

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

BRUNA PEREIRA DE SOUZA

**ANÁLISE DE TENDÊNCIA EM SÉRIES TEMPORAIS DE PRECIPITAÇÃO NA
REGIÃO DOS RESERVATÓRIOS DO SISTEMA CANTAREIRA, SÃO PAULO, SP.**

CURITIBA
2015

BRUNA PEREIRA DE SOUZA



**ANÁLISE DE TENDÊNCIA EM SÉRIES TEMPORAIS DE PRECIPITAÇÃO NA
REGIÃO DOS RESERVATÓRIOS DO SISTEMA CANTAREIRA, SÃO PAULO, SP.**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Paraná, apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Carvalho de Almeida

**CURITIBA
2015**

DEDICATÓRIA

Primeiramente à Deus por ter ajudado a entrar na Universidade Federal do Paraná depois de tanta dedicação.

Ao meu orientador, Professor Ricardo Carvalho de Almeida por ser atencioso, dedicado com seus estudantes e paciente.

Aos meus amigos da graduação por terem compartilhado momentos de muito estudo, aventuras e alegrias e decepções nesses 5 anos de engenharia.

Ao meu namorado por me ajudar a definir novos caminhos daqui em diante.

Aos meus pais e minha irmã por me apoiarem durante os estudos e me ajudarem nas decisões da minha vida.

À minha *best friend* Maria Eduarda por estar ao meu lado desde o começo e por partilharmos de tantos momentos importantes.

À minha mãe por rezar tanto por mim durante esses anos e vivenciar comigo essa trajetória.

RESUMO

No Brasil, eventos de chuvas intensas e secas drásticas têm sido recorrentes. O caso de estiagem em São Paulo no verão de 2013/2014 motivou a investigação do evento de seca assim como a probabilidade da existência de uma tendência climática de redução de precipitação na região. Neste trabalho, foi avaliada a existência de tendência à estiagem no Sistema Cantareira, São Paulo, numa série temporal de 35 anos de 1979-2013. Foram utilizados dados de precipitação do CPC (*Climate Prediction Center*) em séries anuais, mensais e diárias para três regiões definidas próximas ao Sistema Cantareira: rio Cachoeira, Parque Estadual da Cantareira e rio Piracicaba. Empregou-se o método estatístico não paramétrico de Mann-Kendall o qual é muito indicado para análises de tendências climáticas. Este teste foi aplicado para dois casos: em dados autocorrelacionados e em dados onde foi retirada a correlação serial. Os resultados do teste visavam balizar a rejeição da hipótese nula definida como a não existência de tendência a seca naquelas regiões. Da análise, verificou-se que tanto para dados autocorrelacionados como os sem autocorrelação concordam que anualmente não existe tendência significativa à seca nas três regiões próximas ao Sistema Cantareira. Numa análise mensal destaca-se a indicação de tendência à estiagem para o mês de Agosto. Observa-se que as mudanças climáticas ainda não são sentidas fortemente no Sistema Cantareira. Conclui-se que são necessários estudos mais aprofundados sobre mudanças climáticas em escala local, dinâmica atmosférica e gestão de recursos hídricos no Brasil com o intuito de prevenir a ocorrência de eventos como o registrado na cidade de São Paulo.

Palavras-chave: Tendência climática, precipitação, mudanças climáticas, método de Mann-Kendall, abastecimento de água em São Paulo.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: VARIAÇÃO DE Y COM O TEMPO. FONTE: adaptado de HELSEL E HIRSCH (2002).....	14
FIGURA 2: FLUXOGRAMA DOS MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS NO PRESENTE TRABALHO.....	16
FIGURA 3: LOCALIZAÇÃO DA BACIA DO RIO PIRACICABA, PERTENCENTE AO SISTEMA CANTAREIRA. FONTE: adaptado de GROppo, et al. (2005).....	18
FIGURA 4: LOCALIZAÇÃO DAS POSIÇÕES DE REFERÊNCIA PARA COLETA DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO EM SÃO PAULO. FONTE: GOOGLE EARTH (2015).....	20
FIGURA 5: POSIÇÃO NO ESTADO DE SÃO PAULO DAS AREAS DE ESTUDO...21	21
FIGURA 6: ESQUERDA: VALORES DE PRECIPITAÇÃO MENSAL ACUMULADA PARA O PARQUE ESTADUAL DA CANTAREIRA. DIREITA: VALORES DA PRECIPITAÇÃO ANUAL (1979-2013) PARA O RIO PIRACICABA.....	26
FIGURA 7: ESQUERDA: VALORES DE PRECIPITAÇÃO MENSAL ACUMULADA PARA O PARQUE ESTADUAL DA CANTAREIRA. DIREITA: VALORES DA PRECIPITAÇÃO ANUAL (1979-2013) PARA O RIO CACHOEIRA.....	27
FIGURA 8: ESQUERDA: VALORES DE PRECIPITAÇÃO MENSAL ACUMULADA PARA O PARQUE ESTADUAL DA CANTAREIRA. DIREITA: VALORES DA PRECIPITAÇÃO ANUAL (1979-2013) PARA O PARQUE ESTADUAL DA CANTAREIRA.....	28
FIGURA 9: GRÁFICOS DE DISPERSÃO DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO ANUAL PARA O RIO PIRACICABA, RIO CACHOEIRA E PARQUE ESTADUAL DA CANTAREIRA.....	29
FIGURA 10: REPRESENTAÇÃO DA TENDÊNCIA ANUAL DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO PELO MÉTODO ESTATÍSTICO MANN-KENDALL NA REGIÃO DO RIO CACHOEIRA, SISTEMA CANTAREIRA, SÃO PAULO.....	36
FIGURA 11: REPRESENTAÇÃO DA TENDÊNCIA ANUAL DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO PELO MÉTODO ESTATÍSTICO MANN-KENDALL NA	

REGIÃO DO PARQUE ESTADUAL DA CANTAREIRA, SÃO PAULO.....	39
FIGURA 12: REPRESENTAÇÃO DA TENDÊNCIA ANUAL DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO PELO MÉTODO ESTATÍSTICO MANN-KENDALL NA REGIÃO DO RIO PIRACICABA, SISTEMA CANTAREIRA, SÃO PAULO.....	41

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: VARIAÇÃO ANUAL DO VOLUME DE ÁGUA NO SISTEMA CANTAREIRA ENTRE 2013 E 2014. (O VOLUME AUMENTOU EM JUNHO PORQUE EM 15/05 COMEÇOU A SER USADO O VOLUME MORTO, AUMENTANDO 18,5% DO VOLUME TOTAL DO SISTEMA). FONTE: SABESP.....	6
TABELA 2: RESUMO DOS DIFERENTES TIPOS DE DADOS E RESPECTIVOS MÉTODOS ESTATÍSTICOS MAIS ADEQUADOS PARA ANÁLISES. FONTE: ALEXANDRE, G.R. (2009).....	11
TABELA 3: CLASSIFICAÇÃO DE KÖPPEN PARA O CLIMA DO ESTADO DE SÃO PAULO.....	19
TABELA 4: LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE COLETA DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO, REPRESENTANDO O SISTEMA CANTAREIRA.....	21
TABELA 5: RESULTADOS DA ESTATÍSTICA MANN-KENDALL PARA DADOS DE PRECIPITAÇÃO ANUAIS AUTOCORRELACIONADOS PARA O RIO CACHOEIRA.....	30
TABELA 6: RESULTADOS DA ESTATÍSTICA MANN-KENDALL PARA DADOS DE PRECIPITAÇÃO MENSAIS AUTOCORRELACIONADOS PARA O RIO CACHOEIRA.....	31
TABELA 7: RESULTADO DA ESTATÍSTICA MANN-KENDALL PARA DADOS DE PRECIPITAÇÃO DIÁRIOS AUTOCORRELACIONADOS PARA O RIO CACHOEIRA.....	31
TABELA 8: RESULTADOS DA ESTATÍSTICA MANN-KENDALL PARA DADOS DE PRECIPITAÇÃO ANUAIS AUTOCORRELACIONADOS PARA O PARQUE ESTADUAL DA CANTAREIRA.	32
TABELA 9: RESULTADOS DA ESTATÍSTICA MANN-KENDALL PARA DADOS DE PRECIPITAÇÃO MENSAIS AUTOCORRELACIONADOS PARA O PARQUE ESTADUAL DA CANTAREIRA.	32
TABELA 10: RESULTADO DA ESTATÍSTICA MANN-KENDALL PARA DADOS DE PRECIPITAÇÃO DIÁRIOS AUTOCORRELACIONADOS PARA O PARQUE ESTADUAL DA CANTAREIRA.	33

TABELA 11: RESULTADOS DA ESTATÍSTICA MANN-KENDALL PARA DADOS DE PRECIPITAÇÃO ANUAIS AUTOCORRELACIONADOS PARA O RIO PIRACICABA.	33
TABELA 12: RESULTADOS DA ESTATÍSTICA MANN-KENDALL PARA DADOS DE PRECIPITAÇÃO MENSAIS AUTOCORRELACIONADOS PARA O RIO PIRACICABA.	34
TABELA 13: RESULTADO DA ESTATÍSTICA MANN-KENDALL PARA DADOS DE PRECIPITAÇÃO DIÁRIOS AUTOCORRELACIONADOS PARA O RIO PIRACICABA.	34
TABELA 14: RESULTADOS DA ESTATÍSTICA MANN-KENDALL PARA DADOS DE PRECIPITAÇÃO ANUAIS SEM AUTOCORRELAÇÃO PARA O RIO CACHOEIRA.	35
TABELA 15: RESULTADOS DA ESTATÍSTICA MANN-KENDALL PARA DADOS DE PRECIPITAÇÃO MENSAIS SEM AUTOCORRELAÇÃO PARA O RIO CACHOEIRA.	37
TABELA 16: RESULTADOS DA ESTATÍSTICA MANN-KENDALL PARA DADOS DE PRECIPITAÇÃO ANUAIS SEM AUTOCORRELAÇÃO PARA O PARQUE ESTADUAL DA CANTAREIRA.	38
TABELA 17: RESULTADOS DA ESTATÍSTICA MANN-KENDALL PARA DADOS DE PRECIPITAÇÃO MENSAIS SEM AUTOCORRELAÇÃO PARA O PARQUE ESTADUAL DA CANTAREIRA.	40
TABELA 18: RESULTADOS DA ESTATÍSTICA MANN-KENDALL PARA DADOS DE PRECIPITAÇÃO ANUAIS SEM AUTOCORRELAÇÃO PARA O RIO PIRACICABA.	41
TABELA 19: RESULTADOS DA ESTATÍSTICA MANN-KENDALL PARA DADOS DE PRECIPITAÇÃO MENSAIS SEM AUTOCORRELAÇÃO PARA O RIO PIRACICABA.	42

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS	3
	2.1 OBJETIVO GERAL.....	3
	2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
	3.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E PRECIPITAÇÃO NO BRASIL.....	4
	3.2 CASO DE ESTIAGEM EM SÃO PAULO.....	5
	3.3 SISTEMAS ATMOSFÉRICOS E OCEÂNICOS QUE INFLUENCIAM O ESTADO DE SÃO PAULO.....	7
	3.4 TENDÊNCIAS CLIMÁTICAS.....	9
	3.5 MÉTODOS ESTATÍSTICOS PARAMÉTRICOS E NÃO PARAMÉTRICOS NO ESTUDO DE TENDÊNCIAS CLIMÁTICAS.....	10
	3.6 MÉTODO NÃO PARAMÉTRICO DE MANN-KENDALL.....	12
	3.7 AUTOCORRELAÇÃO ENTRE DADOS CLIMÁTICOS.....	15
4	MATERIAIS E MÉTODOS	16
	4.1 DADOS DE PRECIPITAÇÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO.....	16
	4.2 REGIÃO DE ESTUDO.....	17
	4.3 ANÁLISE DE TENDÊNCIA DE MANN-KENDALL.....	22
5	RESULTADOS	25
	5.1 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO.....	25
	5.2 ANÁLISE DE TENDÊNCIA EM DADOS DE PRECIPITAÇÃO AUTO CORRELACIONADOS.....	30
	5.2.1 Região do Rio Cachoeira.....	30
	5.2.2 Região do Parque Estadual da Cantareira.....	32
	5.2.3 Região do Rio Piracicaba.....	33
	5.3 ANÁLISE DE TENDÊNCIA EM DADOS DE PRECIPITAÇÃO SEM AUTO CORRELAÇÃO SERIAL.....	35
	5.3.1 Região do Rio Cachoeira.....	35
	5.3.2 Região do Parque Estadual da Cantareira.....	37
	5.3.3 Região do Rio Piracicaba.....	40
6	DISCUSSÃO E CONCLUSÃO	43

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA.....46

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, eventos de chuvas intensas e secas drásticas têm sido recorrentes. Mais recentemente, a estiagem que atingiu o estado de São Paulo de Outubro de 2013 a Março de 2014 foi considerada a pior em 45 anos pelo Instituto de Astronomia e Geofísica (IAG) da Universidade de São Paulo (USP) (FERREIRA, 2014). Da mesma maneira, nos verões de 2004/2005 os estados do Rio Grande do Sul e do Paraná também sofreram com um *déficit* de precipitação com relação à média para a estação (MARENGO, 2006). Tais episódios reforçaram o questionamento da comunidade científica sobre o efeito das ações antrópicas nas mudanças climáticas, principalmente na alteração do regime de precipitação do Sudeste Brasileiro (BLAIN, 2010).

A região metropolitana de São Paulo, abastecida pelo Sistema Cantareira, foi a mais impactada pela estiagem de 2013/2014. Hoje, o Sistema Cantareira é considerado um dos maiores do mundo, com área total de, aproximadamente, 2270 km², sendo composto por cinco bacias hidrográficas (SENNE & GARCIA, 2009). Ele fornece água para 8,1 milhões de pessoas das zonas Norte, Central, parte da leste e oeste, os municípios de Franco da Rocha, Francisco Morato, Caieiras, Osasco, Carapicuíba e São Caetano do Sul, além de parte de Guarulhos, Barueri, Taboão da Serra e Santo André (CÔRTEZ et al., 2015). Estas regiões sofreram consequências da seca com problemas no abastecimento público e comprometimento do fornecimento de energia elétrica.

Neste contexto, o estudo de tendências climáticas é uma importante ferramenta para analisar a direção das mudanças ambientais. Blain (2009) explicita o conceito de tendência climática desenvolvido pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), como “elevação ou diminuição suave e monótona nos valores médios de uma série meteorológica, contendo apenas um máximo ou mínimo no ponto final da série.” Assim, a fim de certificar-se da veracidade de uma tendência, métodos estatísticos adequados devem ser utilizados, os quais incorporem a variabilidade natural das variáveis climáticas como precipitação, temperatura, umidade do ar, entre outras. Neste trabalho, viu-se a necessidade de investigar a existência de tendência à estiagem numa série histórica de precipitação na região

próxima ao Sistema Cantareira em São Paulo. No caso da variação de precipitação, a circulação atmosférica é de suma importância para a definição de um clima chuvoso ou seco e da mesma maneira, pode modificar o padrão de uma localidade. Portanto, deve-se analisar outras causas possíveis para o ocorrido em São Paulo, como por exemplo, uma alteração na dinâmica sinótica. Situações de bloqueios atmosféricos, entradas de frentes frias e anticiclones devem ser investigados para este evento. Além disso, estudos têm mostrado que eventos de El Niño e La Niña influenciam diretamente a precipitação da América do Sul (GRIMM & TEDESCHI, 2004).

Assim, percebe-se que o estudo das mudanças nas variáveis climáticas é de extrema importância para a sociedade, visto que existe uma clara ligação entre a economia de uma região e, por exemplo, o regime de chuvas local. Atividades de agricultura e pecuária, o abastecimento urbano de água e segurança pública também estão diretamente relacionadas aos fenômenos da natureza.

O estudo presente conduzirá uma análise na variação da precipitação na região metropolitana de São Paulo baseada no conceito de tendência climática, aplicando métodos estatísticos. Inicialmente será buscado um embasamento teórico sobre o tema de seca e precipitação no Brasil. Após, será apresentado o conceito de tendência climática e sua aplicabilidade por meio de métodos estatísticos. Posteriormente, será descrita a procedência dos dados de chuva utilizados neste trabalho e detalhada a região atingida pela seca. Também será apresentada a metodologia utilizada para a investigação da tendência climática à seca. Finalmente, os resultados obtidos serão apresentados e discutidos seguindo-se da conclusão do estudo.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar a existência de tendência à estiagem em dados de precipitação no Sistema Cantareira, São Paulo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar duas análises estatísticas em dados de precipitação: uma considerando autocorrelação entre os dados e outro sem considerar a autocorrelação entre os dados para pontos escolhidos na região metropolitana de São Paulo.
- Implementar e testar a metodologia de Mann-Kendall para análise de tendência em dados de precipitação.
- Avaliar a diferença entre os resultados obtidos para dados autocorrelacionados e não autocorrelacionados.
- Analisar resultados e discutir a possibilidade de tendência à estiagem na região metropolitana de São Paulo.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E PRECIPITAÇÃO NO BRASIL

A origem das alterações dos padrões climáticos globais tem sido questionada pela comunidade científica desde que se ouviu falar de mudanças climáticas. Em seu quarto relatório, o IPCC enfatizou a ocorrência e problemática dos eventos climáticos extremos no mundo todo, afirmando que o aquecimento global percebido nos últimos cinquenta anos é causado pelas atividades humanas (TRENBERTH *et al.*, 2007; MEEHL *et al.*, 2007 citado por MARENGO, 2008). Dados afirmam que nos últimos 100 anos a temperatura média da superfície global aumentou a uma taxa de $0.074^{\circ}\text{C} \pm 0.018^{\circ}\text{C} \text{ década}^{-1}$ (IPCC, 2007).

Alexander *et al.* (2006) estudaram mudanças em eventos extremos de temperatura e precipitação através de dados diários observados globais no período de 1951-2003. Os autores concluíram que, em geral, houve aumento anual nos índices de precipitação e que houve aumento de até dois dias por década (em um ano) de precipitação intensa no centro-sul dos Estados Unidos e em partes da América do Sul. Por meio de dados diários de precipitação, Klein Tank e Können (2003) encontraram incremento em eventos extremos de chuva e temperatura na Europa nos anos de 1946 a 1999. Dore (2005) verificou que a precipitação global tem aumentado desde o século 20 por causa das mudanças climáticas e que em alguns países da Ásia e África a frequência e intensidade de secas tende a aumentar também.

No Brasil tem sido muito discutida a alteração do regime de precipitação, visto que influencia diretamente nas vazões dos rios e o abastecimento energético do país. Marengo *et al.* (2007) e Groisman *et al.* (2005) verificaram em seus estudos sobre mudanças em variáveis hidrológicas, que nos últimos cinquenta anos observou-se um aumento no regime de chuvas das regiões Sudeste e Sul do Brasil e na Amazônia, assim como tendências de aumento de precipitação nas mesmas regiões e no Nordeste do país. Concordando com estes pesquisadores, Liebmann *et al.* (2004) apontaram um aumento no número de dias chuvosos no Sul do Brasil no período de 1979-1999.

Por outro lado, o IPCC (2007) também já mencionou cenários futuros de estiagem para o Brasil. Em 2005, as regiões oeste e sul do Amazonas sofreram a seca mais intensa dos últimos 100 anos, onde alguns rios perderam seis centímetros de nível água por dia (MARENGO et al., 2008). Cox *et al.* (2008) utilizaram o modelo de circulação atmosférica HadCM3LC para prever eventos de seca na Amazônia considerando as observações do evento de 2005 e altas concentrações de gases de efeitos estufa na atmosfera. Os autores concluíram que, com o aumento de emissão de dióxido de carbono, o evento de seca de 2005 tem probabilidade de 50% de ocorrer em até 2030 e 90% de probabilidade até 2100.

Outros episódios de intensa variação na precipitação têm sido observados no Brasil. No verão de 2004-2005 os estados do Paraná e do Rio Grande do Sul tiveram redução de 100 a 500 mm de precipitação em relação à média para o período. Em 2006, o Rio Iguaçu no Paraná, o qual abastece as Cataratas do Iguaçu, sofreu com uma seca que atingiu o Paraná e encontrou-se com volume de 13% da vazão normal (MARENGO et al., 2006). Em consequência à falta de chuvas, culturas de soja e milho, por exemplo, foram perdidas e o abastecimento para a população encontrou-se em situação crítica.

3.2 CASO DE ESTIAGEM NO SISTEMA CANTAREIRA EM SÃO PAULO

O Sistema Cantareira iniciou sua construção em 1965 compreendendo inicialmente os rios Juqueri, Atibainha e Cachoeira com vazão nominal de 11 m³/s para São Paulo e posteriormente, em 1976 abrangeu os rios Jaguari e Jacareí os quais aumentaram a vazão para 33m³/s. Este sistema possui volume total igual a 1269,5 milhões de m³ e abastece atualmente 9 milhões de pessoas na Região Metropolitana de São Paulo com reversão de 31 m³/s. O volume útil do sistema é igual a 982 milhões de m³ e o volume armazenado, conhecido como volume morto, é igual a 242,2 milhões de m³ (SABESP, 2015).

No verão de 2013/2014 o que se viu no estado de São Paulo, próximo ao Sistema Cantareira, foi uma seca anormal para este período do ano. A vazão de 1100 hm³ (hectômetros cúbicos) no começo de 2013 nesta região foi reduzida para 500 hm³ no segundo semestre de 2014 (ANA, 2014, citado por MARTINS, 2014). Durante o ano de 2014, o cenário piorou quando o Sistema Cantareira chegou a ter

apenas 10,20% de volume de água disponível para o abastecimento em maio de 2014, como pode ser visto na Tabela 1 (MARTINS, 2014).

Em meados de março de 2014, a Agência Nacional de Águas (ANA) e o Departamento de Água e Energia Elétrica (DAEE) de São Paulo reduziram o volume de água que a Sabesp, empresa que controla os serviços de saneamento básico em São Paulo, poderia retirar do Sistema Cantareira para abastecer a região (SÃO PAULO, 2014). No mês de abril a Sabesp foi obrigada a diminuir o volume de água utilizado de 27,9 m³/s para 24,8 m³/s (SÃO PAULO, 2014). Então, em maio de 2014 a ANA e o DAEE suspenderam temporariamente a outorga do uso das águas das bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí em virtude das dificuldades para o abastecimento para 9 milhões de pessoas em São Paulo (SÃO PAULO, 2014) Em setembro, o volume de água já chegava a aproximadamente 9% de seu total (MARTINS, 2014).

TABELA 1: VARIAÇÃO ANUAL DO VOLUME DE ÁGUA NO SISTEMA CANTAREIRA ENTRE 2013 E 2014. (O VOLUME AUMENTOU EM JUNHO PORQUE EM 15/05 COMEÇOU A SER USADO O VOLUME MORTO, AUMENTANDO 18.5% DO VOLUME TOTAL DO SISTEMA).

1º DIA DO MÊS	VOLUME DE ÁGUA DISPONÍVEL NO SISTEMA CANTAREIRA	1º DIA DO MÊS	VOLUME DE ÁGUA DISPONÍVEL NO SISTEMA CANTAREIRA
Julho/2013	56,52%	Janeiro/2014	27,08%
Agosto/2013	53,25%	Fevereiro/2014	21,73%
Setembro/2013	47,08%	Março/2014	16,25%
Outubro/2013	40,05%	Abril/2014	13,03%
Novembro/2013	36,46%	Mai/2014	10,20%
Dezembro/2013	31,51%	Junho/2014	24,56% ⁶

FONTE: SABESP, adaptado por MARTINS, 2014.

Mais recentemente, em Agosto de 2015, o Cemaden (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais), em seu relatório da situação atual e projeção hidrológica para o Sistema Cantareira, apresentou que o reservatório ainda operava com apenas 12,3% da vazão total permitida; ou seja 1269,5 hm³ relativo ao volume útil mais volume morto 1 e volume morto 2 (CEMANDEN, 2015). Segundo dados obtidos pelo DAEE e Cemaden, até o dia 26 de agosto de 2015 a

precipitação mensal acumulada nas sub-bacias de captação do Sistema Cantareira foi de 17,4 mm, correspondendo à 50,5% da média climatológica para este mês (CEMADEN, 2015).

Em consequência desta situação, a população, principalmente os menos favorecidos, sofreu com o precário abastecimento público de água, aplicação de multas em caso não redução do consumo de água e até sobretaxas no consumo da água (MARTINS, 2014).

3.3 SISTEMAS ATMOSFÉRICOS E OCEÂNICOS QUE INFLUENCIAM O ESTADO DE SÃO PAULO

No estado de São Paulo, o período de chuvas vai de Outubro à Abril e é regulado, principalmente, pelo sistema de monção da América do Sul (ESCOBAR, 2014). Normalmente nos meses de verão, como Janeiro e Dezembro os valores mensais de precipitação no Estado de São Paulo são bastantes elevados, próximos a 230 mm (BLAIN, 2009). Karoly, Vincent *et al.* (1998) verificaram que no Hemisfério Sul o verão domina a estação chuvosa no Sudeste brasileiro, devido à influência de uma faixa de alta atividade convectiva conhecida como Zona de Convergência no Atlântico Sul (ZACS), a qual não ocorre no inverno. Escobar (2014) explica que a ZACS caracteriza-se por uma cobertura de nuvens vinda da região Amazônica até o Atlântico Sul, influenciando a precipitação do centro-sul da Região Norte, Centro Oeste, Sudeste e Oeste da Bahia.

Casarin e Kousky (1986), em um estudo sobre anomalias de precipitação no Sul do Brasil, consideraram que casos de seca nessa região podem estar relacionados à anomalias de nebulosidade e do escoamento a nível global. Casarin (1982, citado por CASARIN e KOUSKY, 1986) estudou um caso de estiagem no Sul do Brasil em 1979 e concluiu que este foi causado por um anticiclone estacionário localizado sobre a América do Sul e uma bifurcação do escoamento no Oceano Pacífico Sul em altos níveis (250 hPa). Contrariamente, a principal forçante da precipitação em altos níveis é a circulação ciclônica sobre o continente (KAROLY, VICENT *et al.* 1998).

Apesar do padrão de chuvas se intensificar na estação do verão no Brasil, existem forçantes atmosféricas que podem contribuir para a ocorrência do contrário.

Braun e Herrmann (2002) observaram que em altos níveis os anticiclones de grande extensão, os quais caracterizam-se por serem sistemas de alta pressão, bloqueiam o deslocamento para leste de sistemas como a ZACS. No Atlântico Sul existe um anticiclone característico localizado próximo à costa sudeste brasileira, o qual, normalmente, permanece longe do continente durante o verão (KAROLY, VICENT *et al.*1998). Braun e Herrmman (2002) explicam que a existência de bloqueios atmosféricos está associada à presença de anticiclones estacionários, os quais se formam acima da alta subtropical (ar quente) e são acompanhados por uma baixa fria em altas latitudes. Estes autores estudaram casos de bloqueios no Brasil e mostraram que em Agosto de 2001 um bloqueio no Pacífico Sudeste causou seca no país e inversão térmica na cidade de São Paulo devido à subsidência de ar quente.

Eventos de El Niño e La Niña também são importantes controladores do regime de chuva na América do Sul. Grimm e Tedeschi (2004) explicam que nesses episódios ocorrem alterações nos fluxos de calor sensível e de vapor d'água na superfície do Oceano Pacífico para a atmosfera. Blain (2010) complementa esclarecendo que em anos considerados normais a célula de Walker possui movimentos de subida no Pacífico Central/Ocidental e de descida no oeste da América do Sul, com ventos de oeste para leste em altos níveis e em direção contrária na superfície. Contudo, em anos de El Niño ocorre bifurcação da célula de Walker e enfraquecimento dos ventos superficiais, podendo estes ter seu sentido invertido. Cavalcanti (1996) cita que em 1982/83 houve intenso episódio de El Niño/Oscilação Sul (ENSO), ocorrendo em menor escala em 1986/87 e de 1990 ao início de 1995. Casarin e Kousky (1986) mostraram que no episódio de 1982/83 houve cheias em algumas regiões do globo, por exemplo na Flórida e secas em outras, como na Austrália. Do mesmo modo, Wiedenmann *et al.* (2002) concluíram que eventos de ENSO também podem causar bloqueios atmosféricos. Os autores detectaram maior número de episódios de bloqueios em anos de El Niño do que em anos de La Niña e neutros.

3.4 TENDÊNCIAS CLIMÁTICAS

Back (2001) define tendência climática como uma alteração no clima com discreto aumento ou diminuição dos valores médios no período de interesse. Este conceito diferencia-se de mudança climática, uma vez que esta é uma variação rápida e persistente. Estatisticamente, Liebmann *et al.* (2004) conceitua tendência como o melhor ajuste da inclinação de uma reta que representa os dados em estudo abrangendo cada ponto de grade.

Haylock *et al.* (2006) em um estudo sobre tendência de precipitação extrema na América do Sul (1960-2000) observaram que nas regiões do Equador, norte peruano e Sul do Brasil, Paraguai, Uruguai e norte-centro da Argentina havia tendência a condições mais úmidas. Estes autores também selecionaram estações no Sudeste do Brasil para o mesmo estudo e encontraram que no sul da região existe uma tendência a condições mais úmidas, enquanto no norte a mais secas.

Silva *et al.* (2015) estudando tendência em extremos de precipitação no estado do Paraná – Brasil, não encontraram tendências estatisticamente significativas na região. Da mesma maneira, Sansigolo (2008) não verificou tendência climática significativa em valores extremos de precipitação, temperatura máxima e mínima na cidade de Piracicaba, no sudeste do Brasil.

Por outro lado, Liebmann *et al.* (2004) encontraram tendências sazonais na precipitação da América do Sul no período de 1979-1999. Em seu estudo, foi observada tendência significativa positiva no sul do Brasil de Janeiro a Março, devido a um aumento na porcentagem de dias chuvosos. Os autores também explicaram que não se pode correlacionar o aumento da temperatura do Oceano Pacífico em eventos El Niño com a tendência de precipitação observada. Apesar das chuvas aumentarem no sul brasileiro em épocas de El Niño, essa influência muda de mês a mês e no total sazonal não impacta significativamente. Entretanto, esses autores mostraram que tal variação pode ser associada à uma tendência positiva da temperatura da superfície do Oceano Atlântico.

Marengo *et al.* (1998) além de buscarem tendências climatológicas no leste brasileiro também fizeram proposições para tais acontecimentos. Os autores concluíram que não existem tendências significativas para seca ou chuva na Amazônia. Também verificaram que existe uma tendência negativa de vazão no rio

São Francisco em Juazeiro – Bahia. Entretanto, como em outras regiões do Brasil, essa tendência pode ser atribuída ao mau gerenciamento do recurso hídrico e não pela variação na precipitação.

3.5 MÉTODOS ESTATÍSTICOS PARAMÉTRICOS E NÃO PARAMÉTRICOS NO ESTUDO DE TENDÊNCIAS CLIMÁTICAS

Segundo Naghettini e Pinto (2007) os testes paramétricos assumem inicialmente que a amostra possui um padrão de distribuição previamente definido. Em alguns estudos de eventos climáticos, utilizam-se funções de distribuição paramétrica de frequência, como a distribuição normal, distribuição gama e distribuição geral dos valores extremos (THOM, 1966 citado por BLAIN, 2010). Hamed (2008) afirma que os testes paramétricos seguem uma distribuição como a normal e perdem poder de análise no caso de dados aleatórios. Ao contrário, Wilks (2006) afirma que os testes não paramétricos são interessantes em análises de dados hidrológicos visto que, normalmente, estes não estão condicionados a uma distribuição definida. Como, por exemplo, o número de diferenças positivas e negativas entre os dados (NAGHETTINI & PINTO, 2007). Entre os testes não paramétricos mais utilizados para estudos de variáveis hidrológicas podem-se citar o de Mann-Kendall, o de Pettit e o de Spearman's Rho (WILKS, 2006 e YUE, *et al.*, 2002).

Diferentes tipos de suposições podem ser feitas para os dados a fim de identificar o melhor teste estatístico a ser usado no estudo de tendências climáticas. Alexandre (2009) apresenta algumas abordagens interessantes para definição do teste mais correto (TABELA 2).

- Testes que pressupõem uma distribuição normal dos dados: vários utilizam-se da suposição de normalidade dos dados.
- Testes baseados em *ranks* ou postos (ordens de classificação): normalmente são utilizados testes não paramétricos, onde não é necessário o conhecimento prévio da distribuição dos dados.
- Testes que transformam a amostra para uma distribuição normal: dados assimétricos podem ser transformados em normais para então serem aplicados testes paramétricos, os quais supõem a normalidade.

- Testes que permitem reamostragem: neste caso podem ser utilizados testes paramétricos e não paramétricos, visto que os dados não são supõem normalidade nem independência.

Na construção de um modelo de previsão de vazões sazonais e interanuais para um sistema de reservatórios nos Estados do Ceará, Souza Filho e Lall (2004) consideraram que tanto o uso de métodos paramétricos quanto não paramétricos teriam desvantagens. Os primeiros seriam de difícil uso, uma vez que os dados anuais e mensais originais são muito assimétricos, há significativo número de vazões nulas e a existência da relação não linear entre vazão e os índices do clima. Os segundos também teriam um uso limitado para a estimativa de densidade de probabilidade e cálculo de regressão visto que existe grande amplitude na amostra de vazão, nas dimensões do problema multivariado no espaço e na quantidade de dados disponível.

TABELA 2: RESUMO DOS DIFERENTES TIPOS DE DADOS E RESPECTIVOS MÉTODOS ESTATÍSTICOS MAIS ADEQUADOS PARA ANÁLISES.

Caso	Situação	Diretrizes para Seleção do Teste
1	Dados são normalmente distribuídos, independentes e não-sazonais	Este é um cenário improvável para dados hidrológicos. Se aplicável, qualquer um dos testes listados a seguir serão apropriados.
2	Dados não são normalmente distribuídos, mas são independentes e não-sazonais	Alguns testes não-paramétricos são apropriados. Testes baseados na suposição de normalidade podem ser aplicados se (a) primeiro aplicar o método de transformação dos dados em amostras normais ou (b) usando técnicas de reamostragem (<i>resampling</i>) para avaliação da significância.
3	Dados não são normalmente distribuídos, não são independentes ou são sazonais	Para quase todos os testes listados a seguir, os níveis de significância deverão ser avaliados usando os métodos de <i>permutação</i> e <i>bootstrapping</i> em blocos de dados. A exceção é o teste Kendall Sazonal, que pode ser usado em séries com variações sazonais.

FONTE: ALEXANDRE, G.R (2009).

Penereiro *et al.* (2012) estudaram tendências climáticas em séries anuais de temperatura média e precipitação para as capitais brasileiras por meio de testes paramétricos e não paramétricos. Os autores calcularam as médias móveis anuais e mensais a fim de suavizar a série de dados brutos. Então, calcularam a regressão

linear (método paramétrico) da série e uma visão preliminar das tendências. No mesmo estudo também se utilizou o método não paramétrico Mann-Kendall, o qual permite identificar o ponto inicial de uma tendência. Os autores reforçaram que somente pelo uso da regressão linear não é possível confirmar uma tendência climática, por isso os testes não paramétricos são de grande importância nessas aplicações.

Neste trabalho utilizou-se o método estatístico não paramétrico de Mann-Kendall para a investigação de tendência a estiagem no Sistema Cantareira em São Paulo.

3.6 TESTE NÃO PARAMÉTRICO DE MANN-KENDALL PARA ANÁLISE DE TENDÊNCIA CLIMÁTICA

Frequentemente os testes não paramétricos são utilizados para detectar tendências monotônicas em uma série temporal (YUE, *et al.*, 2002). Yue, *et al.* (2002) estudaram o poder do teste de Mann-Kendall na identificação de tendências. Os autores concluíram a efetividade do método depende do nível de significância preestabelecido, da magnitude da tendência, do tamanho da amostra; ou seja, quanto maior é a magnitude da tendência, maior será o poder do teste. Também foi verificado que, quando existe uma tendência, o poder do teste vai depender do tipo de distribuição e da simetria da série temporal. Os autores também concluíram que o teste de Mann-Kendall tem sido muito empregado em trabalhos científicos.

Back (2001) e Blain (2010) estudaram tendências climáticas de precipitação em Santa Catarina e em São Paulo, respectivamente, por meio dos métodos Mann-Kendall e Pettit. Os autores concluíram que os dois testes concordaram em seus resultados.

Mann (1945) e Kendall e Stuart (1967) propuseram o teste estatístico chamado Mann-Kendall, o qual busca tendências monotônicas em séries temporais, sem considerar normalidade nos dados. Este método já foi empregado em diversos estudos sobre mudanças climáticas no mundo todo como pode ser visto em Hundedcha e Bárdossy (2005), Wong (2010), Hamed (2009), Haylock *et al.* (2006), Wang *et al.* (2005), Back (2001), Blain (2009), Blain (2010), Dai *et al.* (1997), entre outros.

Como descrito por Yue, *et al.* (2002), no teste estatístico Mann-Kendall a hipótese nula H_0 afirma que a série de dados, dada por $X = (X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$, com n valores na amostra, é independente e identicamente distribuída; ou seja, não existe tendência. Já a hipótese alternativa H_1 é que existe uma tendência monotônica na estatística Z , calculada de acordo com procedimento detalhado a seguir. A estatística S é calculada por:

$$S = \sum_{j < i} \text{sign}(X_i - X_j) \quad (1)$$

$$\text{sign}(X_i - X_j) = \begin{cases} 1, & X_i - X_j > 0 \\ 0, & X_i - X_j = 0 \\ -1, & X_i - X_j < 0 \end{cases} \quad (2)$$

De acordo com Mann (1945) e Kendall (1975), quando $n \geq 8$ a estatística S pode ser aproximada como Normal e então a distribuição terá média $E(S) = 0$ e variância $\text{Var}(S)$ igual a:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{m=1}^n t_m m(m-1)(2m+5)}{18} \quad (3)$$

onde t_m é o número de empates (*ties*) de extensão m de cálculos e n é o tamanho da amostra. Assim, a estatística Z padronizada terá média igual a zero e variância igual a 1 e será calculada por:

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

A probabilidade de ocorrência de Z (p-valor) no teste Mann-Kendall será aproximada pela função cumulativa da distribuição normal:

$$p = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (5)$$

Segundo Helsel e Hirsch (2002), em geral, o teste Mann-Kendall busca identificar se valores de um variável Y aumentam ou diminuem com t (tempo) como é exemplificado na Figura 1.

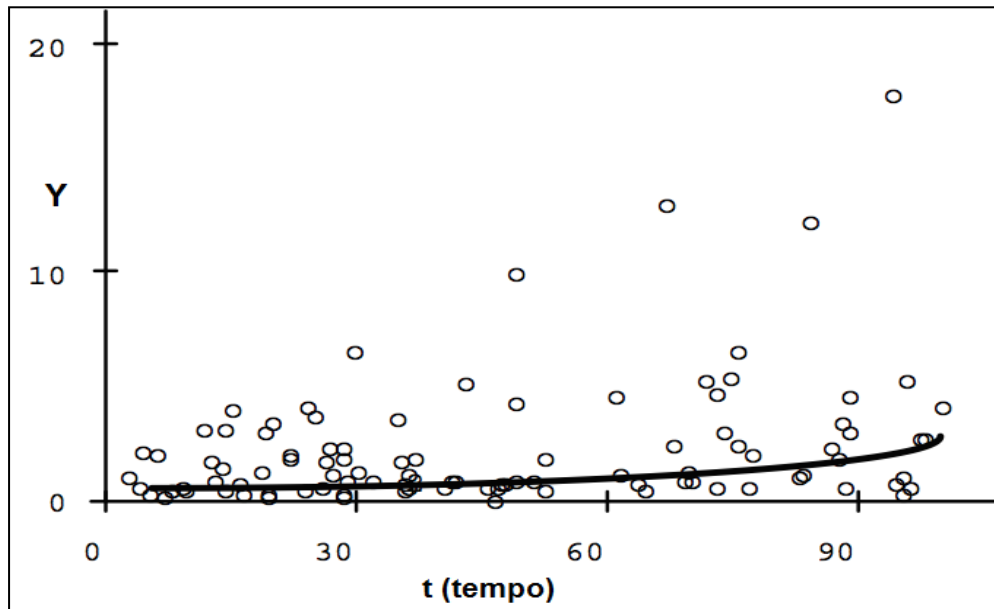


FIGURA 1: VARIAÇÃO DE Y COM O TEMPO. FONTE: ADAPTADO DE HELSEL E HIRSCH (2002).

No caso de estudo de séries mensais também é fundamental retirar a sazonalidade dos dados, uma vez que a tendência é influenciada pelas estações (WANG, 2005). Assim, Hirsch e Slack (1984) desenvolveram o método chamado de Mann-Kendall Sazonal, a fim de retirar tal sazonalidade dos dados a qual influencia na autocorrelação da série. A estatística S passa a ser calculada por:

$$S' = \sum_{j=1}^p S_j \quad (6)$$

onde S_j é a estatística S calculada pelo método usual Mann-Kendall (Equação 1) para as estações $j = 1, 2, 3$ e 4 .

Neste caso a variância da estatística S' será a soma das variâncias de S_j para cada estação e deve ser calculada pela Equação (7) se os dados não forem considerados autocorrelacionados:

$$\sigma_{S'}^2 = \sum_{j=1}^p \text{Var}(S_j) \quad (7)$$

Finalmente, calcula-se a estatística Z' seguindo a distribuição normal, de acordo com a Equação (8):

$$Z = \begin{cases} \frac{S' - 1}{\sigma_{S'}}, & S' > 0 \\ 0, & S' = 0 \\ \frac{S' + 1}{\sigma_{S'}}, & S' < 0 \end{cases} \quad (8)$$

Algumas análises devem ser feitas nos dados brutos antes da aplicação deste teste estatístico. Deve-se verificar se existe autocorrelação entre os dados na série temporal assim como a sazonalidade, visto que a presença destes poderá induzir o teste Mann-Kendall a encontrar uma falsa tendência (YUE *et al.*, 2002).

3.7 AUTOCORRELAÇÃO ENTRE DADOS CLIMÁTICOS

Uma série temporal com dados autocorrelacionados terá dados adjacentes semelhantes entre si, ou então seguirão um padrão de elevação/diminuição nos valores seguintes (BLAIN, 2010). Também conhecida como persistência temporal, a autocorrelação temporal implicará no aumento da variância das amostras de uma série criando maior chance de rejeitar a hipótese nula proposta (WILKS, 2006). Assim, no estudo de tendências climáticas, é essencial a investigação da autocorrelação entre os dados para que os resultados finais não sejam incorretos.

Neste trabalho, a autocorrelação entre os dados de precipitação foi analisada e corrigida por um procedimento proposto por Von Storch (1995), chamado de *pre-whitening*. O coeficiente de autocorrelação (r_1) é calculado na série original com um atraso (*lag-one*) e então removido desta série. Assim, é criada uma nova série considerada “limpa”, da qual poderão ser calculados os parâmetros de interesse e aplicados os métodos estatísticos. Tal cálculo é feito pela Equação (9):

$$Y_t = X_t - r_1 X_{t-1} \quad (9),$$

onde Y_t será a série “limpa”, X_t é o valor original do dado e r_1 é o coeficiente de autocorrelação.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

De maneira simplificada, os materiais e métodos aplicados neste estudo seguem a estrutura de processamento apresentada na Figura 2 que será detalhada a seguir.

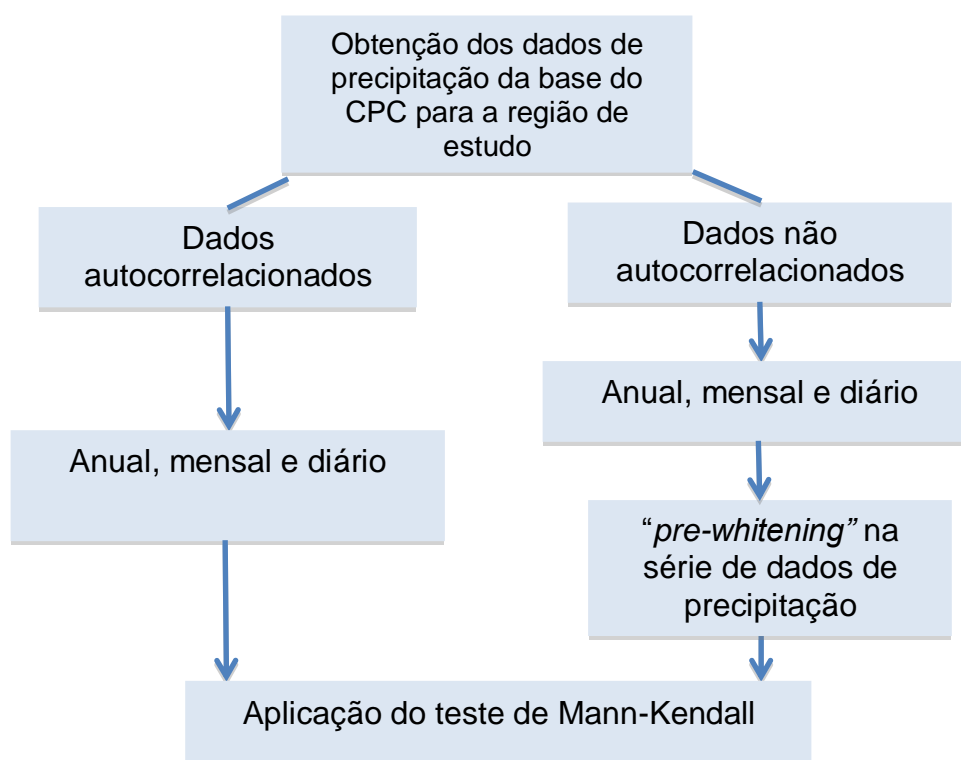


FIGURA 2: FLUXOGRAMA DOS MATERIAIS E METODOS UTILIZADOS NO PRESENTE TRABALHO.

4.1 DADOS DE PRECIPITAÇÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

Para a análise estatística de tendência foram utilizados dados diários de precipitação disponibilizados pelo *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) *Climate Prediction Center* (CPC) no endereço <<http://www.cpc.ncep.noaa.gov>>. Esses dados combinam dados de precipitação coletadas de diversos sensores de satélites sobre o globo terrestre, que são interpolados com dados de estações de observações de superfícies (XIE *et al.*, 2007). Eles são disponibilizados em uma grade de $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ de latitude por longitude a partir do ano de 1979 até o presente (XIE *et al.*, 2007). Neste trabalho

escolheu-se uma série temporal de 35 anos de 1979 a 2013. Esta série foi dividida em períodos de 35, 25 e 10 anos (do ano mais recente para o mais antigo), mensalmente, e também diariamente.

A qualidade destes dados de precipitação foi analisada por Macedo (2012) em uma comparação com dados observados do Instituto Tecnológico Simepar para três cidades que abrangem todo o estado do Paraná (Paranavaí, Foz do Iguaçu e Guaratuba). A autora confrontou os dois dados por meio do cálculo do Erro Médio Absoluto (EMA) e do Erro Médio Quadrático (EMQ), sendo este último mais sensível a erros maiores, e concluiu que os dados do CPC são de boa qualidade, podendo ser utilizados como dados observados em estudos sobre o clima.

4.2 REGIÃO DE ESTUDO

A região de interesse neste estudo faz parte do Sistema Cantareira, localizado no Estado de São Paulo. Esse complexo é composto pelos reservatórios dos rios Jaguari, Jacaré, Cachoeira e Atibainha, pertencentes à bacia do rio Piracicaba e pelo reservatório Castro Paiva, da bacia do Alto Tietê. Sua localização pode ser vista na Figura 3, onde a área destacada em azul representa a bacia do rio Piracicaba a qual o sistema pertence (CARVALHO e THOMAS, 2007).

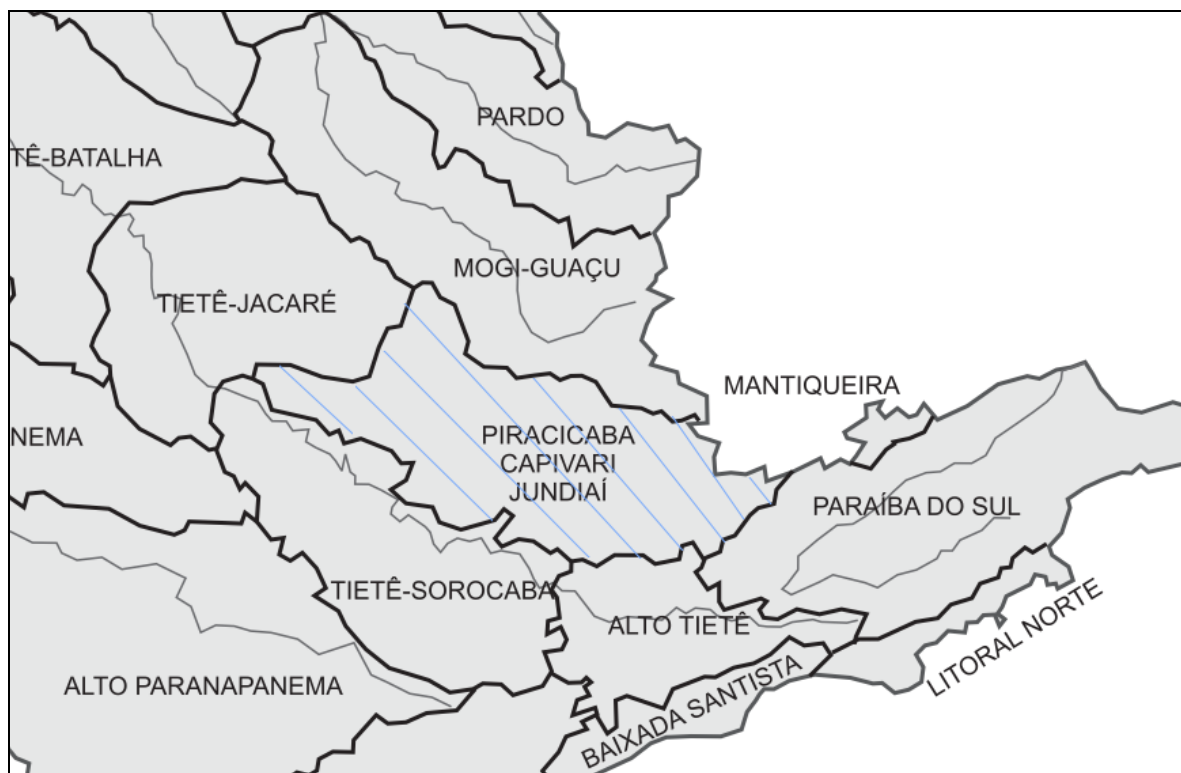


FIGURA 3: LOCALIZAÇÃO DA BACIA DO RIO PIRACICABA, PERTENCENTE AO SISTEMA CANTAREIRA. FONTE: adaptado de GROppo, et al. (2005).

Segundo a classificação climática de Köppen, o estado de São Paulo possui sete tipos de clima (Cwa, Cwb, Aw, Am, Cfa, Cfb e Af) os quais estão descritos na Tabela 3. A temperatura média anual é de 20°C a 22°C, com estações úmidas e secas bem definidas. Na Serra do Mar, próximo ao litoral a estação seca é mais curta (CLIMA, 2007 citado em SIQUEIRA, *et al.*, 2012). De acordo com o Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIAGRO), a média mensal de chuva total para São Paulo no período de 1996-2014 é de 132,69 mm/mês com variações de 291,1 mm em Janeiro a 55,1 mm no mês de Junho.

TABELA 3: CLASSIFICAÇÃO DE KOPPEN PARA O CLIMA DO ESTADO DE SÃO PAULO.

Sigla	Tipos Climáticos	Caracterização	Local de ocorrência
Af	Tropical superúmido	Temperaturas médias de 18°C no mês mais quente, precipitações ocorrem entre março e agosto, volume médio ultrapassa 1.500 mm, enquanto no mês mais seco as precipitações são superiores a 60 mm; janeiro e fevereiro são os meses mais quentes e com temperaturas médias entre 24 e 25°C	Arredores do litoral paulista, na faixa litorânea
Cwa	Tropical de altitude	Presença de chuvas durante a estação do verão e as secas no inverno, na estação chuvosa, a temperatura média é de 22°C, enquanto 18°C é a média da estação seca.	Regiões Central, Leste e Oeste (predominância no Estado de São Paulo)
Cwb	Tropical de altitude	Verão ameno, com temperaturas que ultrapassam os 22°C durante o mês mais quente, enquanto que quase um terço do ano, a temperatura é superior aos 10°C.	Regiões serranas
Aw	Tropical de inverno seco	Estação chuvosa predominante entre novembro e abril e uma estação seca no resto do ano; na estação seca (inverno), a temperatura média costuma ultrapassar 18°C, com precipitações médias abaixo de 60 mm, tropical chuvoso com inverno seco.	Predominante no norte e noroeste Paulista, regiões mais baixas, situadas nas proximidades dos rios Paraná e Grande
Am	Tropical chuvoso	Estações de seca e temperatura que ultrapassa os 18°C (no mês mais frio).	Em alguns pontos isolados e na faixa a sudoeste.
Cfa	Subtropical	Verão quente, sem ocorrência de estações seca na estação do inverno, com temperaturas médias que chegam a registrar uma mínima de três graus negativos (-3°C) e máximas de até 22°C, clima tropical, com verão quente, sem estação seca de inverno.	Ao sul do planalto, margens do rio Parapanema, e do vale do rio Ribeira de Iguape.
Cfb	Subtropical	Temperaturas inferiores a 22°C no mês mais frio e um verão mais ameno, se comparado ao tipo Cfa	Áreas serranas mais altas, (Serra da Mantiqueira e a Serra do Mar)

FONTE: CLIMA (2007) adaptado por Siqueira *et al.* (2012).

As posições geográficas (latitude e longitude) de quatro pontos referentes a rios que abastecem o Sistema Cantareira (rios Piracicaba, Cachoeira, Jaguari e Jacareí) e do Parque Estadual da Cantareira foram coletadas utilizando-se o Software Google Earth (FIGURA 4). Então pode-se visualizar por uma imagem de satélite a região de interesse. Visto que os rios Cachoeira, Jaguari e Jacareí são próximos entre si (menos de 100km), fez-se uma média simples entre suas posições a fim de representar melhor a região como mostrado na Figura 4. Neste trabalho, a

posição média entre os rios Cachoeira, Jaguari e Jacareí será citada apenas como rio Cachoeira.

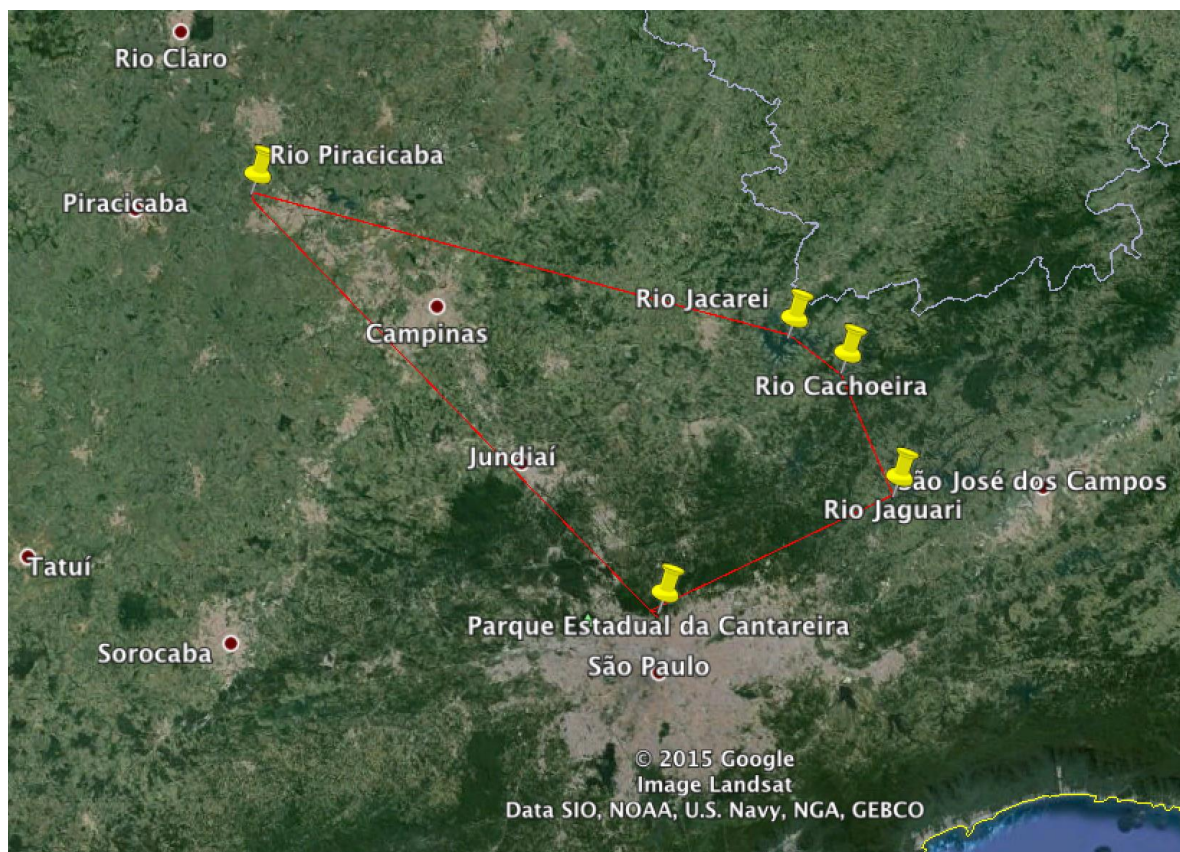


FIGURA 4: LOCALIZAÇÃO DAS POSIÇÕES DE REFERÊNCIA PARA COLETA DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO EM SÃO PAULO. FONTE: GOOGLE EARTH (2015).

Assim, trabalhou-se com dados de precipitação para os pontos do Rio Piracicaba, do Parque Estadual da Cantareira e do rio Cachoeira que foram retirados da base do CPC. Os dados obtidos do CPC referem-se aos pontos de grade mais próximos de cada uma das posições geográficas predefinidas. Estes podem ser vistos na Tabela 4 e são representados na Figura 5. Posteriormente, os dados foram divididos em séries anuais, mensais e sazonais calculados a partir dos valores diários para cada uma dessas regiões.

TABELA 4: LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE COLETA DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO, REPRESENTANDO O SISTEMA CANTAREIRA.

Posições	Latitude (°)	Longitude(°)
Rio Piracicaba	-22.711 S	-47.424 W
Parque Estadual da Cantareira	-23.449 S	-46.635 W
Rios Cachoeira, Jaguari e Jacareí	-23.080 S	-46.29 W

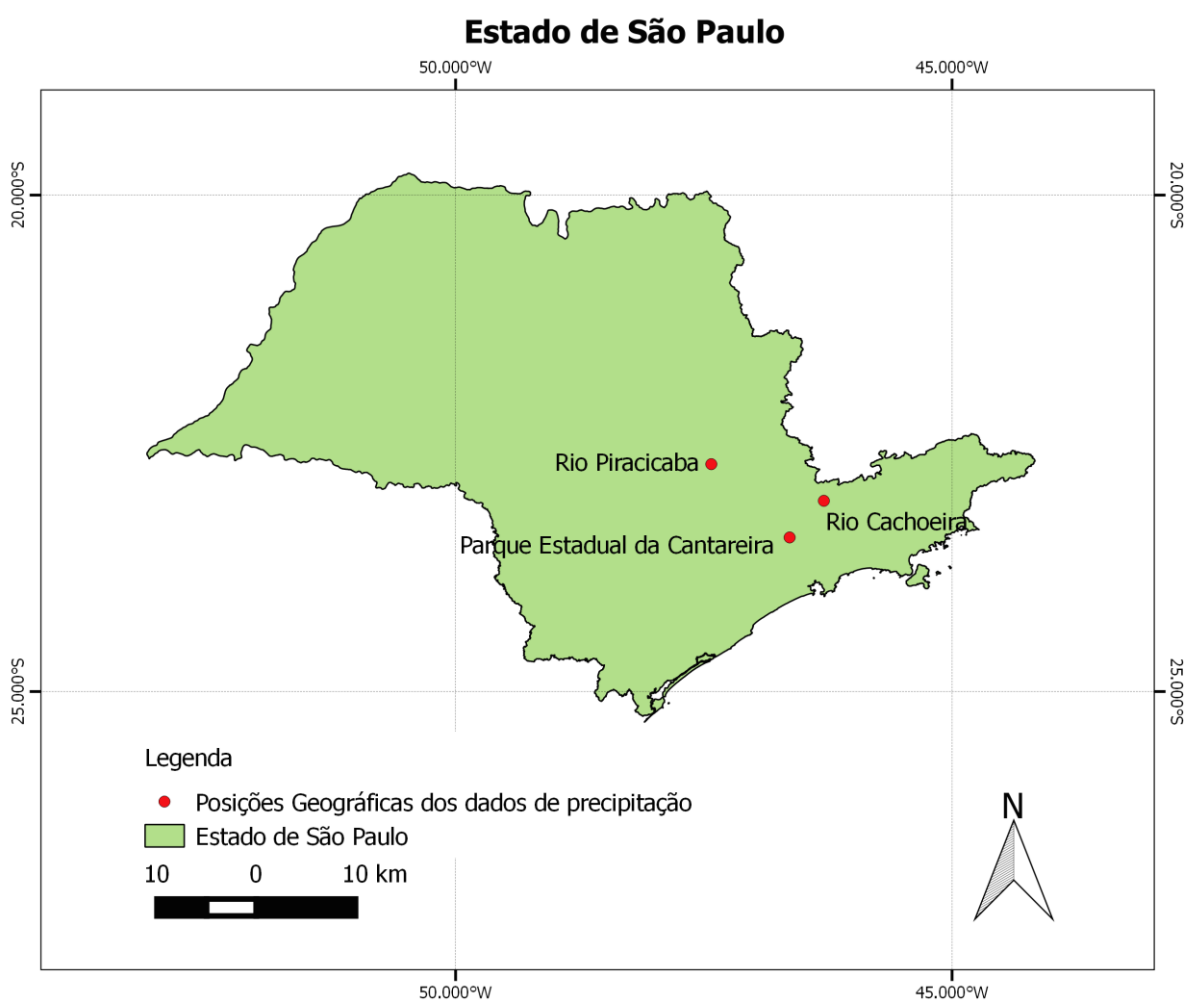


FIGURA 5: POSIÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO NO ESTADO DE SÃO PAULO.

4.3 ANÁLISE DE TENDÊNCIA DE MANN-KENDALL

Para realização das análises de Mann-Kendall (MK) primeiramente foi feita uma avaliação prévia nos dados de precipitação diária do CPC em busca de falhas, como dados faltantes na série. Visto que existia apenas um dado faltante no ano de 2007, este foi preenchido com a média de todos os dados da série de precipitação de cada região. Em seguida, estes foram transformados de diários para anuais, mensais e sazonais. Para a análise mensal foi utilizada precipitação diária acumulada enquanto na análise anual foi utilizada a média dos valores mensais de cada ano.

Para a análise estatística de tendência a estiagem no Sistema Cantareira, o método de Mann-Kendall foi aplicado de duas maneiras: primeiramente, sem avaliar a autocorrelação entre os dados de precipitação e por segundo foi considerada a autocorrelação entre os dados, sendo esta retirada da série de precipitação visto que influencia o resultado da estatística Z; então aplicou-se o teste de Mann-Kendall (FIGURA 2).

A primeira forma utilizada do MK foi como referida na Revisão Bibliográfica utilizando dados diários (para avaliação sazonal), mensais e anuais, estes últimos com divisão entre 35, 25 e 10 anos. Foi definido um teste de hipóteses unilateral, uma vez que se busca apenas tendência a redução de precipitação, onde a hipótese nula H_0 empregada foi como a não existência de tendência climática de redução em valores de precipitação e a hipótese alternativa H_1 como a existência de uma tendência climática. O nível de significância adotado estima a probabilidade de se rejeitar a H_0 , se esta for verdadeira. Essa falsa afirmação é denominada como erro do tipo I. Por outro lado, o erro do tipo II ocorre quando não há rejeição de H_0 e esta é falsa (WILKS, 2006). Neste trabalho será adotado o nível de significância $\alpha = 0,05$ e H_0 não será rejeitada quando $Z_{\text{crítico}} > -1,654$. Tendências de crescimento ou redução da série resultam em valores positivos ou negativos do teste, respectivamente.

Na segunda forma do cálculo do teste MK foram usados dados mensais e anuais e foi necessário preparar a série de dados de precipitação para que a autocorrelação entre os dados não produzisse resultados equivocados. Assim,

seguiram-se os seguintes passos para aplicação do método Mann-Kendall (YUE, *et al.*, 2002):

1. Cálculo e retirada da tendência da série original chamada aqui de “b”, a qual representa a tendência positiva ou negativa dos dados. Este parâmetro “b” foi calculado pelo método identificado por Yue, *et al.* (2002) de TSA (Theil, 1950I-III; Sen, 1968) conforme a expressão:

$$b = \text{mediana} \left(\frac{X_j - X_i}{j - i} \right), j < i \quad (10)$$

A retirada da tendência da série é feita por:

$$X'_t = X_t - bt \quad (11)$$

onde X'_t é a série sem tendência, X_t é a série original e t é o tempo decorrente entre uma observação e o início da série.

2. Avaliação do coeficiente de autocorrelação r_1 com *lag*-1 da série de dados de precipitação como apresentado em Yue, *et al.* (2002):

$$r_1 = \frac{\frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^{n-1} [X_t - E(X_t)][X_{t-1} - E(X_{t-1})]}{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n [X_t - E(X_t)]^2} \quad (12)$$

onde n é o número de dados da série.

3. Cálculo da média dos dados e da nova série independente Y' :

$$E(X'_t) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n X'_t \quad (13)$$

$$Y'_t = X'_t - r_1 X'_{t-1} \quad (14)$$

Yue, *et al.* (2002) afirmam que a existência da autocorrelação altera a variância da inclinação estimada, por isso a necessidade de retirá-la. Os autores também verificaram que a autocorrelação e a tendência da série

influenciam-se mutuamente. Por isso, existe a necessidade de retirar tanto a tendência quanto a autocorrelação. Entretanto, r_1 não altera o centro e o tipo de distribuição de “b”.

Depois de limpa a série de autocorrelação, tem-se uma nova série independente (Y'_t).

4. Soma da tendência identificada (b) com a série limpa:

$$Y_t = Y'_t + bt \quad (15)$$

A partir deste passo, pôde-se aplicar o método de Mann-Kendall como já mencionado. Neste caso também foi utilizada a hipótese nula H_0 como a não existência de tendência climática e a hipótese alternativa H_1 como a existência de uma tendência climática de redução dos valores de precipitação. O nível de confiança aqui adotado também por $\alpha = 0.05$ e H_0 não será rejeitada quando $-1,645 < Z_{\text{crítico}}$. Posteriormente ao cálculo do teste Mann-Kendall obteve-se os resultados da estatística Z e utilizou-se o programa Grapher 11 para plotagem de gráficos os quais representaram a inclinação das tendências anuais juntamente com os dados de precipitação anual para cada região, a fim de visualizar os resultados.

5 RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados os resultados de uma análise exploratória dos dados de precipitação, os resultados da aplicação do teste estatístico Mann-Kendall para a série de precipitação com dados correlacionados entre si e para dados em que foram retiradas a autocorrelação da série, nos casos anual, mensal e diário, a fim de identificar a existência ou não de tendências a estiagem na região do Sistema Cantareira em São Paulo.

5.1 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO

Nesta análise exploratória sobre os dados anuais de precipitação, percebe-se que na localização do Rio Piracicaba existe dois principais eventos de chuva, sendo nos anos de 1983, com 177,47 mm e 1999 com 277,51 mm. Contrariamente, nos anos de 1984 e 2010 ocorreram os menores valores de precipitação anual. No ano de 1999 existe um auge no valor de precipitação sendo o maior evento de chuvas na série de 35 anos (FIGURA 6). Observa-se que os anos de 1982-1983 foram de evento El Niño, o qual está diretamente ligado a eventos extremos de precipitação (GRIMM e TEDESCHI 2004). Do mesmo modo, nos anos de 1984-1985 ocorreram eventos de La Niña, sendo esta relacionada à ausência de chuvas. Assim, é possível que essas variações no regime de precipitação anual estejam relacionadas aos fenômenos El Niño/La Niña.

Mensalmente, observa-se que os meses de Janeiro e Dezembro possuem os maiores valores de precipitação com 263,84 mm e 213,20 mm respectivamente. Estes meses concordam com o esperado para a estação do verão. Já os meses de Julho e Agosto apresentam baixos valores de precipitação com 37,23 mm e 31,41 mm, respectivamente. Estes meses representam a estação do inverno a qual é a mais seca na região Sudeste e assim, também concordam com o esperado para o período.

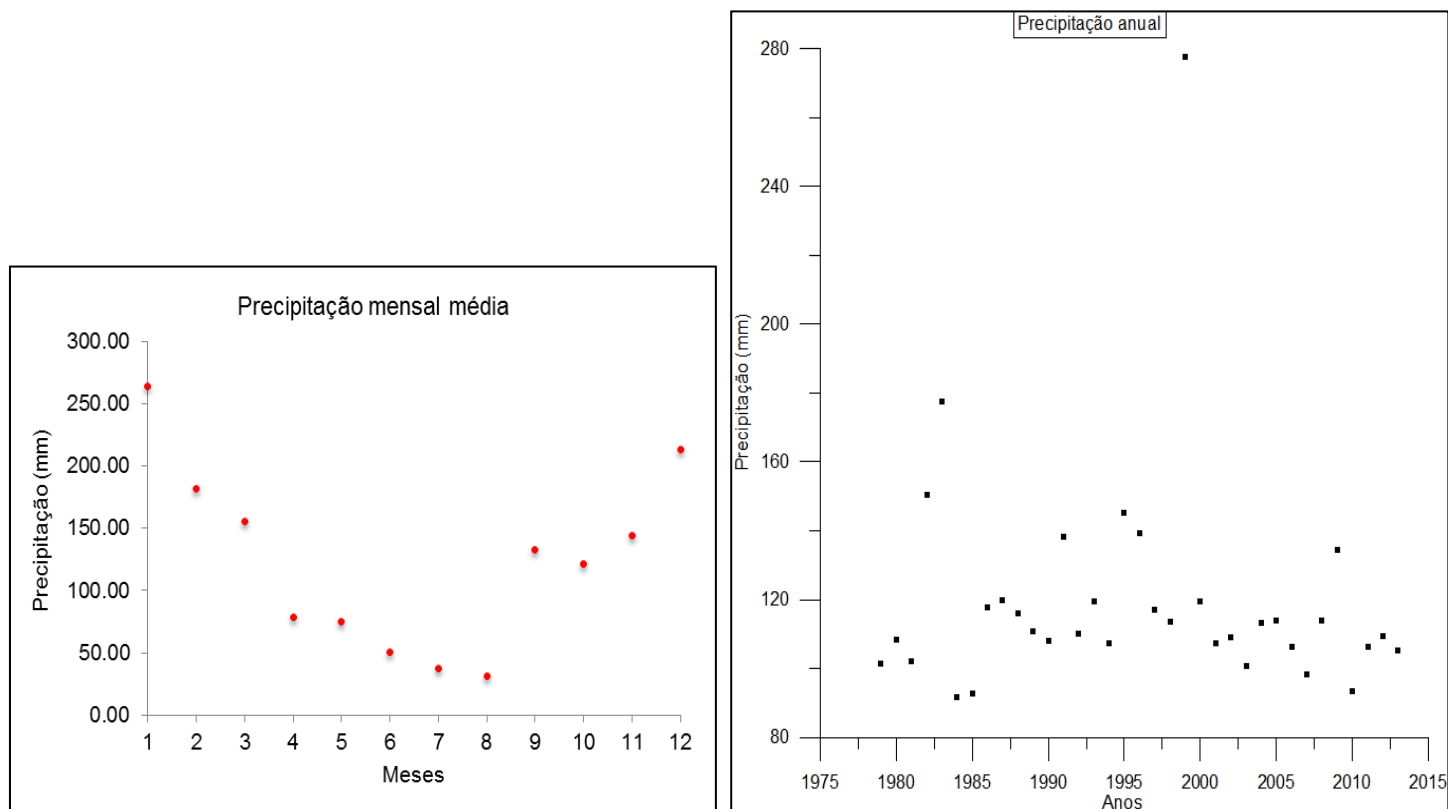


FIGURA 6: ESQUERDA: VALORES DE PRECIPITAÇÃO MENSAL ACUMULADA PARA O RIO PIRACICABA. DIREITA: VALORES DA PRECIPITAÇÃO ANUAL (1979-2013) PARA O RIO PIRACICABA.

Em relação à região do Rio Cachoeira (FIGURA 7) observa-se que assim como no ponto do Rio Piracicaba existem eventos de intensa precipitação nos anos de 1983 e 1999, sendo estes anos de El Niño. Ao contrário, existem 4 anos (1981, 1984, 2003 e 2007) com valores de precipitação em torno de 100 mm, sendo estes abaixo da média anual de 133.96 mm. Nos anos de 1984 e 2007 há registros de eventos de La Niña, o que pode ser relacionado aos baixos valores de precipitação na região. Assim, a série toda demonstra altos valores de precipitação em alguns anos e pouca em outros, podendo ser influenciada por fenômenos naturais como o El Niño.

Para os dados mensais (FIGURA 7), observa-se que o padrão das estações é bem representado. Nos meses de Janeiro e Dezembro têm-se os maiores valores de precipitação com 258,44 mm e 208,21 mm, respectivamente. Nos meses de Julho e Agosto os valores de precipitação são iguais a 50,11 mm e 34,37 mm, respectivamente.

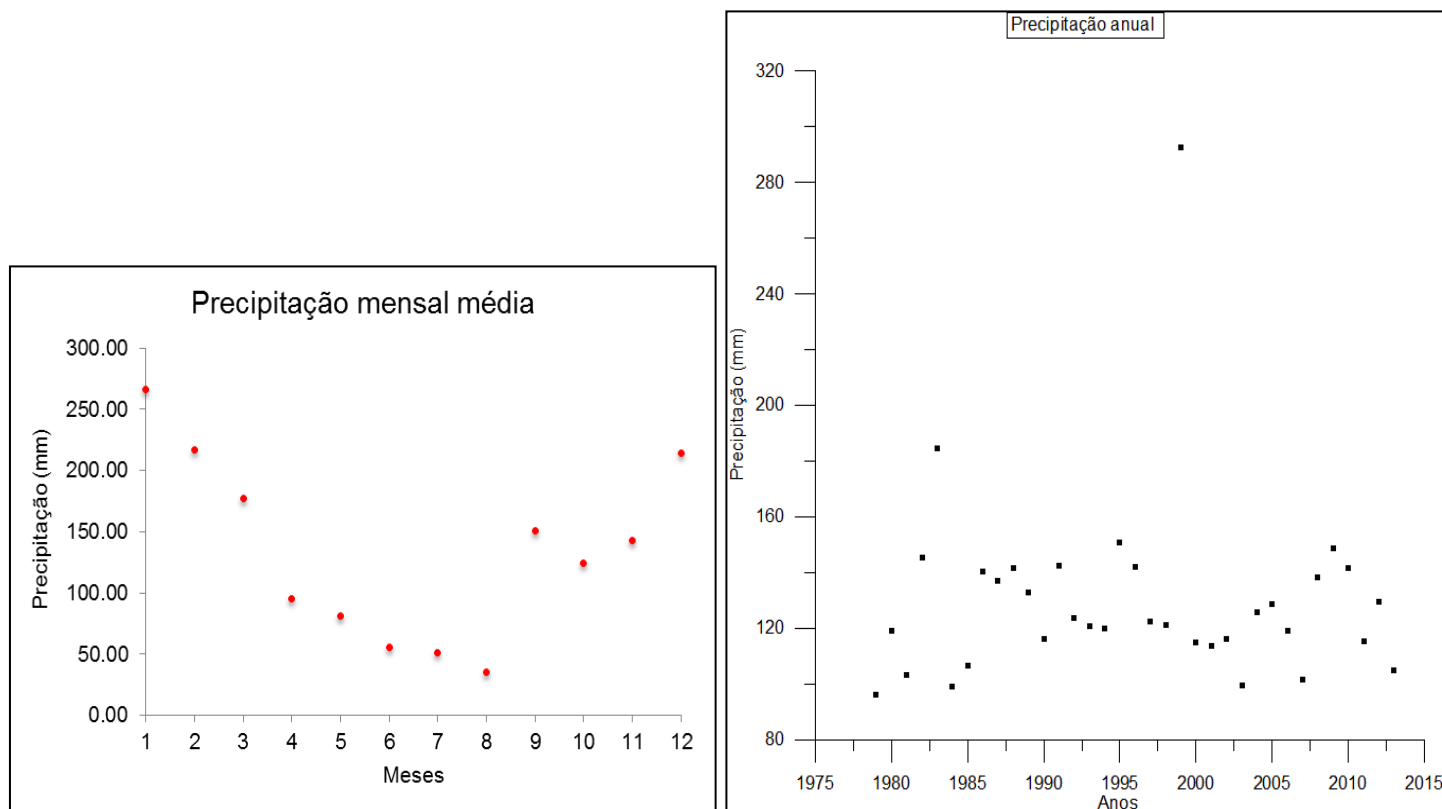


FIGURA 7: ESQUERDA: VALORES DE PRECIPITAÇÃO MENSAL ACUMULADA PARA O RIO CACHOEIRA. DIREITA: VALORES DA PRECIPITAÇÃO ANUAL (1979-2013) PARA O RIO CACHOEIRA.

A Figura 8 apresenta os dados anuais de precipitação para o ponto representativo do Parque Estadual da Cantareira. Os anos de El Niño também são bem representados na série com valores de chuva variando de 196.91 mm em 1983 e 295.55mm em 1999, sendo valores bastantes acima da média anual que é igual a 132.13mm. Percebe-se que ano de 2013 houve uma precipitação média de 105 mm, sendo esta abaixo da média anual.

Na análise mensal, os dados da base do CPC representaram coerentemente os padrões das estações para o Parque Nacional da Cantareira. Os valores de precipitação para Janeiro e Dezembro são bastantes elevados, sendo iguais a 255,48 mm e 208,89 mm, respectivamente. Por outro lado, Julho e Agosto apresentam os menores valores de chuva com 48,27 mm e 33,07 mm. Estes resultados também são coerentes com os das outras duas regiões analisadas.

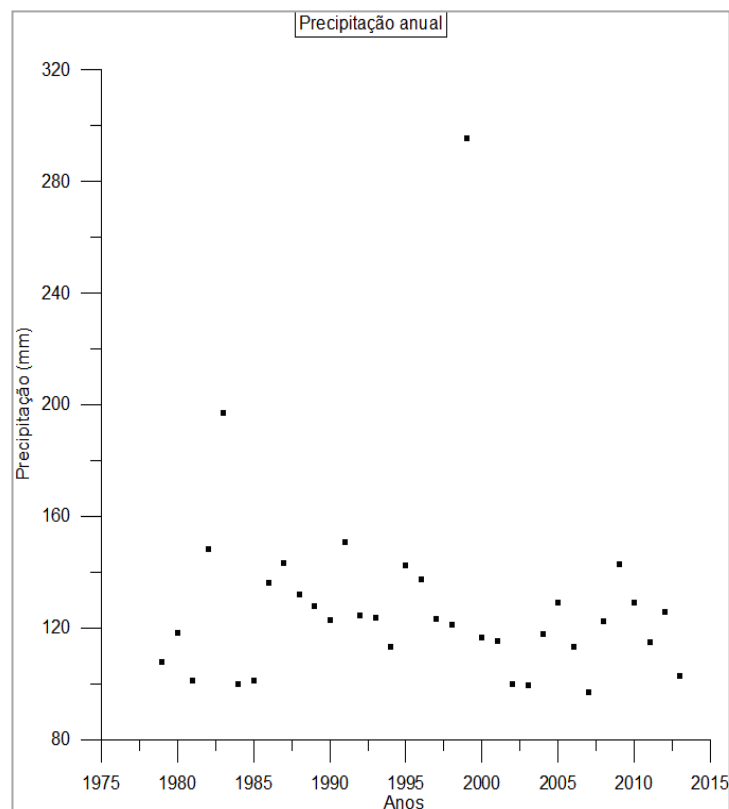
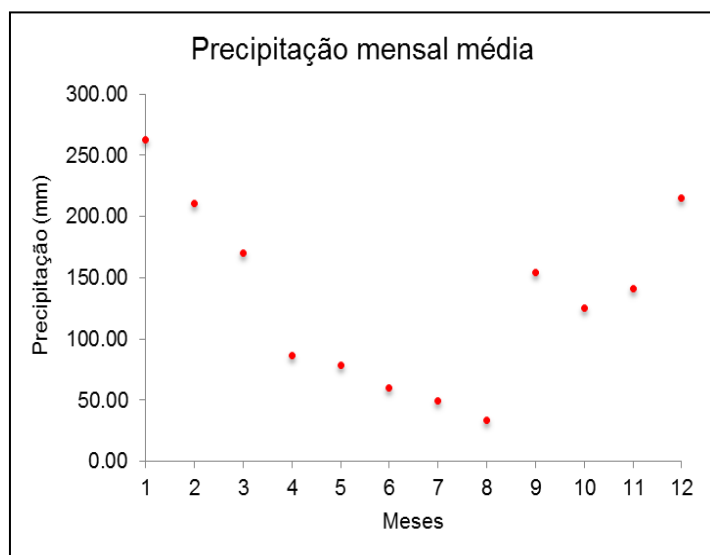


FIGURA 8: ESQUERDA: VALORES DE PRECIPITAÇÃO MENSAL ACUMULADA PARA O PARQUE ESTADUAL DA CANTAREIRA. DIREITA: VALORES DA PRECIPITAÇÃO ANUAL (1979-2013) PARA O PARQUE ESTADUAL DA CANTAREIRA.

Por meio dos gráficos anteriores pôde-se perceber que os dados para as três regiões em análise concordam na representação sazonal e possuem valores anuais e mensais parecidos. A Figura 9 apresenta diagramas de dispersão entre os valores de precipitação anual do rio Piracicaba, rio Cachoeira e Parque Estadual da Cantareira. Observa-se que para as três regiões os menores valores de precipitação são mais próximos e representam quase todos os anos da série de 35 anos. Já os valores mais distantes, referem-se aos anos de 1983 e de 1999 com altos valores de precipitação nas três regiões.

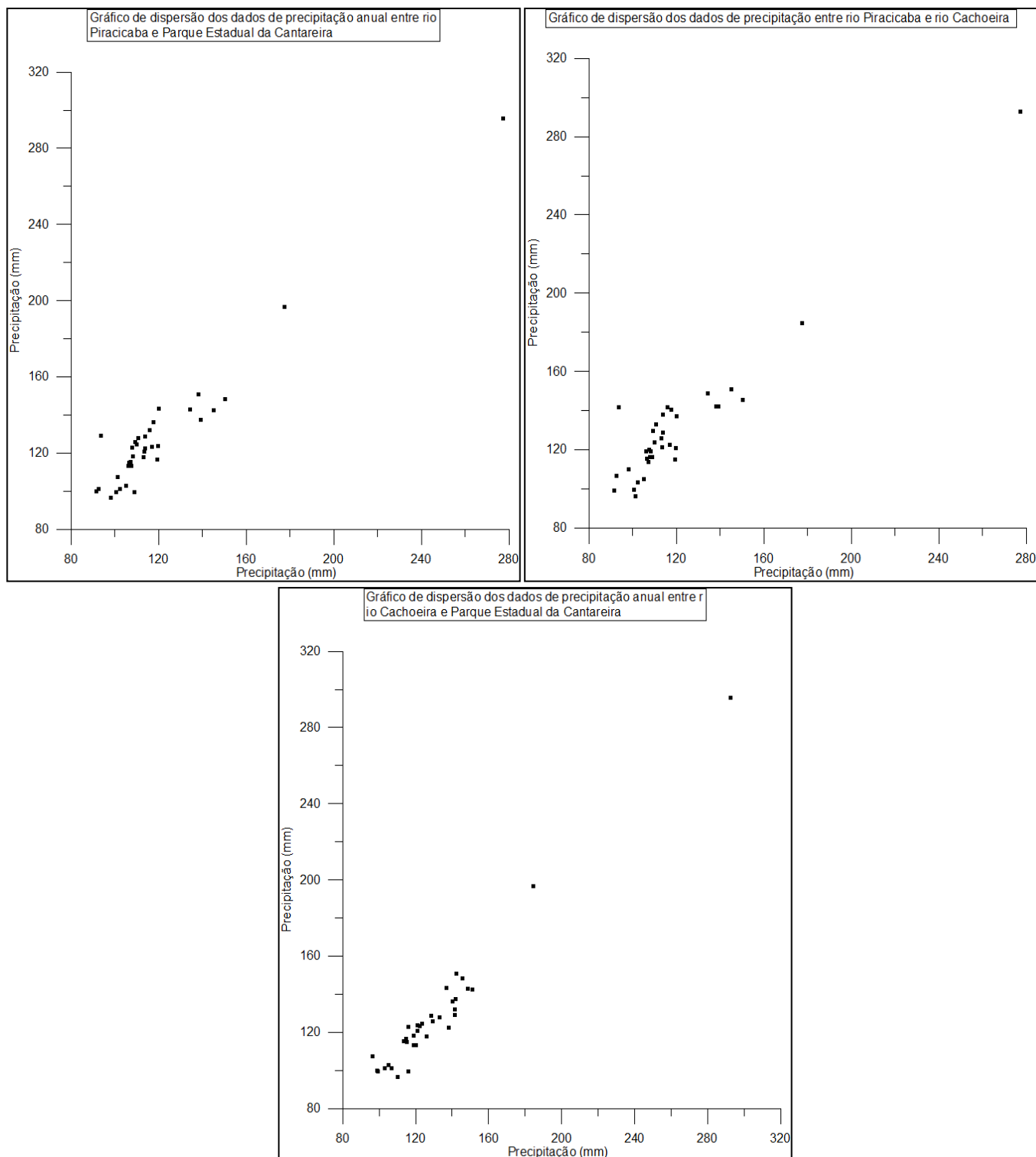


FIGURA 9: GRÁFICOS DE DISPERSÃO DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO ANUAL PARA O RIO PIRACICABA, RIO CACHOEIRA E PARQUE ESTADUAL DA CANTAREIRA.

5.2 ANÁLISE DE TENDÊNCIA EM DADOS DE PRECIPITAÇÃO AUTOCORRELACIONADOS

A verificação da tendência nos dados de precipitação foi realizada pelo método estatístico Mann-Kendall. Assim, o resultado da estatística Z indica se a hipótese nula (H_0), definida neste estudo como a não existência de tendência a estiagem, é rejeitada ou não.

5.2.1 Região do Rio Cachoeira

Os resultados da estatística Z para dados anuais (1979-2013), separados em 3 períodos de 10, 25 e 35 anos do mais recente para o mais antigo podem ser observados na Tabela 5.

TABELA 5: RESULTADOS DA ESTATÍSTICA MANN-KENDALL PARA DADOS DE PRECIPITAÇÃO ANUAIS AUTOCORRELACIONADOS PARA O RIO CACHOEIRA.

Anos	S	Z	p-valor
10	-3	-0.179	0.43250
25	-38	-0.864	0.19489
35	-2	-0.014	0.49601

Observa-se que todos os valores de Z ficaram maiores que o Z crítico estabelecido de -1.645. Para a série completa de 35 anos o valor de Z foi muito próximo de zero sendo igual a -0.014, enquanto para 25 anos foi igual a -0.864 e para 10 anos foi de -0.179. Comparando a uma tabela da distribuição Normal, percebe-se que para a série anual completa (35 anos), considerando o intervalo de confiança de 0.05, não se pôde rejeitar a hipótese nula (H_0).

Por outro lado, os valores de Z para os resultados mensais não seguiram um padrão (TABELA 6). Percebe-se que o mês de Agosto apresentou valor de Z igual a -1.931 e o p-valor igual a 0.02680 (menor que o nível de confiança), havendo

rejeição da hipótese nula (H_0). Assim, neste mês há indicação de tendência a estiagem. Entretanto, os meses anteriores e posteriores a Agosto não seguem este padrão, impossibilitando a afirmação de uma tendência mensal a seca.

TABELA 6: RESULTADOS DA ESTATÍSTICA MANN-KENDALL PARA DADOS DE PRECIPITAÇÃO MENSAIS AUTOCORRELACIONADOS PARA O RIO CACHOEIRA.

Meses	S	Z	p-valor
Janeiro	61	0.852	0.80233
Fevereiro	-37	-0.511	0.30502
Março	1	0.000	0.5000
Abril	-45	-0.625	0.26762
Maio	-81	-1.136	0.12923
Junho	-19	-0.256	0.40129
Julho	111	1.562	0.94062
Agosto	-137	-1.931	0.02680
Setembro	-57	-0.795	0.21476
Outubro	-3	-0.028	0.49202
Novembro	5	0.057	0.51993
Dezembro	9	0.114	0.54379

Os dados diários foram explorados retirando a sazonalidade presente na série, a qual aumenta a tendência existente nos dados. Para o rio Cachoeira, o valor de Z é igual a -0.01769, apresentando um p-valor de 0.49601 e assim não é significativo ao nível de confiança de 5% para rejeitar a hipótese nula (TABELA 7).

TABELA 7: RESULTADO DA ESTATÍSTICA MANN-KENDALL PARA DADOS DE PRECIPITAÇÃO DIÁRIOS AUTOCORRELACIONADOS PARA O RIO CACHOEIRA.

	S	Z	p-valor
Diários	-2121965	-0.01769	0.49601

5.2.2 Região do Parque Estadual da Cantareira

Assim como para a região do rio Cachoeira, os dados anuais de precipitação para o Parque Estadual da Cantareira não indicaram tendência a seca por meio do teste de Mann-Kendall (TABELA 8). O resultado da estatística Z para o período de 1988-2013 (25 anos) é igual a -1.565, o que ainda não ultrapassa o Z crítico de -1.645.

TABELA 8: RESULTADOS DA ESTATÍSTICA MANN-KENDALL PARA DADOS DE PRECIPITAÇÃO ANUAIS AUTOCORRELACIONADOS PARA O PARQUE ESTADUAL DA CANTAREIRA.

Anos	S	Z	p-valor
10	-3	-0.179	0.43250
25	-68	-1.565	0.05938
35	-71	-0.994	0.16108

Os dados mensais do Parque Estadual da Cantareira também indicaram que o mês de Agosto foi o único a rejeitar a hipótese nula com Z igual a -1.846 considerando um nível de significância de 5% (TABELA 9). O mês de Junho apresentou Z igual a 0.000 tendo um p-valor igual 0.50.

TABELA 9: RESULTADOS DA ESTATÍSTICA MANN-KENDALL PARA DADOS DE PRECIPITAÇÃO MENSAIS AUTOCORRELACIONADOS PARA O PARQUE ESTADUAL DA CANTAREIRA.

Meses	S	Z	p-valor
Janeiro	91	1.278	0.89795
Fevereiro	-29	-0.398	0.34826
Março	-45	-0.625	0.26762
Abril	-51	-0.710	0.23885
Maio	-115	-1.619	0.05369
Junho	-1	0.000	0.50000
Julho	83	1.165	0.87697
Agosto	-131	-1.846	0.03288
Setembro	-59	-0.824	0.20610
Outubro	-11	-0.142	0.44433

Novembro	-25	-0.341	0.36692
Dezembro	-27	-0.369	0.35942

A análise dos dados diários para o Parque Estadual da Cantareira também mostraram que não existe tendência significativa a estiagem (TABELA 10). O valor de Z equivalente a -0.01677 apresenta um p-valor igual a 0.49202 o qual mostra um nível de confiança muito baixo para a análise.

TABELA 10: RESULTADO DA ESTATÍSTICA MANN-KENDALL PARA DADOS DE PRECIPITAÇÃO DIÁRIOS AUTOCORRELACIONADOS PARA O PARQUE ESTADUAL DA CANTAREIRA.

	S	Z	p-valor
Diários	-1991013	-0.016	0.49601

5.2.3 Região do Rio Piracicaba

Os dados anuais de precipitação do rio Piracicaba apresentaram rejeição à hipótese nula (H_0) na série de 25 anos, indicando uma tendência à estiagem nesta região. O p-valor correspondente é igual a 0.02117 o qual comparado a α de 0.05 representa alta confiabilidade na rejeição da hipótese. Por outro lado, o teste MK aplicado para os últimos 10 anos de dados não rejeita a H_0 com Z igual a -0.537 e da mesma forma para os 35 anos o Z é maior que o valor crítico de -1.645 (TABELA 11). Sabe-se que no ano de 2003 (dentro do intervalo de 10 anos) ocorreu evento de El Niño o que pode justificar essa discrepância entre as estatísticas de 25 anos e 10 anos.

TABELA 11: RESULTADOS DA ESTATÍSTICA MANN-KENDALL PARA DADOS DE PRECIPITAÇÃO ANUAIS AUTOCORRELACIONADOS PARA O RIO PIRACICABA.

Anos	S	Z	p-valor
10	-7	-0.537	0.29805
25	-88	-2.032	0.02117
35	-67	-0.937	0.17618

Na escala mensal, o resultado para o rio Piracicaba não rejeitou a H_0 em nenhum dos meses, contrariamente às outras duas regiões analisadas que destacaram o mês de Agosto com rejeição de H_0 . Apesar de essa ser a região mais próxima ao Sistema Cantareira, a estatística de Mann-Kendall não indicou tendência à estiagem (TABELA 12).

TABELA 12: RESULTADOS DA ESTATÍSTICA MANN-KENDALL PARA DADOS DE PRECIPITAÇÃO MENSAIS AUTOCORRELACIONADOS PARA O RIO PIRACICABA.

Meses	S	Z	p-valor
Janeiro	165	2.329	0.98982
Fevereiro	-37	-0.511	0.30502
Março	-79	-1.108	0.14007
Abril	-81	-1.136	0.12923
Maio	-89	-1.250	0.10565
Junho	17	0.227	0.58706
Julho	105	1.477	0.92921
Agosto	-80	-1.122	0.13135
Setembro	-61	-0.852	0.19766
Outubro	-5	-0.057	0.48006
Novembro	-17	-0.227	0.41293
Dezembro	-79	-1.108	0.13566

O método de Mann-Kendall aplicado aos dados diários do rio Piracicaba resultou em Z igual a -0.008 (TABELA 13). O resultado mostra que quase não existe tendência climática na região, ou seja, o regime de chuvas não tem sido reduzido de forma estatisticamente significativa.

TABELA 13: RESULTADO DA ESTATÍSTICA MANN-KENDALL PARA DADOS DE PRECIPITAÇÃO DIÁRIOS AUTOCORRELACIONADOS PARA O RIO PIRACICABA.

	S	Z	p-valor
Diários	-1019283	-0.008	0.50000

5.3 ANÁLISE DE TENDÊNCIA EM DADOS DE PRECIPITAÇÃO SEM AUTOCORRELAÇÃO SERIAL

Nesta análise, foi empregada a metodologia descrita na Seção 4.3 para retirar a autocorrelação entre os dados e aplicar o método não paramétrico MK. Assim, o teste estatístico tornou-se mais rigoroso para afirmar se existe uma tendência ou não estatisticamente significativa para estiagem no Sistema Cantareira. Neste caso, o método não foi aplicado para dados diários, visto que existiu uma dificuldade em se calcular o coeficiente de autocorrelação r_1 para dados diários separados por estações.

5.3.1 Região do Rio Cachoeira

Os resultados anuais para o rio Cachoeira mostraram que ao nível de significância de 5% não se pode recusar a hipótese nula de tendência à seca. Os valores de Z para 10, 25 e 35 anos foram, respectivamente iguais a -1.252, -0.397 e 0.057. Entretanto, por meio da mediana da variável b, a qual representa a inclinação da tendência, pode-se perceber que existe tendência negativa para todo o período analisado (TABELA 14), mas esta não é suficientemente relevante para a rejeição da hipótese nula.

TABELA 14: RESULTADOS DA ESTATÍSTICA MANN-KENDALL PARA DADOS DE PRECIPITAÇÃO ANUAIS SEM AUTOCORRELAÇÃO PARA O RIO CACHOEIRA.

Anos	Mediana b	r_1	S	Z	p-valor
10	-0.853	0.196	-15	-1.252	0.10565
25	-0.339	-0.101	-18	-0.397	0.34826
35	-0.004	-0.072	5	0.057	0.51993

A Figura 10 apresenta as inclinações da tendência climática versus os dados de precipitação anuais para o rio Cachoeira. Observa-se que existe maior inclinação nos últimos 10 anos (2003-2013) do que nos outros períodos, com redução de -0.853 mm/ano. Percebe-se que para o ano de 1999 houve um valor extremo de

chuva nessa região com valor de 292.70 mm. Entretanto, este se trata de um valor anômalo e não prejudica a série como um todo, como pode ser observado pelos outros resultados. É interessante destacar que na série completa de 35 anos a inclinação é muito pequena, com decréscimo de -0.004 mm/ano.

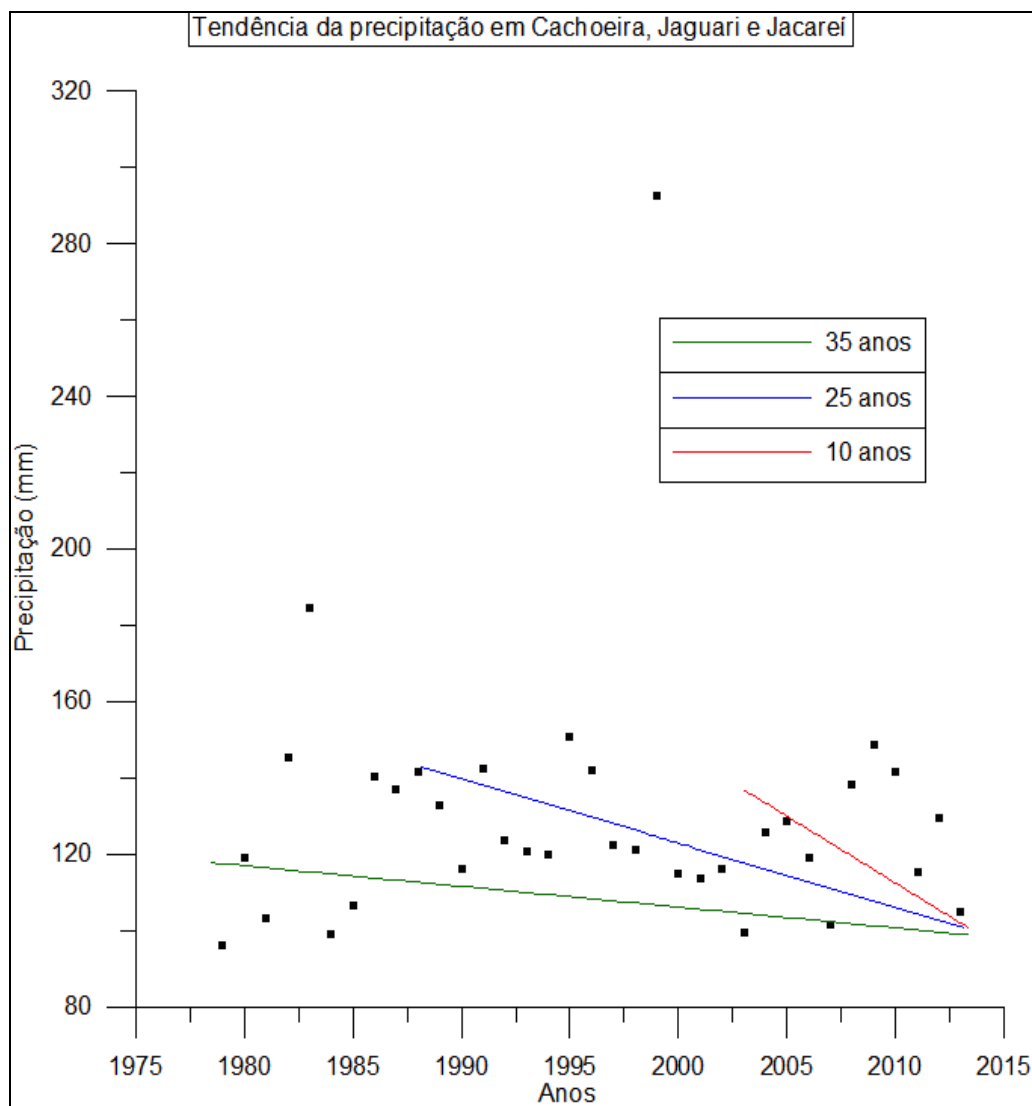


FIGURA 10: REPRESENTAÇÃO DA TENDÊNCIA ANUAL DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO PELO MÉTODO ESTATÍSTICO MANN-KENDALL NA REGIÃO DO RIO CACHOERIA, SISTEMA CANTAREIRA, SÃO PAULO.

Mensalmente, percebe-se que os meses de Fevereiro e Março apresentam Z igual a 0.000 indicando a não alteração da tendência de precipitação da região. O mês de Agosto é o único a indicar tendência à estiagem na região do rio Cachoeira com valor da estatística Z igual a -2.187, como ser visto na Tabela 15. Para este mês a mediana de b mostra redução de precipitação, porém para Fevereiro e Março

a inclinação da tendência apresentam redução (-0.240 mm/mês) e aumento (0.018 mm/mês), respectivamente.

É interessante notar que, apesar da retirada da autocorrelação entre os dados, este resultado concorda com a avaliação feita em dados autocorrelacionados para a mesma localidade.

TABELA 15: RESULTADOS DA ESTATÍSTICA MANN-KENDALL PARA DADOS DE PRECIPITAÇÃO MENSIS SEM AUTOCORRELAÇÃO PARA O RIO CACHOEIRA.

Meses	Mediana b	r1	S	Z	p-valor
Janeiro	1.420	0.003	61	0.852	0.80233
Fevereiro	-0.240	-0.077	-1	0.000	0.50000
Março	0.018	0.303	-1	0.000	0.50000
Abril	-0.505	0.161	-69	-0.966	0.16852
Maiο	-0.880	0.146	-71	-0.994	0.16108
Junho	-0.128	0.129	-21	-0.284	0.38973
Julho	1.163	-0.028	111	1.562	0.94062
Agosto	-0.770	-0.201	-155	-2.187	0.01462
Setembro	-0.698	-0.004	-51	-0.710	0.23885
Outubro	-0.023	0.141	5	0.057	0.48006
Novembro	0.046	0.086	-3	-0.028	0.49202
Dezembro	0.154	-0.419	9	0.114	0.54379

5.3.2 Parque Estadual da Cantareira

A estatística Mann-Kendall para as séries anuais de precipitação não rejeitou a hipótese nula. Apesar da inclinação da mediana de b indicar redução de chuva para os 3 períodos anuais analisados, esta é muito pequena ao nível estatístico de 5% de confiança para rejeitar H_0 (TABELA 16).

TABELA 16: RESULTADOS DA ESTATÍSTICA MANN-KENDALL PARA DADOS DE PRECIPITAÇÃO ANUAIS SEM AUTOCORRELAÇÃO PARA O PARQUE ESTADUAL DA CANTAREIRA.

Anos	Mediana b	r1	S	Z	p-valor
10	-0.446	0.069	-9	-0.716	0.23885
25	-0.615	-0.066	-46	-1.051	0.14685
35	-0.364	-0.037	-63	-0.880	0.18942

A Figura 11 apresenta as taxas de variação média da precipitação para cada intervalo de tempo. Nesta região, a estatística resultou em maior inclinação quando comparado à região anterior. Houve também maior decréscimo de chuva para a série de 25 anos com -0.615 mm/ano enquanto o menor valor encontrado foi para a série de 35 anos com -0.364 mm/ano. Entretanto, estes valores não são significantes estatisticamente para se afirmar a existência de tendência climática a seca. No Parque Estadual da Cantareira percebe-se também o valor extremo de 295.55 mm para o ano de 1999.

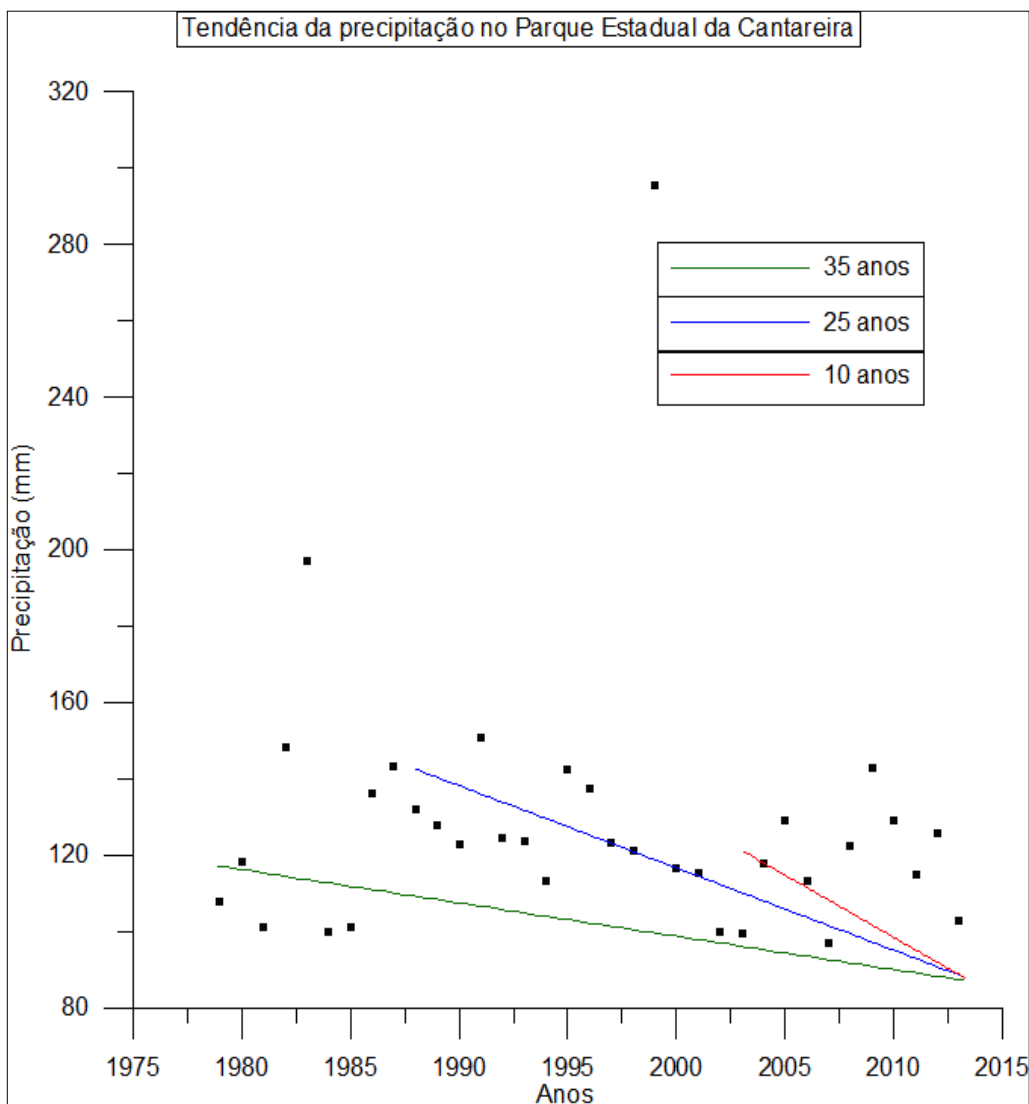


FIGURA 11: REPRESENTAÇÃO DA TENDÊNCIA ANUAL DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO PELO MÉTODO ESTATÍSTICO MANN-KENDALL NA REGIÃO DO PARQUE ESTADUAL DA CANTAREIRA, SISTEMA CANTAREIRA, SÃO PAULO.

Na região do Parque Estadual da Cantareira, para a análise mensal, o método de Mann-Kendall resultou em rejeições da hipótese nula para a avaliação dos meses de Maio e Agosto, com valores de Z iguais a -1.676, o que representa um nível de confiança de 95,3% (TABELA 17). As inclinações das tendências para estes meses mostram que existe maior tendência à seca para Maio com -1.226 mm/mês do que para Agosto com -0.677 mm/mês. Percebe-se que estes meses representam as estações de outono e inverno, as quais são caracterizadas por fraco regime de chuvas no Sul e Sudeste do Brasil. Entretanto, os outros meses discordam destes resultados, existindo inclusive valores positivos da mediana de b como em Janeiro e Julho.

TABELA 17: RESULTADOS DA ESTATÍSTICA MANN-KENDALL PARA DADOS DE PRECIPITAÇÃO MENSIS SEM AUTOCORRELAÇÃO PARA O PARQUE ESTADUAL DA CANTAREIRA.

Meses	Mediana b	r1	S	Z	p-valor
Janeiro	1.730	-0.050	91	1.278	0.89795
Fevereiro	-0.252	-0.118	-15	-0.199	0.42465
Março	-0.769	0.248	-85	-1.193	0.11702
Abril	-0.602	0.166	-65	-0.909	0.18406
Maio	-1.226	0.166	-119	-1.676	0.04745
Junho	-0.046	0.179	11	0.142	0.55567
Julho	0.813	-0.025	83	1.165	0.87697
Agosto	-0.677	-0.241	-119	-1.676	0.04745
Setembro	-0.783	-0.013	-53	-0.738	0.23269
Outubro	-0.208	0.106	-29	-0.398	0.34826
Novembro	-0.341	0.056	-29	-0.398	0.34826
Dezembro	-0.545	-0.422	-29	-0.398	0.34826

5.3.3 Rio Piracicaba

O teste estatístico MK para o rio Piracicaba apontou que na série dos 25 anos mais recentes até 2013 houve rejeição da H_0 com valor de Z igual a -1.845, considerando um nível de confiança de 5%. Este resultado concorda com o padrão obtido na análise de tendência de precipitação para dados dos quais não foi retirada a autocorrelação no mesmo período e região. Assim como para as outras duas regiões analisadas, existe uma tendência de redução de chuvas, o que pode ser observado pelos sinais das medianas de b (TABELA18), mas o valor foi apenas significativo para 25 anos. Porém, a série dos 10 anos mais recentes não confirma esta tendência. A Figura 12 mostra a inclinação da tendência da precipitação (mediana de b) em relação aos dados anuais do Rio Piracicaba. Da mesma forma que para as outras regiões, observou-se a existência de uma tendência à seca com inclinações iguais a -0.646 mm/ano (10 anos), -0.553 mm/ano (25 anos) e -0.163 mm/ano (35 anos). Entretanto, esta não é significativa ao nível de 5%. Para esta região os dados de chuva coletados do CPC também apresentaram um valor

extremo de 277.51 mm para o ano de 1999. Apesar de este valor ser alto comparado aos outros, não existe influência significativa nos cálculos de tendência, visto que análise para o período de 25 anos rejeitou a hipótese nula.

TABELA 18: RESULTADOS DA ESTATÍSTICA MANN-KENDALL PARA DADOS DE PRECIPITAÇÃO ANUAIS SEM AUTOCORRELAÇÃO PARA O RIO PIRACICABA.

Anos	Mediana b	r1	S	Z	p-valor
10	-0.646	-0.269	5	0.358	0.63683
25	-0.553	-0.035	-80	-1.845	0.03288
35	-0.163	0.019	-73	-1.023	0.15386

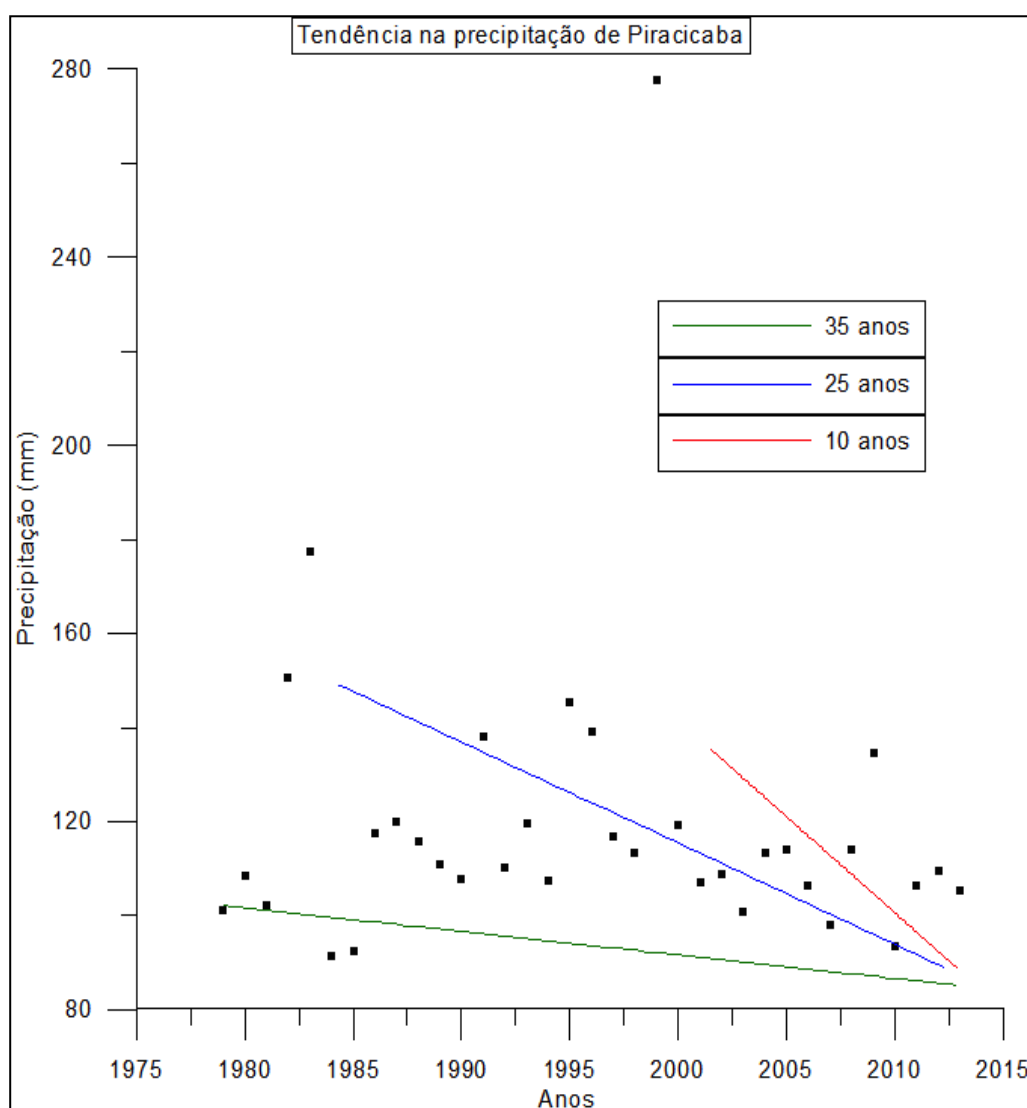


FIGURA 12: REPRESENTAÇÃO DA TENDÊNCIA ANUAL DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO PELO MÉTODO ESTATÍSTICO MANN-KENDALL NA REGIÃO DO RIO PIRACICABA, SISTEMA CANTAREIRA, SÃO PAULO.

A aplicação do teste MK mensal para a região do rio Piracicaba não rejeitou a hipótese nula de tendência à estiagem em nenhum mês da mesma maneira que na análise de dados autocorrelacionados (TABELA 19). As inclinações da tendência mensal, entretanto, apresentam alguns valores positivos como nos meses de Janeiro, Junho e Julho. Entretanto, apesar deste ser o ponto mais próximo do reservatório do Sistema Cantareira, estatisticamente não se pode afirmar que existe tendência mensal à seca nem ao aumento de chuvas para estes meses.

TABELA 19: RESULTADOS DA ESTATÍSTICA MANN-KENDALL PARA DADOS DE PRECIPITAÇÃO O MENSAIS SEM AUTOCORRELAÇÃO PARA O RIO PIRACICABA.

Meses	Mediana b	r1	S	Z	p-valor
Janeiro	2.313	-0.296	163	2.301	0.98927
Fevereiro	-0.547	-0.010	-31	-0.426	0.33724
Março	-1.289	-0.058	-83	-1.165	0.12302
Abril	-0.661	0.141	-55	-0.767	0.22362
Maiο	-1.140	0.058	-87	-1.221	0.11123
Junho	0.271	0.269	19	0.256	0.59870
Julho	0.648	-0.105	115	1.619	0.94630
Agosto	-0.321	-0.178	-93	-1.307	0.09680
Setembro	-0.613	0.000	-61	-0.852	0.19766
Outubro	-0.077	0.062	-13	-0.170	0.43250
Novembro	-0.220	-0.161	7	0.085	0.53188
Dezembro	-1.082	-0.304	-37	-0.511	0.30502

6 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi investigar a existência de tendências climáticas à estiagem na região do Sistema Cantareira, São Paulo, o qual sofreu com problemas no abastecimento hídrico de seus reservatórios no verão de 2013/2014. Foram escolhidas três regiões próximas ao Sistema Cantareira, sendo algumas pertencentes aos rios que abastecem seus reservatórios: rio Cachoeira, Parque Estadual da Cantareira e rio Piracicaba. Aplicou-se o método estatístico não paramétrico de Mann-Kendall em dados de precipitação do CPC em séries anuais, mensal e diária no período de 1979-2013.

A metodologia foi aplicada a dados autocorrelacionados, os quais a literatura afirma influenciarem na variância e, conseqüentemente na estatística Z do teste de Mann-Kendall, e, posteriormente, nos mesmos dados, porém sendo retiradas as autocorrelações. Os resultados mostraram que para os dados de precipitação com a correlação serial não houve alteração do padrão de tendência quando comparado aos dados sem autocorrelação. Isso pode ser visto pelos baixos valores da variável r_1 (coeficiente de autocorrelação). Entretanto, é interessante destacar que para o rio Piracicaba a estatística Z em 25 anos em dados autocorrelacionados resultou -2.032 enquanto em dados não autocorrelacionados foi de -1.84, coincidindo com a hipótese de que séries correlacionadas entre si tendem a ampliar a tendência climática.

Os resultados para cada região analisada e nas diversas séries temporais, em geral, mostraram que não se pode rejeitar a hipótese nula definida como a não existência de tendência à estiagem ao nível de confiança de 0.05. Entretanto, foi possível perceber que para os últimos 10 anos (2003-2013) a inclinação negativa da tendência de chuvas (mediana de b) foi maior para as regiões do rio Cachoeira e do rio Piracicaba que para o Parque Estadual da Cantareira, sendo aqueles localizados mais próximo ao Sistema Cantareira. Para a região do rio Piracicaba o teste MK rejeitou a H_0 aos 25 anos (1988-2013). Entretanto, esta tendência não é confirmada nos resultados de 10 anos. É pertinente acrescentar que dentro da série de 25 anos houve vários episódios de eventos El Niño como nos anos de 1990,1993,1997 e 1998. Isso contrasta com os resultados de rejeição de H_0 para 25 anos visto que episódios de El Niño tendem a intensificar o regime de chuvas no Sudeste do Brasil.

Já no período de 10 anos houve ocorrências de eventos La Niña (2007/2008) o que, segundo estudiosos, reduz a precipitação no Sul e Sudeste brasileiros.

Na análise mensal, os resultados evidenciaram tendência à estiagem no mês de Agosto para o rio Cachoeira e nos meses de Maio e Agosto para o Parque Nacional da Cantareira. O mês de Agosto é considerado o mês mais seco do ano em São Paulo, com valores totais mensais de precipitação iguais a 28 mm de acordo com Fisch (1999). Por outro lado, o mês de Janeiro, com médias totais de chuva igual a 212 mm, para os três locais, apresentou valores positivos para a inclinação da tendência como pode ser visto nos valores da mediana de b. Deste modo, os resultados mensais seguiram os padrões do regime de precipitação das estações no Sudeste do Brasil, sendo o inverno seco e o verão chuvoso. Nota-se também que a análise mensal do rio Piracicaba, o qual abastece o Sistema Cantareira não demonstrou indícios de tendência à estiagem.

Os resultados encontrados podem ser comparados com estudos de outros autores como, por exemplo, Pereneiro *et al.* (2012), Groppo, *et al.* (2005) e Blain (2010). Apesar das diferentes fontes de dados, seus estudos sobre tendências na precipitação de São Paulo apresentaram sinais de elevação no regime de chuvas. Pereneiro, *et al.* (2012) também utilizaram o teste estatístico Mann-Kendall aplicado a dados de chuva de São Paulo para a série temporal de 1961-2011 e encontraram tendência positiva para níveis de confiança de 5% e 10%, principalmente a partir de 1985. Da mesma maneira, Groppo, *et al.* (2005) verificaram tendência positiva de precipitação no período de 1947-1997 na bacia do rio Piracicaba. Neste trabalho, considerando a metodologia mais refinada de dados não autocorrelacionados, as tendências anuais encontradas foram negativas para o rio Cachoeira, Parque Estadual da Cantareira e para o rio Piracicaba, como pode ser visto pelos sinais negativos das inclinações da tendência (mediana de b). Mensalmente, obtiveram-se tendências positivas para os meses de Janeiro, Junho e Julho para as três regiões enquanto os outros meses apresentaram tendência negativa. Torna-se intrigante o fato dos meses de Junho e Julho apontarem tendência à aumento de precipitação enquanto o mês de Agosto haver apresentado tendência à estiagem, uma vez que estes definem a estação do inverno, considerada seca no Sudeste brasileiro. Portanto, os resultados obtidos concordam com outros estudos no sentido de se ter dúvidas sobre a existência de tendência à seca no estado de São Paulo.

Por meio da análise da dinâmica atmosférica, uma hipótese sobre a causa

do acontecimento no Sistema Cantareira foi a ocorrência de um Bloqueio Atmosférico, o qual forma um anticiclone (sistema de alta pressão) anômalo estacionário sobre uma região. Normalmente, os bloqueios modificam os regimes de precipitação e temperatura de uma região causando secas ou enchentes. Este sistema desloca-se devagar, podendo persistir na área bloqueada por vários dias. Tal evento pode ter ocorrido no verão de 2013/2014 em São Paulo, causando um evento extremo de baixa precipitação em um período onde, normalmente se esperaria altos valores de chuvas para o abastecimento dos reservatórios. Porém, seria necessário um estudo completo da extensão meteorológica naquele período para sustentar essa hipótese.

A partir das análises realizadas, conclui-se que o método estatístico não paramétrico de Mann-Kendall representou de forma coerente a tendência climática no Sistema Cantareira em São Paulo quando comparado a outros estudos. Os dados de precipitação do CPC reproduziram bem a distribuição de chuvas na região de interesse assim como fenômenos de El Niño e La Niña. Para este estudo e dados de precipitação, não houve diferenças nos padrões dos resultados gerados por dados autocorrelacionados e dados não autocorrelacionados. Finalmente, é incontestável a necessidade de mais estudos sobre mudanças climáticas em todas as escalas com o intuito de prevenir a sociedade dos eventos naturais. Sugere-se como próxima etapa desta pesquisa o aprofundamento dos estudos de tendências em precipitação e outras variáveis atmosféricas assim como a dinâmica atmosférica de vários outros municípios brasileiros, a fim de verificar-se a existência ou não de tendências a variações da precipitação com um caráter de escala maior, podendo afetar o país.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDER, L. V. et al. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. **Journal of Geophysical Research: Atmosphere (1984-2012)**, v.111, n.D5, 2006.

ALEXANDRE, G.R. **Estudo para identificação de tendências no regime pluvial na Região Metropolitana de Belo Horizonte a partir de Métodos Estísticos e Modelos Climáticos**. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Setor de Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

BACK, A.J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36,n.5, pp.717-726, maio. 2001.

BLAIN, G.C. Considerações estatísticas relativas à oito séries de precipitação pluvial da secretaria de agricultura e abastecimento do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, pp.12-23, 2009.

_____. **Precipitação pluvial e temperatura do ar no Estado de São Paulo: periodicidades, probabilidades associadas, tendências e variações climáticas**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Departamento de Física do Ambiente Agrícola, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

_____. Detecção de tendências monótonas em séries mensais de precipitação pluvial no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.69, n.4, pp.1027-1033, 2010.

BRAUN, S., HERRMANN, V.I. Análise de dois casos de bloqueios atmosféricos ocorridos próximo à América do Sul. In: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, **Foz do Iguaçu: SBMET**, v.12, pp.3387-3391, 2002.

CARVALHO, G.B.B, THOMAS, P.T. Repartição das vazões transpostas da Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba para a Bacia Hidrográfica do Alto Tietê pelo Sistema Cantareira para fins de cobrança pelo uso de recursos hídricos. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, **São Paulo**, 2007.

CASARIN, D.P. Um estudo observacional sobre sistemas de bloqueio no Hemisfério Sul. **Dissertação de Mestrado. INPE-2638-TDL/114**. São José dos Campos, Brasil. 1982.

CASARIN, D.P., KOUSKY, V.E. Anomalias de precipitação no Sul do Brasil e Variação na circulação atmosférica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.1, pp.83-90, 1986.

CAVALCANTI, I.F.A. Episódios El Niño/Oscilação Sul durante a década de 1986 a 1996 e suas influências sobre o Brasil. **Climanálise Especial: edição comemorativa de 10 anos**, p. 52-64, 1996.

CENTRO INTEGRADO DE INFORMAÇÕES AGROMETEOLÓGICAS (CIIAGRO). Disponível em: <http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/Quadros/QChuvaPeriodo.asp>> Acesso em: novembro, 2015.

CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS (CEMADEN). **Relatório da Situação Atual e Projeção Hidrológica para o Sistema Cantareira**. São Jose dos Campos, 2015. Disponível em: < http://www.cemaden.gov.br/cantareira/arquivos/Relatorio_SistemaCantareira_20151008.pdf> Acesso em: setembro de 2015.

CÔRTEZ, P. L . et al. Crise de abastecimento de água em São Paulo e falta de planejamento estratégico. **Estudos avançados**, v.29, n.84, 2015. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010340142015000200007&lng=en&nrm=iso> Acesso em: novembro, 2015.

COX, P. M. et al. Increasing risk of Amazonian drought due to decreasing aerosol pollution. **Nature**. v. 453, n.7192, pp.212-215, 2008.

DAI, A., FUNG, I.Y, GENIO, A.D.D. Surface Observed Global Land Precipitation Variations during 1900-88. **Journal of Climate**, v.10, pp.2943-2962, 1997.

DORE, M.H.I. Climate change and changes in global precipitation patterns: What do we know? **Environment International**, v.31,pp.1167-11881, 2005.

ESCOBAR, G.C.J. Padrões de circulação em superfície e em 500 hPa na América do Sul e Eventos de anomalias positivas de precipitação no Estado de Minas Gerais durante o mês de Dezembro de 2011. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.29, n.1, pp. 105-124, 2014.

FERREIRA, L. Seca atual em São Paulo é a maior em 45 anos, mostram dados da USP. Disponível em: <http://noticias.uol.com.br/meio-ambiente/ultimas->

noticias/redacao/2014/05/16/seca-atual-em-sao-paulo-e-a-maior-em-45-anos-mostram-dados-da-usp.htm. Acesso em: outubro, 2015.

FISCH, G. Distribuição da precipitação em Taubaté, Vale do Paraíba (SP). **Revista Biociências**, Taubaté, v. 5, n. 2, p. 7-11, 1999.

GRIMM, A. M., TEDESCHI, R.G. Influência de Eventos de El Niño e La Niña sobre a frequência de eventos extremos de precipitação no Brasil. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia. **Fortaleza: SBMET, 2004.**

GROISSMAN, P. et al. Trends in intense precipitation in the climate record. **Journal of Climate**, n.18, p.1326-50, 2005.

GROPPO, J.D, MORAES, J. M. et al. Análise de séries temporais de vazão e precipitação em algumas bacias do estado de São Paulo com diferentes graus de intervenções antrópicas. **Geociências**, v.24, n.2, pp. 181-193, 2005.

HAMED, K.H. Exact distribution of the Mann-Kendall trend test statistic for persistent data. **Journal of Hydrology**, v.365, pp.86-94, 2009.

HAYLOCK, M.R, *et al.* Trends in Total and Extreme South American Rainfall in 1960-2000 and Links with Sea Surface Temperature. **Journal of Climate**, v.19, pp.1490-1512, 2006.

HELSEL, D.R, HIRSCH, R.M. Statistical Methods in Water Resources. In: Technique of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey. **U.S Geological Survey**, 2002.

HIRSCH, R.M.; SLACK, J.R. A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence. **Water Resources Research**, v.20, pp.727-732, 1984.

HUNDECHA, Y., BÁRDOSSY, A. Trends in daily precipitation and temperature extremes across western Germany in the second half of the 20th Century. **International Journal of Climatology**, v.25, pp.1189-1202, 2005.

IPCC. Climate Change, 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Houghton, JT, **Cambridge University Press**, 2007.

KAROLY, D.J., VINCENT, D.G., SCHRAGE, .M. "General Circulation". In: Karoly, D.J, Vincent, D.G., *Meteorology of Southern Hemisphere*, capítulo 2, USA, American Meteorological Society, 1988.

KENDALL, M.A., STUART, A. **The advanced theory of statistics**. 2nd ed. London: Charles Griffin & Company, v.2,1967.

KENDALL, M.G. Rank Correlation Methods. Griffin: **London**, 1975.

KLEIN TANK, A. M.G., KÖNNEN, G.P. Trends in Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe, 1946-99. **Journal of Climate**, v.16, n.22, pp.3665-3680, 2003.

LIEBMANN, B. et al. An observed trend in Central South American Precipitation. **Journal of Climate**. V.17, n.22, pp.4357-4367, 2004.

MACEDO, H. E. **Previsão de precipitação acumulada mensal para o estado do Paraná com emprego de métodos autoregressivos**. Trabalho de graduação (Engenharia Ambiental) – Setor Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

MANN, H.B. Non-parametric tests against trend, **Econometrica**, Nova York, v. 13, pp. 245-259, 1945.

MARENGO, J.A., TOMASELLA, J., UVO, C.R. Trends in streamflow and rainfall in tropical South America: Amazonia, eastern Brazil, and northwestern Peru. **Journal of Geophysical Research**, v.103, n.D2, pp.1775-1783, 1998.

MARENGO, J.A. **Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, v.26, 2006.

MARENGO, J. A. et al. Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais. Relatório 5, Ministério do Meio Ambiente (MMA), Secretaria de Biodiversidade e Florestas (SBF), Diretoria de Conservação da Biodiversidade (DCBio). Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade - Subprojeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. **Brasília**, fevereiro 2007.

MARENGO, J.A. Água e Mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v.22, n.63, pp.83-96, 2008.

MARENGO, J.A, TOMASELLA, J. Trends in streamflow and rainfall in tropical South America: Amazonia, eastern Brazil, and northwestern Peru. **Journal of Geophysical Research**, v.103, n.D2, pp.1775-1783, 1998.

MARTINS, A. Sistema Cantareira e a Crise da Água em São Paulo. **Artigo 19 Brasil**, 2014.

MEEHL, G. A. et al. Global Climate Projections. In: SOLOMON, S. D. et al. (Ed.) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom, New York: **Cambridge University Press**, 2007.

NAGHETTINI, M., PINTO, E. J. A. **Hidrologia Estatística**. 1 ed. Belo Horizonte: CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Superintendência Regional de Belo Horizonte, 2007.

PERENEIRO, J.C, et al. Caracterização estatística de tendências climáticas em series anuais de temperatura media e precipitação para as capitais estaduais do Brasil. **Revista GEINTEC**, v.3, n.4, pp.01-15, 2012.

SABESP, 2015. Disponível em: <
<http://www2.sabesp.com.br/mananciais/DivulgacaoSiteSabesp.aspx>> Acesso em:
dezembro de 2015.

SANSIGOLO, C.A. Distribuições de extremos de precipitação diária, temperature máxima e mínima e velocidade do vento em Piracicaba, SP (1917-2006). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.3, pp.341-346, 2008.

SÃO PAULO. Resolução Conjunta ANA/DAEE, nº 120, de 10 de Fevereiro de 2014. Dispõe sobre a Criação do Grupo Técnico de Assessoramento para a Gestão do Sistema Cantareira no atual período de crise de escassez de chuvas e aflúências. Disponível em: < <http://www.dae.sp.gov.br/images/documentos/gtag.pdf>> Acesso em: novembro de 2015.

SÃO PAULO. Grupo Técnico de Assessoramento para a Gestão do Sistema Cantareira GTAG – Cantareira. Comunicado Nº 05 de 11 de abril de 2014. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sof/GTAG-Cantareira/20140415Comunicado_GTAG_nr_5_V_final.pdf> Acesso em: novembro de 2015.

SÃO PAULO. Resolução conjunta ANA/DAEE nº 699, de 27 de Maio de 2014. Dispõe sobre a suspensão temporária da concessão de outorgas de captações de águas superficiais das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2014/699-2014.pdf>>. Acesso em: novembro de 2015.

SEN PK. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. **Journal of the American Statistical Association**. v.63, pp.1379 – 1389, 1968.

SENNE, C.A., GARCIA, M. A importância do Sistema Cantareira para a Grande São Paulo. Disponível em: <<http://www.energiaesaneamento.org.br/busca.aspx?search=cantareira>> Acesso em: outubro de 2015.

SILVA, W.L, et al. Tendências Observadas em Indicadores de Extremos Climáticos de Temperatura e Precipitação no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.30, n.2, pp.181-194, 2015.

SIQUEIRA, G. M., BEZERRA, J. M., et al. Zoneamento de Parâmetros Climáticos no Estado de São Paulo (Brasil) utilizando técnicas de Geoestatística. **Revista Brasileira de Geografia Física**, n.3, pp. 612-629, 2012.

SOUZA FILHO, F.A., LALL, U. Modelo de Previsão de Vazões Sazonais e Interanuais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.9, n.2, pp.61-74, 2004.

THEIL, H. A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis, I. **Nederlands Akad. Wetensch. Proc.** 53, pp. 386 – 392, 1950.

THEIL, H. A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis, II. **Nederlands Akad. Wetensch. Proc.** 53, pp. 521–525, 1950.

THEIL, H. A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis, III. **Nederlands Akad. Wetensch. Proc.** 53, pp. 1397–1412, 1950.

THOM, H.C.S. **Some methods of climatological analysis**. Geneve; World Meteorological Organization, pp.53p. 1966 (WMO, 199; TP, 103; Technical note, 81).

TRENBERTH, K. E. et al. Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. In: SOLOMON, S. D. et al. (Ed.) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*.

Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom, New York: **Cambridge University Press**, 2007.

VON STORCH, V.H. Misuses of statistical analysis in climate research. I Analysis of Climate Variability: Applications of Statistical Techniques, von Storch H, Navarra A (eds). Springer-Verlag: Berlin, pp.11–26, 1995.

WANG, W. et al. Trends and Stationary analysis for streamflow processes of rivers in western Europe in the 20th Century. **IWA, International Conference on Water Economics, Statistics and Finance**, pp.8-10, 2005.

WIEDENMANN, J.M., LUPO, A.R., MOKHOV, I., *et al.* The climatology of blocking anticyclones for the Northern and Southern Hemisphere block intensity as a diagnostic. **Journal of Climate**, v.15, pp. 3459-3473, 2002.

WILKS, D.S. Theoretical probability distributions. In: Statistical methods in the atmospheric sciences. **San Diego: Academic Press**, pp. 102-104, 2006.

WONG, R. A procedure to analyze air quality data for the detection of linear time trends. **Air Policy Branch Alberta Environment**, 2010.

XIE, P., YATAGAI, A., CHEN, M. *et.al.* A Gauge-Based Analysis of Daily Precipitation over East Asia. **Journal of Hydrometeorology**, v.8, pp.607-626, 2007.

YUE, S. et al. The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. **Hydrological Processes**, v.16, pp. 1807-1829, 2002.