

# ÁREAS DO ESTADO DA PARAÍBA COM PREDISPOSIÇÃO AMBIENTAL AO PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO

<sup>1</sup>LUCIMARY M. GOMES, PEDRO V. DE AZEVEDO<sup>2</sup>, VICENTE DE PAULO R. DA SILVA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Meteorologista. INGÁ/CEMBA, Salvador – BA, Fone: (71) 3116-3254, lucimary\_moreira@yahoo.com.br.

<sup>2</sup>Eng. Agrônomo, Prof. Associado, UACA/CTRN/UFCG, pvieira@dca.ufcg.edu.br.

<sup>3</sup>Meteorologista, Prof. Adjunto, UACA/CTRN/UFCG, Campina grande – PB.

Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 22 a 25 de setembro de 2009 – GranDarrell Minas Hotel, Eventos e Convenções - Belo Horizonte, MG

**RESUMO:** O presente estudo objetivou a avaliação da tendência ao processo de desertificação em áreas do estado da Paraíba, com base nas séries temporais anuais de precipitação pluvial, temperatura do ar, índice de aridez e índice de vegetação. O método do balanço hídrico de Thornthwaite and Mather foi utilizado para determinar o índice de aridez, enquanto que o índice de vegetação por diferença normalizada foi usado como índice de vegetação (Iv). As tendências foram analisadas com base no teste de Mann-Kendall. Foram delimitadas áreas de cada microrregião do Estado da Paraíba com predisposição ambiental ao processo de desertificação, bem como o aumento ou redução da aridez na região, provenientes da variabilidade climática. Os resultados obtidos permitem concluir que as microrregiões do Litoral, Agreste, Brejo e Sertão não apresentam qualquer evidência de tendência ao processo de desertificação. Entretanto, alguns núcleos localizados nas microrregiões do Cariri (municípios de São João do Tigre e Sumé), Curimataú (municípios de Olivedos e Cuité), Seridó (município de São Mamede) apresentam predisposição ambiental a esse processo de ressecamento ambiental. No período analisado (1960 a 1990), a temperatura do ar apresentou uma taxa de aumento em quase todas as microrregiões do estado, com tendências variando de 0,0069 °C.ano<sup>-1</sup>, em São Gonçalo, a 0,05223 °C.ano<sup>-1</sup>, em Campina Grande. A tendência do índice de vegetação, no período analisado, no geral, não foi estatisticamente significativa.

**PALAVRAS-CHAVE:** PRECIPITAÇÃO PLUVIAL, ÍNDICES DE ARIDEZ E VEGETAÇÃO, TESTE DE MANN-KENDALL.

**ABSTRACT:** This study reports on the evaluation of the current climatic characteristics of Paraíba state based on annual data of rainfall, air temperature and aridity and vegetation indexes. The aridity index was derived from the Thornthwaite and Mather water balance method and the vegetation index (Iv) was used as the normalized difference vegetation index (NDVI). Time series trends were analyzed by Mann-Kendall test at 5 and 1% significance level and p-level was also determined. For each micro-region of Paraíba state, areas with environmental predisposition to the desertification process and the increase or reduction of the dryness throughout each micro-region were analyzed. Results showed that the micro-regions of Litoral, Agreste, Brejo e Sertão did not present any evidence to the desertification process. However, some nucleus located at the micro-regions of Cariri (São João do Tigre and Sumé), Curimataú (Olivedos and Cuité), Seridó (São Mamede) showed an environmental predisposition to the desertification process. For the analyzed period (1960 to 1990), the air temperature shoed an annual increasing rate for almost all micro-regions of the state, with trends ranging from a minimum of 0.0069 °C year<sup>-1</sup>, in São Gonçalo station to a maximum of

0.2702 °C year<sup>-1</sup>, in Campina Grande station. In general, the trend in vegetation index for all state micro-regions was not statically significant.

**KEYWORDS:** RAINFALL, ARIDITY AND VEGETATION INDEXES, MANN-KENDALL TEST.

**INTRODUÇÃO:** Estudos realizados por Vincent et al. (2005) e Haylock et al. (2006), não detectaram tendência climática para a América do Sul. Entretanto, Santos & Brito (2007) investigaram possíveis ocorrências de áreas de desertificação no Nordeste Brasileiro. Trabalhos relevantes também nessa área têm sido desenvolvidos por outros autores (Ferreira et al., 1994; Sampaio et al., 1994; Silva & Azevedo, 1995). Entretanto, esses estudos deram pouca ênfase às variáveis climáticas, principalmente às questões relacionadas com a variabilidade interanual e interdecadal do clima e ao processo de realimentação clima-vegetação. Logo, estudos visando detectar possíveis contribuições da variabilidade climática sobre os avanços e recuos dos processos de desertificação em áreas do semi-árido do Estado da Paraíba devem ser desenvolvidos, tomando-se como base a dinâmica da vegetação.

A variabilidade inter-anual da vegetação pode ser analisada também através do índice de vegetação (I<sub>v</sub>) (Braga et al., 2003). Em regiões árida e semi-árida, o índice de vegetação (I<sub>v</sub>) é bem correlacionado com a cobertura vegetal, bem como com a biomassa local e produtividade biológica da vegetação (Nicholson et al., 1998; Ha et al., 2001). Portanto, o I<sub>v</sub> pode ser usado para diferenciar regiões de deserto, daquelas de pastagem, de culturas e de vegetação nativa de áreas semi-áridas. Ainda pode ser utilizado como indicador de declínio sistemático na produtividade biológica e de degradação de terras, uma vez que não envolve mudanças de composição de espécies, textura e fertilidade do solo, bem como para medir o grau de desertificação de uma região (Nicholson et al., 1998). Face ao exposto, o presente estudo objetivou a avaliação da tendência ao processo de desertificação em áreas do estado da Paraíba com base no comportamento espacial do índice de vegetação no estado da Paraíba.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Foram utilizados os totais mensais e anuais de precipitação pluviométrica e da temperatura do ar, do maior número possível de Estações Meteorológicas e Postos Pluviométricos do estado da Paraíba. Para os postos pluviométricos que não dispõem de registros de temperatura do ar, essa variável foi estimada pelo modelo (Silva et al., 2006):

$$T_{ij} = a_0 + a_1\lambda + a_2\phi + a_3h + a_4\lambda^2 + a_5\phi^2 + a_6h^2 + a_7\lambda\phi + a_8\lambda h + a_9\phi h + ASST_{ij} \quad (1)$$

em que  $a_0, \dots, a_9$  são os coeficientes de regressão,  $\lambda$  é longitude,  $\phi$  é a latitude e  $h$  a elevação de cada posto analisada. Os índices  $i$  e  $j$  indicam, respectivamente, o mês e o ano para o qual se está calculando a temperatura do ar ( $T_{ij}$ ).

**Índices climáticos:** O índice de vegetação (I<sub>v</sub>) foi obtido pela expressão:

$$I_v = \frac{(\rho_{IV} - \rho_V)}{(\rho_{IV} + \rho_V)} \quad (2)$$

em que  $\rho_{IV}$  é a medida da refletância na banda espectral do infravermelho próximo (0,725 - 1,10  $\mu\text{m}$ ) e  $\rho_V$  é a refletância medida na banda espectral do visível (0,58 - 0,68  $\mu\text{m}$ ). Por outro lado, o do índice de aridez (I<sub>a</sub>) foi obtido do balanço hídrico climático.

**Teste de Mann-Kendall:** A tendência anual da precipitação pluviométrica (Pr), temperatura do ar (Ta) e índices de aridez (I<sub>a</sub>) e vegetação (I<sub>v</sub>) foram analisadas através do teste de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975), com base na estatística S dada por:

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sign}(x_i - x_j) \quad (3)$$

em que o  $\text{sign}(x_i - x_j)$  é obtido da seguinte forma: -1 para  $x_i - x_j < 0$ , 0 para  $x_i - x_j = 0$ , 1 para  $x_i - x_j > 0$ .

A estatística S tende à normalidade para  $n$  grande, com média zero e variância dada por:

$$\text{Var}(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5)], \quad (4)$$

em que  $n$  é o tamanho da série temporal. O teste estatístico Z é dado por:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{se } S > 0, \quad Z \text{ é crescente} \\ 0 & \text{se } S = 0, \\ \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{se } S < 0, \quad Z \text{ é decrescente} \end{cases} \quad (5)$$

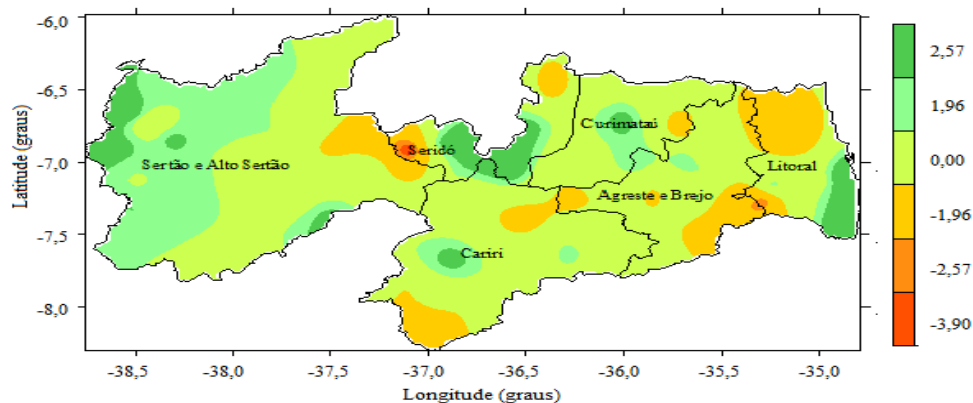
O valor de Z indica tendência crescente ou decrescente se positivo ou negativo, respectivamente. Para testar qualquer tendência, crescente ou decrescente, para um nível de significância ( $p$ ), é rejeitada a hipótese nula se o valor absoluto de Z é maior que  $Z_{1-\alpha/2}$ . Assim, para Z entre 1,96 e 2,57 e  $Z > 2,57$  tem-se tendência significativamente crescente para os níveis de significância de 0,05 e 0,01, respectivamente.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A microrregião do Litoral apresenta tendência positiva na precipitação pluviométrica estatisticamente significativa, ao nível de 1% de probabilidade, nos municípios de Alhandra (p-nível = 0,0002), João Pessoa (p-nível = 0,0001); ao nível 5% em Sapé (p-nível = 0,0238); e não-significativa no município de Santa Rita (p-nível = 1,0093). As outras localidades dessa microrregião apresentaram tendências negativas, porém sem nenhuma significância estatística, com p-nível variando de 0,0910 a 0,7414. O maior aumento anual da precipitação pluvial no período analisado ocorreu no município de Alhandra, com taxa de 12,6 mm.ano<sup>-1</sup>. As áreas com tendência positiva estatisticamente significativa estão localizadas no Litoral Sul do estado; enquanto que aquelas com tendência negativa, porém não significativas, estão localizadas no Litoral Norte (Figura 1). Toda a microrregião do Sertão e Alto Sertão apresenta tendência positiva na precipitação pluvial, inclusive com significância estatística variando de 1 ou 5% de probabilidade. Essa tendência de aumento de precipitação pluvial é mais intensa em direção Oeste dessa microrregião. Tendências negativas da precipitação pluvial foram observadas numa área que abrange o Sudeste da microrregião do Agreste e Brejo e parte do Sudoeste do Litoral paraibano, porém estatisticamente significativa apenas para os municípios de Itabaiana (p-nível = 0,1142) e Pilar (p-nível = 0,1470). Outros pequenos núcleos com tendências negativas da precipitação pluvial foram observados em outras microrregiões do estado, mas estatisticamente significativa apenas para os municípios de Cuité, na microrregião do Curimataú (p-nível = 0,0324); São João do Tigre, na microrregião do Cariri (p-nível = 0,0034); São Mamede, na microrregião do Seridó (p-nível = 0,0004).

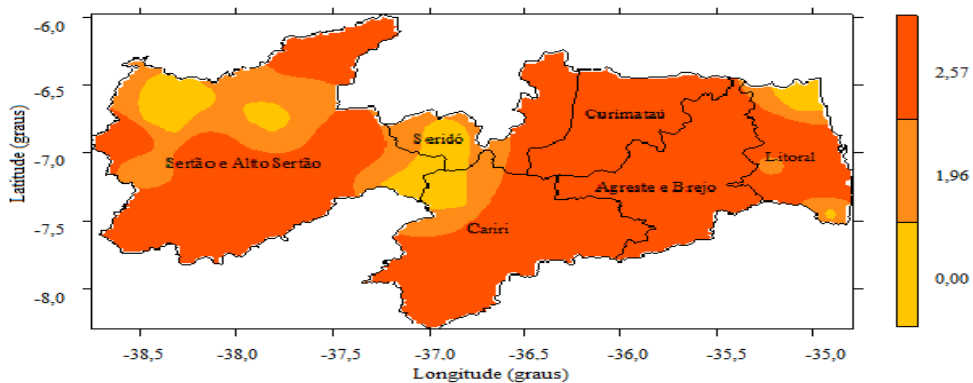
As séries temporais de temperatura do ar apresentam tendência crescente em praticamente em todo o Estado da Paraíba, sendo mais acentuada nas microrregiões do Curimataú, Agreste e Brejo e grande parte do Cariri paraibano (Figura 2). Essa tendência apresenta-se estatisticamente significativa ao nível de 5% de probabilidade, com p-nível variando entre 0,0001 (Campina Grande) a 0,0028 (Caiçara), exceto no município de S. José dos Cordeiros, com um p-nível de 0,0562, muito próximo da significância estatística de 5% de probabilidade. A mais forte tendência de aumento anual da temperatura do ar foi observada no município de Campina Grande, com uma taxa de 0,05 °C.ano<sup>-1</sup>. Resultados semelhantes foram observados

por Silva (2004). Esse acentuado aumento da temperatura do ar, observado para Campina Grande, pode ter sido causado pela mudança de localização da estação meteorológica ocorrida na década de 80. Em geral, as microrregiões do Sertão e Alto Sertão apresentam tendência positiva da temperatura do ar, com valores mínimos ao Norte e máximos, estatisticamente significativos aos níveis de 1 e 5% de probabilidades pelo teste de Mann-Kendall, ao Sul dessas microrregiões.

Como consequência do aumento de precipitação pluvial e a quase estacionalidade da temperatura do ar na microrregião do Sertão e Alto Sertão durante o período estudado, o índice de aridez apresentou tendência decrescente; sendo, em alguns casos, estatisticamente significativa ao nível de 5% de probabilidade, como nos municípios de Cajazeiras e Desterro com taxa anual de redução de 0,2884 e 2,41, respectivamente. As outras localidades dessa microrregião apresentaram tendência positiva, porém sem nenhuma significância estatística, com valores de p-nível bastante elevados chegando até a 0,902 no município de Aguiar. Tendência de redução ou aumento não significativo da aridez também foi observada na microrregião do Litoral e alguns municípios do Brejo paraibano. Já as microrregiões do Seridó, Curimataú, Cariri e parte do Agreste e Brejo apresentaram tendência crescente ao processo de ressecamento ambiental. Portanto, para o período estudado, apenas as microrregiões do Sertão e Alto Sertão e Litoral apresentaram estabilidade ou redução no grau de aridez (Figura 3).



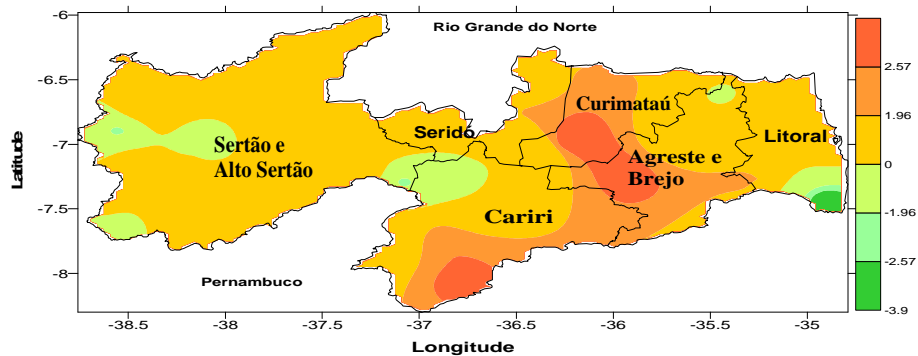
**Figura 1.** Avaliação da tendência da precipitação anual no estado da Paraíba. Valores positivos ou negativos de  $1,96 < Z > 2,57$  são estatisticamente significativos ao nível de 5% enquanto que  $Z > 2,57$  são estatisticamente significativos ao nível de 1% de probabilidade.



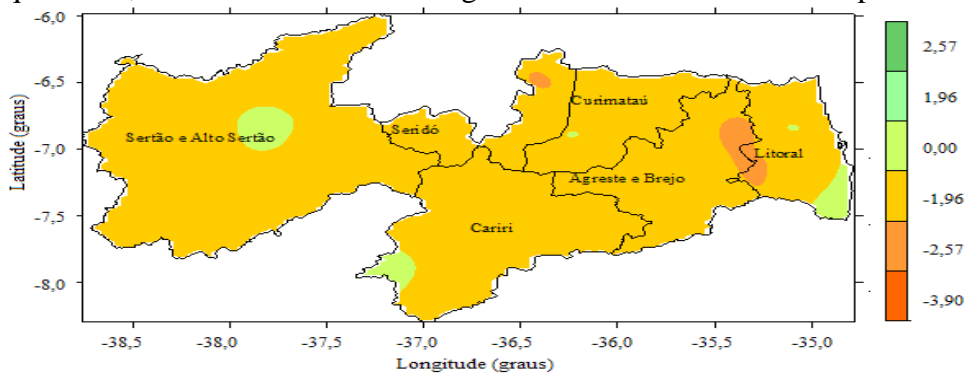
**Figura 2.** Avaliação da tendência da temperatura anual no estado da Paraíba. Valores positivos ou negativos de  $1,96 < Z > 2,57$  são estatisticamente significativos ao nível de 5% enquanto que  $Z > 2,57$  são estatisticamente significativos ao nível de 1% de probabilidade.

A Figura 4 exibe a distribuição espacial da estatística Z do teste de Mann-Kendall correspondente ao índice de vegetação no Estado da Paraíba. Observa-se uma predominância de tendência negativa do índice de vegetação em todas as microrregiões do estado da Paraíba,

excetuando-se alguns núcleos com tendência positiva, localizados ao Sul da microrregião do Litoral; ao Centro da microrregião do Sertão e Alto Sertão, ao Sudeste da microrregião do Cariri e outros núcleos bastante menores nas microrregiões do Curimataú e Litoral Norte. Exceto para as localidades de Araçagi, na microrregião do Agreste e Brejo, e Picuí, na microrregião do Seridó, a tendência, positiva ou negativa, do índice de vegetação apresentou-se não significativa pelo teste de Mann-Kendall (Tabela 1). Assim, o índice de vegetação apresentou-se pouco sensível ao processo de variabilidade climática no Estado da Paraíba. Isso ocorreu, possivelmente, devido ao tamanho reduzido da série temporal desse índice, prejudicando, assim, uma análise temporal mais consistente e que possibilitasse detectar alguma tendência temporal efetiva para a região.



**Figura 3.** Avaliação da tendência do índice de aridez anual no estado da Paraíba. Valores positivos ou negativos de  $1,96 < Z < 2,57$  são estatisticamente significativos ao nível de 5% enquanto que  $Z > 2,57$  são estatisticamente significativos ao nível de 1% de probabilidade.



**Figura 4.** Avaliação da tendência do índice de vegetação anual no estado da Paraíba. Valores positivos ou negativos de  $1,96 < Z < 2,57$  são estatisticamente significativos ao nível de 5% enquanto que  $Z > 2,57$  são estatisticamente significativos ao nível de 1% de probabilidade.

**CONCLUSÕES:** Para o estado da Paraíba, pode-se concluir que:

1. As microrregiões do Litoral, Agreste e Brejo e Sertão e Alto Sertão não apresentam qualquer evidência de tendência ao processo de desertificação.
2. Núcleos de tendência ao processo de desertificação foram identificados nas microrregiões do Cariri (municípios de São João do Tigre e Sumé), Curimataú (municípios de Olivedos e Cuité) e Seridó (município de São Mamede).
3. A temperatura do ar apresentou uma taxa de aumento anual para todas as microrregiões do estado, porém com tendências não-significativas em sua grande maioria.
4. O índice de vegetação apresentou taxa de decréscimo não significativo para todas as microrregiões, com alguns núcleos isolados com tendência crescente não-significativa.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:**

- Braga, C.C.; Brito, J.I.B.; Sansigolo, C.A.; Rao, T.V.R. Tempo de resposta da vegetação às variabilidades sazonais da precipitação no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, p. 149-157, 2003.
- Ferreira, D.G.; Melo, H.P.; Neto, F.R.R.; Nascimento, P.J.S. do. A Desertificação no Nordeste do Brasil: Diagnóstico e Perspectiva. In: **Conferência Nacional e Seminário Latino-Americano da Desertificação**, Fortaleza, 7 a 11 de março de 1994. ESQUEL – PNUD – Governo do Ceará – BNB: Fortaleza, 1994, 56p.
- Haylock, M.R., Peterson, T.C., Alves, L.M., Ambrizzi, T. et al. Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. Revised for the **J. Climate**, 2006.
- KENDALL, M. G. **Rank Correlation Methods**. London: Charles Griffin, 1975, 120 p.
- Ma, Z.; Kang, S.; Zhang, L.; Tong, L.; Su, X. Analysis of impacts of climate variability and human activity on streamflow for a river basin in arid region of northwest China. **J. Hydrology**, v.352, p.239 - 249, 2008.
- Mann, H. B. Nonparametric tests against trend. **Econometrica**, v.13, p.245 - 259, 1945.
- NICHOLSON, S.E.; TUCKER, C.J.; BA, M.B. Desertification, Drought, and Surface Vegetation: An Example from the West African Sahel. **B. Am. Meteorol. Soc.**, v.79, n.5, p.815-829, 1998.
- Sampaio, E.V.S.B.; Souto, A.; Rodal, M.J.N; Castro, A.A.J.F.; Hazin, C. Caatingas e cerrados do NE – Biodiversidade e ação antrópica. In: **Conferência Nacional e Seminário Latino-Americano da Desertificação**, Fortaleza, 7 a 11 de março de 1994. ESQUEL – PNUD – Governo do Ceará – BNB: Fortaleza, 1994, 15p.
- Santos, C.A.C. & Brito, J.I.B. Análise de índices de detecção das mudanças climáticas para o semi-árido do Brasil e suas relações com TSM e IVDN. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, n.3, p.303-312, 2007.
- Silva, V.P.R., Sousa, F.A.S., Cavalcanti, E.P., Souza, E.P., Silva, B.B. Teleconnections between sea-surface temperature anomalies and air temperature in northeast Brazil. **J Atmos Sol-Terr Phy.**, 68 (2006) 781–792.
- Silva, V.P.R., Azevedo, P.V. Identificação de núcleos de desertificação no estado da Paraíba. In: IX CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 1995, Campina Grande, PB. **Resumos**, Campina Grande: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia. 1995. 506p. p.272-274.
- Vincent, L. A.; Peterson, T.C.; Barros, V.R.; et al. Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960-2000. **Journal of Climate**, v. 18, 5011-5023, 2005.