

Estudo das Tendências do Total de Precipitação e do Número de Dias Chuvosos no Litoral Norte de São Paulo

Graziela Balda Scofield¹, Carlos Frederico de Angelis¹, Wilson Cabral de Sousa Jr.²

cgscfield@uol.com.br; carlos.angelis@cptec.inpe.br; wilson@ita.br

Recebido: 26/12/11 - revisado: 27/03/12 - aceito: 22/01/14

RESUMO

O trabalho investigou o comportamento da precipitação a partir do teste de Mann-Kendall, utilizando dados de estações pluviométricas do Litoral Norte no período de 1970 a 1999. Foram geradas as tendências do número de dias chuvosos; da menor e da maior taxa de precipitação; e do total de precipitação para três superclasses de precipitação: acima do normal (Ac), normal (N) e abaixo do normal (Ab). De acordo com a análise das tendências do total de precipitação, não ocorreu tendência significativa no verão. No outono, o aumento da tendência foi encontrado em Maranduba e Picinguaba e Maresias para a superclasse Ab, e em Caraguatatuba para a superclasse Ac. Para o inverno, as tendências foram significativamente positivas em Maresias para todas as superclasses estudadas; e significativamente negativa em São Francisco para a superclasse Ab. Em Picinguaba e Maresias, a tendência significativa positiva ocorreu na primavera e na análise anual, e em Ilhabela na análise anual para todas as superclasses estudadas. Para o número de dias chuvosos, foi verificado um aumento significativo em Ilhabela para as superclasses N e Ac no verão e para a superclasse Ab no outono. Para o inverno, houve diminuição significativa em Caraguatatuba para a superclasse Ab; e positiva significativa em Picinguaba para a superclasse Ab e em Maresias e Ilhabela para a superclasse Ac. A tendência significativa negativa na primavera ocorreu apenas em Maranduba para a superclasse Ab. No ano, houve diminuição significativa em Maranduba para superclasse Ab e aumento significativo em Ilhabela para a superclasse Ac e em Maresias para as superclasses N e Ac.

Palavras-Chave: tendência, mudança climática e precipitação.

INTRODUÇÃO

Mudanças na precipitação têm implicações no ciclo hidrológico e nos recursos hídricos devido ao aquecimento futuro do clima. A alteração dos valores médios de temperatura e precipitação e o aumento da variabilidade de eventos de precipitação são esperados devido à mudança climática, que pode levar as mais intensas e frequentes enchentes e secas (IPCC, 2001). Variações na precipitação anual e sazonal podem ocorrer devido à mudança da frequência dos eventos de precipitação (número de dias) ou na intensidade da precipitação por evento. Com o intuito de aprimorar o entendimento do comportamento da precipitação de uma região, as séries diárias da precipitação devem ser analisadas. Recentemente, várias técnicas estatísticas e estocásticas foram empregadas para identificar tendências

em dados hidrológicos em diferentes escalas temporais devido ao crescente entendimento dos impactos das mudanças climáticas (IPCC, 2007). Com relação à precipitação, os testes não paramétricos estatísticos, como o teste Mann Kendall, têm sido frequentemente utilizados para confirmar o que já é percebido por meio de técnicas mais usuais, como médias móveis e análise de regressão (MATYASOVSKY et al., 1993a, 1993b; BRADLEY, 1998; KUNDZEWICZ & ROBSON, 2000; BURN & HAG ELNUR, 2002; e CALOIERO et al. (2011)).

Vários estudos estatísticos detectaram tendência positiva significativa da precipitação em grandes escalas espaciais no norte e centro da Ásia, no leste da América do Norte e Sul e no norte da Europa (SCHONWIESE & RAPP, 1997; SHARMA et al., 2000; BOYLES e RAMAN, 2003; HAMILTON et al., 2001; LUCERO & ROZAS, 2002; KIELY, 1999; KARL & KNIGHT, 1998; e ZOLINA et al., 2008). O comportamento contrário também foi encontrado no Sahel, na área mediterrânea, no sul da Ásia e no sul da África (LEBEL & ALI, 2009; LIU et al., 2008; HESS et al., 1995).

¹Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC.

²Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA.

Segundo Dufek & Ambrizzi (2008), sobre a América do Sul, o aumento da umidade foi observado na Bacia Amazônica e no sudeste da América do Sul, incluindo Patagônia, enquanto tendências negativas na precipitação anual foram observadas sobre o Chile e partes da costa oeste do continente durante o período de 1960 a 2000 (HAYLOCK et al. 2006). As tendências positivas no sul do Brasil, do Paraguai, do Uruguai e do nordeste da Argentina foram encontrados por Barros et al. (2000), e no sul da América do Sul por Rusticucci & Penalba (2000) e Minetti et al. (2003).

Para o Brasil, o IPCC (2001) prevê para o século XXI um aumento de 4 a 4,5°C na temperatura média do ar nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste e um possível aumento de 10 a 15% nas precipitações no outono. Existe ainda indicação de possibilidade de secas durante o verão. Nos últimos anos, vários estudos de tendência de precipitação foram desenvolvidos com dados anuais e diários de precipitação no Brasil (BLAIN, 2010; 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 (2010) estudou a tendência de vários municípios paulistas. Detectou marcantes indícios de alterações positivas de ordem climática no regime anual dos totais de precipitação em Jundiá e Pindorama. Em Monte Alegre do Sul, verificou-se a tendência pouco significativa de elevação nos totais anuais de precipitação 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, não significativa, no regime de precipitação nos últimos 30 anos analisados em Ubatuba. Berlato et al. (2007) observaram que houve coerente tendência espacial de aumento da precipitação no período 1950-2002, especialmente nos totais anuais e no outono para o Estado do Rio Grande do Sul. Dufek 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, os autores notaram que a precipitação anual total e número de dias chuvosos com taxas maiores que 20 mm/dia possuíram 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 taxas maiores que 20 mm/dia e número de dias com taxa diária superior ao percentil de 95 % tiveram aumento significante no período

de 1950 a 1990 e que podem estar interligados entre si. Na Bacia do Rio Pontal, foi aplicado o teste de Mann-Kendall em anos de *El Niño* e as investigações climáticas concluíram que 87% dos postos da bacia possuíam tendência negativa não significativa nos índices pluviiais (FECHINE e GALVINCIO, 2010). Groppo et al (2008) estudaram a Bacia do rio Piracicaba no estado de São Paulo e detectaram tendências positivas na maior parte dos postos de precipitação analisados e também no Rio Camanducaia, sem a influência do Sistema Cantareira. Já, os rios Jaguari e Atibaia, os principais rios formadores do Rio Piracicaba sob a influência desse Sistema, apresentaram tendências negativas estatisticamente significativas na vazão.

A existência de tendências de aumento ou diminuição de eventos de chuva, assim como alterações nos volumes observados e números de dias com chuva em algumas regiões do Brasil, afetam diretamente os recursos hídricos locais. A modificação no padrão das variações sazonais as quais estão sujeitos esses recursos, poderá afetar, por exemplo, a qualidade, quantidade e disponibilidade da água. Com vistas a entender e avaliar os impactos de possíveis mudanças climáticas em áreas costeiras, esse trabalho foi feito no âmbito do projeto RedeLitoral, que forma uma rede de pesquisas em mudanças globais e impactos sobre regiões costeiras, envolvendo programas de pós-graduação do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), Universidade de São Paulo (USP), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Este estudo que tem como objetivo a formação de uma rede de pesquisa e cooperação científica envolvendo áreas consideradas estratégicas, porém com temas correlatos e complementares, em mudanças climáticas e impactos regionais e locais relativos ao litoral norte do estado de São Paulo.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho visou caracterizar e estudar a tendência de mudança da precipitação, utilizando-se 30 anos de dados diários de sete estações pluviométricas do Litoral Norte do estado de São Paulo. Com esse intuito, foi realizada a análise de tendência das precipitações anuais e sazonais das menores e maiores taxas de precipitação, da precipitação total e do número de dias chuvosos foram estudadas para cada superclasse de precipitação. As análises estatísticas utilizadas para o estudo da tendência foram o teste de Mann-Kendall.

A área de estudo é o Litoral Norte de São Paulo, que engloba os municípios de Caraguatatuba, Ubatuba, Ilhabela e São Sebastião. Nesta região, a presença da Serra do Mar traz complexidade para o escoamento atmosférico e causam fenômenos como chuvas orográficas; movimento de ar ascendente localizado e forçado; e bloqueio das frentes frias ou quentes.

Pela classificação climática de Köppen (KÖEPPEN & GEIGER, 1928), Caraguatatuba e Ubatuba são classificados como Af, apresentando clima tropical chuvoso, sem estação seca e com a precipitação média do mês mais seco superior a 60 mm. A classificação de Ilhabela e São Sebastião é Am, relativa ao clima tropical chuvoso, com inverno seco onde o mês menos chuvoso tem precipitação inferior a 60 mm, e o mês mais frio possui temperatura média superior a 18°C. Com base em princípios estatísticos da tendência do valor médio, a indicação da Organização Meteorológica Mundial (OMM – publicado em SNEYERS, 1975) foi que o clima de uma dada região deve ser caracterizado com base em um período mínimo de 30 anos. Considerando as recomendações da OMM, utilizou-se para este estudo, as sete estações meteorológicas estudadas do Litoral Norte, mostradas na Tabela 1. Os locais foram escolhidos por possuírem dados no período de 1970 a 1999. A Figura 1 apresenta a área de estudo e a localização das estações meteorológicas estudadas. Ressalta-se que as estações foram referenciadas pelo número e/ou nome das estações neste estudo. As séries de dados de todas as estações apresentam ausência de dados em alguns períodos, porém o tempo total de ausência de dados não foi superior a 10% do tempo total de estudo. Isso faz com que o conjunto de dados mantenha amostragem capaz de deixar os resultados obtidos com uma confiança estatística aceitável para o tipo de análise proposta. No banco de dados utilizado, existe a informação que os dados não foram consistidos no período recente, a partir de 1992. Apesar dessa ressalva, entende-se que os dados foram informados pela fonte oficial do estado de São Paulo (SIGRH, 2011) e considerou-se aqui que a qualidade dos dados deve estar adequada para o uso científico. A opção de não completar as lacunas de dados existentes na base original dos dados a partir de interpolação ou utilização da climatologia do local, se justifica pelo fato de que utilizando tais artifícios poder-se-ia introduzir viés e outras inconsistências nas estatísticas de cada posto de observação. O uso puro e simples dos dados refletem os valores reais observados que fazem os cálculos de tendências mais realísticos. Na Tabela 2, está indicado o total de anos utilizado no

estudo das tendências para as análises anual e sazonal.

De acordo com a Figura 1, percebe-se que as estações E2-012, E2-045 e E2-124, cujas distâncias entre E2-012 e E2-045; E2-045 e E2-124; e E2-045 e E2-046 são, respectivamente, de 6, 15 e 15 Km, estão localizadas próximas umas das outras e um agrupamento em cluster das três estações poderia facilitar a análise estatística dos dados. Porém, como o local possui uma topografia muito acidentada, que poderá afetar a ocorrência de eventos de chuva em cada local, optou-se por manter as três estações como pontos independentes.

Tabela 1 – Localização das estações meteorológicas estudadas (SIGRH, 2011). OBS: As abreviaturas SS e U referem-se aos municípios de São Sebastião e Ubatuba, respectivamente.

Estação/ Nome/ Muni- cípio	Altitu- de (m)	Latitu- de	Longitu- de
E2-046/ Cara- guatatuba	2	23° 38' S	45°26' O
E2-012/ Ilhabela	10	23°47' S	45°21' O
E2-045/ São Francisco/SS	20	23°46' S	45°25' O
E2-124/ Maresias/SS	5	23°47' S	45°33' O
E1-004/ Picin- guaba/U	3	23°23' S	44°50' O
E2-009/ Mato Dentro/U	220	23°23' S	45°07' O
E2-122/ Ma- randuba/U	4	23°32' S	45°14' O

O procedimento de Osborn et. al. (2000) foi empregado, neste estudo, para obter o número de dias com chuva, as menores e maiores taxas de precipitação e total de precipitação para análise anual e sazonal dos dados diários de precipitação, para as superclasses abaixo do normal, normal e acima do normal de precipitação. Inicialmente, o procedimento estabelece que as taxas diárias de precipitação de cada período analisado sejam colocadas em ordem crescente, e separadas em 10 classes de precipitação, cada uma contendo 10 % do total de precipitação. Neste estudo, as 10 classes de precipitação foram agrupadas em 3 superclasses que são abaixo do normal, normal e acima do normal. Esta divisão foi baseada no método de análise das anomalias de precipitação Decil-Br implementado pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) (FORTES et

al, 2006), onde cada intervalo de precipitação acumulada de 10 % foi associado a uma anomalia de precipitação, como mostrada na Figura 2. Assim, foram denominadas de superclasse abaixo do normal (Ab) para todas as classes menores que 30 % e superclasse acima do normal (Ac) para todas as classes maiores que 70%. A classe normal foi mantida e denominada como a superclasse normal (N).

Tabela 2- Número de anos utilizados no cálculo das tendências em cada estação nas análises anual (A), verão (V), outono (O), inverno (I) e primavera (P).

Estação/ Nome/ Município	A	V	O	I	P
E2-046/ Caraguatuba	24	24	23	24	25
E2-012/ Ilhabela	26	27	25	26	27
E2-045/ São Francisco/SS	27	29	29	29	28
E2-124/ Mareias/SS	28	30	29	30	29
E1-004/ Picinguaba/U	30	30	30	30	30
E2-009/ Mato Dentro/U	26	29	27	30	28
E2-122/ Maranduba/U	27	30	30	29	27

A avaliação da precipitação baseia-se na homogeneidade das séries hidrológicas, ou seja, as estatísticas da série hidrológica não se alteram com o tempo. Entretanto, a não-homogeneidade das séries tem ocorrido devido a causas isoladas e combinadas tais como mudança; a falta de representatividade das séries históricas para identificar a variabilidade natural dos processos climáticos; e alterações nas características físicas, químicas e biológicas da bacia hidrográfica devido a efeitos naturais e antrópicos (TUCCI, 2002).

A partir das séries de dados, as tendências anual e sazonais do número de dias com precipitação, das menores e maiores taxas de precipitação e do total de precipitação acumulado das superclasses

abaixo do normal, normal e acima do normal foram obtidas através do emprego do teste Mann-Kendall para detectar e estimar mudanças nas séries de dados.



Figura 1 – Localização das estações meteorológicas utilizadas no Litoral Norte de São Paulo.

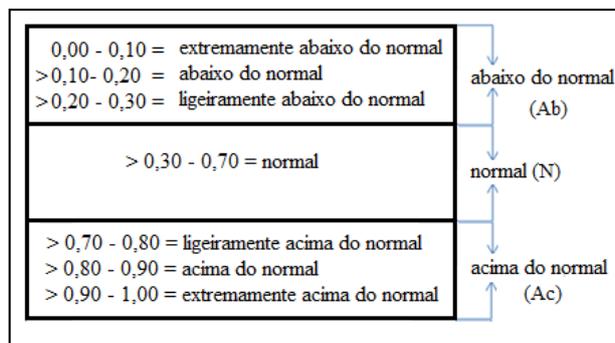


Figura 2 - Método de análise das anomalias de precipitação Decil-Br implementado no INMET associada a cada classe estudada (Adaptado de Fortes et al, (2006)).

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 que a aproximação normal é utilizada para séries com 10 ou mais anos de dados. Neste trabalho, todas as séries possuem em torno de 30 anos de dados, assim foi descrito apenas o teste para a aproximação normal.

O teste estatístico Mann-Kendall (S) é calculado usando a equação (1):

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \tag{1}$$

onde x_j e x_k são valores anuais nos anos j e k , respectivamente, sendo $j > k$, e o cálculo de $\text{sgn}(x_j - x_k)$ é 1, se $x_j - x_k > 0$; ou 0, se $x_j - x_k = 0$; ou -1, se $x_j - x_k < 0$.

Como podem existir vários valores iguais nas séries, pode haver a redução da validade da aproximação normal. Quando o número de dados (n) é próximo de 10, a variância de S ($\text{VAR}(S)$) é calculada pela equação (2) que leva em conta a presença de valores iguais e é dada por:

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

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

Os valores de S são usados para calcular a estatística Z , para os seguintes casos:

$$(a) S > 0: Z = S - 1/(\text{VAR}(S))^{1/2} \quad (3)$$

$$(b) S = 0, Z = 0, \text{ ou} \quad (4)$$

$$(c) S < 0, Z = S + 1/(\text{VAR}(S))^{1/2} \quad (5)$$

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.

A planilha eletrônica Excel MAKESENS, desenvolvido por Salmi et al. (2002) foi utilizada para a aplicação do teste nos dados de total de precipitação, no número de dias chuvosos e nas menores e nas maiores taxas de precipitação distribuídos nas superclasses nas análises anuais e sazonais.

Obtido o Z , a probabilidade de tendência é calculada e posteriormente é determinado o nível de significância encontrado em cada superclasse. Dependendo dos valores de Z e do nível de significância (NS), a tendência foi considerada significativamente negativa ($NS \leq 0,1$ e $Z < 0$), significativamente positiva ($NS \geq 0,1$ e $Z > 0$), positiva ($NS > 0,1$ e $Z > 0$) ou negativa ($NS < 0,1$ e $Z < 0$).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com os dados pluviométricos das sete estações do Litoral Norte, foi inicialmente feita uma análise estatística dos totais médios de precipitação e

número médio de dias chuvosos para as análises anual e sazonal.

A Figura 3a mostra as percentagens do número médio de dias com chuva para as análises anual e sazonal. Pode-se notar que a estação Mato Dentro/U apresentou as maiores percentagens médias de dias com chuva de 52,8 % no ano, 62,4 % no verão, 53 % no outono, 36,8 % no inverno, e 63,5 % na primavera. Este comportamento distinto em relação às outras estações ocorre devido a sua localização a 200 m de altitude na Serra do Mar, no município de Ubatuba.

Com relação às outras estações, que estão localizadas ao nível do mar e próximas à costa, notou-se que a variação da percentagem de número de dias ao ano é de 30 a 40 %. Com exceção de Caraguatatuba, as percentagens médias de dias com chuva apresentaram valores entre 40 e 50% para o verão. No inverno, Maresias/SS apresentou a percentagem aproximada a do Mato Dentro (33,2 %), ou seja, são as regiões em que mais chove no inverno no Litoral Norte, onde existem informações pluviométricas. Observou-se que as percentagens encontradas decresceram do verão, primavera, outono, anual e inverno para a maioria dessas estações. Com relação ao número de dias chuvosos na análise de precipitação anual, na análise da estação da primavera e na análise da estação do outono, observou-se que o número de dias da superclasse abaixo do normal em Mato Dentro/U (148, 43 e 37 dias, respectivamente) é maior que o total de número de dias chuvosos nas outras estações estudadas. As Figuras 3b a 3 f mostram o número de dias chuvosos distribuído nas superclasses abaixo do normal (Ab), normal (N) e acima do normal (Ac) para cada estação estudada para o verão, o outono, o inverno, a primavera e o ano. Outro ponto interessante notado é que o número de dias chuvosos da superclasse abaixo do normal é muito maior que o número de dias das outras duas superclasses em todas as análises sazonais e anuais. Na região do Litoral Norte, chuvas Ab ocorrem predominantemente, em torno de 72 % do número de dias no verão e no outono e 68,8 % na primavera e no inverno. Para a chuva N, ocorrem em torno de 20 % no verão e outono e 21 % na primavera e inverno. A percentagem de 8 a 9 % é encontrada para a superclasse Ac para todas as estações.

Os maiores e menores números de dias chuvosos nas estações do ano ocorreram para as Mato Dentro/U e São Francisco/SS, respectivamente. O mesmo procede para o total de precipitação, exceto para o inverno. Nota-se que em todas as análises temporais, Mato Dentro/U apresentou maior nú-

mero e percentagem de dias com precipitação Ab e menor número e percentagem de dias com precipitação Ac em relação às outras estações estudadas. A percentagem do número de dias chuvosos da superclasse Ab é quase 5 % maior em Mato Dentro do que nas outras estações.

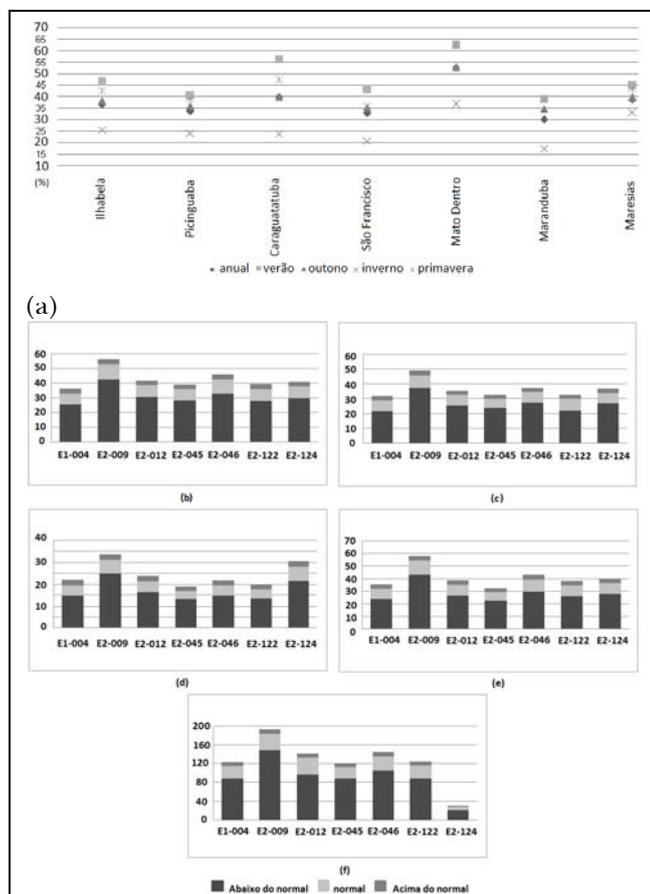


Figura 3 – (a) Percentagem do número médio de dias chuvosos para cada estação do ano. Número de dias chuvosos distribuído nas superclasses abaixo do normal, normal e acima do normal, para cada estação estudada, para (b) verão, (c) outono, (d) inverno, (e) primavera e (f) ano, respectivamente.

Analisando-se todas as estações situadas ao nível do mar, o número total de dias chuvosos em Picinguaba é menor que a soma dos dias das superclasses Ab e N, no verão e outono. No verão, a percentagem de chuva para a superclasse Ab é menor, aumentando para a superclasse Ac em Picinguaba, em relação às outras estações. No outono, Maranduba apresenta a menor percentagem de chuva Ab e maior percentagem para a superclasse N. No inver-

no, chove mais em Maresias/SS com maior número de dias na superclasse Ab. Em São Francisco/SS chove menos, mas com percentagem de chuva na média das outras estações em todas as superclasses. Na primavera, Caraguatatuba apresenta maior número de dias Ab, mas com percentual dentro da média de todas as estações. Em Maresias, ocorreram os maiores e menores valores de percentagem de dias chuvosos que a média para as superclasses Ac e Ab, respectivamente.

Na Figura 4, estão mostrados os totais médios anuais e sazonais de precipitação para todas as estações estudadas para o período de 1970 a 1999.

Mato Dentro/U apresentou os maiores totais médios de precipitação para as análises anuais e sazonais (3100 mm ao ano e 1130 mm no verão), seguida por Maresias/SS; e Picinguaba e Maranduba situadas em Ubatuba. Os menores valores foram encontrados nas estações de Ilhabela e São Francisco em São Sebastião, que estão localizadas no canal de São Sebastião. Como esperado, a estação mais seca é o inverno e os valores totais médios da primavera e do outono são similares.

A Figura 5 apresenta a razão entre a média do total de precipitação de cada década pela média do total de precipitação de 30 anos de dados. Nota-se que houve aumento da razão utilizando-se a década de 70 e a de 90 para as estações de Picinguaba/U, Maresias/SS, Ilhabela e Caraguatatuba, o mesmo comportamento não foi encontrado para Mato Dentro/U e São Francisco do Sul/SS. Estas últimas estações apresentaram diminuição da média do total de precipitação da década de 90 em relação não se usa crase antes da preposição de a de 80 e 70.

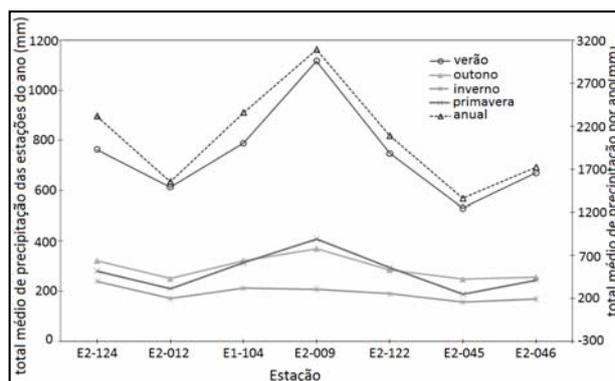


Figura 4 – Total anual médio de precipitação do período de 1970 a 1999 para todas as estações pluviométricas estudadas. Os valores médios sazonais estão apresentados no eixo esquerdo e os médios anuais no eixo direito.

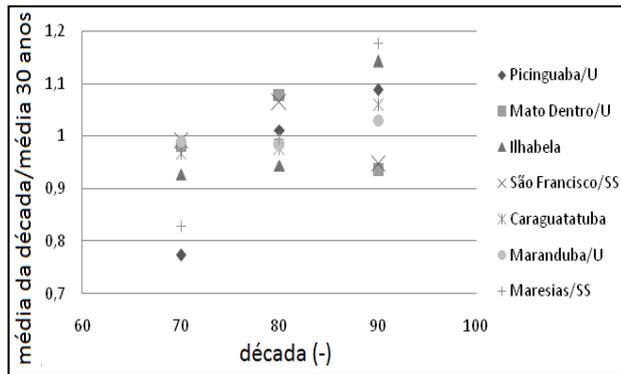


Figura 5 – Razão entre a média do total de precipitação de cada década pela média do total de precipitação de 30 anos de dados.

Resultados das tendências

Foram realizados os testes Mann-Kendall das sete estações pluviométricas do Litoral Norte no período de 1970 a 1999. Para o teste Mann-Kendall, foram geradas as tendências do número de dias com chuva; da menor e da maior taxa de precipitação; e do total de precipitação para as superclasses de precipitação Ab, N e Ac. Os resultados das análises anuais e sazonais das tendências estão apresentados a seguir.

a) Verão

A Figura 6 apresenta as tendências do número de dias com chuva e do total de precipitação, para o verão, para todas as superclasses de precipitação, para o Litoral Norte. A análise das tendências do total de precipitação mostrou que não ocorreu nenhum caso significativo para as estações estudadas, podendo-se concluir que não houve modificação significativa do total de precipitação no verão para os 30 anos estudados. Pode-se observar a presença da tendência negativa sem significância para Mato Dentro/U, Ilhabela e São Francisco/SS, e positiva sem significância para Picinguaba/U e Maresias/SS para as 3 superclasses de precipitação analisadas.

Em Caraguatatuba, a tendência da taxa mínima de precipitação aumentou significativamente para a superclasse Ab, e diminuiu para a superclasse Ac. Os municípios de Ubatuba e Ilhabela apresentaram aumento e diminuição, respectivamente, para as superclasses Ac e Ab. Entretanto, sugere-se que houve predomínio de tendência negativa para as superclasses N e Ac para todos os municípios do Litoral Norte. Para a superclasse Ab, ocorreu au-

mento da menor taxa exceto para o município de São Sebastião. Com relação à taxa máxima de precipitação, houve diminuição significativa em Ilhabela para as superclasses N e Ac, e em São Francisco/SS e Caraguatatuba para a Ac.

b) Outono

As tendências do número de dias com chuva, e do total de precipitação estão apresentados na Figura 7, para o outono, para todas as superclasses de precipitação, para o Litoral Norte, obtidos pelo teste Mann-Kendall.

Para o total de precipitação no outono, todas as estações apresentaram aumento para todas as superclasses estudadas, mas com significância em Maranduba e Picinguaba em Ubatuba, Caraguatatuba e Maresias/SS para a superclasse Ab; em Picinguaba/U e Maresias/SS para a superclasse N; e em Caraguatatuba para a superclasse Ac. Houve um aumento da tendência do número de dias para a maioria das superclasses de precipitação nas estações estudadas, sendo significativa apenas para a superclasse Ab em Ilhabela.

Analisando-se os totais de precipitação e o número de dias chuvosos, não ocorreu nenhum caso com tendência significativa para ambas as variáveis. A maioria dos casos estudados sugeriu a ocorrência do aumento simultâneo para as duas variáveis. Para os outros casos, notou-se que o número de dias chuvosos diminuiu enquanto que o total de precipitação aumentou em Maresias/U e Mato Dentro/U para a superclasse Ab; em Ilhabela para a superclasse N; e em Caraguatatuba e Maranduba/U para a superclasse Ac.

Houve aumento da taxa mínima de precipitação para a maioria das estações, sendo significativo apenas em Caraguatatuba e Mato Dentro/U para a superclasse Ab e em Picinguaba/U para a superclasse Ac; e significativamente negativo em São Francisco/SS para a superclasse Ab.

Com relação à maior taxa de precipitação, a maioria das tendências é positiva sem significância, sendo negativas apenas em Ilhabela para as superclasses normal e Ac e São Francisco/SS para todas as superclasses. Nota-se que não ocorreu significância em nenhum caso estudado.

c) Inverno

Para o Litoral Norte, a Figura 8 mostra as tendências do número de dias com chuva e do total de precipitação para o inverno das superclasses de precipitação. Com relação ao total da precipitação, o teste de Mann-Kendall mostrou que as tendências foram positivas com significância em Maresias/SS

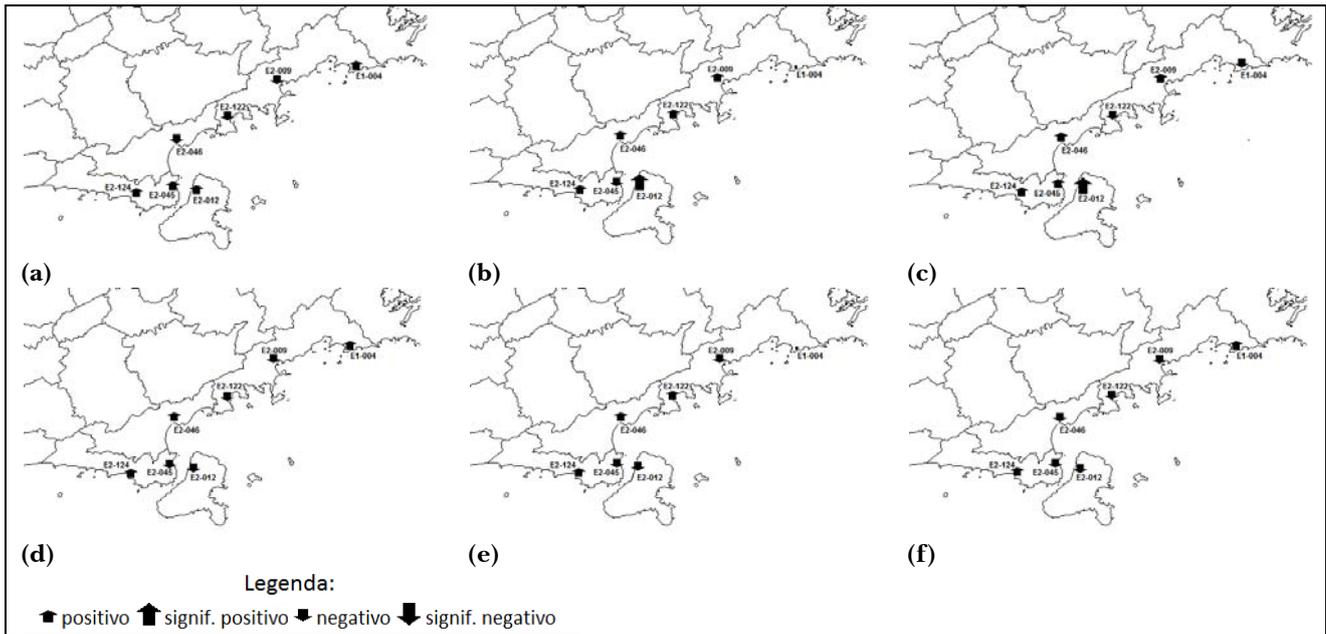


Figura 6 – Tendências do número de dias chuvosos e do total de precipitação para as superclasses abaixo do normal (a, d); normal (b, e) e acima do normal (c, f), no verão, nas estações no Litoral Norte.

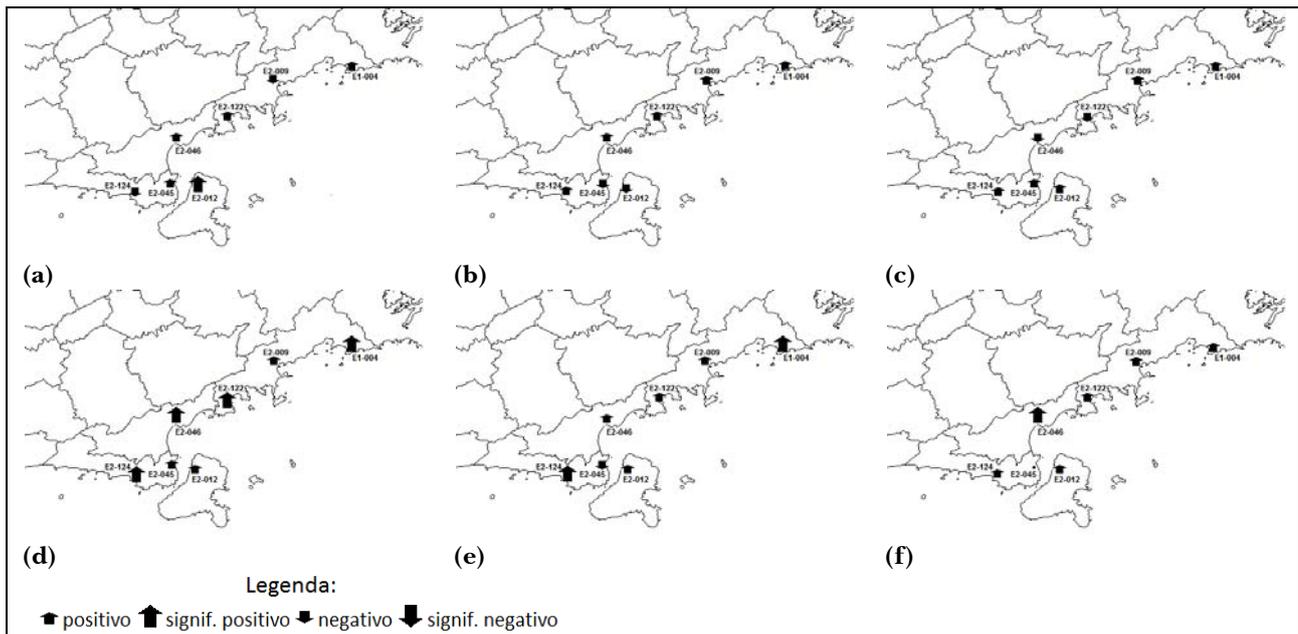


Figura 7 – Tendências do número de dias chuvosos, do total de precipitação para as superclasses abaixo do normal (a, d); normal (b, e) e acima do normal (c, f), no outono, nas estações no Litoral Norte.

para todas as superclasses estudadas; e negativa com significância em São Francisco/SS para a superclasse Ab. Houve um aumento da tendência em Maresias/SS e Ilhabela e diminuição em Maranduba e Mato Dentro em Ubatuba para todas as superclasses.

Para o número de dias com chuva, houve diminuição significativa em Caraguatatuba para a superclasse Ab; em São Francisco/SS e Maranduba/U para superclasse N; e positiva significativa em Picinguaba/U para a superclasse Ab; e em Maresias/SS e Ilhabela para a superclasse Ac.

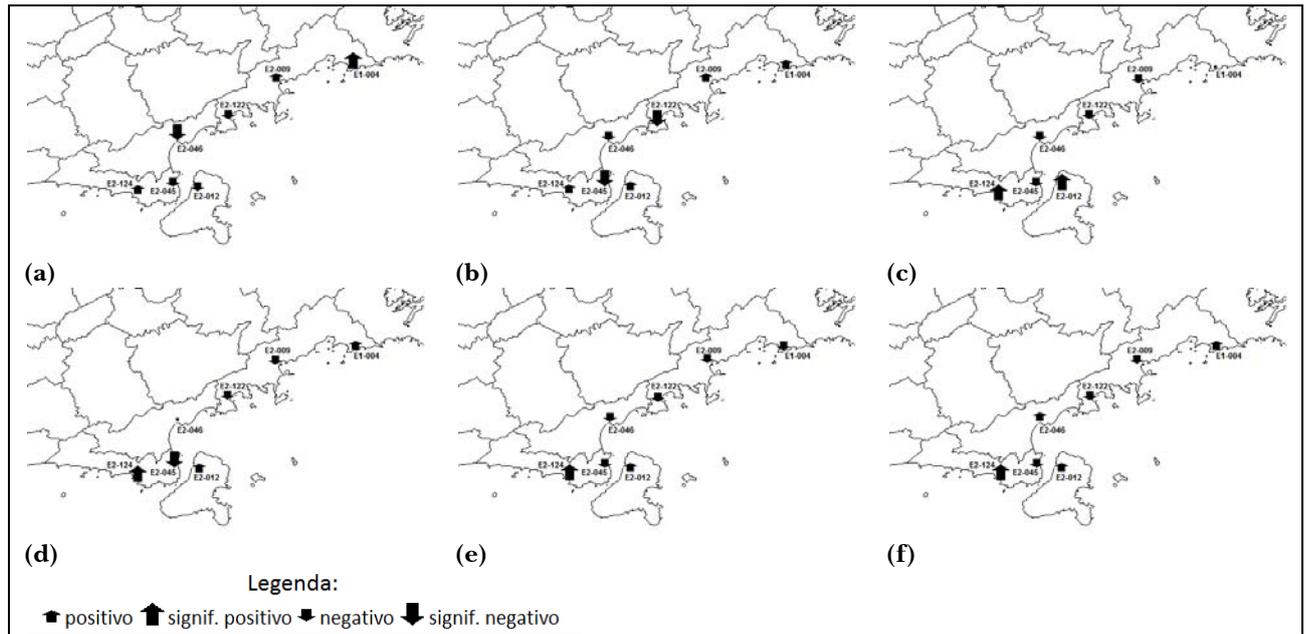


Figura 8 – Tendências do número de dias chuvosos, do total de precipitação para as superclasses abaixo do normal (a, d); normal (b, e) e acima do normal (c, f) no inverno, nas estações do Litoral Norte.

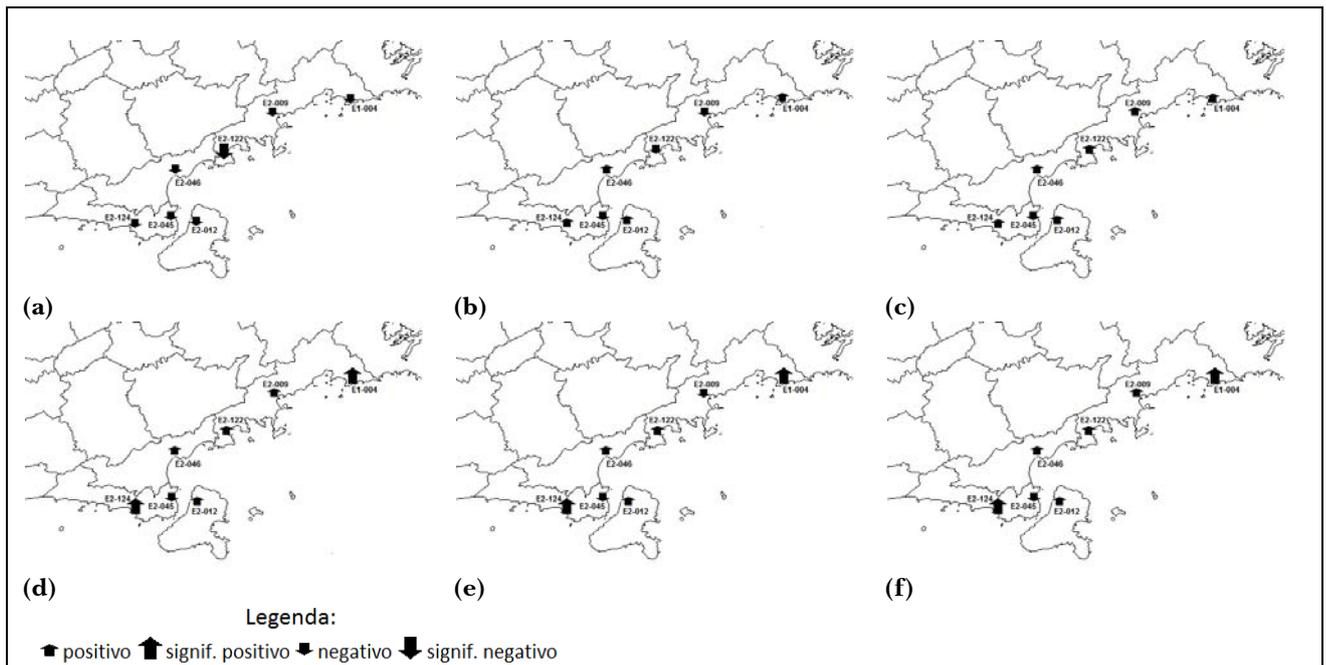


Figura 9 – Tendências do número de dias chuvosos, do total de precipitação para as superclasses abaixo do normal (a, d); normal (b, e) e acima do normal (c, f) na primavera, nas estações do Litoral Norte.

Em Mato Dentro, houve aumento do número de dias chuvosos com diminuição do total de precipitação para as superclasses Ab e N. Em Ilhabela, para a superclasse Ab, foi apresentada diminuição

do número de dias e aumento do total de precipitação, enquanto que houve comportamento inverso em Maresias/SS para superclasse N e em Caraguatuba para superclasse Ac.

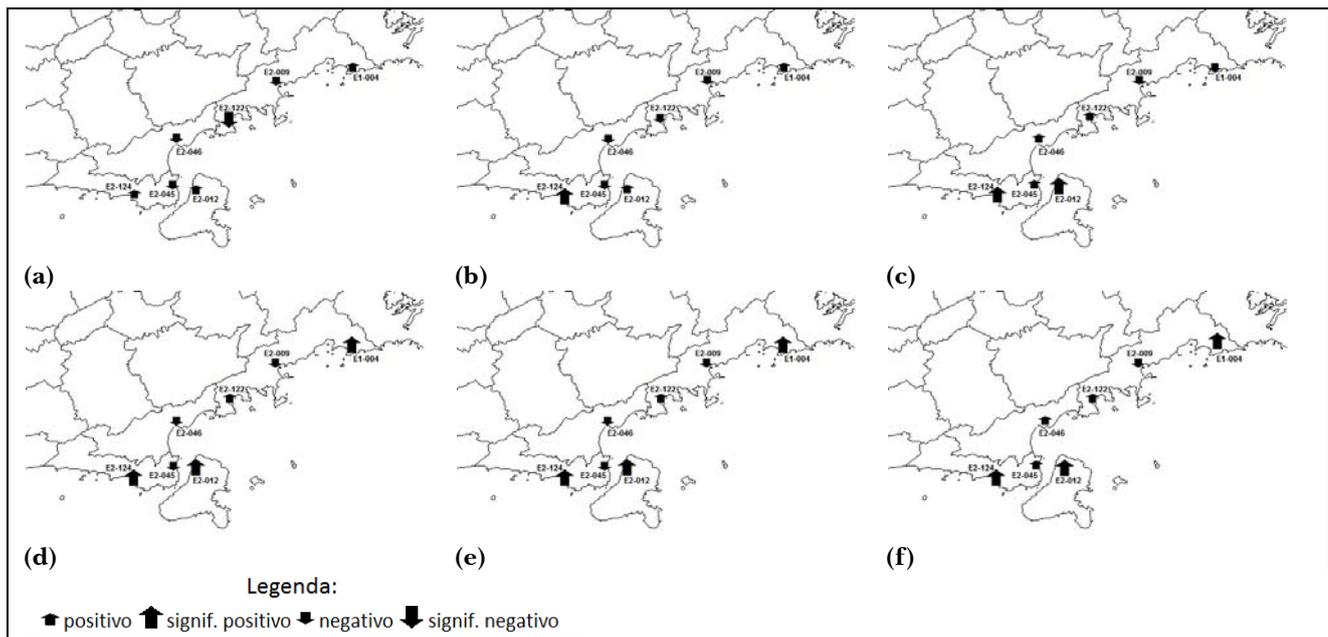


Figura 10– Tendências do número de dias chuvosos, do total de precipitação para as superclasses abaixo do normal (a, d); normal (b, e) e acima do normal (c, f) no ano, nas estações do Litoral Norte.

Para as tendências das menores taxas de precipitação, as tendências significativamente positivas ocorreram para as superclasses Ab e Ac em Caraguatatuba e Ab em Maranduba/U e foi também notada a tendência significativamente negativa para a superclasse Ac em Mato Dentro/U. As tendências das maiores taxas de precipitação foram positivas sem significância para a maioria das estações, com significância em Maresias/U para a superclasse Ab. Tendências negativas foram encontradas em Mato Dentro/U para as três superclasses, e em Maranduba/U para as superclasses N e Ac.

d) Primavera

As tendências do número de dias com chuva e do total de precipitação para a primavera das superclasses de precipitação são mostradas na Figura 9, para o Litoral Norte, obtidos pelo teste Mann-Kendall. Para o total de precipitação na primavera, utilizando-se o teste de Mann-Kendall, as estações Picinguaba/U e Maresias/SS apresentaram tendência significativa positiva para todas as superclasses estudadas. Houve predominância de tendência positiva em todas as superclasses, exceto em São Francisco/SS e Mato Dentro/U.

Para o número de dias com chuva, a tendência significativa negativa ocorreu apenas em Maranduba/U para a superclasse Ab. Observa-se que ocorreu diminuição da tendência do número

de dias com chuva para a superclasse Ab e aumento para as superclasses N e Ac para todos os municípios, exceto em São Francisco/SS.

Houve a predominância de tendência positiva para as menores taxas de precipitação em todos os municípios para as superclasses N e Ac. As tendências significativas ocorreram em Caraguatatuba e Maranduba/U para a superclasse Ab; Picinguaba e Maranduba em Ubatuba, São Sebastião para a superclasse N; e Picinguaba/U para a superclasse Ac.

Para as maiores taxas de precipitação, ocorreu o predomínio de tendência positiva, para as superclasses N e Ac (exceto em Ubatuba) sendo significativa em Picinguaba/U e Maresias/SS para N e Picinguaba/U para Ac. Vale ressaltar que algumas estações apresentaram simultaneamente aumento das menores e maiores taxas de precipitação, como Picinguaba/U para todas as superclasses; São Sebastião, Caraguatatuba e Ilhabela para as superclasses N e Ac; e Maranduba/U para as superclasses Ab e N.

e) Ano

A Figura 10 apresenta as tendências do número de dias com chuva e do total de precipitação para o ano das superclasses de precipitação, para o Litoral Norte. É sugerido o aumento do total de precipitação em Picinguaba/U, Maresias/SS, Ilhabela, Ubatuba (exceto em Mato Dentro) para todas as superclasses de precipitação, enquanto que Cara-

guatatuba apresentou decréscimo da tendência para as superclasses Ab e N. Vale ressaltar que houve aumento significativo da tendência em Picinguaba/U, Ilhabela e Maresias/SS para todas as superclasses estudadas.

Para número de dias chuvosos, houve diminuição significativa em Maranduba/U para superclasse Ab; e aumento significativo em Ilhabela para Ac; e em Maresias/SS para N e Ac. Os resultados sugerem que houve aumento do número de dias em Ilhabela e São Sebastião para todas as superclasses e em Picinguaba/U para as superclasses Ab e N. Em Mato Dentro, ocorreu diminuição da tendência do número de dias em todas as superclasses.

Com relação à menor taxa de precipitação, ocorreu a diminuição significativa da tendência para São Francisco/SS e Caraguatatuba para a superclasse Ab; e aumento significativo em Ubatuba (Picinguaba e Maranduba) e Maresias/SS para a N e em Picinguaba/U e Caraguatatuba para a superclasse Ac. Pode-se notar que houve aumento da menor taxa para todas as superclasses, exceto em São Sebastião e Caraguatatuba para a superclasse Ab. Com relação à maior taxa de precipitação, houve aumento da tendência para a superclasse Ab, sendo significativo em Ubatuba (Picinguaba e Maranduba) e Maresias/SS, enquanto que houve a predominância de tendência negativa para as superclasses N e Ac, sendo positiva significativa em Picinguaba/U.

CONCLUSÕES

Para o teste de Mann-Kendall, utilizando sete estações pluviométricas do Litoral Norte no período de 1970 a 1999, foram geradas as tendências do número de dias com chuva; da menor e da maior taxa de precipitação; e do total de precipitação das superclasses de precipitação: abaixo do normal, normal e acima do normal. Analisando-se os números de dias chuvosos, a estação de Mato Dentro/U apresenta maior percentagem de número de dias com chuva ao ano e nas estações do ano e superclasse de precipitação abaixo do normal em Mato Dentro/U apresentou maiores valores na base anual, no verão e outono. Com relação aos totais anuais de precipitação e totais médios anuais e sazonais, choveu mais em Mato Dentro/U e Maresias/SS enquanto que os menores totais foram encontrados em São Francisco/SS e Ilhabela. A razão entre a média do total de precipitação da década de 70 pela década de 90 apresentou um aumento em Picinguaba/U, Maresias/SS, Ilhabela e Caraguatatuba, enquanto Mato Dentro/U e São Francisco/SS apresentaram comportamento exatamente oposto.

Os resultados das tendências pelo teste de Mann-Kendall mostraram que não ocorreu modificação significativa do total de precipitação para o verão nos 30 anos estudados. Com relação ao total de precipitação, Maresias/SS e Picinguaba/U foram as estações que apresentaram tendência significativa positiva nas análises anual, da primavera e do outono para a maioria das superclasses de precipitação e ano, nas análises do ano, da primavera e do inverno para as três superclasses de precipitação, respectivamente.

Com relação ao número de dias chuvosos, Maresias/SS apresentou aumento significativo da tendência no inverno para as três superclasses estudadas e na análise anual para as superclasses normal e acima do normal. Para Ilhabela, houve aumento significativo no ano e inverno para a superclasse acima do normal, no verão para a superclasse normal e no outono e verão para a superclasse abaixo do normal.

AGRADECIMENTOS

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

REFERÊNCIAS

- BARROS, V.; CASTANEDA, M.E.; DOYLE, M. Recent precipitation trends in southern South America east of the Andes: an indication of climatic variability. In: Smolka P.P., Volkheimer W. (ed) *Southern Hemisphere paleo and neo-climates. Key Sites, Methods, Data and Models*. Berlin, Springer Verlag, p. 187–206, 2000.
- BERLATO, M.A.; MARTINS, E.J.; CORDEIRO, A.P.A.; ODERICH, E.H. 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: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15. 2007, Aracaju, SE, *Anais...* Aracaju, 2007. CD-ROM.
- BLAIN, G.C. Tendência e variações climáticas em séries anuais de precipitação pluvial do Estado de São Paulo. *Bragantia*, v. 69, n. 3, p.765-770. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0006-8705201000030031&script=sci_arttext> Acesso em: 17 mai. 2011.
- BOYLES, R.P.; RAMAN, S. Analysis of climate trend in North Carolina (1949–1998). *Environment International*, v. 29, n. 2-3, p. 263–275, 2003.

- BRADLEY A. Regional frequency analysis methods for evaluating changes in hydrologic extremes. *Water Resources Research*, v. 34, n. 4, p. 741–750, 1998.
- BURN, D.H.; HAG ELNUR M.A.. Detection of hydrologic trends and variability. *Journal of Hydrology*, v. 255, p. 107–122, 2002.
- CALOIERO, T.; COSCARELLI, R.; FERRARIC, E.; MANCINIA, M. Trend Detection of Rainfall in Calabria (Southern Italy). *International Journal of Climatology*. v. 31, p. 44–56, 2011.
- DUFEK, A.S.; AMBRIZZI, T. Precipitation variability in São Paulo State, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology* v. 93, p.167–178, 2008.
- FECHINE, J.A.; GALVÍNIO, J.D. Aplicação do Teste de Menn Kendall na Análise de Tendências Climáticas em Anos de El Niño - Bacia Hidrográfica do Rio Pontal – Estado de Pernambuco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16., 2010, Belém. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2010. Disponível em: <http://www.cbmet2010.com/anais/artigos/42_651_98.p.pdf>. Acesso em: 31 nov. 2011.
- FORTES, L.T.G.; ANUNCIAÇÃO, Y.M.T.; LUCIO, P.S.; PAULA, T.P. Análise de Métodos Alternativos para Mapear Anomalias de Precipitação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2006. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/html/clima/material_ref01.pdf>. Acesso em: 20 de Março de 2011.
- GILBERT, R.O. *Statistical methods for environmental pollution monitoring*. Van Nostrand Reinhold, New York. 1987. p. 336.
- GROPPO, J. D.; MILDE, L.C.E.; GUAMERO, M.E.; MORAES, J.M.; MARTINELLI, L.A. Análise de Séries Temporais de Vazão e de Precipitação na Bacia do Rio Piracicaba. *Revista de Ciência & Tecnologia*. v. 8, n.18, pp. 109-117, 2003. Disponível em <www.unimep.br/phpg/editoral_revistaspdf/rct18art10.pdf>. Acesso em: out. 2010.
- HAMILTON, J.P.; WHITELAW, G.S.; FENECH, A. (2001). Mean annual temperature and annual precipitation trends at Canadian biosphere reserves. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 67, n. 1-2, p. 239–275, 2001.
- HAYLOCK, M. R.; PETERSON, T. C.; ALVES, L. M.; AMBRIZZI, T.; ANUNCIAÇÃO, 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. Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. *Journal of Climate*, v. 19, p. 1490-1512, 2006.
- HESS, T.M.; STEPHENS, W.; MARYAH, U.M. Rainfall trends in the North East Arid Zone of Nigeria 1961–1990. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 74, n. 1, p. 87–97, 1995.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 2007. 996 p.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Climate Change 2001: the Scientific Basis*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2001. 881 p.
- KARL, T. R.; KNIGHT, R.W. Secular Trends of Precipitation Amount, Frequency, and Intensity in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 79, n. 2, p. 231-241, 1998.
- KIELY, G. Climate change in Ireland from precipitation and streamflows observations. *Advances in Water Resources*, v. 23, p.141–151, 1999. Disponível em: <<http://www.ucc.ie/hydro/met/files/Kiely.1999a.pdf>>. Acesso em: jun.2011.
- KOPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-map 150cmx200cm, 1928.
- KUNDZEWICZ, Z.W.; ROBSON, A. *Detecting trend and Other Changes in Hydrological Data, World Climate Programme-Water*. World Climate Programme Date and Monitoring, WCDMP-45, WMO/TD n. 1013, Geneva, 2000, p.158.
- LEBEL, T.; ALI, A. Recent trends in Central and Western Sahel rainfall regime (1990–2007). *Journal of Hydrology*, v. 375, n. 1-2, p. 52–64, 2009.
- LIU, Q.; YANG, Z.; CUI, B. Spatial and temporal variability of annual precipitation during 1961–2006 in Yellow River Basin, China. *Journal of Hydrology*, v. 361, p. 330–338, 2008.
- LUCERO, O.A.; ROZAS, D. Characteristics of aggregation of daily rainfall in a middle-latitudes region during a climate variability in annual rainfall amount. *Atmospheric Research*, v. 61, p. 35–48, 2002.
- MATYASOVSKY I, Bogardi I, Bardossy A, Duckstein L. Estimation of local precipitations statistics reflecting climate change. *Water Resources Research*, v. 29, p. 3955–3968, 1993a.

MATYASOVSKY I, BOGARDI I, BARDOSSY A, DUCKSTEIN L. Spacetime precipitation reflecting climate change. *Hydrological Sciences Journal*, v. 38, p. 539–558, 1993b.

MINETTI J.L.; VARGAS, W.M.; POBLETE, A.G.; ACUNA, L.R.; CASAGRANDE, G. Non-linear trends and low frequency oscillations in annual precipitation over Argentina and Chile, 1931–1999. *Atmosfera*, v.16 p.119–135, 2003.

OSBORN, T.J.; HULME M.; JONES, P.D.; BASNETT, T.A. Observed Trends in the daily intensity of United Kingdom Precipitation. *International Journal of Climatology*, v. 20, p. 347-364, 2000.

RUSTICUCCI, M; PENALBA, O. Interdecadal changes in the precipitation seasonal cycle over southern south America and their relationship with surface temperature. *Climate Research* v. 16, p. 1–15, 2000.

SALMI, T.; MÄÄTTÄ, A.; ANTTILA, P.; RUOHO-AIROLA, T. AMNELL, T. *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, 2002, p.35.

SCHONWIESE, C.D.; RAPP, J. *Climate Trend Atlas of Europe Based on Observations 1891–1990*. Kluwer Academic Publishers Dordrecht, 1997, 228 p.

SHARMA, KP; MOORE, III B; VOROSMARTY, C.J. Anthropogenic, climatic and hydrologic trends in the Kosi basin, Himalaya. *Climate Change*, v.47, p.141–165, 2000.

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/bdhtm.exe/plu>>. Acesso em: 1 de out de 2010.

SNEYERS, R. Sur l'analyse statistique des series d'observations. Genève: Organisation Météorologique Mondiale, 1975. 192 p. (OMM Note Technique, 143)

TUCCI, C.E.M. *Impactos da variabilidade climática e do uso do solo nos recursos hídricos*. ANA, 2002, 150 p. Disponível em: <<http://www.iph.ufrgs.br/corpo docente/tucci/publicacoes/relclima.PDF>>. Acesso em: 1 de setembro de 2011.

ZOLINA, O.; SIMMER, C.; KAPALA, A.; BACHNER, S.; GULEV, S.; MAECHEL, H. Seasonally dependent changes of precipitation extremes over Germany since 1950 from a very

dense observational network. *Journal of Geophysical Research*, v. 32, D113, 2008. Disponível em: < http://www.sail.msk.ru/articles/jgr_seasonality_08.pdf >. Acesso em: maio de 2011.

Study Of Trends Of The Precipitation Totals And Number Of Rainy Days On The North Coast Of São Paulo

ABSTRACT

The trends of number of rainy days; the lower and higher precipitation rates; and the precipitation totals for 3 precipitation superclasses were calculated using the Mann-Kendall test. The data used were acquired from the rainfall stations of the north coast of São Paulo State from 1970 to 1999. According to the analysis of total precipitation, there was no significant trend during the summer. In the autumn, a significant increase in the trend was found in Maranduba and Picinguaba in Ubatuba city and Maresias in São Sebastião city for the below normal superclass, and in Caraguatatuba for the above normal superclass. In winter the trends were significantly positive in Maresias for all studied superclasses, and significantly negative in São Francisco in São Sebastião city for the above normal superclass. The significant positive trends were found in the spring and annual analysis in Picinguaba and Maresias, and in Ilhabela in the annual analysis for all studied superclasses. For the number of rainy days, Ilhabela showed a significant increase in the trend for the normal and above normal superclasses in the summer. In the autumn, there was a significant increase in the trend to the below normal superclass in Ilhabela. For the winter, a significant decrease in trends occurred in Caraguatatuba for the below normal superclass; while the significant positive in Picinguaba for the below normal superclass and in Maresias and Ilhabela for the above normal superclass were found. The significant negative trend in spring occurred only in Maranduba in Ubatuba for the below normal superclass while the increase in significant trends appeared in Ilhabela for the above normal superclass. For annual analysis, there were the decreasing significant trend in Maranduba in Ubatuba for the below normal superclass and increasing significant trend in Ilhabela for the above normal superclass and in Maresias for the normal and above normal superclasses.

Key-words: trend, climate change and precipitation