

ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO NA BACIA DO RIO PARAÍBA USANDO IAC

Lincoln Eloi de ARAÚJO¹

Djane Fonseca da SILVA

João Miguel de MORAES NETO

Francisco de Assis Salviano de SOUSA

RESUMO

A bacia hidrográfica do rio Paraíba é de grande importância para o setor agrícola e, conseqüentemente, para o desenvolvimento socioeconômico local e regional. O objetivo deste trabalho foi o de analisar como a variabilidade climática influencia a precipitação local e qual a variabilidade espaço-temporal das chuvas na região. A metodologia utilizada foi o Índice de Anomalia de Chuvas (IAC), desenvolvida por Rooy em 1965. Foram encontradas semelhanças entre os padrões de chuva das sub-bacias rio Taperoá e Alto Paraíba e das sub-bacias do Médio e Baixo Paraíba. Um “ponto de inflexão” na distribuição da precipitação foi encontrado nas sub-bacias do Taperoá e Alto Paraíba, nelas foram observados anos secos consecutivos até a década de 1960. Já nas sub-bacias do Médio e Baixo Paraíba foram verificadas semelhanças na alternância de anos secos e chuvosos ao longo da série de IAC.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica do rio Paraíba, IAC, regionalização, variabilidade espaço-temporal.

ABSTRACT

The hydrological basin of the river Paraíba is of great importance for the agricultural sector and, consequently, for the social and local and regional development. The objective of this study was to analyze how the climatic variability influences the local precipitation and the space-time of the rains in the region. The used methodology was the Rain Anomaly Index (RAI), developed by Rooy in 1965. They were found similarities between the standards of rain in the Taperoá sub-basin and Upper Paraíba and in the Medium sub-basin and Lower sub-basin Paraíba. A "inflection point" in the distribution of the precipitation was found in the Taperoá sub-basin and Upper Paraíba, in it were observed consecutive dry years until the decade of 1960. Already in the Medium sub-basin and Lower Paraíba were verified alternation among dry years and rainy years along the series of IAC.

Key words: Paraíba basin river, IAC, regionalization, space-time variability.

¹ Aluno do Curso de Doutorado Temático em Recursos Naturais (CTRN), Bloco CL. Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas (UACA) – UFCG. Av. Aprígio Veloso, 882 – Bodocongó, Campina Grande (PB) - 58109-970. E-mail: lincolneloi@yahoo.com.br.

1. INTRODUÇÃO

No Nordeste brasileiro o monitoramento de períodos secos ou chuvosos e da variabilidade espaço-temporal da precipitação são de extrema importância devido aos aspectos como: a existência de inúmeros projetos de irrigação implantados e a serem implantados ao longo dos principais rios; o abastecimento d'água das grandes cidades é, em sua maioria, dependente direto do escoamento dos rios, ou indiretamente do volume acumulado nas barragens; a maioria das culturas agrícolas dependem exclusivamente da regularidade das chuvas e a possibilidade de uso de água subterrânea é pequena quando comparada ao da água superficial (FREITAS, 2004, 2005).

A precipitação pluviométrica no Nordeste brasileiro é resultante do acoplamento de vários sistemas atmosféricos de várias escalas quase periódicos, como a Zona de Convergência Intertropical (UVO, 1989), os Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (KOUSKY e GAN, 1981), os Sistemas Frontais (KOUSKY, 1979), e os Distúrbios de Leste (ESPINOZA, 1996), que podem ser modificados pelas características fisiográficas da região e por anomalias atmosféricas de escala planetária, destacam-se o dipolo do Atlântico e o EL NIÑO, que modificam a frequência, distribuição espacial e intensidade desses sistemas, afetando diretamente a agricultura e os recursos hídricos (ARAÚJO *et al.*, 2006).

Com base nesta precipitação irregular faz-se necessário o monitoramento através do emprego de índices climáticos. Pode-se desenvolver um sistema de acompanhamento das características dos períodos secos ou chuvosos, com informações anuais, sazonais ou mensais, com as quais se pode conhecer profundamente a climatologia de uma região, e verificar os impactos que o clima global causa sobre a distribuição pluviométrica local, ou seja, a regionalização da precipitação para determinado local.

Entretanto, é pouco conhecido que a Paraíba é o Estado do Nordeste que apresenta uma das maiores variabilidades espaciais nas chuvas, uma vez que o agreste/litoral apresenta precipitações médias anuais acima de $1083,4 \text{ mm.ano}^{-1}$, em média, seguido do sertão, com valores médios de $821,9 \text{ mm.ano}^{-1}$ e por fim a região do Cariri/Curimataú com média alcançando até $516,1 \text{ mm.ano}^{-1}$ (ARAÚJO *et al.*, 2003). Com características semelhantes as do Estado, a bacia do rio Paraíba possui área de $20.000,00 \text{ km}^2$, evidenciando dois regimes de precipitação distintos ao longo de toda a bacia, um de fevereiro a maio (região do Taperoá e Alto Paraíba) e o outro de abril a julho (Médio Paraíba e Baixo Paraíba), conforme Araújo *et al.* (2006).

Com essa peculiaridade na precipitação, é de importante valia o conhecimento da variação climática da bacia, possui extensa área agriculturável, cuja atividade agrícola é de vital importância para a sócio economia local e regional, fora que é uma região de indústrias e comércio forte, ou seja, necessita de um suporte aquático (hídrico) adequado a todas as funções a que são destinadas, viabilizando todas as atividades nela contida.

Assim, com todas essas abordagens o trabalho tem como objetivo principal analisar a climatologia da bacia do rio Paraíba, como a variabilidade climática influencia a precipitação local e como se dá a variabilidade espaço-temporal das chuvas na região, utilizando para isso a ferramenta Índice de Anomalia de Chuva (IAC) desenvolvido por Rooy, em 1965.

1.1. Aplicação do IAC

Freitas (2004, 2005) utilizou o índice IAC para localidades no Estado do Ceará e observou que com base no mesmo é possível fazer uma comparação das condições atuais de precipitação em relação aos valores históricos, servindo ainda para avaliar a distribuição espacial do evento, consoante sua intensidade.

Mauget (2005) ao estudar a variação multi-decadal da precipitação de 1901 a 1998 para identificar as concentrações mais significativas de anos úmidos e secos dentro da série, em regiões continentais, encontrou alta incidência de anos úmidos na América do Norte durante 1972 a 1998, com oito dos dez anos mais úmidos desde 1901, ou seja, oito eventos aconteceram durante esse último período de 27 anos.

Para a região Norte da Europa, foram encontrados sete dos dez anos mais úmidos durante 1978 a 1998. Regimes secos e úmidos significantes foram encontrados nas últimas décadas do século XX. O autor sugere que esses períodos úmidos mais recentes sejam efeitos de causas terrestres tendo evidência mais notável numa larga mudança do padrão do clima do Atlântico Norte.

Gonçalves *et al.* (2006) obtiveram o índice IAC para 15 estações situadas no rio São Francisco, fato o qual mostrou que a incidência de anos secos é substancialmente maior na região estudada. Através da aplicação do índice em áreas situadas à jusante da hidrelétrica de Sobradinho, pode-se explicar a ocorrência de cheias e inundações ocorridas no sertão pernambucano.

Da Silva *et al.* (2007) ao utilizar o IAC para verificar a variabilidade das chuvas na bacia do rio Mundaú (AL e PE), encontraram uma modificação no padrão de distribuição de precipitação. Antes de 1974, nas sub-bacias do Médio Mundaú e Alto Mundaú, os anos

foram mais secos e após 1974 foram mais úmidos, ocorrendo o contrário no Baixo Múndaú.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A bacia do rio Paraíba localiza-se na parte sudeste do estado da Paraíba, entre 6°51'15'' e 8°17'57'' sul de latitude e 34°48'05'' e 37°21'08'' oeste de longitude. Figura 1.

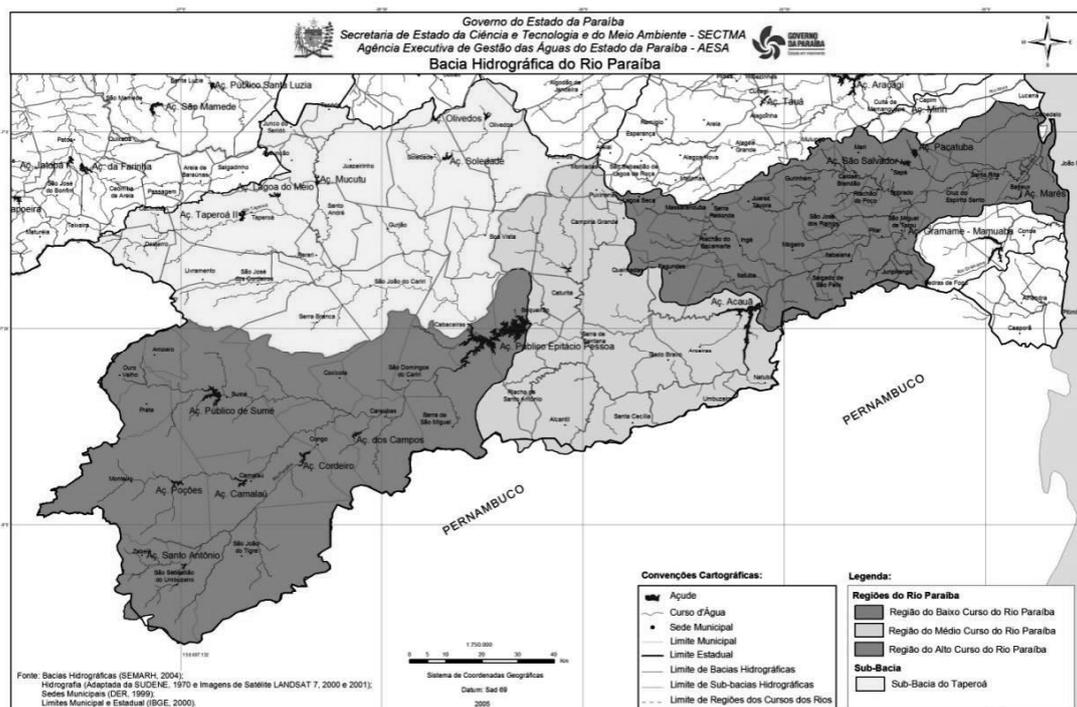


Figura 1. Bacia do rio Paraíba.

Foram utilizados neste trabalho dados de precipitação mensal de 58 localidades distribuídas nas quatro sub-bacias, região do Taperóá (13 localidades); Alto Paraíba (16 localidades); Médio Paraíba (10 localidades) e Baixo Paraíba (19 localidades).

Os dados foram obtidos pela Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas (UACA), com período acima de 30 anos de dados.

Foram calculadas as climatologias para cada um das sub-bacias e as médias temporais da precipitação para o período de estudo, necessárias para o cálculo do Índice de Anomalia de Chuva (IAC), o qual serve para classificar os anos como secos ou úmidos, de acordo com a média local.

Foi utilizado o IAC desenvolvido e utilizado por Rooy (1965), o qual pode ser representado como:

$$IAC = 3 \left[\frac{(N - \bar{N})}{(\bar{M} - \bar{N})} \right], \text{ para anomalias positivas; } \quad (1)$$

$$IAC = -3 \left[\frac{(N - \bar{N})}{(\bar{X} - \bar{N})} \right], \text{ para anomalias negativas, } \quad (2)$$

Sendo: N = precipitação mensal atual (mm);

\bar{N} = precipitação média mensal da série histórica (mm);

\bar{M} = média das dez maiores precipitações mensais da série histórica (mm) e

\bar{X} = média das dez menores precipitações mensais da série histórica (mm).

No intuito de verificar a relação entre as sub-bacias e conseqüentemente mostrar se as mesmas apresentam o mesmo regime de chuva, foram realizadas correlações lineares simples entre as precipitações das sub-bacias. Para validar as correlações, já que foram feitas com poucos dados, será utilizado o teste t Student (SPIEGEL, 1977), que pode ser dado pela fórmula:

$$t = (\bar{X} - \mu) / s * \sqrt{N - 1} \quad (3)$$

Sendo: \bar{X} = média amostral;

μ = média;

s = desvio padrão;

N = tamanho da amostra.

ou pela fórmula 4:

$$r = t / \sqrt{N - 2 + t^2} \quad (4)$$

Sendo: t dado pela tabela de valores de percentis da distribuição t de Student (SPIEGEL, 1977);

N = tamanho da amostra.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 – Variabilidade espacial da precipitação da bacia do rio Paraíba

A climatologia da bacia do rio Paraíba é mostrada na Figura 2, na qual se percebe uma semelhança entre o padrão de precipitação da região do Taperoá com Alto Paraíba, com quadra chuvosa, de fevereiro a maio, com máximos no mês de março. A quadra menos chuvosa dessas duas sub-bacias se estende de setembro a dezembro, com o mês de setembro como o mais seco. Não obstante, as sub-bacias do Médio e Baixo Paraíba, apresentam suas quadras chuvosas de abril a julho, apresentando maiores valores em maio e junho, para o Baixo e Médio Paraíba, respectivamente.

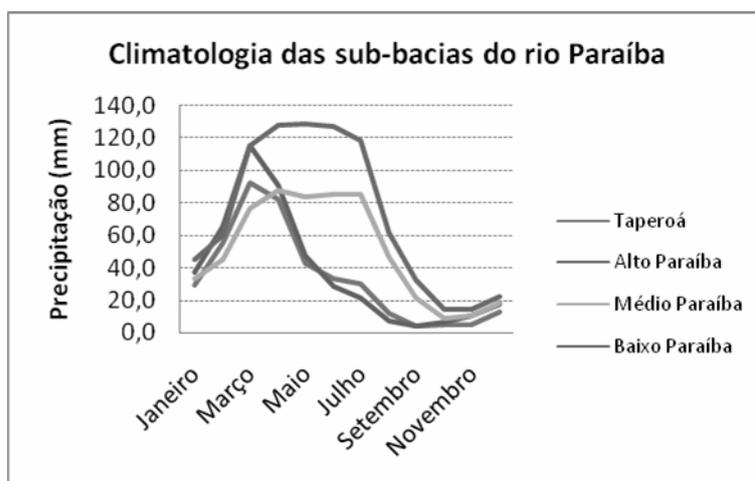


Figura 2 – Climatologia das sub-bacias do rio Paraíba.

As Figuras 3 e 4 mostram a climatologia das sub-bacias da região do Taperoá e do Alto Paraíba, como mostrado na Figura 2. A quadra chuvosa tem início em fevereiro e término em maio (colunas em azul), e os meses mais secos vão de agosto a novembro.

Para a região do Taperoá, o máximo pluviométrico se dá no mês de março com aproximadamente 92 mm e para a região do Alto Paraíba, 114 mm no mesmo mês, fato que evidencia características semelhantes entre as sub-bacias, conforme Araújo *et al.* (2006).

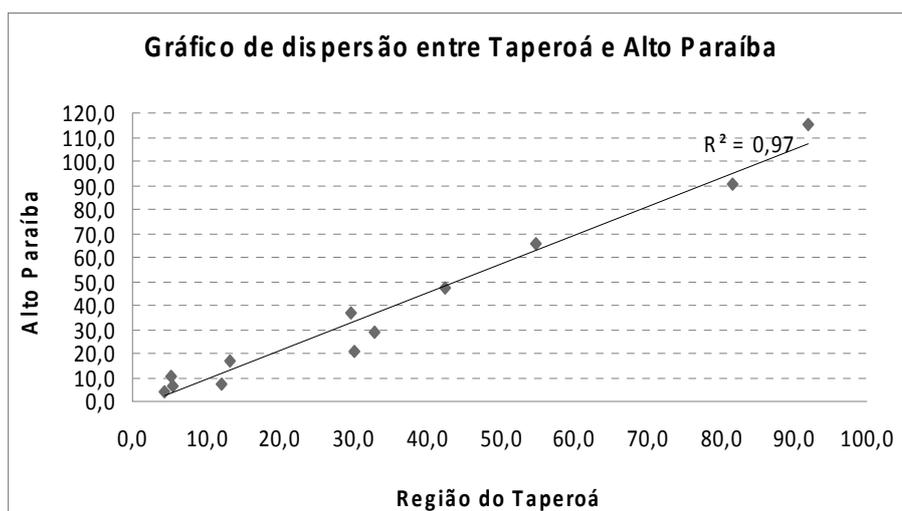


Figura 5 - Correlação entre valores de precipitação da região do Taperoá e Alto Paraíba.

Aplicando o teste de t Student, para o nível de significância de 0,95%, serão consideradas como correlações confiáveis aquelas maiores ou iguais a 0,34 (aplicando as fórmulas 3 ou 4); neste caso, a correlação entre a precipitação da região do Taperoá e Alto Paraíba (0,97) é válida (Figura 5). Esse fato mostra que as chuvas das sub-bacias são semelhantes e tem o mesmo período/sistemas de atuação.

Importantes valores de correlação foram encontrados entre a precipitação da região do Taperoá e Alto Paraíba e entre a precipitação do Médio e Baixo Paraíba.

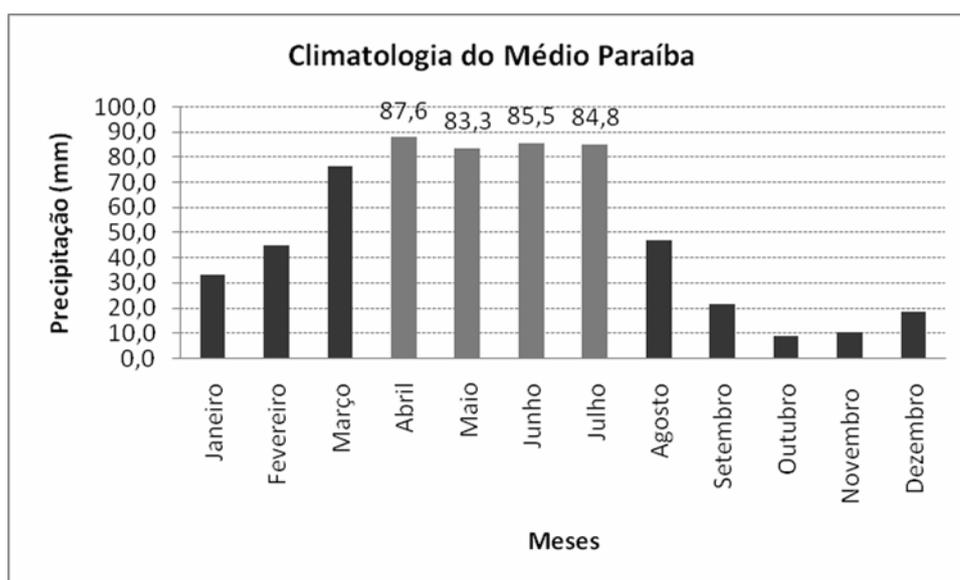


Figura 6. Climatologia da sub-bacia do Médio Paraíba.

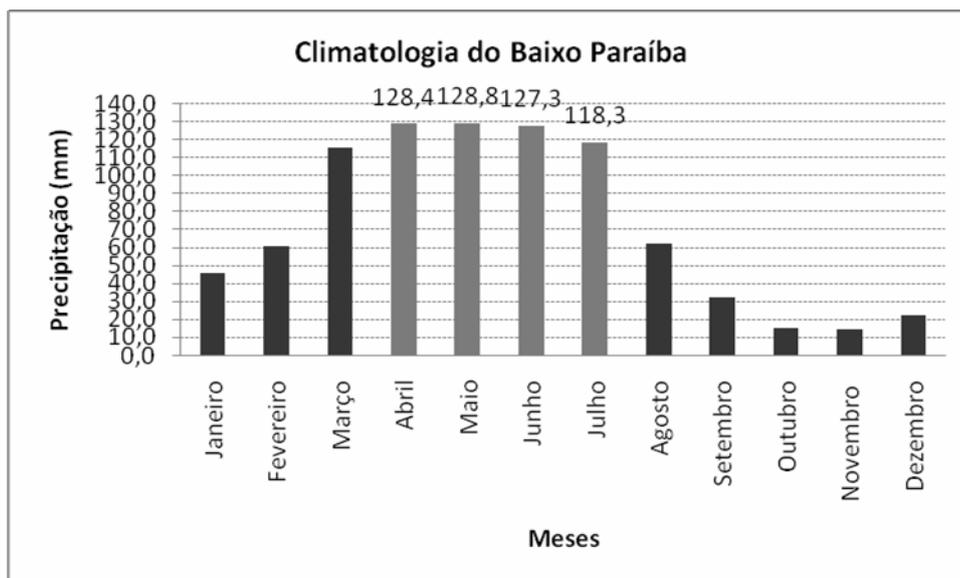


Figura 7. Climatologia da sub-bacia do Baixo Paraíba.

Já para as sub-bacias do Médio e Baixo Paraíba, nas Figuras 6 e 7, respectivamente, visualizam-se as médias climatológicas das regiões, as quais têm um padrão de distribuição de precipitação semelhante ao longo do ano.

O período de abril a junho corresponde à quadra chuvosa (colunas em azul), e a quadra menos chuvosa vai de setembro a dezembro. Para a sub-bacia do Médio Paraíba, o máximo pluviométrico ocorre no mês de abril com aproximadamente 87 mm, seguido pelos demais meses que compõem a quadra chuvosa. Para a região do Baixo Paraíba, o mês mais chuvoso é maio com 128 mm.

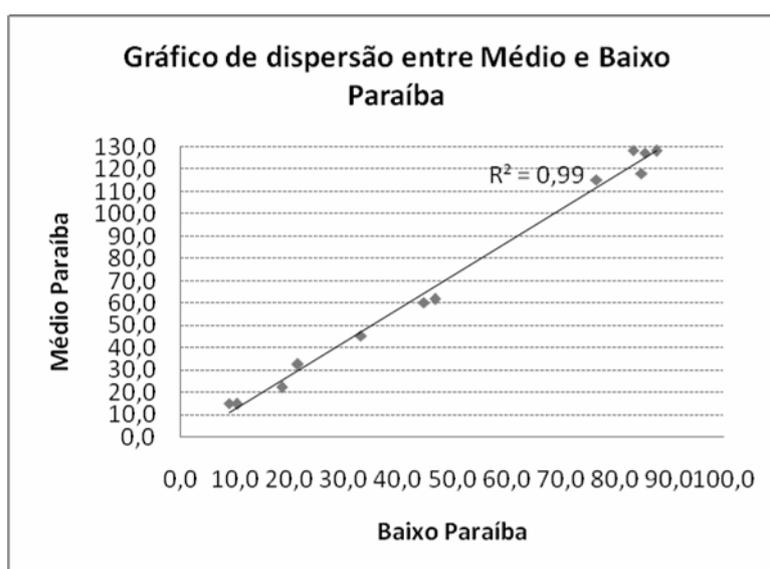


Figura 8. Correlação entre valores de precipitação do Médio e Baixo Paraíba.

Para a correlação entre a precipitação do Médio e Baixo Paraíba, também foi aplicado o teste de t Student, para o nível de significância de 0,95%, e como resultado, são consideradas como correlações confiáveis as maiores ou iguais a 0,34 (aplicando a fórmulas 3 ou 4); neste caso, a correlação entre a precipitação das sub-bacias do Médio e Baixo Paraíba (0,99) é válida (Figura 8). Esse fato mostra que as chuvas das sub-bacias são semelhantes e tem o mesmo período de atuação, como ocorreu entre a região do Taperoá e Alto Paraíba, comprovando mais uma vez o estudo de Araújo *et al.* (2006).

3.2. Variabilidade temporal da precipitação da bacia do rio Paraíba

A Figura 9 mostra o IAC para a região do Taperoá, onde os anos secos estão marcados em vermelho e os anos úmidos ou chuvosos em azul.

Entre os anos severamente secos estão 1912, 1962, 1990, 1993 e 1998, com ênfase para o período de 1951 a 1962, no qual apresentou IAC negativo em todos os anos. Logo após essa “peculiaridade temporal” é observada a seqüência de IAC positivos (1963 a 1978, resultado também encontrado em MAUGET, 2005 e DA SILVA *et al.*, 2007), destacando-se entre os anos mais chuvosos 1920, 1924, 1974, 1985 e 2004.

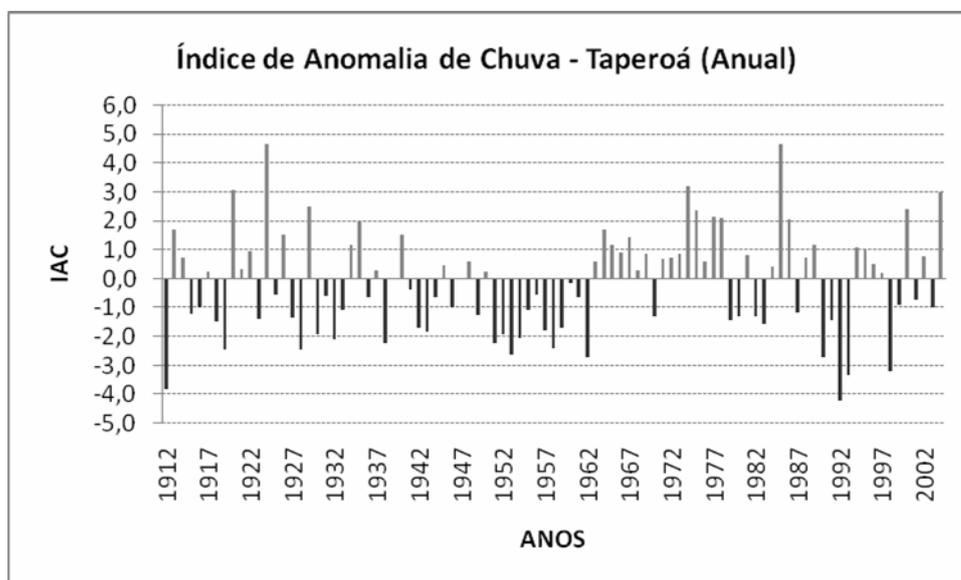


Figura 9. IAC para a região do Taperoá.

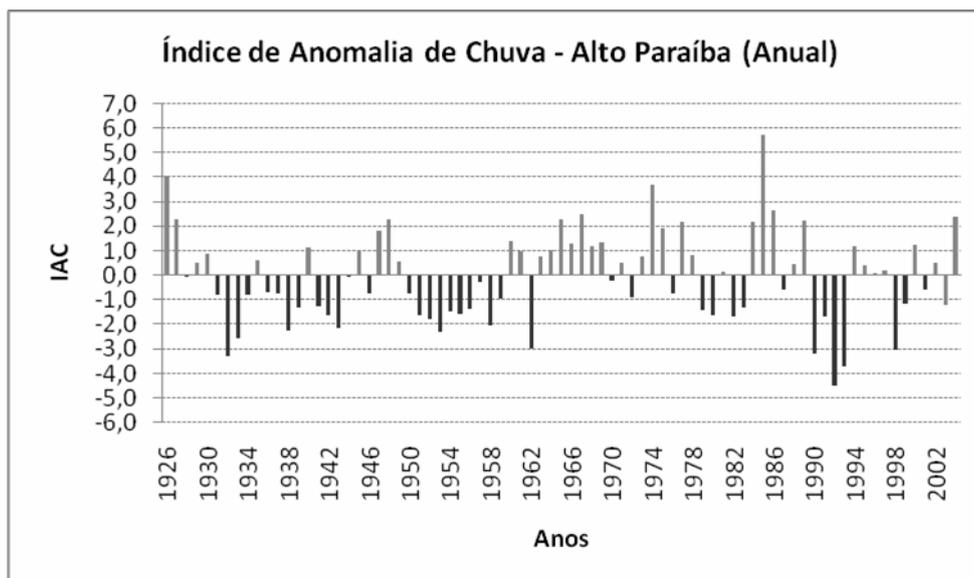


Figura 10. IAC para a sub-bacia do Alto Paraíba.

Analisando o IAC para a sub-bacia do Alto Paraíba (Figura 10), observa-se o mesmo comportamento da década de 1950 e 1960, como visto na região do Taperoá (Figura 9). Entre os anos mais secos estão 1932, 1962, 1990, 1993 e 1998 e chuvosos 1926, 1974, 1985, 1986 e 2004.

Outra semelhança entre essas duas sub-bacias é o fato de ambas apresentarem a mesma quantidade de anos secos, aproximadamente 50% do total de anos da série.

Tanto na região do Taperoá quanto no Alto Paraíba, até a década de 1960, observam-se anos secos consecutivos; no entanto após esse “ponto de inflexão” houve uma diminuição na frequência de anos secos e aumento da severidade dos eventos.

Esse ponto de inflexão na precipitação verificado em séries de IAC locais também foi encontrado em Da Silva *et al.* (2007), no qual o fato foi explicado como consequência de ações antrópicas no local.

A Figura 11 mostra o IAC para a região do Médio Paraíba, na qual visualiza-se alternância entre anos secos e chuvosos ao longo da série; no entanto, o período seco da década de 1960, também é notado nessa sub-bacia.

Destacam-se como anos secos, 1910, 1930, 1952, 1993 e 1998, e como anos úmidos, 1914, 1924, 1961, 1985, 2000 e 2004.

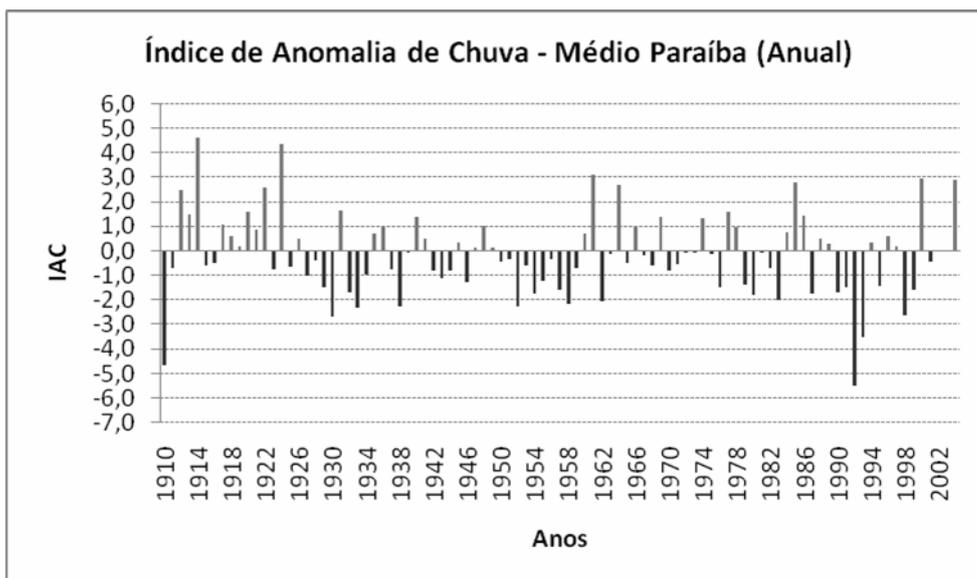


Figura 11. IAC para a sub-bacia do Médio Paraíba.

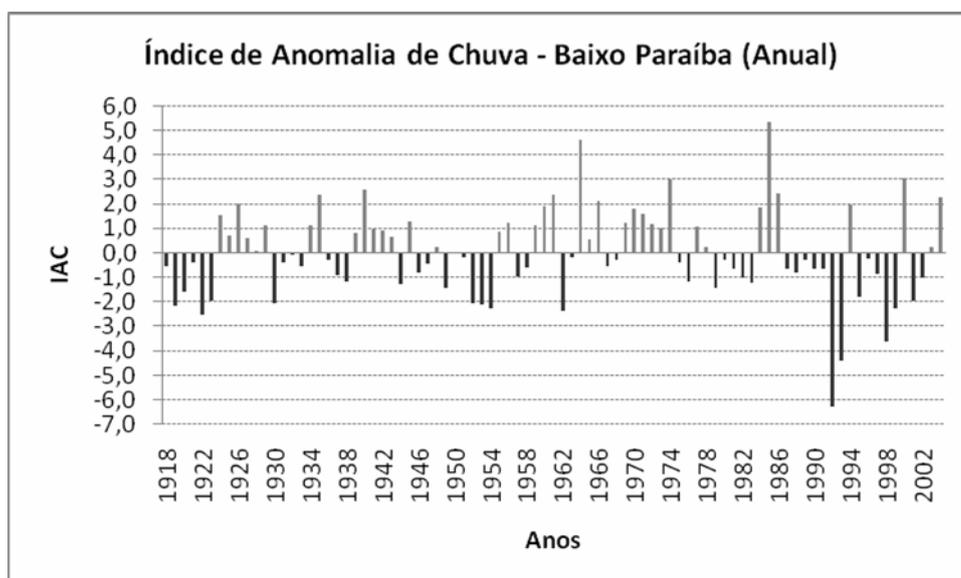


Figura 12. IAC para a sub-bacia do Baixo Paraíba.

Para a sub-bacia do Baixo Paraíba, os anos mais secos e os anos úmidos são os mesmos que os da sub-bacia anterior (Figura 11), o que mais uma vez reforça a semelhança nos padrões de precipitação entre as sub-bacias do Médio e Baixo Paraíba.

Nessas duas sub-bacias, do total de anos da série, aproximadamente 55% são anos secos, e a alternância entre anos secos e úmidos, ao longo da série, também é observada no Baixo Paraíba, não ficando tão evidente a intensidade do período seco da década de 1960, como encontrado nas demais sub-bacias.

4. CONCLUSÃO

Analisando-se a climatologia da bacia do rio Paraíba percebeu-se semelhança entre o padrão de precipitação da região do Taperoá e Alto Paraíba e das sub-bacias do Médio e Baixo Paraíba, fato reforçado pelas correlações lineares entre as precipitações dos pares de sub-bacias acima citados.

Os mesmos ainda apresentaram semelhança marcante nos anos úmidos e secos em comum, gerados pelo IAC, os quais para o Alto Paraíba e região do Taperoá foram secos em 1962, 1990, 1993 e 1998, e úmidos em 1974, 1985 e 2004. Já para o Médio e Baixo Paraíba, os anos secos em comum foram 1910, 1930, 1952, 1993 e 1998, os anos úmidos foram 1914, 1924, 1961, 1985, 2000 e 2004.

Na região do Taperoá e Alto Paraíba, foi encontrado um “ponto de inflexão” na distribuição de precipitação. Até a década de 1960, foram observados anos secos consecutivos; no entanto após esses anos, houve uma diminuição na frequência de anos secos e aumento da severidade dos eventos.

Para as sub-bacias do Médio e Baixo Paraíba, foi verificada semelhança na alternância entre anos secos e chuvosos ao longo da série de IAC.

Em comum para toda a bacia do rio Paraíba foi encontrado um período seco entre as décadas de 1950 e 1960. No entanto para o Baixo Paraíba foi observado com menor intensidade.

Neste trabalho foi verificado que o IAC pode ser utilizado como uma ferramenta para o acompanhamento climático de uma localidade, nesse caso uma bacia hidrográfica, além de ser utilizado para regionalização, podendo também, através desse monitoramento gerar prognósticos e diagnósticos da climatologia local.

5. REFERÊNCIAS

ARAÚJO, L.E. 2006. **Análise estatística de chuvas intensas na bacia hidrográfica do rio Paraíba**. Dissertação de Mestrado.

ARAÚJO, L.E.; BECKER, C.T.; PONTES, A.L. 2003. Periodicidade da precipitação pluviométrica no estado da Paraíba. **XIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**.

DA SILVA, D.F.; ARAÚJO, L.E.; KAYANO, M.T.; SOUSA, F.A.S 2007. Avaliação dos impactos da variabilidade climática na distribuição pluviométrica da bacia do rio Mundaú

através do IAC. **II Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais e Tecnológicos.** (no prelo).

ESPINOZA, E.S. 1996. **Distúrbios nos ventos de leste no Atlântico tropical.** Dissertação de Mestrado. São José dos Campos, INPE.

FREITAS, M.A.S. 2004. A Previsão de Secas e a Gestão Hidroenergética: O Caso da Bacia do Rio Parnaíba no Nordeste do Brasil. In: **Seminário Internacional sobre Represas y Operación de Embalses.** v. 1. p. 1-1.

FREITAS, M.A.S. 2005. Um Sistema de Suporte à Decisão para o Monitoramento de Secas Meteorológicas em Regiões Semi-Áridas. **Revista Tecnologia.** v. Supl., p. 84-95.

GONÇALVES, W.A.; CORREIA, M.F.; ARAÚJO, L.E.; DA SILVA, D.F.; ARAÚJO, H.A. 2006. Vulnerabilidade Climática do Nordeste Brasileiro: Uma análise de eventos extremos na Zona Semi-árida da bacia hidrográfica do São Francisco. **XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia.**

KOUSKY, V.E. 1979. Frontal influences on northeast Brazil. **Monthly Weather Review.** v. 107, n 9, p. 1140-1153.

KOUSKY, V.E.; GAN M.A. 1981. Upper tropospheric cyclones vórtices in the tropical south atlantic. **Tellus.** v. 33, p. 538-551.

MAUGET, S.U.M. 1965. Índice Padronizado de Precipitação (SPI); C. **Springer Science.**

ROOY, M.P. Van. A Rainfall Anomaly Index Independent of Time and Space. **Notes.** v. 14, p. 43.

SPIEGEL, M.R. 1977. **Estatística: resumo da teoria.** Ed. McGraw, São Paulo.

UVO, C.R.B. 1989. **A zona de convergência intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação na região norte e nordeste brasileiro.** Dissertação de Mestrado. INPE. São José dos Campos.