'	35° 59'	401
Jurema	8° 43'	36° 08'	640				
Mesorregião da Zona da Mata / Litoral							
Aliança	7° 35'	35° 12'	060	Palmares	8° 41'	35° 36'	109
Buenos Aires	7° 47'	35° 22'	150	Primavera	8° 21'	35° 21'	156
Cabo	8° 18'	35° 02'	030	Recife	8° 02'	34° 53'	004
Carpina	7° 51'	35° 15'	184	Rio Formoso	8° 40'	35° 09'	039
Condado	7° 35'	35° 03'	095	São L. da Mata	8° 00'	35° 03'	070
Igarassu	7° 50'	34° 54'	022	Sirinhaem	8° 35'	35° 07'	049
Itambé	7° 25'	35° 07'	190	Timbaúba	7° 31'	35° 19'	190
Glória Goitá	8° 00'	35° 18'	200	Vit. S. Antão	8° 07'	35° 18'	137

região; ele se baseia na precipitação acumulada na primeira metade (X_i) da EC e em parâmetros estatísticos (primeiro e quarto quintis) da série temporal da proporção Z_i , definida como a razão entre X_i e $(X_i + Y_i)$. O cerne do modelo consiste na utilização do conceito de quintil e da proporção Z_i , que envolve a precipitação pluvial de uma porção inicial (X_i) da EC na previsão do valor esperado para a parte restante (Y_i)

da EC; ele foi concebido quando se investigava uma possível explicação científica para a experiência e/ou crença popular associada à ocorrência de chuvas na maior parte da região Nordeste do Brasil no dia de São José (19 de março), e sua relação com as chuvas da estação chuvosa da região. O primeiro passo se resume na identificação EC da localidade ou área de interesse; em seguida se procede à escolha do

período X, que pode ser chamado primeira parte da EC; uma vez escolhidos os meses que constituem X, fica automaticamente identificado o período Y, ou seja, a segunda parte da EC; a etapa seguinte consiste na composição da série temporal das proporções Z_i , que exprimem a contribuição oferecida por X_i para o total da EC; de cada ano da localidade estudada. De posse dos valores de Z, procede-se ao cálculo dos quintis, com base no modelo probabilístico Beta.

Se Q_4 é o quarto quintil das proporções Z_i , pode-se afirmar que a probabilidade de ocorrência de valores de Z_i menores ou iguais a Q_4 , é de 80%; assim, para um ano escolhido ao acaso, tem-se que:

$$Z_i = \frac{X_i}{(X_i + Y_i)} \leq Q_4 \tag{1}$$

em que X_i e Y_i correspondem à precipitação ocorrida no primeiro e segundo períodos da EC_i daquele ano particular; desenvolvendo a Eq. (1), obtém-se o total pluviométrico mínimo esperado a nível de 80% de probabilidade, por:

$$Y_{\min} = X_i \left[\frac{(1 - Q_4)}{Q_4} \right] \tag{2}$$

Função densidade de probabilidade Beta

A determinação dos quintis usados nos prognósticos é feita mediante o modelo probabilístico Beta; neste sentido, uma variável aleatória Z, contínua e independente, com valores situados entre zero e um, se distribui segundo o modelo probabilístico Beta, se a sua Função Densidade de Probabilidade (FDP) for do tipo (Wilks, 2006):

$$f(Z_i) = \frac{\Gamma(a+b)}{\Gamma(a)\Gamma(b)} Z_i^{(a-1)} (1-Z_i)^{(b-1)} \tag{3}$$

em que a e b são os parâmetros do modelo e $\Gamma(a)$ é a função matemática Gama, definida por:

$$\Gamma(a) = \int_0^\infty x^{(a-1)} \exp(-x) dx \tag{4}$$

Na estimativa dos parâmetros do modelo Beta utilizou-se o método de máxima verossimilhança, segundo solução proposta por Mielke Jr. (1976), que tem sido utilizada em vários estudos (Azevedo et al., 1998; Santos et al., 2002; Silva & Lima, 2004; Watts & Kalkstein, 2004).

Conhecidos os parâmetros do modelo Beta associados às proporções Z_i da EC de cada localidade e/ou região estudada, procedeu-se ao cômputo do quarto quintil dessas proporções, mediante integração numérica de $f(z)$ e subsequente cálculo da Y_{\min} de cada EC.

O ajustamento entre a distribuição de frequência acumulada dos Z_i observados e aquela gerada pelo modelo Beta foi avaliado segundo o teste paramétrico de Lilliefors, a nível de significância $\mu = 0,05$ (Wilks, 2006).

Definição da estação chuvosa no Estado de Pernambuco

Consideraram-se três mesorregiões de estudo: Sertões, Agreste e Zona da Mata/Litoral, e se escolheram quatro es-

tações chuvosas (Tabela 2), dentre as quais duas para os Sertões, uma para o Agreste e uma para a Zona da Mata/Litoral, cujos prognósticos foram fixados em três meses, em virtude da sua utilização nas previsões climáticas realizadas pelo Laboratório de Meteorologia de Pernambuco – LAMEPE; porém, uma das vantagens desse modelo é a variação dos períodos inicial e final dentro do período chuvoso.

Tabela 2. Estações chuvosas das mesorregiões dos Sertões (EC – 01), Sertões (EC – 02), Agreste (EC – 03) e Zona da Mata Litoral (EC – 04) com respectivos meses dos períodos inicial (X1) e final (Y1)

	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Mesorregiões
EC-01	Sertões
EC-02	Sertões
EC-03	Agreste
EC-04	Zona da Mata e Litoral

A Estação Chuvosa 01 (EC-01) compreende as microrregiões de Araripina, Petrolina e Itaparica, localizadas no setor sul e oeste do Estado de Pernambuco, mais precisamente na mesorregião dos Sertões incluindo os meses de dezembro a abril; analisaram-se, também, postos dos Sertões, compreendendo a Estação Chuvosa 02 (EC-02), formada pelos meses de janeiro-fevereiro-março-abril-maio; a Estação Chuvosa 03 (EC-03), tem, como período chuvoso, os meses de fevereiro-março-abril-maio-junho-julho; e, finalmente, a Estação Chuvosa 04 (EC-04), que compreende os meses de março a agosto.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em todas as ECs e localidades estudadas a hipótese nula, ou seja, a de que as amostras dos Z_i se distribuem segundo a Função de Distribuição Acumulada Beta, foi aceita através do teste paramétrico de Lilliefors, a nível de significância de 5%, exceto Orocó, na EC-02 e Machados na EC-03.

Para a estação chuvosa EC-01, que compreende os meses de dezembro a abril ($X_1 = \text{dez-jan}$ e $Y_1 = \text{fev-mar-abr}$), foram analisados 19 postos pluviométricos. Em todas as amostras estudadas o modelo Beta se ajustou adequadamente aos dados amostrais, para o nível de significância considerado, com o menor e maior valor de D_{\max} (desvio máximo entre as distribuições teórica - Beta e empírica - Kimball), com valores de 0,051 e 0,109 para Floresta e Trindade, respectivamente.

Na Figura 2 está representado o gráfico Percentil x Percentil da Frequência Kimball versus Função de Distribuição de Probabilidade Beta, com vistas à inspeção do ajuste dos dados empíricos àqueles obtidos pela distribuição Beta, para algumas localidades da EC-01.

Todos os postos dos Sertões foram incluídos na EC-02, resultando em 41 amostras de Z_i . O teste de Lilliefors confirmou o ajustamento do modelo Beta aos valores amostrais Z_i e os melhores ajustes ocorreram em Petrolândia ($D_{\max} = 0,051$) e Serra Talhada ($D_{\max} = 0,051$); por outro lado, os maiores

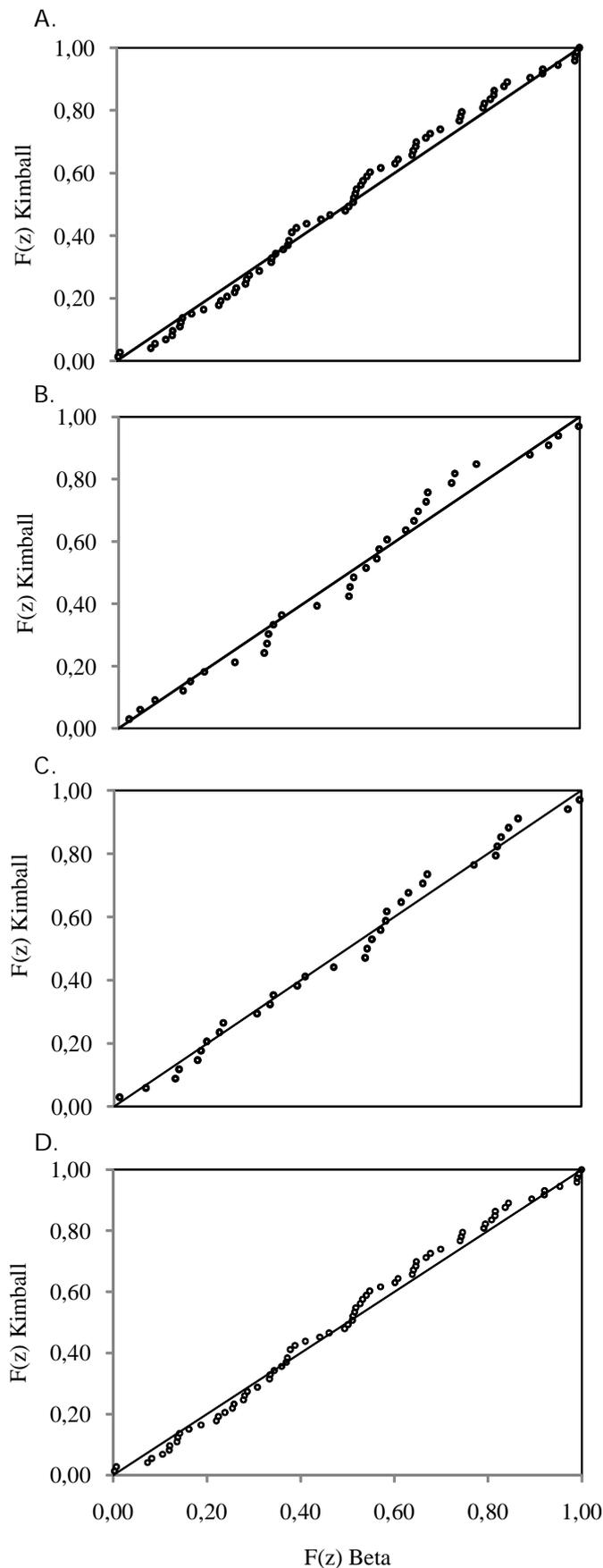


Figura 2. Gráfico Percentil x Percentil da Frequência Kimball versus Distribuição de Probabilidade Beta para a EC-01 nas localidades: A. Bodocó, B. Granito, C. Ipubi e D. Ouricuri

valores de D_{max} foram observados em Orocó ($D_{max} = 0,187$) e em Dormentes ($D_{max} = 0,135$), justamente onde se verificou o menor número de anos com dados. Apresenta-se, na Figura 3, o gráfico Percentil x Percentil de alguns postos da Estação EC-02.

Todos os 40 postos pluviométricos da Mesorregião do Agreste Pernambucano (EC-03) foram analisados, sendo que o primeiro período dessa estação chuvosa compreende os meses de fev-mar-abr e o segundo período, os meses de mai-jun-jul. O teste de ajustamento Lilliefors demonstrou boa adequação do modelo aos dados amostrais de Z_i . Verificaram-se os menores valores de D_{max} nas localidades de São Joaquim do Monte (0,040), Correntes (0,044) e Águas Belas (0,046) e o maior em Machados (0,145). A representação gráfica dos ajustes entre a Função de Distribuição Beta e a Frequência Kimball, para algumas localidades da EC-03, pode ser vista na Figura 4.

Na Estação Chuvosa EC-04, que engloba os meses de março a agosto, analisaram-se 15 postos da Mesorregião Zona da Mata/Litoral. Em todas as amostras o teste Lilliefors demonstrou o bom ajuste do modelo Beta aos dados empíricos, verificando-se que os menores valores de D_{max} ocorreram nas localidades de Vitória de Santo Antão (0,038) e Timbaúba (0,043). O ajuste da Função de Distribuição Beta Acumulada aos dados da Frequência Kimball para algumas localidades da EC-04, pode ser visto na Figura 5.

Para validar o modelo foi oportuno efetuar estimativas de Y_{min} para o período de 1994 a 2002, nos postos das mesorregiões consideradas e para cada estação chuvosa; elaboraram-se tabelas com os valores dos Y_{min} prognosticados para o período Y e as precipitações observadas neste período, enquanto na Tabela 3 se apresentaram os prognósticos e valores observados na estação chuvosa EC-01 para os postos de três microrregiões (Araripina, Petrolina e Itaparica) dos Sertões de Pernambuco.

Através da análise individual do desempenho do modelo no prognóstico de Y_{min} da EC-01, observam-se acertos em 100% dos prognósticos nos anos de 1996, 2000 e 2001, ou seja, em todos os postos da EC-01 a precipitação pluvial observada no período março-abril-maio foi superior ao valor do Y_{min} prognosticado; anos em que ocorreram eventos de La Niña, com intensidade moderada e o Dipolo do Atlântico estava favorável à ocorrência de chuvas no NEB; referidos fatores caracterizam esta EC dentro da faixa normal nos anos de 1996 e 2000 e como seca no ano de 2001; tanto na primeira quanto na segunda parte da EC-01 as chuvas foram irregulares mas, mesmo assim, o modelo apresentou excelente desempenho.

Nos anos de 1995, 1997 e 1999 ocorreu apenas uma falha em cada ano da EC-01 e o índice de acerto foi de 95%. Verificou-se ocorrência de El Niño moderado e Dipolo favorável em 1995 e de La Niña em 1997 e em 1999. A classificação da EC-01 foi dentro da normal em 1995 e 1997 e como seca, em 1999; em 1994 verificou-se índice de 85% de acerto, com El Niño moderado e um Dipolo favorável no Atlântico Tropical; foi boa a atuação da ZCIT nesse ano e a classificação da EC-01 se apresentou dentro da faixa normal; já no ano de 1998 a percentagem de acerto foi baixa, sendo que em 25% dos pos-

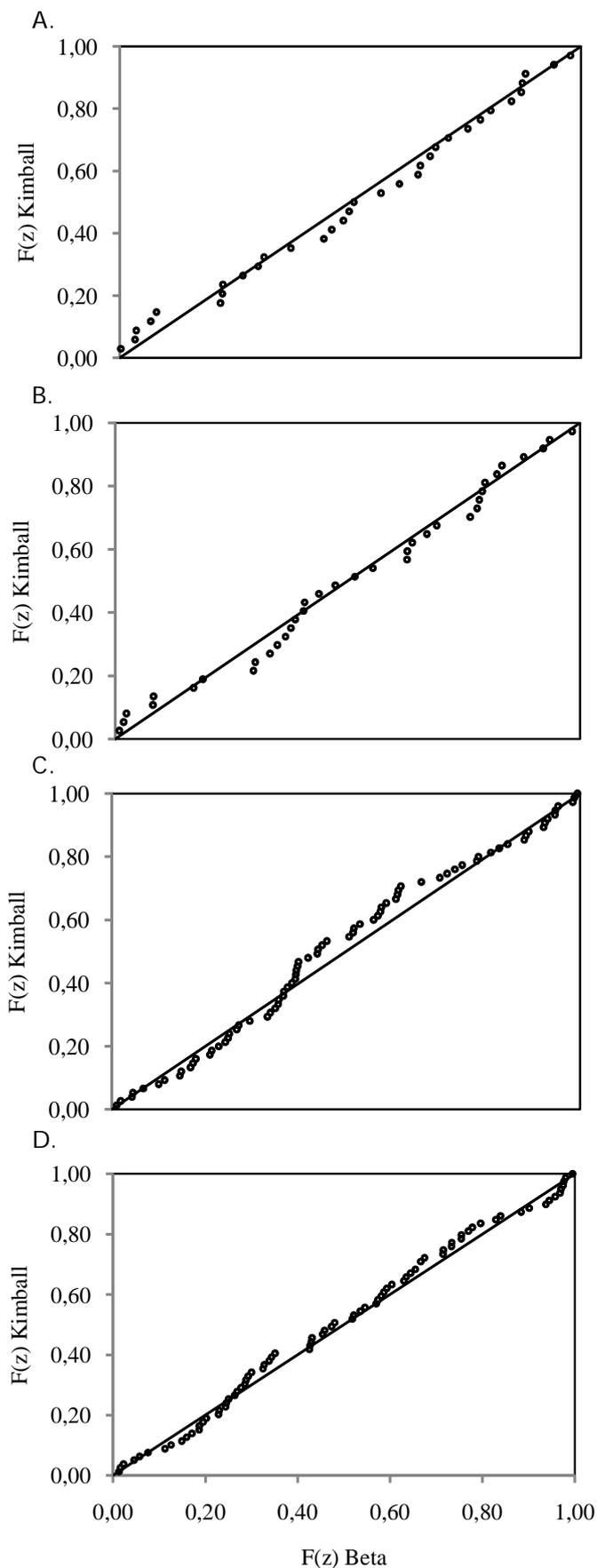


Figura 3. Gráfico Percentil x Percentil da Frequência Kimball versus Distribuição de Probabilidade Beta para a EC-02 nas localidades: A. Carnaíba, B. Cedro, C. Ouricuri e D. Petrolina

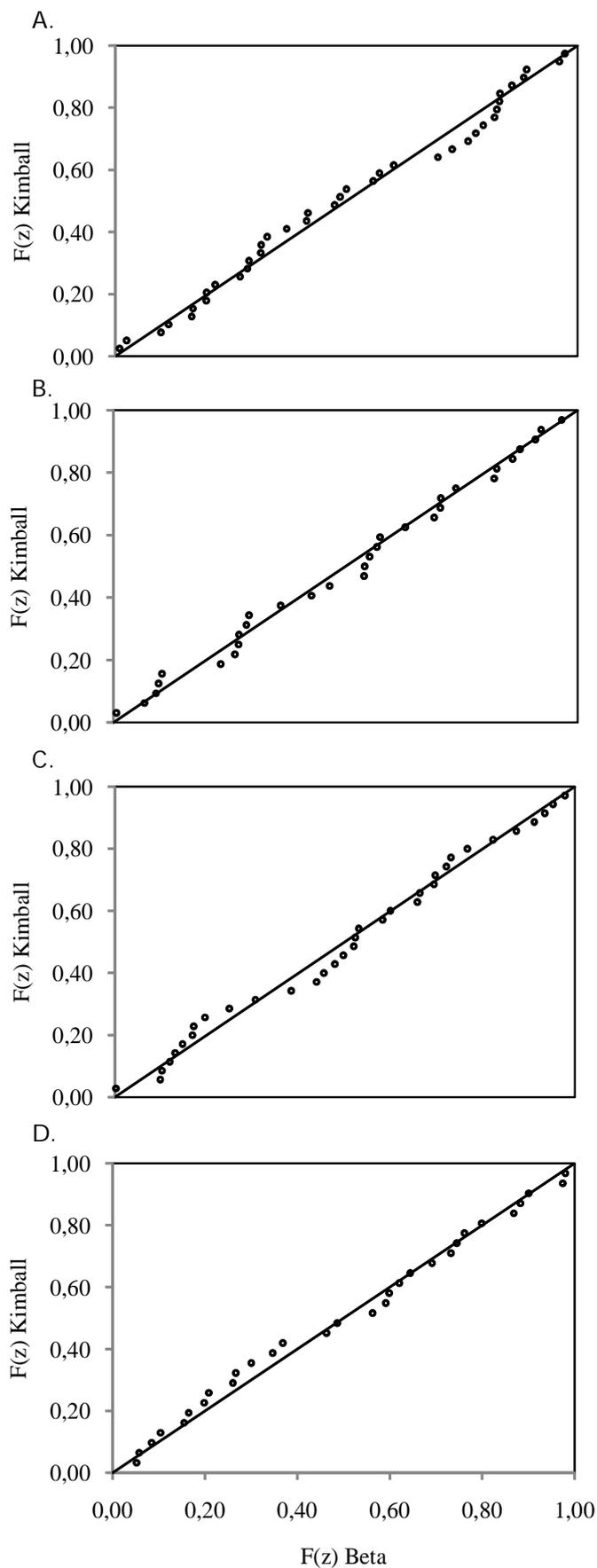


Figura 4. Gráfico Percentil x Percentil da Frequência Kimball versus Distribuição de Probabilidade Beta para a EC-03 nas localidades: A. Alagoinha, B. Belo Jardim, C. Cachoeirinha e D. Jurema

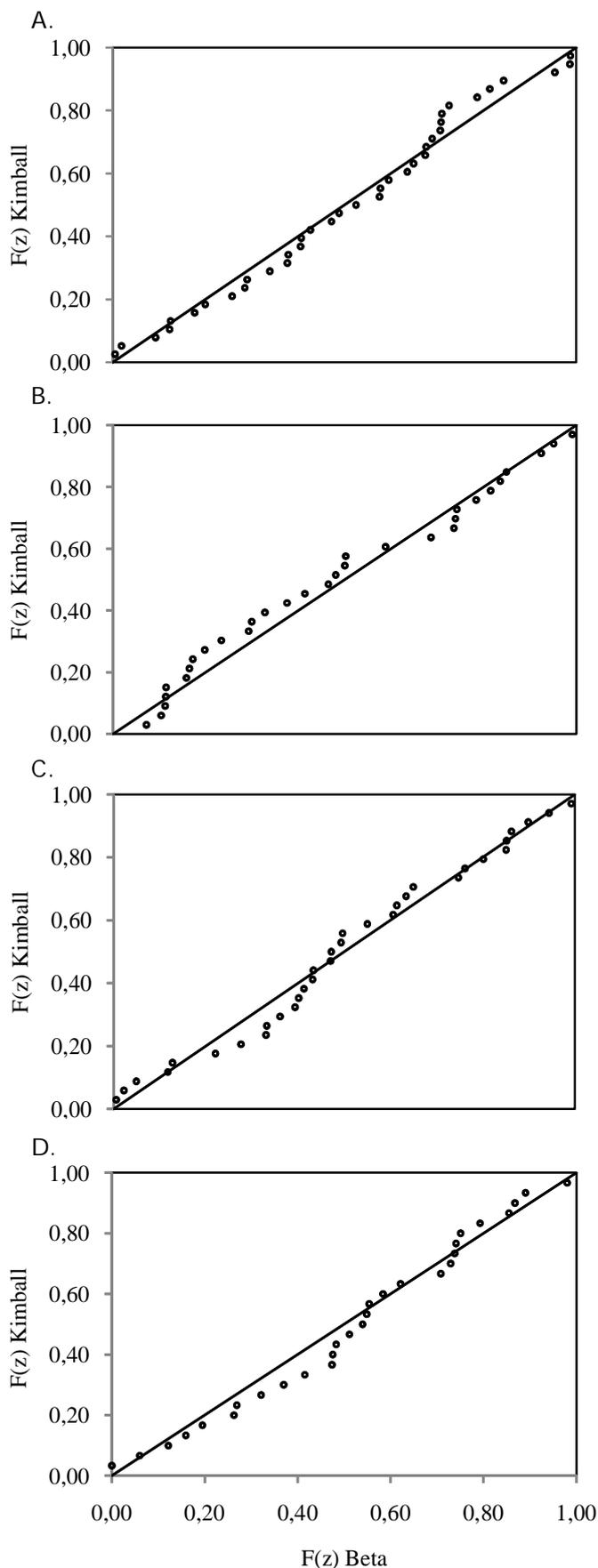


Figura 5. Gráfico Percentil x Percentil da Frequência Kimball versus Distribuição de Probabilidade Beta para a EC-04 nas localidades: A. Aliança, B. Buenos Aires, C. Condado e D. Primavera

tos analisados a precipitação pluvial observada ficou muito próxima da prevista, resultando 50% de falhas; embora 1998 tenha sido marcado por uma seca severa devido à ocorrência de um forte El Niño, que reduziu a precipitação em todo o Nordeste do Brasil e apesar dos valores prognosticados terem apresentado valores baixos, a precipitação observada foi inferior à Y_{min} ; este alto índice de falhas em anos extremamente secos também foi verificado por Silva & Lima (2004), quando aplicaram o modelo Silva (1998) para o Estado da Paraíba.

No ano de 2002 houve falha em 100% dos postos na EC-01; tanto no oceano Pacífico como no Atlântico Tropical as condições de TSMs eram neutras porém chuvas extremas, muito acima do normal, ocorreram no mês de janeiro. Como no modelo os parâmetros estatísticos são constantes, a variação dos prognósticos está relacionada à precipitação do primeiro período que, em 2002, foi extremamente elevada, resultando que Y_{min} tivesse valor muito alto; desta forma, há indícios de que nos anos muito secos ou muito chuvosos, com chuvas concentradas em apenas um mês, os resultados do modelo sejam fora da faixa de 80% de probabilidade de acerto, apresentando um número bastante alto de falhas.

Fazendo-se uma análise temporal, posto a posto, verificou-se que em 45% dos postos pluviométricos houve acerto de prognóstico em 100% dos anos; em 45% do total dos postos ocorreu um ano com falha, resultando em 77,8% de acertos e em 10% dos postos restantes os acertos foram de 77,8%, com ocorrência de dois anos de falha.

Com relação aos acertos dos prognósticos por microrregiões, verificou-se que a microrregião onde o modelo apresentou o melhor desempenho, proporcionalmente ao número de postos analisados, foi a de Itaparica, com um índice de acertos de 82,9%; as microrregiões de Petrolina e Araripina mostraram índices de acerto de 80,4 e 77,8%, respectivamente, resultados que demonstram uma boa adequação do modelo para o prognóstico da precipitação mínima da EC-01, quando aplicado às microrregiões Petrolina, Itaparica e Araripina.

Para a EC-2 verifica-se que nos anos de 1995, 1996, 1997 e 2001 a precipitação observada (Y_2) em 100% dos postos ficou acima do mínimo prognosticado (Y_{min}), com acertos em mais de 80% nos anos de 1994, 1999 e 2000; por outro lado, nos anos de 1998 e 2002 apenas 35% dos postos pluviométricos apresentaram acertos nos prognóstico de Y_{min} , cujos resultados, com altos índices de falha nos anos de 1998 e 2001, também foram observados na EC-01 e ocorreram devido aos mesmos fatores explicados naquela seção, indicando que o modelo, excetuando-se anos de extremos, pode ser utilizado para prognóstico de Y_{min} nos Sertões de Pernambucano, na EC-02, com boa precisão.

Analisando o desempenho do modelo, posto-a-posto, verificou-se que em 12,5%, ocorreram acertos em 100% dos anos utilizados para validação do modelo; em 15% dos postos ocorreu apenas uma falha, resultando em um índice de acerto de 88,9%; em 35% ocorreram duas falhas, que representam 77,8% de anos com acertos de prognósticos; em 15% houve acertos em 66,7% dos anos e em apenas em dois postos, que representam 5% do total de postos, o índice de acertos foi de 55,6%. De maneira geral, o índice de acerto de Y_{min} para a

Tabela 3. Precipitação pluvial prevista (Y_{\min}) e observada (Y_{ano}) nos postos pluviométricos da EC-01 e Sertões, nos anos de 1994 a 2002

Sertões	Y_{\min}	Y_{1994}	Y_{\min}	Y_{1995}	Y_{\min}	Y_{1996}	Y_{\min}	Y_{1997}	Y_{\min}	Y_{1998}	Y_{\min}	Y_{1999}	Y_{\min}	Y_{2000}	Y_{\min}	Y_{2001}	Y_{\min}	Y_{2002}
Araripina	152	340	64	370	154	55	55	265	232	310	164	329	254	400	184	303	396	215
Bodocó	231	285	260	386	162	114	114	322	196	125	267	378	182	243	90	274	612	128
Exu	178	307	334	329	349	182	182	284	236	126	210	301	245	498	153	320	258	212
Granito	200	305	85	320	131	141	141	308	170	131	135	309	125	228	135	186	563	111
Ipubi	208	212	157	257	187	204	204	236	187	118	190	227	91	194	224	350	656	150
Moreilândia	406	324	310	246	367	118	118	268	172	150	188	247	245	266	75	171	371	84
Ouricuri	265	270	127	333	155	200	200	307	228	124	145	254	233	223	216	374	631	88
S.C.Venerada	107	103	115	421	152	109	109	406	162	109	54	176	80	252	127	159	413	105
Trindade	144	175	177	255	193	142	142	294	89	115	49	162	191	127	131	230	515	81
Afrânio	198	226	78	330	125	261	261	460	169	130	279	354	146	308	99	146	100	42
Cabrobó	129	251	18	208	25	98	98	206	65	115	36	133	115	213	52	238	234	150
Dormentes	246	158	72	400	82	127	127	312	127	110	69	177	127	199	66	83	493	53
Orocó	102	240	37	245	12	144	144	157	128	129	54	140	55	263	128	128	241	118
Petrolina	114	247	149	377	3	114	114	267	65	61	79	199	124	279	96	172	269	62
S.M.B.Vista	102	250	47	261	32	137	137	148	42	42	90	142	188	324	131	148	424	96
Terra Nova	184	346	127	459	84	328	328	210	151	75	105	163	206	512	144	323	440	83
B.S.Francisco	63	221	50	238	18	94	94	116	38	28	103	165	120	253	69	205	347	178
Floresta I	65	404	42	217	32	88	88	312	165	31	109	60	154	274	131	316	404	84
Petrolândia	4	242	65	120	5	70	70	346	26	24	7	57	66	210	70	133	107	68
Tacaratu	25	134	82	191	26	88	88	725	==	==	11	26	45	224	63	174	294	75

EC-02 foi de 80,8% e, desta forma, os resultados obtidos pelo modelo estão dentro do esperado, mostrando bom desempenho do modelo.

Verificou-se, analisando o desempenho do modelo na estação EC-03, acerto de 100% dos prognósticos nos anos de 1994, 1995, 2001 e 2002, enquanto em 1997, 1998, 1999 e 2000 ocorreu falha em apenas um posto, o que resultou em um índice de acerto de 97,2%; em 1996, a percentagem de acerto foi de 88,9%, com ocorrência de 4 falhas; por outro lado se constatou, na análise temporal de cada posto, que em 77,8% dos postos houve acerto de prognósticos em 100% dos anos mas nos outros 22,2% dos postos ocorreu apenas um ano de falha, resultando em 88,9% de acertos.

Na Estação chuvosa EC-04 se estudou o período chuvoso do Litoral e da Zona da Mata do Estado de Pernambuco, que compreende os meses de março a agosto e se notou que os prognósticos tiveram 100% de acerto nos anos de 1994, 1995, 1998, 1999, 2000, 2001 e 2002, embora no ano de 1996 tenha ocorrido apenas uma falha de prognóstico, resultando em um índice de acerto de 94,1% porém; no ano de 1997, apenas em dois postos a precipitação pluvial esteve próxima do mínimo esperado e o índice de acerto foi de 11,8%. A explicação para o alto índice de falhas está no fato de que, no segundo período da estação chuvosa (EC-04) de 1997, já estava atuando um forte El Niño, o que fez com a precipitação pluvial em Y4 fosse reduzida substancialmente.

Verificou-se, analisando-se o desempenho do modelo em cada posto, que em apenas um posto da EC-04 houve acerto em 100% dos anos; também foram constatadas, em um posto, duas falhas, correspondendo a um índice de acerto de 77,8% dos anos; em todos os outros postos analisados (88,8% dos postos), ocorreu um ano com falha, referente a acertos em 88,9% dos anos; resultados que

demonstram um desempenho bastante expressivo, haja vista que em mais de 90% dos postos o índice de acerto foi maior que 88%.

De acordo com a análise dos resultados da EC-04, o modelo proporcionou resultados muito consistentes, mostrando bom desempenho quando também aplicado na Zona da Mata - Litoral de Pernambuco.

O desempenho alcançado pelo modelo quando aplicado a diferentes regimes pluviais do Estado de Pernambuco, foi muito satisfatório e corrobora com resultados obtidos em relação à pluviometria do Estado do Ceará (Azevedo et al., 1998), postos da costa leste do NEB (Santos et al., 2002) e regimes pluviais do Estado da Paraíba (Silva & Lima, 2004), o que evidencia ser o mesmo elemento importante na tomada de decisão por gestão em recursos hídricos e agricultura desses Estados.

CONCLUSÕES

1. As distribuições de frequência das proporções Z_i apresentaram ajustes satisfatórios ao modelo probabilístico Beta, de acordo com os resultados do teste paramétrico Lilliefors, para todos os postos analisados nas diferentes estações chuvosas do Estado de Pernambuco.
2. O índice de acerto nos prognósticos da precipitação pluvial mínima esperada superou os 80%, quando avaliado para cada EC.
3. Em anos extremamente secos e anos de El Niño fortes, há tendência de maior número de falhas nos prognósticos de Y_{\min} .
4. Em anos de precipitações pluviais intensas, concentradas em poucos dias da EC, ocorre tendência de um número maior de falhas nos prognósticos de Y_{\min} , particularmente quando essas precipitações ocorrem na primeira parte da EC.

AGRADECIMENTOS

Os autores externam seus sinceros agradecimentos ao CNPq, pela Bolsa de Produtividade em Pesquisa concedida ao primeiro e terceiro autores, e de Mestrado em Meteorologia, ao segundo autor. Ao mesmo tempo, agradecem à CAPES, pela bolsa de Mestrado em Meteorologia, concedida ao quarto autor.

LITERATURA CITADA

- Azevedo, P. V. de; Silva, B. B. da; Rodrigues, M. F. G. Previsão estatística das chuvas de outono no Estado do Ceará. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.13, n.1, p.19-30, 1998.
- Galvão, C. O. Aplicabilidade em recursos hídricos da previsão de precipitação de longo prazo no Nordeste do Brasil. Porto Alegre: UFRS, 1999. 153p. Tese Doutorado
- Girardi, C.; Teixeira, L. Prognóstico do tempo em longo prazo para o Nordeste brasileiro. São José dos Campos: IAE/CTA, 1978. 18p. Relatório Técnico 06/78
- Hastenrath, S.; Heller, L. Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v.103, p.77-92, 1977.
- Kousky, E. V. Frontal influences on Northeast Brazil. *Monthly Weather Review*, v.107, n.9, p.1140-1153, 1979.
- Kousky, E. V.; Gan, M. A. Upper tropospheric cyclonic vortices in the Tropical South Atlantic. *Tellus*, v.33, p.538-550, 1981.
- Markham, C. G.; McLain, D. R. Sea surface temperature related to rain in Ceará, Northeast Brazil. *Nature*, v.265, p.320-323, 1977.
- Mielke Jr., P. W. Convenient beta likelihood techniques for describing and comparing meteorological data. *Journal of Applied Meteorology*, v.14, p.985-990, 1976.
- Moscatti, M. C. L.; Gan, M. A. Rainfall variability in the rainy season of semiarid zone of Northeast Brazil (NEB) and its relation to wind regime. *International Journal of Climate*, v.27, p.493-512, 2007.
- Moura, G. B. A. A influência dos ventos superficiais e da temperatura dos oceanos Atlântico e Pacífico na variabilidade da precipitação no leste do Nordeste do Brasil: Observações e modelos estatísticos de previsão. Recife: UFPE, 2001. 80p. Tese Doutorado
- Santos, F. A. S.; Azevedo, P. V. de; Silva, B. B. de. Previsão de chuvas de outono na costa este do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.10, n.2, p.195-206, 2002.
- Silva, B. B. da. Estimativa da chuva de outono nos sertões da Paraíba. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 5, 1988, Rio de Janeiro. Anais, Rio de Janeiro: SBMET, 1988. CD-Rom
- Silva, B. B. da; Lima, N. M. Modelo climático de previsão da pluviometria do Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.9, n.2, p.115-124, 2004.
- Silva, V. de P. R. da; Sousa, F. A. S.; Cavalcanti, E. P.; Souza, E. P.; Silva, B. B. da. Teleconnections between sea-surface temperature anomalies and air temperature in northeast Brazil. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, v.68, p.781-792, 2006.
- Walker, G. T. Ceará, Brasil, famines and the general air movement. *Beitrag zur Physik der Freien Atmosphaere*, v.4, p.88-93, 1928.
- Ward, M. N.; Folland, C. K. Prediction of seasonal rainfall in the North Nordeste of Brazil using eigenvectors of sea-surface temperature. *International Journal of Climatology*, v.11, p.711-743, 1991.
- Watts, J. D.; Kalkstein, L. S. The development of a warm-weather relative stress index for environmental applications. *Journal of Applied Meteorology*, v.43, n.3, p.503-513, 2004.
- Wilks, D. S. *Statistical methods in the atmospheric sciences*. International Geophysics Series, Second edition, v.91, San Diego: Academic Press, 2006. 627p.
- Xavier, T. M. B.; Xavier, A. F. S.; Dias, P. L. S.; Dias, M. A. F. S. Papel da componente meridional do vento na costa do Nordeste brasileiro e de outras co-variáveis para prever a chuva no estado do Ceará (1964-1997). *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.3, n.4, p.121-139, 1998.