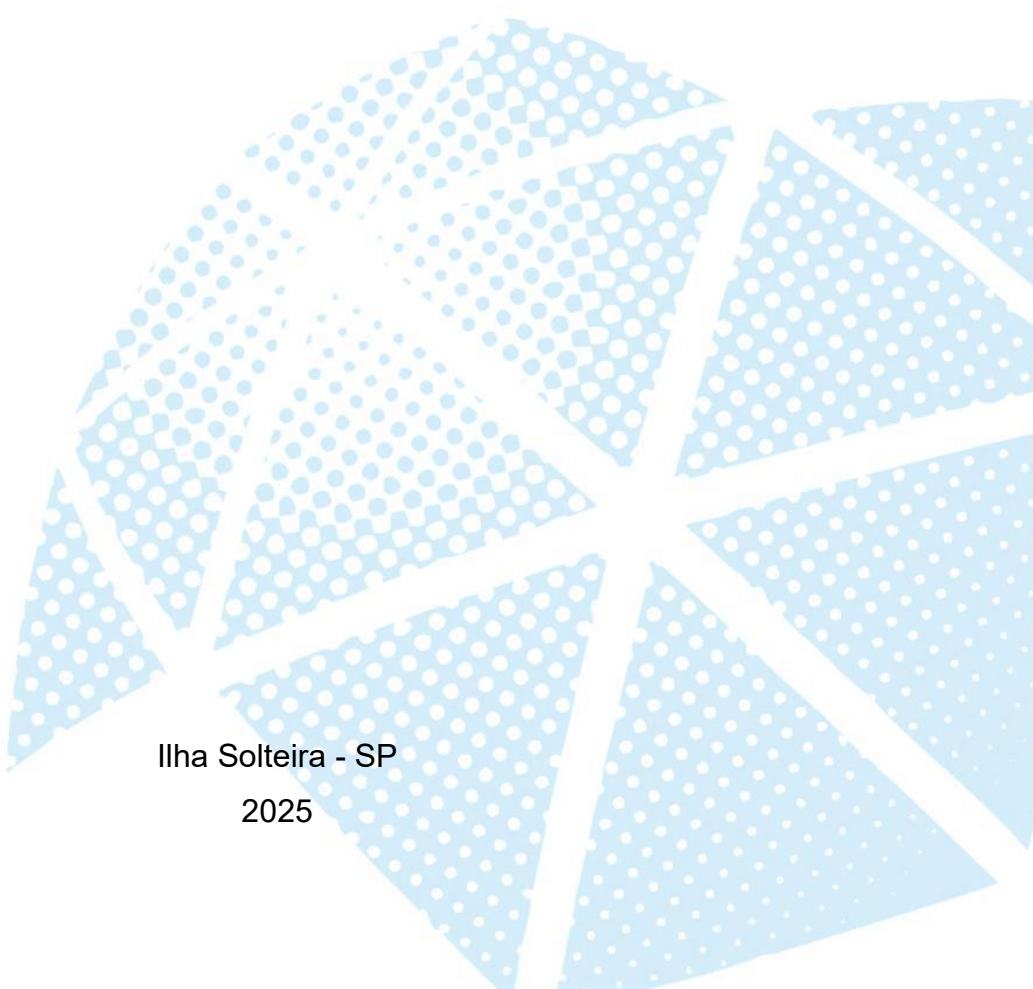


**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

MARIA CAROLINA ALBERTO BOTELHO DE ASSIS

**CARACTERIZAÇÃO DAS ENCHENTES NA CIDADE DE SÃO PAULO: Uma
Análise Hidrológica do Impacto da Urbanização e Aumento das Chuvas
Extremas.**

Ilha Solteira - SP
2025



MARIA CAROLINA ALBERTO BOTELHO DE ASSIS

**CARACTERIZAÇÃO DAS ENCHENTES NA CIDADE DE SÃO PAULO: Uma
Análise Hidrológica do Impacto da Urbanização e Aumento das Chuvas
Extremas.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Estadual
Paulista (UNESP), Faculdade de
Engenharia, Ilha Solteira, para obtenção
do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Engenharia Civil

Orientador: Prof. Dr. Jefferson Nascimento
de Oliveira

Ilha Solteira - SP

2025

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvida pela Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

A848c Assis, Maria Carolina Alberto Botelho de.
Caracterização das enchentes na cidade de São Paulo: uma análise
hidrológica do impacto da urbanização e aumento das chuvas extremas. / Maria
Carolina Alberto Botelho de Assis. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2025
72 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (GRaduação em Engenharia Civil) -
Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2025

Orientador: Jefferson Nascimento de Oliveira
Inclui bibliografia

1. Inundações. 2. Planejamento urbano. 3. Chuvas extremas. 4.
Vulnerabilidade socioambiental. 5. São Paulo.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Aluna: MARIA CAROLINA ALBERTO BOTELHO DE ASSIS

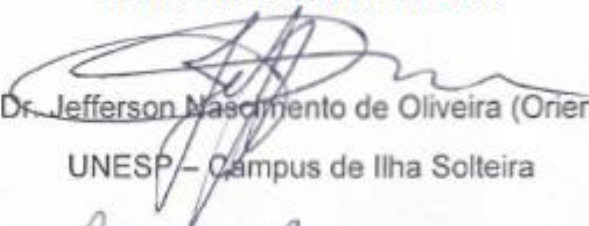
Título: " CARACTERIZAÇÃO DAS ENCHENTES NA CIDADE DE SÃO PAULO:

Uma Análise Hidrológica do Impacto da Urbanização e Aumento das Chuvas

Extremas."

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado como parte dos requisitos para obtenção do grau de Engenheiro Civil, junto ao Curso de Graduação em Engenharia Civil, da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus de Ilha Solteira

COMISSÃO EXAMINADORA


Prof. Dr. Jefferson Nascimento de Oliveira (Orientador)

UNESP – Campus de Ilha Solteira


Profª Drª Liliane Lazzari Albertin (Examinadora)

UNESP – Campus de Ilha Solteira


Prof. Dr. Lucas Menezes Felizardo (Examinador)

UNESP – Campus de Ilha Solteira

Ilha Solteira

15/12/2025

“O homem moldou o rio ao seu modo: colocou-o dentro de um cano e o escondeu de baixo da terra para não se ver na sujeira. Mas isso não mudou a natureza do rio. Quando a chuva cai, é pra lá que a água vai, e se não tiver espaço, ela toma o que for necessário.” (ENTRE RIOS, 2009)

RESUMO

Este trabalho realiza a análise da dinâmica das enchentes na cidade de São Paulo entre os anos 2013 e 2024, investigando a influência da urbanização e das mudanças no padrão de precipitação na ocorrência de inundações. A pesquisa contextualiza a história da expansão urbana da cidade que foi marcada pela ocupação das várzeas, impermeabilização do solo, canalização dos cursos d'água e ignorou as características naturais do relevo e a dinâmica das bacias hidrográficas. A literatura consultada demonstra que como resultado desses processos, ocorreu a alteração do ciclo hidrológico, intensificação do escoamento superficial e a ampliação da vulnerabilidade socioambiental, principalmente nas periferias. Como procedimento metodológico, adotou-se uma abordagem qualiquantitativa utilizando dados diários e horários de precipitação fornecidos pelo INMET e CGE, bem como os registros de inundações disponíveis no GeoSampa, e foram organizados e analisados em softwares estatísticos e geográficos para mapear a distribuição temporal e espacial dos eventos. Os resultados apresentam um aumento significativo na frequência de inundações ao longo do período analisado, e a intensificação dos eventos nas regiões periféricas, principalmente nas áreas de várzea e com grande densidade de cursos d'água. A Subprefeitura de São Miguel Paulista se destaca como o território mais vulnerável em decorrência dos eventos frequentes mesmo em dias com baixos acumulados de chuva, o que evidencia a influência do escoamento das microbacias a montante e do efeito de remanso do Rio Tietê. A análise pluviométrica revelou a distribuição desigual da chuva e a manutenção da frequência de eventos intensos, compatível com as pesquisas que apontam a substituição da precipitação estratiforme por tempestade convectiva e à influência das Ilhas de Calor Urbano. Conclui-se que a combinação entre urbanização desordenada, impermeabilização e alteração no clima local intensifica o risco de desastres hidrológicos, reforçando a necessidade de investimento em políticas públicas eficazes para adaptação e mitigação que integrem planejamento urbano, drenagem sustentável e justiça socioambiental.

Palavras-chave: inundações; planejamento urbano; chuvas extremas; vulnerabilidade socioambiental; São Paulo.

ABSTRACT

This work analyzes the dynamics of floods in the city of São Paulo between 2013 and 2024, investigating the influence of urbanization and changes in precipitation patterns on the occurrence of inundations. The research contextualizes the history of the city's urban expansion, which was marked by the occupation of floodplains, soil sealing, and canalization of watercourses, ignoring the natural characteristics of the relief and the dynamics of river basins. The literature consulted demonstrates that, as a result of these processes, there was an alteration in the hydrological cycle, intensification of surface runoff, and amplification of socio-environmental vulnerability, especially in the peripheral areas. As a methodological procedure, a qualitative-quantitative approach was adopted using daily and hourly precipitation data provided by INMET and CGE, as well as flood records available on GeoSampa, which were organized and analyzed in statistical and geographic software to map the temporal and spatial distribution of events. The results present a significant increase in the frequency of floods throughout the analyzed period, and the intensification of events in peripheral regions, mainly in floodplain areas with high density of watercourses. The Subprefecture of São Miguel Paulista stands out as the most vulnerable territory due to frequent events even on days with low rainfall accumulation, which highlights the influence of runoff from upstream micro-basins and the backwater effect of the Tietê River. The pluviometric analysis revealed the unequal distribution of rainfall and the maintenance of the frequency of intense events, consistent with research pointing to the replacement of stratiform precipitation by convective storms and the influence of Urban Heat Islands. It is concluded that the combination of disorderly urbanization, soil sealing, and local climate change intensifies the risk of hydrological disasters, reinforcing the need for investment in effective public policies for adaptation and mitigation that integrate urban planning, sustainable drainage, and socio-environmental justice.

Keywords: floods; urban planning; extreme rainfall; socio-environmental vulnerability; São Paulo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Rede de drenagem e subdivisões de bacias hidrográficas no contexto administrativo da capital paulista.....	30
Figura 2 - Climograma do município de São Paulo (médias históricas).	31
Figura 3 - Total anual de solicitações de atendimento da Defesa Civil por tipo de evento hidrológico (2013-2024).	41
Figura 4 - Recorrência temporal de eventos de inundação e alagamento no município de São Paulo (2013-2024).	41
Figura 5 - Frequência de Dias com Ocorrências de Inundação e Alagamento (2013-2024)	43
Figura 6 - Evolução Anual - Dias de Estiagem vs. Dias com Chuva $\geq 20\text{mm}$	44
Figura 7 - Registros Diários de Precipitação $\geq 20\text{mm}$ por Subprefeitura (2013-2024)	45
Figura 8 - Quantidade de precipitações acumuladas $\geq 20\text{mm/h}$ (2013-2024).....	46
Figura 9 - Frequência de Inundações e Alagamentos por Faixa de Chuva (2013-2024)	47
Figura 10 - Frequência de Inundações por Faixa de Chuva – Distribuição Espacial	50
Figura 11 - Rede de drenagem, reservatórios de amortecimento e áreas de risco hidrológico na Zona Leste, com destaque para São Miguel Paulista.	53
Figura 12 - Mapeamento de eventos de precipitação intensa e seus impactos territoriais nos anos de 2015 e 2016.	59
Figura 13 - Solicitações de Ocorrência de Inundação em São Miguel Paulista em 24 de fevereiro de 2016.	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Síntese comparativa entre índices pluviométricos, registros de alagamentos oficiais e repercussão na mídia para eventos extremos de 2015 e 2016.	56
--	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVO GERAL.....	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3	REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1	CONCEITOS E DEFINIÇÕES	16
3.2	INUNDAÇÕES E INFLUÊNCIAS HISTÓRICAS DA URBANIZAÇÃO	19
3.3	ALTERAÇÕES NO PADRÃO DE CHUVAS	23
4	METODOLOGIA	28
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	28
4.1.1	O Município de São Paulo	28
4.1.2	Aspectos Físicos	28
4.1.3	Aspectos hidrológicos	29
4.1.4	Aspectos Climáticos	31
4.1.5	Aspecto Histórico da Urbanização	32
4.2	MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	34
4.2.1	Materiais	34
4.2.2	Procedimento Metodológico	36
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5.1	PANORAMA DOS IMPACTOS: RELAÇÃO ENTRE EVENTOS CRÍTICOS E OCORRÊNCIAS REGISTRADAS.....	39
5.2	A DINÂMICA CLIMÁTICA: ESTIAGEM E EVENTOS EXTREMOS.....	44
5.3	ANÁLISE DE DIAS CRÍTICOS: A DISCREPÂNCIA ENTRE O MONITORAMENTO OFICIAL E A REALIDADE LOCAL	55
5.3.1	Estudo de Caso: 16 e 17 de março de 2015	57
5.3.2	Estudo de Caso: 24 de fevereiro de 2016.....	61
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
	REFERÊNCIAS.....	67

1 INTRODUÇÃO

A cidade de São Paulo, uma das maiores metrópoles do Brasil, sofre todos os anos com os impactos das inundações, principalmente no período chuvoso. Segundo a matéria da Folha de S. Paulo (SÃO PAULO revive..., 2020), há mais de 90 anos os alagamentos vêm ocorrendo nos mesmos lugares, e o cruzamento dos dados atuais com registros históricos mostrou que os pontos de alagamento de hoje coincidem com as áreas atingidas pelas grandes enchentes dos anos 1887 e 1929. A mancha de inundação atual, mesmo após as obras de canalização feitas nos rios Tietê e Pinheiros, é semelhante à da época em que os rios ainda tinham suas curvas naturais (meandros), o que mostra que a água continua ocupando o espaço que sempre foi seu.

A percepção de quem vive o problema de perto confirma a situação. Na reportagem (SÃO PAULO revive..., 2020), relatos de moradores e comerciantes da região do Rio Tamanduateí mostram que a situação até mesmo piorou nas últimas décadas, e que há casos em que a água sobe mais de 1,5 metro durante as ocorrências de transbordamento do rio. Um relato que chama a atenção é o de que, mesmo quando não chove forte no local, o nível do rio ainda sobe e pode causar inundações, bastando apenas uma chuva intensa em outros trechos localizados mais próximos à cabeceira, na Região Metropolitana. Isso ocorre pela combinação de dois fatores: primeiro pelo escoamento de montante para jusante da água da chuva que cai mais próximo à cabeceira (no caso do Rio Tamanduateí, fica na região do ABC Paulista), segundo pelo efeito de remanso, que ocorre quando o canal principal de um rio atinge sua capacidade máxima e impede o escoamento, fazendo com que a água retorne e transborde, sendo comum para o tipo de canalização adotada ao longo da urbanização da cidade.

A forma como a cidade se expandiu, ocupou e modificou o espaço geográfico, somado à canalização e retificação de seus rios, teve como resultado importante o agravamento dos impactos das cheias. Naturalmente o relevo da cidade de São Paulo é composto por colinas e fundos de vale, sendo esse território atravessado por uma rica rede de rios de meandros que sazonalmente inunda as áreas de várzea. Por esse motivo, inicialmente a ocupação ocorreu nas colinas e os rios eram utilizados apenas para transporte e comércio, além de serem locais de descarte de esgoto.

Posteriormente, com a implantação das ferrovias, as indústrias e pessoas começaram a ocupar as várzeas e fundos de vale, o que fez com que o solo ficasse cada vez mais impermeabilizado. A partir daí, surgiu a necessidade de valorizar as terras, e sob a justificativa de melhorar a salubridade devido aos riscos de propagação de doenças, os rios passaram a ser tratados como obstáculos e não como parte da paisagem. A solução priorizada foi retificar os rios e esconder os córregos, principalmente com a ascensão dos automóveis, em que houve a necessidade de abrir espaço para os carros com as Avenidas Fundo de Vale.

O Plano de Avenidas elaborado em 1930 foi a proposta definitiva de retificar e canalizar definitivamente os rios e córregos, construindo a cidade por cima das águas, ao invés de respeitar seu espaço e a dinâmica do relevo. A mudança de paisagem, de várzea que absorvia água, para o asfalto impermeabilizado das Marginais, fez com que os rios ficassem escondidos se tornando apenas um canal de esgoto e energia. Apesar de que, por muito tempo, acreditou-se que obras de engenharia como retificação e canalização resolveriam tudo, a água continua retornado às áreas naturais de várzeas, provando que o modelo de urbanização falhou em conter a natureza.

Entretanto, os impactos gerados por esse modelo não são os mesmos para todas as áreas da cidade. Na região das áreas centrais e avenidas marginais, o prejuízo de uma inundação em decorrência de uma enchente de um rio canalizado é financeiro e interfere na mobilidade urbana. Já na periferia, em várzeas e áreas de preservação ocupadas por pessoas, os prejuízos são perdas das casas, maior circulação de doenças hídricas e risco de morte.

Nessa segunda área, a urbanização ocorreu de forma desordenada e com um planejamento de infraestrutura precário ou inexistente, e as pessoas com menos condições financeiras foram empurradas para as áreas de risco justamente por serem desvalorizadas em decorrência das inundações, agravando ainda mais o cenário a partir de 1950, quando São Paulo teve um grande salto de crescimento populacional. Dessa forma, as áreas periféricas que possuem um IDH menor, sofrem impactos mais graves e com mais perdas, estão mais expostas ao risco e mais vulneráveis às inundações, e possuem uma menor capacidade de resiliência.

Somado ao problema da urbanização e ocupação das várzeas, a percepção popular, de acordo com relatos da reportagem da Folha de S. Paulo (SÃO PAULO revive..., 2020), de que a situação comum tenha piorado, também se deve a um

segundo agravante: de acordo com pesquisas (SILVA DIAS et al., 2013; MARENGO; VALVERDE; OBREGON, 2013), houve uma mudança no padrão de chuvas da cidade nas últimas décadas. Segundo o artigo da Revista Pesquisa Fapesp (PIVETTA, 2012), os temporais se tornaram mais frequentes e a chuva na cidade aumentou 30% no período analisado de 80 anos. Ocorrem menos dias de chuva fraca (<5mm) e mais dias de tempestades intensas. Isso faz com que não apenas a quantidade de chuva tenha mudado, mas também o padrão, fazendo com que a “Terra da Garoa” venha se tornando “A Megalópole da Tempestade”.

A urbanização não apenas impermeabilizou o solo, mas também aumentou o calor absorvido pela superfície e liberado durante a noite para a atmosfera, fazendo com que áreas urbanizadas sejam mais quentes que áreas com vegetação. Por esse motivo, estudos detectaram a formação de Ilhas de Calor Urbanas na cidade de São Paulo, que funcionam como um ímã que favorece a ocorrência de tempestades. Outro fator que afeta a precipitação na cidade é a Brisa Marinha proveniente da Baixada Santista, que sobe a Serra do Mar e atinge a metrópole no meio para o fim da tarde.

Estudos indicam que a temperatura do Oceano Atlântico no litoral aumentou 1°C entre 1950 e 2010 (SILVA DIAS et al., 2013), e por consequência, faz com que a Brisa Marinha também chegue com mais energia e umidade, e ao encontrar o calor proveniente da Ilha de Calor Urbana de São Paulo, aumente as chances da formação de tempestades convectivas principalmente na época de verão, no fim da tarde. Um dado importante apontado por estudo (MARENGO; VALVERDE; OBREGON, 2013), é que esse padrão de chuvas (redução dos dias com menos acumulado de chuva e aumento dos dias de chuva intensa) vem sendo observado desde meados da década de 1950, quando se iniciou a expansão urbana acelerada na cidade.

Além do fenômeno das Ilhas de Calor Urbanas e do aquecimento do oceano que interfere na Brisa Marítima, outro fator típico da metrópole interfere na formação das nuvens: a poluição atmosférica. Os aerossóis funcionam como 'núcleos' de condensação que alteram a formação das gotas de chuva. A grande quantidade de poluentes faz com que a água seja dividida em gotículas muito pequenas, que sofrem supressão e permanecem suspensas, inibindo a chuva leve. No entanto, conforme essas nuvens continuam crescendo e acumulando energia na atmosfera, elas acabam gerando tempestades muito mais intensas e concentradas quando finalmente precipitam.

As projeções climáticas para as próximas décadas indicam um agravamento nesse cenário. Um estudo recente (MARENGO et al., 2021), indica que o aquecimento global deve intensificar ainda mais os eventos extremos na região, pois os modelos climáticos indicam que, em projeções de aumento na temperatura do planeta de 1,5°C a 4,0°C, a frequência dos eventos extremos vai aumentar no Sudeste. Logo, o risco de desastres como deslizamentos de terra e inundações aumentará significativamente em áreas que já são historicamente vulneráveis, aumentando ainda mais a necessidade de medidas mitigadoras e planejamento a longo prazo para adaptação tanto da realidade presente quanto para o cenário futuro.

O presente trabalho justifica-se pela necessidade em compreender a dinâmica das enchentes e seus impactos em decorrência das inundações na cidade de São Paulo, que de eventos naturais se tornaram fenômenos socioambientais complexos agravados pela interação entre a urbanização da cidade e as alterações no padrão de chuvas. As obras de engenharia civil tradicionais, como canalizações e piscinões, historicamente não se mostraram eficazes para conter as inundações, sendo insuficientes para mitigar os impactos dos eventos extremos e previsões futuras, sendo de grande importância analisar como a estrutura urbana de São Paulo está interferindo na dinâmica do clima local. Entender a relação entre urbanização, ilhas de calor e padrões de chuva é fundamental para considerar novas políticas públicas de planejamento urbano e gestão de riscos, não apenas para evitar transtornos na mobilidade e danos materiais, mas principalmente para a proteção da população que reside nas áreas mais vulneráveis.

Inicialmente, a Revisão de Literatura estrutura o trabalho conectando o histórico de ocupação das várzeas e impermeabilização do solo na cidade de São Paulo às alterações no padrão de chuvas, levando em consideração a influência das Ilhas de Calor Urbanas no microclima. Em seguida, o capítulo de Metodologia detalha a abordagem qualiquantitativa adotada para realizar o mapeamento das ocorrências das inundações entre 2013 e 2024, descrevendo o tratamento dos dados e a complementação com registros jornalísticos. Ao final, o capítulo de Resultados e Discussão apresenta a correlação entre a variabilidade pluviométrica e distribuição espacial das inundações, evidenciando a vulnerabilidade das regiões da cidade frente à intensificação dos eventos extremos.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Caracterizar a dinâmica de inundações e alagamentos na cidade de São Paulo no período de 2013 a 2024 relacionando a distribuição espacial das ocorrências com os padrões de precipitação extrema e o processo de urbanização.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcançar o Objetivo Geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Contextualizar o processo histórico da urbanização da cidade de São Paulo, com foco na ocupação das várzeas e impermeabilização do solo como fatores agravantes da vulnerabilidade a inundações;
- Investigar a influência de fatores climáticos locais, como Ilhas de Calor Urbana e poluição atmosférica), e globais na alteração do padrão de chuvas, como intensificadores dos eventos convectivos;
- Analisar a correspondência entre os volumes de chuva registrados e impactos que afetaram a cidade, mapeando as áreas de alagamentos e inundações por meio do cruzamento de registros de ocorrências e dados pluviométricos com registros documentais e jornalísticos.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 CONCEITOS E DEFINIÇÕES

Uma das infraestruturas essenciais para o ambiente urbano são as redes de drenagem, pois com a modificação do solo, é necessário direcionar as águas pluviais para um destino adequado, de forma a evitar seu acúmulo nas regiões ocupadas. De acordo com Santos e Ohnuma Jr. (2021), durante o processo de urbanização, o ciclo hidrológico (processo em que a água em diferentes fases circula entre a superfície terrestre e a atmosfera) é alterado com a remoção da vegetação, o que interfere não apenas na redução da capacidade de infiltração, mas também na evapotranspiração, na interceptação vegetal e no armazenamento superficial.

Segundo os autores (SANTOS; OHNUMA JR., 2021), os processos de regularização de superfícies e introdução dos sistemas de drenagem também contribuem para essa alteração, de modo que o nivelamento do terreno elimina as depressões naturais, o que faz com que o padrão de escoamento superficial seja modificado, ocorrendo um aumento das vazões máximas e da velocidade dos escoamentos superficiais, o que antecipa o pico das cheias.

No ambiente natural, as cheias dão origem às enchentes e são essenciais para sustentação dos ecossistemas, mas com a ocupação urbana, o fenômeno natural das enchentes (o aumento de nível) é agravado, fazendo com que a água transborde o nível máximo da calha. Esse transbordamento, Santos e Ohnuma Jr. (2021) definem como inundação, e pode ser capaz de gerar alagamentos.

Os autores definem textualmente a diferença crucial:

Inundações e Alagamentos – Termos similares utilizados para fins específicos, relacionados, respectivamente, com os extravasamentos de sistemas fluviais ou canais principais de **MACRODRENAGEM**, na escala da bacia (no caso das inundações) e com as falhas na rede de **MICRODRENAGEM**, na escala local de captação e condução das águas pluviais (no caso dos alagamentos). (SANTOS; OHNUMA JR., [2021], p. 194).

Segundo Tucci (2008), existem dois tipos de inundações que podem causar impacto no meio urbano, uma delas é a inundação das áreas ribeirinhas, que ocorrem em bacias médias e grandes (superiores a 100 km²). O autor descreve que os rios possuem dois leitos, e esse tipo de inundação ocorre quando o nível do escoamento

atinge o leito maior, sendo as cotas do mesmo um identificador da magnitude e risco do evento. Dessa forma, os problemas ocorrem quando há ocupação da área de risco pela população. Já o segundo tipo, se trata da inundação como consequência da urbanização, que são eventos locais que ocorrem em bacias pequenas (menores que 10 km²). Diferente dos extravasamentos que invadem as várzeas, essa inundação ocorre devido à impermeabilização do solo e à canalização dos rios, sendo capazes de aumentar a frequência e a vazão máxima de cheias em até 7 vezes, além de serem agravadas pela obstrução do escoamento.

Tucci (2008) também ressalta outros impactos importantes provocados pela urbanização além dos apresentados por Santos e Ohnuma Jr. (2021), como o aumento da produção de sedimentos pela falta de proteção das superfícies e deposição de resíduos sólidos que obstruem rios, canais e condutos. A desorganização na implantação da infraestrutura urbana também traz impactos relevantes, como a obstrução do escoamento por pontes e taludes, a redução da seção devido às construções de aterros de pontes e a drenagem inadequada em que os diâmetros diminuem a jusante ou que não possuem esgotamento.

Além da impermeabilização e infraestrutura urbana, os eventos de inundação podem ser potencializados dependendo da localização em que ocorrem numa bacia hidrográfica. O escoamento superficial da precipitação que não foi infiltrado ou interceptado, converge para um ponto comum de drenagem devido às declividades naturais do terreno, e esse processo define a área de contribuição da bacia (MONTEIRO JÚNIOR, 2012). Em condições naturais, a água se desloca lentamente até os cursos d'água regulando as vazões de cheia, mas em áreas densamente urbanizadas cuja impermeabilização é alta, as perdas são reduzidas e o escoamento acelerado, o que produz hidrogramas mais inclinados e picos de vazão muito elevados.

Portanto, o intervalo necessário para que a água precipitada no ponto mais distante da bacia alcance a sua seção de saída, denominado tempo de concentração, é encurtado com o aumento da velocidade dos escoamentos, fazendo com que o pico de cheia aconteça de forma mais rápida e intensa (MONTEIRO JÚNIOR, 2012). Isso faz com que regiões a montante, ao escoarem rapidamente, passem a transmitir volumes maiores para regiões a jusante em um intervalo muito curto, intensificando os eventos de inundações. Assim, um parâmetro a se considerar quando diferentes partes de uma mesma bacia apresentam graus distintos de risco é a relação ente

escoamento, área de contribuição e tempo de concentração. Locais a montante, ao receberem altos índices pluviométricos, rapidamente escoam a água excedente para as regiões a jusante, que funcionam como zonas de acumulação, e são mais vulneráveis ao transbordamento dos sistemas de macrodrenagem.

Ainda segundo Monteiro Júnior (2012), um fenômeno hidráulico importante para a compreensão das inundações é o efeito de remanso. Trata-se de um processo que ocorre quando o escoamento de um canal tributário (afluente) encontra o canal principal que já está no limite de sua capacidade, em nível elevado. Isso funciona como uma barreira hidráulica que impede a saída de água do afluente, causando uma onda de represamento que se propaga para trás (a montante). Esse fenômeno pode ocorrer tanto em canais abertos quanto em galerias fechadas, e provoca inundações em áreas mais baixas mesmo que a chuva local não tenha sido crítica, apenas em decorrência da cheia do rio principal.

Em grandes centros urbanos que passaram por crescimento espontâneo, o planejamento desigual foi realizado para as áreas ocupadas pela população de renda média e alta (definido por Tucci (2008) como cidade formal) enquanto uma parte importante da população ocupa áreas de risco em que a infraestrutura é precária (definido pelo autor como cidade informal). A gestão urbana, em grande parte, é voltada para a cidade formal, e o setor mais vulnerável às inundações e alagamentos é a população da cidade informal em decorrência da falta de infraestrutura e a ocupação de várzeas de rios.

Comumente localizadas em áreas de encostas, morros e regiões inundáveis devido à marginalização econômica e estrutural, as habitações informais são transformadas em áreas de risco ecológico. Jatobá (2011) aponta que a precariedade construtiva das habitações intensifica a degradação ambiental, o que potencializa os riscos à população que vivem nesses locais. Isso reflete na condição econômica dos habitantes, visto que a urbanização precária aumenta os riscos para a população vulnerável e a vulnerabilidade aos impactos aumenta com o aumento da desigualdade social.

De forma análoga, Apollaro e Alvim (2017) definem vulnerabilidade como sendo a suscetibilidade que um sistema possui aos impactos causados por um evento climático e a capacidade de lidar com eles, levando em consideração a exposição das pessoas ou serviços que estão em áreas que podem ser alvo, a sensibilidade e a capacidade adaptativa. As autoras também apontam que além da adaptação, que

atua sobre os efeitos e vulnerabilidades a curto e médio prazo, também é muito importante a mitigação, que atua sobre as causas com foco no longo prazo.

Quando a vulnerabilidade social encontra os perigos relacionados a inundações e chuvas extremas ocorrem os desastres, e para Raju, Boyd e Otto (2022), a vulnerabilidade é construída devido a um produto de processos sociais e políticos que criam desigualdades estruturais. Lahsen e Ribot (2022) afirmam que apontar apenas os eventos climáticos (chuvas extremas) como causa dos desastres (inundações e alagamentos), é ignorar as fragilidades existentes anteriormente, pois se trata de uma análise separada das perdas e danos que dependem das condições locais, conforme colocado por Jatobá (2011) e Apollaro e Alvim (2017).

Conforme apontado por Castro e Alvim (2022), com base em dados do Cemaden, a região Sudeste concentra a maior quantidade de áreas com risco de inundações e deslizamentos no Brasil, e 36% das pessoas expostas aos riscos viviam com renda per capita de até meio salário-mínimo, o que evidencia uma segregação socioespacial. De acordo com o levantamento do IBGE publicado no jornal Folha de S.Paulo (FAVELAS..., 2024), 15% da população da cidade de São Paulo reside em favelas. De acordo com um estudo recente feito por Sandre (2025), o aumento da área construída em terrenos suscetíveis a inundações na Região Metropolitana de São Paulo é influenciado por fatores socioeconômicos. O fator socioeconômico como agravante de vulnerabilidade, é evidenciado pelos estudos de Malagodi e Peloggia (2013) e Oliveira (2018) sobre locais que frequentemente são impactados como o Jardim Helena e o Jardim Pantanal, ambos na Subprefeitura de São Miguel Paulista.

De acordo com o geólogo e ex-diretor do IPT, Álvaro Rodrigues dos Santos (2013), em artigo na Folha de S. Paulo, os principais fatores que agravam as inundações na capital são a alta taxa de impermeabilização do solo, a canalização excessiva dos cursos d'água e o acelerado processo de assoreamento do sistema de drenagem. Portanto, antes de analisar o contexto climático, torna-se fundamental considerar o histórico da urbanização e das políticas de gestão de águas na cidade de São Paulo.

3.2 INUNDAÇÕES E INFLUÊNCIAS HISTÓRICAS DA URBANIZAÇÃO

Para compreender o impacto das inundações em São Paulo, é importante considerar as características originais do local onde a cidade foi construída. De acordo

com o geógrafo Aziz Ab'Saber, essas características consistem em um conjunto de colinas, terraços fluviais e planícies de inundação (várzeas), sendo a cidade cortada por rios e córregos (FRANCO, 2005)

O geógrafo define os elementos topográficos de menor altitude como planícies de inundações sujeitas a enchentes anuais (718-722m) ou periódicas (722-724m) e terraços fluviais de baixadas relativamente enxutas (730m), sendo os terrenos acima dessas cotas, colinas e áreas altas. Essa geografia condicionou o crescimento da cidade e, devido à ação humana, encontra-se em contínua transformação ao longo do tempo. De acordo com Franco (2005), até no início do século XX a ocupação esteve concentrada acima da cota 730m, nas colinas e espigão central, pois já era observado que os cursos d'água passavam por períodos naturais de enchentes.

Desde o século XVIII existem solicitações da população para que o governo da província resolvesse o problema causado pelas cheias sazonais do Rio Tamanduateí que acabavam resultando em inundações com prejuízos, e desde 1560 há registros de chuvas fora do comum que contribuíam com a magnitude dos eventos (MONTEIRO JÚNIOR, 2012), ou seja, a prioridade da ocupação inicial foram as colinas, mantendo as várzeas e fundos de vale em segundo plano. Nesse período, as cheias afetavam menos as moradias e mais as atividades funcionais ligadas ao porto e ao comércio.

No final do século XIX esse padrão de ocupação foi modificado, e a construção da malha ferroviária juntamente com implantação de infraestruturas encontraram oportunidade no baixo custo das terras e principalmente na topografia plana das várzeas que favoreciam o desempenho dos trens (FRANCO, 2005). Isso também trouxe uma oportunidade de desenvolvimento, atraindo também a instalação de indústrias e bairros operários.

Segundo levantamento do grupo de pesquisa Hímaco (Unifesp), citado pela Folha de S.Paulo (SÃO PAULO revive..., 2020), a enchente de 1887 que ocorreu na Várzea do Carmo é considerada a primeira grande inundação a ocorrer após o início da ocupação das áreas de várzea. O evento marca o momento em que a expansão urbana começa a invadir o espaço natural das águas e o espaço construído passa a ser diretamente impactado pelo regime de cheias. Esta enchente teve causas naturais agravadas pela ocupação das várzeas, o que motivou as primeiras propostas formais de retificação motivadas pelo medo de epidemias.

Sabe-se que a prática de descarte inadequado de esgoto sem tratamento ocorria desde o início do século XVII, onde era despejado a céu aberto nas várzeas,

como na Várzea do Carmo, o que causava problemas sanitários (ZANON, 2013). Em decorrência disso, no início do século XX a incidência de epidemias como a da febre amarela contribuiu para que os cursos d'água fossem classificados como vetores de doenças. Assim, a necessidade de saneamento se tornou um forte motivo para as obras de retificação dos rios Tietê e Pinheiros (JORGE, 2012).

Em decorrência disso, a solução encontrada foi aterrar, lotear e vender as áreas de várzea de forma mercantilista (ZANON, 2013). De acordo com Monteiro Júnior (2012), por trás do discurso higienista existia um forte interesse pela valorização das terras, uma vez que a presença de córregos a céu aberto desvalorizava os locais. As várzeas, que antes eram vistas como fontes de recursos, passaram a ser encaradas como um obstáculo para o crescimento da cidade em decorrência das inundações e da insalubridade.

Nesse contexto, surgiu um conflito de interesses sobre o motivo das obras: de um lado, propostas de preservação de áreas para amortecimento de cheias (Saturnino de Britto); do outro, a retificação dos rios com foco na geração de energia (Cia. Light). Frente a esse impasse, aconteceu o maior evento de inundação já registrado na história de São Paulo: a enchente de 1929 (MONTEIRO JÚNIOR, 2012). Segundo o autor, após uma forte chuva, a Cia. Light abriu as comportas da represa de Guarapiranga com o objetivo de demarcar a área de inundação para obter as áreas que havia adquirido por meio de um decreto governamental. Isso causou uma enchente na várzea do rio Pinheiros e por efeito remanso atingiu também os rios Tietê e Tamanduateí.

Após o evento, houve o interesse de implantar avenidas de fundo de vale, aproveitando os terrenos baratos para criar o sistema rodoviário, transformando as marginais nos eixos da cidade e dos bairros industriais (FRANCO, 2005). Dessa forma, o Plano de Avenidas, elaborado por Prestes Maia a partir de estudos com Ulhôa Cintra, adotou a retificação dos rios com o objetivo de acelerar a saída de água e não reservar grandes áreas para cheias (MONTEIRO JÚNIOR, 2012), reforçando o interesse em transformar o território pela ocupação de infraestruturas, unindo saneamento, drenagem e circulação de automóveis (FRANCO, 2005).

A canalização dos rios Tietê e Pinheiros teve como objetivo o saneamento e energia, e principalmente, para criar espaço para as Avenidas Marginais, tendo o Rio Pinheiros sido canalizado pela Light para o projeto da Billings com a finalidade de reverter o curso d'água e gerar energia na usina de Cubatão (FRANCO, 2005). Já o

Tamanduateí, foi o primeiro a sofrer intervenções de retificação e emparedamento pela proximidade com o Centro Histórico, para dar lugar à Avenida do Estado e as indústrias.

Essa mudança aplicada pela engenharia revela, segundo Franco (2005), que o processo de urbanização de São Paulo desconsiderou as características naturais do relevo, e se desenvolveu ignorando a geografia do local. Monteiro Júnior (2012) aponta que, além disso, o dimensionamento das galerias não levou em consideração o aumento das vazões que ocorreria com a expansão urbana e causaria alagamentos constantes, e que mesmo os próximos planos urbanísticos, continuaram a propor uma malha viária que desconsiderava os aspectos geográficos, tratando a drenagem como secundária diante do interesse rodoviário.

Entre as décadas de 1940-1970, a cidade teve um crescimento muito acelerado, o que a fez se expandir para a periferia rapidamente sem que a infraestrutura acompanhasse o ritmo das construções. Isso contribuiu para que a população de baixa renda ocupasse as margens dos córregos e encostas, pois devido ao risco natural de inundação e deslizamentos, a terra passava a ter preços mais baixos pela desvalorização e falta de infraestrutura. (MONTEIRO JÚNIOR, 2012). Com isso surge a diferença no impacto social devido aos eventos climáticos. No centro, como nas Marginais e nos vales, as perdas acontecem no comércio e serviços, e na periferia, onde a urbanização avançou de forma precária sobre áreas de mananciais, é medida em números de vida perdidas em decorrência de inundações e escorregamentos de terra.

Atualmente, essa diferença pode ser observada nos territórios de risco relacionando ocupação e impacto. Na periferia da Zona Leste, distritos como Jardim Helena, sobretudo a área do Jardim Pantanal, ilustram a ocupação da várzea natural do Rio Tietê pela população de baixa renda, impulsionada pelo déficit habitacional a partir da década de 1980 (OLIVEIRA, 2018). Nesses locais, a urbanização avançou sobre áreas de preservação permanente que funcionam como bacias naturais de amortecimento, expondo os moradores a uma alta vulnerabilidade social e a riscos diretos à saúde e à moradia, diferentemente dos danos predominantemente econômicos verificados nas áreas centrais (MALAGODI; PELOGGIA, 2013).

Já na porção central da cidade, há por exemplo a Avenida Ricardo Jafet que foi implantada após a retificação e canalização da Bacia do Córrego Ipiranga nas décadas de 1960 e 1970, um processo que não eliminou o problema das inundações,

resultando em 82 eventos de inundação registrados entre 1965 e 2017, demonstrando os limites das soluções estruturais de engenharia, pois acreditava-se que a retificação, o aprofundamento e a canalização dos rios eram soluções para as inundações. Os prejuízos em decorrência dos eventos nesse local são concentrados na interrupção do tráfego e danos ao comércio (AMARAL; ROSS, 2020).

Outro ponto onde a urbanização intensa resultou em muita impermeabilização e verticalização é no centro histórico. Segundo o estudo de Zanon (2013), na região da Subprefeitura da Sé, esses fatores contribuem para a formação de ilhas de calor, o que intensifica as precipitações locais. Foram registrados 213 pontos de alagamento na região em 2009, concentrados justamente nas áreas de baixa declividade correspondentes às várzeas históricas dos rios Tamanduateí e Anhangabaú. Isso demonstra que o modelo de ocupação do centro não apenas sobrecarregou a drenagem existente, mas alterou a própria dinâmica climática local, aumentando a vulnerabilidade a alagamentos.

3.3 ALTERAÇÕES NO PADRÃO DE CHUVAS

A climatologia da cidade de São Paulo possui sazonalidade controlada por sistemas atmosféricos de grande escala atuantes na região onde está inserida (Sudeste do Brasil). Possui um ciclo anual de precipitação com máximos no verão e mínimos no inverno, influenciado pelo sistema de monção sul-americano. No verão, há atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), associada ao Jato de Baixos Níveis (JBN) a leste dos Andes que transporta ar quente e úmido da região amazônica para o sudeste da América do Sul, juntamente com a passagem de frentes frias. No inverno, a estação é mais seca, devido a atuação do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) que inibe a formação de nuvens profundas (REBOITA et al., 2010).

Além dos sistemas atmosféricos de grande escala, a Região Metropolitana de São Paulo também possui o regime de precipitação influenciado pela posição geográfica devido à proximidade com o oceano e a topografia de planalto que favorecem a entrada da brisa marítima, que ao interagir com o calor pode desencadear chuvas convectivas (SILVA DIAS et al., 2013). Segundo Silva, Pereira Filho e Hallak (2009), há uma distinção física clara entre as estações: enquanto no verão predominam os eventos convectivos (tempestades), no inverno a precipitação é

majoritariamente estratiforme (chuva leve e contínua), característica associada à tradicional garoa paulistana.

Recentemente, tem-se observado mudanças no padrão climatológico. Um estudo atualizado de Marengo et al. (2025) indica que as ondas de calor estão ocorrendo de forma mais intensa, frequente e duradoura em várias regiões da América do Sul. Na região de Sudeste do Brasil essas ondas de calor são caracterizadas por sistemas anômalos de alta pressão que facilitam a formação de uma cúpula de calor sobre o solo quente e seco, agravando os períodos de seca. O resultado são grandes períodos de estiagem devido a mudanças na circulação atmosférica.

Quando os bloqueios atmosféricos se dissipam, a atmosfera, que acumulou energia térmica e calor sensível no solo durante os dias de estiagem, se torna instável. A chegada de frentes frias sobre esse ambiente superaquecido atua como um gatilho, fazendo com que a precipitação ocorra na forma de tempestades convectivas intensas e de rápida duração, conforme Silva, Pereira Filho e Hallak (2009). Esse processo, somado ao aumento das temperaturas médias, resulta na diminuição das chuvas estratiformes (garoas) e altera o perfil climatológico da cidade de São Paulo de 'Terra da Garoa' para uma região suscetível a tempestades severas (MARENGO; VALVERDE; OBREGON, 2013).

Um fenômeno observado em grandes cidades é a formação das ilhas de calor urbano (ICU), e consiste em um contraste na temperatura do espaço urbano causado pela falta de áreas vegetadas em áreas densamente edificadas e industriais, o que afeta a circulação local do ar. Cavalcante et al. (2020) por meio de sensoriamento remoto identificou diferenças na temperatura da superfície em São Paulo, em que nas áreas centrais da cidade atingem de 34°C a 38°C, e as áreas vegetadas como Zoológico e Cantareira ficam entre 23°C a 28°C. Esses gradientes de temperatura afetam a circulação local do ar, juntamente com a poluição.

A urbanização influencia na dinâmica atmosférica local por meio de processos físicos relacionados à formação de chuvas intensas e localizadas. O aumento do calor e movimentos ascendentes dentro da Ilha de Calor Urbana em conjunto com a redução da umidade, causam a advecção da umidade no entorno da mancha urbana, funcionando como um ponto de convergência com a umidade trazida pela brisa marítima, intensificando os movimentos verticais e resultando em precipitações convectivas severas e altamente localizadas sobre a cidade. Isso promove alterações na distribuição espacial da chuva (SOUZA; RANGEL; CATALDI, 2017).

Ao avaliar a série histórica de precipitação (1933-2014), Souza, Rangel e Cataldi (2017) observaram que nas décadas 1980-1990 as mudanças podem estar relacionadas à variabilidade causada pelo El Niño-Oscilação Sul. A partir de 2000, a urbanização se mostra como o fator mais relevante, pois foi identificada uma diminuição de dias chuvosos e um aumento na intensidade de chuva máxima diária nos meses de verão, além do aumento de eventos de precipitação intensa a partir de 1990. Apesar disso, as médias de precipitação durante o verão não apresentaram aumento significativo, o que indica que a característica do padrão de chuvas mudou.

Silva Dias et al. (2013) observaram um aumento na frequência de chuvas intensas, com uma diferença de 150% entre as primeiras e últimas décadas do estudo na frequência de eventos entre 40 e 44 mm, e uma redução na frequência dos eventos inferiores a 4mm. Outro ponto apresentado é que houve um aumento de 99% no período seco (abril a setembro) correspondente a 2,5 mm/(dia,década), e no inverno, o número de dias com precipitação diária acima de 60 mm/dia aumentou significativamente após a década de 1970.

Em relação ao aumento da média de precipitação extrema, os autores (SILVA DIAS et al., 2013) observaram mudanças importantes no início da década de 1950, meados de 1970 e início da década de 1990, em comparação com o período de 1933-1950. Para os casos mais extremos (percentil 99%), na estação úmida (outubro a março), os índices climáticos de grande escala e o aumento na temperatura da superfície do mar influenciam somente 37% na variação no aumento da chuva. Portanto, outros fatores contribuem, como a presença da área urbana e seus efeitos como a formação de ilhas de calor urbanas e o papel da poluição do ar (partículas aerossóis) que interferem na microfísica das nuvens.

Em relação ao papel da poluição, Oliveira (2012) identificou um mecanismo de dupla ação na microfísica das nuvens devido ao impacto dos aerossóis atmosféricos, que agem como Núcleos de Condensação de Nuvens, aumentando a quantidade de gotículas de água em tamanho reduzido. Essa inibição impede que a chuva fraca (garoa) precipite de forma eficiente, ao mesmo tempo, essa carga de aerossóis faz com que as nuvens subam a altitudes mais elevadas, onde o congelamento libera calor latente adicional, potencializando a convecção e resultando em tempestades mais intensas e localizadas.

Marengo, Valverde e Obregon (2013) também identificam na série histórica (1930-2010) a mudança no regime pluviométrico de São Paulo. São confirmados

aumentos significativos no volume total de chuvas e na diminuição nas chuvas leves (entre 0,1 e 5mm) desde a década de 1930. Também foi observado que número de dias com precipitação acima de 50 mm/dia era quase nulo até a década de 1950, aumentando de 2 a 5 ocorrências anuais entre 2000 e 2010, indicando o aumento das tempestades após 1951 em paralelo com o aumento da urbanização.

O aumento das chuvas rápidas e concentradas, ao encontrar um solo altamente impermeável e problemas ambientais agravados (como alteração no clima local devido a temperaturas mais altas e poluição), tornam o local altamente vulnerável a alagamentos. De acordo com Zanon (2013), na área central da cidade, a baixa declividade combinada à extrema impermeabilização torna a drenagem lenta e impede a infiltração eficiente, o que transforma a chuva em escoamento superficial imediato. Logo, uma chuva intensa em poucos minutos pode causar o colapso da rede de drenagem, que não estava preparada para o padrão de chuva atual e intensa urbanização.

Enquanto a área central enfrenta problemas pela combinação entre impermeabilização e baixa declividade (ZANON, 2013), as regiões da Zona Leste representam o problema da vulnerabilidade socioambiental. O estudo de Malagodi e Peloggia (2013) sobre o assentamento Jardim Pantanal exemplifica a ocupação de planícies de inundação (várzeas) do Rio Tietê, onde o risco de inundação é determinado pela topografia e pela vulnerabilidade social da população residente.

Essa questão é reforçada por Oliveira (2018), que aponta a Zona Leste como uma área de alta vulnerabilidade social e de domínio fluvial, onde a ação da água é agravada por fatores como a gestão de comportas de barragens e a falta de capacidade de resposta do solo. Assim, a chuva intensa (convectiva) encontra no Centro um problema de drenagem artificial, e na Periferia, um problema de invasão do espaço natural do rio, ambos resultando em desastre.

Outra questão afetada frequentemente por alagamentos e inundações em decorrência de chuvas extremas é a mobilidade urbana. O Estudo de Mobilidade do Ministério das Cidades (BRASIL, 2017) identifica que inundações e alagamentos estão entre os principais riscos à mobilidade urbana, pois causa danos diretos à infraestrutura e a interrupção do desempenho operacional dos sistemas de transporte. A paralisação do transporte público e deterioração de pavimentos asfálticos geram um alto custo social e econômico para a sociedade.

As projeções climáticas para o final do século XXI (2100) apontam para uma intensificação do padrão analisado. Marengo, Valverde e Obregon (2013) observam um aumento na intensidade e frequência na precipitação total e de chuva pesada (R95P) na Região Metropolitana de São Paulo, e ao mesmo tempo a diminuição da frequência de eventos de chuva fraca (R5), mas também considera um aumento dos dias secos consecutivos (CDD), o que indica uma potencialização do padrão de chuva intensa e concentrada em poucos dias com longos períodos de seca entre os eventos. Essas tendências serão mais fortes e significativas ao longo do tempo, principalmente na segunda metade do século XXI (período de 2071 a 2100).

Esta projeção de longo prazo é refinada por Lyra et al. (2018), por meio de simulações em alta resolução (Eta 5 km), que alertam para a intensificação do paradoxo do clima local. No cenário de alta emissão (RCP 8.5), é indicada uma forte redução na precipitação total anual na Região Metropolitana de São Paulo, o que sugere uma tendência para um clima mais seco. Simultaneamente, as projeções revelam que a frequência e a intensidade das chuvas extremas (como o índice de precipitação máxima diária) devem aumentar significativamente durante o verão, confirmando a concentração de água em poucos eventos violentos.

Essa conjugação de menor precipitação total e aumento de extremos eleva o risco de desastres. Marengo et al. (2021) reforçam que mesmo em cenários de aquecimento global de 1.5°C a 2.0°C, o risco de inundações bruscas e deslizamentos de terra na Região Sudeste é significativamente maior. O estudo aponta que o aumento das chuvas extremas aumenta a vulnerabilidade, uma vez que essas chuvas excedem a capacidade de drenagem e infiltração de áreas densamente povoadas, exigindo a implementação urgente de políticas de adaptação territorial e de infraestrutura.

4 METODOLOGIA

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1.1 O Município de São Paulo

O município de São Paulo está localizado no Sudeste do estado de São Paulo, sendo esta a capital administrativa do estado. De acordo com o censo de 2024 do IBGE (2025), sua área é de 1.521,202 km², e sua população estimada é de 11.904.961 habitantes. Devido à sua extensão e complexidade, é subdividido em 31 subprefeituras e 96 distritos, sendo cada subprefeitura responsável por administrar os distritos que compõem suas áreas, e os distritos sendo a menor unidade administrativa municipal.

4.1.2 Aspectos Físicos

Por estar situada no Planalto Atlântico (mais especificamente no Planalto Paulistano), a região em que está inserida é delimitada pela Serra da Cantareira e pela Serrania de São Roque ao norte, e ao sul/sudeste pela Serra do Mar. A cidade está inserida no centro do Planalto Paulistano, região onde o relevo é suavizado, composto por morros divisores das sub-bacias dos rios Tietê, Tamanduateí e Pinheiros, e principalmente o Rio Tietê e seus afluentes desenvolvem importantes planícies aluviais, com uma várzea que pode chegar até 4.000 metros em alguns trechos (ALMEIDA, 2018).

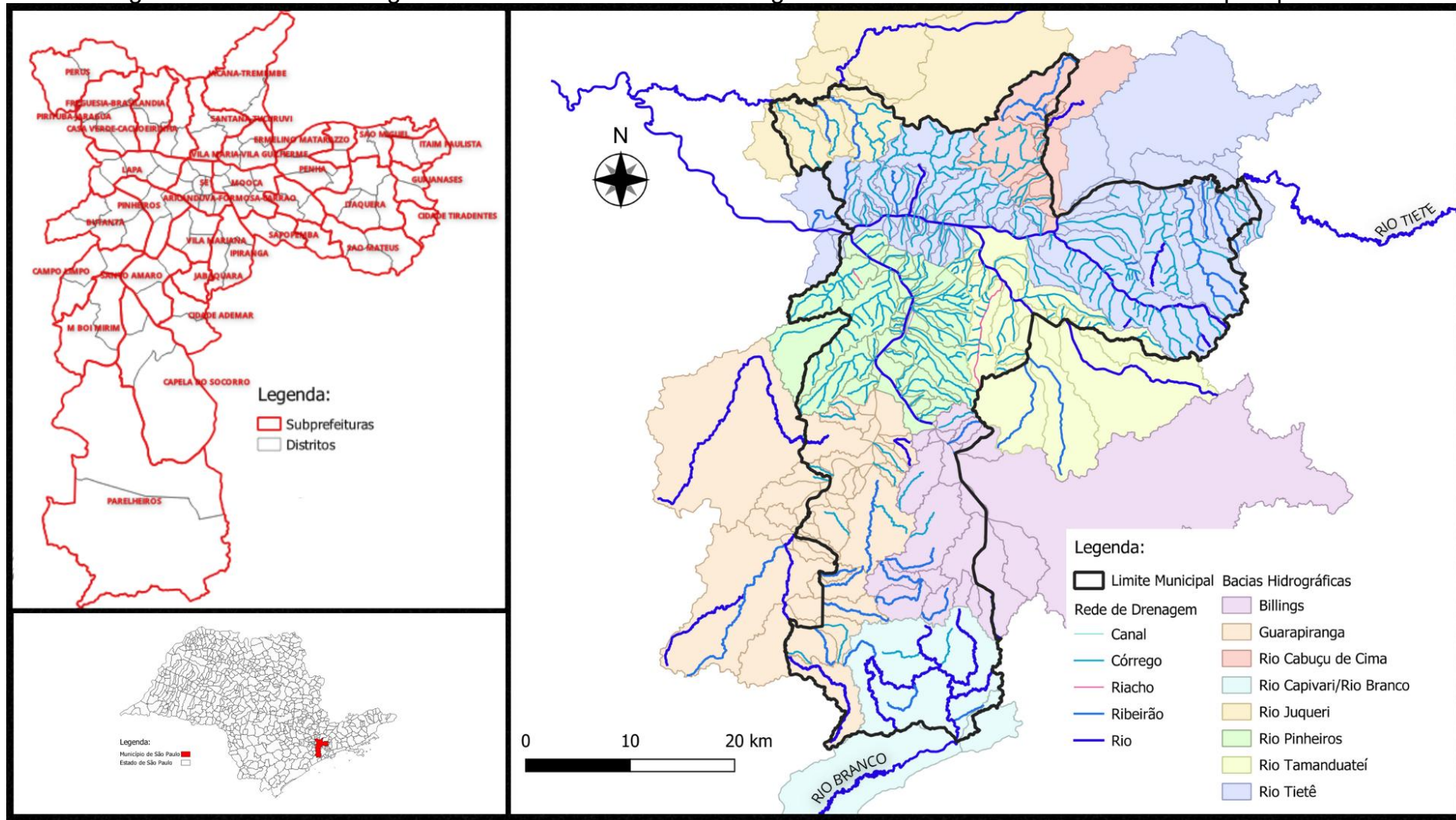
Além das grandes várzeas inundáveis dos rios, em alguns pontos do Planalto Paulistano existem taludes com declividades elevadas (maiores que 60%) com composição sedimentar suscetível a erosões, aumentando o risco de inundações e deslizamentos de terra, principalmente quando há ocupação inadequada (SÃO PAULO, 2004). Num aspecto geral, o relevo de São Paulo varia de 718 a 722 metros nas planícies de inundação, nos fundos de vales dos rios, até 805 a 830 metros na região do Espigão Central (FRANCO, 2005).

4.1.3 Aspectos hidrológicos

A cidade está em sua maior parte localizada na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos - UGRHI do Alto Tietê). Nela estão inseridas 8 sub-bacias referentes aos rios mais importantes que passam por dentro dos limites municipais, sendo elas: Rio Tietê, Rio Tamanduateí, Rio Pinheiros, Guarapiranga, Billings, Rio Juqueri, Rio Capivari/Rio Branco e Rio Cabuçu de Cima. Vale ressaltar que apenas uma porção da subprefeitura de Parelheiros está inserida na UGRHI da Baixada Santista (COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO TIETÊ [CBH-AT], 2009).

Os maiores e principais rios da cidade são os rios Tietê, Tamanduateí e Pinheiros, e além deles e das grandes bacias hidrográficas, o território é subdividido em sub-bacias e microbacias hidrográficas que correspondem às áreas de contribuição de diversos outros rios, córregos e riachos que estruturam a drenagem da cidade (CBH-AT, 2009). Na Figura 1 é possível observar como é distribuída a rede de drenagem da cidade, bem como as bacias maiores (dos rios principais) e as sub-bacias que estão inseridas em cada uma, correspondente aos riachos e córregos menores e abundantes. Essas unidades menores são fundamentais para compreender a dinâmica das inundações, pois controlam como a água escoar dentro de cada região e como eventos de montante afetam áreas a jusante. A intensa impermeabilização do solo das bacias e a canalização de seus cursos d'água contribuem para o agravamento das inundações em épocas chuvosas do ano, como nos meses de verão (ROSS, 2001).

Figura 1 - Rede de drenagem e subdivisões de bacias hidrográficas no contexto administrativo da capital paulista



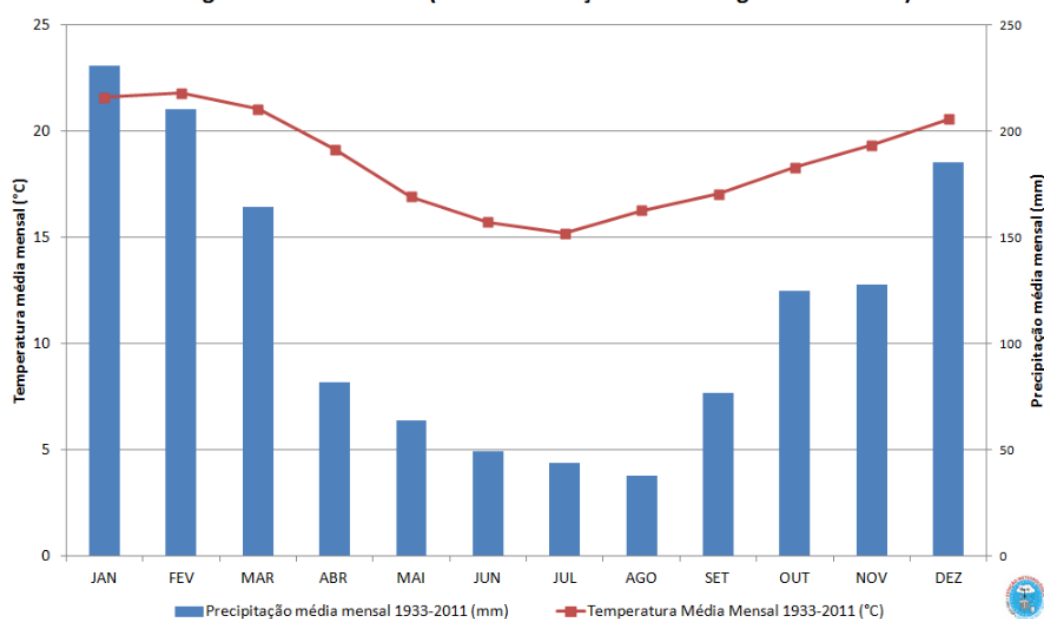
Fonte: Elaborado pela autora com base em dados do GeoSampa (SÃO PAULO, 2025c)

4.1.4 Aspectos Climáticos

O clima na cidade de São Paulo tem como característica verões chuvosos e invernos secos, e conforme dados apresentados pela Estação Meteorológica da USP (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2025), é classificado como subtropical (Cwa) pela classificação de Koppen, e possui amplitude térmica diária maior do que a amplitude térmica anual. Apesar dos meses mais quentes e chuvosos serem dezembro, janeiro e fevereiro, época do verão no hemisfério sul, a maior temperatura registrada foi de 37,2 °C em 17 de outubro de 2014, época da primavera em que as temperaturas médias costumam ser em torno de 20,4 °C (seu valor médio máximo registrado).

Figura 2 - Climograma do município de São Paulo (médias históricas)

Climograma - São Paulo-SP (dados da Estação Meteorológica do IAG-USP)



Fonte: Universidade de São Paulo (2025)

Devido à sua localização na Região Sudeste do país, onde há influência do Sistema de Monções da América do Sul (SMAS) e pela atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), o regime de chuvas do município conta com períodos chuvosos com grande acumulado ao longo dos meses de primavera e verão (aproximadamente de outubro a março) (REBOITA et al., 2010). Nesse período é comum acontecerem chuvas convectivas, normalmente ao final da tarde, resultado do intenso aquecimento diurno da superfície. Essa convecção pode ser modulada por fatores locais, como a interação da brisa marinha que sobe a Serra do Mar, com um

ambiente urbano quente e potencialmente carregado com partículas de aerossóis de poluição, conforme destaca Artaxo (PIVETTA, 2016), e é ainda mais intensificado pelo fenômeno das Ilhas de Calor Urbano (ICU).

Essas Ilhas de Calor Urbanas manifestam-se em São Paulo devido à baixa proporção de vegetação em relação à extensa área construída no município, causando diferenças de temperatura significativas (maiores que 10°C), entre as áreas mais arborizadas da periferia e as áreas centrais densamente urbanizadas, conforme o estudo de Cavalcanti et al. (2020). Portanto, a ICU tem influência significativa no clima local, e pode potencializar as chuvas convectivas (SILVA; PEREIRA FILHO; HALLAK, 2009).

No período do outono e inverno (aproximadamente de maio a agosto), quando as temperaturas são mais baixas, o regime de chuva de São Paulo conta com menores acumulados por mês. Segundo Silva, Pereira Filho e Hallak (2009), com a chegada das frentes frias, a precipitação predominante é a do tipo estratiforme (a “garoa” que historicamente caracteriza o clima da cidade), uma chuva fina e persistente de menor intensidade horária e que não causa grandes impactos no ambiente urbano.

Outra característica presente no regime de chuvas durante todo o ano, principalmente em períodos de atuação da ZCAS, são os sistemas de Bandas Dispersas (BD) (SILVA; PEREIRA FILHO; HALLAK, 2009). Esse sistema frequentemente apresenta uma combinação dos dois tipos de chuva (precipitação convectiva em conjunto de precipitação estratiforme). Porém, atualmente é possível observar mudanças nesse comportamento ao longo das décadas, com o aumento da frequência e intensidade das chuvas convectivas em detrimento das estratiformes (SILVA DIAS et al., 2013).

4.1.5 Aspecto Histórico da Urbanização

O relevo de São Paulo sempre esteve sujeito a inundações periódicas, e suas várzeas foram inicialmente evitadas pela urbanização. A ocupação da cidade concentrou-se nas terras mais altas, afastadas dos rios, pois eram considerados insalubres. Com a chegada das ferrovias no final do século XIX, os terrenos planos das várzeas começaram a ser ocupados por questões técnicas e econômicas, e assim se iniciou um processo de valorização e transformação desses espaços. Devido a

isso, as várzeas passaram a ser vistas como um problema sanitário e de enchentes que precisava ser solucionado para permitir a expansão urbana (FRANCO, 2005).

No início do século XX, surgiram os primeiros grandes projetos de canalização dos rios, cujo foco principal era criar eixos de circulação viária, como as futuras avenidas marginais, consideradas essenciais para o desenvolvimento da cidade. O automóvel era considerado melhor adaptado à topografia de São Paulo do que os trilhos, e por esse motivo o "Plano de Avenidas" (1930) de Prestes Maia propunha estruturar a expansão da cidade buscando conectar os diversos setores, e considerou os "fundos de vale" como locais ideais para a implantação das principais vias de circulação. Segundo Franco (2005), isso impulsionou os grandes projetos de retificação e canalização dos rios principais, como o Tietê e o Tamanduateí, que tiveram seus meandros alterados e suas áreas de inundação aterradas.

A construção do sistema de Avenidas Marginais ao longo dos rios Tietê e Pinheiros seguiu padrões que priorizaram a fluidez ao invés da integração urbana com os rios, que foram replicados por toda a metrópole conforme a expansão, resultando na impermeabilização generalizada do solo (FRANCO, 2005). Atualmente, as consequências desse processo são evidentes, como a redução da capacidade natural de infiltração e retenção de água, o completo afastamento dos rios da vida urbana e uma maior vulnerabilidade a inundações.

Mesmo com a conscientização sobre a importância dos recursos hídricos urbanos e os projetos de recuperação em andamento, a estrutura urbana continua a apresentar desafios para a gestão das águas na cidade. Como resultado desse processo histórico de urbanização, a área de estudo hoje se caracteriza por um sistema de drenagem intensamente modificado, possui grande parte de seus rios e córregos canalizados e uma elevada taxa de impermeabilização do solo. Esta configuração urbana reduz muito a capacidade de infiltração da água e acelera o escoamento superficial, tornando a cidade mais vulnerável aos eventos de chuva intensa analisados neste trabalho.

4.2 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.2.1 Materiais

Para a realização da pesquisa necessária para a análise, foram utilizados dados diários e horários de precipitação acumulada (mm) obtidos por meio de download no portal do Banco de Dados Meteorológicos do INMET – BDMEP (BRASIL, 2025), no formato de planilha eletrônica [.csv] referentes ao período de 1º de janeiro de 2013 a 31 dezembro de 2024, tendo sido selecionada a estação meteorológica do Mirante de Santana, devido a mesma ser considerada a principal estação meteorológica da cidade pela localização (792 metros acima do nível do mar) que confere maior precisão (SÃO PAULO, 2021). Com objetivo de comparar dados do mesmo período avaliando os registros locais por Subprefeitura, também foram utilizados dados diários de precipitação acumulada das planilhas pluviométricas disponibilizadas no site do Centro de Gerenciamento de Emergências – CGE (SÃO PAULO, 2025b).

Para obter os registros das ocorrências de inundações e de alagamentos, bem como suas bases cartográficas vetoriais (shapefiles), foram utilizados os dados extraídos do portal GeoSampa, mantido pela Prefeitura Municipal de São Paulo (SÃO PAULO, 2025c), contendo data e localização georreferenciada. Esses dados são referentes às ocorrências da Defesa Civil, extraídos do Sistema Integrado de Gestão do Relacionamento com o Cidadão (SIGRC), por onde é feito o registro e tratamento de demandas dos cidadãos (SÃO PAULO, 2019). Para a definição do período de análise, de 1º janeiro de 2013 até 31 dezembro de 2024, foi considerada a disponibilidade desses registros no GeoSampa (somente a partir do ano de 2013).

Para o estudo do meio analisado e seus elementos existentes, além dos registros de ocorrências de inundação e alagamento, foram obtidas as seguintes camadas e suas descrições conforme os metadados oficiais consultados:

- Divisa do Município de São Paulo

Este mapa é um geoserviço elaborado pelo Instituto Geográfico e Cartográfico de São Paulo (IGCSP), que apresenta a linha de divisa com base no mapa municipal (fonte 1:10.000) em conformidade com a lei estadual nº 8.550 de 30/12/1993 (SÃO PAULO, 2025c).

- Limites administrativos (distritos e subprefeituras)

Distritos e subprefeituras são limites político-administrativos definidos a partir de diversos estudos pelos órgãos do Executivo municipal que leva em consideração fatores físicos, territoriais, demográficos, urbanísticos e econômicos, sendo os distritos a menor divisão do território e as subprefeituras, divisões regionais que não comprometem os limites dos distritos que são abrangidos (SÃO PAULO, 2025c).

- Bacias hidrográficas

Divisões em polígonos que representam as bacias hidrográficas dos principais cursos d'água que cortam o município, juntamente com suas microbacias e áreas de contribuição direta de escoamento difuso, cujas referências de traçado utilizadas são as curvas de nível, pontos cotados, cursos d'água, modelos digitais de terreno, sistema viário, ortofotos digitais (Mapa Digital da Cidade – MDC) e serviços de imagem atualizados, além de critérios de geomorfologia fluvial (SÃO PAULO, 2025c).

- Rede de drenagem

Representação vetorial da rede de drenagem da cidade de São Paulo, como resultado de estudos e caracterização atualizados para o mapeamento da rede hídrica, complementado e/ou verificado em campo por meio de levantamento topográfico, apresentando uma descrição detalhada do sistema de drenagem principal (SÃO PAULO, 2025c).

- Áreas de risco hidrológico

São de áreas de risco de enchentes e inundações delimitadas por polígonos em assentamentos precários localizados próximo a córregos, em que a estimativa de moradias é feita com base em imagens aéreas que considera as estruturas cobertas (SÃO PAULO, 2025c).

- Reservatórios de amortecimento existentes

Camadas de pontos que representam a localização do principal mecanismo para controle de cheias dos cursos d'água da cidade, popularmente conhecidos como “piscinões”, que são estruturas de detenção ou retenção de água com a finalidade de reduzir o impacto das enchentes nas áreas urbanas (SÃO PAULO, 2025c).

Todos os arquivos em formato shapefile [.shp] foram abertos e manipulados para análise em camadas utilizando o software QGIS versão 3.40.8-Bratislava. Por se tratar de uma análise de dados pluviométricos referentes aos 11 anos do estudo, foi utilizado o programa Microsoft Excel, devido à necessidade de planilhar os dados e organizá-los para melhor visualização, tanto em forma de tabelas e gráficos quanto para a elaboração visual utilizando a função Mapa 3D.

Outros materiais importantes utilizados para as análises foram a bibliografia pesquisada (como artigos, trabalhos, teses e livros) e as reportagens de jornais e portais de notícia sobre os eventos de chuva intensa e ocorrências de inundações devido ao transbordamento de córregos e rios.

4.2.2 Procedimento Metodológico

O desenvolvimento da pesquisa ocorreu inicialmente com a pesquisa, tratamento e seleção dos dados pluviométricos e registros de ocorrências. Em seguida foram definidos os critérios para análise do padrão de chuva e a espacialização das ocorrências. Por fim, foram selecionados os dias mais significativos da série para uma análise detalhada dos eventos.

Ao baixar as camadas com os registros de ocorrência do GeoSampa, utilizando o software QGIS, foi extraída a tabela de atributos que continha o código de registro, a data, o tipo de ocorrência e o nome da subprefeitura onde foi registrada, porém, foi necessário gerar no próprio software as colunas referentes à geolocalização de cada ponto no mapa. Após isso, a planilha foi aberta no Microsoft Excel e foram filtrados e selecionados somente os registros considerados relevantes para análise, pois no arquivo original incluía registros de outras ocorrências, como deslizamento e queda de árvores. Com isso foi possível elaborar uma planilha com os dados de interesse.

Os dados de ocorrências, de acordo com a Prefeitura Municipal de São Paulo (SÃO PAULO, 2019), são registros de solicitações da população registrados por diferentes canais de atendimento. Portanto, em um mesmo dia e em uma mesma subprefeitura podem existir diversos chamados, não necessariamente se tratando de pontos de ocorrências diferentes ou de duplicatas (registros repetidos), mas de pessoas próximas relatando um mesmo evento na mesma rua ou quadra. A contagem dos dados brutos mostra o impacto social de um evento em específico em um dia ou ano, e foi utilizado para investigar dias ou anos com anormalidades no número de registros, mas para analisar a distribuição regional e acompanhar a evolução temporal, adotou-se como indicador principal a “frequência de dias com ocorrência” por Subprefeitura.

Para a análise temporal, foi considerada uma soma de quantos dias cada subprefeitura teve ao menos 1 solicitação registrada, eliminando a multiplicidade de chamados para um mesmo evento, enquanto para a seleção dos dias para estudo de

caso foi considerado o impacto social e a concentração de registros em um mesmo dia. Também observou-se a necessidade de selecionar para o estudo as categorias “Inundação” (diretamente relacionado ao efeito das enchentes como consequência do transbordamento d’água em rios e córregos) e também “Alagamento” (associado predominantemente a falhas na microdrenagem, mas que, de acordo com o Ministério das Cidades (BRASIL, 2007), pode ou não ter relação com processos de natureza fluvial), a fim de comparar a frequência dos dois eventos e como acontece sua distribuição espacial, mas também considerando a natureza dos registros, que podem conter erro terminológico na descrição do evento.

Para a análise da precipitação, foram utilizados os registros diários e horários do Mirante de Santana, a fim de não apenas analisar o acumulado diário, mas também para identificar padrões de chuva intensa por hora. Optou-se por realizar o cruzamento de dados pluviométricos da estação-referência com os dados locais de cada Subprefeitura registrados por pluviômetros do CGE (SÃO PAULO, 2025b), e disponibilizados em planilhas em seu site, por considerar que São Paulo possui uma grande extensão territorial e para analisar o comportamento espacial da chuva.

Estabeleceu-se o limiar de 20 mm (acumulados em 24h ou em 1h) para caracterizar os eventos de chuva significativos para o estudo. A escolha por este limiar, embora seja inferior aos parâmetros oficiais de alerta da Defesa Civil, justifica-se pela alta taxa de impermeabilização do solo urbano de São Paulo e entra em acordo com a literatura técnica. Conforme apontam Nobre e Young (2011, *apud* BRASIL, 2017), em áreas críticas da capital como a Av. Aricanduva, inundações já ocorrem com precipitações inferiores a 30 mm/h, não sendo necessários eventos extremos (acima de 50 mm/dia) para que os pontos de alagamento se multipliquem. Dessa forma, o patamar de 20 mm adotado nesta pesquisa busca identificar a sensibilidade do sistema de drenagem a eventos pluviométricos moderados, pois já são suficientes para gerar transtornos à população.

Utilizando o SIG (QGIS), as camadas dos arquivos obtidos no GeoSampa foram sobrepostas para analisar as ocorrências de interesse ponto a ponto, e observar como se comporta a distribuição dos cursos d’água e das microbacias em cada Subprefeitura, bem como o mapeamento das áreas de risco e os locais onde há reservatórios de amortecimento, a fim de verificar se os locais inundáveis estão próximos, principalmente na etapa dos estudos de caso utilizando as informações divulgadas pelas notícias e a consulta online de pontos de alagamento do dia no site

do CGE (SÃO PAULO, 2025a). Para gerar dados visuais acerca da frequência dos eventos no período, analisar a frequência com que cada subprefeitura recebe chuvas a partir do parâmetro estipulado (20 mm) a fim de mapear a heterogeneidade da precipitação, verificar o acumulado de chuva nas prefeituras em dias selecionados e cruzar essas informações de inundações e precipitação, foi utilizado o recurso de Mapa 3D do Microsoft Excel, elaborando tanto os gráficos de barra com os dados das planilhas quanto as regiões personalizadas sobrepostas a esses gráficos incluindo o shapefile dos polígonos das subprefeituras, sendo possível elaborar uma representação de mapa coroplético junto aos gráficos.

Para compreender a dinâmica entre a chuva registrada local e os impactos em regiões diferentes da cidade, selecionaram-se dias representativos da série histórica analisada para um estudo aprofundado. Para além da seleção inicial pelo número de dias com maior número de registros (incluindo dias em que houve uma quantidade anômala), também foram levadas em consideração as divergências entre a estação oficial e o impacto observado tanto no número de registros da Defesa Civil quanto nos pontos de alagamento registrados pelo CGE, além dos registros dos pluviômetros locais no dia observado e no dia anterior quando todos os pluviômetros indicaram pouca ou nenhuma chuva.

Para se ter um registro mais exato da medição do Mirante de Santana, foi necessário realizar o ajuste de fuso horário das medições, tanto para se ter a hora exata em que uma chuva atingiu o valor máximo no dia, quanto para realizar a soma do acumulado diário em 24h, pois foi observado que o funcionamento da coleta de dados diários da estação automática do Mirante de Santana não registra boa parte das chuvas que ocorrem no dia exato, e a informação de acumulado registrado naquele dia na verdade é a chuva do dia anterior.

Por fim, foram realizadas pesquisas de cobertura da mídia dos eventos de transbordamento de córrego para realizar o cruzamento das informações técnicas com relatos jornalísticos sobre impactos sociais, registros pluviométricos horários de outras subprefeituras que informassem a intensidade da chuva, verificar o horário que aconteceram os eventos e informações sobre fenômenos meteorológicos atuantes no dia.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para caracterizar as inundações em decorrência das enchentes no município de São Paulo no período de 2013 a 2024, foi realizado o cruzamento entre os registros de solicitação de atendimento da Defesa Civil (GeoSampa), os dados de precipitação acumulada (diários e horários) da estação de referência de estudos climatológicos Mirante de Santana (INMET) e os dados dos pluviômetros locais de cada subprefeitura (CGE).

A análise dos resultados apresentados a seguir tem o objetivo de correlacionar a variabilidade pluviométrica e a incidência de eventos extremos com a vulnerabilidade urbana, investigando a distribuição temporal e espacial dos desastres na capital e a resposta da infraestrutura da cidade frente aos eventos. É importante ressaltar que os registros de Defesa Civil podem apresentar inconsistências terminológicas, já que o tipo de evento é registrado por meio de solicitações da população. Assim, alguns casos registrados como ‘inundação’ podem corresponder a alagamentos, e vice-versa.

5.1 PANORAMA DOS IMPACTOS: RELAÇÃO ENTRE EVENTOS CRÍTICOS E OCORRÊNCIAS REGISTRADAS.

Analisando os 11 anos de ocorrências registradas, existe uma notável variabilidade na quantidade de registros no período. A Figura 3 apresenta o comportamento não-linear dos desastres hidrológicos na capital, com destaque ao ano de 2016, que apresenta uma diferença muito grande e incomum na quantidade de ocorrências em relação aos outros anos.

Pode-se observar que, nesse ano em específico, se concentra a maior quantidade de registros (4210 ocorrências), sendo a maior parte referentes a Inundações (2165 ocorrências). Por outro lado, pode-se observar que nos anos de 2013 e 2014, período marcado pela crise hídrica causada por grandes períodos de estiagem, estão os menores números de registros de ocorrências de inundações (43 e 80, respectivamente), mas a quantidade de registros de alagamentos (716 e 498, respectivamente) está alta em comparação aos outros anos da série, podendo se tratar de um indício da ocorrência de chuvas convectivas fortes após dias de estiagem como reflexo à quebra da cúpula de calor formada em decorrência do bloqueio

atmosférico (MARENGO et al., 2025) que se instalou no período, somado à vulnerabilidade da infraestrutura urbana.

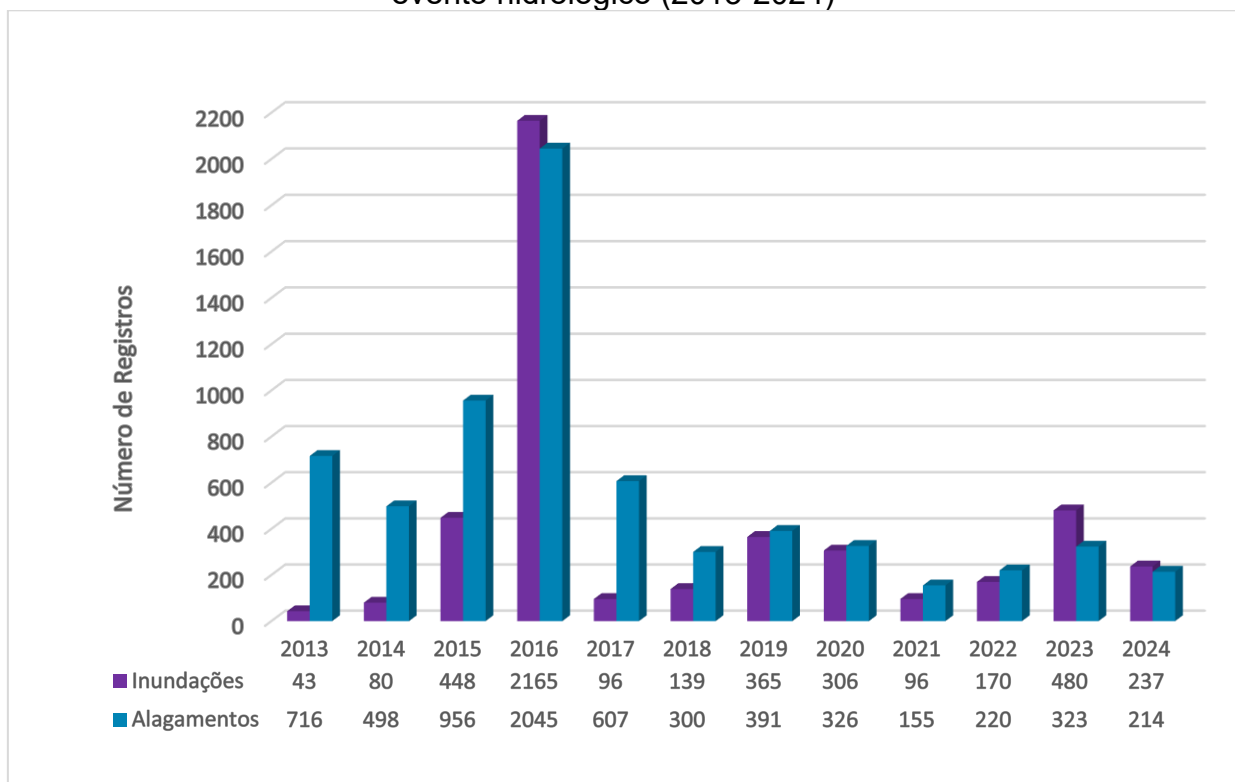
Já a Figura 4 apresenta a recorrência temporal dos eventos de inundação e alagamento, e foi elaborada para eliminar as distorções causadas pela multiplicidade de solicitações referentes a um mesmo evento, optando-se por utilizar a frequência de dias com registro (ocorrência diária) como indicador no período de 2013 a 2024. Pode-se observar uma alteração no padrão dos eventos hidrológicos na capital ao longo dos anos, e as linhas de tendência evidenciam um comportamento divergente entre os tipos.

Os alagamentos (linha azul) iniciaram a série (2013) com frequência de 77 dias, quantidade semelhante à apresentada em 2014. Porém, em 2015 houve um salto para 115 dias, e nos anos seguintes, nota-se uma tendência de declínio gradual no número de dias até 2024 (65 dias). A quantia de 2019 (111 dias), valor próximo ao máximo da série, coincide com o levantamento realizado pelo Estadão (CUNHA, 2019), que indica um aumento de 65% nos registros de alagamentos apenas no início de 2019 em relação ao mesmo período no ano anterior, validando a sensibilidade dos registros da Defesa Civil para este tipo de evento. Outro pico relevante ocorreu em 2023 (94 dias), igualando a frequência de inundações naquele ano.

Em contrapartida, as inundações (linha roxa) apresentaram uma tendência de alta bem demarcada. De apenas 22 dias em 2013, a frequência atingiu o maior valor da série justamente em 2019 (96 dias), e mesmo caindo para menos da metade em 2021 (55 dias), seguiu subindo nos anos subsequentes. Isso evidencia que 2019 não foi apenas um ano crítico para alagamentos (como noticiado), mas também para transbordamento de rios.

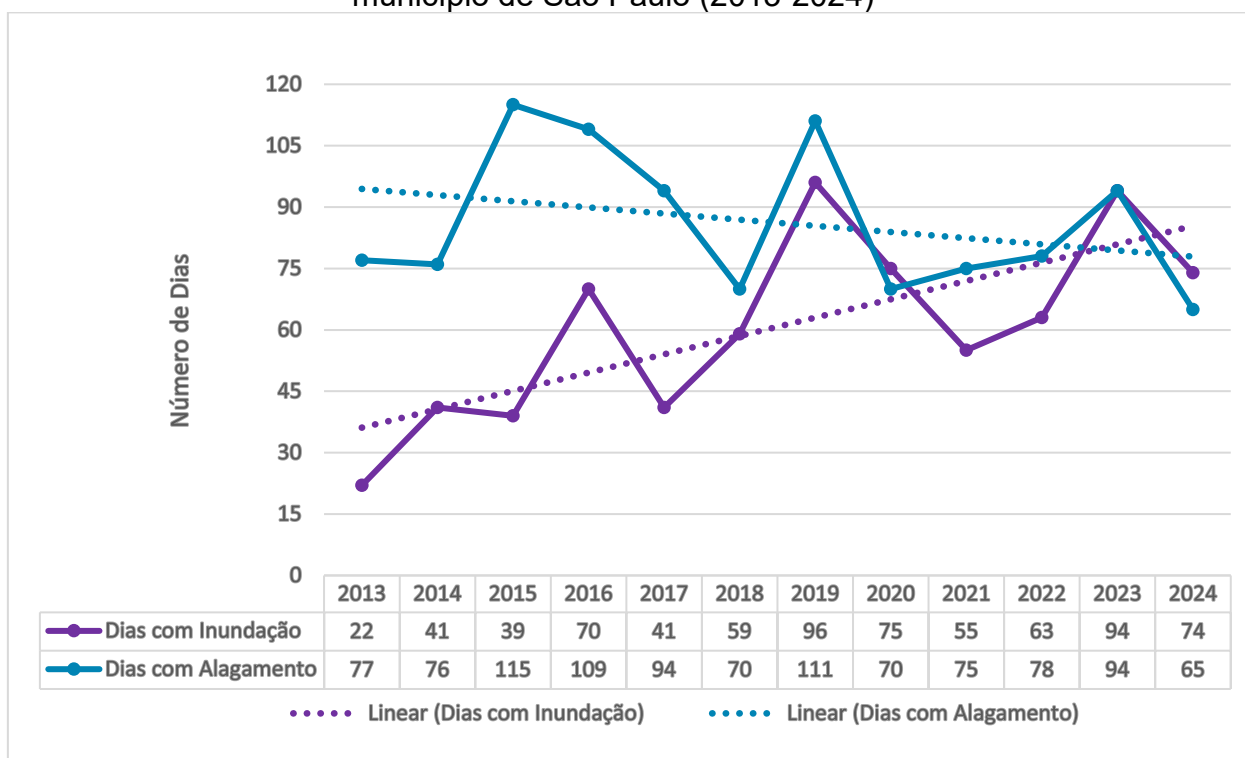
A convergência dos gráficos no ano de 2023, em que ambos apresentaram uma frequência de 94 dias para cada tipo de evento, e a inversão na quantidade de inundações (74 dias) em relação à de alagamentos (65 dias) em 2024, indicam um possível agravamento na severidade dos impactos na cidade. Enquanto os problemas na microdrenagem (alagamentos) parecem ter reduzido, o transbordamento dos cursos d'água (inundações) tornou-se mais frequente, sugerindo uma possível saturação progressiva no sistema de macrodrenagem.

Figura 3 - Total anual de solicitações de atendimento da Defesa Civil por tipo de evento hidrológico (2013-2024)



Fonte: Elaborado pela autora com base em dados do GeoSampa (SÃO PAULO, 2025c)

Figura 4 - Recorrência temporal de eventos de inundação e alagamento no município de São Paulo (2013-2024)



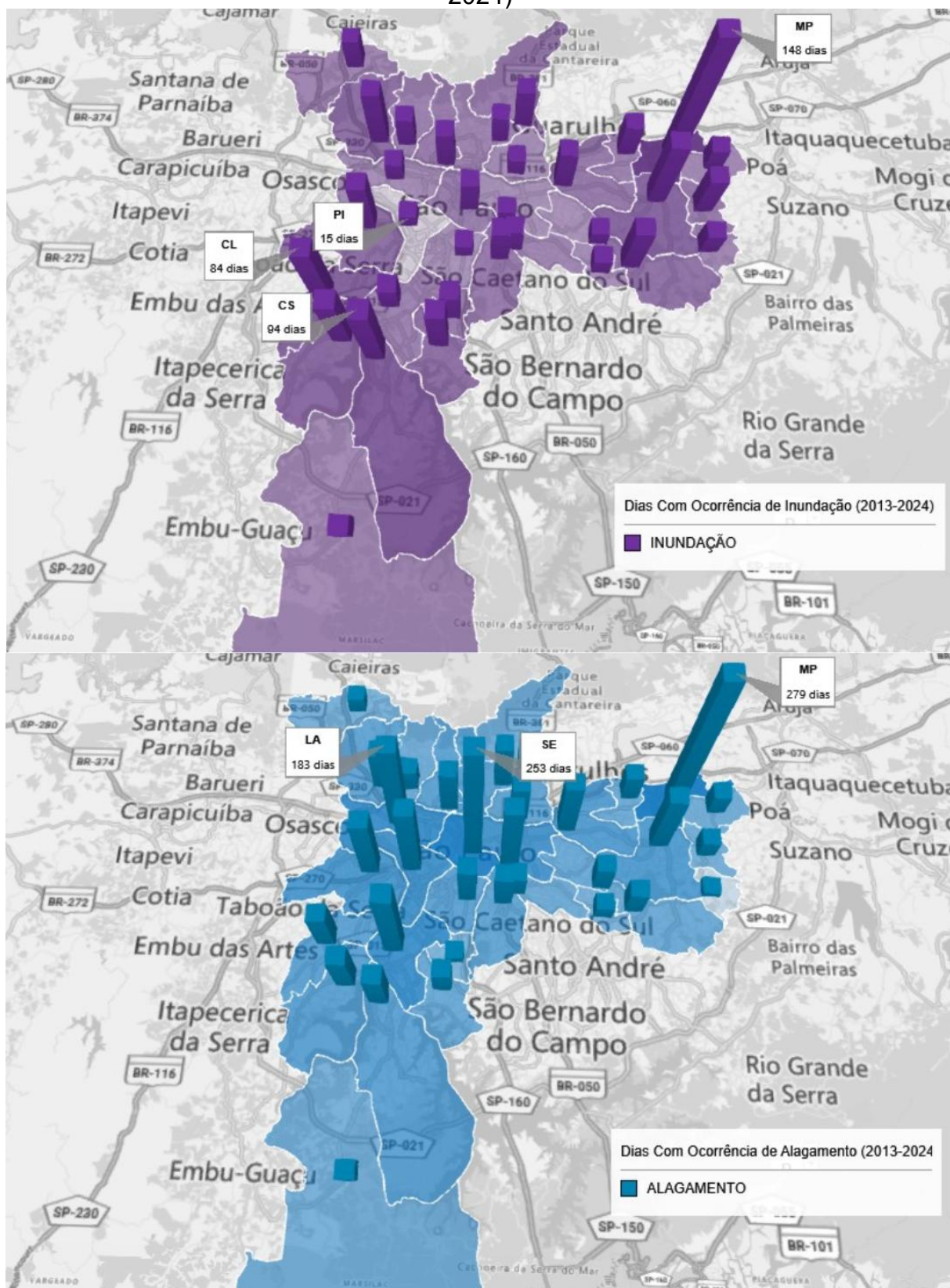
Fonte: Elaborado pela autora com base em dados do GeoSampa (SÃO PAULO, 2025c)

Seguindo a análise por frequência de eventos (dias), a Figuras 5 mostra o mapeamento espacial da distribuição das ocorrências de inundação e alagamento, respectivamente, por Subprefeitura. Nota-se um padrão territorial contrastante entre os mapas apresentados. A frequência de dias com registros de alagamentos é concentrada na região central de São Paulo, com destaque para as Subprefeituras Sé (253 dias) e Lapa (183 dias). Em comparação, a frequência de inundações nestas mesmas localidades é baixa, sendo maior nas Subprefeituras mais distantes do centro, como Capela do Socorro (94 dias) e Campo Limpo (84 dias).

Essa distribuição ilustra que, no Centro Expandido, onde os fundos de vale são densamente urbanizados e impermeabilizados e os rios canalizados e tamponados, há uma maior vulnerabilidade para a ocorrência de alagamentos. Isso se deve à falhas no sistema de microdrenagem, que foi projetado há muito tempo desconsiderando as mudanças que ocorreriam com aumento da urbanização. Já no caso das inundações, é possível observar que a maioria delas ocorre em locais com mais cursos d'água expostos, o que torna evidente a natureza do transbordamento.

Entretanto, é possível observar uma Subprefeitura que se destaca em relação às outras nos dois tipos de ocorrências e possui uma frequência bem alta no número de dias que teve demandas para inundações e alagamentos. São Miguel Paulista possui uma frequência de 148 dias de inundações e 279 dias de alagamentos, sendo este segundo bem próximo à quantidade de dias com registros da Subprefeitura mais afetada do centro de São Paulo. Uma particularidade regional de São Miguel Paulista é sua localização na várzea do Rio Tietê, onde historicamente sofre com o período de cheias. Nela estão inseridos o Distrito de Jardim Helena, onde está localizado o Jardim Pantanal, que sofre longos períodos de inundação recorrente, o que aumenta a vulnerabilidade socioambiental dos moradores.

Figura 5 - Frequência de Dias com Ocorrências de Inundação e Alagamento (2013-2024)

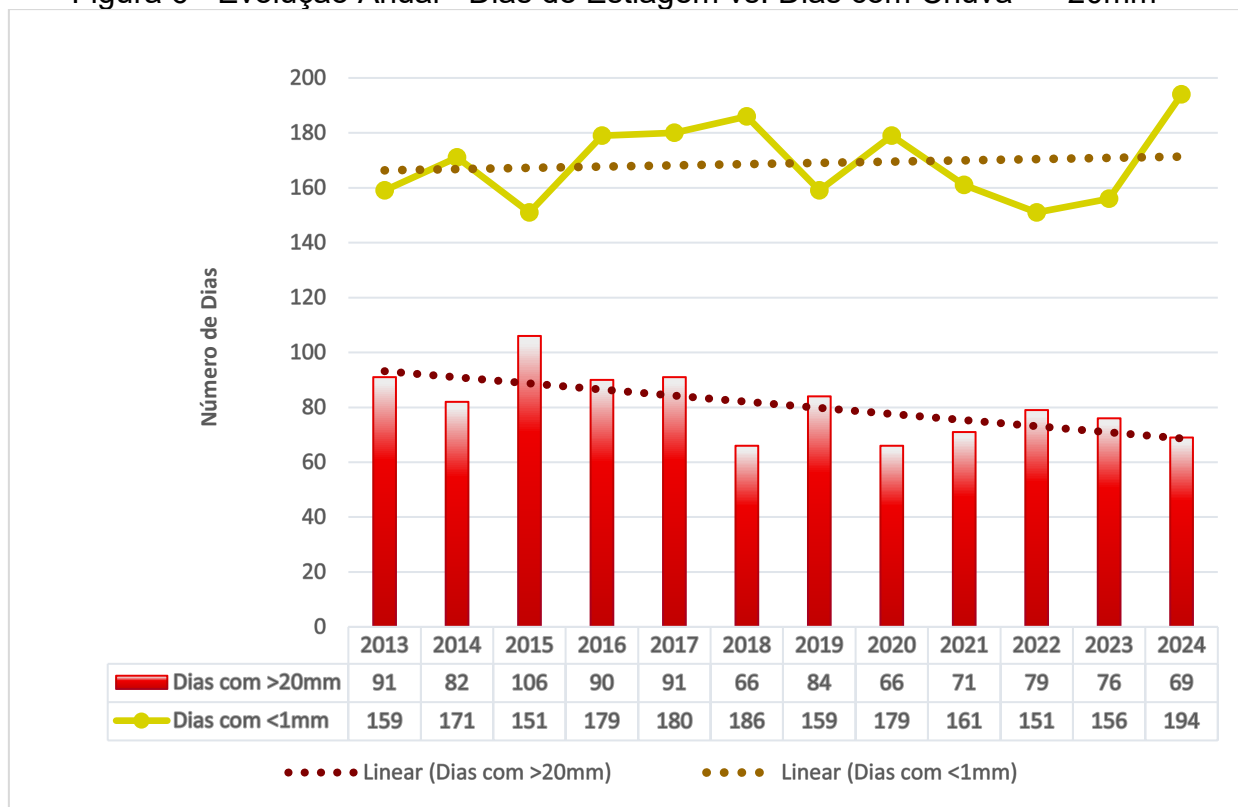


Fonte: Elaborado pela autora com base em dados do GeoSampa (SÃO PAULO, 2025c)

5.2 A DINÂMICA CLIMÁTICA: ESTIAGEM E EVENTOS EXTREMOS

O aumento na frequência de inundações observado na seção anterior pode ser influenciado por uma alteração no regime pluviométrico da cidade, de forma que analisar a evolução temporal do padrão de precipitação no período de 2013 a 2024 seja importante para investigar as causas. A Figura 6 apresenta a correlação entre a frequência de dias secos e frequência de dias com eventos pluviométricos significativos, contabilizando quantos dias tiveram ao menos um evento de chuva maior ou igual a 20 mm registrado em algum dos pluviômetros do CGE de cada Subprefeitura e quantos dias foram secos e a precipitação máxima foi menor que 1 mm.

Figura 6 - Evolução Anual - Dias de Estiagem vs. Dias com Chuva ≥ 20 mm



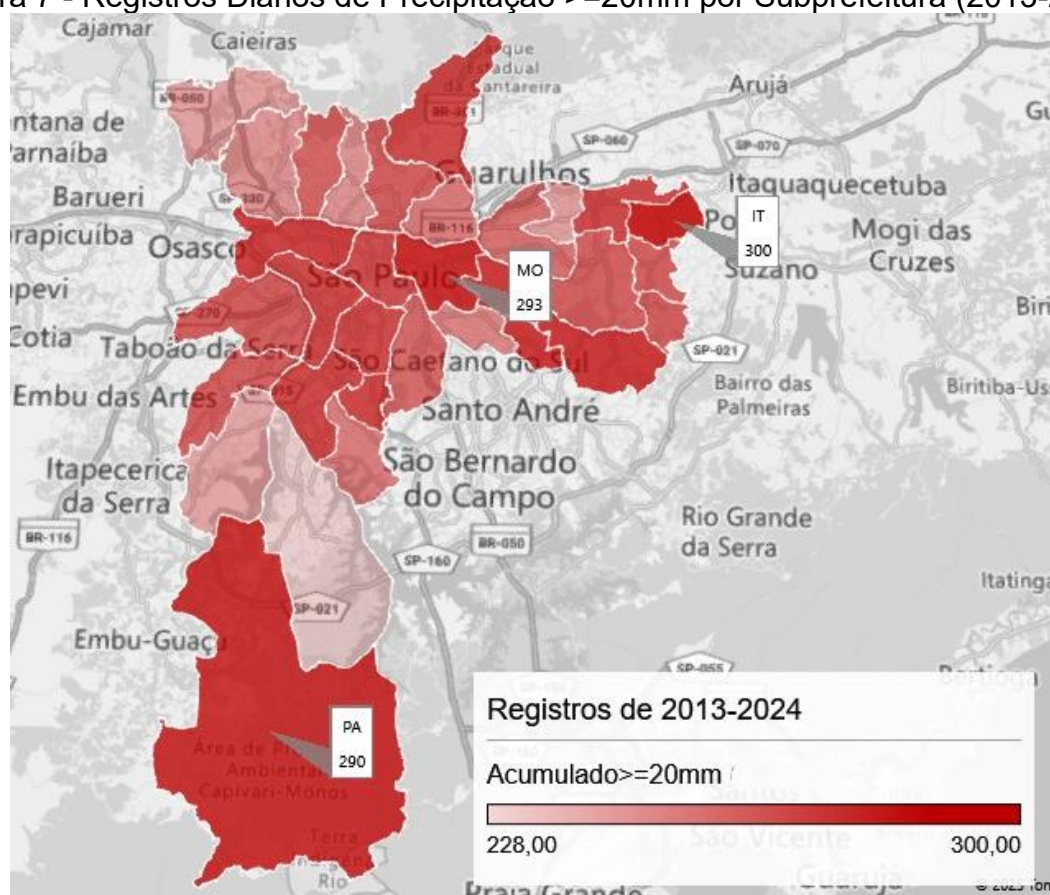
Fonte: Elaborado pela autora com base em dados do CGE (SÃO PAULO, 2025b)

A tendência climática observada é de um leve crescimento no número de dias secos (linha amarela), que foi de 159 dias em 2013 e chegou à maior quantidade (194 dias) em 2024, o que pode indicar uma tendência a períodos de seca mais longos, que já vem sendo analisada por estudo (MARENGO; VALVERDE; OBREGON, 2013; SILVA DIAS et al., 2013) que mostra que eles estão acontecendo por mais tempo

entre dias de chuvas críticas. Já a frequência de chuvas a partir de 20mm (barras vermelhas) possui uma tendência de leve declínio, mas mantém uma oscilação ao longo da série. Para séries históricas de mais de duas décadas, os estudos (MARENGO; VALVERDE; OBREGON, 2013; SILVA DIAS et al., 2013) apontam um aumento significativo no número de dias com chuva acima de 50mm, além do aumento consistente no número de dias de estiagem, que mostram que o padrão foi se transformando ao longo dos anos até a década analisada, causando a diminuição da chuva estratiforme (a “garoa”) e dando lugar a tempestades convectivas (deixa de chover uniformemente para chover de uma vez em poucos dias).

Considerando a extensão territorial de São Paulo, houve a necessidade de analisar a distribuição pluviométrica de forma a mapear a incidência de chuvas a partir de 20mm em cada região. A Figura 7 apresenta o mapeamento espacial dos dias em que cada pluviômetro local registrou um acumulado diário (em 24h) de chuva igual ou maior que 20mm.

Figura 7 - Registros Diários de Precipitação ≥ 20 mm por Subprefeitura (2013-2024)

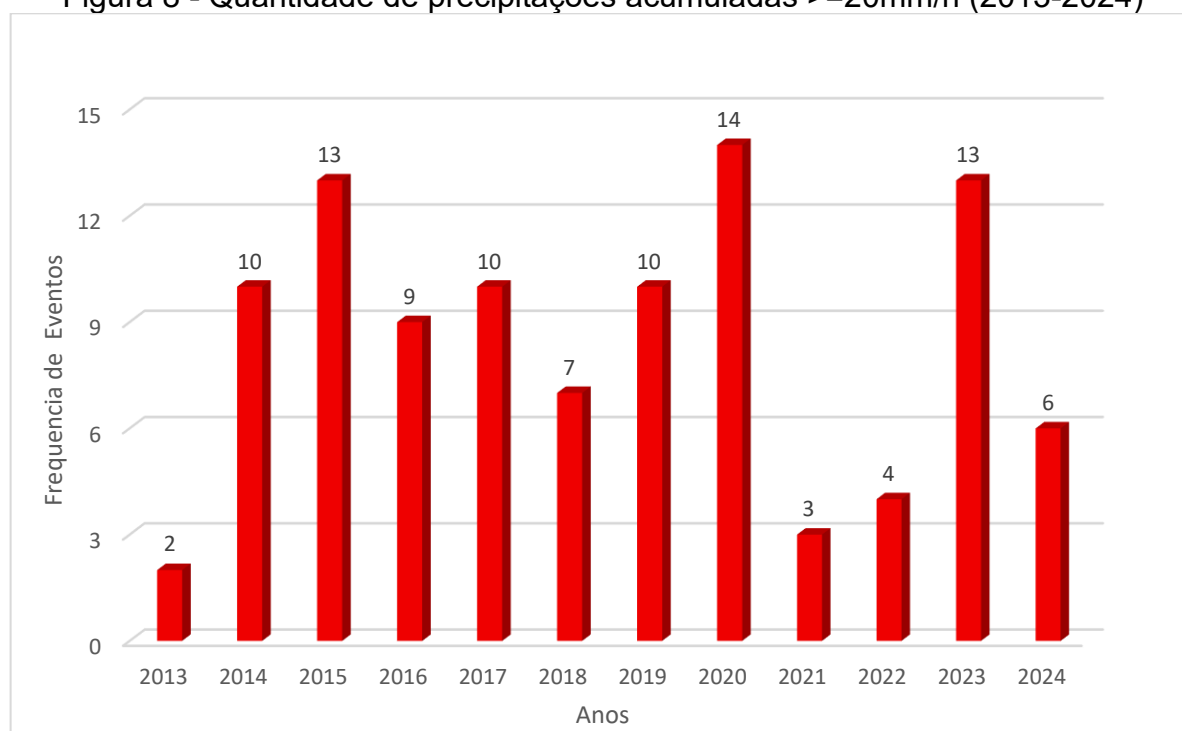


Fonte: Elaborado pela autora com base em dados do CGE (SÃO PAULO, 2025b)

A distribuição espacial mais homogênea mostra que acumulados significativos atingem tanto as áreas centrais quanto periféricas, ao contrário do mapa de inundações, onde a variação da frequência de ocorrências era grande e se concentrava nas zonas Leste e Sul.

Para além da chuva acumulada em 24h, as inundações urbanas em bacias impermeabilizadas são fortemente associadas à intensidade pluviométrica (volume precipitado em um curto intervalo de tempo) mais do que ao acumulado ao longo de um dia. Devido à limitação de dados horários referentes a cada Subprefeitura, foram utilizados os dados de chuva acumulada a cada 1h do Mirante de Santana (INMET), a fim de investigar se houve um aumento na frequência de eventos com intensidade de 20mm/h. A Figura 8 apresenta a quantidade de eventos horários de intensidade significativa em cada ano.

Figura 8 - Quantidade de precipitações acumuladas $\geq 20\text{mm/h}$ (2013-2024)



Fonte: Elaborado pela autora com base em dados do INMET (SÃO PAULO, 2021)

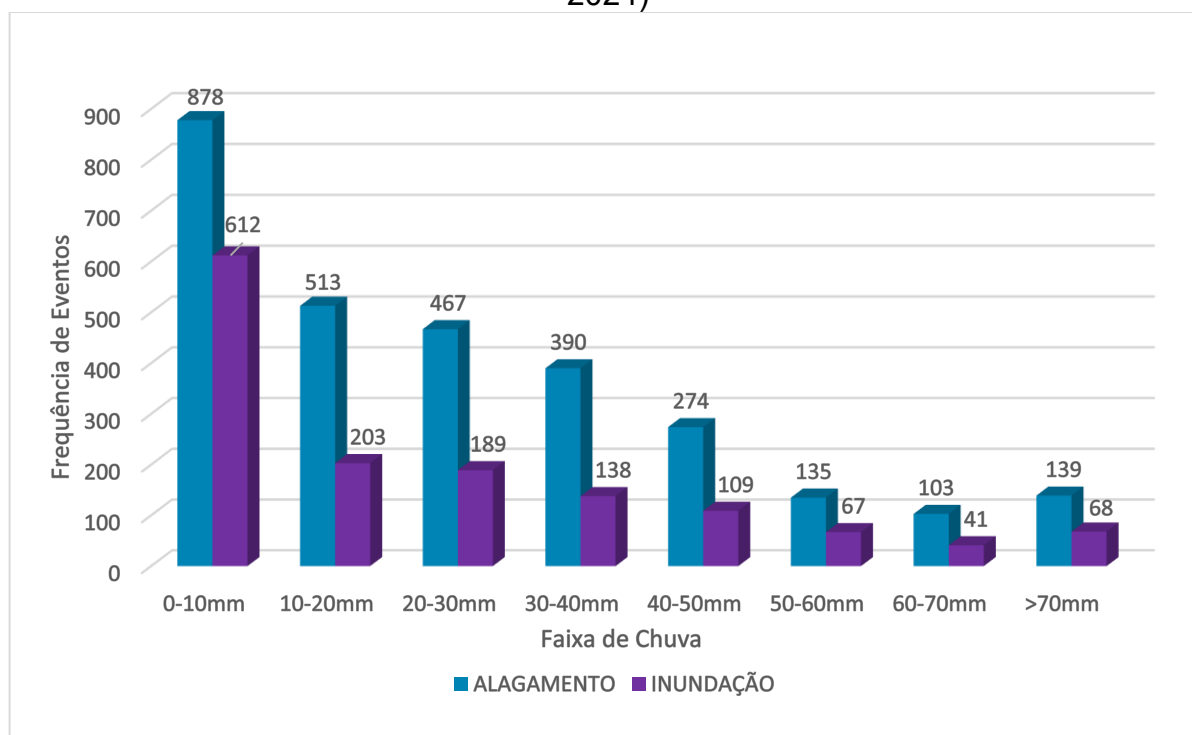
Apesar da variabilidade ao longo dos anos o padrão se mantém, apresentando uma continuidade maior até mesmo do que a frequência dos eventos de chuva acumulada ao longo de um dia, que apresentaram uma diminuição do início do período até o final. Entretanto, considerando que a frequência de inundações vem aumentando, e que elas estão majoritariamente mais incidentes na periferia longe da

estação do Mirante de Santana (INMET), faz-se necessário analisar, com mais acurácia, os dados pluviométricos locais, sendo estes apenas um parâmetro de análise da possibilidade de influência das chuvas pontuais nas inundações.

Considerando os dados diários locais de cada Subprefeitura, existe a possibilidade de considerar chuvas horárias como causadoras de eventos de inundações e alagamentos em outros bairros pela distribuição espacial da chuva ser diferente, o que faz a estação de referência (INMET) não ser tão eficiente para analisar o comportamento localizado da chuva, logo, com o padrão de chuva se modificando, a precipitação tende a se tornar cada vez mais localizada e concentrada, e se torna menos eficaz realizar análises a partir de uma só estação representativa e obter um resultado generalizado.

Além da análise da intensidade horária da chuva, também é importante avaliar a distribuição das ocorrências segundo as faixas de acumulado diário de precipitação para avaliar como os eventos registrados estão relacionados a cada uma. A Figura 9 apresenta a frequência de inundações e alagamentos em cada faixa de acumulado, evidenciando o comportamento de cada tipo de evento.

Figura 9 - Frequência de Inundações e Alagamentos por Faixa de Chuva (2013-2024)



Fonte: Elaborado pela autora com base em dados do CGE e GeoSampa (SÃO PAULO, 2025b; 2025c)

Em faixas de chuva de menor acumulado, é esperado que a frequência de alagamentos, sobretudo em lugares em que o sistema de microdrenagem possui falhas e necessidade de limpeza, seja maior também considerando que as faixas menores de chuva sejam comuns no local analisado. Entretanto, conforme Tucci (2008), as inundações necessitam de um volume maior de chuva na área da bacia para que possam ocorrer devido ao aumento de nível de um curso d'água para que o transbordamento ocorra.

A Figura 9 mostra a tendência clara de diminuição do número de ambos os tipos de eventos conforme aumenta o acumulado de chuva, devido às chuvas de maior acumulado ocorrerem com menos frequência no município de São Paulo. Também é esperado que, devido ao histórico do planejamento da infraestrutura da cidade ao longo de seu desenvolvimento urbano, a ocorrência de alagamentos (barras azuis) seja mais frequente, o que justifica o número de 878 eventos, mesmo que pareça uma quantidade muito grande para uma chuva pequena levando em consideração que se trata de acumulados diários.

Em contrapartida, ao analisar a frequência de inundações (barras roxas), que de forma esperada é menor do que a de alagamentos, existe um número muito grande de eventos registrados em dias com a menor faixa de acumulado (612 eventos), sendo um pouco mais que o triplo do que o relacionado à faixa de 10-20mm (203 eventos). Já as faixas seguintes a diminuição do número ocorre de forma mais proporcional. Ou seja, o gráfico indica que em dias que houve pouca chuva, ainda assim houve registros de inundação em algum ponto da cidade.

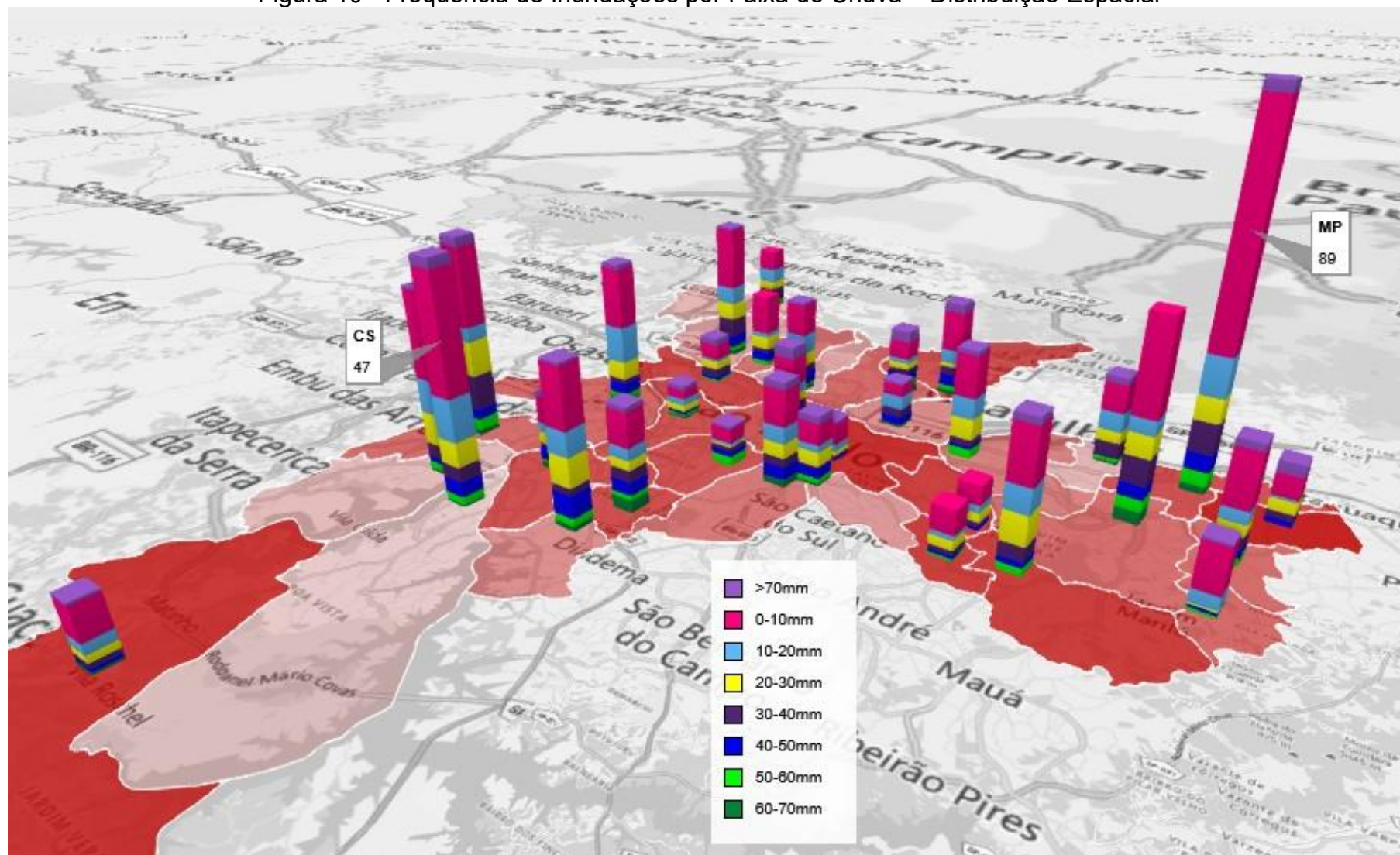
Levando em conta o comportamento diferente da chuva em cada região de São Paulo, faz-se necessário analisar em cada Subprefeitura como ocorre a distribuição da frequência de inundações em cada faixa de acumulado, levando em consideração a hidrografia de cada local e a frequência de chuvas das regiões vizinhas. A Figura 10 ilustra essa distribuição espacial conforme os registros de cada Subprefeitura e o valor acumulado de chuva no dia em que houve pelo menos um registro no local.

Observando o Mapa 3D, pode-se notar que a frequência de inundações ocorrendo em faixas de chuva de 0-10mm se reflete em quase todas as Subprefeituras, se tornando mais homogênea em relação às frequências em outras faixas em Pinheiros e Vila Maria/Vila Guilherme. São Miguel Paulista segue sendo a Subprefeitura com maior frequência de ocorrências principalmente na faixa de chuva de 0-10mm, embora as outras faixas também estejam presentes na coluna como 10-

20mm (o que ainda é um acumulado baixo), 20-30mm e 30-40mm (que já é uma quantidade moderada). Na Zona Leste, somente São Miguel Paulista e Itaquera possuem uma frequência maior de inundações (num total) e principalmente em faixas mais baixas, proporcionalmente maior do que nas faixas intermediárias.

A segunda subprefeitura com maior frequência de ocorrências de inundação é Capela do Socorro, na Zona Sul. Também possui uma grande frequência de inundações para a faixa de 0-10mm, porém nas Subprefeituras vizinhas também pode-se notar um padrão e quantidade semelhantes, como em Campo Limpo, M'Boi Mirim e Cidade Ademar e Butantã, com um pouco menos. No Centro Expandido, as colunas das Subprefeituras são menores, o que é esperado visto que a Figura 5 indica que nessa área prevalecem as ocorrências de alagamento.

Figura 10 - Frequência de Inundações por Faixa de Chuva – Distribuição Espacial



Fonte: Elaborado pela autora com base em dados do CGE e GeoSampa (SÃO PAULO, 2025b; 2025c)

Pela sobreposição das colunas com a Figura 7, assumindo que ela representa a distribuição espacial desigual da chuva, pode-se observar um fato interessante: nem sempre as Subprefeituras que possuem maior frequência de eventos de chuva maior que 20mm são as que possuem as maiores colunas de frequência de inundação, sobretudo na faixa de 0-10mm, e que as com maior coluna possuem frequência de eventos menor que 20mm são maiores. A Figura 7 indica que o local com maior frequência de chuvas maiores que 20mm é Itaim paulista, mas na Figura 10 ele aparece como um dos locais na Zona Leste com menor frequência de inundações. Em contrapartida, a Subprefeitura vizinha (São Miguel Paulista) que chove ligeiramente menos, é a que tem a maior coluna tanto em total de eventos de inundações quanto de eventos que acontece na menor faixa de chuva.

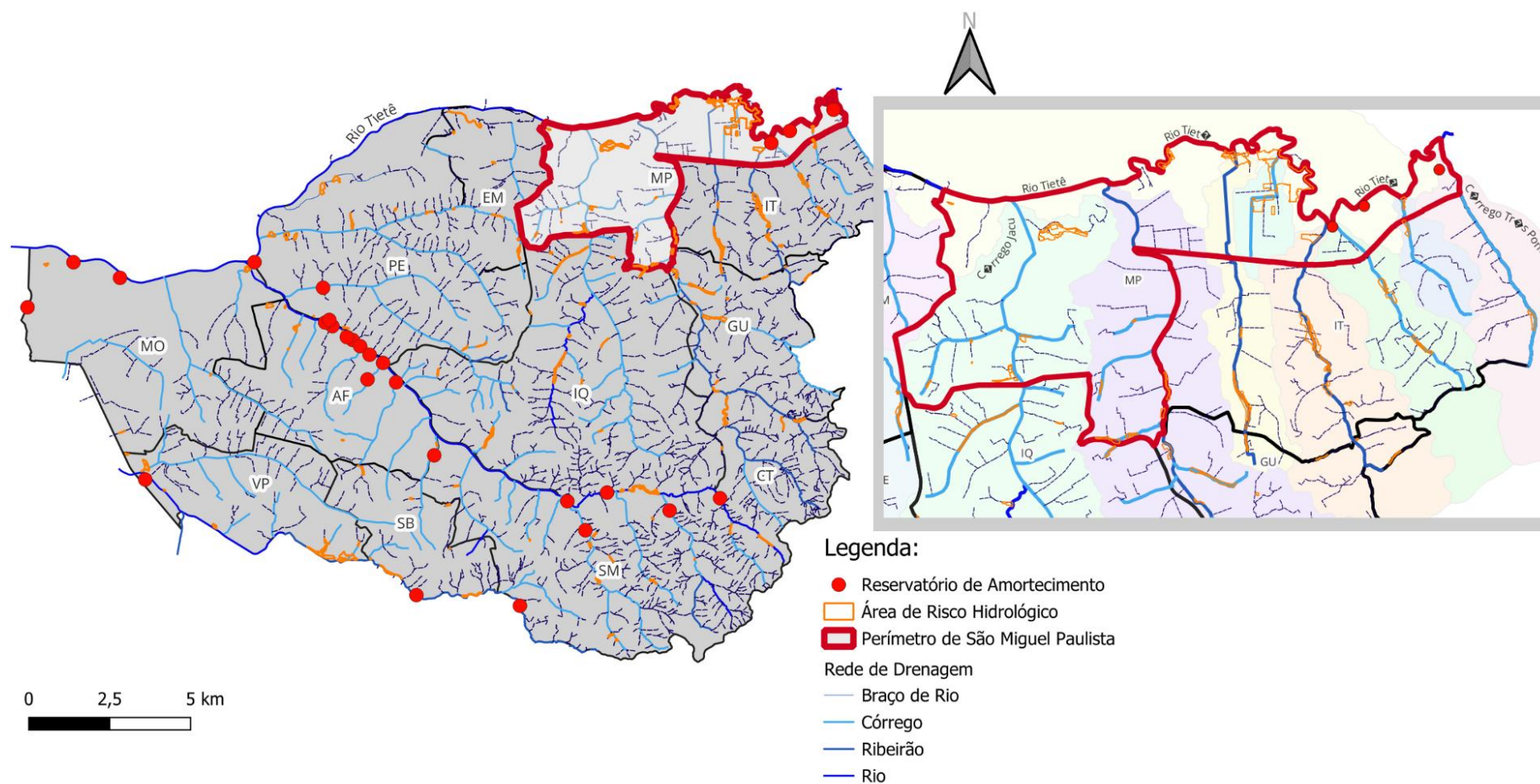
A Figura 11 mostra a disposição da rede de drenagem da Zona Leste (rios, córregos e outros cursos d'água canalizados, expostos ou não), assim como áreas mapeadas como risco hidrológico pela Defesa Civil e organizado pelas Subprefeituras para identificar assentamentos precários que estão localizados às margens de rios e córregos e estão mais vulneráveis a inundações. Também é possível observar os reservatórios de amortecimento implantados como solução para conter os eventos de inundação.

O Rio Aricanduva, em seu trecho que passa entre Aricanduva e Penha, possui vários reservatórios, pois se trata de uma área que de acordo com o Estudo de Mobilidade (ITDP) (BRASIL, 2017), sofre inundações com apenas uma chuva de intensidade 30mm/h. A cabeceira do rio está localizada na Subprefeitura de São Mateus, onde existem muitos cursos d'água, e possui 5 reservatórios de amortecimento para conter as inundações ao longo deste trecho, mas ainda assim é uma das subprefeituras com maior frequência de inundações registradas, inclusive em faixas baixas.

Na Figura 11 é possível observar que existem várias áreas de risco mapeadas pela Defesa Civil, o que torna compreensível que, pelos registros se darem pelo acionamento por parte da população, o gráfico mostre uma alta concentração de casos até mesmo em faixas mais baixas de chuva, devido às áreas vulneráveis que ocupam não apenas o rio principal, mas também as beiras dos córregos menores, que são impactadas pela impermeabilização e intensa urbanização.

Pela mesma figura, pode-se identificar a Subprefeitura de São Miguel Paulista, destacada em vermelho e ampliada para análise por se tratar do caso mais crítico observado tanto em frequência de inundações quanto por eventos por faixa de chuva.

Figura 11 - Rede de drenagem, reservatórios de amortecimento e áreas de risco hidrológico na Zona Leste, com destaque para São Miguel Paulista



Fonte: Elaborado pela autora com base em dados do GeoSampa (SÃO PAULO, 2025c)

O caso de São Miguel Paulista é complexo e crítico. A Subprefeitura situa-se na várzea do Rio Tietê, um local plano e que naturalmente o rio se elevava por enchentes no passado, e está na região do exutório de diversas microbacias que abrangem a área de outras Subprefeituras como Itaquera, Itaim Paulista e Guaianases, além da presença de áreas de contribuição direta de escoamento difuso próximas ao Rio Tietê. Dessa forma, quando há precipitação intensa nas subprefeituras vizinhas, a água escoar em direção ao rio principal, o que causa elevação do nível do rio independente da chuva local.

Devido a intensa urbanização, o escoamento da chuva que cai nas microbacias aumenta com a permeabilidade do solo reduzida, direcionando volumes maiores de água para os fundos de vale como a região de São Miguel Paulista. Na Figura 11 pode-se observar as áreas de risco mapeadas, que coincidem com a área correspondente ao Jardim Pantanal, que possui uma grande vulnerabilidade socioambiental e com frequência é noticiada pelos eventos de inundações críticos que duram dias mesmo com pouca chuva ou sem, ficando submersa por vários dias nos meses de verão (MALAGODI; PELOGGIA, 2013). Como mostra a figura, existem três reservatórios de amortecimento a montante, e até 2013, a frequência de inundações não havia diminuído. De acordo com os registros atualizados deste trabalho, no período de 2013-2024 é possível afirmar que a Subprefeitura de São Miguel Paulista ainda se encontra em situação de extrema vulnerabilidade, com uma quantidade alta de acionamentos até mesmo em dias sem chuva registrada nela.

A análise da relação entre a frequência de chuvas igual ou maior que 20mm e a frequência de inundações para o caso de São Miguel Paulista e Itaim Paulista indica que as inundações locais não dependem apenas da chuva local. Segundo Monteiro Júnior (2012), as cheias em São Paulo deixaram de ser eventos pontuais para se tornarem eventos interligados. Devido ao tempo de percurso da água na bacia hidrográfica, a precipitação que ocorre nas cabeceiras (montante) pode causar o transbordamento dos rios em subprefeituras localizadas na extremidade da bacia (jusante) horas depois, mesmo sem a ocorrência de chuvas significativas nessas áreas no momento da inundação.

5.3 ANÁLISE DE DIAS CRÍTICOS: A DISCREPÂNCIA ENTRE O MONITORAMENTO OFICIAL E A REALIDADE LOCAL

Para complementar a análise espacial da relação entre precipitação acumulada em cada região da cidade e os eventos de inundações, foi feita uma seleção por meio da quantidade de registros por dia ao longo do período, considerando o dia de cada ano com maior quantidade de registros a fim de investigar com notícias e pela marcação de cada pluviômetro das subprefeituras afetadas. Isso permitiu identificar com maior clareza como a combinação entre chuva localizada e vulnerabilidade urbana produz impactos no território.

Devido à estação Mirante de Santana (INMET) ser considerada referência em monitoramento climático, com seus dados sendo amplamente utilizados para divulgação de eventos de chuva pela mídia e portais climatológicos, além de pesquisas sobre o clima de São Paulo, foi colocada em evidência tanto seus registros diários quanto o ajuste do mesmo por meio da soma de precipitação medida de hora em hora dentro do horário civil (0h-23h) convertido para o fuso-horário de Brasília, assim como o maior valor de chuva horária registrado no dia.

Para esta etapa foram selecionados três eventos representativos do período 2013–2024, que correspondem ao dia com maior número absoluto de registros de inundação: um dia em que os impactos foram registrados, mas foram divulgados pela mídia sobre o dia anterior; e um dia em que os principais rios da cidade transbordaram, para analisar como se deu o impacto em outras regiões que contribuem para a cheia desses rios. Em cada caso, são discutidos o padrão espacial da precipitação, a distribuição das ocorrências, a posição da subprefeitura dentro das bacias hidrográficas e a eventual diferença entre o registro do Mirante e as estações locais.

No Quadro 1, é possível observar de forma generalizada que Mirante de Santana não fornece em seu registro diário a chuva exata que caiu no dia, isso se deve aos horários de medições em que são registrados em 3 leituras na estação convencional, às 9h, 15h e 21h (INSTITUTO..., 2021). Entretanto, para este trabalho foram utilizados os dados da estação automática, em que os dados são semelhantes aos fornecidos pela estação convencional (apenas com pequenas divergências devido à possibilidade de erro humano na leitura).

Quadro 1 - Síntese comparativa entre índices pluviométricos, registros de alagamentos oficiais e repercussão na mídia para ventos extremos de 2015 e 2016

2015									
Data	Registros do Mirante de Santana INMET [mm]	Subprefeitura	Registros do Dia Anterior - Pluviômetros CGE [mm]	Registros Diários Pluviômetros CGE [mm]	Registros de Alagamentos da Defesa Civil	Registros de Inundações da Defesa Civil	Pontos de Alagamento do CGE	Notícia Sobre a Data	
16/03/2015	Registro Diário: 21,8mm	PI-PINHEIROS	0,8	5,5	1		3	<u>Chuva forte volta a deixar parte de São Paulo em atenção para alagamentos</u>	
		MP-SAO MIGUEL PAULISTA	8,8	56,4		1			
	Acumulado (0h-23h): 22,8mm	MO-MOOCA	8,2	57,9	1		7		
		IP-IPIRANGA	13,9	38,0	1		5		
		VM-VILA MARIANA	1,1	36,4	3		5		
		VP-VILA PRUDENTE	12,6	43,2	2		1		
		EM-ERMELINO MATARAZZO	2,7	75,6	2				
		Máx. 1h: 16,6mm Horário: 16h	AF-ARICANDUVA/FORMOSA/CARRAO	2,7	51,6	1			
CS-CAPELA SOCORRO	16,6		14,2	2					
<u>17/03/2015</u> (dia com mais registros no ano)	Registro Diário: 22,8mm	PI-PINHEIROS	5,5	0,0	1			<u>Cantareira segue em alta e nível vai a 15,3%: todos os sistemas sobem</u>	
		MP-SAO MIGUEL PAULISTA	56,4	0,5		73			
		SA-SANTO AMARO	16,2	0,0	2				
		EM-ERMELINO MATARAZZO	75,6	0,2	2				
	Acumulado (0h-23h): 0,0mm	SE-SE	8,8*	0,0 (Consolação)	2				
		AF-ARICANDUVA/FORMOSA/CARRAO	51,6	8,8	1				
		2016							
		<u>24/02/2016</u> (dia com mais registros no ano)	Registro Diário: 0,0mm	MP-SAO MIGUEL PAULISTA	2,1	63,9	3		804
SM-SAO MATEUS	0,2			134,4	1	1	2		
SA-SANTO AMARO	1,6			24,9	2		3		
Acumulado (0h-23h): 3,2mm	G-GUAIANASES		0,9	68,6	1			<u>Chuva 'transforma rua em rio' e atinge van escolar na Zona Leste de SP</u>	
	PE-PENHA		2	39,1	4		4		
	VP-VILA PRUDENTE		0,7	39,6	1		2		
	IT-ITAIM PAULISTA		2,6	49,8	1		1		
	IQ-ITAQUERA		0,4	68,3	11	1	12		
	SB-SAPOPEMBA		0,2		1				
Máx. 1h: 3,2mm Horário: 16h	EM-ERMELINO MATARAZZO		0,5	82,3	1	52	1	<u>Com chuva forte, córregos transbordam e SP tem ruas alagadas</u>	
	SE-SE		0,8*	12,2	1		1		
				18,8 (Consolação)					
	CS-CAPELA SOCORRO	0,6	6,9		2				

*Maior valor Registrado entre os 2 pluviômetros localizados na Subprefeitura Sé

**Maior valor Registrado entre os 3 pluviômetros localizados na Subprefeitura Santana/Tucuruvi

Nota: "Registro Diário" refere-se ao dado diário disponibilizado no BDMEP/INMET (padrão de leitura às 12h UTC). "Acumulado (0h-23h)" refere-se à totalização dos registros horários da estação automática para o dia civil (0h-23h) convertidos para o horário de Brasília, realizada pela autora para corrigir defasagens temporais de registro.

Fonte: Elaborado pela autora com base em dados do INMET, CGE, GeoSampa e acervo jornalístico (2025)

Além do Quadro 1, também foi elaborada a Figura 12 para demonstrar como se deu a distribuição espacial da chuva e dos registros de inundações em cada subprefeitura. Os dias selecionados ocorreram nos meses chuvosos na cidade de São Paulo, entre fevereiro ou março, onde já são esperados aumentos no número de inundações.

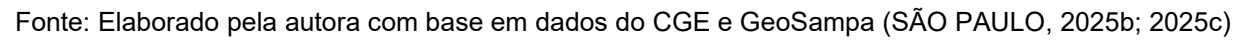
5.3.1 Estudo de Caso: 16 e 17 de março de 2015

Entre os dias 16 e 17 de março de 2015, em que o dia dezessete é o dia com mais registros do ano, pode-se observar exatamente o funcionamento do registro do Mirante de Santana (INMET), mesmo a estação automática fornece o acumulado diário do dia anterior, 22,8 mm (somatória dos registros horários dentro do período de 0h-23h, no horário de Brasília). Os dados diários foram solicitados via e-mail ao BDMEP (BRASIL, 2025), porém, nas planilhas não consta que os registros acompanham o horário UTC assim como os registros diários (que já há a informação sobre isso, o que possibilitou o ajuste de fuso). De qualquer forma, neste dia a estação convencional marcou uma quantidade acumulada de precipitação semelhante, 24,2 mm, o que indica que a medição diária da estação automática acompanha o padrão convencional.

Ainda assim, pode-se observar uma diferença grande no acumulado registrado nas outras subprefeituras como Ermelino Matarazzo (75,8mm), Mooca (57,9mm) e São Miguel Paulista (56,4 mm), que já teve 1 registro de inundação no dia 16 de março de 2015. A Figura 12 mostra a diferença entre a precipitação entre as datas e a distribuição dos registros de inundações. Os dados sugerem que a chuva do dia anterior possa ter agravado a situação no dia seguinte. Isso mostra uma das diferenças entre inundações e alagamentos: as inundações podem ser resultado de chuvas acumuladas anteriormente e devido ao nível de impermeabilidade de São Paulo, necessitam de um acumulado maior de água nas várzeas, que pode ocorrer não somente pela chuva local, mas como sugere a figura, o escoamento vindo das microbacias das subprefeituras próximas. Logo, as regiões localizadas na várzea do curso principal podem ficar vulneráveis.

No dia 16, a maior chuva registrada em 1h foi 16,6 mm, no horário das 16h, o que pode ser um indício de que nas subprefeituras com maior acumulado, considerando o padrão de chuvas para o mês de março, também podem ter ocorrido

concentrações relevantes de acumulado pluviométrico em um apenas uma hora. Isso implica na possibilidade de ocorrência de chuvas convectivas, exatamente no final da tarde como descrevem Silva, Pereira Filho e Hallak (2009), agravadas pelo calor e umidade em certas regiões altamente urbanizadas, o que agrava ainda mais os eventos de inundações.



De acordo com a Uol Notícias (CHUVA faz..., 2015), no dia 16 de março o evento de inundação ocorreu com o transbordamento do córrego do Ipiranga, uma região que apresenta um histórico crônico de inundações com mais de 80 registros mapeados nas últimas décadas devido às intensas modificações antrópicas entre as décadas 1960 e 1970 com a canalização do córrego para a implementação da Avenida Dr. Ricardo Jafet sobre a planície fluvial, o que faz com que a capacidade de vazão seja rapidamente superada (AMARAL; ROSS, 2020).

O Quadro 1 aponta que no dia do evento, o registro pluviométrico local foi de 38 mm, chuva acima do parâmetro considerado como crítico para este trabalho, e apesar de se tratar de um transbordamento de um curso d'água, não foram registrados nenhuma solicitação de demanda de inundação pela Defesa Civil, enquanto a notícia do Portal Uol (CHUVA faz..., 2015) diz que até as 21h, o Corpo de Bombeiros não havia recebido chamados referentes à enchente. Esse chamado possivelmente foi registrado como alagamento, pois há apenas uma única ocorrência na Subprefeitura do Ipiranga naquele dia.

Já o CGE (SÃO PAULO, 2025a), registrou 5 pontos de alagamento, em que 4 possuem localização importante: 3 estavam localizados na Avenida Prof. Abraão de Moraes, 2 próximos a um reservatório de amortecimento e 1 na altura do Bosque da Saúde; outro próximo ao Ribeirão dos Meninos em seu trecho canalizado próximo ao Rio Tamanduateí, onde se encontra o exultório da Bacia do Ribeirão dos Meninos que recebe contribuição da chuva do ABC Paulista. O Ribeirão dos Meninos conta com 5 reservatórios de amortecimento ao longo de sua extensão, estando um deles localizados exatamente próximo ao ponto de alagamento registrado, além da área ser mapeada pela Defesa Civil como risco hidrológico.

Outro ponto importante a ser ressaltado é que no site do CGE também consta o horário em que o alagamento permaneceu ativo, e o horário em que estes eventos aconteceram foi compatível com o da máxima chuva horária registrada pelo Mirante de Santana naquele dia, entre as 15:20 e 16:30. A notícia (CHUVA faz..., 2015) também destaca que o horário que aconteceram as chuvas foi no mesmo intervalo de tempo, mas que em outras regiões choveu em quantidades ainda maiores.

Apesar dos registros públicos dos pluviômetros locais do CGE não disponibilizarem dados horários, a notícia (CHUVA faz..., 2015) divulgou que na Subprefeitura Penha durante o máximo de precipitação acumulada em 1h foi de 49,2

mm, mas apesar disso não foram registradas ocorrências de inundação ou alagamento pela Defesa Civil para esta Subprefeitura.

No dia seguinte, 17 de março de 2015, de acordo com a Folha de S. Paulo (CHUVA forte..., 2015), a chuva deixou as Subprefeituras Ipiranga, Vila Mariana e Jabaquara em estado de atenção, porém não revela a magnitude do evento de precipitação, e os pluviômetros locais registraram menos que 1mm de chuva, exceto Aricanduva/Formosa/Carrão que registrou 8,8 mm neste dia. O Quadro X tem registrado para este dia algumas ocorrências de alagamento apenas, e o CGE (SÃO PAULO, 2025a) não registrou nenhum ponto de alagamento ativo. De acordo com a Folha de S. Paulo, o evento foi provado devido às áreas de instabilidade provocadas pelo calor e alta umidade da atmosfera, impulsionadas pela presença de uma Zona de Convergência de Umidade.

É possível observar na Figura 12 a diferença entre os dois dias, um com altas barras, e as maiores na Zona Leste e parte da Zona Sul (região do Ipiranga). Entretanto, o que chama atenção tanto no Quadro 1 quanto na Figura 12, é a concentração em um único local de registros de inundação, sendo somente 1 no dia do evento crítico, mesmo com uma chuva local grande registrada, e no dia seguinte que não choveu ter 73 registros, o que mostra que a inundação em um local pode não acontecer imediatamente no momento da chuva, mas devido à fatores como tempo de concentração de bacias de regiões próximas e ao fato de a subprefeitura estar localizada na planície fluvial do curso d'água principal, assim, o evento pode ocorrer depois e mesmo com pouca ou nenhuma chuva, quando há vulnerabilidade socioambiental, os moradores sofrem as consequências.

5.3.2 Estudo de Caso: 24 de fevereiro de 2016

No dia 24 de fevereiro de 2016, houve uma anomalia na quantidade de registros de inundações. Como observado na Figura 3, 2016 foi um ano com uma quantidade muito grande de solicitações em relação aos demais anos do período analisado, e ao verificar as ocorrências dia a dia, existiram dias específicos que contribuíram em peso para isso. Foi selecionado o dia com maior número de inundações para ser analisado a fim de entender o motivo da explosão de registros.

Como exposto no Quadro 1, neste dia uma única Subprefeitura teve um grande volume de registros de inundação: São Miguel Paulista registrou 804 ocorrências em

um único dia. De acordo com a Prefeitura (SÃO PAULO, 2016), às 15h da tarde, a Zona Leste da cidade entrou em estado de atenção e após esse horário as marginais (Tietê e Pinheiros) também. Houve o transbordamento dos córregos Franquinho (Penha), Itaquera Mirim (Guaianases), Rio Verde e Aricanduva (Itaquera) e Jacu Pêssego (São Miguel Paulista), além de Itaim Paulista, cujo córrego Lajeado também transbordou (COM..., 2016). Durante o mês de janeiro de 2016, a região registrou médias altas de acumulado, inclusive Itaim Paulista (média de 405,1mm) e São Mateus (330,6 mm).

Ainda de acordo com a Prefeitura de S. Paulo (SÃO PAULO, 2016), cerca de 200 famílias em São Miguel foram afetadas pelo transbordamento do córrego Jacu Pêssego, além de registro de desabamento com pessoas feridas. Já em Itaquera, cerca de 100 foram atingidas pelo transbordamento do Rio Verde e do Rio Aricanduva.

Segundo uma reportagem do G1 Globo (CHUVA transforma..., 2016), uma moradora de Itaquera que reside próximo ao córrego Paraguaçu, região onde há áreas de risco mapeadas pela Defesa Civil, relatou que qualquer chuva de curta duração (10 a 15 minutos) é o suficiente para fazer o córrego transbordar, que é comum que pessoas percam casa e móveis em decorrência de “alagamentos” (inundações) no bairro.

Ao analisar a Figura 12, pode-se observar a quão heterogênea entre regiões foi o evento de chuva (acumulado representado pelas barras amarelas), que caiu em quantidade muito grande na Zona Leste e baixa as demais. Os impactos foram altamente refletidos na quantidade de ocorrências registradas pela Defesa Civil (representado pelas regiões em roxo no mapa coroplético), sendo a situação de São Miguel realmente desesperadora, mas Ermelino Matarazzo também sofreu, com 52 ocorrências registradas, onde a inundação atingiu uma escola (CHUVA transforma..., 2016).

No dia anterior não houve chuva expressiva registrada nas subprefeituras. Já no dia 24 de fevereiro, Itaquera registrou 68,3 mm de chuva no dia, teve 12 pontos de alagamento registrados pelo CGE (SÃO PAULO, 2025a), e apenas 1 solicitação para inundação. Esses pontos estavam localizados em áreas de inundação como ao longo do Rio Aricanduva (reservatórios de amortecimento) em trechos com córregos como o Mombaça e o Pelegrino, onde há áreas de risco mapeadas pela Defesa Civil. A maior parte, no entanto, estava localizada em uma área de risco entre Rio Verde, Córrego Itapeva-Jacu e Córrego Jacu.

Devido ao grande volume de chuvas em São Mateus, Itaquera, Itaim Paulista, Guaianases e Cidade Tiradentes, as bacias Córrego Jacu, Ribeirão Itaquera e Ribeirão Lajeado têm o volume de seus rios rapidamente aumentados, e a alta urbanização e impermeabilização da região agravam a probabilidade de enchentes, a ponto de ocorrerem ao longo do curso dos rios e córregos. Dessa forma, a água escoar em grande quantidade e chega ainda mais rápido ao exutório, encontrando uma área plana causando inundações severas em São Miguel Paulista.

Enquanto os registros de pontos de alagamento do CGE marcam locais em que as inundações impactam o trânsito, os registros da Defesa Civil (que não são duplicatas, pois cada um possui um código próprio) representam a situação de vulnerabilidade das pessoas que possuem suas casas tomadas pelo efeito das enchentes. Ao plotar os pontos brutos no mapa para este dia, nota-se que houve muitas solicitações para São Miguel Paulista e uma concentração impressionante principalmente na área onde se localiza o Jardim Pantanal.

Entretanto, por erros de georreferenciamento do próprio arquivo, muitos acabam sendo plotados em regiões difusas, por esse motivo optou-se por analisar a frequência de dias com inundação, mas ainda assim, a visualização dos pontos individualmente mostra a questão agravante da vulnerabilidade socioambiental da área. A Figura 13 mostra a disposição dos pontos dos chamados para inundação no dia 24 de fevereiro de 2016 (representados em verde).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo desse trabalho foi caracterizar a ocorrência de inundações na cidade de São Paulo levando em consideração a forma como a chuva varia no território, analisando os registros pluviométricos e a frequência das ocorrências por Subprefeitura, juntamente com a análise da dinâmica das bacias hidrográficas e a vulnerabilidade socioambiental. Utilizando os dados diários e horários de precipitação do INMET (Mirante de Santana), os dados diários dos pluviômetros locais do CGE, os registros de ocorrência de inundações e alagamentos da Defesa Civil e observando a drenagem urbana foi possível identificar o comportamento das inundações na cidade.

A análise evidenciou que grande parte das inundações ocorrem nas regiões periféricas, sobretudo em áreas com uma concentração elevada de cursos d'água e intensamente impermeabilizadas em decorrência da urbanização, o que requer um volume de água maior para que o transbordamento ocorra, enquanto alagamentos ocorrem mais na porção central por ser um problema na microdrenagem. Entretanto, a maior frequência de inundações ocorre em acumulados muito baixos de chuva (0-10 mm), e que nas subprefeituras da periferia, a frequência nessa faixa é ainda maior que em outras.

Isso pode estar relacionado com a posição em que a região se encontra dentro da bacia hidrográfica onde está inserida, sendo um fator agravante para a ocorrência de inundações, pois a contribuição de áreas a montante que não inundam tanto mas tem maior incidência de precipitações acima do parâmetro analisado (≥ 20 mm) somado ao encurtamento do tempo de concentração, faz com que regiões a jusante em áreas mais planas sofram com o transbordamento de rios e córregos mesmo quando a chuva local é baixa ou não há chuva.

Subprefeituras inseridas em várzeas, sobretudo as que se localizam nas várzeas dos rios principais e recebem contribuição de bacias que passam por outras subprefeituras, apresentam uma maior quantidade de inundações em baixa precipitação, como no caso de São Miguel Paulista, enquanto a região vizinha, Itaim Paulista, teve maior frequência de chuva acima do parâmetro e menor frequência de eventos. Este exemplo mostra que a suscetibilidade às inundações não está associada somente à chuva local, mas também é altamente influenciada pela posição na bacia-hidrográfica, à impermeabilização e à chuva em outros pontos da bacia.

A análise espacial das chuvas revelou que a distribuição e o padrão de chuvas de São Paulo acontecem de forma variável entre as regiões da cidade, sobretudo nos meses de verão quando há maior incidência de chuvas convectivas, que são influenciadas pelo calor e umidade local, além da poluição, o que torna os eventos mais intensos em algumas regiões da cidade com aumento da frequência de dias com precipitação acima do parâmetro nesses locais.

Com o estudo de dias selecionados foi possível entender que, mesmo em dias que a estação-referência registrou pouca chuva (diária ou horária), outras subprefeituras foram severamente afetadas por eventos de chuva intensa com grandes acumulados, o que reforça a necessidade de considerar os dados espacializados para compreender a dinâmica de precipitação urbana, pois o padrão de chuva da cidade de São Paulo mudou e a tradicional garoa tem dado lugar a grandes tempestades. Essa mudança no padrão e concentração das chuvas impacta as inundações de forma que, ao chover intensamente em um local de uma bacia, outro a jusante que não tiver recebido chuva irá rapidamente sofrer com o acúmulo de água.

Outro ponto importante a ser considerado, é que é de grande importância considerar a vulnerabilidade social de cada local, pois os impactos das inundações ocorrem de forma diferente a depender da situação social e ambiental. Enquanto em áreas com melhor infraestrutura os impactos são sentidos na mobilidade, na periferia, onde há infraestrutura insuficiente, pessoas perdem seus bens e suas casas.

Este trabalho conclui que a caracterização das inundações na cidade de São Paulo necessita da integração entre análise da dinâmica da chuva considerando sua distribuição espacial, as características físicas do ambiente, o entendimento da dinâmica das bacias hidrográficas e onde cada localidade está inserida nas mesmas, os registros de ocorrências de inundações e o impacto da urbanização. Em um cenário de incertezas climáticas e modificações nos padrões de chuva, é importante que este entendimento leve à elaboração de medidas de adaptação e resiliência adequados para as necessidades de cada região, mas também levando em consideração de que há interligação dos eventos de umas nas outras. A história da drenagem de São Paulo já apresenta problemas desde o passado e continua no presente, e antes mesmo do futuro, é preciso repensar a relação da cidade com as águas.

REFERÊNCIAS

- ALISSON, E. Número de dias com chuva forte cresceu em São Paulo nas últimas sete décadas. *Agência FAPESP*, São Paulo, 6 mar. 2020. Disponível em: <https://agencia.fapesp.br/numero-de-dias-com-chuva-forte-cresceu-em-sao-paulo-nas-ultimas-sete-decadas/32683>. Acesso em: 9 dez. 2025.
- ALMEIDA, F. M. de. Fundamentos geológicos do relevo paulista. *Revista do Instituto Geológico*, São Paulo, v. 39, n. 3, p. 9-75, 2018. DOI: 10.33958/revig.v39i3.600.
- AMARAL, R. do; ROSS, J. L. S. A legislação e a gestão para redução de riscos relacionados a inundações no município de São Paulo/SP. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia, v. 32, p. 501-514, 2020. DOI: 10.14393/SN-v32-2020-49531.
- APOLLARO, C.; ALVIM, A. Estratégias e desafios do planejamento urbano para a adaptação de cidades frente à mudança climática. *Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade*, Curitiba, v. 13, n. 6, 2017. Disponível em: <https://www.revistasuninter.com/revistameioambiente/index.php/meioAmbiente/articloe/view/663>. Acesso em: 9 dez. 2025.
- BRASIL. Instituto Nacional de Meteorologia. *Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP)*. Brasília, DF: INMET, [2025]. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br>. Acesso em: 9 dez. 2025.
- BRASIL. Ministério das Cidades. *Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios*. Organização: Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 2007. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/protecao-e-defesa-civil/manuais-e-guias/mapeamento-de-riscos-em-encostas-e-margens-de-rios.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2025.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Transporte e da Mobilidade Urbana. *Estudo técnico: adaptação às mudanças climáticas na mobilidade urbana*. Elaboração: Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (ITDP Brasil). Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2017. 75 p. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/mobilidade-urbana/acordos-de-cooperacao/arquivos/arquivos/Estudo_Tcnico__Adaptao_s_mudanas_climticas_na_Mobilidade_Urbana.pdf. Acesso em: 9 dez. 2025.
- CANTAREIRA segue em alta e nível vai a 15,3%; todos os sistemas sobem. *G1*, São Paulo, 17 mar. 2015. Disponível em: <https://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/2015/03/cantareira-segue-em-alta-e-nivel-vai-153-todos-os-sistemas-sobem.html>. Acesso em: 9 dez. 2025.
- CASTRO, A. C. V. de; ALVIM, A. T. B. Urbanização e gestão de riscos hidrológicos em São Paulo. *Cadernos Metrópole*, São Paulo, v. 24, n. 54, p. 669-696, 2022. DOI: 10.1590/2236-9996.2022-5410.

CAVALCANTE, L. B. et al. Análise de ilhas de calor e frescor utilizando-se de processamento digital de imagens: estudo de caso Município de São Paulo/SP. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Paulo, v. 35, n. esp., p. 835-846, 2020. DOI: 10.1590/0102-7786355000010.

CHUVA faz córrego transbordar e fecha aeroporto por 37 minutos em SP. *UOL Notícias*, São Paulo, 16 mar. 2015. Disponível em: <https://noticias.uol.com.br/ultimas-noticias/agencia-estado/2015/03/16/chuva-faz-corrego-transbordar-e-fecha-aeroporto-por-37-minutos-em-sp.htm>. Acesso em: 9 dez. 2025.

CHUVA forte volta a deixar parte de São Paulo em atenção para alagamentos. *Folha de S.Paulo*, São Paulo, 17 mar. 2015. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2015/03/1604087-chuva-forte-volta-a-deixar-parte-de-sao-paulo-em-atencao-para-alagamentos.shtml>. Acesso em: 9 dez. 2025.

CHUVA “transforma rua em rio” e atinge van escolar na Zona Leste de SP. *G1*, São Paulo, 25 fev. 2016. Disponível em: <https://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/2016/02/chuva-transforma-rua-em-rio-e-atinge-van-escolar-na-zona-leste-de-sp.html>. Acesso em: 9 dez. 2025.

COM chuva forte, córregos transbordam e SP tem ruas alagadas. *Folha de S.Paulo*, São Paulo, 24 fev. 2016. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2016/02/1742829-chuva-forte-deixa-sao-paulo-inteira-em-estado-de-atencao-para-alagamentos.shtml?mobile>. Acesso em: 9 dez. 2025.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO TIETÊ. *Plano da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê: Sumário Executivo*. São Paulo: FUSP, 2009. 55 p. Disponível em: https://sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/71111/pat_sumario_executivo.pdf. Acesso em: 9 dez. 2025.

CUNHA, Mariana. Alagamentos nos quatro primeiros meses de 2019 sobem 65% em São Paulo. *O Estado de S. Paulo*, São Paulo, [2019]. Especial 10 anos de chuvas. Disponível em: <https://arte.estadao.com.br/sao-paulo/10-anos-de-chuvas/>. Acesso em: 9 dez. 2025.

ENTRE RIOS. Direção: Caio Silva Ferraz. Produção: Luana de Abreu e Joana Scarpelini. São Paulo: [s.n.], 2009. 1 vídeo (25 min). Publicado pelo canal Caio Silva Ferraz. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Fwh-cZfWNlc>. Acesso em: 9 dez. 2025.

FAVELAS de São Paulo têm 1,7 milhão de moradores, diz Censo. *Folha de S.Paulo*, São Paulo, 8 nov. 2024. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2024/11/favelas-de-sao-paulo-tem-17-milhao-de-moradores-diz-censo.shtml>. Acesso em: 9 dez. 2025.

FRANCO, F. de M. *A construção do caminho: a estruturação da metrópole pela conformação técnica das várzeas e planícies fluviais da Bacia de São Paulo*. 2005. Tese (Doutorado em Estruturas Ambientais Urbanas) – Faculdade de Arquitetura e

Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. DOI: 10.11606/T.16.2005.tde-07022024-113209.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Cidades e estados: São Paulo*. Rio de Janeiro: IBGE, [2025]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/sao-paulo.html>. Acesso em: 9 dez. 2025.

INSTITUTO de Astronomia da USP se posiciona contra construção de prédio ao lado do Mirante de Santana que pode afetar medições meteorológicas. *G1*, São Paulo, 1 ago. 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2021/08/01/instituto-de-astronomia-da-usp-se-posiciona-contra-construcao-de-predio-ao-lado-do-mirante-de-santana-que-pode-afetar-medicoes-meteorologicas.ghtml>. Acesso em: 9 dez. 2025.

JATOBÁ, S. U. S. *Urbanização, meio ambiente e vulnerabilidade social*. Brasília, DF: Ipea, 2011. (Texto para Discussão, 1589). Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/5567>. Acesso em: 9 dez. 2025.

JORGE, J. Rios e saúde na cidade de São Paulo, 1890–1940. *História e Perspectivas*, Uberlândia, n. 47, p. 103–124, jul./dez. 2012.

LAHSEN, M.; RIBOT, J. Politics of attributing extreme events and disasters to climate change. *WIREs Climate Change*, [S.l.], v. 13, n. 1, e750, p. 1-11, 2022. DOI: 10.1002/wcc.750.

LYRA, A. et al. Climate change projections over three metropolitan regions in Southeast Brazil using the non-hydrostatic Eta regional climate model at 5-km resolution. *Theoretical and Applied Climatology*, [S.l.], v. 132, p. 663-682, 2018. DOI: 10.1007/s00704-017-2067-z.

MALAGODI, C. C.; PELOGGIA, A. U. G. Análise de vulnerabilidade aplicada à gestão de riscos hídricos: estudo de um assentamento urbano na planície de inundação do rio Tietê no município de São Paulo (SP). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 14., 2013, Rio de Janeiro. *Anais [...]*. São Paulo: ABGE, 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Alex-Peloggia/publication/311495658>. Acesso em: 9 dez. 2025.

MARENGO, J. A. et al. Climatological patterns of heatwaves during winter and spring 2023 and trends for the period 1979-2023 in central South America. *Frontiers in Climate*, [S.l.], v. 7, e1529082, 13 fev. 2025. DOI: 10.3389/fclim.2025.1529082.

MARENGO, J. A. et al. Extreme Rainfall and Hydro-Geo-Meteorological Disaster Risk in 1.5, 2.0, and 4.0°C Global Warming Scenarios: An Analysis for Brazil. *Frontiers in Climate*, [S.l.], v. 3, e610433, 2021. DOI: 10.3389/fclim.2021.610433.

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*, Oldendorf/Luhe, v. 57, p. 61-72, 2013. DOI: 10.3354/cr01160.

MONTEIRO JÚNIOR, L. *Infraestruturas urbanas: uma contribuição ao estudo da drenagem em São Paulo*. 2012. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. DOI: 10.11606/D.16.2012.tde-29052012-093523.

OLIVEIRA, M. G. L. *Impacto dos aerossóis atmosféricos na formação de nuvens e precipitação sobre a região metropolitana de São Paulo*. 2012. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002332956>. Acesso em: 9 dez. 2025.

OLIVEIRA, T. D. *Alagamentos e vulnerabilidade social: um estudo de caso na Zona Leste de São Paulo*. 2018. 56 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2018. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/203655>. Acesso em: 9 dez. 2025.

PIVETTA, M. Da garoa à tempestade. *Revista Pesquisa FAPESP*, São Paulo, ed. 195, maio 2012. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/da-garoa-a-tempestade/>. Acesso em: 9 dez. 2025.

PIVETTA, M. Paulo Artaxo: Física a serviço do planeta. *Revista Pesquisa FAPESP*, São Paulo, ed. 239, jan. 2016. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/paulo-artaxo-fisica-a-servico-do-planeta/>. Acesso em: 9 dez. 2025.

RAJU, E.; BOYD, E.; OTTO, F. Stop blaming the climate for disasters. *Communications Earth & Environment*, London, v. 3, n. 1, 2022. DOI: 10.1038/s43247-021-00332-2.

REBOITA, M. S. et al. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010. DOI: 10.1590/S0102-77862010000200004.

ROSS, J. L. S. Inundações e deslizamentos em São Paulo: riscos da relação inadequada sociedade-natureza. *Territorium*, Coimbra, n. 8, p. 15-23, 2001. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5773244.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2025.

SANDRE, L. H. *Evolução da área construída em terrenos suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa e inundações na região metropolitana de São Paulo*. 2025. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) – Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2025. DOI: 10.11606/D.106.2025.tde-12062025-151058.

SANTOS, A. S. P.; OHNUMA JR., A. A. (org.). *Engenharia e meio ambiente: aspectos conceituais e práticos*. Rio de Janeiro: LTC, 2021.
SANTOS, Álvaro Rodrigues dos. O prefeito Haddad e as enchentes. *Folha de S. Paulo*, São Paulo, 20 jan. 2013. Opinião. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/fsp/opiniaao/87850-o-prefeito-haddad-e-as-enchentes.shtml>. Acesso em: 9 dez. 2025.

SÃO PAULO (Município). Centro de Gerenciamento de Emergências Climáticas. *Histórico de alagamentos*. São Paulo: CGE, [2025]. Disponível em: <https://www.cgesp.org/v3/alagamentos.jsp>. Acesso em: 9 dez. 2025.

SÃO PAULO (Município). Centro de Gerenciamento de Emergências Climáticas. *Índices pluviométricos*: planilhas de precipitação. São Paulo: CGE, [2025]. Disponível em: https://www.cgesp.org/v3/planilha_precipitacao.jsp. Acesso em: 9 dez. 2025.

SÃO PAULO (Município). *Chuva provocou estado de alerta em bairros da zona leste*. São Paulo: Prefeitura de São Paulo, 25 fev. 2016. Disponível em: <https://www.prefeitura.sp.gov.br/w/noticia/chuva-provocou-estado-de-alerta-em-bairros-da-zona>. Acesso em: 9 dez. 2025.

SÃO PAULO revive mesmas enchentes há 91 anos. *Folha de S.Paulo*, São Paulo, 15 fev. 2020. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2020/02/sao-paulo-revive-mesmas-enchentes-ha-91-anos.shtml>. Acesso em: 9 dez. 2025.

SÃO PAULO (Município). Secretaria Municipal de Urbanismo e Licenciamento. *GeoSampa*: mapa digital da cidade de São Paulo. São Paulo: SMUL, [2025]. Disponível em: <http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br>. Acesso em: 9 dez. 2025.

SÃO PAULO (Município). Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente. Características gerais do município. In: SÃO PAULO (Município). *GEO Cidade de São Paulo 2004*: indicadores ambientais. São Paulo: SMVA, 2004. cap. 2, p. 9-18. Disponível em: https://prefeitura.sp.gov.br/web/meio_ambiente/w/publicacoes_svma/5378. Acesso em: 9 dez. 2025.

SÃO PAULO (Município). Subprefeitura Aricanduva. *SIGRC – Sistema Integrado de Gestão de Relacionamento com o Cidadão*. São Paulo, 8 maio 2019. Disponível em: <https://prefeitura.sp.gov.br/web/aricanduva/w/noticias/93861>. Acesso em: 9 dez. 2025.

SÃO PAULO (Município). Subprefeitura Santana/Tucuruvi. *Audiência Pública debate tombamento do Mirante de Santana*. São Paulo, 3 set. 2021. Disponível em: https://prefeitura.sp.gov.br/web/santana_tucuruvi/w/noticias/112882. Acesso em: 9 dez. 2025.

SILVA, F. D. S.; PEREIRA FILHO, A. J.; HALLAK, R. Classificação de sistemas meteorológicos e comparação da precipitação estimada pelo radar e medida pela rede telemétrica na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Paulo, v. 24, n. 3, p. 292–307, 2009.

SILVA DIAS, M. A. F. et al. Changes in extreme daily rainfall for São Paulo, Brazil. *Climatic Change*, Dordrecht, v. 116, n. 3, p. 705-722, fev. 2013. DOI: 10.1007/s10584-012-0504-7.

SOUZA, C. V. F. de; RANGEL, R. H. O.; CATALDI, M. Avaliação numérica da influência da urbanização no regime de convecção e nos padrões de precipitação da Região Metropolitana de São Paulo. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Paulo, v. 32, n. 4, p. 495-508, 2017. DOI: 10.1590/0102-7786324001.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 97–112, 2008. Disponível em: <https://revistas.usp.br/eav/article/view/10295>. Acesso em: 9 dez. 2025.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. *Estações do ano*. São Paulo: IAG/USP, [2025]. Disponível em: <https://www.estacao.iag.usp.br/seasons/index.php>. Acesso em: 9 dez. 2025.

ZANON, F. N. *Uso e ocupação da terra e vulnerabilidade a alagamento na área central da cidade de São Paulo: o caso da subprefeitura Sé*. 2013. 47 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2013. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/121811>. Acesso em: 9 dez. 2025.