

## Padrão e extremos de precipitação na cidade de São Paulo

### Rainfall extremes and pattern in the city of São Paulo

<sup>1</sup> Alan Yago Barbosa de Lima, <sup>2</sup> Amanda Rodrigues de Souza, <sup>3</sup> Giovanni Calderoni Statonato, <sup>3</sup> Gabriel Tieppo Gonçalves Camacho, <sup>3</sup> Andréa de Oliveira Cardoso, <sup>3</sup> Maria Cleofé Valverde

<sup>1</sup> Mestrando em Ciência e Tecnologia Ambiental – Universidade Federal do ABC (alanlima.agro@hotmail.com)

<sup>2</sup> Mestra em Ciência e Tecnologia Ambiental – Universidade Federal do ABC (amanda.souza@ufabc.edu.br)

<sup>3</sup> Engenheiro Ambiental e Urbano na Universidade Federal do ABC (giovannics93@gmail.com)

<sup>3</sup> Graduando em Ciência e Tecnologia na Universidade Federal do ABC (gabriel.tieppo@aluno.ufabc.edu.br)

<sup>3</sup> Professora Associada na Universidade Federal do ABC (andrea.cardoso@ufabc.edu.br)

<sup>3</sup> Professora Associada na Universidade Federal do ABC (maria.brambila@ufabc.edu.br)

---

**RESUMO:** O objetivo do estudo é analisar a variabilidade de precipitação, eventos extremos e tendências dessa variável na cidade de São Paulo. O estudo utilizou dados pontuais de precipitação da Estação Meteorológica do IAG/USP, com série histórica entre 1933 e 2020. Foram analisadas as médias mensais para o estudo da sazonalidade, o diagrama boxplot para a investigação de eventos mensais raros e a técnica dos quantis para classificação dos eventos extremos de precipitação. Foi também realizada uma análise de tendência por meio do acumulado anual de precipitação e ajuste linear por uma equação de regressão linear simples. Em termos sazonais, a cidade de São Paulo apresenta baixa precipitação no inverno, com mínimo em agosto e média de 38,05 mm, aumentando os totais precipitados durante a primavera. Os valores mais altos de precipitação ocorrem durante o verão, com pico em janeiro e 232,14 mm. De acordo com o diagrama boxplot, os eventos raros de muita precipitação ocorrem principalmente no inverno, destacando-se os meses de maio e junho. Há uma maior concentração dos eventos extremos de precipitação na segunda metade dos anos observados. Destaca-se que os meses de seca apresentam as maiores ocorrências de eventos raros de precipitação. A análise da regressão linear simples indicou uma tendência positiva, revelando um aumento médio da precipitação anual de 508,43 mm na cidade de São Paulo. De modo geral, as diferentes abordagens utilizadas no estudo indicam um aumento na precipitação na cidade, especialmente devido à maior frequência de eventos extremos chuvosos mensais.

**Palavras-Chave:** Sazonalidade. Eventos extremos. Chuva. Seca. Normais climatológicas.

**ABSTRACT:** The objective of this study is to analyze the precipitation variability, extreme events, and trends of this variable in the city of São Paulo. The data used covered the period between 1933 and 2020, originating from the IAG/USP Meteorological Station. The monthly averages for the study of seasonality, the boxplot diagram for the investigation of rare monthly events, and the quantile technique for classifying extreme precipitation events were considered for analysis. A trend analysis was performed through the accumulated annual precipitation and linear adjustment by a simple linear regression equation. In seasonal terms, the city of São Paulo has low precipitation in winter, with a minimum in August and an average of 38.05 mm, increasing total precipitation during spring. It was observed that the highest precipitation values occurred during the summer, with a peak in January and 232.14 mm. According to the boxplot diagram, the rare events of high precipitation occur mainly in winter, with emphasis on May and June. There is a greater concentration of extreme precipitation events in the second half of the observed years. The dry months have the highest occurrences of rare precipitation events. Simple linear regression analysis indicated a positive trend, indicating an average increase in annual precipitation of 508.43 mm in the city of São Paulo. In general, there is an indication of an precipitation increase in the city, especially due to the higher frequency of monthly extreme rainy events.

**Keywords:** Seasonality. Extreme events. Rain. Dry. Climatological norms.

---

## 1. INTRODUÇÃO

A precipitação é um fator de grande influência no desenvolvimento local, sendo uma das variáveis atmosféricas responsáveis pela manutenção do sistema hidrológico, com seu padrão sendo influenciado pela variabilidade climática. Ademais, pode sofrer mudanças de longo prazo, devido a mudanças locais ou globais. Discussões sobre mudanças climáticas a nível global tem sido foco de debate científico na última década. Além disso, estudos em escalas menores (regional ou local), visando a compreensão da influência dos aspectos locais,

específicos de cada região, são importantes para o entendimento das variações da precipitação. Dessa forma, a cidade de São Paulo, devido à alta importância socioeconômica, tem sido objeto de estudo do ponto de vista climatológico (SALVADOR e SANTOS; 2010).

A estimativa da população da cidade de São Paulo para o ano de 2021 é de cerca de 12,3 milhões de habitantes, caracterizando-se como a cidade mais populosa e a principal metrópole do país, com o maior Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil (BRASIL, 2021), é fortemente dependente de recursos hídricos para abastecimento urbano, setores alimentícios, energia, transporte entre outros segmentos econômicos (ANA, 2020).

Eventos extremos de precipitação, de muita ou pouca chuva, têm o potencial de causar prejuízos ambientais, sociais e econômicos devido a enorme gama de processos que estão relacionados à precipitação. Tais eventos podem afetar o abastecimento urbano como a crise hídrica ocorrida na Região Metropolitana de São Paulo, na qual ocorreu um período extremo de pouca precipitação durante os verões de 2014 e 2015, levando a região a enfrentar uma crise de abastecimento hídrico causada, tanto pela má gestão da água, quanto pelos baixos índices pluviométricos (MARENGO *et al.*, 2015).

Obregón *et al.* (2014) comparou a evolução temporal do desvio médio e padrão da precipitação diária e do número de dias chuvosos para a estação do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP (IAG/USP), encontrando um aumento contínuo a partir de 1933. Tal fato, indica que as chuvas se tornaram mais intensas e as chuvas extremas mais frequentes ao longo dos anos.

A precipitação é uma variável climática fundamental, pois exerce influência direta sobre diversos fatores ambientais, como o balanço hídrico do solo, a temperatura, a umidade e a radiação solar. Por essa razão, há um esforço significativo em prever a frequência e a distribuição espacial da precipitação, o que é de grande importância em estudos específicos, como aqueles relacionados ao conforto humano e à compreensão geral do clima (DE MEDEIROS *et al.*, 2022).

É possível observar diversos episódios de ocorrência de precipitação, evidenciando ocorrências associadas à resposta do ambiente urbano às intempéries associadas ao clima, sendo as de maior ocorrência as enchentes, os alagamentos, os deslizamentos, as quedas de árvores, dentre outros eventos (AVANZI, 2022). De acordo com o relatório *The human cost of weather-related disasters 1995 – 2015* (CRED/UNISDR, 2015), as inundações são consideradas como o desastre natural mais comum em termos de ocorrência, representando cerca de 43% do número total de desastres naturais registrados.

Apesar das cidades apresentarem grande desenvolvimento em termos de tecnologia, organização e economia, a construção dessas cidades sem levar em consideração a dinâmica natural pode aumentar a exposição da sociedade urbana aos riscos naturais, tornando as cidades mais vulneráveis à ação climática (SANT & NETO, 2012).

Sobral *et al.* (2018), observou que a variabilidade no padrão de precipitação no Submédio do Rio São Francisco, afetou o abastecimento do rio, evidenciando a importância da gestão e adequação das águas na bacia. A preocupação com a gestão dos recursos hídricos tem se tornado cada vez mais frequente em diversas partes do mundo, principalmente em regiões que dependem desse recurso para atender a múltiplas necessidades. A região semiárida do Nordeste do Brasil é uma dessas áreas, que enfrenta cenários de escassez de água devido às altas taxas de evapotranspiração e à distribuição irregular da precipitação, caracterizada pela sua variabilidade espacial e temporal. Isso permite que períodos prolongados de seca ocorram, agravando os déficits hídricos.

Diversos são os Efeitos das mudanças climáticas, dentre eles a variabilidade no padrão de precipitação, alteração sazonal do clima e elevação do nível do mar (MALHOTRA, 2017). Tais alterações nos padrões climáticos, resultam em maiores ocorrências de desastres naturais (MELO, 2021).

Dessa forma, este estudo pode ser aplicado em diversas áreas como por exemplo o planejamento urbano, podendo proporcionar maior compreensão sobre locais mais suscetíveis a enchentes e alagamentos, e auxiliar em decisões relacionadas a políticas públicas de infraestrutura de drenagem, saneamento e vulnerabilidade socioambiental. A gestão de recursos hídrico também e uma área de aplicabilidade do estudo proposto, possibilitando uma melhor compreensão sobre disponibilidade hídrica e tomada de decisões em diferentes setores como agricultura, indústria e abastecimento de água potável.

Estudos locais de precipitação são motivados pela necessidade de analisar os aspectos pontuais. O conhecimento aprimorado e atualizado da precipitação, seus extremos e variabilidades temporais, ajudam a compreender as tendências climáticas, beneficiando o meio ambiente, a sociedade e os setores econômicos envolvidos.

Dentro desse contexto, este trabalho tem como objetivo estudar a variabilidade de precipitação, eventos extremos e tendências desta variável sobre a cidade de São Paulo, por meio de análises estatísticas das séries históricas atualizadas.

## 2. MATERIAIS E MÉTODO

Com uma área de 1.521.110 km<sup>2</sup>, São Paulo é a nona cidade em extensão do estado e sede da Região Metropolitana do Estado de São Paulo. De acordo com os dados do último censo, a densidade demográfica do município é de 7.398,26 hab./km<sup>2</sup>, o que o coloca em primeiro lugar entre os mais povoados (BRASIL, 2021).

O clima da cidade da cidade de São Paulo é caracterizado como subtropical úmido (Cwa) com invernos secos e verões chuvosos, no qual as temperaturas são mais altas, e tendo o outono e primavera como estações de transição (ALVARES et al. 2013). A região Sudeste apresenta um ciclo anual de precipitação bem definido, com alta de precipitação no verão austral (de dezembro a fevereiro) e baixa no inverno (de junho a agosto) (REBOITA et al. 2010), e a cidade São Paulo segue o mesmo padrão. Segundo registros do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), em São Paulo a temperatura média é de 20,10 °C com um volume acumulado anual de precipitação de 1616 mm (INMET, [s. d.]).

Para a realização do estudo, foram utilizados dados pontuais de precipitação da Estação Meteorológica do IAG/USP, que está localizada no Parque de Ciência e Tecnologia da Universidade de São Paulo (CienTec/USP), uma das instituições que constituem o Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, Bairro da Água Funda, Capital, SP, latitude 23,6512°S, longitude 46,6224°W e altitude de 799,2 metros. A série histórica inicia-se em janeiro de 1933 e termina em dezembro de 2020.

Para a identificação do padrão sazonal e identificação de eventos extremos de precipitação, foram analisadas as médias mensais para o estudo da sazonalidade, o diagrama boxplot, para a investigação de eventos mensais raros e a classificação dos eventos pela técnica dos quantis. Procedimento similar ao já adotado por outros autores para a caracterização da vazão (DIONISIO et al. 2021; SOUZA & CARDOSO, 2021; TORI et al. 2021), efetuando as devidas modificações para estudos de precipitação.

Para a identificação de eventos mensais raros de precipitação da série em cada mês do ano, foi realizado o diagrama boxplot. O boxplot (ou diagrama de caixa) é utilizado para a investigação da distribuição de uma amostra através dos valores dos quartis.

O boxplot (ou diagrama de caixa) é um gráfico que permite a visualização da distribuição e valores discrepantes (conhecidos como outliers) de um conjunto de dados. É comumente utilizado para descrever as características mais proeminentes de um conjunto de dados, como o centro, dispersão, a extensão e a natureza do desvio em relação a simetria e a identificação de outliers (DEVORE, 2006). Este gráfico é constituído basicamente de seis elementos: três quartis, os limites inferiores e superiores e os outliers. O quartil inferior

corresponde ao limite de 25% dos dados, o superior corresponde ao limite de 75% dos dados e a mediana (quartil de 50%). O quartil superior e inferior delimita a caixa do boxplot. Os limites inferiores e superiores são representados pela cauda, sendo definido por 1,5 vezes o tamanho da caixa, ou seja, a diferença entre o terceiro quartil e o primeiro. Valores que excedem os limites inferiores e superiores são classificados como um outliers negativos e positivos, respectivamente (DEVORE, 2006)

Valores distantes da maioria, como os outliers podem afetar drasticamente os valores de média e o desvio padrão de um conjunto de dados, por isso é interessante avaliar dados por meio de gráficos boxplot, pois o método é resistente à presença de valores discrepantes (DEVORE, 2006).

Com a construção do boxplot mensal, pode-se observar o comportamento através dos meses, podendo-se então, identificar períodos de chuvas elevadas e de chuvas baixas, amplitude das variações, forma da distribuição, bem como a ocorrência de eventos raros no período estudado.

Para a classificação de eventos em diferentes classes, é mais adequado utilizar o método dos quantis, considerando diferentes limiares por classes, o que permite identificar extremos e não somente eventos raros já identificados pelo diagrama boxplot. Os eventos registrados pelo diagrama são ainda mais extremos que os eventos registrados pela técnica de quantis, e, portanto, para diferenciar, foi feita esta diferenciação entre os eventos raros (registrados pelo diagrama boxplot) e os eventos extremos (identificados pelos quantis), ressaltando ainda que os eventos raros também serão registrados como eventos extremos.

Assim, para a classificação de evento foi utilizado o método dos quantis, calculando-se os quantis a partir da equação 1:

$$q(P_i) = \frac{1}{2n} + \frac{w(P_i) - 1}{n} \quad (1)$$

Um quantil de ordem  $p$  (indicado por  $q(p)$ ), onde  $p$  é definido como uma proporção qualquer, admitindo valores entre 0 e 1. O  $q(p)$  é dado pelo valor tal que a soma das probabilidades dos valores menores que ele é  $p$  (BUSSAD & MORETTIN, 2013)

Dada uma determinada série de dados  $P_i$ , com  $i$  variando de 1 a  $n$  observações, é necessário determinar o número de ordem  $w(P_i)$  de cada elemento  $i$  desta série, com observações em ordem crescente.

A técnica dos limiares quantílicos foi aplicada à série de precipitação mensal para determinar os limiares de ocorrência de diferentes categorias de precipitação. A separação das categorias considerou os mesmos critérios de Xavier et al. (2003), conforme a Tabela 1:

Tabela 1. Classificação dos eventos de precipitação de acordo com os quantis.

Classificação	Intervalos Quantílicos
Muito Seco	$q(X_i) \leq 0,15$
Seco	$0,15 < q(X_i) \leq 0,35$
Normal	$0,35 < q(X_i) \leq 0,65$
Chuvoso	$0,65 < q(X_i) \leq 0,85$
Muito Chuvoso	$q(X_i) > 0,85$

Fonte: Xavier et al. (2003).

As classes extremas, muito seco ou muito chuvoso, apresentam um intervalo menor (15%), do que os demais intervalos (20% nas classes Seco e Chuvoso e 30% na classe Normal). A diferença dos intervalos objetiva facilitar a compreensão da distribuição dos eventos (MONTEIRO et al. 2012). Ademais, os eventos mais extremos de uma série estão nas caudas da distribuição e, portanto, são menos frequentes.

Para a análise de tendência dos dados de precipitação, foi realizado o acumulado anual da precipitação e realizada um ajuste linear através de uma equação de regressão linear simples. A regressão linear apresenta uma equação matemática que relaciona os pontos envolvidos, resultando numa equação do tipo  $y(x) = ax + b$ . Onde  $x$  é a variável dependente,  $a$  é um valor constante denominado coeficiente angular (indica a inclinação da reta),  $b$  é o ponto de intersecção da reta e  $y$  é a variável dependente (WILKS, 2011). Os valores dos coeficientes  $a$  e  $b$  são obtidos através método dos mínimos quadrados.

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) é uma medida estatística de quão próximo os dados estação da linha de regressão ajustada, ou seja,  $R^2 = 0$  significa que não há correlação entre os dados e a reta ajustada e  $R^2 = 1$  significa o ajuste perfeito (BUSSAD & MORETTIN, 2013).

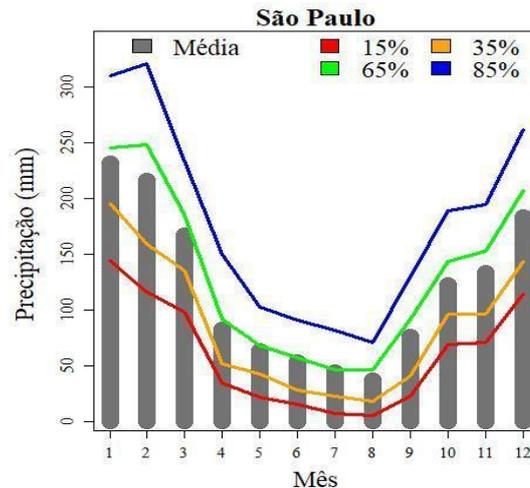
No caso específico de linha de tendência foi analisado o parâmetro de inclinação, um valor positivo indica uma tendência positiva ou de aumento, e um valor negativo uma tendência negativa ou de diminuição.

### 3. RESULTADOS/ DISCUSSÕES

O padrão sazonal da precipitação mensal, informações dos quantis e da dispersão da precipitação estão apresentados na Figura 1, que apresenta os dados das médias mensais em barra e em linhas estão os limiares quantílicos. Na Figura 2 encontram-se os diagramas boxplot dos dados separados pelos meses do ano, os outliers são representados por pontos. Nas figuras 1 e 2 os resultados referem-se a análise da média mensal de todo o período considerado, entre os anos de 1933 e 2020.

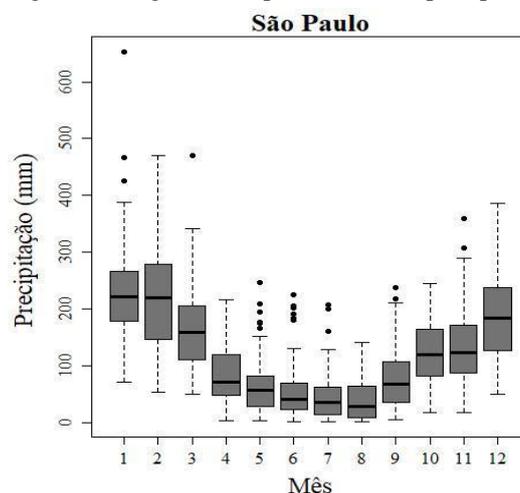
Em termos sazonais a cidade de São Paulo apresenta baixa precipitação no inverno com mínimo em agosto, com valor médio de 38,05 mm, aumentando totais precipitados durante a primavera (Figura 1). Os valores mais altos de precipitação ocorrem durante o verão, sendo o pico em janeiro correspondente a 232,14 mm, corroborando om os resultados obtidos por Dias et. al (2013), que realizou a análise da precipitação diária para a cidade de São Paulo para os anos de 1933 a 2010.

Figura 1. Médias e quantis mensais da precipitação.



Os valores medianos, indicado na barra central da caixa do boxplot, também apresentam o mesmo comportamento da média apresentada anteriormente, com maior mediana em janeiro (220,95 mm) e a menor em agosto (27,15 mm), indicando uma boa distribuição dos dados (Figura 2). Todos os meses apresentam assimetrias positivas pelo diagrama boxplot, sendo os meses do inverno com as maiores assimetrias e janeiro e outubro com as menores assimetrias. Os meses com as menores médias mensais também apresentam as menores caudas inferiores, indicando que há pouca dispersão entre os valores mais baixos de precipitação. Os meses que apresentam valores médios de precipitação mais alta também apresentaram maior dispersão no diagrama boxplot. Destaca-se o mês de fevereiro, por ter a maior caixa e os maiores limites inferiores e superiores.

Figura 2. Diagrama boxplot mensal da precipitação.



De modo geral as diferenças entre os limiões quantílicos de 15% e de 35% é menor, principalmente nos meses mais secos (Figura 1). A diferença aumenta no período chuvoso entre outubro e março, com destaque para o verão. Nota-se também, ao longo de todo o ano, que maiores diferenças ocorrem entre os limiões chuvosos. O valor mais alto do limiar quantílico de 85% foi registrado em fevereiro, que pode ser justificado pela dispersão maior ocorrida no diagrama boxplot deste mês, onde a cauda superior supera a de janeiro (mês com a maior média), período corresponde da estação chuvosa, ou seja, a maior variabilidade ocorre no período de chuva, o que é esperado (Figura 2).

Os outliers identificado pelo diagrama boxplot foram interpretados como eventos raros de precipitação (Tabela 2). A seguir estão listados os valores dos outliers identificados no diagrama boxplot e ilustrado na Figura 2. Os eventos, separados por mês se encontram em ordem decrescente de valor de precipitação, com o ano do evento entre parênteses. Como já mostrado na Figura 2, os meses de fevereiro, agosto, outubro e dezembro não apresentaram eventos raros e todos os vinte e três outliers encontrados pelo diagrama são eventos raros de precipitação muito alta.

Tabela 2. Eventos raros de precipitação

<u>Mês</u>	<u>Ano</u>	<u>Precipitação (mm)</u>
Janeiro	2010	653
Janeiro	2011	466
Janeiro	1989	425
Março	1991	471
Maio	1987	246
Maio	1988	209
Maio	1983	194
Maio	1976	176
Maio	2005	175
Maio	1958	165
Junho	1983	224
Junho	1987	204
Junho	1982	201
Junho	2012	191
Junho	1945	184
Junho	2016	180
Setembro	1957	237
Setembro	2015	218
Novembro	1978	360
Novembro	2015	308

Segundo o boxplot os eventos raros de muita precipitação ocorrem principalmente no inverno, onde podemos destacar os meses de maio e junho, com seis eventos raros em cada mês, sendo os meses com maior ocorrência de outliers.

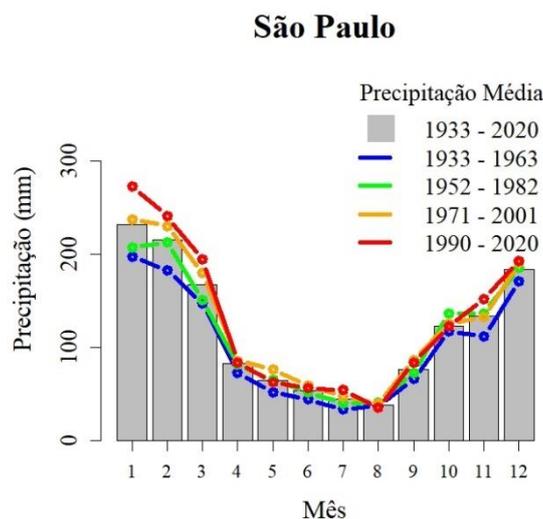
O maior valor mensal registrado ocorreu em janeiro de 2010 (653 mm), valor aproximadamente quatro vezes o valor da média do mês.

Nota-se maior concentração dos eventos extremos de precipitação na segunda metade dos anos observados, totalizando 19 outliers de 1977 a 2020 principalmente nos meses de maio, junho e julho, ou seja, mais de 80% dos outliers registrados. Tal resultado está de acordo com o encontrado por destacam-se os anos de 1982 e 1983 pelo efeito causado do El Niño sobre a região, como registrado por Kayano & Moura (1986).

A Figura 3 apresenta a variação de médias climatológicas da precipitação em diferentes períodos. Na figura 3 as barras apresentam as médias mensais utilizando todos os dados disponíveis, ou seja, de 1933 a 2020, as linhas mostram as médias utilizando um intervalo de 30 anos de dados: de 1933 a 1963 em azul, de 1952 a 1983 em verde, de 1971 a 2001 em amarelo e de 1990 a 2020 em vermelho. Nos dois primeiros meses do ano ocorre uma maior diferença entre as médias climatológicas, indicando um aumento gradativo com o

passar do tempo. Para o mês de outubro, os valores de todas as médias foram próximos. A média de 1933 a 1963 apresentou os menores valores para todos os meses do ano. Os meses de janeiro, fevereiro, março, julho, novembro e dezembro apresentaram os maiores valores para a média de 1990 a 2020. Os meses de abril, maio, junho e setembro apresentaram os maiores valores para a média de 1971 a 2001 e os meses de agosto e outubro, as maiores médias foram da média de 1952 a 1982. As diferenças são principalmente mais expressivas em janeiro, quando a média da precipitação no período mais recente é bem superior.

Figura 3. Médias da precipitação utilizando todos os dados, e com intervalos de 30 anos.



Com os limiares quantílicos ilustrados (Figura 1) foi possível classificar os eventos de precipitação mensal, resultando na Figura 4, que mostra a variabilidade destes eventos ao longo dos anos, onde os tons azulados representam eventos de precipitação acima do normal e os tons amarelados, precipitação abaixo do normal. A normalidade é indicada pela cor verde. Tal figura contribui para a identificação de variabilidade mensais, interanuais e para detecção de persistência de tipos de eventos.

Observando a imagem nota-se que há uma concentração maior de tons amarelados no primeiro quarto dos anos de análise (de 1933 a 1954), com a ocorrência de 33% dos eventos de precipitação classificados como muito seco, bem como os anos com maiores ocorrências de classificação. No mesmo período foram registrados apenas 9% dos eventos de precipitação classificados como muito chuvoso.

Já no último quarto dos anos (de 1999 a 2020) foram registrados 34% dos eventos de precipitação classificados como muito chuvosos e 20% da classificação muito seco. Além disso, de modo geral, há um aumento de eventos de precipitação acima do normal, com mais extremos chuvosos a partir dos anos de 1960 e maior predomínio entre os anos de 1980 e o início dos anos 2000. Isto sugere uma tendência de aumento da intensidade da precipitação.

Os anos com maior ocorrência de eventos mensais de precipitação classificados como muito chuvosos foram os anos de 1983, com oito dos doze meses com tal classificação, sendo dois eventos classificados como evento raro de muita precipitação, e o ano de 2017, com seis meses nesta classificação. Em ambos os anos (1983 e 2017) ocorreram o fenômeno El Niño Oscilação Sul, sendo 1983 El Niño forte e 2017 La Niña, destaca-se também o ano de 1956 (ano de La Niña) com metade do ano classificado como evento chuvoso ou muito chuvoso.

Observando a sequência de eventos de precipitação abaixo do normal, destacam-se os seguintes períodos: de janeiro a abril de 1933, com ocorrência de quatro meses seguidos de precipitação abaixo do normal, sendo três dos meses com precipitação muito seca; de

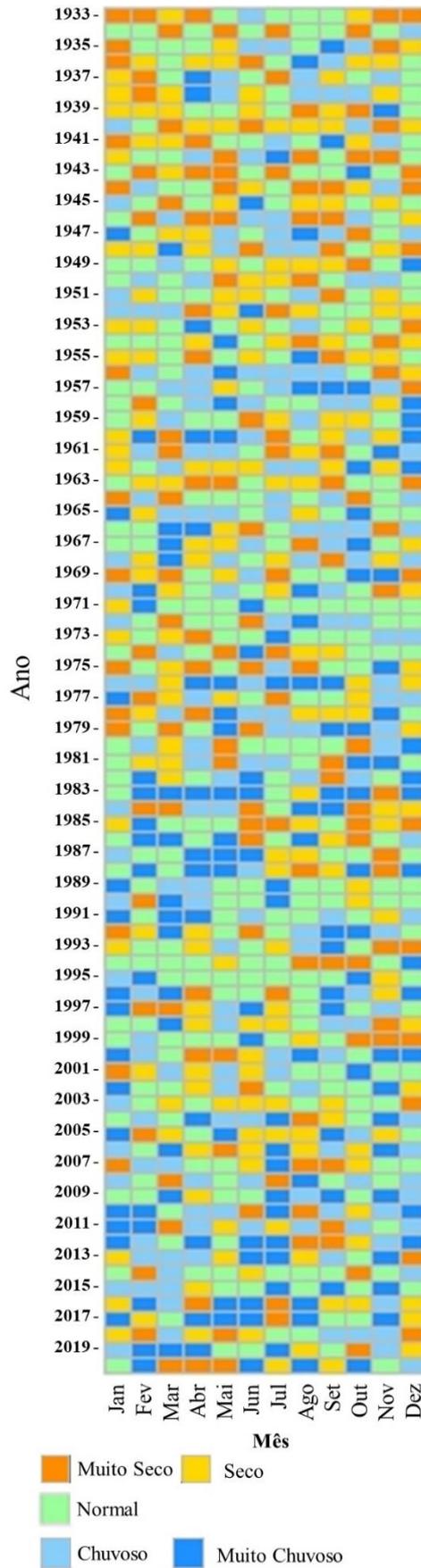
novembro de 1935 a fevereiro de 1936, sendo dois dos quatro meses com precipitação muito seca; de março a setembro de 1940, onde dois dos sete meses com precipitação abaixo do normal foram classificadas como muito seca e; de novembro do mesmo ano até abril de 1940 com seis meses de precipitação abaixo do normal e três meses classificados como muito seca.

Os anos de 1933, 1940, 1943, 1944 e 1946 foram os anos onde a maioria dos meses apresentaram precipitação abaixo do normal, sendo os anos de 1933, 1943, 1944 e 1946 com cinco meses de secos e cinco meses com muito secos, já o ano de 1940 ocorreram seis meses de muito seco e três meses de seco. Os anos de 1933 e 1943 foram marcados por eventos de La Niña moderada e forte, respectivamente e o ano de 1940, marcado por evento de El Niño forte (CPTEC/INPE, [s. d.]

Ocorreram dois anos com sequência de seis meses de precipitação acima do normal: 1956, de abril a setembro, sendo apenas um mês classificado como muito chuvoso e 1976, de abril a setembro, com cinco dos seis meses classificados com precipitação muito chuvoso, sendo o mês de maio classificado como um evento raro pelo diagrama boxplot.

Os anos de 1957, 1979 e 1983 ocorreram sequências de cinco meses de precipitação acima do normal: de julho a novembro de 1957, com três meses classificados como muito chuvoso, sendo o mês de setembro classificado como um evento raro pelo diagrama boxplot; de julho a novembro de 1979, com três meses classificados como muito chuvoso e; fevereiro a julho de 1983 onde os cinco meses foram classificados como precipitação muito chuvoso e dois deles como um evento raro de muita precipitação. Tais anos foram marcados por eventos de El Niño, sendo o ano de 1979 o El Niño foi classificado como moderado e os anos de 1957 e 1983 classificados como forte (CPTEC/INPE, [s. d.]; KAYANO & MOURA, 1986).

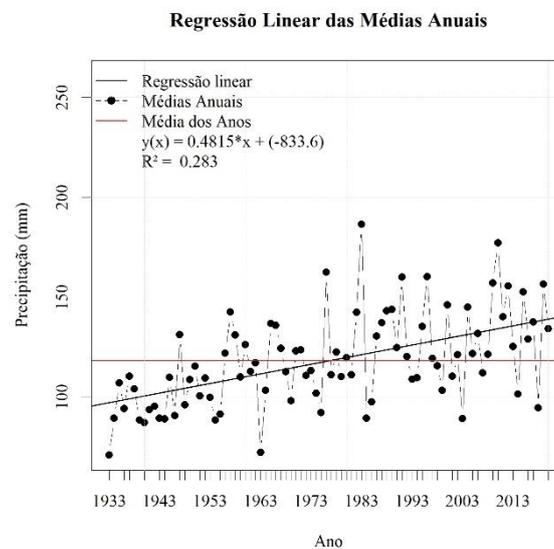
Figura 4. Classificação dos eventos mensais de precipitação.



Em relação às tendências, nota-se na Figura 5 que há uma tendência positiva, de aumento médio da precipitação anual de 508,43 mm, considerando o período de estudo. O resultado ilustrado na Figura 4, apresentava um indicativo desse aumento, principalmente pelo maior número de eventos extremos chuvosos. Essa tendência também foi observada no período entre 1960 e 2009 no estudo de Salvador e Santos (2010).

Conforme citado por Obregón *et al.* (2014), a mudança na tendência verificada ao final da década de 1950, tanto no índice pluviométrico anual quanto no sazonal, indica tratar-se de evidência da ocorrência da mudança climática abrupta e curta que ocorreu na Região Metropolitana de São Paulo. Sobretudo após 1960, verifica-se um aumento constante de precipitação na Região Metropolitana de São Paulo desde 1930, quando iniciaram os registros de chuvas na estação IAG/USP. Estudo realizado por Marengo *et al.* (2013) também indica tendência de aumento da precipitação para o mesmo local.

Figura 5. Tendência da precipitação anual através de regressão linear.



Avaliando os meses separadamente, nota-se que existem tendências diferentes para cada mês, indicando que há meses com maior contribuição para a elevação da tendência anual de precipitação (Tabela 3). A predominância é de tendências positivas, sendo que os meses de setembro e outubro apresentam pouca tendência de aumento de precipitação ao longo dos anos. O mês que apresenta maior tendência de aumento é janeiro, seguidos por fevereiro, julho e novembro. As altas tendências positivas nos meses mais chuvosos do ano, contribuem significativamente para o aumento da precipitação anual. Os demais meses também apresentam leve tendência de aumento de precipitação, sendo observado apenas o mês de agosto com leve tendência negativa de precipitação (Tabela 3). Tal resultado corrobora com o apresentado pela Figura 3, que apresentou as médias mensais em períodos de trinta anos, onde foi mostrado que os meses mais chuvosos dos anos apresentaram maior diferença entre as médias que os meses secos e o mês de agosto, que apresentou tendência levemente negativa, tem as médias dos conjuntos de 30 anos com valores mais próximos comparado aos demais meses.

Tabela 3. Tendência das médias mensais da precipitação de 1933 a 2020.

Mês	Inclinação	Aumento médio
Janeiro	1,3237	115,1619 mm
Fevereiro	1,2050	104,835 mm
Março	0,6710	58,377 mm
Abril	0,2685	23,3595 mm
Mai	0,3211	87,3211 mm
Junho	0,3151	27,4137 mm
Julho	0,3705	32,2335 mm
Agosto	-0,0158	-1,3746 mm
Setembro	0,1612	14,0244 mm
Outubro	0,0469	4,0803 mm
Novembro	0,7330	63,771 mm
Dezembro	0,3774	32,8338 mm

#### 4. CONCLUSÃO/ CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em termos sazonais a cidade de São Paulo apresenta um período seco no inverno com mínimo em agosto, onde foi encontrado o valor médio de 38,05 mm, ocorrendo um aumento nos totais precipitados durante a primavera e verão, com pico em janeiro (232,14 mm).

Todos os vinte e três outliers encontrados pelo diagrama são evento raros de precipitação muito alta, onde destaca-se os meses de seca com as maiores ocorrências de eventos raros. Nota-se também, maior concentração de outliers na segunda metade dos anos observados, que acumulou 80% dos outliers registrados.

A avaliação da média mensal de trinta anos de precipitação apontou maior diferença entre as normais climatológicas nos meses chuvosos. A média dos dados de 1990 e 2020 foi a maior na maioria dos meses, com destaque para janeiro e fevereiro. A média de 1933 a 1963 apresentou o menor valor para todos os meses. O mês de agosto apresentou a maior proximidade entre os valores.

Foi identificada uma maior concentração de eventos de precipitação classificados como muito secos nos primeiros anos de análise, ocorreu uma leve concentração de eventos abaixo do normal no primeiro quarto (de 1933 a 1954) dos anos analisados, que totalizam 33% dos eventos de precipitação classificados como muito secos. Já no último quarto dos anos (de 1999 a 2020) foram registrados 34% dos eventos de precipitação classificados como muito chuvosos.

A observação da precipitação anual, com a análise da regressão linear simples indicou uma tendência positiva, de aumento médio da precipitação anual de 508,43 mm, como já sugerido pelas análises de médias climatológicas, os anos de ocorrência de eventos raros de

muita precipitação (outliers do diagrama boxplot) e a classificação dos eventos mensais pela técnica dos limiares quantílicos. Com a análise das regressões dos meses separadamente, nota-se maior influência dos meses de chuva, com destaque para janeiro. Apenas o mês de agosto apresentou inclinação negativa, indicando tendência de diminuição na precipitação, ou seja, tornou-se ainda mais seco.

Portanto, de modo geral, as diferentes abordagens indicam o aumento da precipitação na cidade de São Paulo, principalmente devido a maior frequência de eventos extremos chuvosos mensais. Neste contexto, este estudo pode agregar informações sobre o padrão de precipitação em São Paulo em parâmetros mensais, bem como a classificação dos eventos, identificação de ocorrência de eventos raros e a tendência de precipitação anual e mensal, servindo como referência para estudos que necessitam de tais informações.

O estudo pode ainda ser útil em diversas áreas, incluindo e não se limitando ao planejamento urbano e a gestão de recursos hídricos. No planejamento urbano, ele pode ser usado para identificar áreas mais suscetíveis a enchentes e alagamentos, permitindo que decisões informadas sejam tomadas sobre onde construir infraestrutura de drenagem e saneamento. Na gestão de recursos hídricos, o estudo pode ajudar a compreender a disponibilidade de água na região, o que pode ser usado para tomar decisões sobre como gerenciar o uso da água em diferentes setores, incluindo agricultura, indústria e abastecimento de água potável. Além disso, o estudo pode servir como base para pesquisas futuras sobre os padrões de precipitação na região e seus impactos em diferentes setores e áreas além das citadas.

## 5. AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal do ABC. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão de bolsa de mestrado do primeiro autor, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de mestrado da segunda autora.

## 6. REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. **Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift**, [s. l.], v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ANA. **Conjuntura de Recursos Hídricos 2020**. Brasília: BRASIL, 2020.

AVANZI JÚNIOR, P. S. **Análise dos episódios excepcionais de precipitação e seus impactos no ambiente urbano de Presidente Prudente/SP**. Orientador: Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim. 139 f. TCC (Graduação) – Curso de Geografia, Departamento de Geografia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente - SP, 2022. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/217433>>. Acesso em: 05 mai. 2023.

BRASIL. IBGE | Cidades@ | São Paulo | São Paulo | **Panorama**. [S. l.: s. n.], 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-paulo/panorama>. Acesso em: 6 out. 2021.

BUSSAD, W. de O.; MORETTIN, P. A. **Estatística Básica**. 8. ed. São Paulo, SP: [s. n.], v. 51, 2013.

CPTEC/INPE. **El Niño e La Niña**. [S. l.: s. n.], [s. d.]. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 7 jul. 2021.

DE MEDEIROS, R. M., DE HOLANDA, R. M., DE FRANÇA, M. V., SABOYA, L. M. F., CUNHA FILHO, M., & DE ARAÚJO, W. R. **Variabilidade urbana em Recife-PE, por meio das contribuições: precipitação, temperatura e umidade relativa do ar**. Research, Society and Development, v.11, n.2, e28311225943-e28311225943, 2022. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/25943>. Acesso em: 21 abr. 2023.

DEVORE, J. L. **Probabilidade e Estatística para Engenharia e Ciências**. 6. ed. São Paulo, SP: Cengage Learning, 2006.

DIAS, M. A. F. S.; DIAS, J.; CARVALHO, L. M. V; FREITAS, E. D.; DIAS, P. L. S. **Changes in extreme daily rainfall for São Paulo, Brazil**. *Climatic Change*, [s. l.], v. 116, p. 705–722, 2013.

DIONISIO, C. B.; CARDOSO, A. D. O.; SOUZA, A. R. De. **PADRÕES E EXTREMOS DE VAZÕES NA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO**. In: II Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, [s. l.], n. 2016, 2021.

INMET. **Monitoramento de Precipitação**. [S. l.: s. n.], [s. d.]. Disponível em: <https://clima.inmet.gov.br/prec>. Acesso em: 19 abr. 2022.

KAYANO, M. T.; MOURA, A. D. **O El Niño de 1982-1983 e a precipitação da América do Sul**. *Revista Brasileira de Geofísica*, [s. l.], v. 4, p. 201–214, 1986.

MALHOTRA, S. K. **Culturas hortícolas e mudanças climáticas: uma revisão**. *Indian Journal of Agricultural Sciences*. v. 87, n. 01, Pg.12-22. 2017. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/312937658>>. Acesso em: 05 mai. 2023

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; SELUCHI, M. E.; CUARTAS, A.; ALVES, L. M.; MENDIONDO, E. M.; OBREGÓN, G.; SAMPAIO, G. **A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo**. *Revista USP*, [s. l.], n. 106, p. 31–44, 2015.

MARENGO, J. A.; VALVERDE, M. C.; OBREGON, G. O. **Observed and projected changes in rainfall extremes in the Metropolitan Area of São Paulo**. *Climate Research*, [s. l.], v. 57, n. 1, p. 61–72, 2013.

MELO, V. S. **Estudo da precipitação no Estado da Paraíba usando análises de séries temporais**. Orientador: Lourivaldo Mota Lima. 122 p. Tese de Doutorado em Engenharia Ambiental – Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, Centro de Ciências e Tecnologias, Campina Grande – PB, 2021. Disponível em: < <http://tede.bc.uepb.edu.br/jspui/handle/tede/4186>>. Acesso em: 05 mai. 2023.

MONTEIRO, J. B.; ROCHA, A. B.; ZANELLA, M. E. **Técnica Dos Quantis Para Caracterização De Anos Secos E Chuvosos (1980-2009)**: Baixo Curso Do Apodi-Mossoró/Rn. Geography Department, University of Sao Paulo, [s. l.], v. 23, n. 2012, p. 232–249, 2012.

OBREGÓN, G. O.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. **Rainfall and climate variability: Long-term trends in the Metropolitan Area of São Paulo in the 20th century.** Climate Research, [s. l.], v. 61, n. 2, p. 93–107, 2014.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P. da; AMBRIZZI, T. **Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica.** Revista Brasileira de Meteorologia, [s. l.], v. 25, n. 2, p. 185–204, 2010.

SALVADOR, M. D. A.; SANTOS, L. S. F. C. **Análise da Precipitação na Cidade de São Paulo.** Revista Brasileira de Climatologia, [s. l.], v. 7, n. 6, p. 151–168, 2010.

SANT, J. L.; NETO, A. **O clima como risco, as cidades como sistemas vulneráveis, a saúde como promoção da vida.** Cadernos de geografia, n. 30-31, p. 215-228, 2012.

SOBRAL, M. D. C. M., DE ASSIS, J. M. O., DE OLIVEIRA, C. R., DA SILVA, G. M. N., MORAIS, M., & CARVALHO, R. M. C. **Impacto das mudanças climáticas nos recursos hídricos no submédio da bacia hidrográfica do rio São Francisco–Brasil.** REDE-Revista Eletrônica do PRODEMA, v. 12, n. 03, 95-106, 2018.

SOUZA, A. R. De; CARDOSO, A. D. O. **Padrão de vazão da bacia do rio paraíba do sul: ESTAÇÃO PARAIBUNA.** II Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, [s. l.], p. 6, 2021.

TORI, S. A.; CARDOSO, A. de O.; DE SOUZA, A. R. **Padrão de vazão e extremos na parte baixa da bacia do rio paraná.** Simpósio em Clima, gua, Energia e Alimentos, [s. l.], n. 28, 2021.

UNITED NATIONS OFFICER FOR DISASTER RISK REDUCTION; **CRED – Centre for Research on the Epidemiology of Disasters.** The Human Cost of Weather-Related Disasters 1995-2015. Brussels; Geneve: CRED; EM-DAT; UNISDR, 2015. Disponível em: [www.undrr.org/publication/human-cost-weather-related-disasters-1995-2015](http://www.undrr.org/publication/human-cost-weather-related-disasters-1995-2015). Acesso em: 21 de abr. de 2023.

WILKS, D. S. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences.** 3. ed. v. 100. Oxford: Elsevier Inc., 2011.

XAVIER, T. de M. B.; XAVIER, A. F. S.; DIAS, M. A. F. da S.; DIAS, P. L. da S. **Interrelaes Entre Eventos ENOS (ENSO), a ZCIT (ITCZ) no Atlântico e a Chuva nas Bacias Hidrográficas do Ceará.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 111–126, 2003.



O conteudo deste trabalho pode ser usado sob os termos da licença Creative Commons Attribution 4.0. Qualquer outra distribuio deste trabalho deve manter a atribuio ao(s) autor(es) e o título do trabalho, citao da revista e DOI.