

CLIMATOLOGIA DA PRECIPITAÇÃO PARA O MUNICÍPIO DE CARAGUATATUBA, SP

Graziela Balda Scofield¹ & Carlos Frederico de Angelis¹; Wilson Cabral de Sousa Junior²

Resumo – A climatologia da precipitação foi estudada utilizando-se dados diários da estação de Caraguatatuba no período de 1970 a 1999. Com intuito de verificar a tendência no número de dias chuvosos, precipitação total e menor taxa de precipitação em cada classe, foi aplicado o teste de Mann-Kendall. Foram realizadas análises anual e sazonal nos dados diários de precipitação distribuídos em 10 classes de precipitação. Com relação ao número dos dias chuvosos, o inverno, a primavera e o verão apresentaram tendência negativa muito significativa. Quanto ao total de precipitação, o outono teve aumento muito significativo principalmente devido às classes de chuva abaixo do normal e de 30 a 50 % da precipitação total. A classe de chuva extremamente abaixo do normal apresentou crescimento positivo muito significativo nas análises anual e outono para total de precipitação e tendência negativa significativa na primavera, verão, inverno e anual para número de dias. Entretanto, a classe de chuva extremamente acima do normal apresentou tendência negativa muito significativa para total de precipitação, mas positiva muito significativa para o número de dias no verão.

Abstract – The precipitation climatology was studied using daily precipitation data from Caraguatatuba station for the period of 1970 to 1999. To verify the trends in the number of days with precipitation, the total precipitation amount and the smallest precipitation rate in each class interval, the Mann-Kendall test was applied. The annual and seasonal analyses in the daily data distributed in 10 class intervals were performed. The winter, the spring and the summer showed the very significant positive trend related to the mean number of days with precipitation. For the mean total amount of precipitation, the autumn trend increased very significantly due to the class intervals with above moderate rain and between 30 to 50 %. The class intervals of extremely above and below moderate rain presented significant changes. The first presented the very significant positive trend for autumn and year for the total precipitation amount, and the significant negative trend for the spring, summer, winter and year for number of days with precipitation. Therefore, the second showed very significant negative trend for the total precipitation amount but very significant positive for the number of precipitation days for the summer while there was no trend for the rest of the analysis.

Palavras-Chave – Precipitação, mudanças climáticas, climatologia.

¹Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC, Rodovia Presidente Dutra, Km 40, 12630-000, Cachoeira Paulista, SP. email: cgscofield@uol.com.br, carlos.angelis@cptec.inpe.br

²Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA, Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 - Vila das Acácias, 12.228-900 - São José dos Campos, SP. email: wilson@ita.br

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas são parte da resposta do meio às mudanças ambientais significativas, em escalas regionais e globais, que vêm ocorrendo no planeta (Ometto e Nobre, 2007). Os recursos hídricos estão entre os recursos que serão mais impactados, direta e indiretamente, pelas mudanças climáticas. A modificação no padrão das variações sazonais as quais estão sujeitos esses recursos deverá afetar a qualidade, quantidade e disponibilidade da água. A natureza complexa das mudanças climáticas e seus impactos sobre recursos de natureza igualmente complexa demandará abordagens inovadoras para gestão desses recursos (Kundzewicz et al., 2007). Várias metodologias estatísticas e estocásticas já foram utilizadas para identificar nas séries hidrológicas como a precipitação tem mudado em diferentes escalas temporais (Todeschini, 2011). Vários estudos detectaram significativa tendência positiva da precipitação em grandes escalas espaciais no norte e centro da Ásia, leste da América do Norte e Sul e norte da Europa (Schonwiese and Rapp, 1997; Sharma *et al.*, 2000; Boyles and Raman, 2003; Hamilton *et al.*, 2001; Lucero and Rozas, 2002; Kiely, 1999; Karl e Knight, 1998; Zolina *et al.*, 2008). O comportamento contrário também tem sido encontrado no Sahel, área mediterrânea, sul da Ásia e sul da África (Lebel and Ali, 2009; Liu et al., 2008; Hess et al., 1995).

Nos últimos anos, vários estudos da precipitação foram desenvolvidos no Brasil com dados anuais e diários de precipitação (Blain, 2009; Santos et al., 2009; Haylock et al., 2006; Berlato et al., 2007). Utilizando 2 amostras de 30 anos no período de 1948 a 2007 para o estado de São Paulo, Blain (2009) mostrou que foram detectados marcantes indícios de alterações positivas de ordem climática no regime anual dos totais de precipitação pluvial em Jundiá e Pindorama. Em Monte Alegre do Sul, verificou-se tendência pouco significativa de elevação nos totais anuais de precipitação pluvial ocorrida nos últimos anos dessa série. Em Campinas, Cordeirópolis, Mococa e Ribeirão Preto, não houve indícios de alterações enquanto que foram observados indícios de queda no regime de precipitação pluvial nos últimos 30 anos analisados em Ubatuba. Cordeiro et al. (2007) observaram que houve coerente tendência espacial de aumento da precipitação pluvial no período 1950-2002, especialmente nos totais anuais e do outono para o Estado do Rio Grande do Sul. Duek e Ambrizzi (2008) examinaram seis índices de precipitação anual para o estado de São Paulo. A análise utilizou dois períodos de 1950 a 1999 e de 1990 a 1999, envolvendo 59 estações pluviométricas. Como resultado foi notado que a precipitação anual total e número de dias com precipitação com taxas diárias maiores que 20 mm/dia possuíram maior aumento significativo para o período de 1950-1999. Os autores consideraram que o aumento da precipitação anual total ocorreu devido ao aumento da intensidade de precipitação. O teste de Mann-Kendall sugeriu que os índices referentes a precipitação anual, número de dias com taxa diárias maiores que 20 mm/dia e número

de dias com taxa diária superior ao percentil de 95 % tiveram aumento significativo no período de 1950 a 1990 e que podem estar interligados entre si.

Karl et al. (1995) e Karl e Knight (1998) apresentaram um procedimento, aplicado a um conjunto de dados diários de precipitação obtidos em estações pluviométricas, que separa a influência das mudanças na frequência de dias chuvosos e nas quantidades de precipitação. As mudanças na quantidade de precipitação podem ocorrer a partir de uma mudança no número dos eventos de precipitação, na intensidade de precipitação por evento ou qualquer combinação destes dois fatores. Os autores identificaram um aumento através do tempo na contribuição relativa de eventos de precipitação intensa nos Estados Unidos. Este procedimento também mostrou a influência na mudança da média da precipitação e da frequência de dias chuvosos através da separação das quantidades de precipitação em 20 classes, que separavam os eventos desde chuva extremamente abaixo do normal até extremamente acima do normal e posteriormente calculava a contribuição de cada estação do ano nos eventos de cada classe. Cada classe possuía 5 % de eventos de chuva do ano analisado, de tal forma que as classes 1 e 20 apresentavam, respectivamente, os 5 % dos eventos com os mais baixos totais de precipitação diária e os 5% dos eventos número de dias com mais altos totais de precipitação diária.

Osborn et al. (2000) aplicaram um procedimento similar ao de Karl et al. (1995) e Karl e Knight (1998), mas levemente melhorado. Ao invés de agrupar os 10 % dos eventos mais fracos como a menor classe, os autores agregaram os primeiros 10 % do total de precipitação por classe. Na maioria dos casos, em torno de 0,5 a 1,5 % do número total de eventos de precipitação extremamente acima do normal contribuíram para a classe com 10 % dos totais mais altos de precipitação. A desvantagem de usar o número de dias chuvosos é que 5 a 10 % dos eventos abaixo do normal contribuíram com uma pequena quantidade do total de precipitação, tendendo a ter maiores mudanças apenas para os quantiles mais altos.

Através do emprego do procedimento proposto por Osborn et al. (2000), este trabalho visou caracterizar a precipitação utilizando 30 anos de dados e averiguar se houve mudança na menor taxa de precipitação, na precipitação total e no número de dias de chuvosos para cada classe em cada análise anual e sazonal. Os dados utilizados são as taxas diárias de precipitação da estação pluviométrica E2-046, situada no município de Caraguatatuba.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A área de interesse é o município de Caraguatatuba do estado de São Paulo, situado entre o Oceano Atlântico e a Serra do Mar. Neste município, ocorrem predominantemente chuvas orográficas que podem ou não ser potencializadas por fenômenos meteorológicos como frente fria e El Niño. Pela

classificação climática de Köppen (Köppen e Geiger, 1928), este município é classificado como Af, ou seja, apresenta clima tropical chuvoso, sem estação seca e com a precipitação média do mês mais seco superior a 60 mm.

Os dados diários da estação E2-046 foram obtidos através do banco de dados pluviométrico do Estado de São Paulo, na página do Sistema de Informações para o Gerenciamento de Recursos do Estado de São Paulo (SigRH). Esta estação está situada em 23° 38' S e 45° 26' O a 20 m de altitude, na Bacia do Vertente Atlântica. O período de dados estudado foi de janeiro de 1970 a dezembro de 1999, perfazendo um total de 30 anos de dados.

O procedimento de Osborn et. al. (2000) foi empregado neste estudo para análise anual e sazonal dos dados diários de precipitação. Inicialmente, foram colocadas as taxas diárias de precipitação em ordem crescente, e separadas em 10 classes de precipitação, onde cada uma contivesse 10 % do total de precipitação do período analisado. Vale ressaltar que houve a inclusão de mais uma classe em relação ao estudo de Osborn (2000) que se refere aos dias sem chuva. Posteriormente, para cada classe foram encontrados o número de dias, a precipitação acumulada (em torno de 10 % do total de cada período analisado) e a menor taxa de precipitação existente em cada classe.

Neste estudo, foi associada uma anomalia de precipitação para cada intervalo de precipitação acumulada. A classe 11 que contém a faixa de 0,90 a 1,00 da precipitação total representa a precipitação extremamente acima do normal enquanto que a classe 2, que se refere ao intervalo maior que 0 e menor que 0,1, está associada aos eventos de precipitação extremamente abaixo do normal. O método de análise das anomalias utilizado foi implementado pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). A Figura 1 está mostrando cada classe associada a uma respectiva anomalia de precipitação.

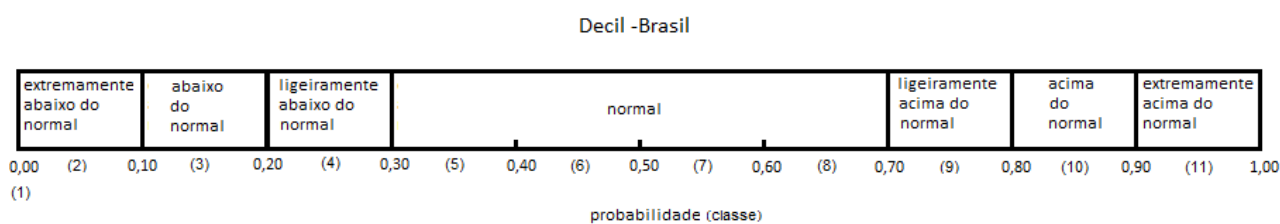


Figura 1 - Método de análise das anomalias de precipitação Decil-Br implementado no INMET associada a cada classe estudada (Adaptado de Fortes et al. (2006)).

Várias análises estatísticas foram aplicadas aos dados para determinar em quais classes de precipitação ocorreram mudanças no número de dias chuvosos, nos totais de precipitação e na menor taxa de precipitação. Assim, o teste Mann-Kendall foi empregado para detectar e estimar mudanças nas séries de dados separados em classe. Este teste é aplicado nos casos em que os valores x_i de séries temporais obedecem ao modelo:

$$x_i = f(t_i) + \varepsilon_i, \quad (1)$$

onde $f(t_i)$ é uma função temporal monotônica positiva ou negativa e ε_i pode ser assumido como sendo da mesma distribuição com média zero. Assume-se que a variância da distribuição é constante no tempo.

Foi testada a hipótese nula (H_0): sem tendência, ou seja, as observações x_i são aleatoriamente ordenadas no tempo, contra a hipótese H_1 , onde existe uma tendência monotônica positiva ou negativa. Para séries temporais com menos de 10 anos de dados, é utilizada a estatística S (Gilbert, 1987), enquanto a aproximação normal é utilizada para séries com 10 ou mais anos. Neste trabalho, as séries de número de dias chuvosos, total de precipitação e menor taxa de precipitação possuem em torno de 30 anos de dados, assim foi descrito o teste apenas para a aproximação normal.

O teste estatístico Mann-Kendall (S) é calculado usando a equação (2):

$$s = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k), \quad (2)$$

onde x_j e x_k são valores anuais nos anos j e k , respectivamente, sendo $j > k$, e:

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1, & \text{se } x_j - x_k > 0 \\ 0, & \text{se } x_j - x_k = 0 \\ -1, & \text{se } x_j - x_k < 0 \end{cases} \quad (3)$$

Como podem existir vários valores iguais nas séries, pode haver a redução da validade da aproximação normal quando o número de dados é próximo de 10. A variância de S é calculada pela equação (4) que leva em conta a presença de valores iguais e é dada por:

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q [t_p(t_p-1)(2t_p+5)] \right], \quad (4)$$

onde q é o número de valores semelhantes e t_p é o número de valores no grupo p -ésimo.

Os valores de S e VAR(S) são usados para calcular a estatística Z pela equação (5).

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

A presença da tendência estatisticamente significativa é avaliada usando o valor Z. Um valor positivo (negativo) de Z indica uma tendência positiva (negativa). A estatística Z possui uma distribuição normal. Para testar a tendência (teste bicaudal) a um nível de significância α , H_0 é rejeitada se o valor absoluto de Z é maior que $Z_{1-\alpha/2}$, onde $Z_{1-\alpha/2}$ é obtido a partir das tabelas de distribuição cumulativa normal.

Este teste foi aplicado aos dados de total de precipitação, número de dias e menor taxa de precipitação distribuídas em classes nas análises anuais e sazonais e nos dados anuais do total de precipitação, número de dias nas análises anuais e sazonais, utilizando-se a planilha eletrônica excel MAKESENS, desenvolvido por Salmi et al. (2002).

Na planilha eletrônica MAKESENS, os níveis de significância testados são 0,001; 0,01; 0,05; e 0,1. Dependendo do Z analisado, a MAKESENS escolhe o maior nível de significância que tenha passado no teste de hipótese, ou seja, cada classe possuirá um nível de significância diferente. A Tabela 1 apresenta todos os tipos de tendência que cada classe pode ser classificada dependendo do valor de Z encontrado. Tendo o Z, a probabilidade de tendência é calculada e com isso é determinado o nível de significância utilizado em cada classe. Os tipos de tendência encontradas neste estudo foram significativamente negativa, muito significativamente negativa, sem tendência, significativamente positiva e muito significativamente positiva, dependendo do Z e do nível de significância. Sem tendência independe se o valor do Z é positivo ou negativo, mas sim se o nível de significância for maior que 0,1.

Tabela 1 – Determinação do tipo de tendência.

Z	Nível de significância de cada classe (NS)	Tipo de tendência
$Z < 0$	$0,05 < NS \leq 0,1$	Significativamente negativo
$Z < 0$	$NS \leq 0,05$	Muito significativamente negativo
$Z \in R$	$NS > 0,1$	Sem tendência
$Z > 0$	$0,05 < NS \leq 0,1$	Significativamente positivo
$Z > 0$	$NS \leq 0,05$	Muito significativamente positivo

3. RESULTADOS

Os dados diários de precipitação do período estudado de 1970 a 1999 da estação E2-046 foram utilizados para realizar as análises anuais e sazonais. Foram assumidas como chuva, as taxas de precipitação igual ou maior que 0,3 mm/dia. Para as 11 classes selecionadas, onde a primeira refere-se as informações sem precipitação, foram selecionados o total de precipitação, a menor taxa de precipitação e o número de dias. Os resultados desta análise estão discutidos a seguir.

A Figura 2 mostra as menores taxas médias diárias de precipitação para cada classe estudada. Comparando todas as análises estudadas, pode-se concluir que os maiores valores de menor taxa de precipitação em cada classe foram encontrados no verão e no ano, e a menor no inverno. A classe 1 não tem valor por referir-se a precipitação igual a zero. Nota-se que as menores taxas são próximas a 0,5 mm/dia para a classe 2, referente a chuva extremamente abaixo do normal. A chuva abaixo do normal (classes 2 a 4) para todos os períodos analisados apresentaram valores entre 0,5 (para outono) a 12,7 mm/dia (para o verão); a variação de 11 (para primavera) a 37,2 mm/dia (para verão) para chuva normal (classes 5 a 8) e de 26,7 (inverno) a 90,7 mm/dia (verão) para as classes de chuva acima do normal (classes 9 a 11).

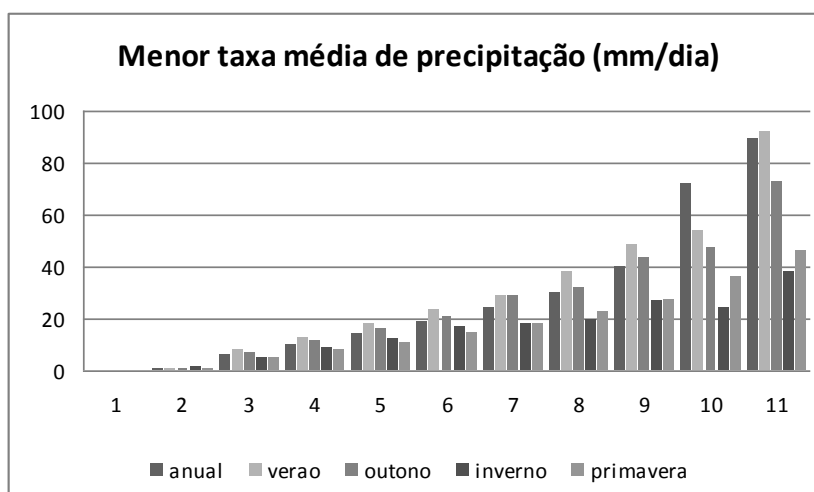


Figura 2 – Menor taxa média de precipitação por classe para análises anuais e sazonais, utilizando dados diários de precipitação de 1970 a 1999.

A Figura 3 apresenta as tendências para a menor taxa encontrada em cada classe analisada. A classe 1 não tem tendência por referir-se a taxa de precipitação igual a zero, ou seja, dias sem chuva. Pode-se notar pela Fig.3e que ocorreu aumento da tendência em todas as classes exceto para a classe 11 (negativa extremamente significativa) na análise anual. As classes 2 e 3 apresentaram tendência positiva estatisticamente muito significativa devido a ocorrência do mesmo comportamento no outono e primavera, enquanto que as classes 6 e 7 foram principalmente significativamente positiva devido a contribuição destas classes no outono.

O outono, a primavera e o inverno apresentaram tendência positiva em todas as classes estudadas, exceto a classe 8 do inverno; enquanto que no verão só houve tendência positiva para as classes 2 e 8. O valor mínimo da taxa de precipitação para a classe 2 apresentou um aumento estatisticamente muito significativo em todas as análises realizadas. Para o outono, todas as classes também apresentaram aumento significativo, com exceção das classes 5 e 11.

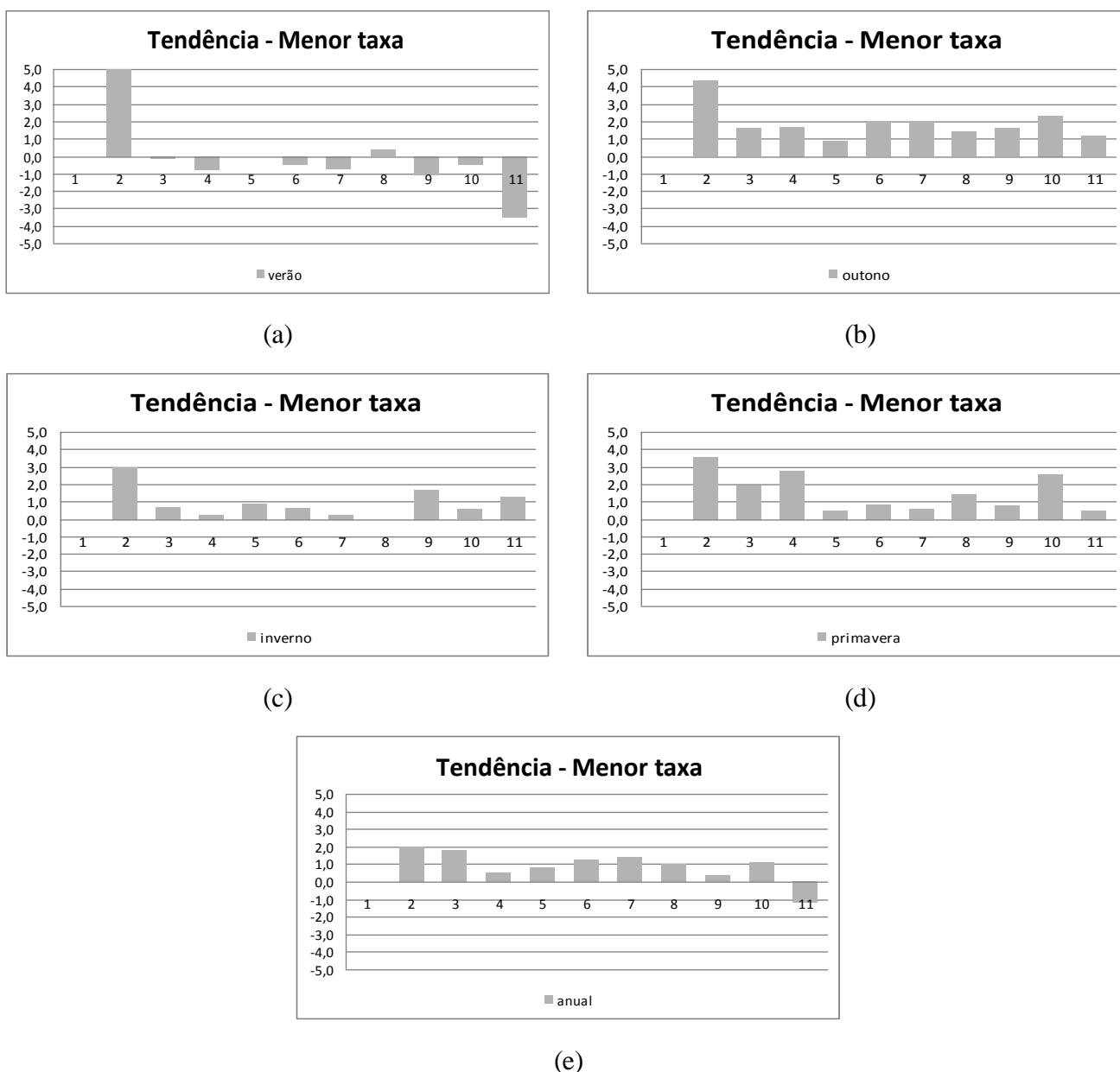


Figura 3 – Tendência da menor taxa de precipitação em cada classe estudada para (a) verão, (b) outono, (c) inverno, (d) primavera, e (e) anual, utilizando dados diários da estação E2-046 para o período de 1970 a 1999. A classe 1, sem tendência, refere-se a taxa de precipitação igual a zero.

Pela análise do número de dias de chuva, notou-se que chove em média, respectivamente, 40%, 51%, 40%, 24 % e 47 % ao ano, no verão, no outono, no inverno e na primavera, respectivamente. Como esperado a estação do ano mais chuvosa é o verão e a mais seca é o inverno. Agrupando-se as classes com chuva em chuva abaixo no normal (classes 2 a 4), normal (5 a 8) e acima do normal (9 a 11), a variação encontrada foi de 66 % (inverno) a 73 % (outono), de 19 % (outono) a 23 % (inverno) e entre 6,5 % (anual) e 10 % (inverno), respectivamente, ou seja, foi verificado que o número de dias com chuva foi distribuído quase igualmente nas diferentes estações e anualmente. Notou-se também que a maior percentagem de chuva é devido a chuva abaixo do normal.

Segundo Osborn et al (2000), a percentagem de número de dias com chuva para as classes 2 e 11 foi de 50 % e 0,5 a 1,5 %, respectivamente. Os valores deste estudo estão na faixa de 41 % para o inverno a 48 % para outono referente à classe 2; e 1,7 % para anual e verão a 4,6 % para o inverno para a classe 11. Notou-se que a classe 2 apresentou a mesma faixa em relação ao estudo para o Reino Unido mas que a classe 11 apresentou uma maior percentagem devido ao clima tropical chuvoso de Caraguatatuba.

A Figura 4 mostra a tendência do número de dias chuvosos para cada classe estudada, utilizando dados diários de 1970 a 1999. A análise anual mostrou tendências positivas muito significantes para as classes 1 (sem chuva) e 11, negativa muito significativa para classe 2 e significativamente positiva para as classes 4 e 9. Como conclusão nota-se que aumentou o número de dias sem chuva e ocorreu uma diminuição significativa do número de dias com chuvas extremamente abaixo do normal e um aumento significativo do número de dias com chuva extremamente acima do normal e ligeiramente acima do normal.

Para o verão, todas as classes apresentaram tendência positiva com exceção das classes 2 e 6, ou seja, houve um aumento no número de dias chuvosos. Entretanto, ocorreu uma diminuição e um aumento muito significativo, respectivamente, para as classes 2 e 11 ou seja, ocorreu o mesmo comportamento encontrado na análise anual. Para todas as classes do outono, as tendências encontradas foram pouco significativas. Houve aumento muito significativo no número de dias sem chuva no inverno, ou seja, choveu menos dias. Pode-se dizer que a chuva abaixo do normal (classes 2 a 4) e normal (5 e 8) apresentaram diminuição significativa para o número de dias chuvosos. Com relação à classe 11, não houve modificação no número de dias de chuva.

Para a primavera, não existiu uma tendência predominante, mas a classe 2 apresentou diminuição muito significativa enquanto que as classes 6 e 9 demonstraram um crescimento significativo.

A análise da figura 4(f) mostra que todas as tendências encontradas para o número de dias com chuva foram negativas para todas as análises realizadas, e apenas as análises anual, inverno e primavera foram muito significante. Pode-se admitir que o decréscimo significativo do número de dias de chuva no inverno impactou a tendência anual, que apresentou tendência negativa muito significativa.

Com relação à análise de total de precipitação, nota-se que a chuva abaixo do normal, normal e acima do normal contribuíram com 27 % no inverno a 29 % no ano e verão; 35 % no inverno a 39 % ao ano; e 31 % no ano a 37 % no inverno, respectivamente. A precipitação total para o período analisado foi em média de 1718 mm para o ano, sendo que o verão, outono, inverno e primavera apresentaram, em média, o total de 672,4 mm; 439,8 mm; 194,9 mm; e 411 mm, respectivamente. Nota-se que a maior e menor participação no total de precipitação ocorreram para o verão e inverno, respectivamente. A

contribuição da primavera e outono no total de precipitação foi em torno de 23,9 % e 25,6 %, respectivamente, ou seja, quase apresentaram a mesma participação no total anual de precipitação.

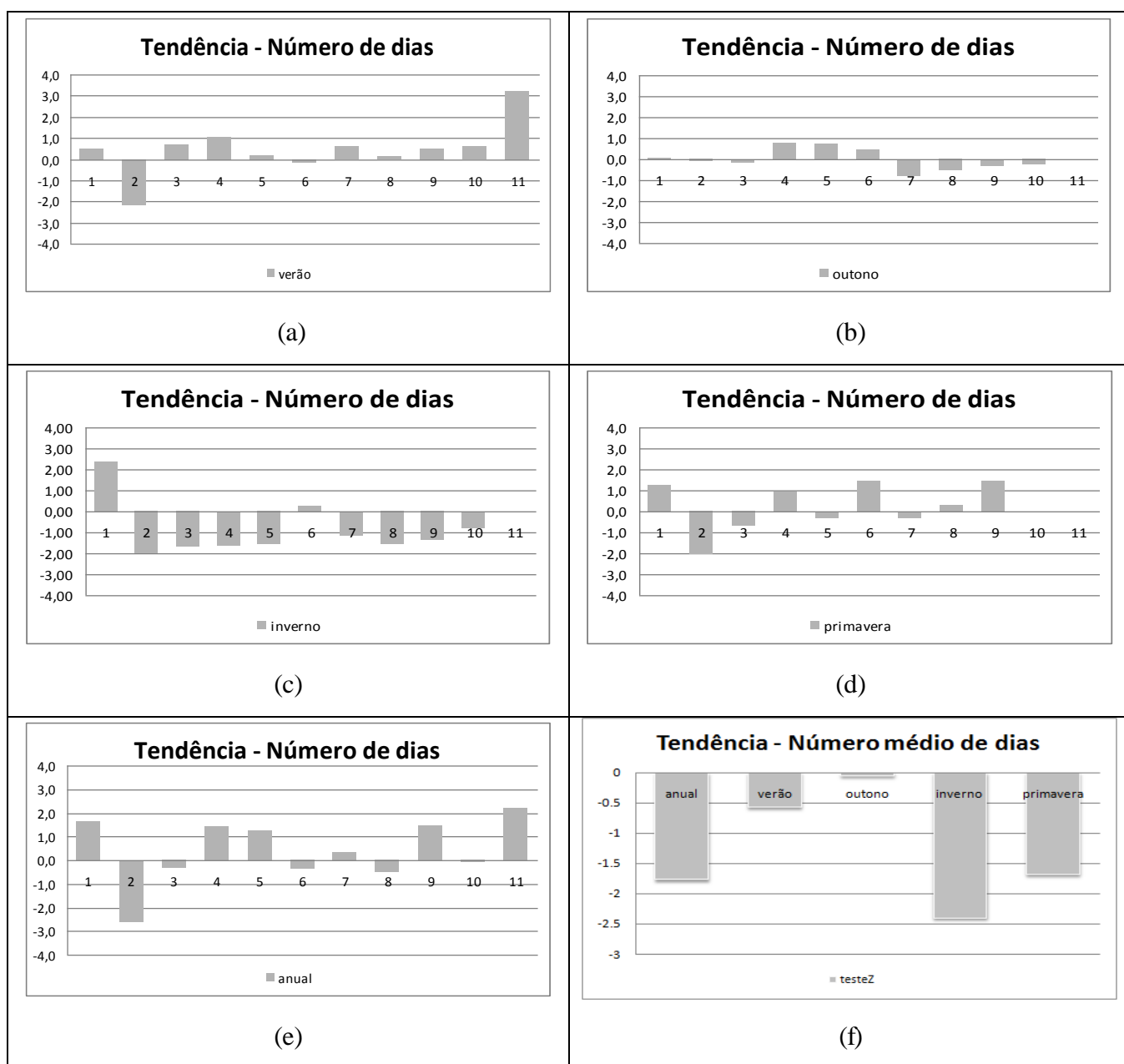


Figura 4 – Tendência do número de dias chuvosos para cada classe estudada para (a) verão, (b) outono, (c) inverno, (d) primavera, e (e) anual. (f) Tendência do número de dias chuvosos sem separação de classes. Dados diários da estação E2-046 para o período de 1970 a 1999.

A Figura 5 apresenta a tendência do total da precipitação por classe para estudos anual e sazonal para o período de 1970 a 1999. Vale ressaltar que a classe 1 refere-se a todos os pontos sem precipitação. A análise da tendência anual mostrou valores positivos para todas as classes analisadas, sendo que as classes 2 a 4 apresentaram crescimento significativo e as classes 5, 7 e 9 crescimento muito significativo. Para o verão, todas as classes apresentaram tendências não significantes. O outono apresenta tendência positiva para todas as classes, mas muito significativa para as classes de chuva abaixo do normal (2 a 4) e normal (5 e 6). Os resultados do inverno mostraram que esta foi uma estação sem predomínio

de tendência, mas as classes 8 e 11 se destacaram por apresentar, respectivamente, diminuição e aumento significativo da tendência. Para a primavera, todas as classes apresentam tendência positiva com exceção da classe 5, e apenas a classe com chuva muito acima do normal (10) possui tendência positiva muito significativa.

Analisando a Figura 5 (f) nota-se que o verão e o inverno não apresentaram tendência significativa em relação ao total de precipitação, enquanto que o outono, o inverno e anual apresentaram tendência positiva. Entretanto, a tendência positiva muito significativa ocorreu apenas para o outono e ano. Analisando simultaneamente as Figuras 4(f) e 5(f), a análise anual mostrou que houve tendência positiva significativa para o total de precipitação mas diminuição muito significativa para o número de dias com chuva, ou seja, aumento do total de precipitação em menor número de dias. Com relação à análise sazonal, nota-se que ocorreu o aumento no total de precipitação para o outono e primavera apesar da diminuição da tendência do número de dias nestas. O verão e o inverno apresentaram tendência negativa para o total de precipitação e o número de dias. Apesar da tendência negativa muito significativa no inverno para número de dias chuvosos, o total de precipitação não apresenta tendência significativa.

Comparando as Figuras 3(e), 4(e) e 5(e) referentes a análise anual, constatou-se que as precipitações totais apresentaram tendência positiva para todas as classes de chuva apesar de haver a diminuição do número de dias com chuva para as classes com precipitação abaixo do normal (2 e 3), normal (6 e 8) e acima do normal (10). Houve aumento no número de dias e na precipitação total para as classes 9 e 11 (acima do normal), 4 (abaixo do normal) e 5 (normal). Com relação à menor taxa de precipitação, houve diminuição da tendência apenas para a classe 11, ou seja, a tendência de ocorrência de menores taxas de precipitação. Para a análise das classes extremas, vale ressaltar que a classe 2 apresentou diminuição muito significativa para o número de dias, mas, para a classe 11, houve aumento significativo da tendência dos números de dias com chuva e sem significância para total de precipitação e menor taxa de precipitação, ou seja, aumento do número de dias mas sem significância no aumento do total de precipitação nesta classe. Já, para a classe 1, houve aumento muito significativo para número de dias sem chuva.

Para o verão, Figuras 3(a), 4(a) e 5(a), ocorreu aumento muito significativo da tendência para o número de dias com chuva e menor taxa e não houve diminuição significativa com relação ao total de precipitação para a classe 11. Nota-se que para a classe 2 houve diminuição da tendência significativa para o número de dias mas sem tendência significativa para total de precipitação, e aumento muito significativo da menor taxa de precipitação.

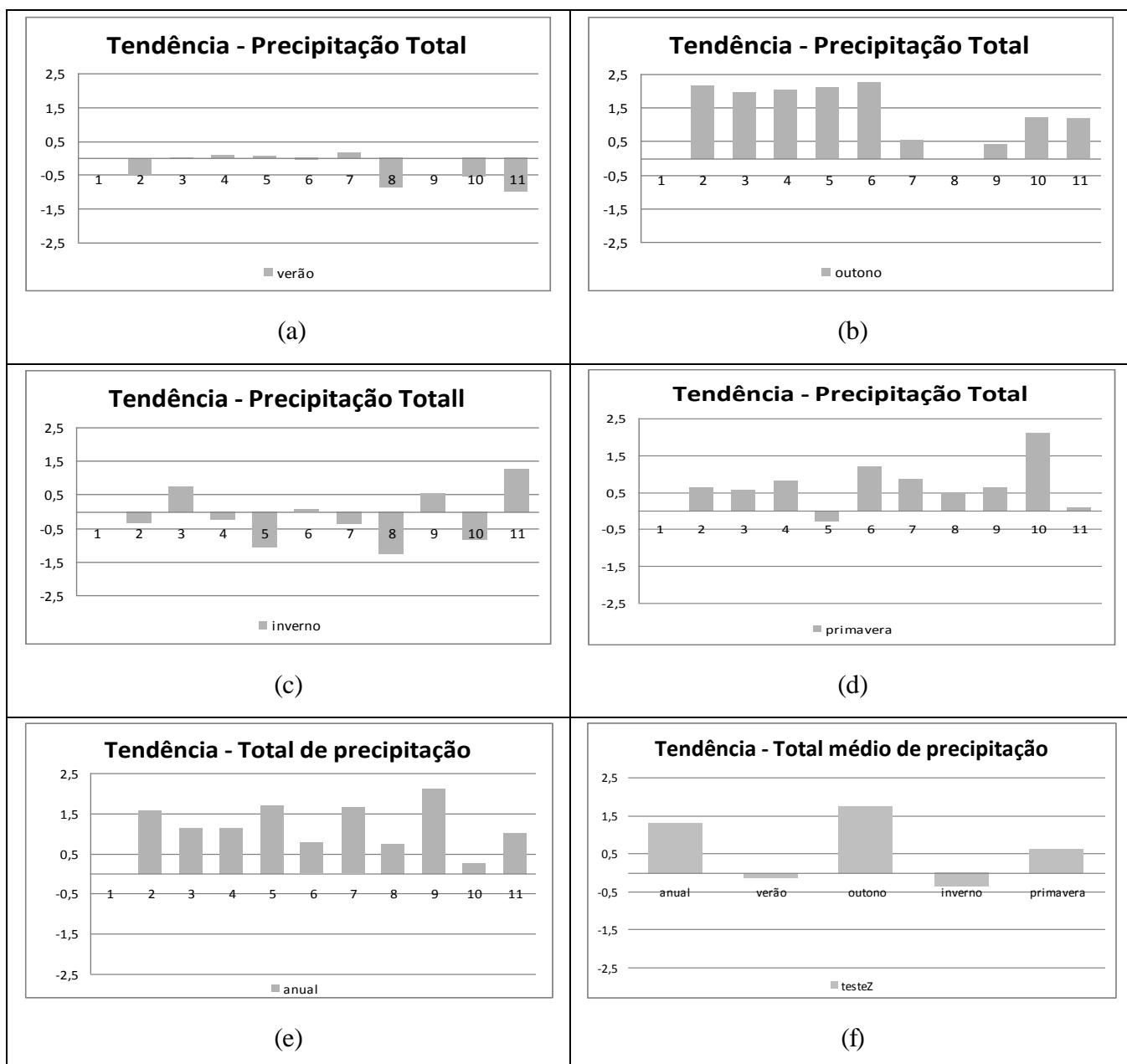


Figura 5 – Tendência do total de precipitação por classe para (a) verão, (b) outono, (c) inverno, (d) primavera, e (e) anual.

A classe 1 sem tendência refere-se a total de precipitação igual a zero, dias sem chuva. (f) Tendência do total de precipitação sem separação de classes. Dados diários de 1970 a 1999.

Para o outono, comparando-se as Figuras 3(b), 4(b) e 5(b) pode-se notar que tanto a precipitação total como menor taxa de precipitação apresentaram tendência positiva para todas as classes, exceto classe 8. Ocorreu aumento da tendência do total de precipitação e menor taxa de precipitação com diminuição de números de dias principalmente para as classes 2 e 3 (abaixo do normal), 7, 8, 9 e 10. Pode-se constatar que houve maior acumulado de precipitação em menor número de dias. Entretanto, as classes 4, 5 e 6 (normal) apresentaram crescimento da tendência para menor taxa de precipitação, total de precipitação e número de dias (significante para menor taxa de precipitação e total de precipitação sem significância para o número de dias). Analisando as Figuras 3(c), 4(c) e 5(c) para o inverno, averiguou-se que ocorreu o aumento significativo da precipitação total para classe 11 em relação as outras classes, mas

sem apresentar tendência para o número de dias chuvosos. As Figuras 3(d), 4(d) e 5(d) apresentaram a análise da primavera, onde houve o aumento da tendência da precipitação total e do número de dias para as classes 4, 6, 8 e 9. Aumentou significativamente a tendência da precipitação total e da menor taxa e sem tendência para número de dias chuvosos para a classe 10, ou seja, aumento do total de chuva sem aumento do número de dias.

4. CONCLUSÕES

O teste de Mann-Kendall foi aplicado para estudar a tendência das mudanças da distribuição da precipitação em Caraguatatuba, litoral norte do estado de São Paulo. Para o número de dias sem chuva (classe 1), houve aumento significativo das tendências para o inverno e primavera que foram responsáveis pelo aumento significativo na análise anual. A classe de chuva extremamente abaixo do normal (classe 2) apresentou tendência negativa significativa com relação ao número de dias chuvosos exceto para o outono e com isso estas estações do ano contribuíram para a tendência negativa muito significativa na análise anual. Com relação à classe extremamente acima do normal (classe 11), ocorreu aumento muito significativo com relação ao número de dias chuvosos no verão e este foi responsável pelo aumento muito significativo desta classe na análise anual. Com relação ao número dos dias chuvosos, o inverno e a primavera apresentaram tendência negativa muito significativa, sendo que estas estações foram às responsáveis pela diminuição muito significativa da tendência anual.

Com relação à menor taxa de precipitação, a classe extremamente abaixo do normal (classe 2) apresentou aumento muito significativo para todas as análises. A classe abaixo do normal (classe 3) apresentou tendência positiva muito significativa na primavera e outono que foram responsáveis pelo aumento significativo desta classe na tendência anual. O aumento significativo das classes 6 e 7, referentes a chuva normal, no outono se refletiu no aumento destas classes na análise anual. Para a classe 11, houve diminuição da menor taxa de precipitação somente no inverno.

Quanto ao total de precipitação, o outono teve aumento muito significativo principalmente para as classes de chuva abaixo do normal e duas classes de chuva normal (30 a 50 % da precipitação total), enquanto que as outras estações e a análise anual não apresentaram tendência significativa. Com relação ao total de precipitação, o outono contribuiu significativamente para o aumento do total anual de precipitação. As classes que apresentaram mudanças anualmente significativas foram a de chuva extremamente abaixo (classe 2), normal (classe 5) e ligeiramente acima do normal (classe 9). A classe 2 apresentou crescimento positivo muito significativo para as análises anual e outono, mas pouco significativo para outras estações. Com relação à classe extremamente acima do normal (classe 11) houve decréscimo

significante para o verão e sem significância para todas as outras análises.

Para a caracterização climatológica do Litoral Norte, outras estações presentes na região estão sendo estudadas com relação às tendências do número de dias, do total de precipitação e da menor taxa de precipitação para análises anuais e sazonais.

5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi possível devido ao suporte financeiro da CAPES (nº 417/10).

REFÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERLATO, M.A.; MARTINS, E.J.; CORDEIRO, A.P.A.; ODERICH, E.H. (2007). “*Tendência observada da precipitação pluvial anual e estacional do estado do Rio Grande do Sul e relação com a temperatura da Superfície do mar do Oceano Pacífico*” in Anais do XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Aracaju, SE, Julho 2007. CD-ROM.
- BLAIN, G.C. (2010). “*Tendência e variações climáticas em séries anuais de precipitação pluvial do Estado de São Paulo*”. *Bragantia*, 69, 3, pp.765-770.
- BOYLES RP; RAMAN S. (2003). “*Analysis of climate trend in North Carolina (1949–1998)*”. *Environment International* 29, pp. 263–275.
- DUEK, A.S., AMBRIZZI, T. (2008). “*Precipitation variability in São Paulo State, Brazil*”. *Theoretical Applied Climatology* 93, pp.167–178.
- FORTES, L.T.G.; ANUNCIACÃO, Y.M.T.; LUCIO, P.S.; PAULA, T.P. (2006). “*Análise de Métodos Alternativos para Mapear Anomalias de Precipitação*” in Anais do XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, Florianópolis, 2006. Disponível em http://www.inmet.gov.br/html/clima/material_ref01.pdf. Acesso em: 20 de Março de 2011.
- HAMILTON, J.P., WHITELAW, G.S., FENECH, A. (2001). “*Mean annual temperature and annual precipitation trends at Canadian biosphere reserves*”. *Environmental monitoring and Assessment* 67, pp. 239–275.
- HAYLOCK, M. R.; PETERSON, T. C.; ALVES, L. M.; AMBRIZZI, T.; ANUNCIACÃO, Y. M. T.; BAEZ, J., BARROS, V. R.; BERLATO, M. A.; BIDEGAIN, M.; CORONEL, G.; GARCIA, V. J.; GRIMM, A. M.; KAROLY, D.; MARENGO, J. A.; MARINO, M. B.; MONCUNILL, D. F.; NECHET, D.; QUINTANA, J.; REBELLO, E.; RUSTICUCCI, M.; SANTOS, J. L.; TREBEJO, I.; VINCENT, L. A. (2006). “*Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature*”. *Journal of Climate* 19, pp. 1490-1512.
- LUCERO, O.A.; ROZAS, D. (2002). “*Characteristics of aggregation of daily rainfall in a middle-latitudes region during a climate variability in annual rainfall amount*”. *Atmospheric Research* 61, pp. 35–48.
- KARL, T.R.; KNIGHT, R.W. (1995). “*Trends in high-frequency climate variability in the twentieth century*”. *Nature* 377, pp. 217-220.
- Karl, T. R.; KNIGHT, R.W. (1998) “*Secular Trends of Precipitation Amount, Frequency, and Intensity in the United States. Bulletin of the American Meteorological Society*”. *Bulletin of the American Meteorological Society* 79 (2), pp. 231-241.
- KIELY, G. (1999) “*Climate change in Ireland from precipitation and streamflows observations*”. *Advances in Water Resources* 23, pp.141–151.

- KÖPPEN, W.; GEIGER, R. (1928). *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-map 150cmx200cm.
- OSBORN, T.J.; HULME M.; JONES, P.D.; BASNETT, T.A. (2000). “*Observed Trends in the daily intensity of United Kingdom Precipitation*”. *International Journal of Climatology* 20, pp.347-364.
- SALMI, T.; MÄÄTTÄ, A.; ANTTILA, P.; RUOHO-AIROLA, T. AMNELL, T. (2002) *Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall Test and Sens's slope estimates – the Excel template applications MAKESENS*. Meteorologiska Institutet, Finnish Meteorological Institute Helsinki- Finland, 35p.
- SCHONWIESE, C.D.; RAPP, J. (1997). *Climate Trend Atlas of Europe Based on Observations 1891–1990*. Kluwer Academic Publishers Dordrecht.
- SHARMA, KP; MOORE, III B; VOROSMARTY, CJ. (2000). “*Anthropogenic, climatic and hydrologic trends in the Kosi basin, Himalaya*”. *Climate Change* 47, pp.141–165.
- SISTEMA DE INFORMAÇÕES PARA O GERENCIAMENTO DE RECURSOS DO ESTADO DE SÃO PAULO (SigRH). “*Banco de Dados Pluviométricos do Estado de São Paulo*”. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/bdhm.exe/plu>. Acesso em: 1 de Outubro de 2010.
- TODESCHINI, S. (2011). “*Trends in long daily rainfall series of Lombardia (northern Italy) affecting urban stormwater control*”. *International Journal of Climatology*. Published online in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com) DOI: 10.1002/joc.2313.
- ZOLINA, O.; SIMMER, C.; KAPALA, A.; BACHNER, S.; GULEV, S.; MAECHEL, H. (2008). “*Seasonally dependent changes of precipitation extremes over Germany since 1950 from a very dense observational network*”. *Journal of Geophysical Research* 32, D113.