

APLICAÇÃO DO TESTE DE MANN-KENDALL PARA ANÁLISE DE TENDÊNCIA PLUVIOMÉTRICA NO ESTADO DO CEARÁ

José Ricardo Ferreira Lopes¹; Djane Fonseca da Silva²

1 Aluno do curso de Agronomia – UFC Campus Cariri, Bolsista do Programa de Iniciação à Docência - PID; e-mail: jrfl_jua@hotmail.com.

2 Meteorologista, Dr^a em Recursos Hídricos. Professora do curso de Agronomia; UFC Campus Cariri, e-mail: djane.fonseca@cariri.ufc.br

Artigo recebido em 11/09/2013 e aceito em 29/12/2013

RESUMO

Atualmente, devido ao grande interesse em mudanças climáticas globais e seus impactos, existe uma grande preocupação de pesquisadores em analisar as variabilidades climáticas que estão acontecendo no planeta, enfatizando-se a detecção de tendências em séries de observações hidrometeorológicas, especialmente de temperatura e precipitação. O intuito deste trabalho foi analisar, utilizando o teste de Mann-Kendall, as tendências e/ou variações nas séries pluviométricas de Total Anual, Média Anual, Total do Período Seco e Total do Período Chuvoso de oito macrorregiões do Estado do Ceará. Concluiu-se que na RMF as precipitações diminuíram, no Litoral Oeste ocorreram aumento nos valores médios mensais de chuva e forte diminuição de chuvas no período seco, em Sobral/Ibiapaba as precipitações aumentaram no período chuvoso e em Baturité houve diminuição das chuvas no período seco e aumento no período chuvoso. As tendências indicam diminuição com significância estatística para as precipitações em todos os parâmetros analisados para a Região Litoral Leste/Jaguaribe. Entretanto, na Região do Sertão Central, as tendências indicam uma diminuição bem significativa. Na região do Cariri/Centro Sul houve diminuição somente nos valores do período seco, havendo aumento nos outros períodos. Em Crateús houve aumento em todas as series, exceto no período seco, quando não há significância.

Palavras-chave: Teste de Mann-Kendall; estado do Ceará; análise de tendência

MANN-KENDALL APPLICATION TEST TO ANALYSIS RAINFALL TREND GAUGE IN CEARÁ STATE

ABSTRACT

Currently, due to great interest in global climate change and its impacts there is a major concern of researchers to examine the climate variability that are happening on the planet with emphasis on the detection of trends in a series of hydro-meteorological observations, especially temperature and rainfall. The purpose of this study was to analyze using the Mann-Kendall trends and / or variations in rainfall series of Total Annual Average Annual Total Total dry and the rainy season eight macroregions of the State of Ceará. Concluded that the RMF decreased rainfall. Increased on the West Coast occurred in mean monthly rainfall. Strong reduction in rainfall in the dry season, in Sobral / Ibiapaba increased rainfall during the rainy season. Baturité's rainfall decreased in the dry season and increased during the rainy season. Trends indicate a statistically significant decrease in rainfall for all parameters analyzed for the region East Coast / Jaguaribe. However, in the Sertão Central, the trends indicate a significant decrease as well. In Cariri /

South Central decreased only in the values of the dry period resulted in an increase in other periods. In Crateús was increased in all series, except in the dry season when there is no significance.

Keywords: Mann-Kendall, Ceará state, trend analysis

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos há uma grande preocupação de pesquisadores em analisar as variabilidades climáticas que estão acontecendo no planeta, principalmente no que se refere a um possível aumento de eventos de precipitações intensas sobre e próximo aos grandes centros urbanos. O conhecimento da precipitação durante o ano é o fator determinante para estimar, entre outros, a necessidade de irrigação de culturas e o abastecimento de água doméstico e industrial afirmam (BERTONI & TUCCI, 1993).

Na região Nordeste estudos dessa natureza, investigando a variabilidade de precipitações intensas tem-se dado mais importância devido aos benefícios causados pelos resultados podendo assim aplicá-los em nosso dia-a-dia.

No Sertão cearense, assim como em todo o Nordeste, existe uma grande expectativa acerca da quantidade de chuva do próximo inverno, termo que adquire na região um significado totalmente distinto da estação do ano, já que o período chuvoso para o estado é durante o verão no Hemisfério Sul.

Existem diferentes técnicas sendo usadas para diagnosticar tendências e/ou variações hidrometeorológicas, especialmente de temperatura e precipitação, que são os principais parâmetros envolvidos nas variações climáticas e o interesse pelas técnicas estatísticas tem aumentado consideravelmente, entre elas o teste estatístico de Mann-Kendall.

Diante do exposto e considerando a importância da temática tendências/variações climática, o intuito deste trabalho foi analisar, utilizando o teste de Mann-Kendall, as tendências e/ou variações nas séries pluviométricas (Total Anual, Média Anual, Total do Período Seco e Total do Período Chuvoso) das seguintes macrorregiões: Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), Litoral Oeste, Sobral/Ibiapaba, Baturité, Sertão dos Inhamuns, Sertão Central, Litoral Leste/Jaguaribe e Cariri/Centro Sul, todas localizadas no estado do Ceará.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Yevjevich (1972) define tendência em uma série temporal como uma mudança sistemática e contínua em qualquer parâmetro de uma dada amostra, excluindo-se mudanças periódicas ou quase periódicas.

Goossens & Berger (1986) apresentam as definições de alguns termos usados para caracterizar modificações climáticas. Segundo esses autores, mudança climática é um termo completamente geral que engloba todas as formas de inconstâncias climáticas de natureza estatística ou de causas físicas.

Back (2001) usou análises estatísticas para identificar tendências anuais da temperatura e precipitação pluvial da estação meteorológica de Urussanga – SC. Em cada variável estudada foi aplicada a análise de regressão e realizada análise não-paramétrica por meio dos testes Run, de Mann-Kendall e de Pettitt. Os resultados indicaram que houve tendência significativa no aumento da temperatura média anual e na temperatura média do mês de janeiro, sendo que a mudança ocorreu no ano de 1965. Não foi identificada nenhuma tendência significativa na temperatura média do mês de julho. Também foi identificada a tendência significativa de aumento da precipitação pluvial total anual, e da precipitação pluvial total no quarto trimestre. Nos três primeiros trimestres do ano, nenhuma tendência significativa foi identificada.

Rusticucci e Barrucand (2004) apresentam uma análise detalhada das temperaturas extremas na Argentina, entre 1959 e 1998, período de 39 anos. Seus resultados mostram tendências negativas de até 6,9°C/100 anos nas temperaturas máximas de verão no norte do país.

Vincent et al. (2005) não encontraram variações consistentes nas temperaturas máximas e mínimas da América do Sul. Eles simplesmente notaram uma tendência de aumento na frequência de noites quentes e de decréscimo nas de noites frias, nas costas leste e oeste do continente.

Haylock et al. (2006) constataram que houve mudanças para condições mais úmidas no Equador, norte do Peru, sul do Brasil, Paraguai, Uruguai e centro-norte da Argentina. Para o sul da América do Sul, o IPCC (2001) relata tendências de aquecimento de 0,6 a 0,8°C no período de 1976 a 2000 (24 anos) e de 0,4 a 0,6°C no período de 1940 a 1975 (35 anos). O relatório sintético do IPCC (2007), que apresenta uma visão geral sobre o comportamento das temperaturas médias anuais no continente Sul-Americano, mostra tendências de aquecimento de 0,5°C no período de 1950 a 2000.

Marengo e Camargo (2008), através do teste de Mann-Kendall, encontraram tendências de aquecimento na maioria das estações, de 0,5 a 0,8°C/decênio nas temperaturas mínimas e de 0,4°C/decênio nas máximas.

Santos (2008) avaliou as condições climáticas atuais da região Nordeste do Brasil e elaborou cenários climáticos para os anos de 2050 e 2100, com base em observações de superfície. Foram utilizadas séries temporais da temperatura do ar (máxima, mínima e média), correspondentes ao período de 1961 a 2007, bem como as médias climatológicas de precipitação pluvial de 89 localidades no Nordeste do Brasil. Os resultados obtidos indicam tendências crescentes, nas séries temporais de temperatura do ar, estatisticamente significativas pelo teste de Mann-Kendall, tanto para o período estudado como para os cenários de 2050 e 2100.

As maiores taxas de aumentos das temperaturas máximas e médias anuais foram encontradas para o período atual de estudo e para o cenário do ano de 2050; e redução de seus valores entre os cenários de 2050 e 2100. Já a temperatura mínima anual apresentou a maior taxa de aumento no período compreendido entre os cenários de 2050 e 2100. Também foi verificado que as temperaturas mínimas apresentam maiores amplitudes e intensidade do que as temperaturas máximas. Foram encontradas tendências crescentes nas taxas de evapotranspiração potencial em todo Nordeste do Brasil, principalmente nas partes central, oeste e norte da região nos dois cenários analisados. Sansigolo (2010) analisou as tendências de longo prazo nas temperaturas máximas e mínimas e precipitações sazonais no RS no período de 1914 a 2006. As temperaturas sazonais apresentam tendências significativas de aumento de 1,5°C/100 anos no outono, de 1,9°C no verão e de 1,8°C nas outras duas estações do ano.

Silva et al. (2010) aplicaram o teste de Mann-Kendall em séries temporais do saldo de radiação no Nordeste do Brasil e concluíram que as mesmas exibiram reduções acentuadas entre 1948 e 1987, entretanto, no período de 1988 a 2006, comportamento inverso, sugerindo a presença do fenômeno “Global dimming” sobre a região Nordeste do Brasil.

Sansigolo e Kayano (2010) ao analisarem as precipitações e temperaturas no Rio Grande do Sul concluíram que as precipitações só apresentaram tendências significativas no verão, de aumento de 93 mm/100 anos, sobre uma média sazonal de 367 mm.

Blain (2010) concluiu que apesar da maioria das séries apresentarem importantes variações em seus parâmetros estatísticos (variações climáticas), não foi possível

estabelecer uma concomitância/significância na variabilidade temporal (elevação ou queda) nas oito séries de temperatura máxima do Estado de São Paulo. Com isso, não houve detecção de tendências climáticas consistentes nos dados anuais de temperatura máxima do ar do Estado de São Paulo.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

Neste trabalho foram escolhidas oito macrorregiões cearenses (Figura 1): Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), Litoral Oeste, Sobral/Ibiapaba, Baturité, Sertão dos Inhamuns, Sertão Central, Litoral Leste/Jaguaribe e Cariri/Centro Sul de acordo com a divisão das macrorregiões de planejamento do Ceará da Secretaria do Planejamento e Coordenação (SEPLAN).

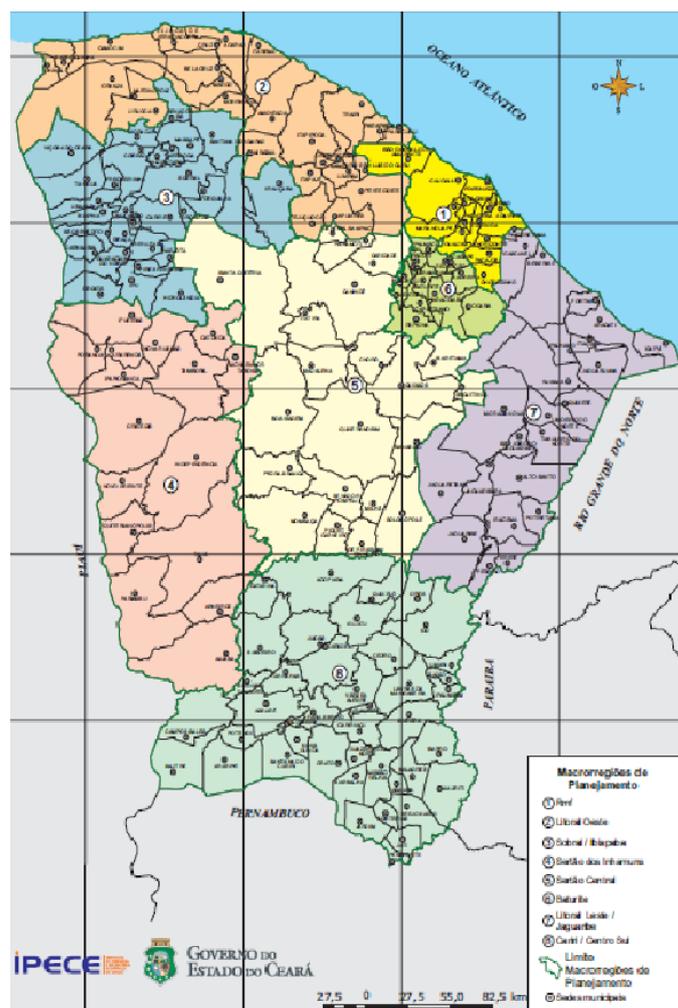


Figura 1: Estado do Ceará e suas oito macrorregiões (Fonte: SEPLAN, 2011).

Dados e Métodos

Os dados de precipitação utilizados foram provenientes da Agência Nacional das Águas (ANA) para o período de 1952 a 2006 (55 anos).

Esse teste requer que as séries sejam serialmente independentes, logo um teste de correlação serial deve ser previamente aplicado (Sneyers, 1975).

O teste de Mann-Kendall é um teste não-paramétrico (Mann, 1945; Kendall, 1975), sugerido pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) para avaliação da tendência em séries temporais de dados ambientais.

Em geral os estudos sobre tendências climáticas negligenciam a correlação serial nas séries temporais; correlações seriais positivas (negativas) aumentam (diminuem) a probabilidade de rejeitar a hipótese nula (Von Storch, 1995). Nestes casos, devem-se filtrar as séries com um modelo autoregressivo, por exemplo, ou usar uma forma modificada do teste de Mann-Kendall para séries autocorrelacionadas, como proposto por Hamed e Rao (1998).

A existência de correlação serial nas séries deve ser avaliada pelo teste não paramétrico de seqüências. As séries não rejeitadas nestes testes foram submetidas ao teste de Mann-Kendall, um teste também não paramétrico usado para avaliar a existência de uma eventual tendência. Nos casos de séries que não passam no teste de seqüência, deve-se usar o teste de Mann-Kendall modificado para levar em conta a autocorrelação (Hamed e Rao, 1998), mas de qualquer forma tendências significativas devem ser removidas a priori (Sansigolo e Kayano, 2010).

A estatística do teste é a seguinte (Silva et al., 2010):

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

Em que: x_j são os dados estimados da seqüência de valores, n é o comprimento da série temporal e o sinal $(x_i - x_j)$ é igual a -1 para $(x_i - x_j) < 0$, 0 para $(x_i - x_j) = 0$, e 1 para $(x_i - x_j) > 0$. O teste de Mann-Kendall é um teste normalmente usado para avaliar tendência de séries temporais de dados ambientais com bastante eficiência.

Kendall (1975) mostrou que S é normalmente distribuída com média $E(S)$ e variância $\text{Var}(S)$, para uma situação na qual pode haver valores iguais de x , são calculadas pelas equações:

$$E [S] = 0$$

(2)

$$\text{Var}[S] = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)}{18} \quad (3)$$

Em que: (t_p) e número de dados com valores iguais num certo grupo (p_{th}) e q é o número de grupos contendo valores iguais na série de dados num certo grupo p . O segundo termo representa um ajuste para dados censurados.

O teste estatístico parametrizado (ZMK) e computado pela seguinte equação:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

A presença de uma tendência estatisticamente significativa e avaliada usando o valor de Z . Essa estatística é usada para testar a hipótese nula, ou seja, que nenhuma tendência existe. Um valor positivo de ZMK indica um aumento da tendência, quando negativa indica uma tendência decrescente. Para testar a tendência crescente ou decrescente no nível de significância de p , a hipótese nula é rejeitada se o valor absoluto de Z for maior que $1 \pm 2 Z_{\alpha/2}$, utilizando-se a tabela da distribuição normal cumulativa padrão.

Os níveis de significância de $p = 0,01$ e $0,05$ foram aplicados neste estudo. Uma estimativa não-paramétrica para o valor da inclinação da tendência é obtida de acordo com Silva et al. (2010):

$$\beta = \text{Median} \left[\frac{(x_j - x_i)}{(j - i)} \right], \text{ para } i < j \quad (5)$$

Em que: x_j e x_i são os pontos dados medidos no tempo j e i , respectivamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tendências nas séries temporais de precipitação nas oito macrorregiões cearenses

As tendências indicaram diminuição com significância estatística para as precipitações em todos os parâmetros analisados para a RMF. Na região do Litoral Oeste

houve aumento somente nos valores da média anual, havendo diminuição nos outros períodos. Em Sobral/Ibiapaba houve aumento de precipitação em todos os períodos analisados. Em Baturité só houve diminuição dos totais pluviométricos no período seco e aumento nas outras séries estudadas.

Para as precipitações em todos os parâmetros analisados da Região Litoral Leste/Jaguaribe foram observadas tendências de diminuição com significância estatística. Entretanto, na Região do Sertão Central, as tendências indicaram uma diminuição bem significativa.

Na região do Cariri/Centro Sul houve diminuição somente nos valores do período seco, havendo aumento nos outros períodos. Em Crateús houve aumento em todas as séries, exceto no período seco onde não há significância (Tabela 1).

Tabela 1: Teste de Mann-Kendall aplicado a oito macrorregiões cearense.

Macrorregiões	Tendências	Total Anual	Média Anual	Período Seco	Período Chuvoso
Região Metropolitana de Fortaleza	Tendência Observada (mm)	-3,9672	-0,3354	-3,2019	-0,8231
	Valor da Tendência em Porcentagem (%) por ano	- 0,3193	- 0,3241	- 2,2786	- 0,0747
	Tendência em 55 anos (mm)	- 218,1968	-18,4483	-176,1091	-45,2714
Litoral-Oeste	Tendência Observada (mm)	-2,4286	+0,48305	-3,2019	-2,2405
	Valor da Tendência em Porcentagem (%) por ano	-0,30509	+0,7282	-4,3454	-0,3102
	Tendência em 55 anos (mm)	- 133,5766	+2,6568	-176,1091	-123,2293
Sobral/Ibiapaba	Tendência Observada	+2,2405	+0,2434	+2,7038	+0,2175
	Valor da Tendência em Porcentagem (%) por ano	+0,4077	+0,5315	+8,0651	+0,0422
	Tendência em 55 anos (mm)	+123,2293	+13,3893	+148,7095	+11,9631
Sertão dos Inhamuns	Tendência Observada	+2,40933	+0,2030078	+2,3093	+0,1269*
	Valor da Tendência em Porcentagem (%) por ano	+0,05626	+0,3398	+5,7459	+0,01875*
	Tendência em 55 anos	+132,5133	+11,1654	+127,0116	+6,9735*
	Tendência Observada	-1,1989	-0,10229	-0,4716	-0,7559

Sertão Central	Valor da Tendência em Porcentagem (%) por ano	-0,1367	-0,1398	-0,6946	-0,0933
	Tendência em 55 anos	-65,9444	-5,6261	-25,9394	-41,5749
Baturité	Tendência Observada	+2,1220	+0,1713	+2,4129	-0,3578
	Valor da Tendência em Porcentagem (%) por ano	+0,20015	+0,1939	+2,1855	-0,0378
	Tendência em 55 anos	+116,7134	+9,4227	+132,7115	-19,6382
Litoral-Leste/Jaguaribe	Tendência Observada	-0,7559	+0,0973	+0,5789	+0,6095
	Valor da Tendência em Porcentagem (%) por ano	-0,10574	+0,1633	+1,3818	+0,0905
	Tendência em 55 anos	-41,5749	+5,3531	+31,8333	+33,5130
Cariri/Centro Sul	Tendência Observada	+1,3846	+0,1493	+0,4924	-1,1353
	Valor da Tendência em Porcentagem (%) por ano	+0,8687	+0,2347	+2,4389	-1,0267
	Tendência em 55 anos	+76,1547	+8,2117	+27,0831	-62,4419

(*) Análise sem significância estatística.

Em resumo, as tendências para todas as regiões e seus respectivos períodos de análise foram:

1- Região Metropolitana de Fortaleza (RMF): diminuição em todas as séries analisadas, com uma considerável diminuição com significância estatística na série de Precipitação Total Anual (-218,19 mm em 55 anos) (Figuras 2 a 5);

2- Litoral Oeste: diminuição em três das quatro séries estudadas. O pico de diminuição ocorreu na série do Período Chuvoso (-176,10 mm, em 55 anos) e aumento somente na série de Precipitação Média Anual com o valor de +2,65 mm em 55 anos (Figuras 6 a 9);

3- Sobral/Ibiapaba: aumento na precipitação em todas as séries analisadas, destacando-se série de Período Chuvoso e série de Precipitação Total Anual, com valores de 148,70 mm e 155,61 mm, em 55 anos, respectivamente (Figuras 10 a 13);

4- Sertão dos Inhamuns: aumento em todas as séries estudadas, destacando-se a série de Precipitação Total Anual atingindo o aumento de 132,51 mm em 55 anos (Figuras 14 a 17);

5- Sertão Central: diminuição em todas as séries analisadas com destaque para o Período Seco com diminuição de -41,57 mm em 55 anos (Figuras 18 a 21);

6- Baturité: diminuição somente no Período Seco (-19,63 mm, em 55 anos), destacando-se o Período Chuvoso com aumento de 132,71 mm em 55 anos (Figuras 22 a 25);

7- Litoral Leste/Jaguaribe: aumento em todas as séries analisadas, destacando-se a de Precipitação Total Anual com +66,55 mm em 55 anos (Figuras 26 a 29);

8- Cariri/Centro Sul: aumento em três das quatro séries analisadas, com destaque a diminuição no Período Seco com -62,44 mm em 55 anos (Figuras 30 a 33).

Seguem abaixo as Figuras as quais mostram todas as tendências observadas em todas as regiões:

Região 1 – Região Metropolitana de Fortaleza

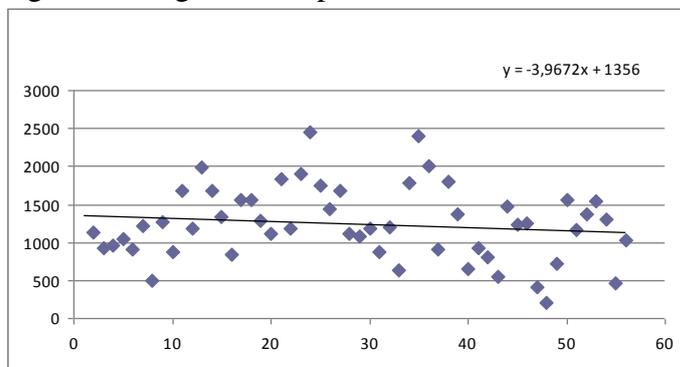


Figura 2: Tendências na Série Total Anual

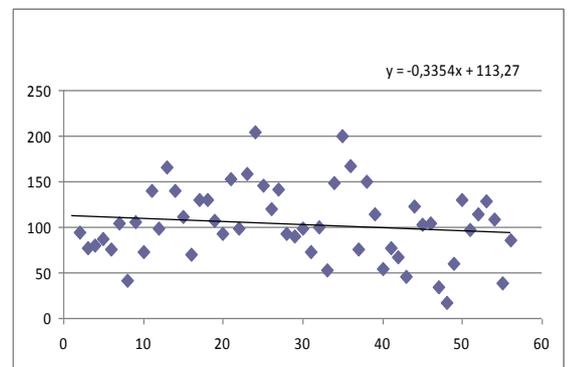


Figura 3: Tendências na Série Média Anual

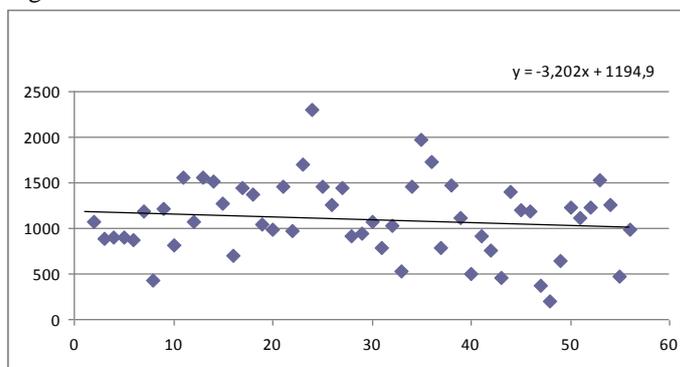


Figura 4: Tendências na Série Período Chuvoso

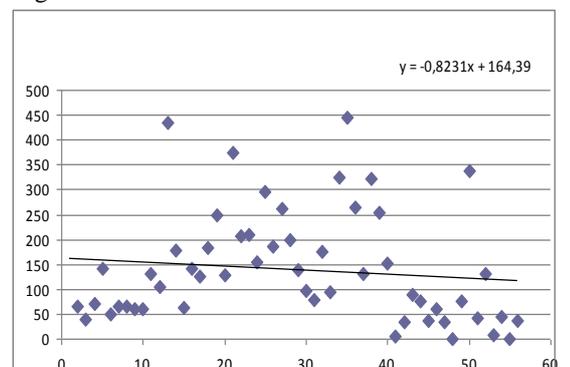


Figura 5: Tendências na Série Período Seco

Região 2 - Litoral Oeste

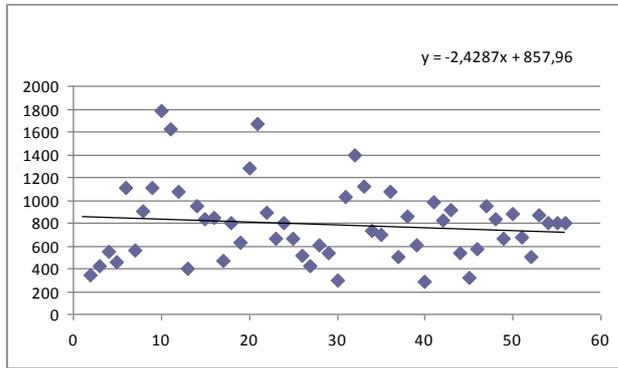


Figura 6: Tendências na Série Total Anual

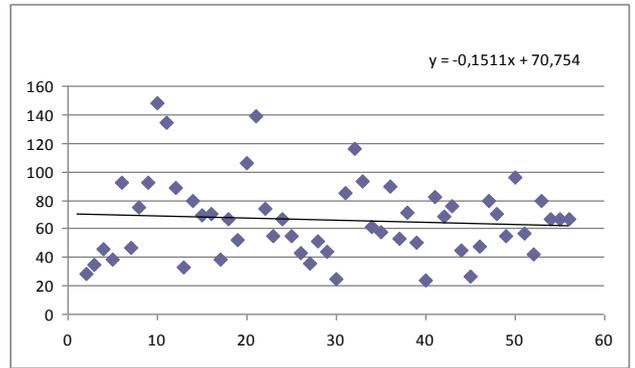


Figura 7: Tendências na Série Média Anual

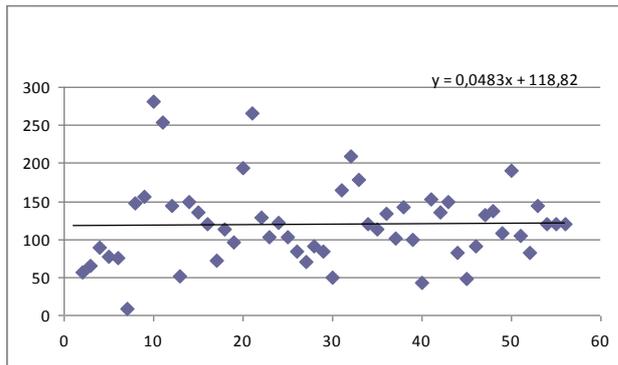


Figura 8: Tendências na Série Período Chuvoso

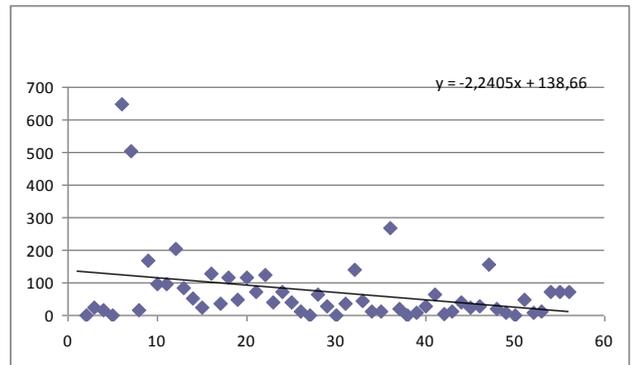


Figura 9: Tendências na Série Período Seco

Região 3 - Sobral/Ibiapaba

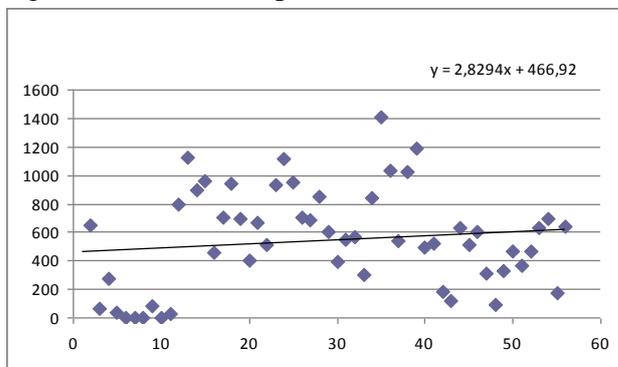


Figura 10: Tendências na Série Total Anual

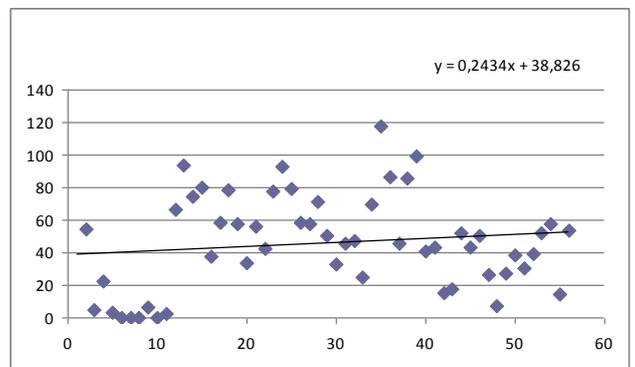


Figura 11: Tendências na Série Média Anual

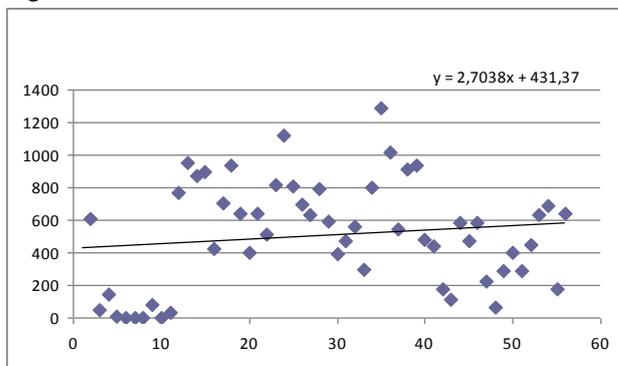


Figura 12: Tendências na Série Período Chuvoso

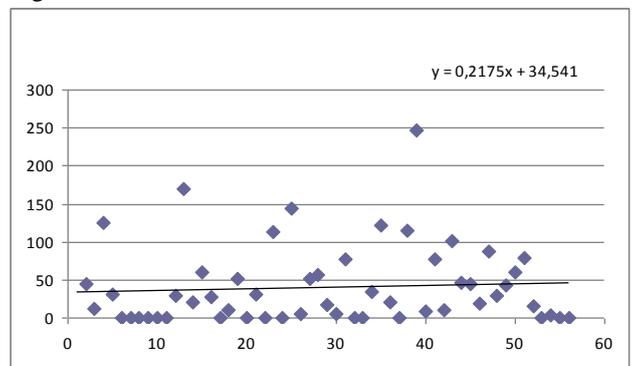


Figura 13: Tendências na Série Período Seco

Região 4 – Sertão dos Inhamuns

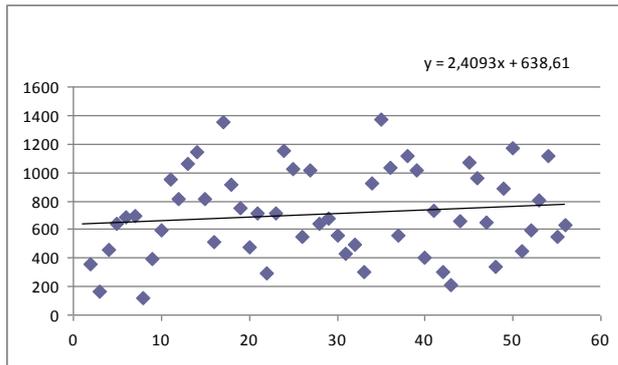


Figura 14: Tendências na Série Total Anual

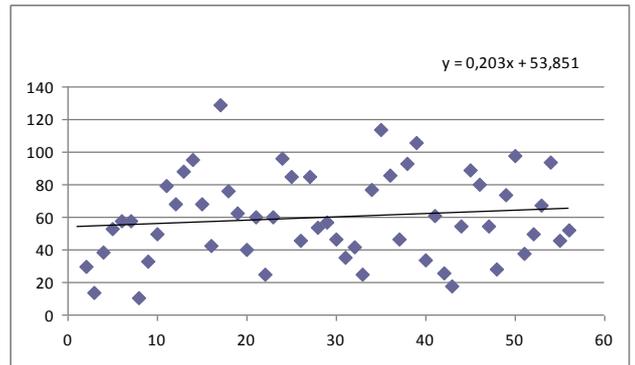


Figura 15: Tendências na Série Média Anual

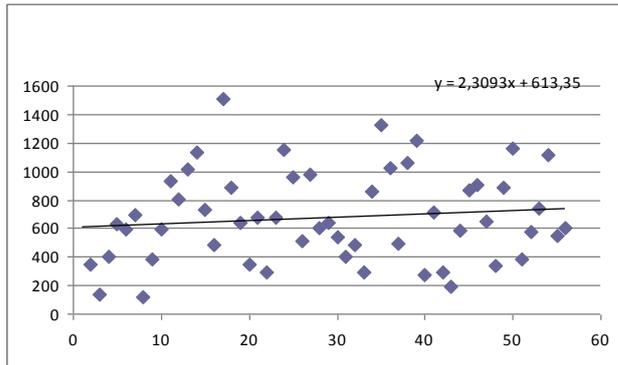


Figura 16: Tendências na Série Período Chuvoso

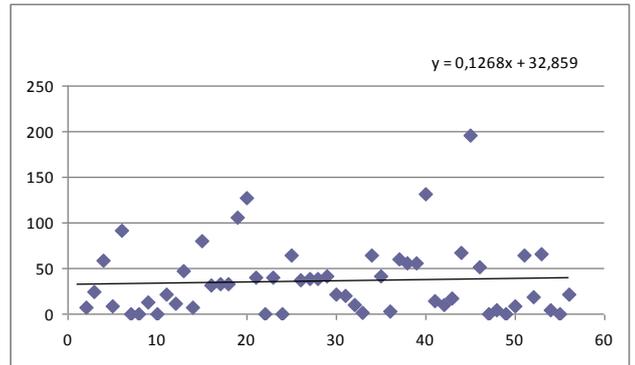


Figura 17: Tendências na Série Período Seco

Região 5 – Sertão Central

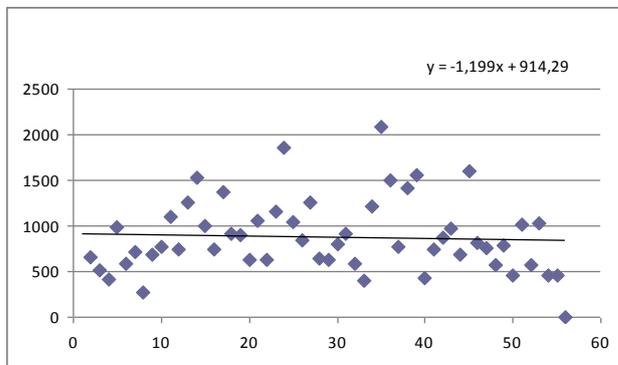


Figura 18: Tendências na Série Total Anual

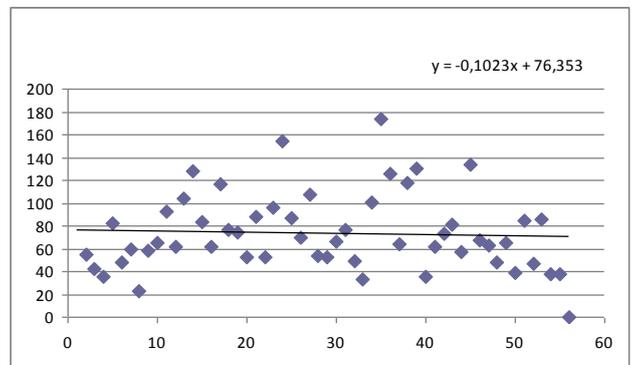


Figura 19: Tendências na Série Média Anual

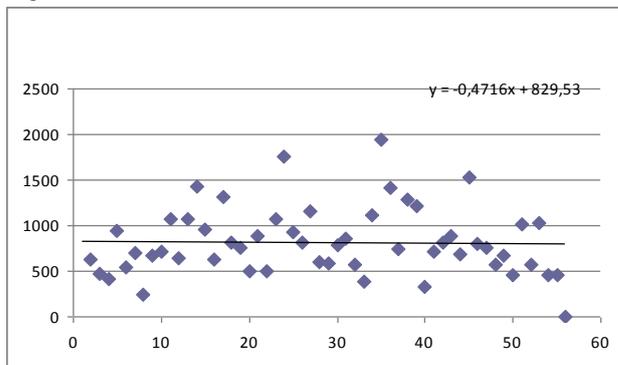


Figura 20: Tendências na Série Período Chuvoso

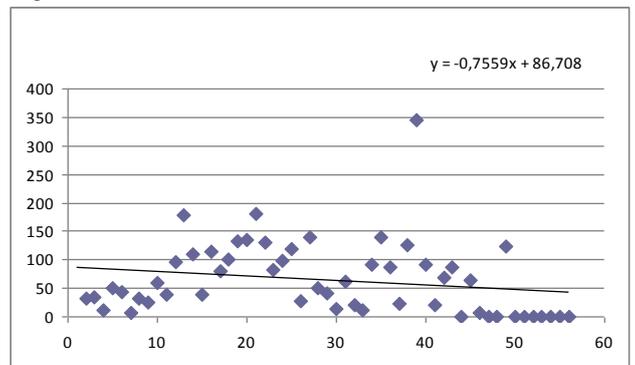


Figura 21: Tendências na Série Período Seco

Região 6 – Baturité

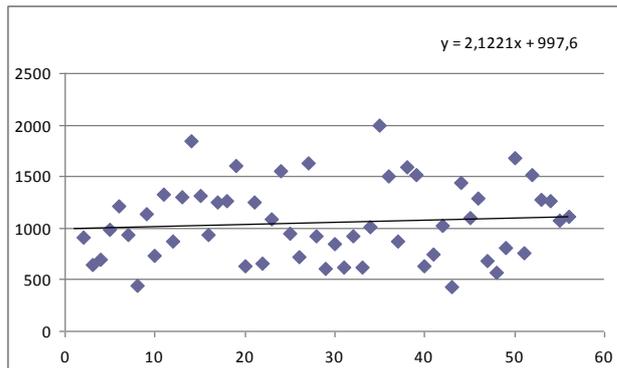


Figura 22: Tendências na Série Total Anual

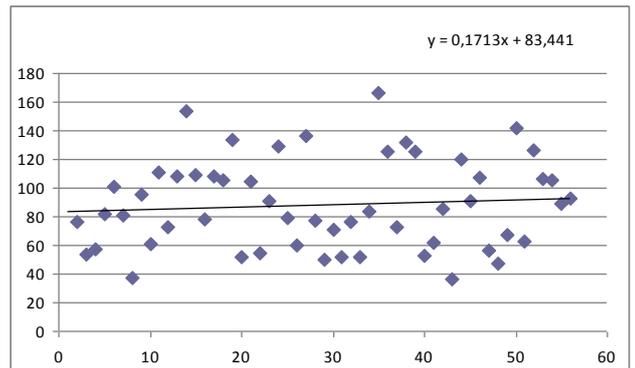


Figura 23: Tendências na Série Média Anual

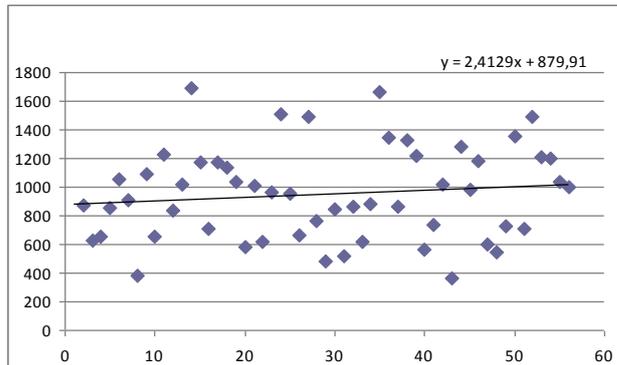


Figura 24: Tendências na Série Período Chuvoso

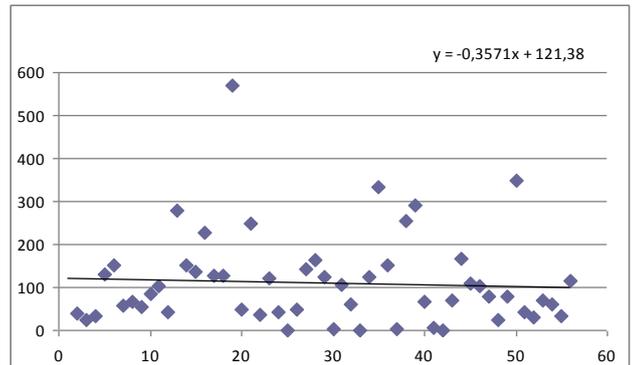


Figura 25: Tendências na Série Período Seco

Região 7 – Litoral Leste/Jaguaribe

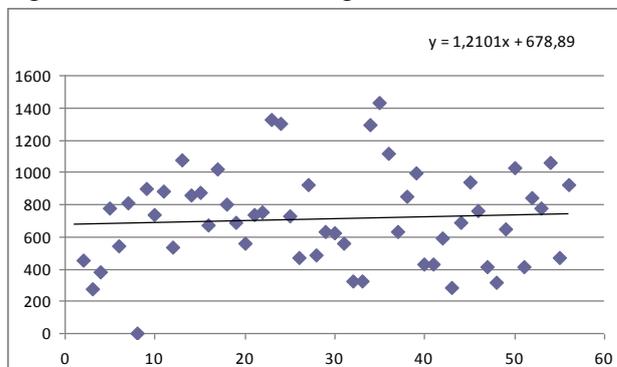


Figura 26: Tendências na Série Total Anual

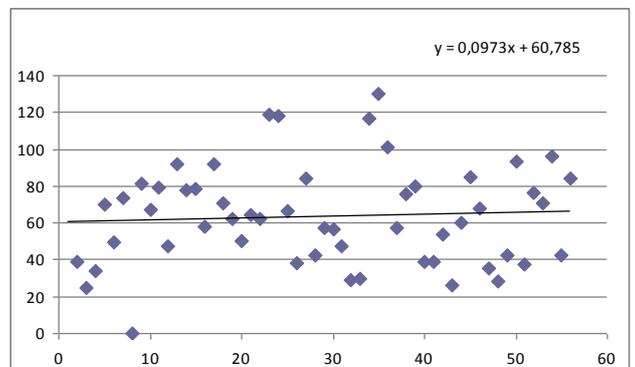


Figura 27: Tendências na Série Período Chuvoso

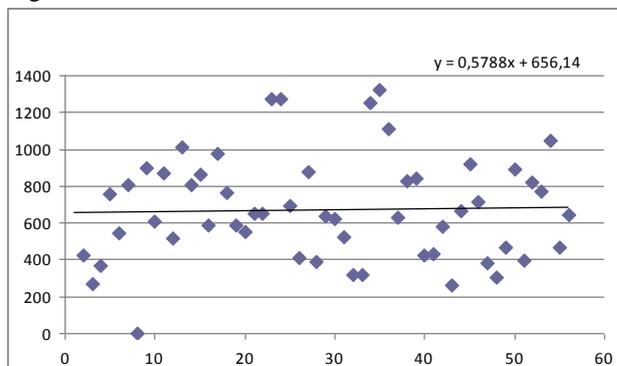


Figura 28: Tendências na Série Período Chuvoso

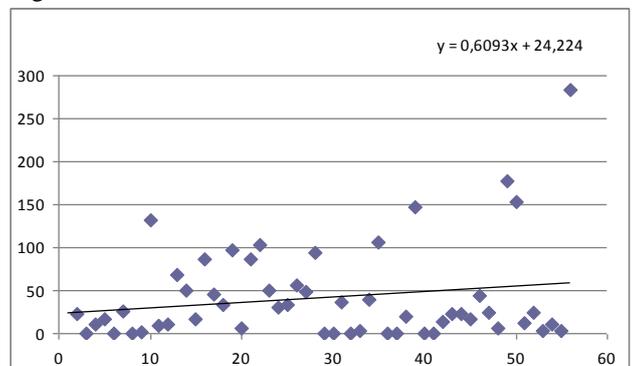


Figura 29: Tendências na Série Período Seco

Região 8 – Cariri/Centro Sul

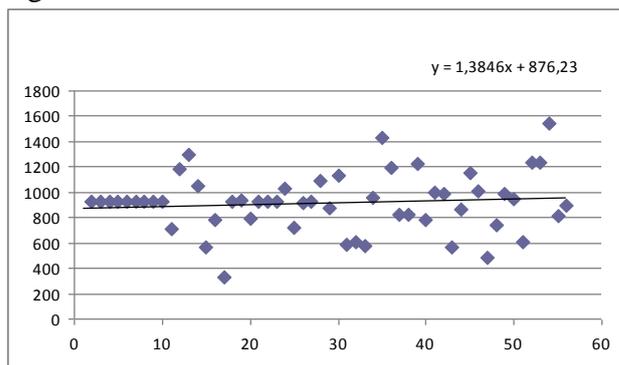


Figura 30: Tendências na Série Total Anual

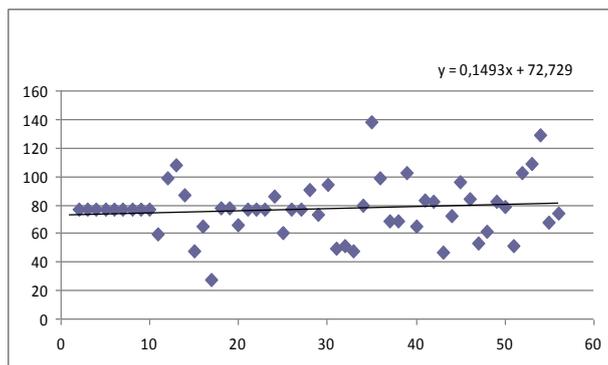


Figura 31: Tendências na Série Período Chuvoso

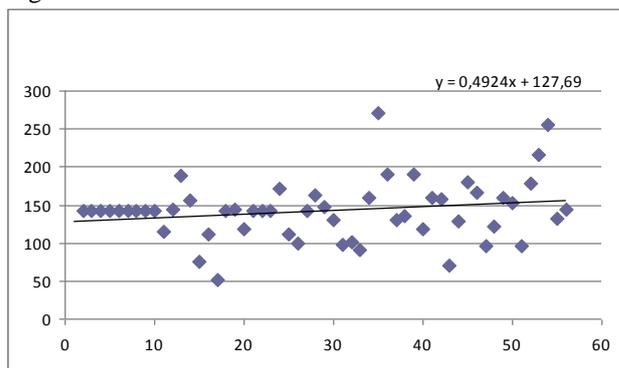


Figura 32: Tendências na Série Período Chuvoso

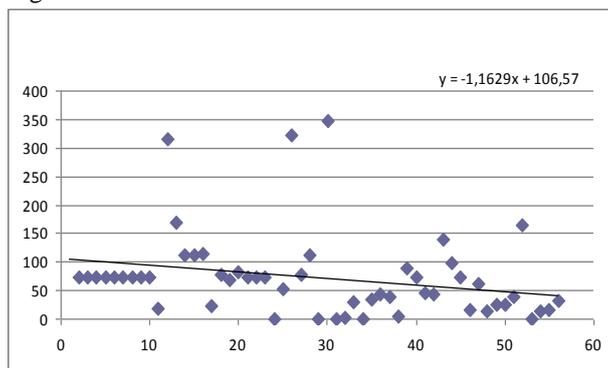


Figura 33: Tendências na Série Período Seco

- Distribuição espacial das tendências na precipitação do Ceará

Espacialmente, as tendências de aumento na média de precipitação anual crescem de norte para sul. Tendências negativas ocorreram no norte do Estado (Região Metropolitana de Fortaleza) até o Sertão Central. Um núcleo de máximos valores de tendência é observado na região de Baturité, formando um “dipolo” com as áreas anteriormente citadas (Figura 34).

O mesmo padrão foi observado para as tendências do total anual; maiores valores em direção ao Sul do Estado, menores no Norte e núcleo de valores opostos na região de Baturité (Figura 35).

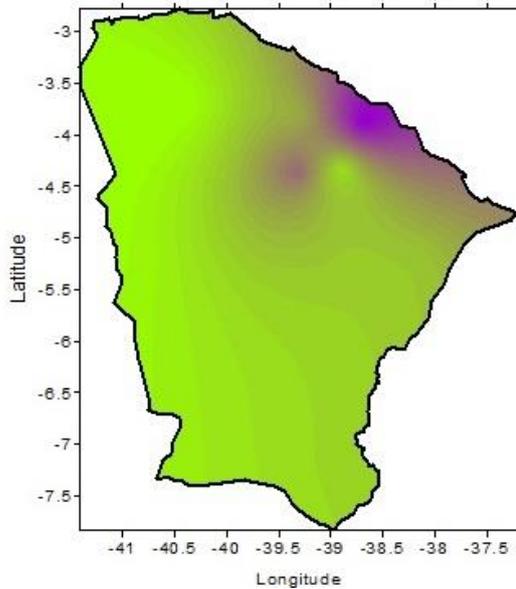


Figura 34: Distribuição espacial das tendências da série de média anual da precipitação no Ceará

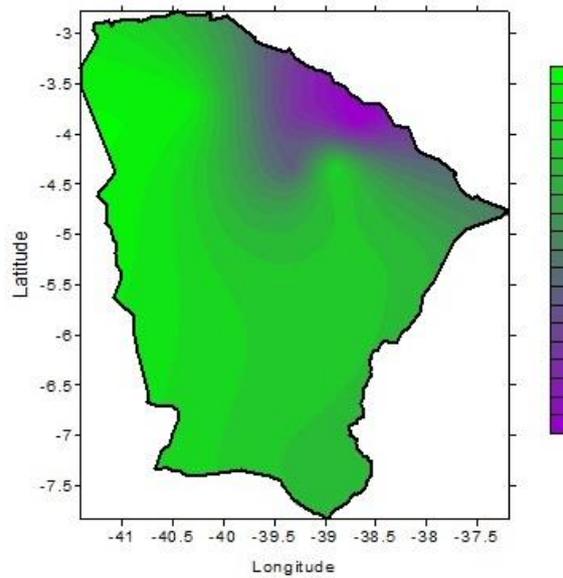


Figura 35: Distribuição espacial das tendências da série de total anual da precipitação no Ceará

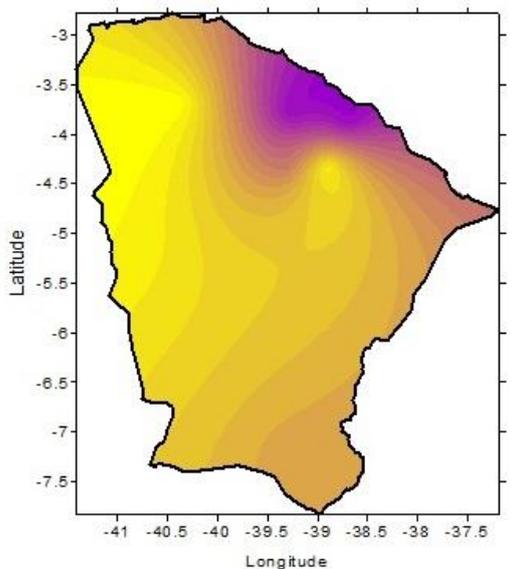


Figura 36: Distribuição espacial das tendências da série de precipitação do período chuvoso no Ceará

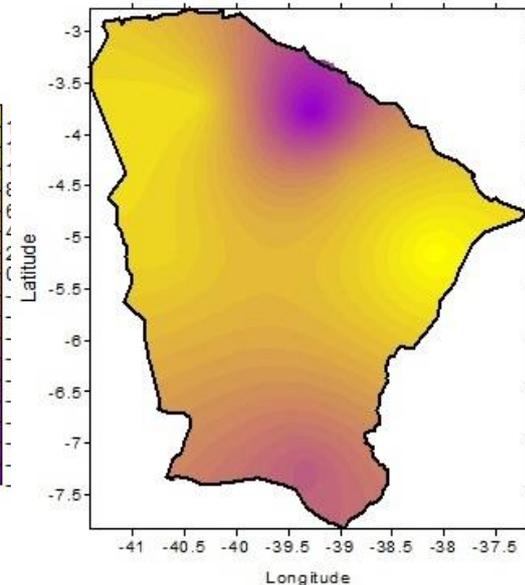


Figura 37: Distribuição espacial das tendências da série de precipitação do período seco no Ceará

A tendência de diminuição das precipitações do período chuvoso ocorre com maior intensidade em praticamente todo o litoral do Estado e seguindo também em direção ao Sertão Central. Na fronteira leste do Estado também se pode observar valores negativos de tendência nesse período. Tendências de aumento de chuvas, nesse período, para sul, centro-sul e oeste do Ceará (Figura 36). Já as tendências do período seco, mostram todo o sul do Estado com tendências negativas, além da RMF e Litoral Oeste. Nesse período a fronteira leste apresenta tendências positivas (Figura 37).

Verificou-se também que as tendências de diminuição de precipitação foram mais intensas no período chuvoso, o que pode comprometer as reservas hídricas.

CONCLUSÕES

Assim, concluiu-se que no litoral do estado do Ceará as precipitações estão diminuindo (RMF e Litoral Oeste), aumento nos valores médios mensais de chuva e forte diminuição de chuvas no período seco. Em Sobral/Ibiapaba as precipitações aumentaram no período chuvoso e em Baturité houve diminuição das chuvas no período seco e aumento no período chuvoso – eventos extremos.

Na região do Sertão dos Inhamuns foi observado aumento em todas as séries exceto no período seco, onde houve diminuição nas precipitações, mas sem significância estatística. Já na região do Sertão Central, houve diminuição em todas as séries estudadas, indicando redução de chuvas. No Litoral Leste/Jaguaribe observou-se aumento das precipitações em todas as séries analisadas, com ênfase no total anual com aumento de 66 mm para 55 anos do estudo.

Por fim, na região do Cariri/Centro Sul houve diminuição dos totais pluviométricos somente no período seco, indicando que nessa área, o período seco está se tornando mais seco.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à PROGRAD (Pró-reitoria de Graduação da Universidade Federal do Ceará) e à Universidade Federal do Ceará pela concessão da bolsa ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

- BACK, A. J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. *Pesq. agropec. Bras.*, Brasília, v. 36, n. 5, p. 717-726, maio 2001.
- BERTONI, J. C. & TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. Org. *Hidrologia: Ciência e Aplicação*, UFRGS, ABRH, Porto Alegre – RS, Cap. 5, p. 177-200. 1993.
- BLAIN, G. C. Séries anuais de temperatura máxima média do ar no estado de São Paulo: Variações e tendências climáticas. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 25, n.1, 114 - 124, 2010.

- Goossens, C; Berger, A. Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century. *Annales Geophysicae*, Berlin, v.4, n.B4, p. 385-400, 1986.
- HAMED, K. H.; RAO, A.R A modified Mann-Kendall trend test for auto correlated data. *Journal of Hydrology*, 204:182-196, 1998.
- HAYLOCK, M. R., et al. Trends in total and extreme South America rainfall in 1960-2000 and links with sea-surface temperatures. *J. Climate* 19: 1490-1512, 2006.
- KENDALL, M. G. Rank correlation measures. Charles Griffin: London, U.K, p.220, 1975.
- MANN, H. B. *Econometrica*. The econometric society, v.13, n.3, p.245-259, 1945.
- MARENGO J.A.; Camargo, C.G. Surface air temperature trends in southern Brazil for 1960-2002. *Inter. Journal of Climatology*, v. 28: 893-904, 2008.
- RUSTICUCCI, M.; BARRUCAND, M. Observed trends and changes in temperature extremes over Argentina. *J. Climate* 17:4099-4107, 2004.
- SANSIGOLO, C. A.; KAYANO, M. T. Tendências nas temperaturas máximas e mínimas e nas precipitações sazonais do Rio Grande do Sul (1913-2006). *Anais. Congresso Brasileiro de Meteorologia*, 2010.
- SANTOS, D. N. Estudo de alguns cenários climáticos para o Nordeste do Brasil. 2008. 84f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande – PB. 2008.
- SILVA, R. A.; SILVA, V. P. R; CAVALCANTI, E. P.; SANTOS, D. N. Estudo da variabilidade da radiação solar no Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n.5, p. 501-509, 2010.
- SNEYERS, R. Sur l'analyse statistique des series d'observations. Genève: Organisation Météorologique Mondial, 192 pp, OMM Note Technique, 143, 1975.
- VINCENT, L. A., et al. Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America. *J Climate* 18: 5011-5023, 2005.
- VON STORCH, V.H. Misuses of statistical analysis in climate research. In HV von Storch and A Navarra (eds), *Analysis of Climate Variability: Applications of Statistical Techniques*, Springer-Verlag, Berlin, 1995.
- YEVJEVICH, V. Probability and statistics in hydrology. Fort Collins: Water Resources Publication, 1972. 276 p.