

MONITORAMENTO DA OCORRÊNCIA DE SECA NO ESTADO DO CEARÁ

PEDRO V. DE AZEVEDO¹ ALCIDES O. SILVA²,

1. Doutor em Agrometeorologia, Professor Associado, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, CTRN/ UFCG, Av. Aprígio Veloso, 882, Universitário, Campina Grande - PB, Fone: (83) 2101-1199, pvieira@dca.ufcg.edu.br
2. Doutorando em Meteorologia da UFCG/CTRN/DCA, Campina Grande – PB;

Apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 18 a 21 de Julho de 2011
– SESC Centro de Turismo de Guarapari, Guarapari - ES.

RESUMO: Dados de pluviometria, temperatura do ar e capacidade de água disponível do solo foram usadas na análise da frequência de ocorrência de seca nas mesorregiões Noroeste, Norte, Metropolitana, Sertões, Jaguaribe, Centro-Sul e Sul do Estado do Ceará. Os resultados evidenciaram que o ISSP, independentemente da mesorregião analisada, subestimou a frequência de ocorrência de secas no Estado. O ISSP identificou eventos extremos de umidade na mesorregião Norte e maiores restrições hídricas nas mesorregiões Noroeste e Sertão. Durante anos de ocorrência do fenômeno El Niño, tanto o ISSP quanto o ISBMM apresentaram elevado grau de acerto na identificação de eventos de seca, particularmente para a mesorregião do Sertão. O ISSP mensal apresentou uma auto-regressão de primeira ordem altamente significativa ($r^2 > 0,90$).

Palavras-chave: Índices de seca; Modelo auto-regressivo.

TITLE: Monthly forecasting of occurrence of droughts in Ceará state

ABSTRACT: Data of rainfall, air temperature and soil water capacity were used for analyzing the occurrence of drought in the mesoregions of the Ceará state: Northeast, North, Metropolitan, Hinterlands, Jaguaribe, Central-South and South. The results showed that the PDSI, independently of the mesoregion analyzed, underestimated the droughts occurrence in Ceará state. The PDSI identified extreme humidity events in the North mesoregion and higher water restrictions in the Northeast and Hinterlands mesoregions. For the years of El Niño both PDSI and MBMDI showed a higher performance in the identification of drought events, particularly in the hinterlands mesoregion. The monthly PDSI showed a first order autoregression highly significant ($r^2 > 0.90$).

Keywords: Drought indexes, Auto-regression model

1. INTRODUÇÃO

Na busca por uma definição a mais precisa possível de seca, vários índices têm sido desenvolvidos, objetivando quantificar a magnitude das secas. A maioria desses índices tenta sumarizar informações acerca das condições anormais de pluviometria e seus efeitos potenciais. Neste contexto, os índices de seca variam em grau de complexidade, desde uma simples medida de seca meteorológica, tal como os desvios de precipitação em relação à normal climatológica, até modelos paramétricos de relação água-planta, os quais incorporam as condições de umidade do solo e o manejo do uso da terra para áreas climatologicamente homogêneas (ALLEY, 1985; Azevedo & Silva, 1994).

Historicamente, a região Nordeste do Brasil é afetada por grandes secas ou enchentes. Nessa região, a ocorrência de seca é registrada com muita frequência, sobretudo na região semi-árida, onde a média pluviométrica anual é em geral muito baixa em relação à da evapotranspiração. O Estado do Ceará está inserido no setor norte do Nordeste do Brasil e apresenta grande parte de seu território situado dentro da faixa de clima semi-árido, o que proporciona a ocorrência de secas com grande frequência em vários níveis de intensidade e de difícil monitoramento e prognóstico. Nesse contexto, a presente pesquisa objetivou a análise da frequência de ocorrência mensal de seca nas diferentes Mesorregiões do Estado do Ceará.

Material e Métodos

Área de Estudo: O Estado do Ceará (latitudes: 2 e 8°S e longitudes: 37 e 42°W) é composto por 7 mesorregiões: Noroeste, Norte, Metropolitana, Sertões, Jaguaribe, Centro-Sul e Sul.

Dados: Neste trabalho foram utilizadas séries temporais de temperatura do ar (média, mínima e máxima), precipitação pluviométrica e capacidade de água disponível do solo (CAD).

Metodologia: Os coeficientes adimensionais de Palmer (α_i , β_i , γ_i e δ_i) foram obtidos por:

$$\alpha_i = \frac{\overline{ET}}{\overline{PE}} ; \beta_i = \frac{\overline{R}}{\overline{PR}} ; \gamma_i = \frac{\overline{RO}}{\overline{PRO}} = \frac{\overline{RO}}{\overline{S'}} ; \delta_i = \frac{\overline{L}}{\overline{PL}} \quad (1)$$

Esses coeficientes foram utilizados no cálculo das condições climaticamente apropriadas:

$$ET = \alpha PE ; R = \beta PR ; RO = \gamma PRO ; L = \delta PL \quad (2)$$

A precipitação necessária para atender às demandas foi obtida como:

$$P_i = ET + R + RO - L \quad (3)$$

Com base na deficiência ($d = P - P_i$) e no índice de anomalia de umidade ($Z = dk$), proposto por Palmer (1965), onde 'k' é o fator de ponderação regional, o índice de severidade de seca de Palmer (ISSP) foi então calculado pela equação:

$$ISSP_i = ISSP_{i-1} + \frac{Z_i}{3} - 0,103 \cdot ISSP_{i-1} \quad (4)$$

O Índice de Seca de Bhalme e Mooley Modificado (Azevedo & Silva, 1994; Fernandes et al., 2010), em função do índice de umidade (M_k) foi extraído do balanço hídrico:

$$M_k = \frac{(p - ETP)}{|(p - ETP)|} + R, \text{ onde } R = ET_r/ET_p \quad (5)$$

A intensidade de seca do mês k é dada por: $I_k = \frac{M_k}{d + (1 + c) I_{k-1}}$ (6)

Onde c e d são constantes obtidas através da reta de regressão.

Modelo de previsão do índice de seca

Os valores mensais do índice de severidade de seca de Palmer (ISSP) foram autocorrelacionados através do modelo auto-regressivo de primeira ordem como segue:

$$X_{i+1} = \mu_x + \rho_x(1)(X_i - \mu_x) + \varepsilon_{i+1} \quad (7)$$

Onde X_i é o valor de X no tempo i; μ_x a média de X; $\rho_x(1)$ o coeficiente de correlação serial de primeira ordem; e ε_{i+1} o erro de estimativa do modelo, com $E(\varepsilon) = 0$ e $VAR(\varepsilon) = \sigma^2_\varepsilon$.

Resultados e Discussão

Mesorregião Noroeste

a) Comportamento mensal do índice de seca

O comportamento temporal mensal dos índices de severidade de seca de Palmer (ISSP) e de Bhalme e Mooley Modificado (ISBMM) para a localidade de Cariré é apresentado na Figura 1a. Observou-se que, em alguns períodos, esses índices assumiram valores positivos e negativos de forma assimétrica. Essa assimetria entre os índices pode ser observada no período de março a junho de 1973, quando o ISSP apresentou condições de extrema umidade enquanto que o IBMM apresentou condições de seca extrema. De acordo com Sansigolo (2004) o comportamento destes dois índices é bem distinto, pois eles têm fundamentos físicos diferentes, visto que o ISSP, além da precipitação ainda inclui o balanço hídrico no solo. Já no período de 1977 a 1979, tanto o ISSP como o ISBMM apresentaram valores positivos, com valores superiores do ISSP em relação àqueles do ISBMM, enquanto que no período de 1980 a 1983, tanto o ISSP como o ISBMM apresentaram condições de seca (valores negativos) para esta localidade, novamente com o ISSP sobreestimando o ISBMM. O

ISSP alcançou condições de extremamente úmido nos anos de 1985, 1990 e 1994. Nesse período, o ISBMM manteve-se alternando entre anos úmidos e secos. Apenas nos períodos de 1988 a 1990 e de 1994 a 2001, estes índices apresentaram concordância.

b) Modelo de previsão do ISSP mensal

A aplicação do modelo de auto-regressão de primeira ordem para Cariré-CE, no o período de Jan/1977 a Dezembro/2002 (Figura 1.b) indica que $ISSP_{x-1}$ explica aproximadamente 90% da variabilidade de $ISSP_x$. Assim, a previsão do valor mensal do índice de severidade de seca de Palmer (ISSP) pode ser obtida como $ISSP_x = 0,929*(ISSP_{x-1}) + 0,227$, com $R^2 = 0,863$. Desta forma, a previsão do ISSP para Jan/2003 será de 1,55.

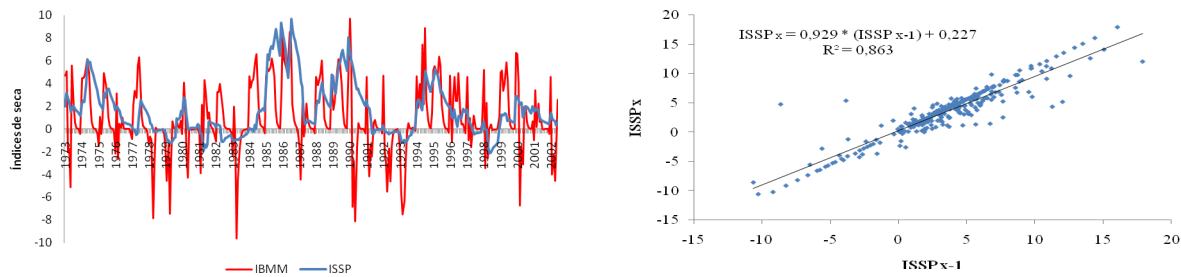


Figura 1 – a) Comportamento dos valores mensais dos índices de seca IBMM e ISSP; b) Auto-regressão de primeira ordem para o índice de severidade de seca de Palmer (ISSP) mensal para a localidade de Cariré - CE

Mesorregião Norte

a) Comportamento mensal do índice de seca

O comportamento mensal do ISSP e do ISBMM, durante o período de 1973 a 2002 para Aracoiaba é apresentado na Figura 2.a. O ISBMM apresentou valores positivos durante todo período analisado, e o mesmo sobreestimou o ISSP na maior parte do anos, com exceção de alguns picos registrados nos anos de 1975, 1976, 1980, 1985, 1986, 2001 e 2002. Similarmente ao ISBMM, o ISSP manteve-se positivo, porém, com amplitudes maiores.

b) Modelo de previsão do ISSP mensal

Na Figura 2.b é observado o resultado da auto regressão, para a cidade de Aracoiaba, baseada na teoria de Markov. Nesta figura foi perceptível a presença de correlção linear positiva entre os eixo x ($ISSP_{x-1}$) e eixo y ($ISSP_x$), resultando no coeficiente de determinação (r^2) igual a 0,92, explicando cerca de 92% da variabilidade do $ISSP_x$. Como resultado do modelo de regressão foi obtida a seguinte equação da reta: $ISSP_x = 0,9603*(ISSP_{x-1}) + 0,1007$. Logo, a previsão do ISSP para o mês de janeiro de 2003 teve como valor 3.48, o que indica condições de muita umidade para esta cidade.

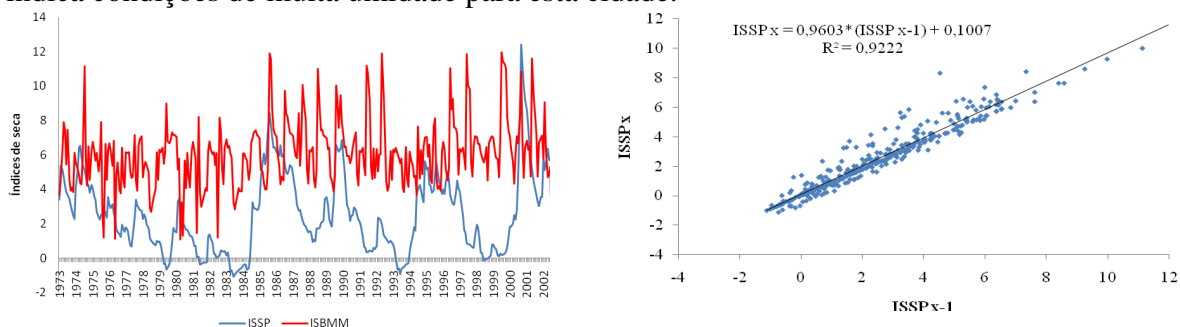


Figura 2 a) Comportamento dos valores mensais dos índices de seca IBMM e ISSP; b) Auto-regressão de primeira ordem para o índice de severidade de seca de Palmer (ISSP) mensal para a localidade de Aracoiaba-CE

Mesorregião Metropolitana

a) Comportamento mensal do índice de seca

A Figura 3.a mostra o comportamento mensal dos índices ISSP e ISBMM para o período de 1973 a 2002. Em geral, ambos os índices oscilaram entre valores positivos e

negativos, chegando a coincidir alguns picos ao longo do período, apresentando uma classificação bastante variada de umidade. No período compreendido entre os anos de 1973 a 1976, observou-se que o ISSP apresentou valores variando de 3 a 4, enquanto que o ISBMM variou entre valores positivos e negativos, chegando a atribuir condições de seca moderada (ISBMM = 2). Autores como Yumiro *et al.* (2010) já evidenciaram que o ISSP geralmente é subestimado por outros índices de seca. O ISSP manteve-se positivo (ISSP \geq 4,00) entre 2000 e 2001, sobreestimando o ISBMM, que apresentou comportamento simétrico.

b) Modelo de previsão do ISSP mensal

A localidade de Fortaleza apresentou correlação positiva (Fig. 3.b), com elevado ajustamento dos dados à reta ($r^2 = 0,84$), ou seja, $ISSP_x - 1$ explicando 84% do $ISSP_x$. Para janeiro/2003, ISSP = 2,81, sendo essa localidade considerada como moderadamente úmida.

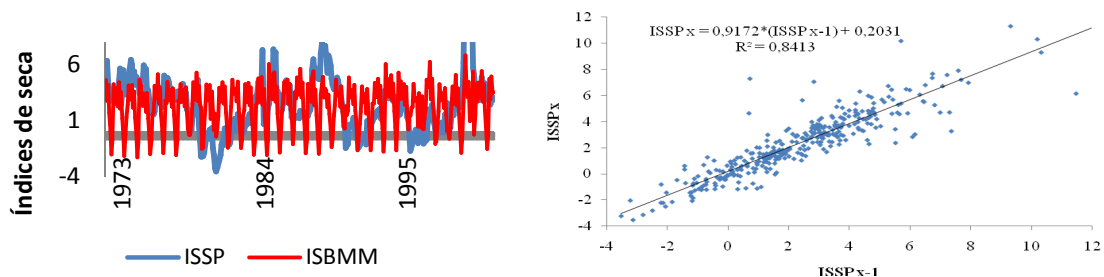


Figura 3 – a) Comportamento dos valores mensais dos índices de seca IBMM e ISSP; b) Auto-regressão de primeira ordem para o índice de severidade de seca de Palmer (ISSP) mensal para a localidade de Fortaleza–CE

Mesorregião Sertão

a) Comportamento mensal do índice de seca

Figura 4.a apresenta o comportamento mensal dos índices ISSP e ISBMM durante o período de 1973 a 2002 em Boa Viagem. Ambos os índices apresentaram um comportamento simétrico, com o ISSP sempre positivo e, na maior dos anos, sobreestimando o ISBMM. Entre 1984 e 1991, exceto o ano de 1988, o ISSP evidenciou condições de umidade extrema.

b) Modelo de previsão do ISSP mensal

Na Figura 4.b é apresentado o modelo de regressão para Boa Viagem. Observa-se uma correlação positiva, com $r^2 > 0,92$ garantindo um ajuste bastante elevado dos dados ao modelo de regressão, através da equação: $ISSP_x = 0,9638*(ISSP_{x-1}) + 0,1097$, com ISSP = 0,78 (condições de umidade aproximadamente normal) para janeiro de 2003.

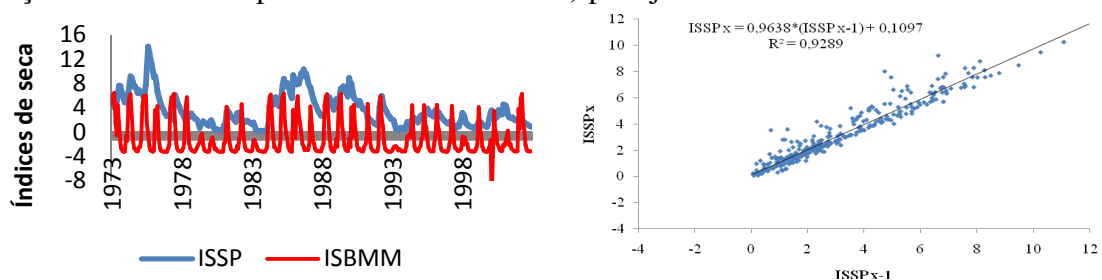


Figura 4.a) - Comportamento dos valores mensais dos índices de seca IBMM e ISSP; b) Auto-regressão de primeira ordem do índice de severidade de seca de Palmer (ISSP) mensal para a localidade de Boa Viagem– CE

Mesorregião Jaguaribe

a) Comportamento mensal do índice de seca

Na Figura 5.a é observado o comportamento mensal dos índices ISSP e ISBMM para Iracema. Em geral verifica-se um comportamento simétrico ao longo do período analisado. Percebe-se que, na maioria dos anos, o ISSP sobreestimou o ISBMM, porém em períodos distintos foi observado um comportamento inverso. Entre 1973 e início de 1976, os índices analisados mostraram-se positivos, indicando não haver restrição hídrica nessa localidade. Em

1976 (ano de El Niño), o ISSP manteve-se positivo enquanto que ISBMM manteve-se negativo, mas com condições de umidade aproximadamente normal. O período de 1982 a 1984 foi marcado por decréscimo do ISSP e aumento do ISBMM. Nos anos de 1997 e 1998, foram observadas pequenas restrições hídricas (El Niño), enquanto que em 1999, ambos os índices apresentaram-se positivos, devido à ocorrência de evento La Niña.

b) Modelo de previsão do ISSP mensal

O modelo de previsão do ISSP mensal para Iracema é apresentado na Figura 5.b. Observa-se uma correlação positiva com r^2 explicando 88% da variação de $ISSP_x$. A partir da equação: $ISSP_x = 0,9371 * (ISSP_{x-1}) + 0,1538$, a previsão do ISSP para janeiro/2003 igual a 1,85, caracterizando uma condição ligeiramente úmida. Nesse mês, o total pluviométrico observado não ultrapassou a 10 mm/mês, sendo janeiro e março, os meses mais chuvosos.

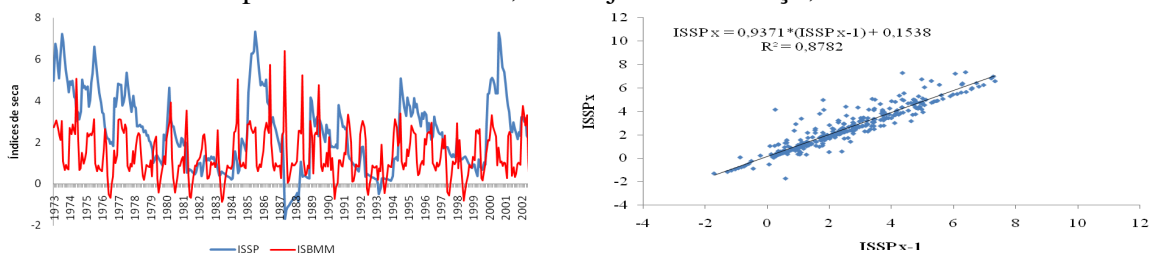


Figura 5 – a) Comportamento dos valores mensais dos índices de seca IBMM e ISSP; b) Auto-regressão de primeira ordem para o índice de severidade de seca de Palmer (ISSP) mensal para a localidade de Iracema– CE

Mesorregião Centro-Sul

a) Comportamento mensal do índice de seca

O comportamento mensal dos índices ISSP e ISBMM para Iguatú é apresentado na Figura 5.a. Em geral, esses índices apresentaram comportamentos similares aos observados na mesorregião Jaguaribe, ou seja, ISSP positivo na maioria dos anos e ISBMM oscilando entre valores positivos e negativos. Situação semelhante foi observada no período de 1994 a 2002. De acordo com o ISSP, os anos mais secos foram 1975, 1983, 1984, 1987, 1988, 1989 e 1993.

b) Modelo de previsão do ISSP mensal

O modelo de previsão do ISSP para a localidade de Iguatú apresentou uma correlação linear positiva, na qual o coeficiente de determinação (r^2) explicou aproximadamente 83% da variabilidade do ISSP. Como resultado, o valor do ISSP para o mês de janeiro de 2003, foi de 2,69, indicando condições moderadamente úmidas para esse local.

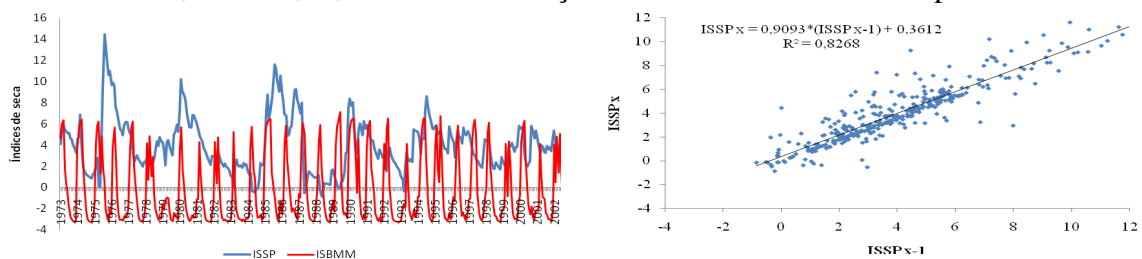


Figura 6 – a) Comportamento dos valores mensais dos índices de seca IBMM e ISSP; b) Auto-regressão de primeira ordem para o índice de severidade de seca de Palmer (ISSP) mensal para a localidade de Iguatú– CE

Mesorregião Sul (Cariri)

a) Comportamento mensal do índice de seca

O comportamento mensal dos índices ISSP e ISBMM para Brejo Santo, durante o período de 1973 a 2002 é apresentado na Figura 7.a. De acordo com o ISSP, não foram observados períodos secos nesta localidade. Ao contrário, o ISBMM oscilou entre condições extremamente úmidas e períodos de seca severa. Observou-se que os dois índices apresentaram picos de mesma magnitude, indicando eventos de umidade extrema nos anos de 1973, 1974, 1975, 1979 e 1980. Esta mesma classificação também foi

observada nos anos de 1981, 1985, 1986, 1988, 1990, 1997 e no ano de 2002, entretanto percebeu-se que nestes anos o ISSP sobreestimou os valores do ISBMM.

b) Modelo de previsão do ISSP mensal

A Figura 7.b evidencia a aplicação do modelo de auto-regressão de primeira ordem para a localidade de Brejo Santo, para o período analisado. O coeficiente de determinação ($r^2 = 0,82$) explica 82% da variabilidade de ISSPx, ou seja, $\text{ISSPx} = 0,9041 * (\text{ISSPx}-1) + 0,3531$, com previsão do ISSP = 3,83 para o mês de janeiro de 2003.

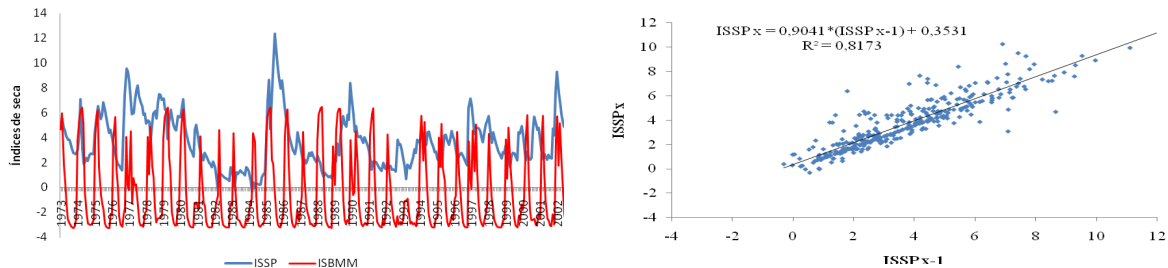


Figura 7: a) - Comportamento dos valores mensais dos índices de seca IBMM e ISSP; b Auto-regressão de primeira ordem para o índice de severidade de seca de Palmer (ISSP) mensal para Brejo dos Santos – CE

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

1. Independentemente da mesorregião analisada, o índice de severidade da seca de Palmer (ISSP) subestima a frequência de ocorrências de secas no estado do Ceará. Entretanto, o ISSP estabelece melhor os períodos de umidade extrema no estado, evidenciando o seu bom desempenho no monitoramento de eventos chuvosos;
2. O índice de Bhalme & Mooley Modificado (ISBMM) mostrou-se mais sensível às variações de umidade no solo, com bom desempenho na identificação de períodos secos e úmidos e do grau de severidade de seca;
3. Durante os anos de ocorrência do fenômeno El Niño, tanto o ISSP quanto o ISBMM apresentam elevado grau de acerto na identificação de eventos de seca, particularmente para a mesorregião do Sertão;
4. Os valores mensais do ISSP para todas as mesorregiões do Estado do Ceará apresentam uma auto-regressão de primeira ordem altamente significativa ($r^2 > 0,90$).

5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- ALLEY, W. M. The Palmer Drought Severity Index as a Measure of Hydrologic Drought, **Water Resources Bulletin**, 21(1), 105-114. 1985.
- AZEVEDO, P. V.; SILVA, V. P. R. Índice de seca para a microrregião do agreste da Borborema no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 9(1): 66-72, 1994.
- FERNANDES, D. S.; HEINEMANN, A. B.; PAZ, R. L. F.; AMORIM, A. O. **Desempenho de índices quantitativos de seca na estimativa da produtividade de arroz de terras altas**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.45, n.8, p.771-779, 2010.
- SANSIGOLO, C. A. Análise comparativa do desempenho dos índices de seca de Palmer (ISSP) e da precipitação normalizada (SPI) em Piracicaba, SP (1917-2001). Rio de Janeiro-RJ. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19, n.3, 237-242, 2004.
- PALMER, W. C. **Meteorological drought**. Washington, (US Weather Bureau Res. Nº 45). 58p, 1965.
- YUMIKO, M.; ANUNCIACÃO, T.; ANDRÉ, R. G. B. Regionalização do Índice de Severidade de Seca de Palmer para o Estado do Rio de Janeiro. In: XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, Belém do Pará. **Anais...** 2010.