

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

ANDRE DOMINGUES PERON

Gestão de risco à inundação nas Bacias Hidrográficas dos Córregos Sumaré e Água Preta: uma investigação das medidas implementadas pela Prefeitura Municipal de São Paulo

São Paulo

2020

ANDRE DOMINGUES PERON

Gestão de risco à inundação nas Bacias Hidrográficas dos Córregos Sumaré e Água Preta: uma investigação das medidas implementadas pela Prefeitura Municipal de São Paulo

Trabalho de Graduação Individual (TGI) apresentado ao Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Geografia.

Área de Concentração: Geografia Física

Orientador: Prof. Dr. Fernando Nadal Junqueira Villela

São Paulo

2020

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer outro meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação
Serviço de Biblioteca e Documentação
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo

PPP453 Peron, Andre
gg Gestão de risco à inundação nas Bacias
Hidrográficas dos Córregos Sumaré e Água Preta: uma
investigação das medidas implementadas pela
Prefeitura Municipal de São Paulo / Andre Peron ;
orientador Fernando Villela. - São Paulo, 2020.
107 f.

TGI (Trabalho de Graduação Individual)- Faculdade
de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da
Universidade de São Paulo. Departamento de
Geografia. Área de concentração: Geografia Física.

1. Gestão de risco. 2. Inundação. 3.
Geoindicadores. I. Villela, Fernando, orient. II.
Título.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Fernando Nadal Junqueira Villela, que pacientemente acompanhou e orientou todas as fases deste trabalho, sempre se mostrando um orientador excepcionalmente dedicado e atencioso com seus estudantes.

Ao Programa Unificado de Bolsas de Estudos para Apoio e Formação de Estudantes de Graduação da Universidade de São Paulo (PUB-USP), pela bolsa de estudos cedida durante a fase inicial da pesquisa a que este trabalho se propõe.

Aos membros do grupo de estudos Nostradamos, do Laboratório de Pedologia do Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, pelo acompanhamento e conselhos fornecidos na elaboração deste trabalho.

Ao Centro de Gerenciamento de Emergências Climáticas da Prefeitura de São Paulo (CGE-SP), pelos dados essenciais fornecidos para esta pesquisa.

À minha família, que sempre me acolheu e incentivou a buscar minha felicidade; aos amigos da graduação, que me acompanharam e estimularam durante essa jornada acadêmica, entre os quais tenho orgulho de citar Jakeline, Beatriz, Geovani, Enrique, Matheus, Samoel, Suzan, Tales e Willian; aos companheiros Daniel e Pedro, que mantiveram vivo meu interesse pelo tema deste trabalho; e aos meus atuais e antigos alunos, como o Kaique, que dão sentido para cada passo que dou no caminho da Geografia.

A vida é feita de escolhas.
(BAUER, P., 2015)

RESUMO

PERON, A. D. **Gestão de risco à inundação nas Bacias Hidrográficas dos Córregos Sumaré e Água Preta**: uma investigação das medidas implementadas pela Prefeitura Municipal de São Paulo. 2020. 107f. Trabalho de Graduação Individual (TGI) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

Este trabalho tem o objetivo de avaliar a gestão de risco à inundação nas Bacias Hidrográficas dos Córregos Sumaré e Água Preta, pela Prefeitura Municipal de São Paulo. Para isso, considera-se que o risco advindo de um desastre natural se dá pela interação entre o meio físico e o meio social. Nesse contexto, o perigo é a variável utilizada nesta pesquisa que busca explicar como as características do ambiente se relacionam com a probabilidade da ocorrência de inundações, nas bacias analisadas. O perigo foi investigado a partir de geoindicadores adaptados às rápidas mudanças ambientais ao meio tropical urbano. Já a vulnerabilidade é a variável que abarca o componente social da análise do risco, e busca explicar as consequências danosas dos eventos de desastre sobre o espaço. Ela foi investigada a partir de indicadores demográficos, na escala dos setores censitários, possibilitando a asserção sobre o tecido social no espaço estudado. Posteriormente, a associação entre o perigo e a vulnerabilidade foi utilizada para determinar o risco à inundação entre os espaços que compõem a área de estudo. A análise comparativa a que se propõe esta pesquisa buscou determinar o risco nos contextos anterior e posterior à intervenção municipal nas bacias investigadas, ocorrida entre 2013 e 2016, e assim avaliar a efetividade da gestão de risco da Prefeitura Municipal de São Paulo. Buscou-se também compreender a natureza da intervenção municipal supracitada entre as medidas de controle à inundação, bem como investigar a relação entre as soluções adotadas e a produção do espaço metropolitano. Percebeu-se que a intervenção da Prefeitura foi efetiva na gestão de risco à inundação, reduzindo o risco geral entre os setores censitários da área de estudo, que apresentou baixa vulnerabilidade e características hidromorfológicas que propiciam a ocorrência de inundações. Também se verificou que a canalização dos córregos Sumaré e Água Preta pela gestão municipal, uma medida estrutural intensiva, se insere no objetivo da Operação Urbana Consorciada Água Branca em reduzir as enchentes nas bacias investigadas.

Palavras-chave: Gestão de risco. Inundação. Geoindicadores.

ABSTRACT

PERON, A. D. **Flood risk management in Sumaré and Água Preta Watersheds: an investigation on the measures implemented by São Paulo Municipality.** 2020. 107f. Trabalho de Graduação Individual (TGI) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

This research aims to assess flood risk management implemented by São Paulo Municipality in Sumaré and Água Preta streams' watersheds. The risk provoked by a natural hazard is originated from interactions between the physical and social tissues. Thus, this work utilizes the variable hazard to explain how the environmental characteristics relate to flood probability in the studied watersheds. Hazard was investigated using geoindicators, which are adapted to fast changes in the urban tropical environment. Furthermore, vulnerability is the variable that comprises the social component in risk analysis, and objectives to explain the damaging effects from hazardous events. Vulnerability was investigated using demographic indicators, adapted to censorial sectors, enabling the assertion of the social tissue in the study area. Then, the association between hazard and vulnerability was used to determine flood risk in the different spaces which make up the investigated watersheds. The comparative analysis pursued by this research aimed to determine the existing risk before and after municipal the intervention in the area, which occurred in 2013-2016, and therefore evaluate the effectivity of the risk management by São Paulo Municipality. It was also objectified to understand the nature of the municipal intervention in the flood control measures, as well as to investigate the relation between the adopted policies and urban space production. It was discovered that the municipal intervention was effective in flood risk management, reducing general risk in the studied area, which demonstrated low vulnerability and hydromorphological characteristics that provided flood occurrence. It was also verified that the channelizing of Sumaré and Água Preta streams by São Paulo Municipality, an intensive structural measure, inserts itself in the goals of Água Branca Consorciated Urban Operation in reducing flood episodes in the investigated watersheds.

Keywords: Risk management. Flood. Geoindicators.

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	Determinação do risco de desastre proposta por Alexander	32
Equação 2	Determinação do risco de desastre proposta por Malagodi e Peloggia	32
Equação 3	Determinação do risco de inundação por um valor quantitativo	43
Equação 4	Determinação do valor de perigo (VP)	44
Equação 5	Determinação ao valor de densidade (VD)	46
Equação 6	Determinação do valor de saneamento (VS)	46
Equação 7	Determinação do valor de renda (VR)	47

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Perfil longitudinal do Córrego Sumaré	51
Gráfico 2	Perfil longitudinal do Córrego Água Preta	51
Gráfico 3	Distribuição anual das enchentes registradas na área de estudo	59
Gráfico 4	Distribuição anual da precipitação e das enchentes na área de estudo	60
Gráfico 5	Distribuição anual da precipitação e das enchentes registradas na Praça Marrey Junior	62
Gráfico 6	Distribuição anual da precipitação e das enchentes registradas na Praça Pascoal Martins	63
Gráfico 7	Distribuição anual da precipitação e das enchentes registradas no conjunto de esquinas entre as Avs. Pompeia e Francisco Matarazzo, e a R. Palestra Itália	64
Gráfico 8	Distribuição anual da precipitação e das enchentes registradas na Praça Luiz Carlos Mesquita	65
Gráfico 9	Distribuição anual da precipitação e das enchentes registradas na Av. Presidente Castelo Branco (Marginal Tietê), na altura da Pte. Adhemar Ferreira (Ponte do Limão)	66

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Localização da área de estudo	16
Figura 2	Hidrograma em meio urbano e em meio rural	18
Figura 3	Composição da vertente regular, segundo Derruau	22
Figura 4	Os tipos de leitos fluviais	24
Figura 5	Topografia e hidrografia da área de estudo	49
Figura 6	Excerto da Planta de Cidade de São Paulo, de 1930	50
Figura 7	Impermeabilização do solo na área de estudo	55
Figura 8	Drenagem incompatível com a topografia, na bacia do Córrego Sumaré	57
Figura 9	Concentração das inundações na área de estudo	69
Figura 10	Áreas que mais apresentaram inundações no espaço estudado	70
Figura 11	Planície interior restrita verificada na BHAP	73
Figura 12	Inundação na planície interior restrita verificada na BHAP	74
Figura 13	Rendimento médio mensal na área de estudo	76
Figura 14	Densidade demográfica na área de estudo	78
Figura 15	Taxa de saneamento na área de estudo	80
Figura 16	Localização da OUCAB no contexto da área de estudo	83
Figura 17	OUCAB e alguns equipamentos urbanos na área de estudo	87
Figura 18	Hidrografia e espaços mais inundados na área de estudo	90
Figura 19	Identificação dos setores censitários que apresentaram risco	97
Figura 20	Distribuição do risco e das enchentes na área de estudo, no período 04/2006-03/2011	98
Figura 21	Distribuição do risco e das enchentes na área de estudo, no período 04/2006-03/2016	99
Figura 22	Hidrografia e variação do risco na área de estudo entre os períodos 04/2006-03/2016 e 04/2016-03/2020	100
Foto 1	Início da planície fluvial do córrego Água Preta	52
Foto 2	Início da planície fluvial do córrego Água Preta	53
Foto 3	Início da planície fluvial do córrego Água Preta	53
Foto 4	Suposto início da planície fluvial do córrego Água Preta	53
Foto 5	Praça Rio dos Campos, sobre planície interior restrita na BHAP	72
Foto 6	Indícios de habitação subnormal na área de estudo	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Operacionalização dos geoindicadores	38
Tabela 2	Fotografias realizadas para identificação morfológica da área de estudo	53
Tabela 3	Número e localização dos alagamentos registrados pelo CGE na área de estudo, entre 01/04/2006 e 31/03/2020	59
Tabela 4	Razão entre a média anual do número de enchentes e da precipitação na área de estudo, para os períodos 04/2006-03/2016 e 04/2016-03/2020	61
Tabela 5	Razão entre a média anual do número de enchentes e da precipitação na Praça Marrey Junior, para os períodos 04/2006-03/2016 e 04/2016	62
Tabela 6	Razão entre a média anual do número de enchentes e da precipitação na Praça Pascoal Martins, para os períodos 04/2006-03/2016 e 04/2016	63
Tabela 7	Razão entre a média anual do número de enchentes e da precipitação no conjunto de esquinas entre as Avs. Pompeia e Francisco Matarazzo, e a R. Palestra Itália, para os períodos 04/2006-03/2016 e 04/2016	64
Tabela 8	Razão entre a média anual do número de enchentes e da precipitação na Praça Luiz Carlos Mesquita, para os períodos 04/2006-03/2016 e 04/2016	65
Tabela 9	Razão entre a média anual do número de enchentes e da precipitação na Av. Presidente Castelo Branco (Marginal Tietê), na altura da Pte. Adhemar Ferreira (Ponte do Limão), para os períodos 04/2006-03/2016 e 04/2016	66
Tabela 10	População, área e densidade demográfica nas bacias investigadas	79
Tabela 11	Dados demográficos e quantidade de inundações que atingiram o setor 6	92
Tabela 12	Valores atribuídos para o setor 6	92
Tabela 13	VP, VR, VS, VD e Risco atribuídos para os setores censitários existentes na área de estudo	95
Tabela 14	Variação absoluta e proporcional do risco na área de estudo	96

LISTA DE SIGLAS

BHAP	Bacia Hidrográfica do Córrego Água Preta
BHS	Bacia Hidrográfica do Córrego Sumaré
CEPAC	Certificado de Potencial Adicional de Construção
CET-SP	Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo
CGE	Centro de Gerenciamento de Emergências Climáticas da Prefeitura de São Paulo
COGEOENVIRONMENT	Comission of Geological Sciences for Environmental Planning
EMPLASA	Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S. A.
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IUGS	International Union of Geological Sciences
PMSP	Prefeitura Municipal de São Paulo
OUCAB	Operação Urbana Consorciada Água Branca
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
USGS	United States Geological Survey

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 Justificativas	17
1.2 Objetivos	21
2. METODOLOGIA	22
2.1 Referencial teórico-metodológico	22
2.1.1 <i>Bacia hidrográfica e fluxos de vertente</i>	22
2.1.2 <i>Conceito de inundação</i>	23
2.1.2.1 <i>Evento natural</i>	23
2.1.2.2 <i>Desastre natural</i>	24
2.1.3 <i>Controle de inundações</i>	25
2.1.4 <i>Risco</i>	27
2.1.4.1 <i>Conceito e determinação do risco</i>	27
2.1.4.2 <i>Gestão de risco</i>	33
2.1.5 <i>Geoindicadores</i>	34
2.2 Proposição metodológica	37
2.2.1 <i>Perigo</i>	37
2.2.2 <i>Vulnerabilidade</i>	41
2.2.3 <i>Gestão de risco</i>	42
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
3.1 Perigo	48
3.1.1 <i>Bacia Hidrográfica e Planície de Inundação</i>	48
3.1.2 <i>Solos impermeabilizados</i>	53
3.1.3 <i>Solos perturbados</i>	56
3.1.4 <i>Frequência e magnitude de inundações</i>	58
3.2 Vulnerabilidade	75
3.2.1 <i>Renda</i>	75
3.2.2 <i>Densidade</i>	77
3.2.3 <i>Saneamento básico</i>	79
3.3 Gestão de risco	81
3.3.1 <i>Operação Urbana Consorciada Água Branca</i>	81
3.3.2 <i>Medidas de controle à inundação empregadas pela PMSP</i>	88
3.3.3 <i>Risco às inundações antes e depois da intervenção da PMSP</i>	91
4. CONCLUSÕES	102

1 INTRODUÇÃO

A Cidade de São Paulo apresenta vários pontos de inundação recorrentes. Na origem desse problema já muito conhecido na cidade, estão causas naturais e antropogênicas: São Paulo apresenta diversos relevos de vales estreitos e planícies marginais aos rios e córregos, bem como um índice pluviométrico anual em torno de 1500mm/a, cuja concentração se dá 70% entre os meses de outubro a abril, quando um único episódio de chuva pode conter de 30 a 50 mm. Na perspectiva antropogênica, a ocupação das planícies e dos fundos de vale estreitos, a remoção da cobertura vegetal e a impermeabilização da superfície estão entre as principais causas de inundações (ROSS In CARLOS; OLIVEIRA, 2004).

Visando a monitorar as condições climáticas extremas na cidade, assim como as enchentes decorrentes de intensa pluviosidade, a Prefeitura Municipal de São Paulo (PMSP) criou o Centro de Gerenciamento de Emergências Climáticas da Prefeitura de São Paulo (CGE) em 1999, após o túnel sob o vale do Anhangabaú sofrer uma intensa enchente, no mesmo ano. O CGE é atualmente um órgão da Secretaria de Infraestrutura Urbana e Obras da PMSP, e que observa continuamente as vias e as condições meteorológicas na Cidade de São Paulo, emitindo alertas climáticos e registrando os alagamentos pela cidade. Ele adquire os dados da espacialização das inundações por meio de agentes da Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo (CET-SP), que coletam os dados em campo e os retransmitem ao CGE.

Os dados históricos do CGE evidenciam que um dos pontos de constante inundação em São Paulo está inserido na Bacia Hidrográfica do Córrego Sumaré e na Bacia Hidrográfica do Córrego Água Preta. Ambas compõem tributários da Bacia do Rio Tietê, e estão situadas na zona oeste da cidade. Esses dois córregos encontram-se canalizados e apresentam ocupação ativa de seus leitos menor e maior; a própria Avenida Sumaré se encaixa sobre o fundo de vale que abrigava o córrego homônimo. As Avenidas Antártica, Francisco Matarazzo, Marquês de São Vicente, Pompeia e Sumaré situam-se sobre as bacias mencionadas, e por isso é relativamente comum a ocorrência de inundações nas proximidades desses logradouros, durante os meses de precipitação mais concentrada em São Paulo.

Diante disso, a PMSP realizou uma série de intervenções de macrodrenagem no espaço compreendido entre as duas bacias mencionadas, de julho de 2013 até dezembro de 2016. O contrato para essa intervenção foi firmado em 27/04/2012 entre a Prefeitura e o Consórcio Sumaré, e custou R\$ 142 924 158,21 ao município em uma licitação por ampla concorrência. A validade inicial do contrato era de 33 meses, e ele foi estendido por pelo menos mais 20 até

a entrega da obra pelo poder público, que ocorreu em dezembro do quarto ano após a licitação (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2017).

Nesse contexto, a área de estudo escolhida para este Trabalho de Graduação Individual compreende a delimitação da PMSP para as Bacias Hidrográficas dos Córregos Sumaré (BHS) e Água Preta (BHAP), bem como a Área de Contribuição Direta de escoamento difuso entre essas duas bacias (ACD) (Figura 1).

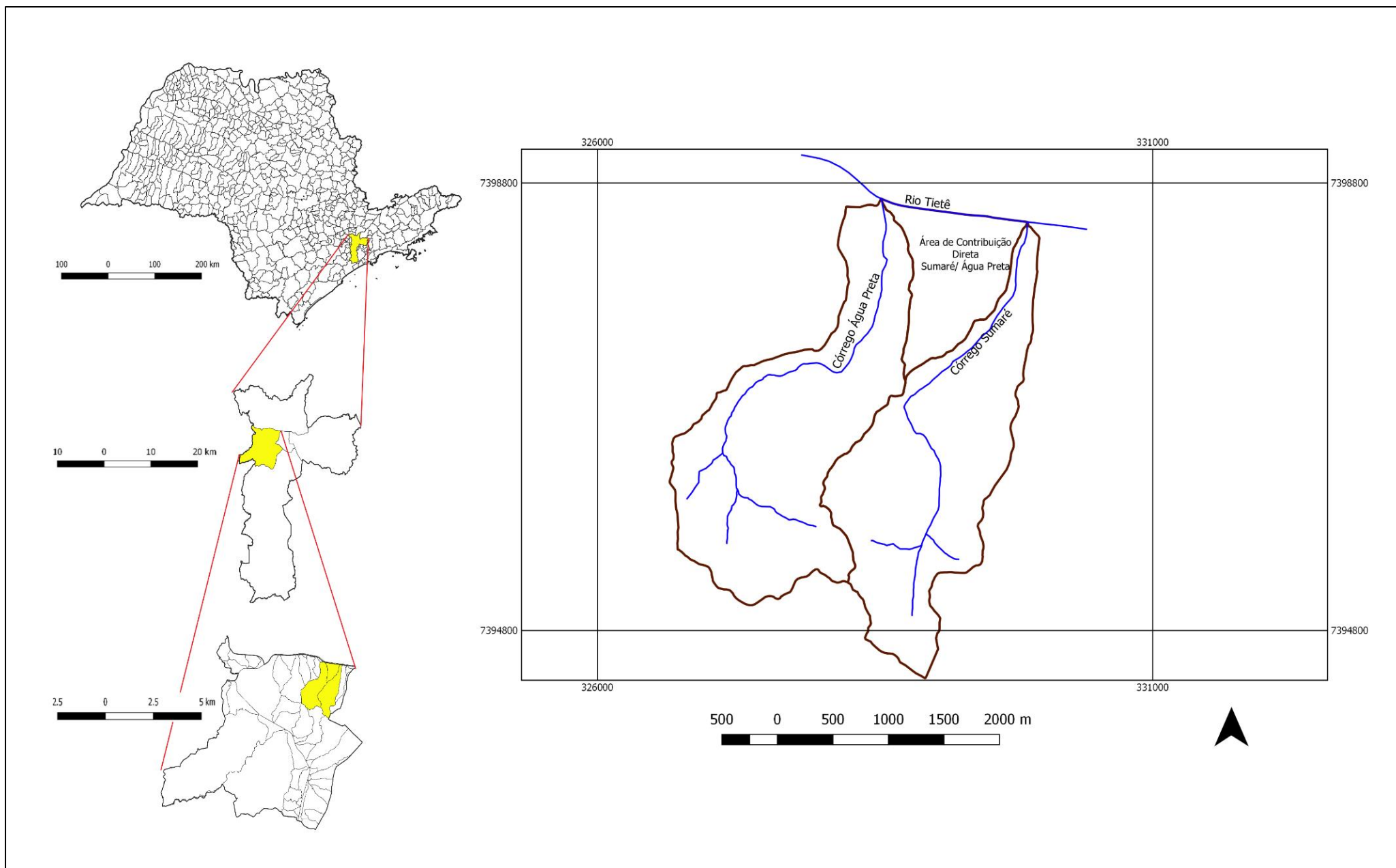


Figura 1 - Localização da área de estudo

1.1 Justificativas

As inundações são conhecidas por causar perdas humanas e socioeconômicas expressivas. No mundo inteiro, 2,5 bilhões de pessoas foram afetadas por esses problemas no período de 1994-2013, configurando a categoria de desastre natural mais abrangente em termos populacionais. Na América do Sul, houve uma média anual de dois milhões de pessoas afetadas por inundações entre 2004-2013 (CRED, 2015). O valor médio estimado para o custo econômico de um ponto de inundação com 100 metros de raio, na Cidade de São Paulo, é de R\$ 218.190 para a economia brasileira, e de R\$ 43.540 em impacto direto para a economia paulistana (HADDAD; TEIXEIRA, 2015).

Assim, as mazelas socioeconômicas e riscos para a vida humana decorrentes das inundações, bem como os onerosos gastos das gestões municipais na solução desses problemas – como evidenciado pelos custos da obra da PMSP discutida neste trabalho – demonstram a necessidade de conhecimentos detalhados acerca do risco às inundações em São Paulo e as medidas da Prefeitura para seu controle. Entretanto, é quase consenso entre os pesquisadores de águas urbanas que as medidas estruturais para lidar com enchentes, sobretudo aquelas classificadas como intensivas, possuem caráter mitigatório e paliativo na solução desse problema (BERGES, 2013; LUZ, 2014; NIR, 1983; TUCCI, 2001). Muitas vezes, essas medidas são realizadas com uma proposição muito mais eleitoreira, para demonstrar trabalho realizado pela gestão pública, do que com o objetivo de diminuir as intempéries que as inundações trazem para o município. Tucci (2002, apud SELL et al., 2015) elabora um hidrograma após um evento de precipitação (Figura 2), e o utiliza para demonstrar que as medidas estruturais intensivas tendem a lidar com as enchentes por meio da aceleração do escoamento, em um setor da bacia; desse modo, em um evento de precipitação extrema, por mais que a concentração do volume de água diminua no setor atingido pela medida, um setor mais à jusante apresentará aumento desse volume, pois água está escoando mais rapidamente.

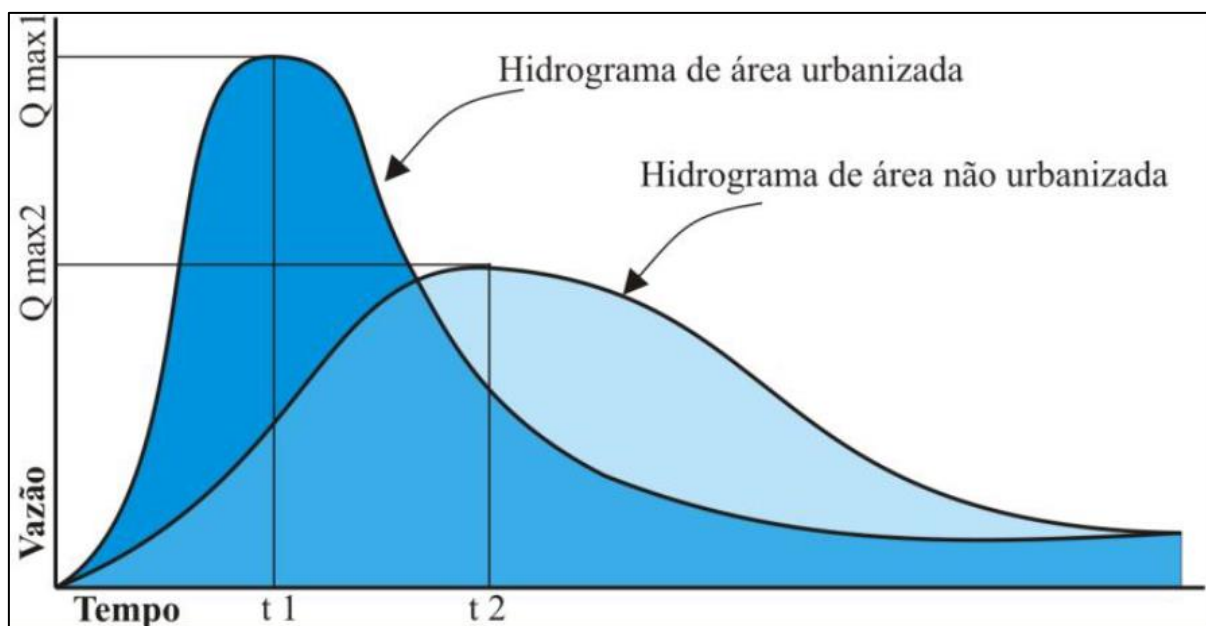


Figura 2 - Hidrograma em meio urbano e em meio rural (TUCCI, 2002 apud SELL et al., 2015)

O IPCC (2012) ressalta como a gestão de risco, relacionada a um desastre natural, é o mecanismo que permite à sociedade reduzir a exposição a um evento danoso, bem como limitar a vulnerabilidade e aumentar a resiliência de um espaço a um evento desastroso. É no contexto da gestão de risco que se inserem todas as estratégias, políticas e medidas da PMSP para lidar com as inundações na área de estudo. Desse modo, para uma compreensão completa dos efeitos das enchentes sobre uma área, surge a necessidade da análise do risco de inundação sobre esse espaço, que contemple tanto o grau de exposição desse lugar aos episódios de alagamentos, como a predisposição desse espaço a sofrer danos decorrentes das enchentes (MALAGODI; PELOGGIA, 2015).

O estudo da vulnerabilidade de uma área a um desastre natural, sobretudo quando considerada sua variação temporal, deve se basear em uma série de indicadores e variáveis que possam ser monitorados ao longo do tempo (CUTTER; BORUFF; SHIRLEY, 2003), e que permitam a quantificação de propriedades de um sistema para a determinação de sua vulnerabilidade (VILLA; MCLEOD, 2002). Essa determinação se mostra ainda mais necessária para se compreender gestão do risco à inundação em uma localidade, quando é a própria organização social no espaço que determina a marginalização de uma parcela social e seu reduzido acesso a diversos recursos, o que é um dos mais significativos indutores de vulnerabilidade em uma área (IPCC, 2012).

Buscando relacionar a exposição de um espaço ao risco, e a propensão do espaço a sofrer danos decorrentes desse risco, Cutter (2011) destaca a relevância da cartografia como método que permite uma análise integrada da vulnerabilidade física e da vulnerabilidade social,

evidenciando a “paisagem dos riscos” que se forma na intersecção entre essas duas vulnerabilidades – a *hazardscape*. Nesse contexto, o conhecimento geoespacial se mostra como um requisito para a análise integrada do risco em um sistema, em que o levantamento cartográfico permite a identificação do fator preponderante na determinação do risco sobre a área de estudo – e se ele é de origem física, social ou oriundo de ambos. Considerando como cartografar a exposição ao risco, a autora explana (Ibid., p. 61-62):

A maioria da investigação relacionada com os perigos concentra-se na cartografia dos sistemas físicos e em delinear o risco associado aos perigos. Neste sentido, verifica-se o recurso a Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para cartografar planícies aluviais (e o perigo de inundação), zonas de inundação costeira, perigos de deslizamento de terras, áreas sísmicas etc.

Carrão, Naumann e Barbosa (2016) e O’Brien et al. (2004) também demonstram, em seus respectivos trabalhos, como a cartografia é um método que possibilita uma efetiva determinação e ilustração do risco sobre um espaço. O segundo trabalho ainda evidencia como, a partir do mapeamento de uma área, pode-se visualizar distintamente o diferencial de vulnerabilidade entre duas regiões. É nesse sentido que Cutter (2011) ressalta como a análise mais efetiva sobre o risco de desastres em uma área contempla a comparação entre diversos fatores, que influenciam na capacidade de preparação, resposta e recuperação de um espaço a um evento de desastre. Daí surge a relevância de uma análise sistemática: a medição e a comparação de indicadores são essenciais para que a ciência da vulnerabilidade consiga explicar impactos distintos em diferentes locais expostos a um evento de desastre.

Luz (2014) demonstra como a cartografia geomorfológica se torna relevante para recuperar as características morfológicas originalmente presentes em sistemas fluviais amplamente urbanizados, bem como auxiliar na compreensão dos impactos da urbanização em sistemas hidromorfodinâmicos. Nesse contexto, o método cartográfico aparece como uma das bases da análise morfológica, e não apenas como um instrumento que permite sua visualização. Nas palavras do autor, quando pondera sobre a relação entre a cartografia geomorfológica, a fragilidade ambiental e a gestão pública (Ibid., p. 29):

Além de seu valor científico puro, os mapas geomorfológicos oferecem subsídios essenciais a projetos e desenvolvimento e gestão territorial, e a estudos de impacto e diagnóstico ambiental, auxiliando assim no uso mais

racional da terra. [...] Eles também são a base de outros mapas e diagnósticos preocupados com a análise sintética da paisagem e com a estabilidade do meio físico, como mapas de fragilidade ambiental [...]

Somado a isso, a escolha de indicadores adequados é fundamental para a mensuração e a comparação de variáveis que se inserem em uma pesquisa. Estes indicadores, quando associados à representação cartográfica, mostram-se essenciais para uma análise sistêmica do risco de desastre no espaço, como já foi discutido. A escolha de geoindicadores (BERGER, 1997; COLTRINARI; MCCALL, 1995 e RODRIGUES, 2010) para investigar a exposição de um local às inundações, neste trabalho, fundamenta-se na necessidade de mensurar a ocorrência de fenômenos hidromorfológicos na área de estudo em uma escala de tempo de mais de uma década, e menos de cem anos. Ademais, Berger (1997, p. 36) aponta que um dos principais objetivos na concepção dos geoindicadores pela Commission of Geological Sciences for Environmental *Planning* (COGEOENVIRONMENT), a partir de 1992, é que eles auxiliem na formulação e planejamento de políticas públicas, em que se insere a esfera da gestão de risco:

As an aid to attaining such a condition, state-of-the-environment (SOE) reporting has been developed to test new approaches to, and policies for, environmental (ecosystem) management on many spatial scales. A major objective is to identify – and communicate to decision-makers – trends in key environmental signals, especially those warning of impending thresholds and requiring changes to policy, institutions and human behavior.

Coltrinari e McCall (1995), relatando sobre o desenvolvimento dos geoindicadores a partir das discussões realizadas pelos pesquisadores integrantes do COGEOENVIRONMENT, indicam a necessidade de formulação de geoindicadores mais localizados, complementares aos globais, para avaliar de forma mais precisa o risco existente sobre um espaço – como é o caso dos geoindicadores propostos por Rodrigues (2010), para analisar os sistemas hidrogeomorfológicos de bacias com padrões de intervenção antrópica em São Paulo. Nesse contexto, os primeiros autores demonstram como geoindicadores, na escala espacial correta, desempenham um importante papel na determinação da vulnerabilidade (1995, p. 8):

[...] A realidade é que a maior parte dos efeitos ambientais adversos das mudanças antropogênicas são de âmbito regional ou local (destruição do Mar de Aral, efeitos da chuva ácida). O diagnóstico da vulnerabilidade de países,

regiões, comunidades ou ambientes específicos exige a combinação de geoindicadores aplicáveis em dimensões espaço-temporais diferenciadas, e não simplesmente uma lista de geoindicadores globais. [...]

Ademais, é necessário contextualizar a gestão do risco à inundação, na área de estudo, na lógica da produção do espaço da metrópole paulistana. A área ocupada pelas bacias hidrográficas analisadas neste trabalho insere-se no espaço delimitado para a Operação Urbana Consorciada Água Branca (OUCAB), pela PMSP. Entre os objetivos específicos da OUCAB, segundo a PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO (2013b), consta a melhora dos sistemas de micro e macrodrenagem, visando a diminuir as enchentes nessa região. Diante da relevância das operações urbanas para o espaço metropolitano, enquanto articulam os interesses do capital à gestão municipal (CARLOS, 2001), é interessante verificar se o objetivo da OUCAB foi atingido por meio das intervenções da PMSP.

1.2 Objetivos

Como objetivo central, essa pesquisa procura avaliar o risco à inundação nas Bacias Hidrográficas dos Córregos Sumaré e Água Preta, antes e depois da conclusão da obra realizada pela Prefeitura Municipal de São Paulo para conter as enchentes nesse local.

Elencam-se os seguintes objetivos específicos para esse estudo: evidenciar os fatores explicativos de cunho geomorfológico, climatológico e hidrográfico para a espacialização dos pontos de inundação na área de estudo; e a avaliação da eficiência da referida obra como medida de controle às inundações, considerando a quantidade de anual de pontos de alagamento na área de estudo/mm de precipitação, antes e depois da intervenção da PMSP.

Este último índice – quantidade de pontos de alagamento/mm de precipitação – está presente no Programa de Metas da Cidade de São Paulo 2013-2016, elaborado pela PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO (2013b). A versão final desse documento aponta, como objetivo 17, a redução de cheias e alagamentos; em sua descrição, aponta-se a intervenção da Prefeitura para controle de enchentes nas bacias dos Córregos Sumaré e Água Preta. Nessa versão, não há índice estabelecido para mensurar o sucesso desse objetivo, ainda que no documento inicialmente proposto pela PMSP (Id., 2020a), considera-se sucesso se a razão entre a quantidade de pontos de alagamento e mm de precipitação, ao longo do último ano do plano, fosse menor do que no ano inicial. Desse modo, será esse o indicador analisado para determinar o sucesso da intervenção municipal.

2 METODOLOGIA

2.1 Referencial teórico-metodológico

2.1.1 Bacia hidrográfica e fluxos de vertente

Segundo Christofolletti (1980), na análise da bacia hidrográfica, é impossível separar as vertentes dos rios. Esses elementos apresentam uma interação contínua, de modo que qualquer estado de equilíbrio do sistema bacia hidrográfica só pode ser precedido de uma relação equilibrada entre a vertente e o rio. Assim, a configuração das vertentes se torna essencial para os processos hidromorfogenéticos que decorrem do fluxo da água dentro da bacia hidrográfica. Nesse sentido, o autor estabelece duas categorias para descrever as partes componentes da vertente: a *convexidade*, que “consiste no conjunto de todas as partes de um perfil de vertente no qual não há diminuição dos ângulos em direção à jusante”; e a *concavidade*, que “consiste no conjunto de todas as partes de um perfil de vertente no qual não há aumento dos ângulos em direção à jusante” (Ibid., p. 39). A Figura 3 ilustra os setores côncavo e convexo presentes na unidade de relevo discutida.

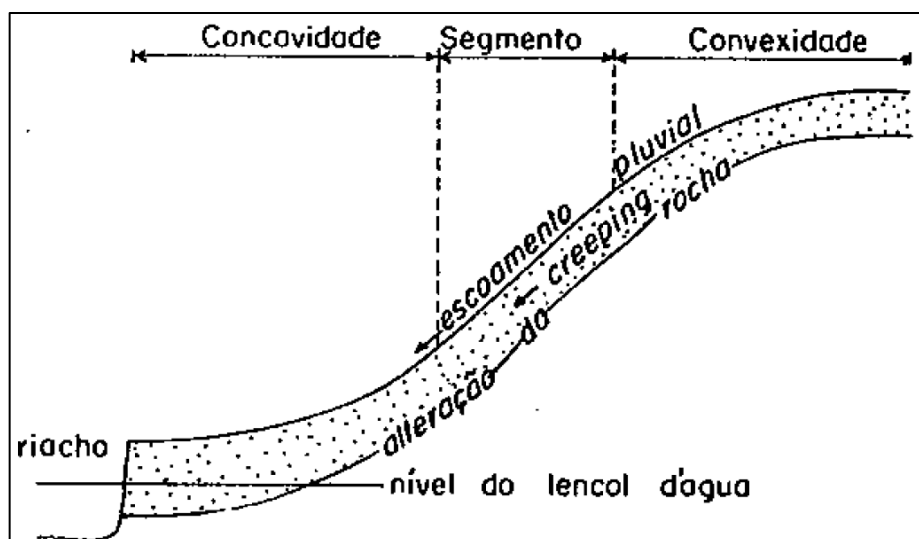


Figura 3 – Composição da vertente regular, segundo Derruau (1965 apud CHRISTOFOLETTI, 1980)

O autor supracitado também considera que a *convexidade* e a *concavidade* das vertentes possuem um papel determinante no escoamento pluvial pelas bacias hidrográficas, e, portanto, são essenciais para a compreensão de inundações e alagamentos nessas unidades morfológicas.

Segundo Christofolletti, os setores convexos das vertentes tendem a tornar o escoamento pluvial mais acelerado e difuso, enquanto os setores côncavos tendem a torná-lo mais retardado e concentrado, propiciando o acúmulo de água e as inundações.

2.1.2 *Conceito de inundação*

2.1.2.1 Evento natural

Christofolletti (1980) assinala que a inundação é um processo que ocorre quando o volume de um curso d'água supera o nível de débito das margens plenas. Este é o débito que ocupa o canal fluvial em sua totalidade; com um volume maior do que ele, ocorre transbordamento da massa d'água para a planície de inundação. Desse modo, pode-se dizer que a inundação ocorre quando existe uma descontinuidade entre o sistema canal fluvial e o sistema planície de inundação, ambos componentes da bacia hidrográfica.

Tucci (2001) destaca que os episódios de inundação estão sobremaneira relacionados a eventos de chuva extremos, propiciando a inundação de áreas ribeirinhas, as várzeas alagáveis. Christofolletti (1980) atribui o nome de planície de inundação a essas várzeas, presentes na toponímia popular brasileira. A planície de inundação é, segundo o autor, toda a área inundada em episódios de enchentes, durante os quais elas fazem parte do leito fluvial. Por isso, as planícies formam-se sobre depósitos aluvionares, oriundos da deposição sedimentar que ocorre durante os próprios eventos de inundação.

Berges (2013) se utiliza do modelo elaborado por Christofolletti (1980) (Figura 4) para contextualizar as inundações nos leitos fluviais. Segundo a autora, esses eventos ocorrem quando o escoamento das águas ultrapassa o leito menor do rio, estendendo-se para o leito maior. Este, por sua vez, é distintamente preenchido pelas águas durante as enchentes: existe o leito maior sazonal, ao menos uma vez no ano ocupado pelas águas das cheias; e o leito maior excepcional, somente ocupados nas cheias mais intensas, e menos de uma vez ao ano.



Figura 4 - Os tipos de leitos fluviais (CHRISTOFOLETTI, 1980)

De forma sintética, considera-se inundação como um evento oriundo da descontinuidade entre o sistema canal fluvial e o sistema planície de inundação, em que o volume do curso d'água excede aquele do débito das margens plenas, ultrapassando os limites do leito menor, de maneira que ocorre espriamento das águas para a planície de inundação.

2.1.2.2 Desastre natural

Em um manual destinado à gestão de risco de eventos extremos no contexto das mudanças climáticas, o IPCC (2012, p.5, grifos do autor) assim define o conceito de desastre:

Disaster: Severe alterations in the normal functioning of a community or a society due to hazardous physical events interacting with vulnerable social conditions, leading to widespread adverse human, material, economic and environmental effects that require immediate emergency response to satisfy critical human needs and that may require external support for recovery.

A partir dessa conceituação, pode-se inferir que o desastre se origina na interface entre um evento de dano, oriundo do meio físico, e o tecido social, como corroboram Cutter (2011) e Cutter, Boruff e Shirley (2003). Da interação entre essas duas esferas, a social e a ambiental, surge o desastre; e é justamente a consequência danosa do evento de desastre que o diferencia de um evento natural, como observam Carrão, Naumann e Barbosa (2016). Em seu trabalho, Alexander (2011) também destaca que o dano provocado por um desastre natural se constitui na principal medida para a determinação da vulnerabilidade de um espaço.

Berges (2013) argumenta que, para se configurarem como desastres, é preciso que as inundações ocorram sobre uma área sujeita a esses eventos, onde houve iniciativa e realização da ocupação humana. Segundo a autora, as intervenções urbanas oriundas da ocupação, como a impermeabilização, alteram o equilíbrio dos sistemas hidromorfológicos da bacia hidrográfica, incrementando o volume e a intensidade do escoamento superficial e diminuindo o tempo de concentração da bacia, e, assim, aumentando a frequência e a magnitude das inundações. Nesse raciocínio, Custódio (2002, p. 9) explana:

[...] desastre é a situação detonada por um evento (normal ou extraordinário) que afeta a sociedade. É um fenômeno social induzido por um fenômeno físico. A vulnerabilidade, em consequência, se define socialmente [...] como resultado da atividade humana, do tratamento incorreto dos recursos naturais, [...] [esta] vulnerabilidade aumenta a incapacidade da população de absorver os efeitos da inundação.

Além disso, observa-se que os eventos de inundação que ocorrem sobre o meio urbano estão inseridos na lógica de produção desse espaço. Os danos provocados pelas enchentes, percebidos diferentemente entre espaços e estratos sociais na cidade, estão diretamente atrelados a uma lógica social que marginaliza os mais pobres para as áreas mais suscetíveis às inundações dentro da bacia hidrográfica (BERGES, 2013; TUCCI, 2011). Nas palavras da primeira autora (Ibid., p. 60):

Segundo Custódio (2002), nas áreas urbanas onde as inundações configuram-se situações de desastres, como consequência da ocupação indevida dos leitos das planícies e da própria dinâmica da urbanização, a vulnerabilidade social aparece como vulnerabilidade social urbana e é resultado das especificidades do espaço urbano, como a segregação espacial, a circulação, a segmentação da economia, o preço do solo e a habitação de áreas de risco. Esse problema social revela as contradições do processo social de produção do espaço urbano.

2.1.3 *Controle de inundações*

As medidas de controle de inundações podem se configurar como estruturais ou não-estruturais. Enquanto as primeiras atuam diretamente sobre o fluxo hidrológico na bacia, as

segundas buscam solucionar as inundações a partir da convivência da população com esse fenômeno natural (TUCCI, 2011). O autor esclarece essa distinção (Ibid., p. 624-626):

As medidas estruturais são aquelas que modificam o sistema fluvial evitando os prejuízos decorrentes das enchentes, enquanto as medidas não-estruturais são aquelas em que os prejuízos são reduzidos pela melhor convivência da população com as enchentes. É ingenuidade do homem imaginar que poderá controlar totalmente as inundações; as medidas sempre visam minimizar as suas consequências.

Tucci reconhece que as medidas de controle são incapazes de impedir a ocorrência de enchentes sobre uma área; seu resultado prático está em evitar os danos e a frequência desses eventos, mas não em impossibilitá-los. Isto porque, como já esclarecido por Berges (2013) e Christofolletti (1980), as inundações são eventos que acontecem naturalmente e de maneira sazonal, em períodos de cheias, quando as águas do rio se espalham para a planície de inundação. Somente a desocupação dessas áreas é que permitiria a completa eliminação do risco da enchente para a sociedade.

Nesse sentido, a “relocação de estruturas para fora da área de inundação” é classificada por Johnson (1978 apud TUCCI, 2001, p. 629) como uma medida não-estrutural para o controle de inundações. Para o autor que faz a referência, essas medidas, que buscam a redução de danos das enchentes a partir da adaptação da sociedade e esses fenômenos, possuem um custo geral menor do que aquele das medidas estruturais, enquanto diminuem os impactos adversos das inundações a partir do planejamento da ocupação das áreas inundáveis.

Tucci (Ibid., p. 630) também classifica as medidas não-estruturais em quatro grupos: 1) “regulamentação de uso da terra ou zoneamento de áreas inundáveis”, em que o Plano Diretor da cidade regulamenta a ocupação das áreas ribeirinhas a partir do risco à inundação determinado para cada uma delas; 2) “construção à prova de enchente”, que agrupa as medidas orientadas para a redução de danos em estruturas localizadas nas planícies de inundação; 3) “seguro”, que garante proteção econômica aos atingidos por enchentes; e 4) “previsão e alerta”, relacionado à aquisição, análise, previsão e divulgação de informações climáticas e seus efeitos na cidade.

Enquanto isso, o autor designa as medidas estruturais como “obras de engenharia implementadas para reduzir o risco de enchentes” (Ibid., p. 627). Atuam diretamente sobre o fluxo da água na bacia hidrográfica, e podem ser divididas nas classes *extensiva* e *intensiva*. As

medidas estruturais extensivas focam sua atuação na bacia como um todo: caracterizam-se, por exemplo, na ampliação da cobertura vegetal e no controle da erosão, de modo que reduzem e retardam os picos de enchentes, e evitam o assoreamento do canal fluvial – portanto, atuam sobre a relação entre a precipitação e a vazão, na bacia hidrográfica.

Por sua vez, as medidas estruturais intensivas agem sobre o canal fluvial. Podem ser 1) a “construção de diques ou polders”, que buscam reduzir o espraiamento das águas para a planície fluvial, promovendo seu confinamento dentro do canal; 2) as “melhorias do canal”, envolvendo a desobstrução e a diminuição de sua rugosidade; 3) a “implantação de reservatórios”, que retêm parte do volume pluvial excedente na bacia; e 4) as “mudanças de canal”, como os desvios no seu curso (SIMONS et al., 1977 apud TUCCI, 2001). É relevante apontar que, enquanto os diques e as melhorias no canal buscam acelerar o escoamento da água, o efeito dos reservatórios é retardar seu fluxo na bacia.

Berges (2013) reitera o caráter mitigatório e paliativo das medidas estruturais, em especial as intensivas, e ressalta como as grandes obras de drenagem são preferidas pela gestão pública, uma vez que possuem mais destaque na mídia e são mais clamadas pela população. Douglas (1983 apud LUZ, 2014) entende que as medidas estruturais intensivas apenas jogam o problema da inundação para jusante do ponto alvo da solução.

Luz (2014) ainda relata que, após a ocupação urbana sobre as bacias hidrográficas, a frequência das inundações provocadas por episódios curtos e rápidos de precipitação tende a aumentar; contudo, há uma predisposição de que as enchentes associadas a volumes de precipitação extrema apresentem uma regularidade similar àquela verificada no ambiente, anteriormente à intervenção antrópica. O autor destaca que, de qualquer modo, a ocupação humana sobre as planícies de inundação segue constituindo o fator primário para a suscetibilidade a esse desastre natural.

2.1.4 Risco

2.1.4.1 Conceito e determinação de Risco

No manual anteriormente mencionado, o IPCC (2012, p. 5) define que *risco* de desastre é a probabilidade de um evento desse tipo acontecer, em um período específico. Segundo a definição de desastre pelo IPCC, já discutida, esse fenômeno surge na interface entre o meio físico e o meio social. Na mesma linha, Malagodi e Peloggia (2015, p. 48) atribuem ao *risco* “a probabilidade de ocorrerem consequências danosas como resultado das interações entre um

perigo e as condições de vulnerabilidade local”. Extraem-se de ambas as conceituações, duas características fundamentais do *risco* oriundo de um desastre natural: que ele 1) trata da probabilidade de danos diante de um evento de desastre; e 2) se fundamenta a partir da interação entre esse tipo de evento e o tecido social.

Alexander (2011) e Cutter, Boruff e Shirley (2003) corroboram essa característica probabilística do *risco*. Ambos os trabalhos, bem como os de Villa e McLeod (2002), Cutter (2011) e Carrão, Naumann e Barbosa (2016), quando buscam conceituar o *risco*, mencionam a relação entre a ocorrência de um fenômeno desastroso e a preparação da sociedade para lidar com esse fenômeno. Há, por isso, dois fatores na determinação do *risco* de um desastre natural: a probabilidade desse evento existir; e a probabilidade de que a sociedade receba prejuízos diante do episódio.

A conceituação e determinação do *risco*, no escopo deste trabalho, fundamentam-se em grande medida nos trabalhos de Malagodi e Peloggia (2015) e do IPCC (2012) acerca do tema. Eles atribuem o nome de *perigo* à possibilidade de ocorrência de eventos de desastre sobre uma área. Ambos também definem por *vulnerabilidade* a predisposição de um espaço sofrer danos, quando acontece um episódio desse tipo. Além disso, o IPCC (Ibid., p. 5) determina como *exposição* “the presence of people; livelihoods; environmental services and resources; infrastructure; or economic, social, or cultural assets in places that could be adversely affected”. Assim, esses três conceitos – *perigo*, *vulnerabilidade* e *exposição* – mostram-se centrais na determinação do *risco*.

Segue a definição de *perigo* e *vulnerabilidade* por Malagodi e Peloggia (2015, p. 48, grifo nosso), para melhor explanação:

O termo **perigo** é entendido como um fenômeno potencialmente danoso, o qual pode causar perdas de vidas, ferimentos às pessoas, danos às propriedades, interrupções de atividades sociais e econômicas ou degradação ambiental, originário de processos naturais (geológicos, hidrometeorológicos e biológicos) ou induzido por processos humanos, quantificado em termos de magnitude ou frequência [...]. Por sua vez, a **vulnerabilidade** refere-se ao grau ou à condição em que as comunidades humanas, devido à exposição ao perigo, encontram-se sujeitas a danos – ou seja, quando há um potencial de perda. Isso depende da capacidade dessas populações responderem e se recuperarem das consequências dos desastres. Ela é determinada por uma combinação de fatores que se concentram principalmente nos aspectos de organização social,

coletivos, e incluem a percepção da população acerca dos perigos, as condições de vida nos assentamentos e a infraestrutura existente, bem como a efetividade das políticas e da gestão pública. Portanto, seu entendimento requer uma integração multidisciplinar de conhecimentos, provenientes tanto das geociências quanto das ciências humanas

Essa concepção está alinhada com aquela presente no manual do IPCC (2012). Destaca-se a noção de que o *perigo* – hazard – só existe quando um fenômeno natural pode ser potencialmente danoso para uma sociedade, que está exposta a esses eventos. Isso acompanha a conceituação de desastre, discutida anteriormente. Segundo o manual, (Ibid., p.32, grifo do autor)

When extreme and non-extreme physical events, such as tropical cyclones, floods, and drought, can affect elements of human systems in an adverse manner, they assume the characteristic of a hazard. **Hazard** is defined here as the potential occurrence of a natural or human induced physical event that may cause loss of life, injury, or other health impacts, as well as damage and loss to property, infrastructure, livelihoods, service provision, and environmental resources. Physical events become hazards where social elements (or environmental resources that support human welfare and security) are exposed to their potentially adverse impacts and exist under conditions that could predispose them to such effects. Thus, hazard is used in this study to denote a threat or potential for adverse effects, not the physical event itself

Logo em seguida, o IPCC destaca como a capacidade de um grupo em antecipar, lidar com, resistir e se recuperar de desastres é central na determinação de sua *vulnerabilidade*:

Vulnerability is defined generically in this report as the propensity or predisposition to be adversely affected. Such predisposition constitutes an internal characteristic of the affected element. In the field of disaster risk, this includes the characteristics of a person or group and their situation that influences their capacity to anticipate, cope with, resist, and recover from the adverse effects of physical events [...] Vulnerability is a result of diverse historical, social, economic, political, cultural, institutional, natural resources, and environmental conditions and processes

O manual também esclarece uma característica fundamental na determinação do risco, a partir desse método. Para existir risco, é fundamental que haja *perigo* e *exposição* – se eles não existirem sobre alguma área, não importa quanto ela for *vulnerável*, não existirá *risco* algum do evento de desastre naquele espaço. Desse modo, se não houver probabilidade de ocorrência do fenômeno natural no lugar, ou não existir ocupação sobre essa área, não pode haver *risco* oriundo desse fenômeno. Alexander (2011) e Carrão, Naumann e Barbosa (2016) evidenciam esse conceito na equação que estabelecem para o cálculo do risco de desastre: multiplicando os indicadores de *perigo*, *exposição* e *vulnerabilidade*, garantem que o *risco* seja 0 caso inexista *perigo* ou *exposição* ao evento de desastre na área analisada.

Além disso, é preciso dizer que esses três conceitos componentes do *risco* de desastre não são precisamente constantes em todos os trabalhos da literatura analisada. Malagodi e Peloggia (2015) e o IPCC (2012) diferem-se na consideração sobre exposição – no artigo desses primeiros, a análise do *risco* se dá exclusivamente em função do *perigo* e da *vulnerabilidade*, de modo que a *exposição* à inundação se encontra subentendida constante, entre os setores censitários analisados no trabalho. Essa postura faz sentido, quando se considera o escopo da análise em algumas dezenas de setores censitários no Jardim Pantanal, bairro na zona leste da Cidade de São Paulo, e integralmente localizado sobre a planície de inundação do Rio Tietê. Ademais, a própria designação de setor censitário pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) confere algum grau de *exposição* à área estudada, já que se pressupõe os setores censitários como habitados. Desse modo, observando que a *exposição* é determinada a partir da configuração da sociedade e de sua ocupação no ambiente, frente à potencialidade com que fenômenos de desastre acontecem nesses espaços, é possível dizer que esse conceito já se encontra subentendido na relação espacial entre *perigo* e *vulnerabilidade* na área de estudo.

Diversos autores, mesmo utilizando outras variáveis na determinação do *risco* de desastre, seguem contextualizando sua origem na interface de um fenômeno natural com a sociedade. Segundo Cutter, Boruff e Shirley (2003), a *vulnerabilidade* de um lugar se daria a partir da relação entre sua vulnerabilidade biofísica e sua vulnerabilidade social. Essa primeira levaria em conta elementos do contexto geográfico, como a elevação do terreno, aproximando-se do conceito discutido de *exposição*. A vulnerabilidade social levaria em conta as experiências e percepções do tecido social sobre os danos oriundos dos desastres – assemelha-se, aqui, à *vulnerabilidade*. Os autores listam, como indutores da vulnerabilidade social no lugar, elementos como o acesso limitado a recursos e informação; a infraestrutura das construções existentes; a densidade populacional; e a existência de indivíduos fisicamente limitados (sic).

Cutter (2011) segue nessa linha, inferindo que a paisagem de risco – *hazardscape* – surge a partir da intersecção das vulnerabilidades física e social em uma área. Esta primeira vulnerabilidade trata da exposição de um espaço ao *risco* a partir de sua localização – semelhante a *perigo* ou *exposição*; enquanto isso, a vulnerabilidade social trata da propensão ao risco em uma área – *vulnerabilidade*. Já Villa e McLeod (2002) estabelecem uma vulnerabilidade ambiental, que pode ser intrínseca, quando provocada por fatores internos do sistema, ou extrínseca, quando oriunda de fatores externos. Para os autores, ambas as formas possuem uma configuração imediata e uma potencial; a exemplo, a resiliência e a recuperação de um espaço diante de um possível evento de desastre seria uma vulnerabilidade intrínseca potencial – o que é próximo ao conceito de *vulnerabilidade*. Enquanto isso, o efetivo acontecimento desse evento de desastre se traduziria, no método adotado pelos autores, como uma vulnerabilidade extrínseca presente.

O IPCC (2012) também faz uma sólida discussão sobre os fatores que alteram a *vulnerabilidade* de um local, bem como elucida alguns conceitos que podem auxiliar em sua compreensão. Entre esses conceitos, estão a *resiliência* e a *capacidade*. O manual define *resiliência* como a habilidade de um sistema, e de suas partes componentes, em antecipar, absorver, acomodar e se recuperar de eventos potencialmente danosos, diante da preservação, restauração ou melhora de estruturas dentro desse sistema (Ibid., p. 34). Já *capacidade* envolveria a combinação de esforços, atributos e recursos de um grupo em atingir um objetivo – nesse contexto, aquilo que a sociedade utiliza para reduzir os impactos adversos de desastres naturais (Ibid., p. 33). A partir disso, observa-se como as propostas conceituais da *resiliência* e da *capacidade* relacionam-se, sobretudo, ao tecido social – e, portanto, compõem indicadores para a determinação da *vulnerabilidade*.

O manual segue listando alguns elementos que auxiliam na composição da *vulnerabilidade*. Segundo ele, a compreensão histórica desse conceito envolve a associação da resistência física das estruturas de engenharia presentes no lugar, com os processos sociais e ambientais no espaço, definindo assim as suscetibilidades, fragilidades, fraquezas e deficiências que favorecem os efeitos adversos de eventos perigosos (Ibid., p. 70). Agora, entre os indutores da *vulnerabilidade*, o manual menciona a própria organização social, que determina a marginalização de alguns grupos e seu acesso limitado a recursos; um intenso crescimento populacional, associado a um planejamento urbano inapropriado para lidar com os desastres naturais – entende-se, a partir do que já foi argumentado pelo IPCC, que um planejamento inadequado seria marginalizante e indutor da desigualdade social; pressões financeiras internacionais e governos falhos na *gestão de risco*; e a degradação ambiental (Ibid., p. 71).

Somado a isso, é preciso que se discuta a proposição metodológica de alguns autores, que avaliam o *risco* de desastre em espaços distintos mediante um cálculo matemático. Como já foi discutido, a maneira mais efetiva de avaliar o *risco* e a *vulnerabilidade* em uma área se dá por meio da comparação entre indutores de ambos os conceitos, no espaço – sobretudo quando associada à cartografia, um próprio método (LUZ, 2014) que permite uma essencial comparação visual dentro da área de estudo (CUTTER, 2011; O'BRIEN et al., 2004). Visando a essa comparação, diversos autores propõe modelos para o cálculo de vulnerabilidade, em que o *risco* seria correspondente à multiplicação entre um valor definido para o *perigo* e um para a *vulnerabilidade* – como se observa nos trabalhos de Alexander (2011), Malagodi e Peloggia (2015) e Carrão, Naumann e Barbosa (2016). Os últimos dois comparam o *risco*, entre diferentes unidades territoriais, atribuindo-lhes um valor de 0 a 1 a partir da apuração utilizada.

Seguem os modelos de Alexander (2011) (Equação 1) e de Malagodi e Peloggia (2015) (Equação 2), para ilustração desse cálculo. No segundo trabalho, o risco (*R*) é correspondente à multiplicação do perigo (*P*) pela vulnerabilidade (*V*). O perigo se dá em função do nível de suscetibilidade dos setores censitários à inundação (*NS*), e este, por sua vez, é multiplicado pelos componentes da vulnerabilidade adotados pelos autores: a densidade populacional (*DD*); a população de mulheres (*PM*); a população de crianças (*PC*); a população de idosos (*PI*); e a intensidade de pobreza (*IP*). Também é relevante destacar que a comparação entre os riscos, no modelo utilizado, ocorre entre os setores censitários, o que o aproxima do escopo visado nesta pesquisa.

$$\textit{perigo} \times \textit{vulnerabilidade} [\times \textit{exposição}] = \textit{risco} \rightarrow \textit{desastre}$$

Equação 1 – Determinação do risco de desastre proposta por Alexander (2011, p. 11)

$$R = PV = NS (DD + PM + PC + PI + IP)$$

Equação 2 – Determinação do risco proposta por Malagodi e Peloggia (2015, p. 54)

Por fim, é preciso contextualizar a discussão feita até agora dentro da dicotomia entre *imediato* e *potencial*, já mencionada por Villa e McLeod (2002), e presente nos trabalhos de diversos outros autores na literatura. Isso acontece porque a determinação da *vulnerabilidade* e do *perigo* consideram o acontecimento e os efeitos de um fenômeno, na possibilidade de que ele ocorra. A *vulnerabilidade*, por exemplo, é comumente definida como o potencial de danos que um evento de desastre pode provocar na sociedade, mediante sua predisposição a sofrer

esses impactos adversos (IPCC, 2012); enquanto isso, *perigo* trata da possibilidade de ocorrência desses fenômenos naturais na área de estudo – que, prejudicando a sociedade, configuram-se como desastres. Destacam-se aí os componentes *imediato* e o *potencial* na compreensão do *risco*: enquanto o primeiro busca compreender um desastre que está acontecendo e provocando danos, o segundo enfoca o potencial para que o desastre ocorra e produza danos. Nesta pesquisa, que busca compreender o *risco* enquanto probabilidade, o componente *potencial* se apresenta mais relevante.

2.1.4.2 Gestão de Risco

Malagodi e Peloggia (2015) identificam, na *gestão do risco*, a forma com que a sociedade se organiza para a prevenção e controle dos desastres naturais. Cutter, Boruff e Shirley (2003) entendem que essa forma de gestão contempla a mitigação do *risco*, abrangendo a diminuição da probabilidade de ocorrência desses desastres bem como a redução de seus impactos. O manual do IPCC (2012, p. 34, grifos do autor), que busca orientar legisladores e tomadores de decisão a lidar com desastres naturais, no contexto das mudanças climáticas, assim define *gestão de risco*:

Disaster risk management is defined in this report as the processes for designing, implementing, and evaluating strategies, policies, and measures to improve the understanding of disaster risk, foster disaster risk reduction and transfer, and promote continuous improvement in disaster preparedness, response, and recovery practices, with the explicit purpose of increasing human security, well-being, quality of life, and sustainable development.

Segundo o autor, essa gestão ainda engloba diferentes níveis e escalas, não necessariamente relacionadas a eventos extremos. No tocante às inundações, uma das preocupações recentes da gestão pública é justamente ampliar a escala dos objetos analisados na *gestão de risco*, para episódios mais localizados e oriundos de eventos de precipitação além dos ditos como extremos. Isso está alinhado com os objetivos deste trabalho, que se enfoca sobre as enchentes nas bacias de dois córregos tributários do Rio Tietê.

O manual supracitado ainda identifica que, no núcleo da *gestão de risco*, encontra-se a redução da *vulnerabilidade*, e não do *perigo*. Dessa forma, as intervenções do poder público na diminuição de *risco* de desastre devem, primariamente, focar no aumento da *resiliência* e na

consequente redução do potencial danoso que um episódio de desastre possui, em uma área afetada. Concentra-se a intervenção na diminuição dos impactos adversos do evento, e não em mecanismos que dificultem o acontecimento desses eventos. Essa linha de pensamento se adequa ao contexto das inundações, que já foram demonstradas como eventos de espraiamento das águas em períodos de cheias, e que naturalmente acontecem nas bacias hidrográficas. Faz mais sentido buscar a redução dos danos que esses eventos causam na sociedade, do que evitar a ocorrência natural das inundações.

2.1.5 Geoindicadores

Como já foi discutido nas justificativas deste trabalho, a escolha de indicadores mensuráveis é de suma importância para a análise dos componentes do *risco*, sobretudo quando se busca a comparação desses elementos entre áreas distintas. Berger (1997, p. 36) já demonstrou como a aplicação de *geoindicadores* busca auxiliar na formulação e planejamento de políticas públicas, de modo que se mostram importantes parâmetros que orientam a *gestão de risco* de desastre. Coltrinari e McCall (2015, p. 8) também já evidenciaram como esses indicadores possuem um relevante papel na determinação da *vulnerabilidade* de uma área.

Os *geoindicadores* surgem da necessidade de indicadores ambientais, relativamente padronizados, que meçam a integridade, a estabilidade e a sustentabilidade do sistema físico e biológico dos sistemas (BERGER, 1997, p. 36). Segundo o autor, as análises sobre o estado do ambiente, até o início da década de 1990, priorizavam as mudanças antropogênicas sobre a paisagem e desconsideravam a influência de fatores abióticos. O uso reduzido deste tipo de indicadores, bem como a parca discussão sobre eles, chamava à atenção diversos pesquisadores ligados às mudanças ambientais. Havia um desejo global por medidas de processos terrestres, de característica abiótica, que abrangessem rápidas transformações no ambiente oriundas de processos físicos – intensificados ou não pela ação antrópica, e que pudessem configurar projeções para o futuro a partir dados coletados no presente (Ibid., p. 37).

Diante dessa necessidade, a International Union of Geological Sciences (IUGS) estabelece a Comissão de Ciências Geológicas para o Planejamento Ambiental (COGEOENVIRONMENT), com o objetivo de desenvolver indicadores de cunho geológico que pudessem analisar uma rápida mudança ambiental (BERGER, 1997; COLTRINARI; MCCALL, 1995). Dessa comissão de pesquisadores de várias nacionalidades, são discutidos e elaborados os *geoindicadores*. Em grande número, esses abrangem desde eventos catastróficos, até os mais graduais.

Aliás, contextualiza-se relevância dos *geoindicadores* para a gestão pública e para a *gestão de risco*, evidenciada já no nome da comissão que os criou, que visava ao planejamento ambiental. Berger (1997, p. 42) justifica o interesse dos gestores públicos, sobretudo em países transparentes e democráticos, em indicadores precisos e simples: “After all, decision- and policy-makers commonly demand simple environmental measures involving a few indicators that will tell them, and the general public, what progress is being made towards environmental sustainability.”

Coltrinari e McCall (1995) apontam como a formulação dos *geoindicadores* pode reduzir a carência de alguns dados morfológicos, que são essenciais para uma *gestão de risco* de desastre mais bem planejada e implementada. Também é relevante destacar a definição dos autores para os indicadores discutidos, buscando melhor ilustração do conceito (Ibid., p. 7):

Depois de um prolongado debate os participantes [do COGEOENVIRONMENT] chegaram à seguinte definição: os *geoindicadores* são medidas de magnitudes, frequências, taxas e tendências de processos ou fenômenos geológicos que ocorrem em períodos de 100 anos ou menos, na – ou próximo à – superfície terrestre, sujeitos a variações significativas para a compreensão das mudanças ambientais rápidas. Os *geoindicadores* medem os eventos catastróficos e os mais graduais, mas evidentes no intervalo de uma vida humana. Sua aplicação pode ser complexa e de custo elevado, mas a maioria é relativamente simples e de baixo custo.

No decorrer do trabalho, esses autores levantam alguns apontamentos acerca da aplicação dos *geoindicadores* no meio tropical úmido. Entre eles, sinalizam a falta de bancos de dados consistentes para a formulação de *geoindicadores* nesses ambientes, e questionam sua aplicabilidade quando desconsiderados os fatores socioeconômicos e a intervenção antrópica. A partir disso, entende-se uma necessidade de indicadores complementares àqueles globais, formulados em escala local ou regional, para uma compreensão mais completa das mudanças ambientais nos diversos espaços do globo. Como já mencionado anteriormente, Coltrinari e McCall (Ibid., p. 8) argumentam pela necessidade de indicadores aplicáveis em escalas espaço-temporais diferenciadas, permitindo uma análise completa da vulnerabilidade em ambientes distintos, já que as atividades humanas que causam impactos adversos no meio ambiente abrangem, também, várias dimensões espaciais.

É nessa discussão que se insere o trabalho de Rodrigues (2010), que propõe parâmetros para analisar os sistemas hidrogeomorfológicos de bacias urbanas com padrões de intervenção antrópica, na Cidade de São Paulo. A autora adapta e desenvolve uma lista de *geoindicadores* adaptados para o ambiente urbano no meio tropical úmido, que, em uma dimensão quantitativa e padronizada, sejam capazes de relacionar as mudanças de cunho hidromorfológico no ambiente urbano às alterações antrópicas no espaço. A partir da aplicação desses parâmetros mensuráveis e estandardizados, seria possível melhor compreensão e avaliação das rápidas mudanças ambientais na Cidade de São Paulo, em uma curta escala de tempo que caracterizam as intervenções humanas.

É importante destacar que o trabalho de Rodrigues menciona a necessidade de uma pesquisa arquivística que constitua uma série de dados históricos padronizados, para a caracterização de alguns dos parâmetros quantitativos que consigam identificar as mudanças geomorfológicas no ambiente com o passar do tempo. Ademais, as palavras da autora (Ibid., p. 118) auxiliam em uma melhor compreensão do significado e do impacto do quadro de *geoindicadores* por ela proposto:

[...] [O quadro] consiste na seleção e organização de parâmetros para avaliação de mudanças ambientais e efeitos da intervenção urbana em sistemas hidrogeomorfológicos. Para sua formulação foram checadadas as viabilidades técnicas de aplicação e de obtenção de dados, inclusive por pesquisas arquivísticas. Apesar de ser referência para avaliações dos efeitos da urbanização de forma geral, foi formulado especialmente para a Região Metropolitana de São Paulo e para áreas pertencentes ao meio tropical úmido. É resultado obtido basicamente do conjunto de estudos de longo prazo anteriormente mencionados.

Em sua proposição metodológica, Rodrigues (Ibid., p. 112, grifos da autora) ainda destaca a importância do mapeamento na análise das alterações em sistemas hidromorfológicos, enquanto ressalta a relevância de “procedimentos cartográficos apoiados na *cartografia geomorfológica*” para uma avaliação quantitativa e qualitativa das mudanças ambientais no espaço urbano, a partir dos indicadores formulados. A autora também reafirma (Ibid., p. 111) a conveniência dos *geoindicadores* propostos para os legisladores, tomadores de decisão e para a *gestão de risco*, quando menciona que essa “abordagem [a dos *geoindicadores*] também tem permitido relacionar as intervenções e seus efeitos a importantes atores sociais no processo

histórico de produção do espaço urbano, colaborando com a gestão pública territorial e ambiental”.

2.2 Proposição metodológica

Essa pesquisa busca compreender o *risco* na área de estudo a partir de três variáveis componentes desse conceito, que serão discutidas ao longo trabalho: 1) o *perigo*; 2) a *vulnerabilidade*; e 3) a *gestão de risco*. Em grande medida, essa seleção se inspira no modelo proposto por Malagodi e Peloggia (2015), enquanto consideram o *perigo* e a *vulnerabilidade* como os elementos fundamentais para avaliar o *risco* à inundação nos setores censitários analisados – a já discutida *exposição* se encontra, aí, na articulação entre o *perigo* e a *vulnerabilidade* a nível espacial. Também há grande inspiração nas proposições do manual do IPCC (2012), quando se considera a *gestão de risco* às inundações na área de estudo como política pública implementada pela gestão municipal.

O enfoque comparativo deste estudo, que busca confrontar o *risco* às enchentes entre espaços e momentos distintos, faz com que cartografia, o conhecimento geoespacial e o Sistema de Informações Geográficas (SIG) constituam partes de suma importância dentro do método proposto (LUZ, 2014; CUTTER, 2011; CARRÃO; NAUMANN; BARBOSA, 2016; O'BRIEN et al., 2004; RODRIGUES, 2010). Diante disso, serão utilizados dois softwares de SIG no desenvolvimento da pesquisa: *Qgis* e *GlobalMapper*. Também serão analisadas aerofotografias que abranjam a área de estudo, possibilitando uma melhor compreensão morfológica.

Ademais, a área de estudo será regionalizada a partir dos setores censitários estabelecidos pelo IBGE, para uma melhor compreensão de como o *perigo*, a *vulnerabilidade* e a *gestão de risco* se manifestam no espaço pesquisado – mais uma inspiração no trabalho de Malagodi e Peloggia (2015). Segue o detalhamento metodológico e procedimental das três variáveis analisadas:

2.2.1 Perigo

O *perigo* às inundações na área de estudo – ou seja, a probabilidade desse fenômeno acontecer dentro do espaço pesquisado (MALAGODI; PELOGGIA, 2015) – será uma variável operacionalizada pelos *geoindicadores* propostos por Rodrigues (2010), adaptados às rápidas mudanças ambientais na Cidade de São Paulo, e que determinam a produção de um extenso material cartográfico. Como já foi demonstrado, esses indicadores possuem uma ampla

aplicabilidade na avaliação do *risco* de um desastre natural, como são as enchentes no espaço pesquisado. Nesse contexto, entende-se que os *geoindicadores* possuem uma observância focada em fenômenos de natureza geológica que acontecem na superfície terrestre, sobretudo para o diagnóstico de alterações no ambiente – e, portanto, permitem a compreensão da ocorrência de episódios de inundação no espaço, configurando a variável *perigo* dentro deste trabalho.

A proposição de Rodrigues contempla os parâmetros mensuráveis, suas unidades e os instrumentos a partir dos quais se realizará a análise do *geoindicadores* apresentados. A Tabela 1 ilustra os indicadores selecionados para esta pesquisa, dentre aqueles propostos pela autora:

GEOINDICADOR	PARÂMETRO	UNIDADE	INSTRUMENTOS BÁSICOS
Bacia Hidrográfica	área/forma/localização	m ² ou km ² /década/ano/mês	Cartografia (documentos antigos e recentes)
Planície de Inundação	área	m ² ou km ² /década/ano/mês	Cartografia geomorfológica respectiva
	altitude	m/década/ano/mês	Perfis topográficos antigos e recentes
Solos Impermeabilizados	área/tempo	km ² /mês/ano/década	Cartografia (documentos antigos, recentes) /imagens de satélite/mosaico/campo
Solos Perturbados (superfícies expostas/ cortes e terraplenagens)	área/tempo	km ² /mês/ano/década	Cartografia (documentos antigos, recentes) /imagens de satélite/mosaicos/campo
Frequência e Magnitude de Vazões Fluviais Extremas	número de eventos de vazões extremas/ magnitude/tempo	N/m ³ /s/dia/mês/ano/década	Pesquisa documental/ monitoramento
Frequência e Magnitude de Inundações	número de eventos/nível das águas e vazões correspondentes/tempo de duração e frequência/área/sistema ou localização	m/número de eventos/hora/m ³ / hora/dia/mês/ano/ década/m ² /sistema	Cartografia/pesquisa documental/ monitoramento

Tabela 1 – Operacionalização dos geoindicadores (RODRIGUES, 2010). Org. André Peron

Atendendo à proposta metodológica, os *geoindicadores* Bacia Hidrográfica, Planície de Inundação, Solos Impermeabilizados e Solos Perturbados serão analisados e identificados a partir de produtos e cartográficos recentes e antigos, analisados por meio dos SIGs. Inicialmente, recorreu-se à plataforma Geosampa, da PMSP, para verificar a qualidade das curvas de nível e outros levantamentos topográficos da área de estudo, presentes nesse sistema digital. Entretanto, essas informações mostraram-se imprecisas para a escala deste trabalho; assim, para obter as características topográficas desejadas, serão vetorizadas as curvas de nível e o curso dos córregos a partir do minucioso levantamento elaborado pelo Sara Brasil em 1930, na escala 1:5.000. Contudo, o Geosampa ainda possui uma ampla base de dados cartográficos, que pode auxiliar na elaboração de alguns mapas nesta pesquisa.

Para auxiliar na determinação dos *geoindicadores* Bacia Hidrográfica e Planície de inundação a partir de um produto cartográfico, este trabalho buscará uma imagem Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), cuja resolução espacial de 30 metros permite uma melhor visualização das feições topográficas da área. Essa imagem será adquirida na plataforma online do United States Geological Survey (USGS). Também serão analisadas, por estereoscopia, as fotografias aéreas do Estado de São Paulo produzidas pela Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S/A – EMPLASA (SÃO PAULO, 2010), na resolução espacial de 1 metro, de modo a delimitar com maior precisão as planícies de inundação dos dois córregos estudados. Além dos mapas a serem produzidos, a elaboração de perfis longitudinais para ambas as bacias será necessária para uma melhor compreensão da espacialização das inundações, dentro da área pesquisada.

O *geoindicador* Solos Impermeabilizados será investigado a partir do avanço da mancha urbana sobre as bacias analisadas, entre duas datas: 1930, ano da publicação do levantamento do Sara Brasil; e 2019, a partir de uma imagem do Google Earth da área de estudo, referente a esta data, na resolução de 1 metro. De modo a analisar a urbanização durante esse período, serão determinadas a área urbana presente em 1930 e aquela existente em 2019. A composição cartográfica oriunda dessa análise e evidenciará quais espaços foram integrados à mancha urbana, nesse intervalo.

Já o *geoindicador* Solos Perturbados será investigado, nessa pesquisa, diante da suspeita de que a terraplanagem e demais obras empregadas na construção do estádio da Sociedade Esportiva Palmeiras, atual Allianz Parque, tenham modificado o sistema hidromorfodinâmico dentro das bacias pesquisadas. Desse modo, dentre os mapas confeccionados, será realizada a

identificação desse equipamento urbano, e suas possíveis alterações na configuração hidromorfológica das bacias hidrográficas.

Por fim, os *geoindicadores* Frequência e Magnitude de Vazões Fluviais Extremas e a Frequência e Magnitude de Inundações serão investigados a partir de uma ampla base de dados, constituída por um monitoramento constante do CGE. As informações fornecidas pelo órgão mostram a localização de todos os pontos de alagamentos ocorridos na área de estudo desde o início de 01/2006 até o final de 03/2020, bem como a data e a duração horária desses eventos. A localização apontada para as enchentes, a partir da base de dados do CGE, menciona sobretudo esquinas e praças; assim, será essa a configuração espacial adotada na avaliação do *perigo* entre os diversos locais da área investigada.

Devido à impossibilidade de o período amostral ser dividido em anos regulares, será adotado nesta pesquisa um período anual que se inicia em 01/04, e se finaliza em 31/03 – assim, serão analisados os pontos de alagamento ocorridos entre 01/04/2006 e 31/03/2020, constituindo 14 anos de amostragem. Essa escolha busca priorizar o primeiro quadrimestre do ano de 2020 na amostra utilizada, em detrimento do de 2006, que será retirado da pesquisa. Isso se dá por dois motivos: 1) considera-se o impacto das enchentes ocorridas na capital paulista no início de 2020, quando o nível da precipitação em 10/02 desse ano alcançou 114 mm ao longo do dia, provocando 78 pontos de alagamento registrados na cidade e um nível recorde do Rio Pinheiros, em algumas estações telemétricas (KER et al., 2020); e 2) enquanto essa pesquisa busca comparar a efetividade da gestão municipal em diminuir as enchentes na área de estudo, por meio de uma obra finalizada em 2016, é mais desejada uma seleção amostral que priorize os dados depois desse ano, visto que o período amostral anterior à intervenção da PMSP, de 2006 a 2016, já é muito maior que o período posterior, entre 2016 e 2020.

Desse modo, a contagem anual de pontos de alagamento, para a área de estudo em geral ou para esquinas e praças específicas, terá início em 01/04 de um ano regular, terminando em 31/03 do ano regular seguinte. Essa computação será fundamental para determinar o sucesso da gestão municipal em controlar as inundações depois da intervenção supracitada, diminuindo a probabilidade de que esse fenômeno aconteça na área de estudo – ou seja, o sucesso na redução do *perigo*. Para isso, serão inicialmente estabelecidas, para a totalidade da área de estudo, as médias anuais da razão entre pontos de alagamento e mm de precipitação, para os períodos de 04/2006-03/2016 e 04/2016-03/2020. Espera-se que, comparando as duas médias, seja possível avaliar a efetividade do empreendimento da PMSP em lidar com as inundações – como discutido anteriormente, o Programa de Metas da Cidade de São Paulo 2013-2016

(PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2013b) enxerga sucesso, nesse contexto, na redução de qualquer ordem na razão entre pontos de alagamento/mm de chuva.

Esse mesmo processo será realizado para as cinco esquinas/praças com maior número absoluto de alagamentos na amostra considerada. Essa etapa é necessária para verificar a efetividade da gestão municipal de maneira mais localizada, avaliando e comparando o *perigo* em pontos específicos, antes e depois da intervenção da Prefeitura. Destaca-se que a precipitação anual na área analisada, considerando o ano se iniciando em 01/04 e finalizando sem 31/03, será construída a partir dos dados de precipitação mensal registrados na estação meteorológica Mirante de Santana, disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) por meio da plataforma BDMEP.

Ademais, serão construídos mapas que permitam compreender a espacialização dos pontos de alagamento na área de estudo, durante todo o período analisado, em conjunto com a caracterização topográfica das bacias. O produto desse procedimento – que relaciona os *geoindicadores* listados até aqui – busca explicar a ocorrência das inundações nas bacias pesquisadas diante de suas características morfológicas, da impermeabilização de suas superfícies e da perturbação do solo.

É necessário ressaltar que toda a investigação de cunho cartográfico/documental, e todas as conclusões a partir dos dados examinados, serão complementadas a partir de informações coletadas em levantamentos de campo – sobretudo para ilustrar visualmente os compartimentos de relevo discutidos e analisados ao longo do trabalho.

2.2.2 Vulnerabilidade

A *vulnerabilidade* às inundações na área de estudo – ou seja, a predisposição que o espaço possui a receber danos oriundos desses eventos de desastre (IPCC, 2012) – será uma variável operacionalizada a partir de indicadores que se relacionam ao tecido social, já que é sua composição que determina os prejuízos potenciais para uma sociedade, ao ser atingida por um episódio de inundação (CUTTER, 2011).

O manual do IPCC (2012, p. 78) destaca que há alta confiança de que uma urbanização rápida em áreas perigosas exacerbe a *vulnerabilidade* ao *risco* de desastre, em um contexto de que o desenvolvimento de megacidades com alta densidade populacional, associado ao parco avanço no campo de infraestruturas, tende a aumentar o número de pessoas expostas aos desastres naturais. Além disso, Lavell (1996 apud IPCC, 2012, p. 78) esclarece alguns contextos

urbanos que contribuem para o aumento da *vulnerabilidade*, entre os quais cita a segregação socioespacial.

A partir disso, elencam-se três indutores da *vulnerabilidade* em ambientes urbanos: 1) megacidades de alta densidade populacional; 2) infraestruturas parcamente desenvolvidas e 3) segregação socioespacial. É nesse contexto que se inserem os três indicadores escolhidos nesta pesquisa, para determinar a *vulnerabilidade* das bacias analisadas: 1) densidade populacional; 2) saneamento básico; e 3) renda. Para ilustrar a configuração espacial de cada uma dessas três variáveis na área de estudo, serão realizadas três representações cartográficas. Assim, busca-se observar as desigualdades socioespaciais dentro das bacias pesquisadas, permitindo uma comparação da *vulnerabilidade* entre as áreas abrangidas pela pesquisa. Para a confecção desses mapas, serão utilizados os dados do Censo 2010, realizado pelo IBGE, para os setores censitários que se situam no espaço estudado.

2.2.2 Gestão de Risco

A *gestão de risco* às inundações na área de estudo – ou seja, como a sociedade se organiza para evitar e reduzir os danos desses eventos, sobretudo por meio de medidas implementadas pelo poder público (MALAGODI; PELOGGIA, 2015; IPCC, 2012) – será uma variável operacionalizada a partir de indicadores que caracterizem as intervenções da PMSP na área de estudo, investigando os motivos, a natureza e a efetividade dessas diligências.

Como já mencionado, grande parte do espaço investigado está inserido na Operação Urbana Consorciada Água Branca (OUCAB). Esta operação urbana possui, como um de seus principais objetivos, a solução para a grande quantidade de inundações que atinge esse lugar. Diante da natureza contraditória das operações urbanas, que articulam as estratégias do capital financeiro e grandes incorporadoras às intervenções urbanas da gestão municipal (CARLOS, 2001), é de suma importância investigar as medidas de controle às inundações, empregadas pela PMSP, no contexto da OUCAB. Desse modo, também é necessário apurar como essas políticas aplicadas pela gestão municipal se inserem dentro das medidas de controle à inundação, descritas por Tucci (2001); é essencial conhecer a natureza dessas intervenções para compreender sua efetividade, ao que se propõe este trabalho.

Diante disso, serão analisados três indicadores para investigar a variável *gestão de risco*, dentro das bacias pesquisadas: 1) A *gestão de risco* no contexto da OUCAB; 2) A natureza das medidas de controle à inundação empregadas pela PMSP; e 3) A efetividade das medidas implementadas pela PMSP em reduzir o *risco* às inundações. Nesse sentido, primeiro indicador

se propõe a investigar a relação entre a intervenção municipal e a OUCAB, e o segundo a classificar as medidas implementadas pela PMSP dentre as formas de controle de inundações. Entretanto, é necessária uma discussão mais elaborada para compreender a proposta do terceiro indicador.

Para a avaliar a efetividade da *gestão de risco*, é necessário identificar se o *risco* foi reduzido após as políticas aplicadas. E para compreender essa redução, sabendo que a conclusão da obra investigada nesta pesquisa se deu em 2016, é necessário que se compare o *risco* presente na área de estudo, antes de depois desse ano. Nesse contexto, será utilizada a mesma configuração anual estabelecida na proposição da variável *perigo*: o ano se inicia em 01/04, e se finaliza em 31/03 – assim, será determinado o *risco* verificado no período 04/2006-03/2016, com período amostral de dez anos, e o novo *risco* verificado no intervalo 04/2016-03/2020, com período amostral de quatro anos.

A necessidade de se compreender o *risco* dentro do mesmo contexto que o *perigo* se dá pela dependência do primeiro em relação ao segundo. Como já discutido, esta pesquisa considera o *perigo* como um dos constituintes do *risco*, inspirando-se nos modelos propostos por Alexander (2011) e Malagodi e Peloggia (2015), bem como nas informações contidas no manual do IPCC (2012). Os primeiros dois trabalhos ainda mencionam a necessidade de um cálculo para a determinação do *risco* em função do *perigo* e da *vulnerabilidade*, como também já foi demonstrado nas Equações 1 e 2. Diante da necessidade de se determinar um valor quantitativo para o *risco* dentro da área de estudo, que permita sua comparação entre antes e depois da obra realizada pela PMSP, uma fórmula semelhante à desses dois autores será utilizada neste trabalho.

Na Equação 3, que ilustra esse cálculo, o *risco* (R) é determinado a partir da multiplicação das variáveis *perigo* (P) e *vulnerabilidade* (V). O *perigo* é correspondente ao valor de perigo (VP); já a vulnerabilidade corresponde ao resultado da multiplicação de três valores: o valor de densidade (VD); o valor de saneamento (VS); e o valor de renda (VR).

$$R = P \times V = VP \times (VD \times VS \times VR)$$

Equação 3 – Determinação do risco de inundação por um valor quantitativo

É relevante destacar que o recorte espacial, para o qual será determinado o *risco*, está no nível do setor censitário. Essa escolha se deu em função das informações do Censo 2010, que determinam a densidade, a taxa de saneamento e o rendimento médio mensal para essa

escala de análise. A possibilidade de espacializar esses setores na área de estudo, verificando a frequência com que são atingidos por inundações nas esquinas e praças que os margeiam, consolidou a opção por determinar o *risco* às inundações na bacia, na escala dos setores censitários. Também é preciso esclarecer que o cálculo da Equação 3 atribui ao *risco* um valor numérico entre 0 e 1, de modo a facilitar seu posterior confronto com outros resultados, como se percebe pelos trabalhos de Carrão, Naumann e Barbosa (2016) e Malagodi e Peloggia (2015). Assim, todos valores utilizados na apuração do *risco* também serão definidos no intervalo entre 0 e 1.

O valor de perigo (VP) para um setor censitário será atribuído em função da frequência anual média com que os logradouros que o cercam apresentam pontos de alagamento. Em um intervalo entre 0 e 1, esse valor será estabelecido de acordo com quantidade de inundações que atingiram um logradouro, dividida pela maior quantidade registrada para um logradouro dentro das bacias analisadas – posteriormente, esse valor será dividido pelo número de anos do histórico considerado, para que se consolide como uma média anual. A exemplo, se o maior número de enchentes dentro da área de estudo, verificada para uma esquina ou praça em um período de 10 anos, é de 8 inundações, o valor de perigo de um setor censitário localizado em uma esquina que apresentar 4 inundações será $(4/8)/10 = 0,5/10 = 0,05$. A Equação 4 evidencia o cálculo do VP.

$$VP = \frac{n^{\circ} \text{ de inundações no setor censitário, em } N \text{ anos}}{\text{maior } n^{\circ} \text{ de inundações em um setor censitário na área de estudo, em } N \text{ anos} \times N}$$

Equação 4 – Determinação do valor de perigo (VP)

Contudo, deve-se lembrar que o VP será determinado para o setor censitário, e não para o logradouro; por isso, esse valor se dá a partir da soma do número de inundações registradas, considerando todas as esquinas e praças que margeiam um setor censitário. Essa determinação ocorre tanto para verificar a quantidade máxima de enchentes dentro das bacias, como para estabelecer o VP em qualquer setor. Mais um exemplo: no levantamento de dados para um período de 10 anos, verificou-se que o valor máximo de inundações, para uma esquina, foi de 6 enchentes; entretanto, as esquinas próximas não apresentaram episódios desse tipo no histórico considerado. Se um setor censitário, longe dessa área, estiver localizado entre duas esquinas que apresentaram 3 e 5 inundações, a quantidade máxima desses eventos na área de estudo será atribuída para esse setor, em um valor de 8 enchentes. Nesse sentido, o valor de

perigo atribuído para um segundo setor censitário, margeado por duas esquinas que apresentam 2 alagamentos durante o período analisado, será de $(2+2)/8 \times 10 = 4/80 = 0,05$.

É importante destacar que, para cada setor censitário, o VP será estabelecido tanto para o período 04/2006-03/2016 como para o período 04/2016-03/2020. A quantidade máxima de enchentes que atingiu um setor será um valor único, estabelecido a partir da observação desses dois históricos, conjuntamente. A escolha desse procedimento, que determina o valor de perigo em um setor censitário de maneira proporcional aos outros setores, reflete a proposta metodológica deste trabalho em comparar o *risco*, nas bacias pesquisadas: o valor máximo único, para os dois períodos, possibilita que se compare o *risco* em escala espacial, entre todos os setores das bacias. Enquanto isso, a divisão pelo número de anos do período considerado, que se executa ao final da determinação do VP, permite que se compare o *risco* de um setor em escala temporal, entre os dois intervalos de tempo.

O cálculo utilizado também garante que o valor de perigo seja 0, na possibilidade de que o setor censitário não seja atingido por inundações; assim, o *risco* consequente também será nulo, o que segue as considerações já mencionadas de Alexander (2011) e Carrão, Naumann e Barbosa (2016), em que não há *risco* de desastre dentro de uma área se não houver probabilidade de que um evento desse tipo aconteça dentro dela.

A determinação numérica dos componentes da *vulnerabilidade* – valor de densidade, o valor de renda e o valor de saneamento – seguem uma lógica semelhante à do VP. A atribuição de um número entre 0 e 1 para esses três elementos se dará em função dos valores máximo e mínimo, verificados na área de estudo, para 1) a densidade populacional, 2) a taxa de domicílios com acesso à rede de esgoto, e 3) o rendimento médio mensal, de acordo com as informações do Censo 2010. Assim, estabelece-se o intervalo entre a quantia máxima e mínima para esses três elementos da *vulnerabilidade*, dentro das bacias pesquisadas; e atribui-se o valor numérico de algum setor censitário, para cada um desses três elementos, de acordo com os dados fornecidos pelo IBGE para o indicador em questão no setor analisado, comparados ao intervalo constatado na área de estudo. O cálculo proposto, na determinação desses valores, é subtrair o dado indicado pelo IBGE do valor mínimo verificado, e posteriormente dividir esse resultado pela amplitude do intervalo. Toma-se o exemplo: após a análise de cada setor censitário nas bacias estudadas, constata-se que o máximo valor verificado para a densidade populacional é 100 habitantes por km²; e o menor, 20 hab/km². O valor de densidade, em um setor em que haja

60 habitantes por km², é (60-20)/(100-20) = 40/80 = 0,5. A Equação 5 ilustra como se dá a apuração do VD.

$$VD = \frac{\text{densidade verificada no setor} - \text{densidade mínima verificada na área de estudo}}{\text{densidade máxima verificada na área de estudo} - \text{densidade mínima verificada na área de estudo}}$$

Equação 5 – Determinação do valor de densidade (VD)

Contudo, é necessário frisar que esse cálculo ocorre para compreender como alguns indicadores sociais – no caso, densidade, saneamento e renda, evidenciados pelo manual do IPCC (2012) – induzem a *vulnerabilidade* de um espaço aos desastres naturais. Nesse contexto, identifica-se que é o *aumento* da densidade populacional em uma área que a deixa mais vulnerável aos desastres; enquanto isso, é a *redução* da renda e do saneamento que levam à intensificação da *vulnerabilidade*. Assim, os últimos dois indicadores se revelam inversamente proporcionais à *vulnerabilidade* de uma área, o que precisa ser considerado nos cálculos do *risco*. O procedimento adotado para abranger esse conceito é seguir as mesmas contas demonstradas para a determinação da densidade, e, para o resultado, adotar 1 – valor inicialmente encontrado. Isso garante que, quanto maiores o saneamento e a renda de um setor censitário, menor será o *risco* decorrente, no cálculo indicado pela Equação 3. Mais um exemplo: constatou-se que o máximo valor verificado para a taxa de domicílios com acesso à rede de esgoto em um setor censitário é 90%; e o valor mínimo, 30%. O valor de saneamento, em um setor em que haja 75% das residências com acesso à rede de esgoto é $1 - (75-30)/(90-30) = 1 - 45/60 = 1 - 0,75 = 0,25$. A Equação 6 evidencia os cálculos utilizados para se determinar o VS. Já a Equação 7, para o VR.

$$VS = 1 - \frac{\text{taxa de saneamento verificada no setor} - \text{menor taxa de saneamento verificada na área de estudo}}{\text{maior taxa de saneamento verificada na área de estudo} - \text{menor taxa de saneamento verificada na área de estudo}}$$

Equação 6 – Determinação do valor de saneamento (VS)

$$VR = 1 - \frac{\text{rendimento médio mensal no setor} - \frac{\text{menor rendimento médio mensal}}{\text{verificado na área de estudo}}}{\frac{\text{maior rendimento médio mensal}}{\text{verificado na área de estudo}} - \frac{\text{menor rendimento médio mensal}}{\text{verificado na área de estudo}}}$$

Equação 7 – Determinação do valor de renda (VR)

Espera-se que, por meio desses procedimentos, a atribuição numérica dos valores componentes da *vulnerabilidade* permita uma boa comparação entre os diferentes setores censitários na área de estudo – assim, seguindo a mesma linha metodológica que embasa os procedimentos adotados para o valor de perigo. Explana-se ainda a diferença de ambos os procedimentos adotados, na determinação dos componentes do *perigo* e da *vulnerabilidade*, pelo uso de um intervalo entre os valores máximo e mínimo, nos cálculos envolvendo esta segunda. Isso se dá porque a relação ao intervalo é a melhor forma de compreender como se situa um setor censitário quanto a um indicador específico, frente à realidade desse indicador dentro das bacias analisadas. Na realidade, a divisão presente no cálculo do valor de perigo também indica uma comparação com o intervalo. Apenas ocorre que, nesse contexto, o valor mínimo de enchentes que atingem um setor é 0, diferentemente do que acontece com a densidade, o saneamento e a renda na área de estudo. Assim, a apuração do VP em um setor considera: quantidade de inundações – 0 / quantidade máxima observada na área de estudo – 0.

A partir dos cálculos descritos nos últimos parágrafos, verifica-se a possibilidade de calcular o valor de perigo, o valor de densidade, o valor de saneamento e o valor de renda para um setor censitário; desse modo, pode-se atribuir um valor numérico ao *risco* de cada setor. Como já mencionado, destaca-se que o *risco* será calculado em dois contextos, para cada setor censitário: antes de 2016, e depois de 2016. O que muda entre os dois períodos é a exposição ao *perigo* na área de estudo, como já discutido na proposição metodológica dessa variável; portanto, serão distintos os cálculos do VP, para os dois momentos. Entretanto, considera-se a *vulnerabilidade* constante entre ambos os intervalos, e serão utilizados os mesmos resultados para seus componentes, nos dois períodos.

Obtendo esse valor numérico para cada setor censitário, serão construídos mapas que ilustrem a distribuição e a variação do *risco* na área de estudo. Primeiramente, serão confeccionadas duas cartas, que mostrem a intensidade desse elemento em cada setor presente nas bacias investigadas, antes e após a intervenção municipal. Posteriormente, um outro mapa ilustrará a variação do *risco* nos setores, entre os períodos considerados. Acredita-se que esses

procedimentos possam ajudar a compreender, especialmente, como a PMSP operou a *gestão de risco* no espaço investigado.

Enfim, a partir dos procedimentos descritos, espera-se comparar o *risco* nos setores censitários da área de estudo, possibilitando a determinação da efetividade das medidas da PMSP para a redução da ocorrência de inundações nas bacias pesquisadas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Perigo

3.1.1 Bacia Hidrográfica e Planície de Inundação

O levantamento topográfico do SARA BRASIL (1930) revelou-se uma boa base de dados para a compreensão de ambos os *geoindicadores*, na área de estudo. Com sucesso, vetorizaram-se as curvas de nível e o curso dos Córregos Sumaré e Água Preta a partir das informações presentes no mapa, auxiliando a compor o *geoindicador* Bacia Hidrográfica.

A delimitação das bacias analisadas envolveu elementos de fontes distintas. A porção oeste do limite da Bacia Hidrográfica do Água Preta (BHAP) foi aproveitada do GEOSAMPA (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2018). Entretanto, o divisor de águas desta primeira com a Bacia do Sumaré (BHS), bem como o resto dos limites dessa segunda, revelaram-se imprecisos na plataforma da Prefeitura, e por isso foram traçados por vetorização a partir das folhas do SARA BRASIL (1930).

A imagem SRTM foi obtida com sucesso junto ao USGS (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2019), e seu modelo de elevação foi essencial nessa etapa do trabalho, sobretudo para auxiliar na espacialização do *geoindicador* Planície de Inundação. Para esse fim, também foi essencial a estereoscopia realizada nas aerofotografias provenientes da EMPLASA (SÃO PAULO, 2010). Esse procedimento permitiu um traçado manual dos limites das planícies de inundação em ambas as bacias, que foi posteriormente digitalizado.

A partir do georreferenciamento dos dados coletados nessas etapas, pôde-se confeccionar um mapa que ilustrasse como os dois *geoindicadores* se apresentam na área de estudo (Figura 5). Diante da contiguidade de ambos, percebeu-se que uma produção cartográfica conjunta seria relevante para sua devida compreensão.

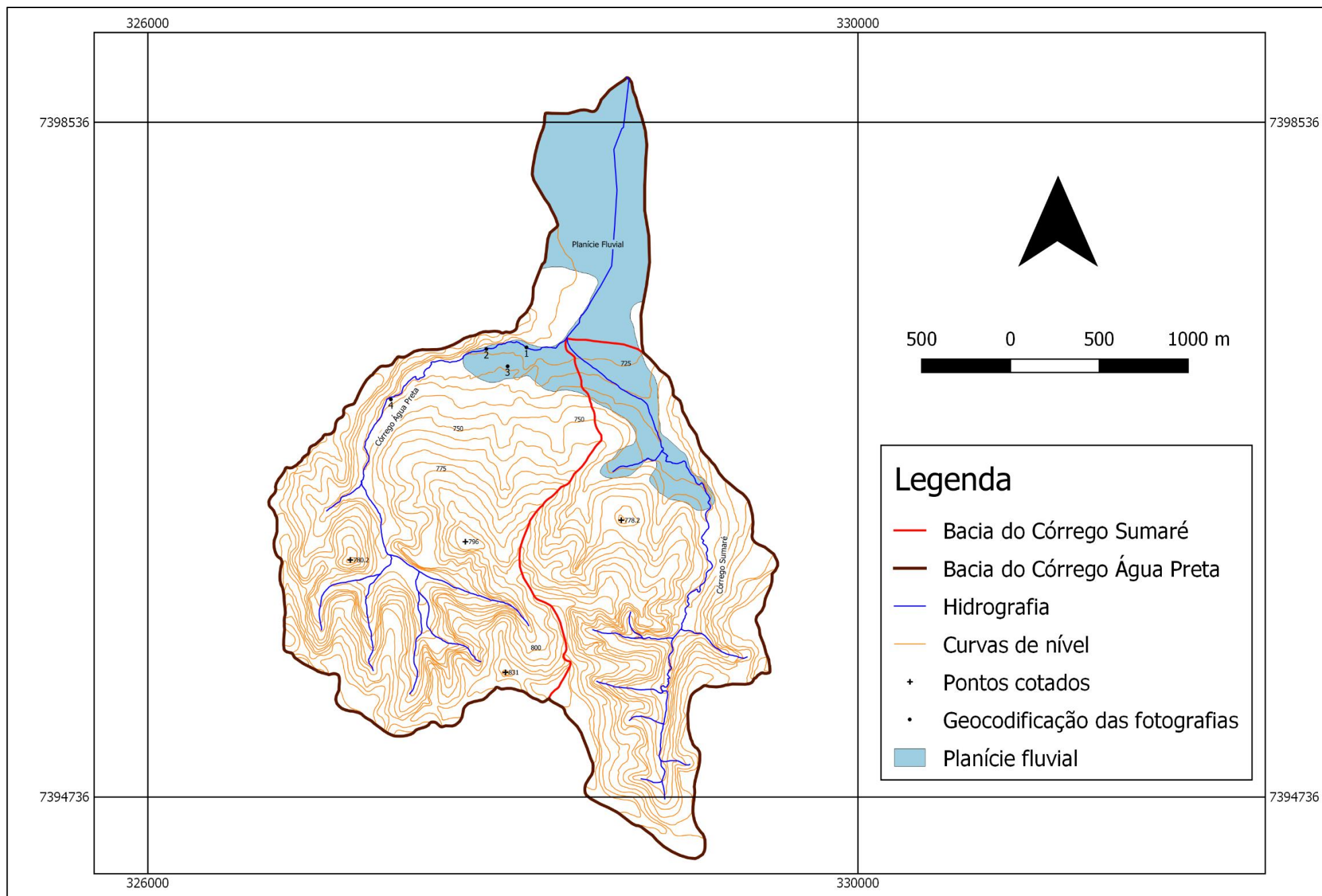


Figura 5 - Topografia e hidrografia da área de estudo. Org. Andre Peron

A partir da elaboração do produto, verificou-se que o Córrego Sumaré tributa no Água Preta, ao contrário de desaguar diretamente no Rio Tietê, como é mostrado pela plataforma Geosampa. De fato, por uma investigação no repositório digital do Arquivo Público Do Estado De São Paulo (SÃO PAULO, 1930), constatou-se uma série de plantas e mapas topográficos antigos da capital paulista; a maior parte deles mostra distintamente o Córrego Sumaré desaguardo no Água Preta, como se percebe em uma planta da Cidade, também de 1930 (Figura 6). Na época, o Córrego Sumaré denominava-se Córrego Água Branca.

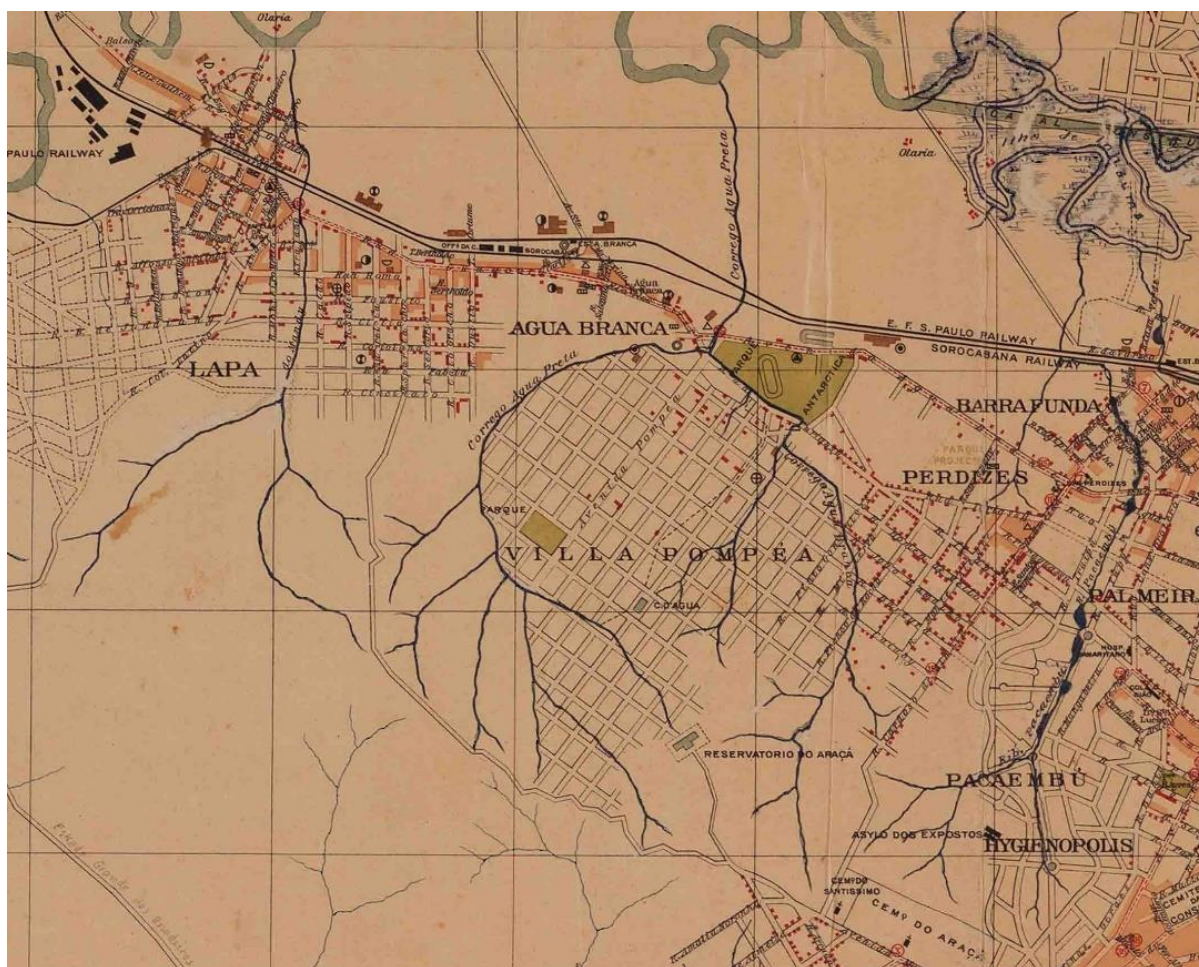


Figura 6 - Excerto da Planta da Cidade de São Paulo, de 1930 (SÃO PAULO, 1930)

A partir do georreferenciamento das informações coletadas, sobretudo das curvas de nível e do curso dos córregos, foi possível a elaboração de um perfil longitudinal para ambas as bacias, como proposto pela metodologia empregada. Seguem os perfis longitudinais do Córrego Sumaré (Gráfico 1) e do Córrego Água Preta (Gráfico 2).

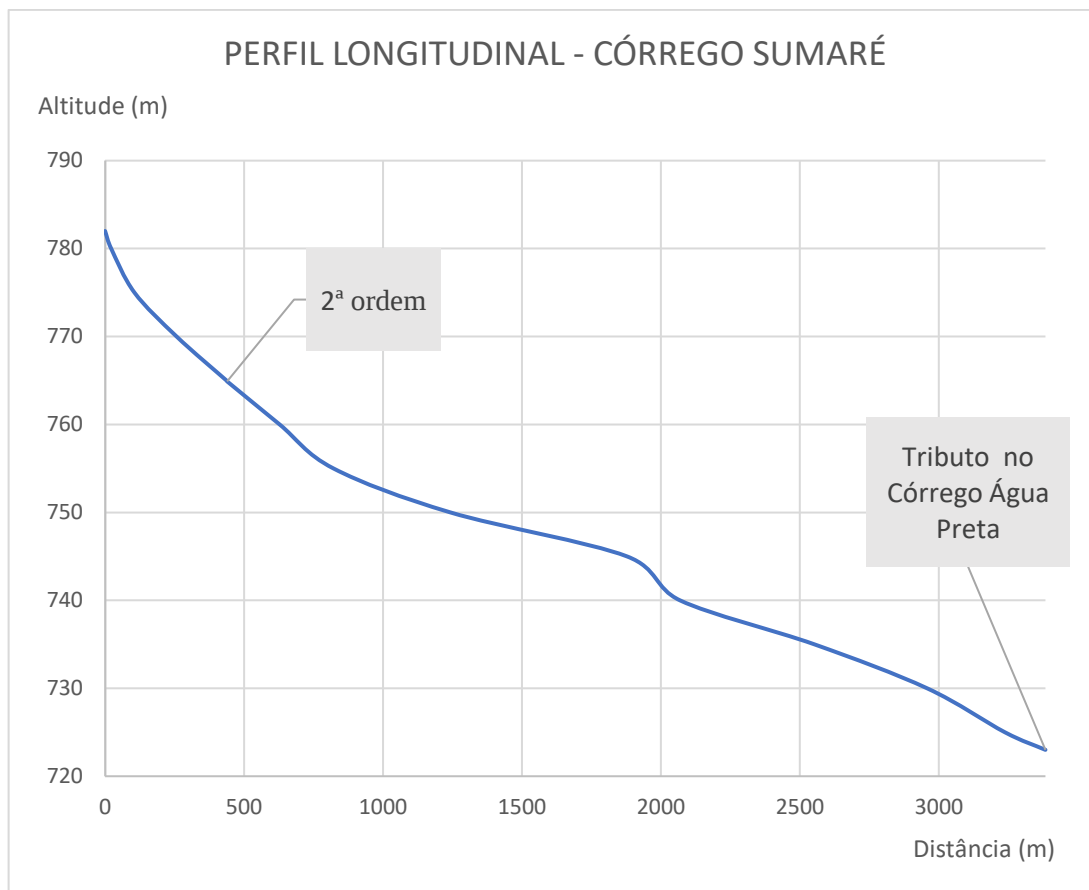


Gráfico 1 - Perfil longitudinal do Córrego Sumaré (SARA BRASIL, 1930). Org.: André Peron.

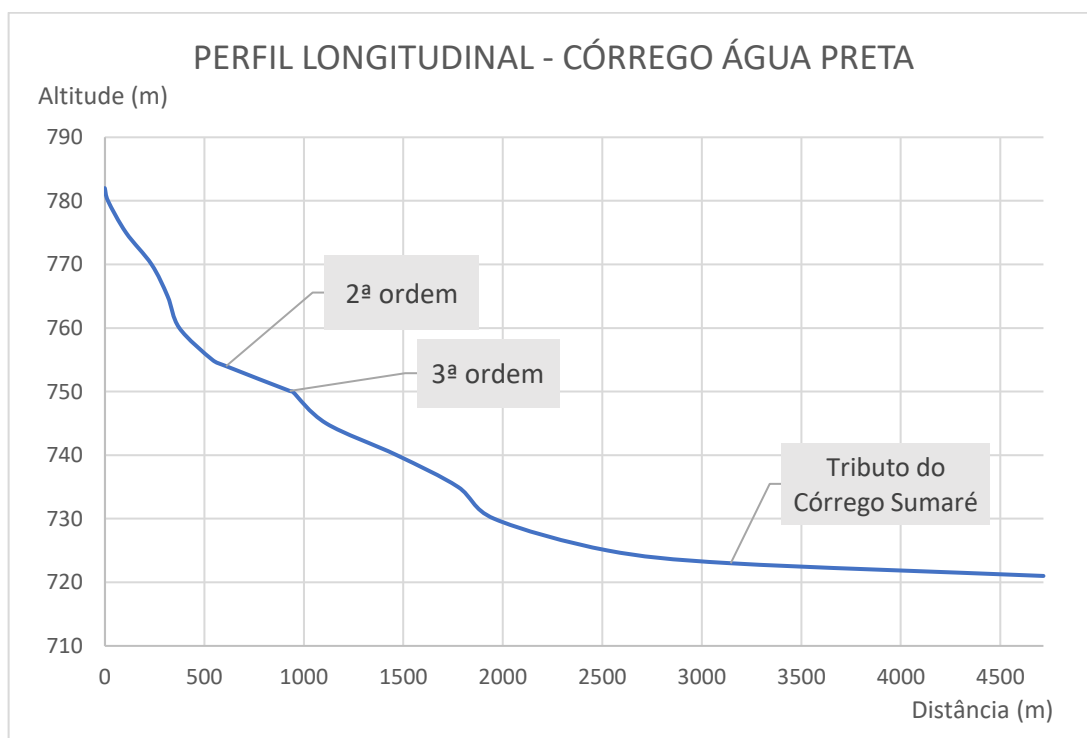


Gráfico 2 - Perfil longitudinal do Córrego Água Preta (SARA BRASIL, 1930). Org.: André Peron

Percebe-se que a setorização dos perfis longitudinais corrobora a delimitação da planície de inundação na área de estudo. No perfil do Córrego Água Preta, entre as curvas de 730 e 725m, adentra-se em um setor com fundo de vale mais plano, que caracteriza um início de planície fluvial – e, de fato, o mapa da Figura 5 evidencia que o Água Preta penetra na planície de inundação entre essas curvas. Já no perfil do Córrego Sumaré, seu curso adentra na planície fluvial entre as curvas de 745 e 740 m, onde também se inicia um setor com fundo de vale mais plano em seu respectivo perfil longitudinal.

O trabalho de campo realizado nesta pesquisa possibilitou o levantamento de uma série de dados sobre a morfologia das bacias analisadas. As fotografias realizadas encontram-se na Tabela 2, identificadas para sua espacialização no mapa da Figura 5. Dentre as fotos, três ilustram muito bem o início da planície fluvial no Córrego Água Preta; seu georreferenciamento as posicionou precisamente no início dessa unidade morfológica, como se verifica no mapa mencionado (Fotos 1, 2 e 3). Já a Foto 4 situa-se sobre o que parecia ser um limite de planície fluvial, em campo. Entretanto, nem pelo perfil longitudinal do Água Preta, ou pela estereoscopia da aerofotografia, foi identificada a presença da planície de inundação mais à montante, onde a fotografia foi feita.

Fotografia	Identificação	Contexto morfológico
	1	Início da planície fluvial do Córrego Água Preta

	2	Início da planície fluvial do Córrego Água Preta
	3	Início da planície fluvial do Córrego Água Preta
	4	Suposto início da planície fluvial do Córrego Água Preta. (Hipótese descartada após análise por SIG)

Tabela 2 - Fotografias realizadas para identificação morfológica da área de estudo. Org. André Peron

Os resultados mostrados até aqui comprovam a existência de planícies de inundação nas bacias analisadas, auxiliando na compreensão das enchentes que ocorrem na área de estudo a partir de uma perspectiva hidromorfológica.

3.1.2 Solos impermeabilizados

Na investigação desse geoindicador, a mancha urbana dentro das bacias pesquisadas foi vetorizada com sucesso, tanto a partir do levantamento do SARA BRASIL (1930) como do

Google Earth (GOOGLE, 2019). A partir desses dados, foi possível a confecção do mapa da Figura 7, que permite uma boa análise dos efeitos de urbanização na área de estudo.

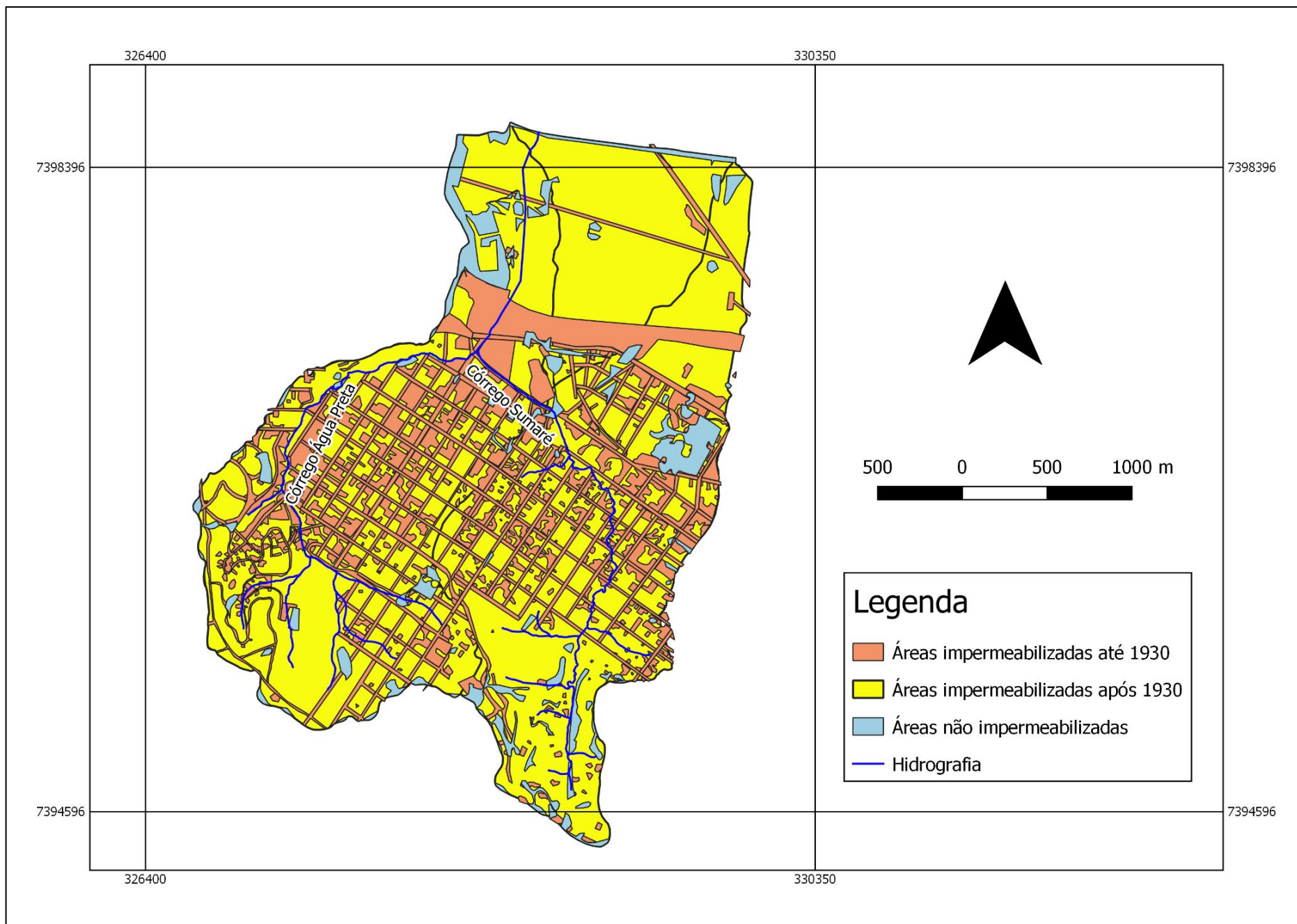


Figura 7 - Impermeabilização do solo na área de estudo. Org.: Andre Peron

Nesse produto, optou-se por manter o limite das bacias fornecidos pelo Geosampa (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2018), melhor evidenciando a progressão da mancha urbana na área de estudo. Com o auxílio dos *softwares* de SIG, verificou-se que a área impermeabilizada nas bacias investigadas, até 1930, somava 3,01 km²; em 2019, esta já somava 7,85 km². Desse modo, ocorreu um aumento de 160,8% da impermeabilização do solo, entre as duas datas mencionadas. A área total do espaço estudado abrange 8,34 km²: atualmente, a porção restante de 0,49 km² não impermeabilizados corresponde, sobretudo, ao Parque da Água Branca, ao Parque Jardim das Perdizes, praças e áreas verdes em condomínios.

Percebe-se, a partir dessa análise, que 7,85 km² dos 8,34 km² que compõem da área de estudo – mais de 94% de sua área total – encontram-se atualmente inseridos no padrão de ocupação urbana. Diante disso, é possível classificar a impermeabilização do solo e suas consequências para a dinâmica hidrológica, como um dos grandes indutores das inundações que atingem a área de estudo.

3.1.3 Solos perturbados

A análise desse *geoindicador* centrou-se sobre o estádio de futebol da Sociedade Esportiva Palmeiras, originalmente denominado Palestra Itália, e atualmente Allianz Parque. Havia uma suspeita inicial de que as obras de construção desse equipamento urbano, sobretudo a terraplanagem empreendida, tivessem alterado significativamente as configurações hidromorfológicas das bacias analisadas.

Essa suposição é reforçada pela análise da Figura 6, que ilustra a Cidade de São Paulo em 1930 (SÃO PAULO, 1930), no mesmo ano de levantamento do Sara Brasil. Essa planta demonstra um padrão de drenagem retangular para o Córrego Sumaré – na época, Córrego Água Branca – em seu trecho mais à jusante, logo antes de tributar no Água Preta: observa-se o cotovelo com aspecto ortogonal, formado quando o curso do Sumaré/Água Branca atinge a Rua Turiassú, atual Rua Palestra Itália. Christofolletti (1980, p. 105) descreve que esse padrão de drenagem está associado, em geral, a um forte controle estrutural oriundo da “composição diferente de camadas horizontais ou homoclinais”. Diante da impossibilidade dessa descontinuidade geológica, na escala analisada, pode-se inferir que a drenagem ortogonal observada está associada à intervenção antrópica, sobretudo quando se verifica a delimitação estrita do curso do Sumaré entre a Rua Turiassú e o estádio da Sociedade Esportiva Palmeiras. O mapa da Figura 8 mostra uma aproximação dessa área discutida.

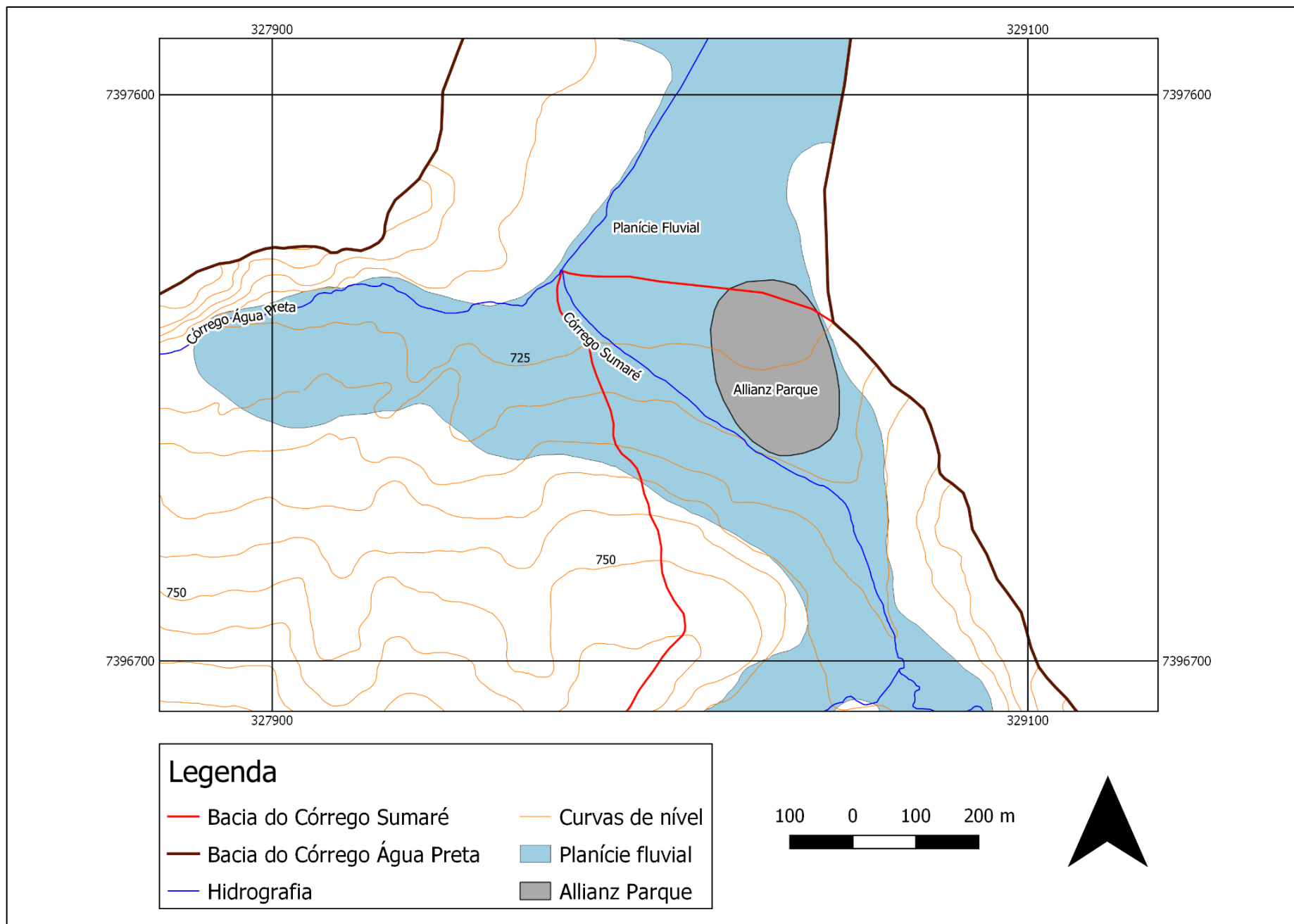


Figura 8 - Drenagem incompatível com a topografia, na bacia Córrego Sumaré. Org.: Andre Peron

A configuração topográfica e hidrológica das bacias analisadas, levantada a partir dos dados do SARA BRASIL (1930), evidencia os efeitos da intervenção antrópica sobre o baixo curso do Córrego Sumaré. Percebe-se uma descontinuidade entre o canal fluvial descrito pelo levantamento do Sara Brasil, e as curvas de 725 e 730m. Associando essa configuração atípica à delimitação singular do canal entre a Rua Turiassú e o estádio do Palmeiras, como percebido na Figura 6, é muito provável que a perturbação e o aplainamento do solo empreendidos para a construção desse equipamento urbano tenham alterado o curso do Córrego Sumaré – talvez propositalmente – e, possivelmente, modificado de forma significativa outras características hidromorfológicas dessa bacia.

3.1.4 Frequência e magnitude das inundações

Os dados históricos e espaciais das inundações que ocorreram nas bacias pesquisadas foram obtidos, com sucesso, junto ao CGE (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2020b). Foram registrados pelo órgão, nos 14 anos compreendidos entre 01/04/2006 e 31/03/2020, 732 pontos de alagamento na área de estudo. As cinco esquinas e praças que mais apresentaram episódios desse tipo, no histórico considerado, somam 568 ocorrências, que são 77,6% de todos os eventos registrados. A Tabela 3 ilustra e localiza todos os alagamentos registrados na área de estudo, no período em questão.

Pontos de alagamento	Ocorrências
Praça Marrey Junior	189
Praça Pascoal Martins	146
Av. Francisco Matarazzo x Av. Pompeia x Rua Palestra Itália	86
Praça Luiz Carlos Mesquita	76
Av. Pres. Castelo Branco (Marginal Tietê) x Ponte Adhemar Ferreira (Ponte do Limão)	71
Praça José Vieira de Carvalho Mesquita	36
Av. Pompeia x Rua Venâncio Aires	25
Av. Pres. Castelo Branco (Marginal Tietê) x Ponte Júlio de Mesquita Neto	23
Rua Barão do Bananal x Rua Venâncio Aires	15
Av. Pres. Castelo Branco (Marginal Tietê) x Av. Thomas Edison	12
Av. Francisco Matarazzo x Rua Doutor Costa Júnior	9
Av. Francisco Matarazzo x Rua Germanie Buchar	9
Rua Tagipuru x Rua Deputado Salvador Julianelli	7
Rua Raul Pompeia x Rua Venâncio Aires	6
Av. Francisco Matarazzo x Rua Ministro Godói	5
Rua Palestra Itália x Rua Caraibas	5
Av. Thomas Edison x Rua Doutor Bento Teobaldo Ferraz	3

Rua Barão do Bananal x Rua Clélia	1
Av. Francisco Matarazzo x Rua Mario Sette	1
Av. Francisco Matarazzo x Avenida Antártica	1
Praça Francisco Servas	1
Av. Pompeia x Rua Guiará	1
Av. Pompeia x Rua Ambuabas	1
Av. Auro Soares de Moura Andrade x Júlio Cortez	1
Av. Thomas Edison x Rua Doutor Moisés Kahan	1
Rua Turiassú x Rua Itapicuru	1
TOTAL	732

Tabela 3 - Número e localização dos alagamentos registrados pelo CGE na área de estudo, entre 01/04/2006 e 31/03/2020 (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2020b). Org.: Andre Peron

Primeiramente, discutem-se os dados levantados em uma perspectiva temporal, e associada à efetividade da gestão municipal em diminuir a probabilidade de ocorrência de inundações.

O Gráfico 3 distribui o número total das enchentes ocorridas na área de estudo, entre seus respectivos anos. A linha de tendência verificada identifica uma ligeira redução da quantidade de inundações registradas, entre 2006 e 2020.

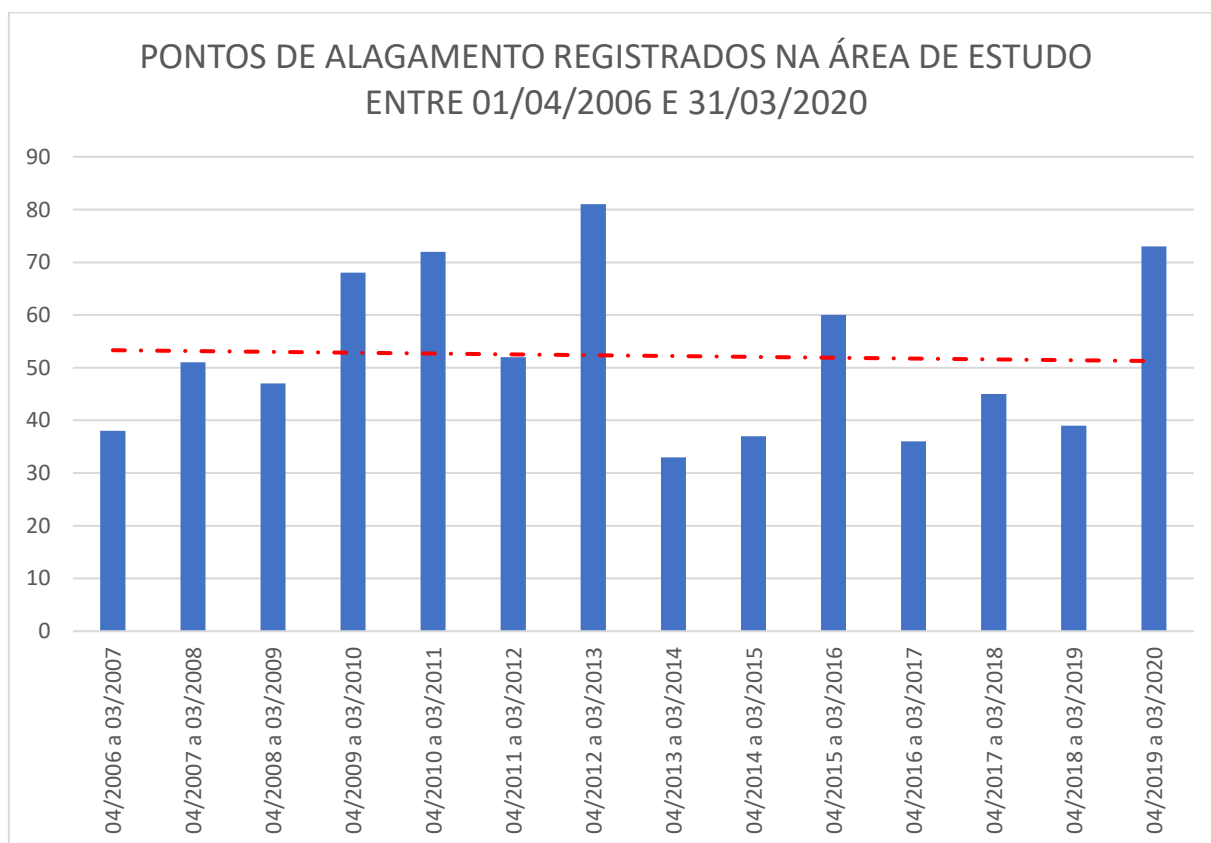


Gráfico 3 - Distribuição anual das enchentes registradas na área de estudo (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2020b). Org.: Andre Peron

Como o objetivo mencionado da PMSP, para solucionar as inundações, é diminuir a razão entre os pontos de alagamento verificados e os mm de chuva registrados em um ano, construiu-se um outro gráfico que ilustre esses dois indicadores conjuntamente (Gráfico 4). Os dados de precipitação mensal desde 04/2006 até 03/2020, na estação Mirante de Santana, foram obtidos com sucesso junto ao INMET (2020). A partir dessas informações, estabeleceu-se a precipitação anual para cada um dos períodos indicados no gráfico.

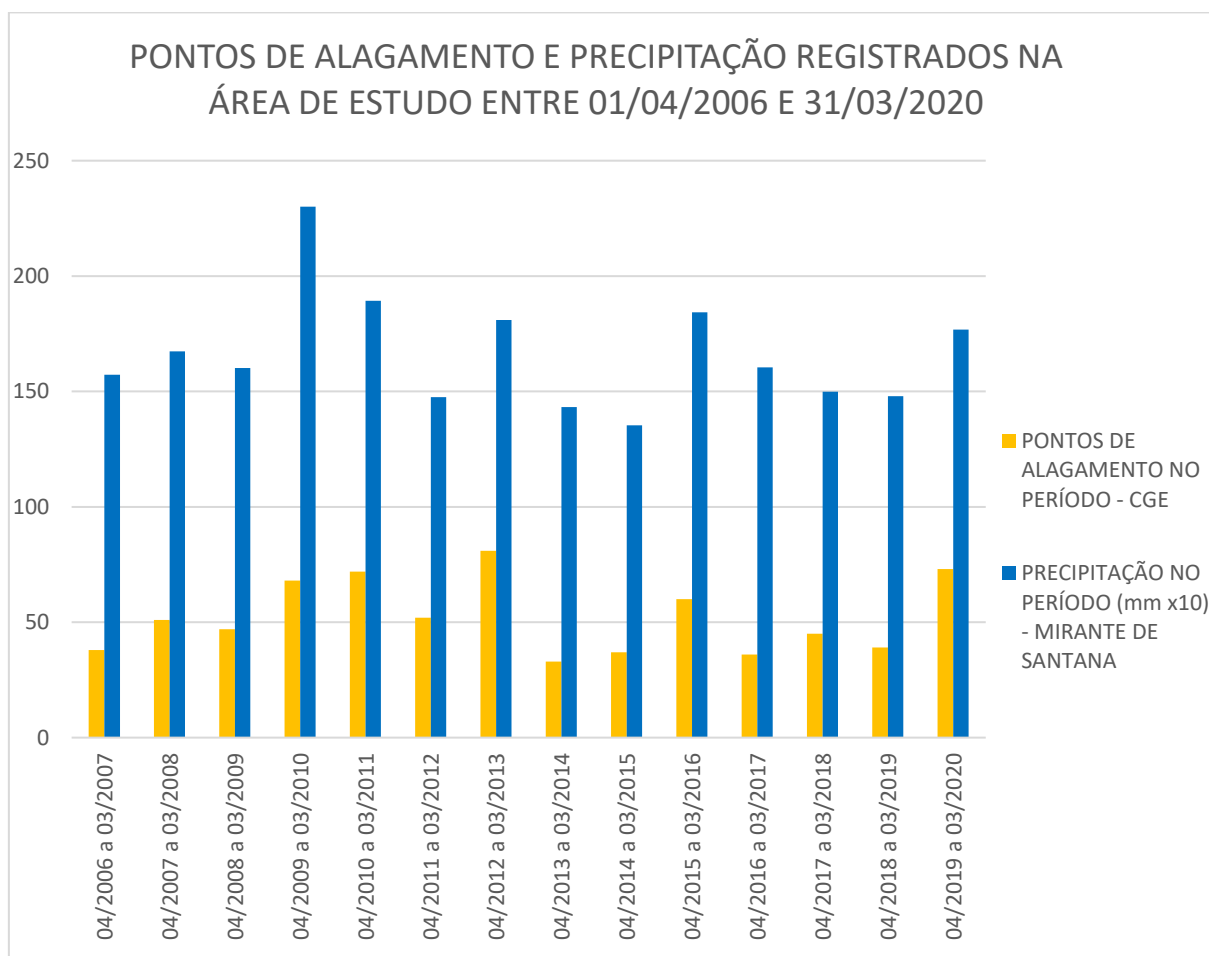


Gráfico 4 - Distribuição anual da precipitação e das enchentes na área de estudo (BRASIL, 2020; PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2020b). Org.: Andre Peron

A análise do Gráfico 4 revela uma clara correlação visual entre a quantidade de pontos de alagamento e os mm de precipitação em um ano, em que ambos se elevam e reduzem de forma diretamente proporcional. Os picos de alagamento e precipitação verificados conjuntamente nos anos 04/2009-03/2010, 04/2010-03/2011, 04/2012-03/2013, 04/2015-03/2016 e 04/2019-03/2020 demonstram essa tese. Entretanto, não é facilmente distinguível uma redução no número de enchentes verificadas nas bacias em um período mais recente, como demonstrado pela linha de tendência do Gráfico 3. Ao contrário: há um maior registro de pontos

de alagamento no ano 04/2019-03/2020 do que no ano 04/2015-03/2016, enquanto este segundo apresentou maior volume de precipitação em relação ao primeiro, o que transmite uma ideia de aumento de pontos de alagamento/mm de precipitação nos anos recentes. Diante disso, estabeleceu-se a média de pontos de alagamento anuais, para os períodos 04/2006-03/2016 e 04/2016-03/2020, e a média de precipitação anual, para esses intervalos. Buscou-se verificar se houve redução da razão entre número de enchentes e precipitação verificada, entre ambos os períodos, como mostra a Tabela 4.

	média anual de pontos de alagamento	média anual de precipitação (mm)	número de enchentes/mm de precipitação no período
04/2006 a 03/2016	53,9	1695,6	0,0318
04/2016 a 03/2020	48,3	1587,8	0,0304

Tabela 4 - Razão entre a média anual do número de enchentes e da precipitação na área de estudo, para os períodos 04/2006-03/2016 e 04/2016-03/2020 (BRASIL, 2020; PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2020b). Org.: Andre Peron

A partir dos cálculos indicados na Tabela 4, verifica-se que há uma redução da razão supracitada. Desse modo, verifica-se sucesso da PMSP em lidar com as inundações nas bacias analisadas, diante dos critérios estabelecidos pela gestão municipal. Entretanto, é necessário destacar que é uma redução de ordem muito pequena: a diferença entre a razão 0,0318, verificada para o período 04/2006-03/2016, e o valor 0,0304, referente ao intervalo 04/2016-03/2020, é menor que 5%.

Contudo, ao longo dessa etapa, percebeu-se que a referida redução era muito maior em umas esquinas e praças do que em outras – em algumas, verificou-se mesmo o aumento da razão entre pontos de alagamento/mm de precipitação, na comparação dos dois períodos. Diante disso, é necessário empregar os mesmos procedimentos utilizados na área de estudo em geral, para alguns pontos específicos de inundação recorrente, de modo a compreender melhor como as medidas da PMSP reduziram as enchentes nos diferentes locais inseridos nas bacias pesquisadas. Selecionaram-se as cinco esquinas e praças que mais apresentaram episódios de inundação, como indicado pela Tabela 3, e aplicaram-se os mesmos procedimentos ilustrados pelo Gráfico 4 e pela Tabela 4. O resultado disso consta nos Gráficos 5-9 e nas Tabelas 5-9, que se referem às cinco localidades que mais apresentaram pontos de alagamento na área de estudo durante o período considerado. Em ordem decrescente: Praça Marrey Junior; Praça Pascoal Martins; conjunto de esquinas no cruzamento dos logradouros Av. Pompeia, Av.

Francisco Matarazzo e R. Palestra Itália; Praça Luiz Carlos Mesquita; e cruzamento da Av. Presidente Castelo Branco (Marginal Tietê) com a Ponte Adhemar Ferreira (Ponte do Limão).

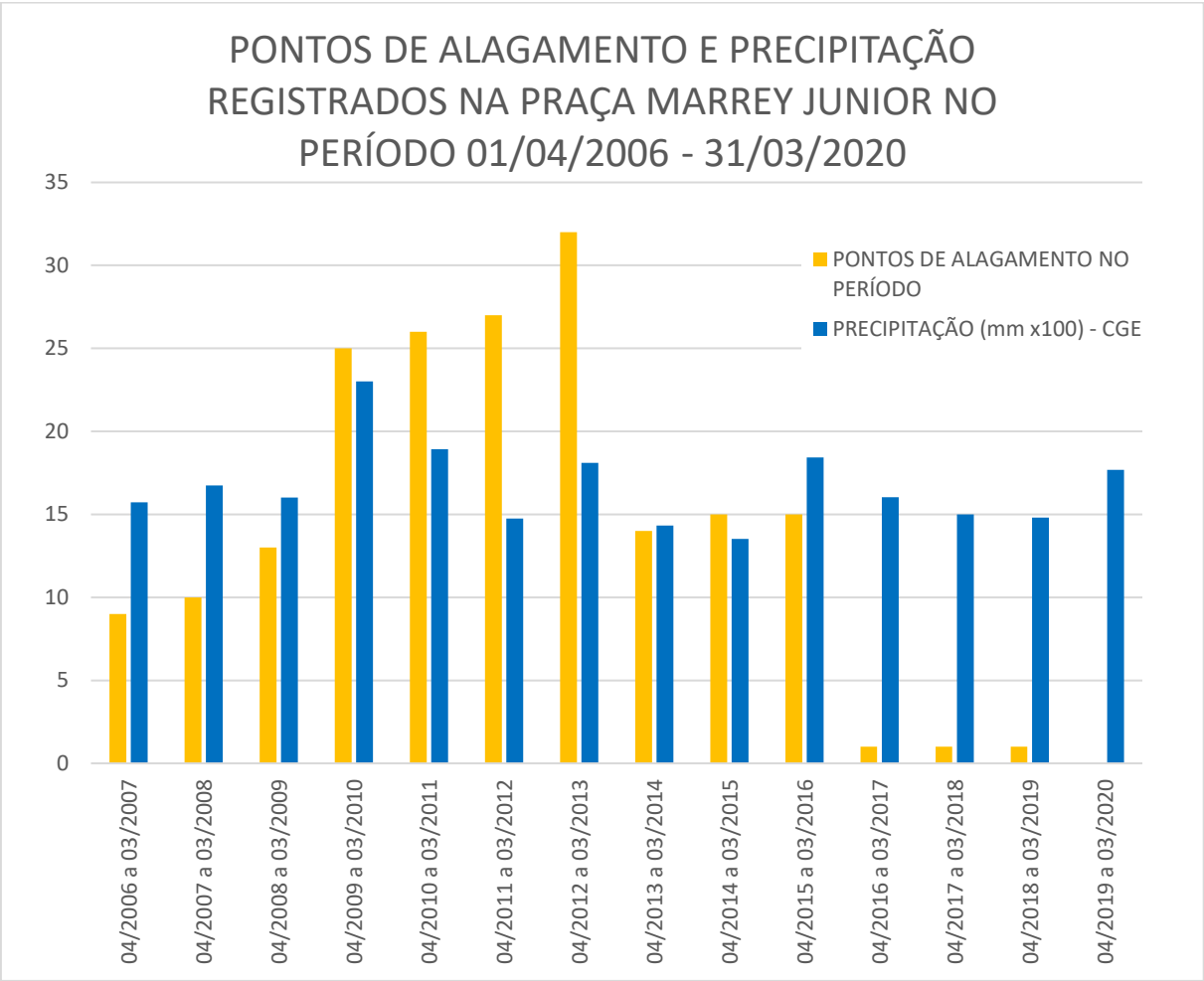


Gráfico 5 - Distribuição anual da precipitação e das enchentes registradas na Praça Marrey Junior (BRASIL, 2020; PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2020b). Org.: Andre Peron

	média anual de pontos de alagamento	média anual de precipitação (mm)	número de enchentes/mm de precipitação no período
04/2006 a 03/2016	18,6	1695,6	0,01097
04/2016 a 03/2020	0,8	1587,8	0,00047

Tabela 5 - Razão entre a média anual do número de enchentes e da precipitação na Praça Marrey Junior, para os períodos 04/2006-03/2016 e 04/2016-03/2020 (BRASIL, 2020; PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2020b). Org.: Andre Peron

PONTOS DE ALAGAMENTO E PRECIPITAÇÃO REGISTRADOS NA PRAÇA PASCOAL MARTINS NO PERÍODO 01/04/2006 - 31/03/2020

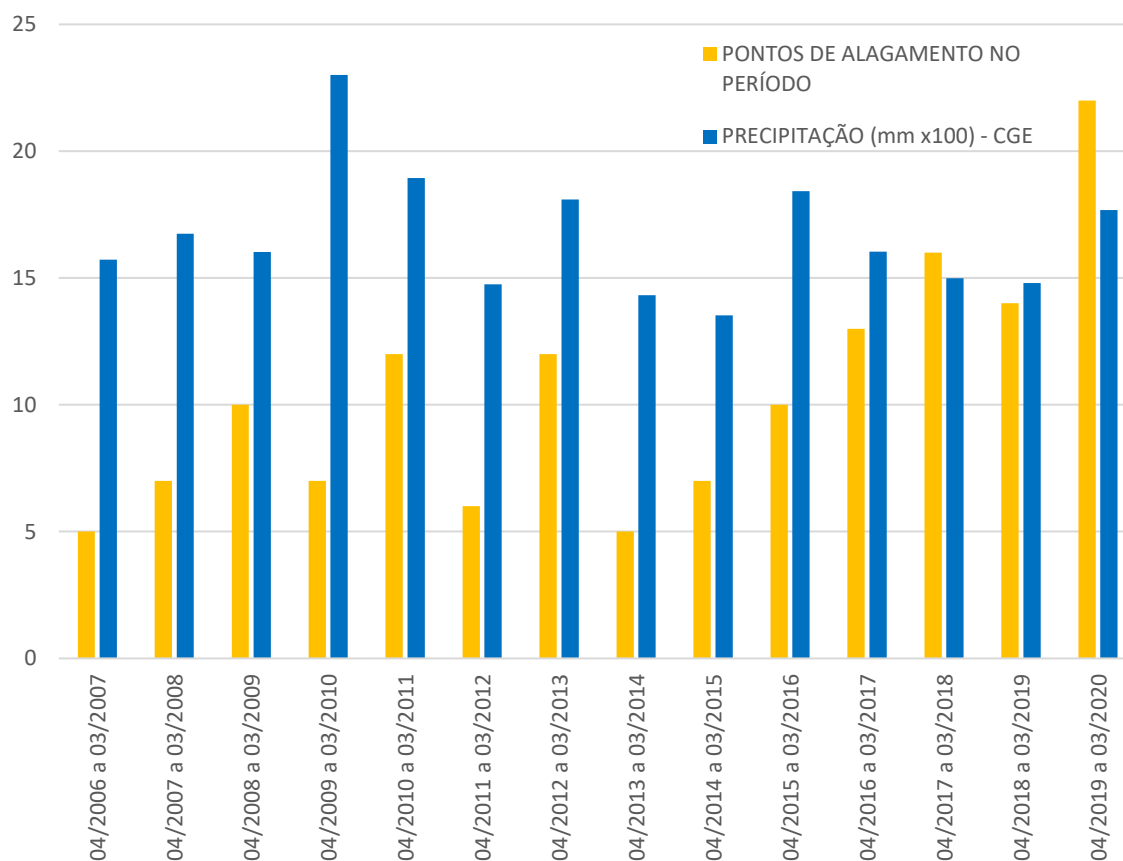


Gráfico 6 - Distribuição anual da precipitação e das enchentes registradas na Praça Pascoal Martins (BRASIL, 2020; PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2020b). Org.: Andre Peron

	média anual de pontos de alagamento	média anual de precipitação (mm)	número de enchentes/mm de precipitação no período
04/2006 a 03/2016	8,1	1695,6	0,00478
04/2016 a 03/2020	16,3	1587,8	0,01023

Tabela 6 - Razão entre a média anual do número de enchentes e da precipitação na Praça Pascoal Martins, para os períodos 04/2006-03/2016 e 04/2016-03/2020 (BRASIL, 2020; PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2020b). Org.: Andre Peron

**PONTOS DE ALAGAMENTO E PRECIPITAÇÃO
REGISTRADOS ENTRE AS AVS. POMPEIA E FRANCISCO
MATARAZZO, E A R. PALESTRA ITÁLIA, NO PERÍODO
01/04/2006 - 31/03/2020**

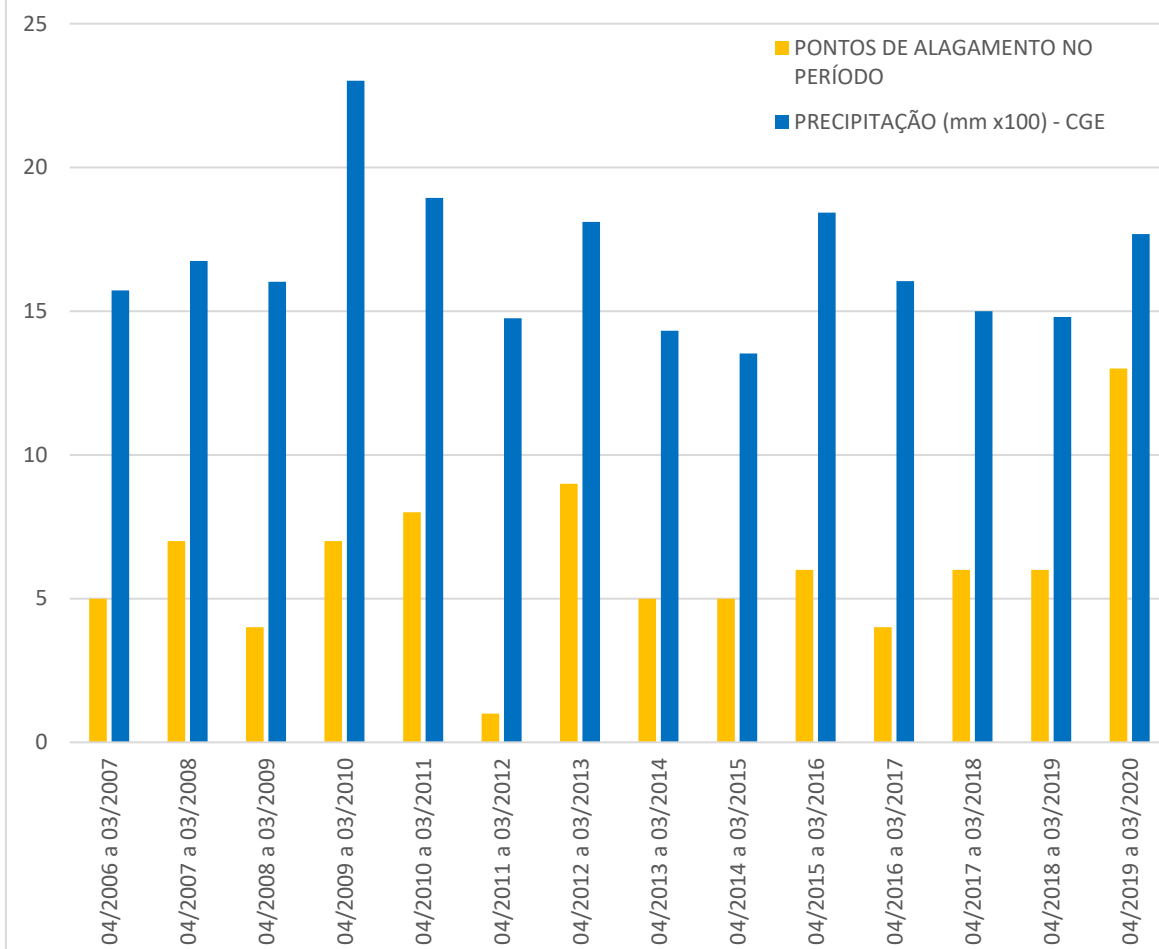


Gráfico 7 - Distribuição anual da precipitação e das enchentes registradas no conjunto de esquinas entre as Avs. Pompeia e Francisco Matarazzo, e a R. Palestra Itália (BRASIL, 2020; PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2020b). Org.: Andre Peron

	média anual de pontos de alagamento	média anual de precipitação (mm)	número de enchentes/mm de precipitação no período
04/2006 a 03/2016	5,7	1695,6	0,00336
04/2016 a 03/2020	7,3	1587,8	0,00457

Tabela 7 - Razão entre a média anual do número de enchentes e da precipitação no conjunto de esquinas entre as Avs. Pompeia e Francisco Matarazzo, e a R. Palestra Itália, para os períodos 04/2006-03/2016 e 04/2016-03/2020 (BRASIL, 2020; PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2020b). Org.: Andre Peron

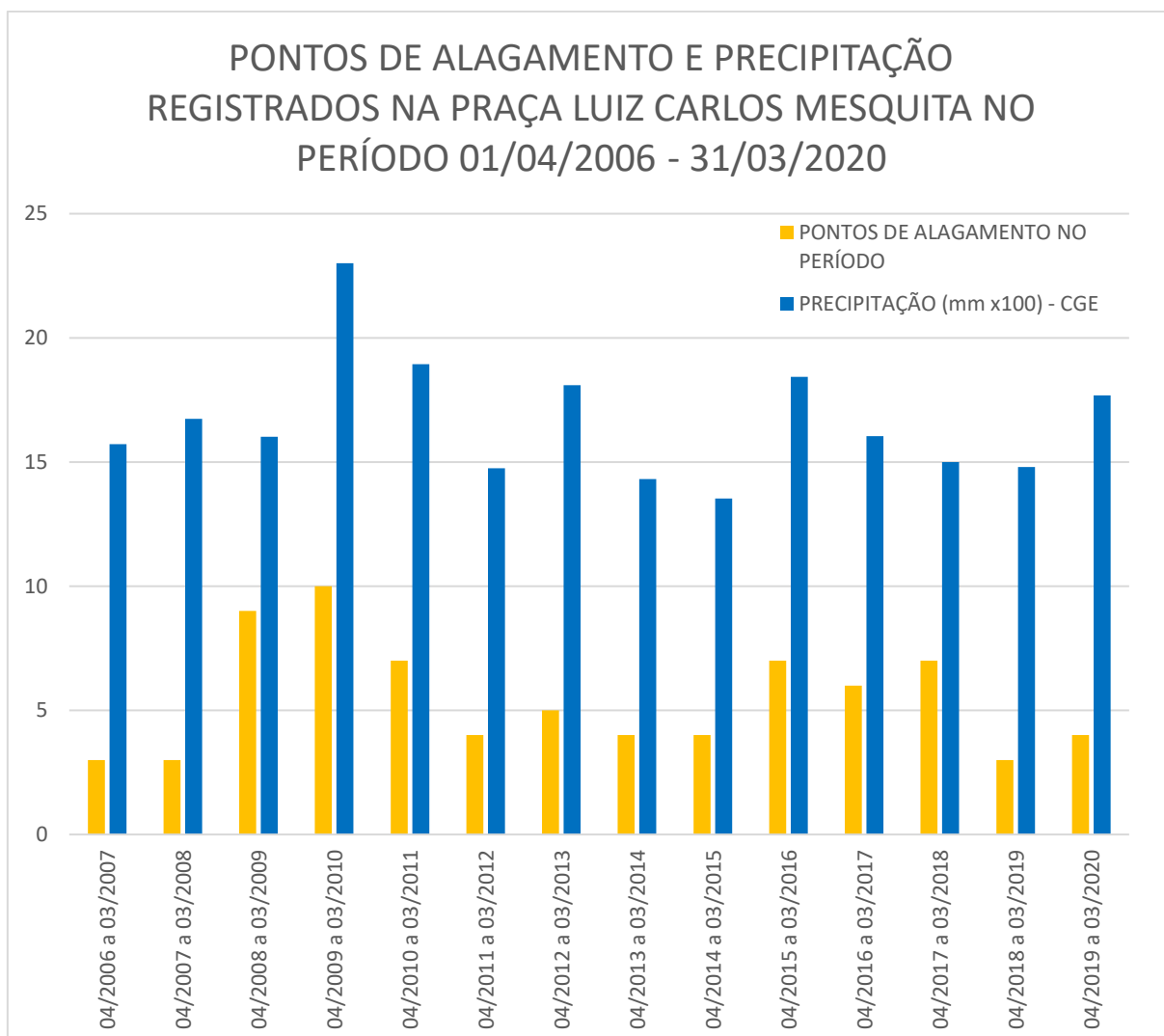


Gráfico 8 - Distribuição anual da precipitação e das enchentes registradas na Praça Luiz Carlos Mesquita (BRASIL, 2020; PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2020b). Org.: Andre Peron

	média anual de pontos de alagamento	média anual de precipitação (mm)	número de enchentes/mm de precipitação no período
04/2006 a 03/2016	5,6	1695,6	0,00330
04/2016 a 03/2020	5,0	1587,8	0,00315

Tabela 8 - Razão entre a média anual do número de enchentes e da precipitação Praça Luiz Carlos Mesquita, para os períodos 04/2006-03/2016 e 04/2016-03/2020 (BRASIL, 2020; PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2020b). Org.: Andre Peron

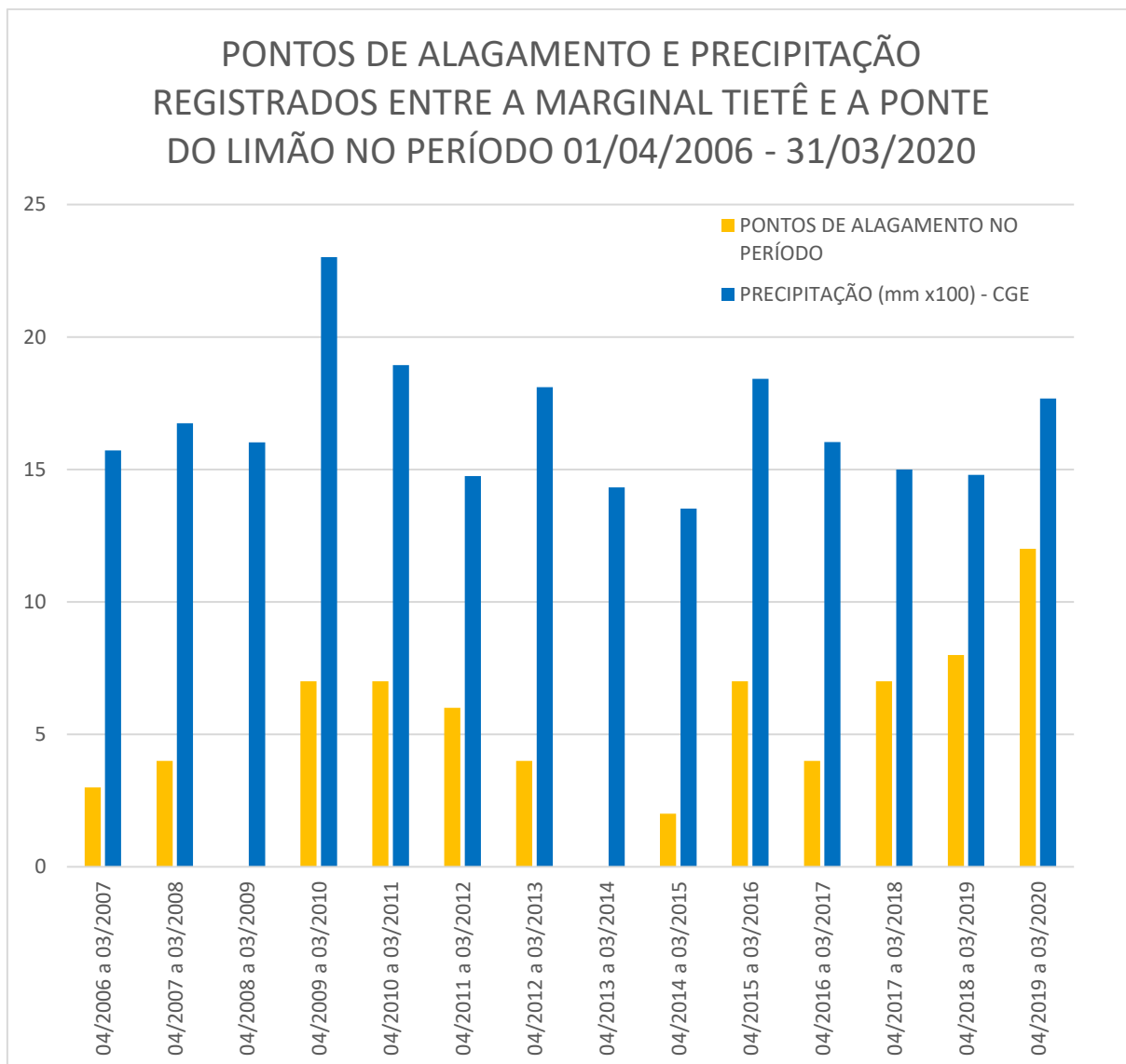


Gráfico 9 - Distribuição anual da precipitação e das enchentes registradas na Av. Presidente Castelo Branco (Marginal Tietê), na altura da Pte. Adhemar Ferreira (Ponte do Limão) (BRASIL, 2020; PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2020b). Org.: Andre Peron

	média anual de pontos de alagamento	média anual de precipitação (mm)	número de enchentes/mm de precipitação no período
04/2006 a 03/2016	4,0	1695,6	0,00236
04/2016 a 03/2020	7,8	1587,8	0,00488

Tabela 9 - Razão entre a média anual do número de enchentes e da precipitação na Av. Presidente Castelo Branco (Marginal Tietê), na altura da Pte. Adhemar Ferreira (Ponte do Limão), para os períodos 04/2006-03/2016 e 04/2016-03/2020 (BRASIL, 2020; PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2020b). Org.: Andre Peron

A análise visual desses gráficos evidencia como a redução das inundações se deu de forma intensamente desigual, entre os espaços investigados. O Gráfico 5 ilustra uma aguda diminuição no número de pontos de alagamento na Praça Marrey Junior se iniciando em 04/2016, diante de uma precipitação que se mantém relativamente constante entre os anos considerados. Já o Gráfico 6 mostra, nesse mesmo cenário, um grande aumento dos episódios de inundação depois de 04/2016 na Praça Pascoal Martins. O Gráfico 7 se destaca pelo grande número de enchentes verificadas no período 04/2019-03/2020, maior do que em qualquer outro, mesmo que a precipitação correspondente a esse ano já tenha sido precedida por outras de maior volume. Não há tendências claramente identificáveis para os Gráficos 8 e 9, à primeira vista.

Os valores apontados pelas tabelas corroboram o que foi apontado para os Gráficos 5, 6 e 7. A Tabela 5 mostra que, na Praça Marrey Junior, há uma média de 18,6 inundações anuais, no período anterior a 03/2016; no período posterior, essa média fica menor que 1 inundação por ano. Enquanto isso, na Praça Pascoal Martins, a Tabela 6 evidencia como a referida média mais que duplica entre os períodos, passando de 8,1 enchentes por ano até 03/2016, para 16,3 no intervalo posterior. O grande número de alagamentos verificados no último ano da análise, para o espaço compreendido entre as Avenidas Pompeia, Francisco Matarazzo e a Rua Palestra Itália, explica porque há um significativo aumento na média anual de inundações entre os períodos considerados: de 5,7 enchentes, até 03/2016, ela sobe para 7,3 no período posterior, como evidenciado pela Tabela 7.

Para uma adequada compreensão da efetividade da gestão municipal nesses espaços, considera-se a razão entre os pontos de alagamento e os mm de precipitação, sobre a qual se recai a meta estabelecida pela PMSP. Na comparação dessa razão entre os períodos 04/2006-03/2016 e 04/2016-03/2020, com base nos dados das Tabelas 5-9, verificam-se as seguintes tendências: na Praça Marrey Junior (Tabela 5) há uma redução percentual maior que 95% entre os valores dos períodos considerados, configurando um grande sucesso da Prefeitura. A tendência de queda também é verificada na Praça Luiz Carlos Mesquita (Tabela 8), ainda que em uma diferença muito menor, inferior a 5%. Contudo, as outras esquinas e praças inclinam-se para um aumento da razão supracitada, configurando fracasso da gestão municipal: nas esquinas entre as Avenidas Pompeia, Francisco Matarazzo e a Rua Palestra Itália, esse valor se eleva em 36% entre os períodos analisados (Tabela 7). Na Praça Pascoal Martins (Tabela 6) e na Marginal Tietê (Tabela 9), essa razão mais que duplica, com um aumento percentual de 114% e 107%, respectivamente.

A análise espacial das localidades mencionadas, bem como da distribuição das inundações dentro da área de estudo, pode ajudar a explicar as desigualdades descritas nos

últimos parágrafos. Além disso, um produto cartográfico que ilustre a localização das enchentes dentro das bacias pesquisadas pode auxiliar na compreensão desses eventos em um sentido morfológico. Nesse sentido, confeccionaram-se dois mapas: um primeiro que evidencia a distribuição das inundações por meio de uma densidade de pontos, associada aos indicadores topográficos das bacias (Figura 9) e um segundo que enfoca sobre a espacialização dessas cinco localidades onde mais se verificaram enchentes, durante o período analisado neste trabalho (Figura 10).

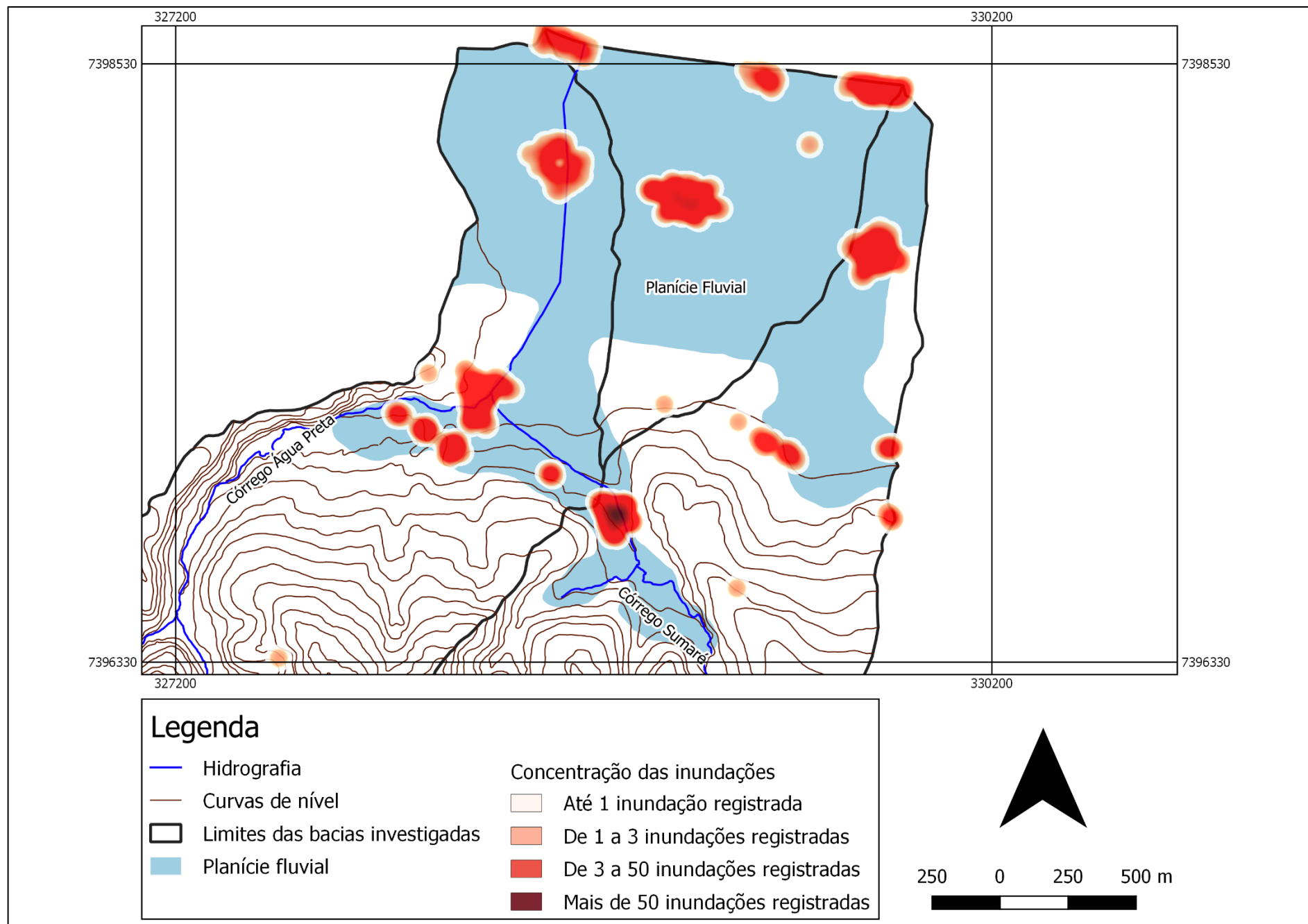


Figura 9 - Concentração das inundações na área de estudo (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2020b). Org.: Andre Peron

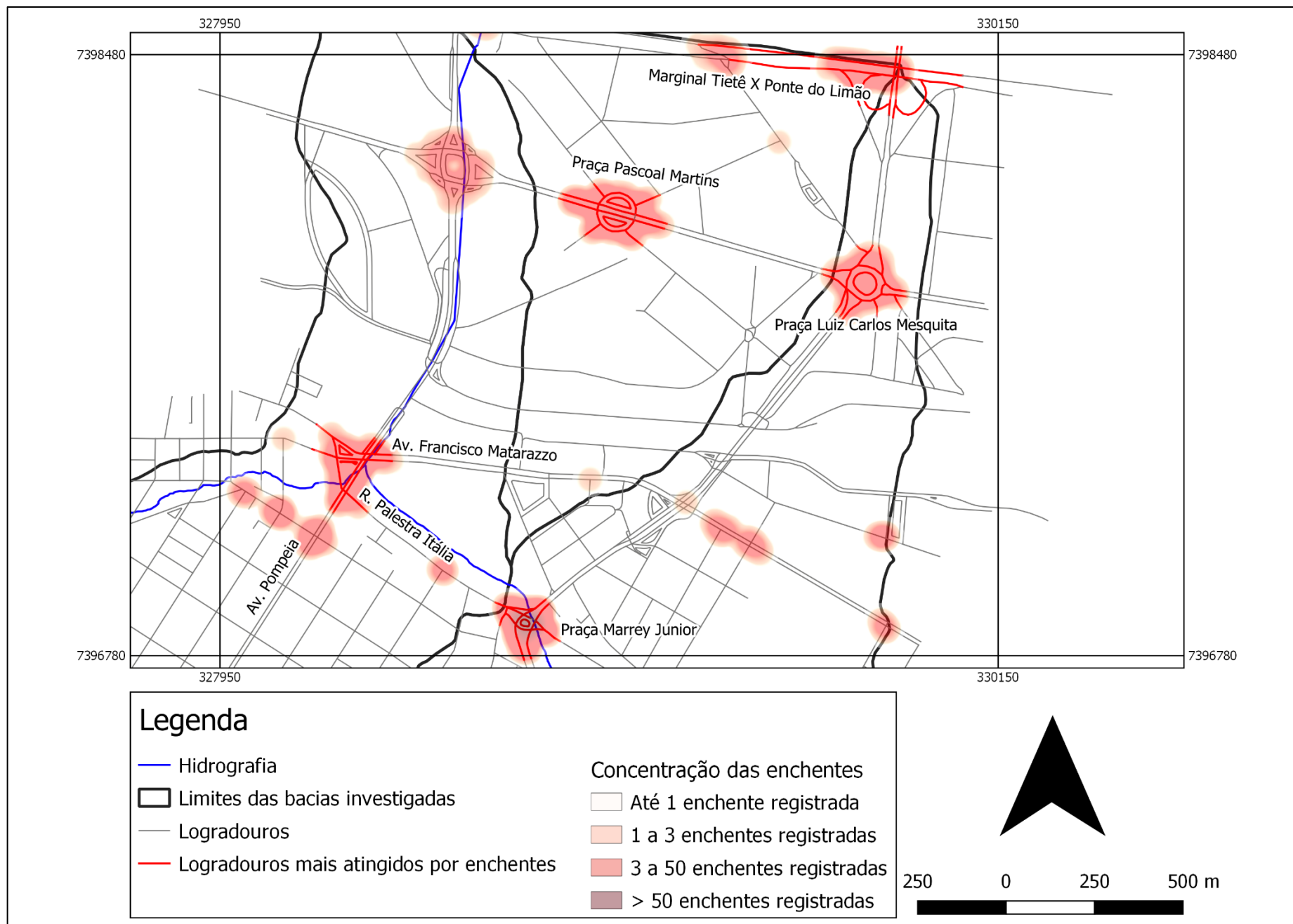


Figura 10 - Áreas que mais apresentaram inundações no espaço estudado (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2020b). Org.: Andre Peron

Nesse momento, faz-se uma discussão sobre as concentrações das inundações em um sentido hidromorfológico. Pela análise das duas figuras, percebe-se que a grande concentração de pontos de alagamento na Praça Marrey Junior é explicada pelos *geoindicadores* utilizados neste trabalho. A Praça se situa entre as altitudes de 730 e 735 m, o que corresponde ao limite da planície fluvial delimitada. Além disso, pela análise do perfil longitudinal do Córrego Sumaré, no Gráfico 1, verifica-se que essa concentração é antecipada por uma ruptura de declive convexa, que propicia uma dispersão de fluxos com aumento do potencial abrasivo, e que convergem para os vários setores côncavos do início da planície de inundação do córrego em questão (CHRISTOFOLETTI, 1980). A impermeabilização intensa sobre esse fundo de vale concentrador de fluxos, onde há alta circulação de veículos e assentamento urbano diante da presença da Avenida Sumaré, também contribui para a grande quantidade de inundações registradas nessa localidade.

É necessário frisar que é justamente no início da planície fluvial do Sumaré, localizado na Praça Marrey Junior, onde se verifica a maior concentração de pontos de alagamento na área de estudo, em contraste com a grande extensão da planície fluvial verificada nas bacias pesquisadas. Além dos processos descritos no parágrafo anterior, outra possível explicação para esse fenômeno se insere na discussão do *geoindicador* Solos Perturbados: a construção do estádio da Sociedade Esportiva Palmeiras, no começo do século XX, modificou a topografia da área durante as obras de aterro para o campo de futebol, o que pode ter aumentado a concavidade no início da planície fluvial, fazendo com que esse setor do perfil longitudinal do Córrego Sumaré concentre mais fluxos de escoamento superficial. Uma evidência dessa possibilidade está na já discutida alteração no curso do referido Córrego, quando este cruza as curvas de nível de 730 e 725 m (Figura 8), e que ilustra um delineamento topográfico que, certamente, advém de intervenções antropogênicas.

A concentração das inundações no conjunto de esquinas compreendido entre as Avenidas Pompeia e Francisco Matarazzo, e a Rua Palestra Itália, como evidenciado pelas Figuras 9 e 10, segue o mesmo conjunto de indicadores apontados na Praça Marrey Junior: início da planície fluvial, presença de setores côncavos nas vertentes que convergem seus fluxos para jusante, e a impermeabilização da superfície ligada ao uso da terra para grande circulação de veículos por esses logradouros. Mais uma vez, as intervenções antropogênicas no solo urbano – como o Shopping Bourbon e mesmo o Allianz Parque, próximos às esquinas que concentraram os pontos de alagamento, podem ajudar a explicar por que as inundações se centralizam nesse ponto da planície fluvial.

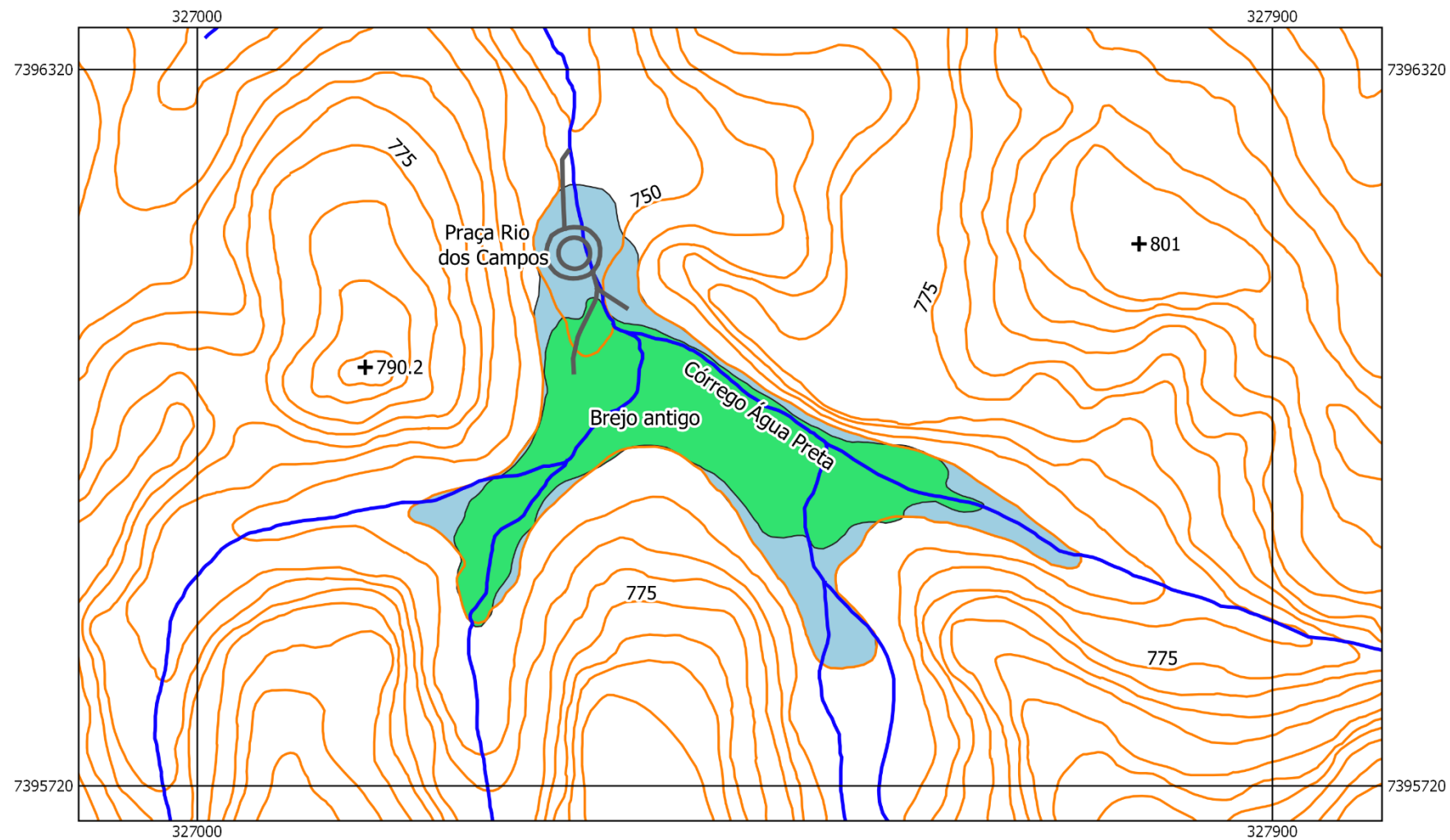
Os dois mapas mencionados também ilustram as inundações nas Praças Pascoal Martins e Luiz Carlos Mesquita. Ambas estão situadas na Avenida Marquês de São Vicente, sobre a planície fluvial do Rio Tietê. A explicação para as enchentes nessas localidades se dá pela regularidade com que as planícies de inundação são abrangidas pelas águas do respectivo curso d'água, em que eventos de precipitação extrema podem fazer com que o volume de água de um rio ultrapasse o nível das margens plenas, como já foi descrito por Christofolletti (1980). Nas praças em questão, esse processo parece estar mais associado à dinâmica dos Córregos Água Preta e Sumaré, quando o volume transportado por eles excede a capacidade do canal artificial que os canalizou, de modo que a água excedente permanece na superfície, sem ser drenada pelas galerias pluviais.

Já as inundações verificadas na Avenida Presidente Castelo Branco (Marginal Tietê) parecem ter uma origem mais associada à própria dinâmica do Rio Tietê, mas na mesma linha de análise. Em eventos de intensa precipitação, pode haver uma descontinuidade entre o volume do rio e a vazão máxima que seu canal comporta; diante disso, a água se espraia para a planície de inundação, atingindo primariamente as avenidas marginais ao Rio Tietê.

Por último, é necessário discorrer sobre uma planície interior restrita encontrada da Bacia Hidrográfica do Água Preta, observada inicialmente em campo. A Praça Rio dos Campos situa-se sobre essa suposta planície (Foto 5). No levantamento topográfico deste trabalho, verificou-se, de fato, a presença dessa planície interior restrita próxima à montante da BHAP. Também foi observado, no levantamento do SARA BRASIL (1930), que existia um brejo sobre esse espaço, configurando a possibilidade de que essa área fosse atingida por inundações (Figura 11). Entretanto, o mapa da Figura 12 evidencia que foi registrado apenas um ponto de alagamento nessa planície, desde 2006.



Foto 5 - Praça Rio dos Campos, sobre planície interior restrita na BHAP. Org.: Andre Peron



Legenda

- | | |
|-------------------|----------------------------|
| — Logradouros | Área do brejo antigo |
| — Hidrografia | Planície interior restrita |
| — Curvas de nível | + Pontos cotados |

100 0 100 200 m



Figura 11 - Planície interior restrita verificada na BHAP (SARA BRASIL, 1930). Org.: Andre Peron

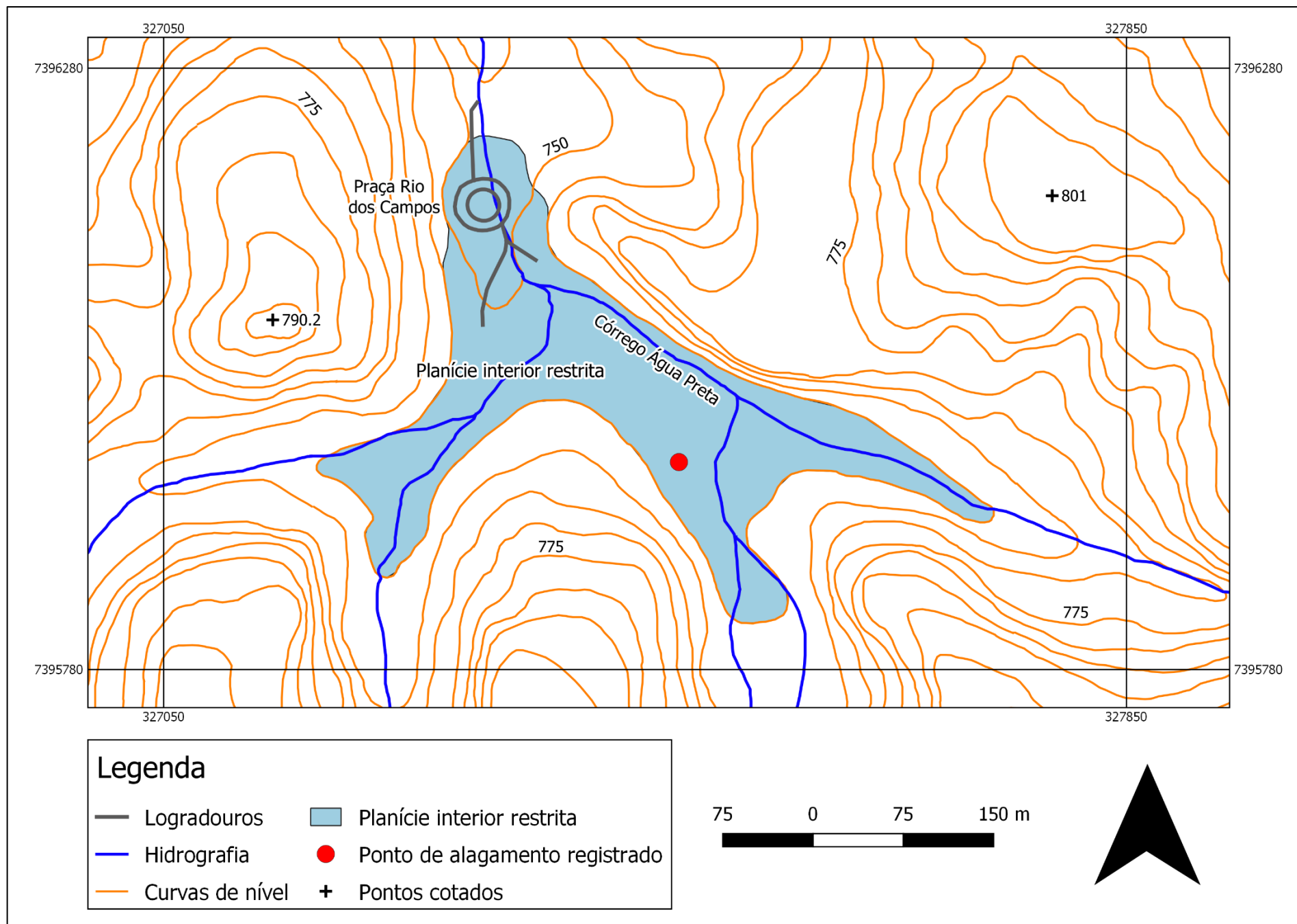


Figura 12 - Inundação na planície interior restrita verificada na BHAP (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2020b). Org.: Andre Peron

3.2 Vulnerabilidade

3.2.1 Renda

Para a análise desse indicador dentro da área de estudo, a partir de uma produção cartográfica, foram coletados com sucesso os dados da Base de Informações do Censo Demográfico 2010 (BRASIL, 2011). Essa base de dados considera os resultados do universo do censo por setor censitário; e a partir dela, foi possível verificar, para cada setor, o valor do rendimento nominal médio mensal das pessoas responsáveis por domicílios particulares permanentes, considerando os indivíduos com e sem rendimento.

Diante dessas informações, construiu-se um mapa que divide os setores censitários na área de estudo em diferentes classes, mediante o valor do rendimento médio mensal verificado, em salários-mínimos (Figura 13). A partir desse produto, é possível uma reflexão acerca da renda e de sua distribuição espacial entre as bacias investigadas, o que é feito adiante. Além disso, na composição na carta, optou-se pela sobreposição de uma camada que mostre a concentração das inundações dentro da área de estudo, à semelhança da Figura 9. Isso se deu para associar visivelmente a probabilidade de ocorrência desses fenômenos pelas bacias – o *perigo* – aos indicadores que compõem o tecido social, que configuram a *vulnerabilidade*. Vista em um mapa, a associação do *perigo* com a *vulnerabilidade* ajuda a compreender as áreas que apresentam maior *risco* à inundação, no espaço investigado.

Observa-se que a seleção utilizada para os setores censitários, tanto para a renda como para os outros dois indicadores da *vulnerabilidade*, compreende a área de estudo inicialmente estabelecida para esta pesquisa, considerando a abrangência das Bacias Hidrográficas do Água Preta e do Sumaré indicada pelos dados da PMSP. Ainda que tenha se verificado, na discussão da variável *perigo*, que as bacias de ambos os córregos não correspondam exatamente à delimitação da Prefeitura, preferiu-se utilizar as informações desta porque a avaliação da *gestão de risco*, a que se propõe este trabalho, considera sobretudo as intervenções e conhecimentos da gestão municipal.

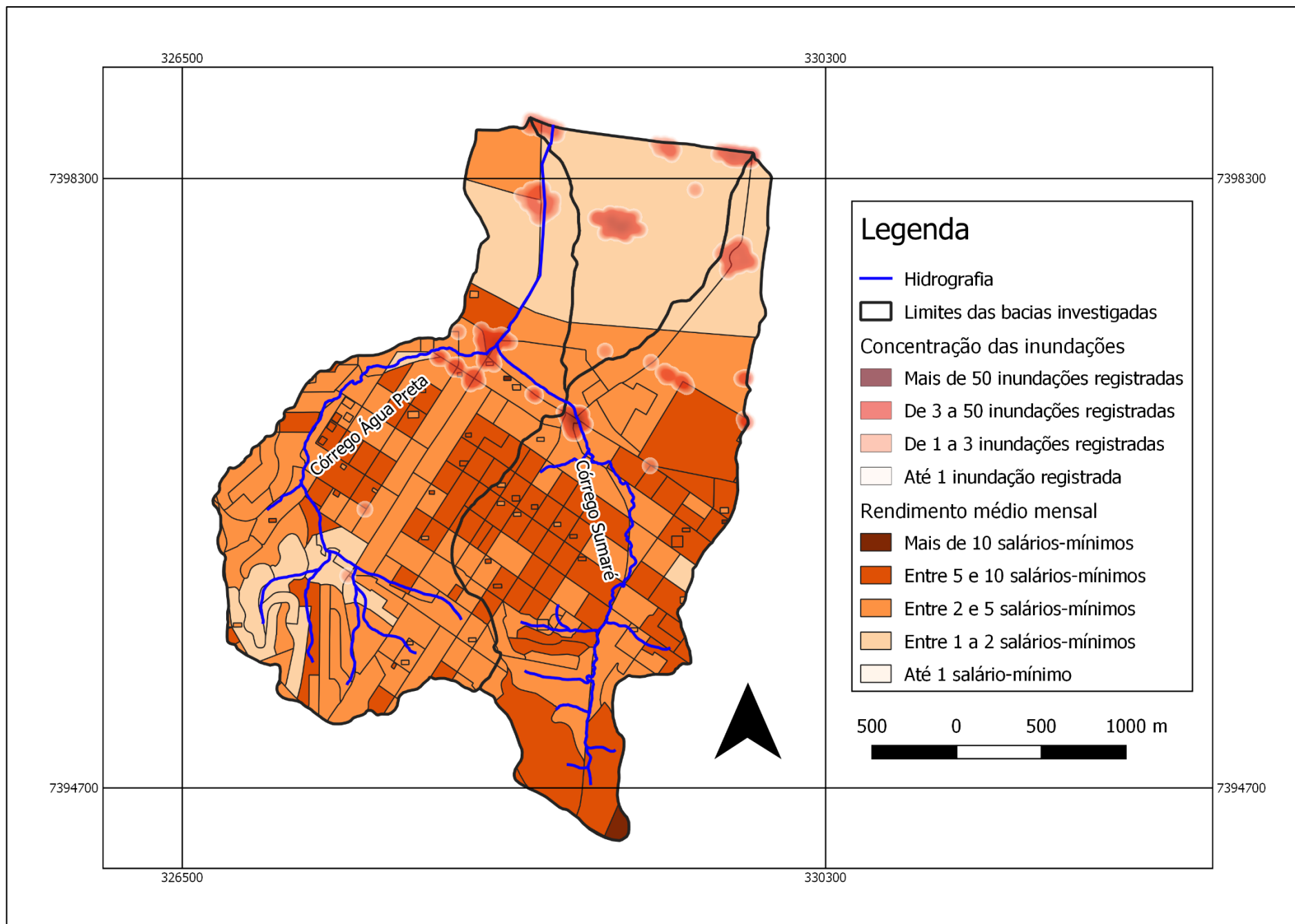


Figura 13 - Rendimento médio mensal na área de estudo. Org.: Andre Peron

Analisando o mapa, se percebe que os setores censitários de maior renda se situam nos interflúvios das bacias; em direção às nascentes e fundos de vale, a renda tende a diminuir.

A classe máxima de renda, na área de estudo, possui o rendimento mensal médio acima de 10 salários mínimos, e representa apenas três setores censitários no espaço investigado; já a classe mínima corresponde a uma renda média inferior a um salário mínimo, e que representa apenas um setor, localizado na porção sudoeste da Bacia do Água Preta. Tanto a mediana como a média de renda, entre os setores censitários componentes da área de estudo, encontram-se na faixa entre 2 e 5 salários-mínimos. Desse modo, pode-se dizer que predomina uma renda relativamente alta, dentro das bacias investigadas.

Contudo, percebe-se uma tendência de um menor rendimento mensal na porção sudoeste da BHAP, nas proximidades do antigo brejo identificado na discussão da variável *perigo*. Em campo, percebeu-se que essa área apresenta uma edificação muito mais rústica do que o espaço ao seu redor, e possui indícios de habitação subnormal (Foto 6).



Foto 6 - Indícios de habitação subnormal na área de estudo. Org.: Andre Peron

3.2.2 Densidade

A mesma base de dados e procedimentos adotados para a renda foram empregados, com sucesso, para a densidade; entretanto, foi utilizada informação do número da população residente em domicílios particulares permanentes para cada setor censitário, segundo a Base de Informações do Censo Demográfico 2010 (BRASIL, 2011). O mapa confeccionado segue na Figura 14:

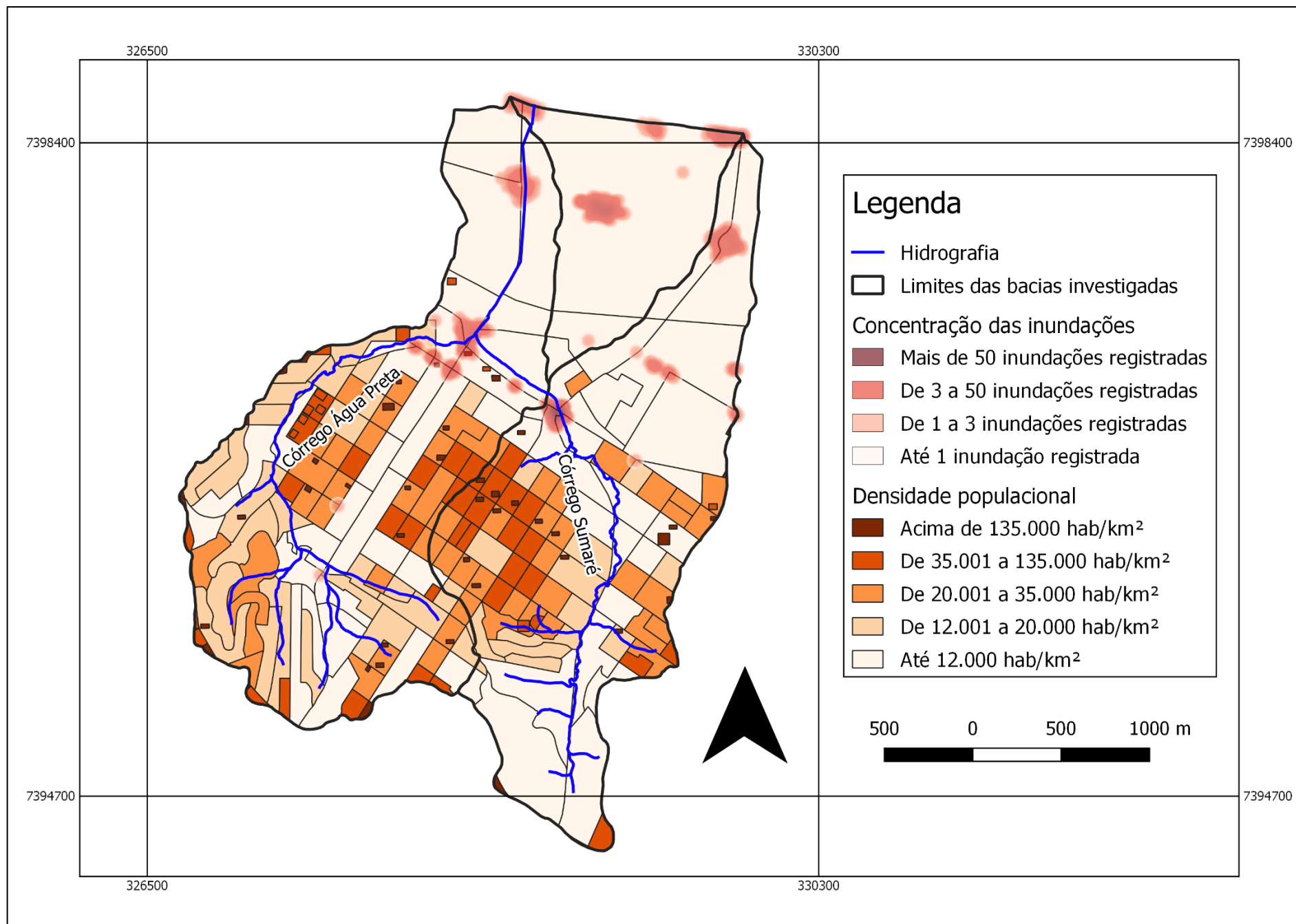


Figura 14 - Densidade demográfica na área de estudo. Org.: Andre Peron

Pela análise cartográfica da Figura 14, percebe-se que a densidade demográfica no espaço investigado é típica de uma área urbanizada, e em geral, aumenta no sentido dos interflúvios e diminui no sentido da montante e das nascentes, assim como a renda. Destaca-se que, apesar de a densidade cair à montante na Bacia do Sumaré, isso não ocorre claramente na do Água Preta.

Essa referida área pouco adensada, na Bacia do Sumaré, apresenta uma elevada renda, como se percebe na Figura 13. Infere-se que essa combinação de densidade demográfica mais baixa com renda mais elevada atribui-se a habitações do tipo casa de alto padrão, nesse espaço.

Na BHAP, destaca-se a presença de alguns extensos setores censitários de baixa densidade, que se situam a meia-distância entre o fundo de vale e o divisor de águas desta bacia com a BHS. Em campo, observou-se que essa área corresponde às proximidades da Avenida Pompeia, uma zona intensamente comercial. Ademais, constata-se que os setores censitários à montante da margem esquerda do Água Preta, nas proximidades do antigo brejo, constituem-se de uma zona relativamente adensada dentro da Bacia, apesar de uma renda mais baixa; isso está de acordo com os indícios de habitação subnormal verificados nesse espaço, como ilustra a Foto 6.

A partir dos dados oriundos do IBGE (BRASIL, 2011) e do GEOSAMPA (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2018), estabeleceu-se o número total de habitantes, a área e a densidade populacional das duas bacias investigadas, o que é mostrado pela Tabela 10.

	número de habitantes	área total (km ²)	densidade demográfica (hab/km ²)
Bacia hidrográfica do Córrego Água Preta	58.249	4,4	13.238,41
Bacia hidrográfica do Córrego Sumaré	46.738	3,91	11.953,45

Tabela 10 - População, área e densidade demográfica nas bacias investigadas (BRASIL, 2011; PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2018). Org.: Andre Peron

3.2.3 Saneamento básico

Este último indicador da *vulnerabilidade* foi investigado a partir da quantidade de domicílios particulares permanentes, em cada setor censitário, com abastecimento de água via rede geral. Essas informações também foram extraídas, com sucesso, da Base de Informações do Censo Demográfico 2010 (IBGE, 2011). A análise desse indicador seguiu os mesmos procedimentos dos anteriores; segue o produto cartográfico confeccionado (Figura 15):

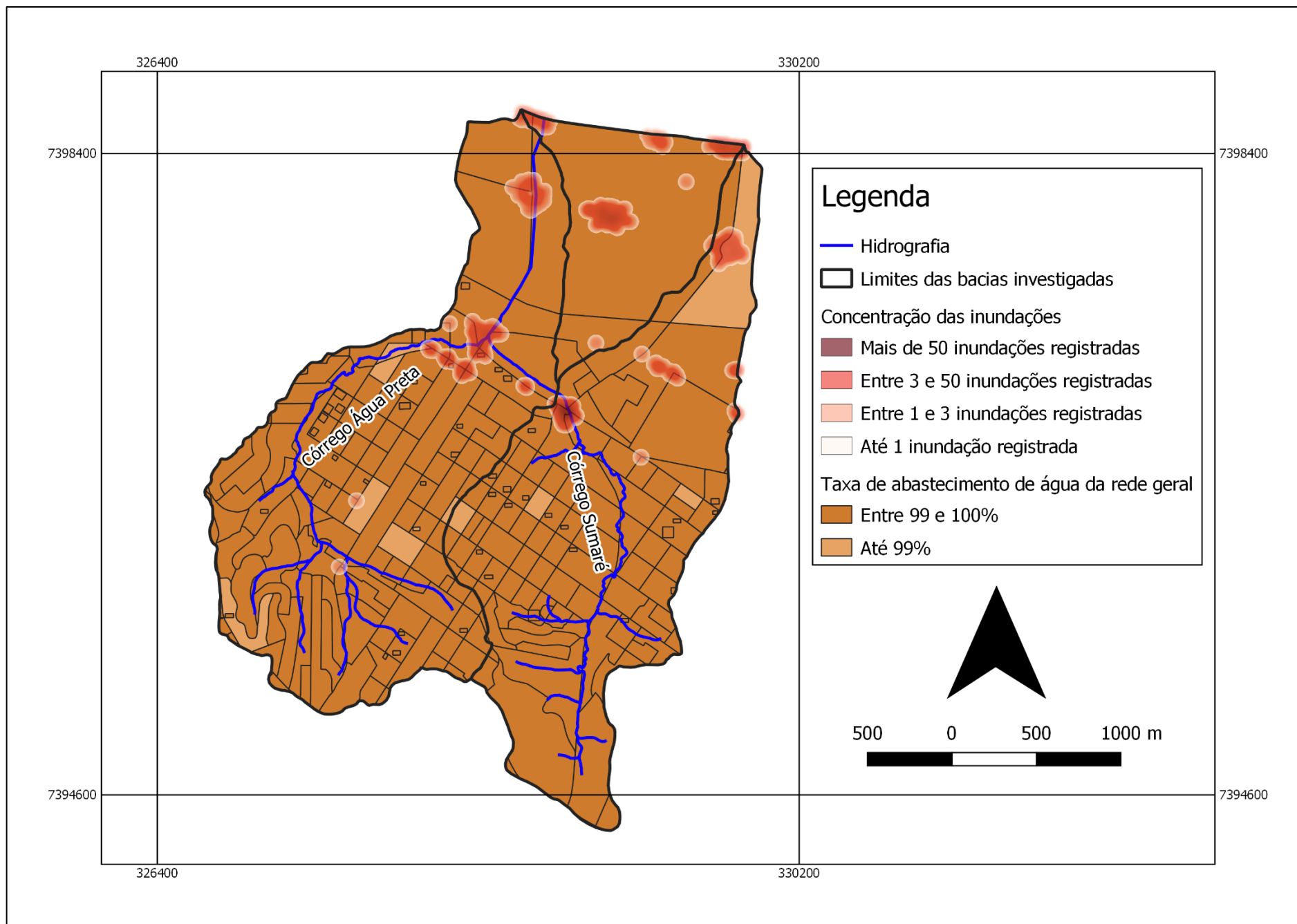


Figura 15 - Taxa de saneamento da área de estudo. Org.: Andre Peron

Esse mapa evidencia que a taxa de saneamento nas bacias dos Córregos Sumaré e Água Preta é muito elevada, superando 95% de taxa média por setor censitário. Há apenas 17 setores que apresentam menos de 95% dos domicílios com abastecimento via rede geral, entre os 228 presentes na área de estudo. Observando a bacia do Água Preta, há uma tendência de que as áreas com saneamento mais baixo se concentrem à montante, sobretudo nas áreas próximas ao antigo brejo e às habitações de característica subnormal.

De maneira geral, percebe-se que a área de estudo possui uma renda relativamente elevada, pleno acesso ao saneamento básico e densidade característica de zonas urbanas. À exceção deste último indicador, essa configuração vai induzir a uma baixa *vulnerabilidade* geral, nas bacias investigadas. Destaca-se o contexto da porção sudoeste da bacia do Água Preta, nas proximidades do antigo brejo, em que foram registrados indícios de habitação subnormal e onde se manifestaram os piores indicadores sociais analisados: essa é a área mais vulnerável dentro do espaço investigado; entretanto, como apresentou somente um episódio de inundação no histórico considerado, frente aos mais de 700 registrados na área de estudo, seu *risco* é virtualmente nulo. Aqui, é preciso frisar as observações de Alexander (2011) e Carrão, Naumann e Barbosa (2016), que evidenciam como, se não houver *perigo* de algum desastre ocorrer em determinada área, o *risco* de desastre é necessariamente nulo.

Observando a espacialização dos setores censitários que apresentaram, de fato, enchentes ao longo do histórico considerado, conclui-se que há baixo *risco* à inundação na área de estudo. Esses setores, além de apresentarem alta renda e taxa de saneamento, possuem as menores densidades populacionais verificadas nas bacias, sobretudo quando comparadas à alta densidade populacional observada nos interflúvios.

3.3 Gestão de risco

3.3.1 Operação Urbana Consorciada Água Branca

A Operação Urbana Água Branca foi primeiramente estabelecida pela Lei 11.774 de 18/05/1995, buscando dar um norte para as intervenções urbanas na região da Água Branca, na Cidade de São Paulo. Em 2013, essa operação foi reformulada pela Lei 15.893, promulgada em 07/11 do mesmo ano, buscando adequá-la ao Estatuto da Cidade e ao futuro Plano Diretor da Cidade de São Paulo, de 2014. Além disso, ela passou a ser designada Operação Urbana Consorciada Água Branca (OUCAB), a partir desse momento (PREFEITURA MUNICIPAL

DE SÃO PAULO, 2016). O mapa da Figura 16 indica a localização da OUCAB em relação às bacias investigadas neste trabalho.

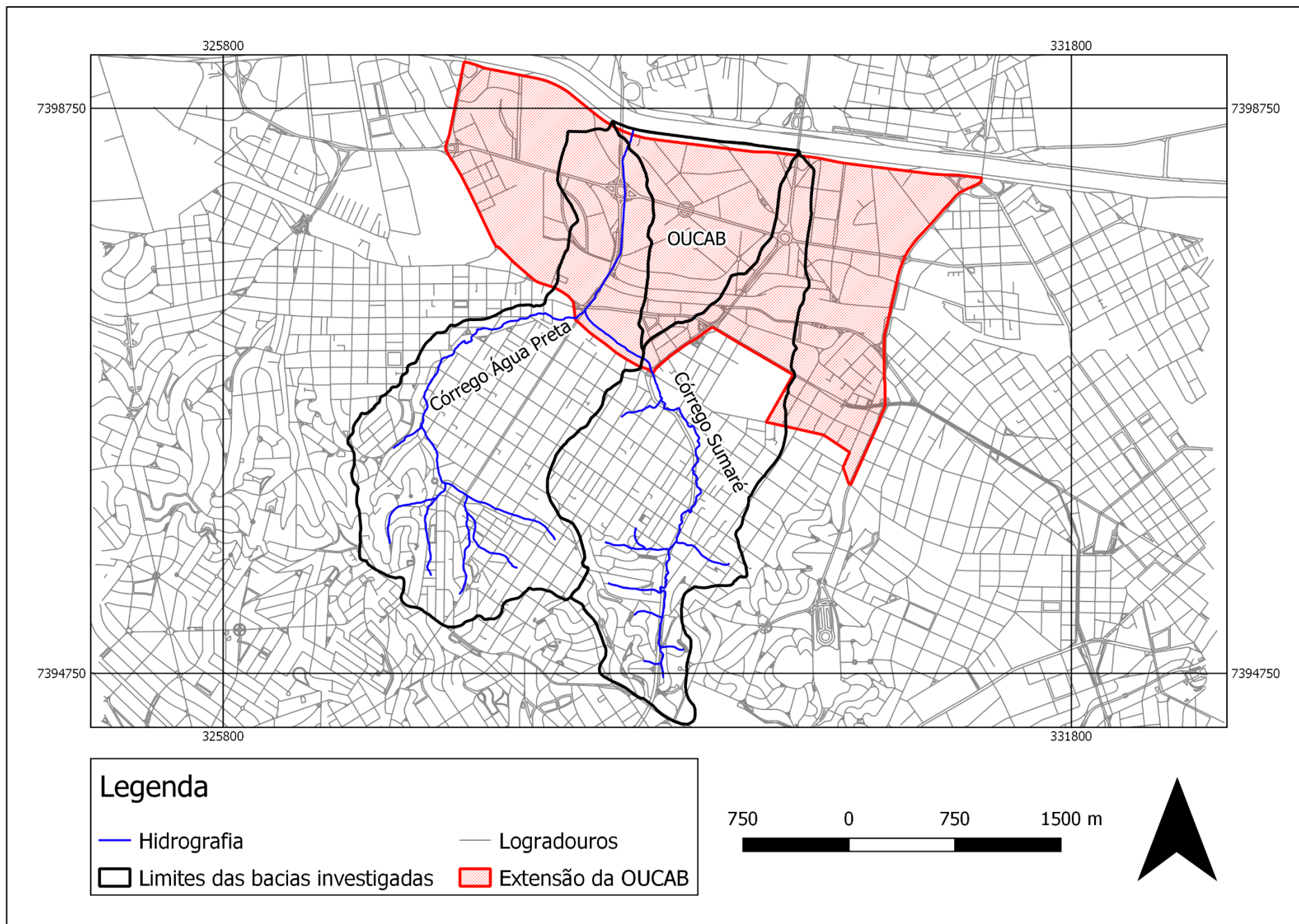


Figura 16 - Localização da OUCAB no contexto da área de estudo (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2018). Org.: Andre Peron

Segundo a PMSP, as operações urbanas são instrumentos da gestão municipal que designam políticas específicas para uma área da cidade, articulando os interesses das construtoras interessadas em erguer um empreendimento nesse espaço, às determinações municipais dos limites de construção. Nas palavras da PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO (2020c, grifo nosso):

As Operações Urbanas são instrumentos de intervenção pública, reguladas pelo Plano Diretor e aprovadas mediante lei municipal, que estabelecem regras urbanísticas específicas e incentivos ao adensamento populacional e construtivo para uma determinada área da cidade, com perímetro previamente definido. Têm por objetivo alcançar metas de qualificação para os territórios que abrangem, por meio de um conjunto de diretrizes urbanísticas [...] *O perímetro de uma Operação Urbana é favorecido pela possibilidade de flexibilizar limites estabelecidos pela lei de zoneamento vigente, mediante o pagamento de contrapartida financeira à Prefeitura. Este dinheiro será usado em intervenções e melhorias urbanísticas realizadas na própria região, pelo Poder Público.* A lei da Operação Urbana pode prever, também, incentivos não onerosos, como estímulo adicional a investimentos privados na região.

Ademais, a PMSP também diferencia uma Operação Urbana de uma Operação Urbana Consorciada. Segundo ela (Ibid.), “Os recursos das contrapartidas financeiras, nas Operações Urbanas Consorciadas, são antecipados pela venda dos Certificados de Potencial Adicional de Construção – CEPAC.” Sendo assim, a empreendedora interessada em edificar uma construção além dos limites máximos estabelecidos pelo zoneamento municipal, nesses espaços, deve adquirir um CEPAC da Prefeitura. O montante oriundo da venda dos CEPAC é investido, pela gestão municipal, em intervenções urbanas na área da Operação Urbana Consorciada.

Ainda que haja um conselho deliberativo nessas operações, composto por membros do poder público e da sociedade civil, é comum que as intervenções municipais financiadas pelos recursos das Operações Urbanas Consorciadas acabem favorecendo, primariamente, os interesses do capital financeiro e das imobiliárias presentes nesse espaço. O trabalho de Carlos (2001) evidencia como a Operação Urbana Faria Lima, na metrópole paulistana, contribuiu para a valorização da terra e a consequente especulação imobiliária nesse espaço, atendendo aos interesses das grandes construtoras e incorporadas na região.

Nesse contexto, investiga-se a relação entre a PMSP e os grandes empreendimentos na área de estudo, por meio da Operação Urbana Consorciada Água Branca. A PREFEITURA

MUNICIPAL DE SÃO PAULO (2020d, grifo nosso) elenca os seguintes objetivos específicos dessa operação:

- a. implantar um conjunto de melhoramentos viários visando ligações de longo percurso e a reestruturação do viário local, hoje fragmentado;
- b. *melhorar os sistemas de macro e microdrenagem para diminuir os problemas de inundação ocasionados pela deficiência das redes e galerias existentes;*
- c. implantar espaços públicos;
- d. implantar equipamentos de interesse da comunidade.

Diante disso, as obras de macrodrenagem na área de estudo, realizada pela Prefeitura, evidenciam como a *gestão de risco* de desastre pode estar associada aos interesses que induziram ao estabelecimento da OUCAB. Destacam-se, na área estudada, os seguintes empreendimentos: o Shopping Bourbon; o Allianz Parque; as faculdades UNIP e UNINOVE; diversos prédios de escritórios; e o megacondomínio Jardim das Perdizes, da incorporadora Tecnisa, com 28 torres previstas em um bairro planejado, e que conta com o Parque Jardim das Perdizes.

No contexto urbano, a inundação é um fenômeno que dificulta a circulação material no trânsito paulistano, e, portanto, limita a fluidez do capital dentro da metrópole (LENCIONI, 2011); por isso, diversas organizações possuem interesse em eliminar as inundações recorrentes sobre a cidade, como é o caso do Shopping Bourbon e do Allianz Parque, cujas vias de acesso encontram-se entre pontos de costumeiro alagamento na área de estudo, e da incorporadora Tecnisa, que busca vender imóveis em uma área similar. Analisando os objetivos da OUCAB, pode-se constatar que empreendimentos nessa área – sobretudo o megacondomínio da Tecnisa, cujas primeiras unidades de apartamentos começaram a ser vendidas em 2013 (FRANÇA, 2019) – estimularam a PMSP à gestão do risco à inundação nessa área de operação urbana, de modo que os recursos captados pelos CEPAC financiaram as obras de macrodrenagem realizadas no período 2013-2016.

Nesse sentido, é importante verificar a eficácia da gestão municipal em lidar com as inundações na área de estudo, de acordo com o interesse dos empreendimentos mencionados. Utilizam-se as informações levantadas na discussão da variável *perigo*, no *geoindicador* Frequência e Magnitude das Inundações, para avaliar se a gestão municipal foi capaz de reduzir as enchentes nas esquinas e praças mais próximas 1) do Allianz Parque, 2) do Shopping

Bourbon e 3) do megacondomínio da Tecnisa. O mapa da Figura 17 ilustra a localização desses três equipamentos urbanos, diante das cinco esquinas e praças onde mais se verificaram pontos de alagamento no período considerado, como mostrado pela Figura 10.

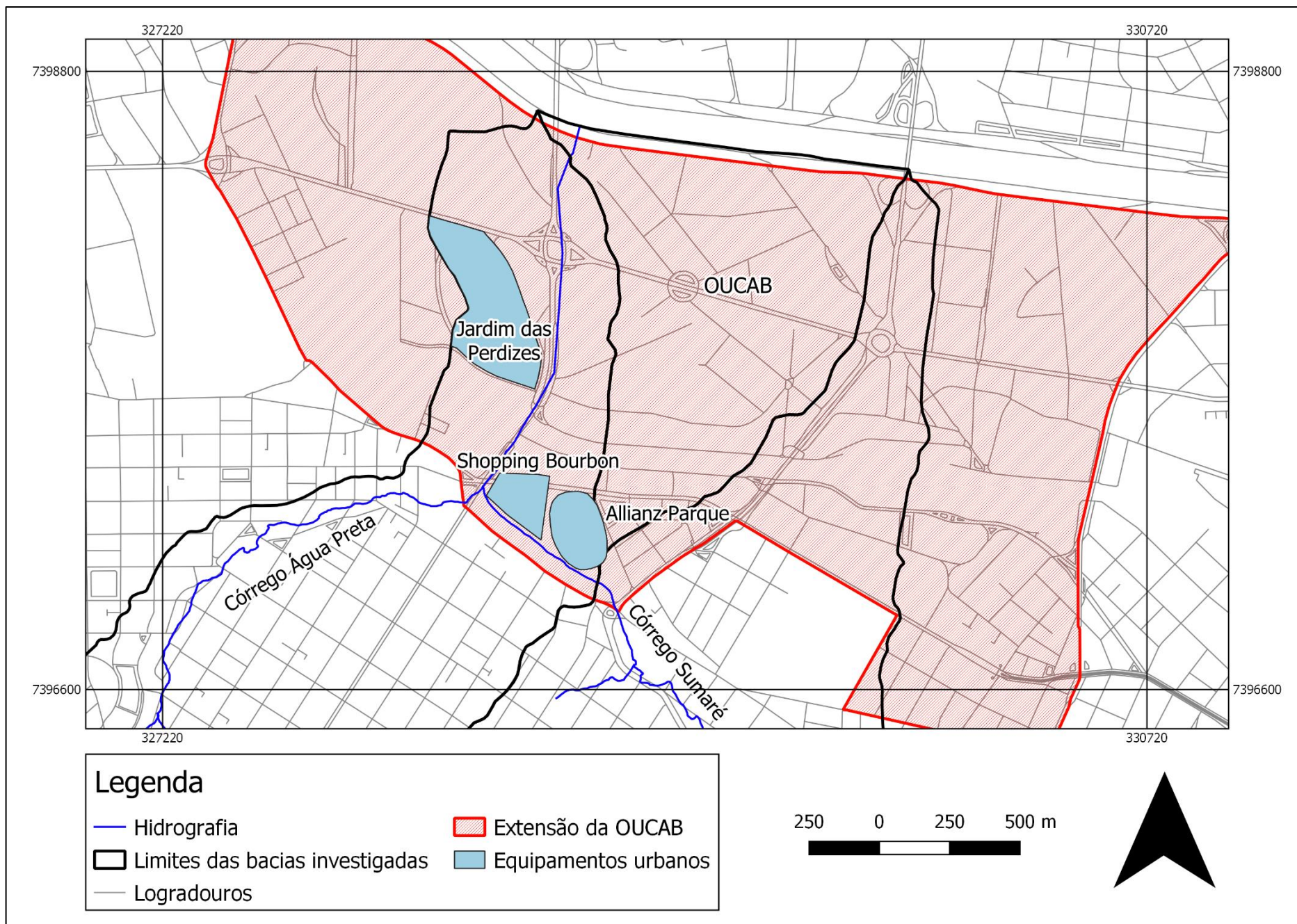


Figura 17 - OUCAB e alguns equipamentos urbanos na área de estudo (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2018). Org.: Andre Peron

Pela análise da figura anterior, percebe-se que o Allianz Parque está situado na Rua Palestra Itália. Sendo esta uma rua de mão única, o acesso veicular ao estádio só é possível a partir da Praça Marrey Junior. Como já discutido, essa localidade teve uma redução maior que 95% da razão anual entre pontos de alagamento/mm de precipitação, após a intervenção da PMSP (Tabela 5). Desse modo, é possível dizer que os shows e as partidas de futebol que ocorrem no Allianz Parque foram muito beneficiados pela *gestão de risco* da Prefeitura.

O Shopping Bourbon se situa nas proximidades desse estádio, mas possui vias de acesso tanto pela Rua Palestra Itália, como na Avenida Francisco Matarazzo. Diante disso, dois locais analisados são relevantes para o shopping: a Praça Marrey Junior e o conjunto de esquinas entre as Avenidas Pompeia e Francisco Matarazzo, e a Rua Palestra Itália. Como já discutido, houve uma redução maior que 95% das enchentes na praça, após a intervenção municipal; entretanto, os dados da Tabela 7 evidenciam que houve um aumento de 36% da razão anual mencionada, no conjunto de esquinas. De uma maneira geral, pode-se dizer que o Shopping Bourbon foi beneficiado pela *gestão de risco*, pois a comparação entre as Tabelas 5 e 7 mostra que a redução percentual verificada na Praça Marrey Junior reflete uma queda muito maior do número absoluto de inundações, do que corresponde o aumento percebido no conjunto de esquinas discutido.

Já para o megacondomínio Jardim das Perdizes, consideram-se dois pontos de alagamento recorrente: a Praça Pascoal Martins e, novamente, as esquinas compreendidas entre as Avenidas Pompeia e Francisco Matarazzo, e a Rua Palestra Itália. O aumento percentual de 36%, mencionado anteriormente para esta segunda localidade, combina-se com o crescimento de 114% da razão supracitada na Praça Pascoal Martins. Este é o maior aumento proporcional e absoluto das inundações, entre os cinco lugares que mais apresentaram eventos desse tipo, no histórico considerado. Diante disso, é possível dizer que o empreendimento da Tecnisa sofreu prejuízos diante da *gestão de risco* da Prefeitura de São Paulo.

3.3.2 Medidas de controle à inundação empregadas pela PMSP

Essa dicotomia apresentada – o sucesso da gestão municipal em reduzir as enchentes em uma área, enquanto aumenta a manifestação desses eventos em outra – pode ser explicada pelas medidas de controle à inundação empregadas pela Prefeitura.

A Ficha de Identidade do Programa de Metas 2013-2016 da PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO (2013a, p. 209) traça, para a Meta 105, a realização de intervenções de controle de cheias nas bacias de diversos córregos, entre os quais se menciona

o Sumaré e o Água Preta. As observações dessa meta deixam claro que será feita uma “canalização de 8.800m do córrego” Sumaré/Água Preta, sem deixar clara a quantidade precisa para cada um – isso pode estar associado à percepção de que o primeiro tributa no segundo e que constituem a mesma bacia hidrográfica, como evidenciado na discussão da variável *perigo*.

Faz-se a classificação dessa intervenção, segundo as medidas de controle à inundação, descritas por Tucci (2001). No contexto descrito pelo Programa de Metas, a canalização se trata de uma obra de engenharia para reduzir o risco de enchentes, e que atua diretamente sobre o canal fluvial; portanto, se configura como uma *medida estrutural intensiva*, na classificação do autor. De fato, entre as medidas estruturais intensivas para lidar com enchentes, o autor descreve a “melhoria do canal”, que pode se dar tanto pela “redução da rugosidade pela desobstrução” quanto pelo “corte de meandro” (Ibid., p. 628).

Nesse contexto, identifica-se a canalização como uma providência que desobstrui e reduz a rugosidade do canal fluvial, para comportar maior vazão. Para as medidas desse tipo, Tucci (Ibid.) cita como a principal vantagem o “aumento da vazão com pouco investimento”; e, como maior desvantagem, seu “efeito localizado”. O autor ainda esclarece que essa forma de intervenção se dá, sobretudo, em pequenos rios, como é o caso da canalização empreendida pela PMSP.

É necessário fazer uma observação sobre as obras de engenharia que atuam diretamente sobre o canal fluvial – as medidas estruturais intensivas. Como já mencionado, Douglas (1983 apud LUZ, 2014) evidencia que essas intervenções apenas jogam o problema das inundações à jusante do ponto em que se busca conter os alagamentos. Isso se dá porque esse tipo de obra, sobretudo quando visam à melhoria do canal para o aumento de sua vazão, aceleram o escoamento das águas pela bacia, fazendo com que elas cheguem mais rapidamente ao rio principal. Desse modo, há uma tendência de evitar as inundações à montante, e estimulá-las mais à jusante. A Figura 18 contextualiza esse fenômeno na área de estudo.

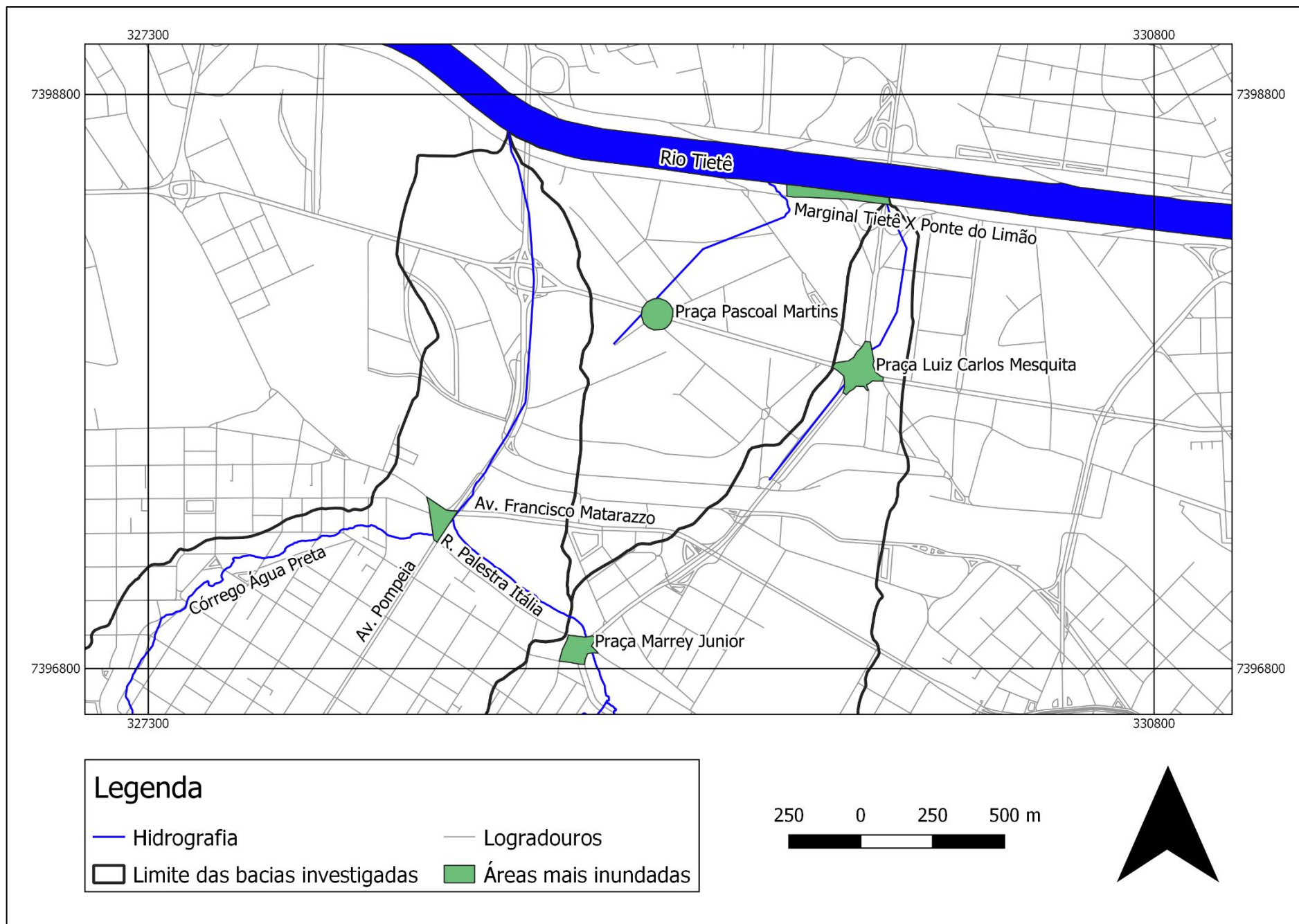


Figura 18 - Hidrografia e espaços mais inundados na área de estudo. Org.: Andre Peron

Esse mapa possibilita a compreensão de como a *gestão de risco* pode ter diminuído o *perigo* às inundações em uma parcela do espaço investigado, e aumentado, em outra. Os dados da Tabela 5 mostram que a Praça Marrey Junior, a localidade da área de estudo onde houve mais pontos de alagamento registrados no período considerado, apresentou uma redução maior que 95% da razão anual entre inundações/mm de precipitação, após a canalização dos córregos realizada pela PMSP. Já a Tabela 6 evidencia que na Praça Pascoal Martins, o segundo lugar onde mais se verificou enchentes no mesmo período, houve um aumento superior a 100% da razão mencionada, após a intervenção municipal.

Considerando a natureza dessa intervenção, e a localização desses espaços na Figura 18, é bem provável que a canalização empreendida tenha reduzido as inundações na Praça Marrey Junior acelerando o escoamento da água na bacia, enquanto esse volume vai se concentrar mais à jusante e induzir a Praça Pascoal Martins a mais enchentes.

Esse argumento se torna mais forte considerando a amostragem utilizada para ambos os locais, que é maior que 100 pontos de alagamento: a Tabela 3 evidencia que houve 146 episódios registrados na Praça Pascoal Martins, e 189 na Praça Marrey Junior. Ademais, essa relação de que as enchentes verificadas nesta segunda deixam de acontecer, para aumentar as inundações na primeira, ajuda a explicar porque houve uma variação tão baixa na razão entre pontos de alagamento/mm de precipitação na área de estudo em geral – como ilustrado pela Tabela 4 – frente à grande variação verificada em localidades específicas, a exemplo das duas praças discutidas.

3.3.3 Risco às inundações antes e depois da intervenção da PMSP

Esta última variável da *gestão de risco* se propõe a investigar como as medidas implementadas pela PMSP afetaram o *risco* à inundação nos setores censitários da área de estudo. Para comparar o *risco* presente nesses espaços, antes e depois da intervenção municipal, é atribuído a eles um valor numérico correspondente a esse indicador, nos termos da Equação 3. Além disso, dois produtos cartográficos identificam a espacialização do *risco* nas bacias, antes e depois da canalização; e um terceiro mapa apresenta a variação do risco de cada setor censitário, entre os períodos analisados.

Primeiramente, é necessário dizer que o cálculo utilizado busca comparar o *risco* dentro da área de estudo, e não o definir em termos absolutos. Desse modo, os valores atribuídos a cada setor censitário devem ser analisados somente dentro das bacias investigadas, e não possuem validade na comparação com outros espaços. Ressalta-se que o *risco* geral na área de

estudo é baixo, como já discutido na variável *vulnerabilidade*; trata-se de um espaço urbano na Cidade de São Paulo com indicadores elevados de renda e saneamento básico.

Entre os 228 setores censitários presentes nas bacias investigadas, apenas 38 mostraram-se atingidos por ao menos um episódio de enchente, durante o histórico considerado – considera-se que a inundação atinge um setor se ela se manifestar nas esquinas ou praças que o margeiam, como indicado na proposição metodológica. Entre esses 38 recintos, o valor mínimo de acesso à rede geral de abastecimento é de 98% dos domicílios presentes no setor; já a renda média dessa amostra corresponde a R\$ 4381,69. Diante disso, confirma-se a baixa *vulnerabilidade* entre os espaços atingidos por enchentes, na área de estudo.

As Tabela 11 e 12 ilustram o cálculo que foi elaborado para cada um dos 38 setores censitários, usando o exemplo do setor 6. A primeira tabela evidencia os dados de densidade, saneamento e renda do setor, a partir das informações do IBGE (BRASIL, 2011), e as inundações que o atingiram nos períodos 04/2006-03/2016 e 04/2016 -03/2020, de acordo com o CGE (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2020b). A segunda tabela ilustra os valores atribuídos para o setor a partir dessas informações, nos termos da Equação 3, culminando no valor indicativo do *risco* para cada um dos períodos.

Setor	Pontos de Alagamento		n° de domicílios	n° total de moradores	rendimento médio mensal em reais	domicílios abastecidos pela rede geral
	04/2006-03/2016	04/2016-03/2020				
6	263	42	112	283	3784,17	111

Tabela 11 - Dados demográficos e quantidade de inundações que atingiram o Setor 6 (CGE, 2020; IBGE,2011). Org.: Andre Peron

EQUAÇÃO 3 → VP X VD X VS X VR X 10 ⁵ = RISCO								
Setor	VP		VD	VS	VR	Risco		
	04/2006-03/2016	04/2016-03/2020				04/2006-03/2016	04/2016-03/2020	Variação percentual
6	0,100	0,040	0,360	0,477	0,830	1425,567	569,144	-60%

Tabela 12 - Valores atribuídos para o Setor 6. Org.: Andre Peron

A partir dos dados observados para o setor 6, na Tabela 11, descrevem-se os cálculos utilizados para a apuração dos valores presentes na Tabela 12, conforme as Equações 4-7 indicadas na proposição metodológica. Considerando todo o histórico investigado, o número máximo de enchentes que atingiu um setor censitário foi 263, que se deu no intervalo 04/2006-03/2016. Nos dez anos desse período, o setor 6 também apresentou 263 inundações. Assim, nos

termos da Equação 4, seu valor de perigo (VP) correspondente a esse período é $263/263 \times 10 = 0,100$. Já nos quatro anos do intervalo 04/2016-03/2020, houve 42 enchentes no setor 6; assim, seu VP desse período é $42/263 \times 4 = 0,040$.

A densidade dos 38 setores censitários mencionados foi obtida por meio dos dados do IBGE e de geoprocessamento. Nos softwares utilizados, dividiu-se o número total de moradores em cada setor pela área ocupada por ele. O valor máximo encontrado para a densidade foi de 868.637,166 hab/km², e o valor mínimo, 41,785 hab/km². Para o setor 6, a densidade calculada foi de 312.822,773 hab/km². Sendo assim, considerando Equação 5, segue a apuração do valor de densidade (VD) para o setor 6: $(312.822,773 - 41,785)/(868.637,166 - 41,785) = 0,360$.

A taxa de saneamento em um setor envolve a razão entre os domicílios abastecidos pela rede geral e o número total de domicílios. A maior taxa de saneamento observada entre os 38 setores foi de 100%, e a menor, de 98,125%. Para o setor 6, verificou-se uma taxa de saneamento de $111/112 = 99,107\%$. Utilizando a Equação 6, o valor de saneamento (VS) do setor em questão foi definido desse modo: $1 - [(99,107 - 98,125)/(100 - 98,125)] = 0,477$.

O maior valor de renda média verificada, entre os 38 setores, foi de R\$ 14.877,77, e o mínimo, R\$ 1.511,04. Enquanto isso, verificou-se um rendimento médio mensal de R\$ 3.784,17 no setor 6. De acordo com a Equação 7, assim foi definido o valor de renda (VR) para esse setor: $1 - (3.784,17 - 1.511,04)/(14.877,77 - 1.511,04) = 0,830$.

Por fim, estabeleceu-se o valor indicativo do *risco* para o setor 6, nos dois períodos considerados. Para os 38 setores censitários discutidos, ambos os resultados foram multiplicados por 10^5 , de modo que fossem visualizados em uma escala mais evidente. O cálculo do *risco* no setor 6 para o período 04/2006-03/2016 é: $0,100 \times 0,360 \times 0,477 \times 0,830 \times 10^5 = 1425,570$. A mesma apuração para o intervalo 04/2016-03/2020 é $0,040 \times 0,360 \times 0,477 \times 0,830 \times 10^5 = 569,144$. Desse modo, verifica-se que houve uma redução percentual de 60% do *risco* no setor 6, após a intervenção municipal.

Considerando o enfoque comparativo desse método, é importante esclarecer algumas outras características do cálculo adotado. Primeiro, destaca-se que existe a possibilidade de os procedimentos descritos nos últimos parágrafos fazerem com que um setor censitário possua *risco* 0 de acordo com sua *vulnerabilidade* – é o caso dos três setores que apresentam as maiores taxa de renda e de saneamento, e a menor densidade populacional. Para evitar que isso aconteça, permitindo uma análise comparativa para esses três setores, adotou-se um valor padrão mínimo de 0,1 para o VS e o VR, e de 0,001 para o VD – este menor, porque apresentou vários valores inferiores a 0,1.

Contudo, o *risco* 0 se mantém quando se dá porque o setor censitário não apresenta episódios de enchente, no histórico considerado. Essa escolha deriva da necessidade de que o espaço apresente eventos de *perigo*, para que exista *risco* nele, como discutido anteriormente. É essa linha de pensamento que motivou os cálculos do VD, VS e VR apenas para os 38 setores censitários atingidos por enchentes, no lugar de calcular esses componentes da *vulnerabilidade* para todos os 228 setores presentes na área de estudo: se não há *perigo* à inundação, não faz sentido determinar a *vulnerabilidade* a esses desastres.

Ademais, na possibilidade de um setor censitário ter *risco* 0 durante o primeiro intervalo considerado, mas apresentar um *risco* maior no período subsequente, admitiu-se arbitrariamente uma varia  o de 100% entre ambos os períodos.

A Tabela 13 apresenta os quatro valores numéricos – VP, VD, VS e VR – atribuídos para os 38 setores investigados, o *risco* conferido a cada um deles nos dois períodos considerados, e a varia  o do *risco* entre esses momentos. Os setores censitários 25 e 26 não constavam na base de dados do IBGE (BRASIL, 2011), sendo impossível determinar os valores componentes da *vulnerabilidade* para eles, e tampouco apurar o *risco* consequente.

EQUA��O 3 → VP X VD X VS X VR X 10 ⁵ = RISCO								
Setor	VP		VD	VS	VR	Risco		
	04/2006-03/2016	04/2016-03/2020				04/2006-03/2016	04/2016-03/2020	Varia��o percentual
1	0,0000	0,0010	0,018	0,1	0,614	0,000	0,105	100%
2	0,0004	0,0000	0,029	0,1	0,738	0,082	0,000	-100%
3	0,0004	0,0000	0,010	1	0,868	0,329	0,000	-100%
4	0,1000	0,0399	0,081	0,1	0,100	8,073	3,223	-60%
5	0,0091	0,0152	1,000	0,1	0,461	42,081	70,134	67%
6	0,1000	0,0399	0,360	0,477	0,830	1425,570	569,144	-60%
7	0,0004	0,0000	0,249	0,1	0,810	0,769	0,000	-100%
8	0,0004	0,0000	0,010	0,1	0,983	0,037	0,000	-100%
9	0,0004	0,0000	0,012	0,1	0,974	0,044	0,000	-100%
10	0,0308	0,0437	0,007	0,1	0,800	1,823	2,588	42%
11	0,0042	0,0105	0,014	0,1	0,795	0,458	1,145	150%

12	0,0015	0,0019	0,011	0,834	0,991	1,421	1,776	25%
13	0,0042	0,0095	0,014	0,217	0,828	1,056	2,399	127%
14	0,0000	0,0010	0,011	0,456	0,704	0,000	0,326	100%
15	0,1000	0,0399	0,441	0,1	0,733	323,276	129,065	-60%
16	0,1000	0,0399	0,010	0,226	0,881	19,425	7,755	-60%
17	0,0000	0,0010	0,026	0,1	0,684	0,000	0,171	100%
18	0,0000	0,0010	0,026	0,1	0,721	0,000	0,178	100%
19	0,0707	0,0029	0,009	0,42	0,911	24,784	0,999	-96%
20	0,0065	0,0076	0,009	0,1	0,816	0,449	0,529	18%
21	0,0091	0,0152	0,012	0,1	0,788	0,882	1,470	67%
22	0,0004	0,0000	0,033	0,1	0,703	0,089	0,000	-100%
23	0,0707	0,0029	0,010	0,1	0,898	6,248	0,252	-96%
24	0,0004	0,0000	0,020	0,1	0,824	0,062	0,000	-100%
25	0,0091	0,0067	-	-	-	-	-	-
26	0,0376	0,0485	-	-	-	-	-	-
27	0,0217	0,0276	0,109	0,1	0,752	17,695	22,507	27%
28	0,0099	0,0095	0,001	0,1	1,000	0,099	0,095	-4%
29	0,0376	0,0485	0,001	0,562	0,992	2,099	2,703	29%
30	0,0935	0,0323	0,003	0,1	0,873	2,165	0,748	-65%
31	0,0707	0,0029	0,007	0,1	0,916	4,778	0,193	-96%
32	0,0076	0,0048	0,006	0,1	0,631	0,269	0,168	-38%
33	0,0015	0,0010	0,015	0,1	0,871	0,201	0,125	-38%
34	0,0171	0,0133	0,001	0,1	0,919	0,157	0,122	-22%
35	0,0217	0,0276	0,005	0,1	0,719	0,852	1,083	27%
36	0,0221	0,0285	0,002	0,1	0,787	0,325	0,421	29%
37	0,0091	0,0067	0,001	0,1	0,891	0,081	0,059	-27%
38	0,0890	0,1245	0,001	0,1	0,988	0,879	1,230	40%

Tabela 13 - VP, VR, VS, VD e Risco atribuídos para os setores censitários existentes na área de estudo. Org.: Andre Peron

Diante das informações da Tabela 13, pode-se compreender os resultados das medidas implementadas pela PMSP para redução do *risco* à inundação, na área de estudo. Essa avaliação se faz muito importante quando se considera a discussão realizada na variável *perigo*, cujos resultados demonstram que a gestão municipal diminuiu o *perigo* à inundação, em algumas áreas, e o aumentou, em outras. A Tabela 14 sistematiza a efetividade da *gestão de risco* da Prefeitura, considerando os 38 setores censitários aqui investigados. Ela evidencia a quantidade de setores em que o *risco* se elevou e a quantidade em que ele se reduziu, entre ambos os intervalos. Além disso, a tabela mostra a soma do percentual de aumento e de redução, considerando todos os setores.

	Número de setores	Soma total
Aumento do risco	16	1048%
Diminuição do risco	20	1422%

Tabela 14 - Variação absoluta e proporcional do risco na área de estudo. Org.: Andre Peron

Nesse contexto, há uma grande probabilidade de que a gestão municipal tenha diminuído o *risco* na área de estudo, tanto em número de lugares onde ele se rebaixou, como na proporção em que ele se reduziu nesses lugares, frente à medida em que ele se elevou nos setores onde houve aumento. Essa redução geral do *risco* pode dever-se, em parte, à queda na precipitação anual média entre os períodos 04/2006-03/2016 e 04/2016-03/2020, como discutido na variável *perigo*.

Nesse contexto, utiliza-se a análise espacial para auxiliar na compreensão da *gestão de risco*, dentro das bacias investigadas. O mapa da Figura 19 identifica os setores censitários que apresentaram *risco* na área de estudo, de acordo com sua numeração na Tabela 13. Já o mapa da Figura 20 ilustra a distribuição do *risco* entre os setores censitários, no período 04/2006-03/2016. Enquanto isso, a Figura 21 evidencia essa distribuição no período 04/2016-03/2020. Para os 38 setores censitários presentes, a carta da Figura 22 mostra a variação do *risco* entre os períodos mencionados.

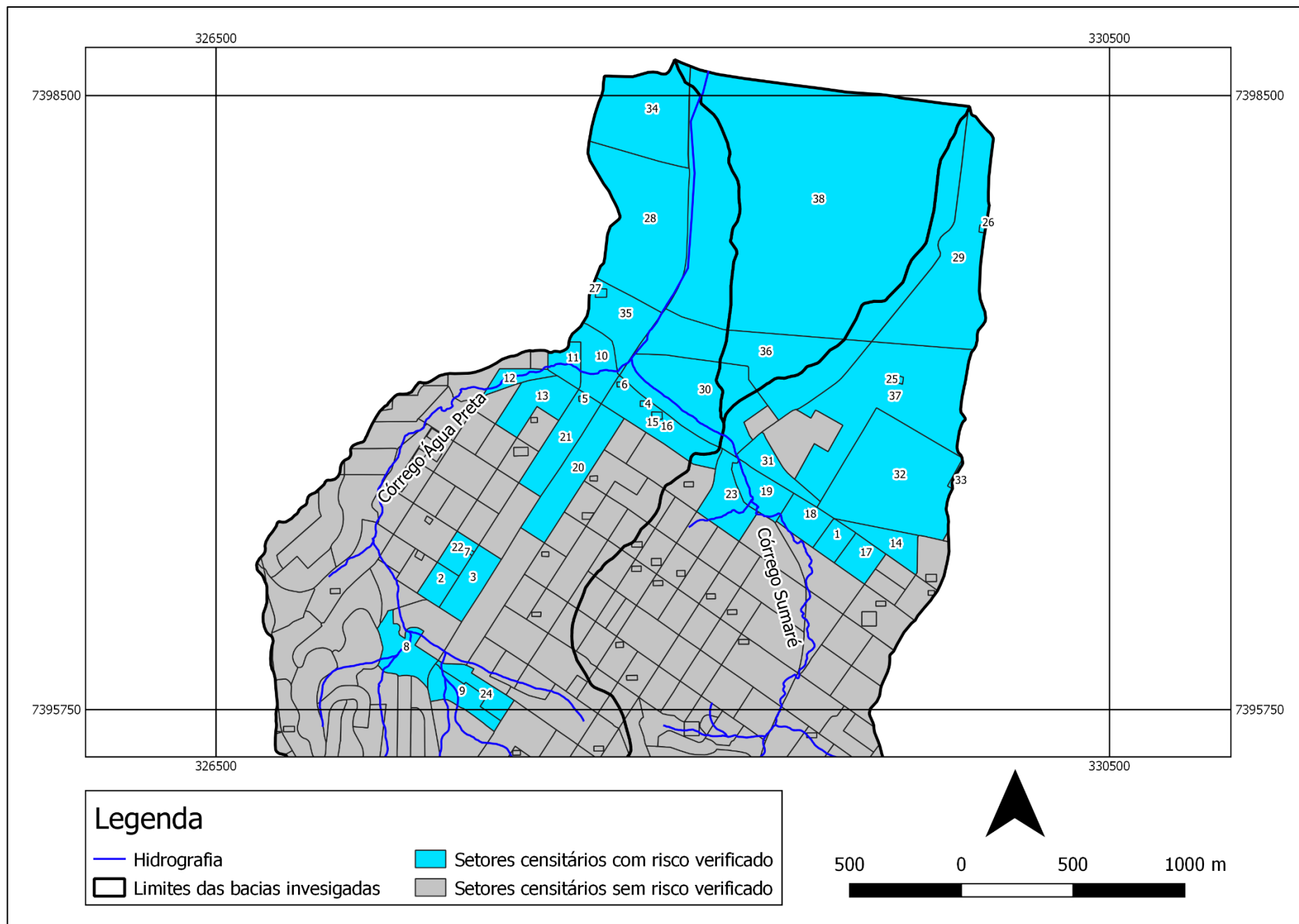


Figura 19 - Identificação dos setores censitários que apresentaram risco (BRASIL, 2011; PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2020b). Org.: Andre Peron

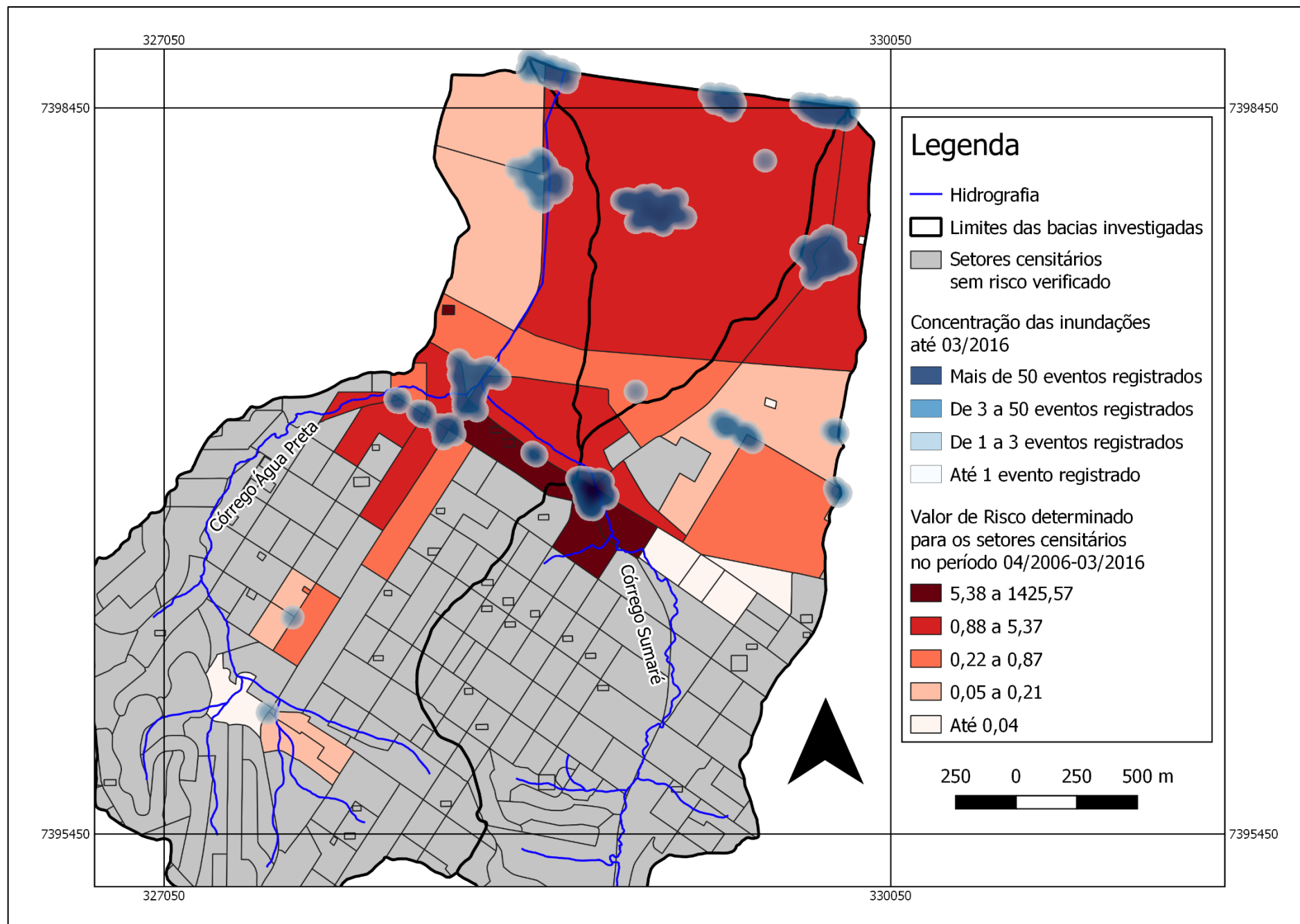


Figura 20 - Distribuição do risco e das enchentes na área de estudo, no período 04/2006-03/2016 (BRASIL, 2011; PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2020b). Org.: Andre Peron

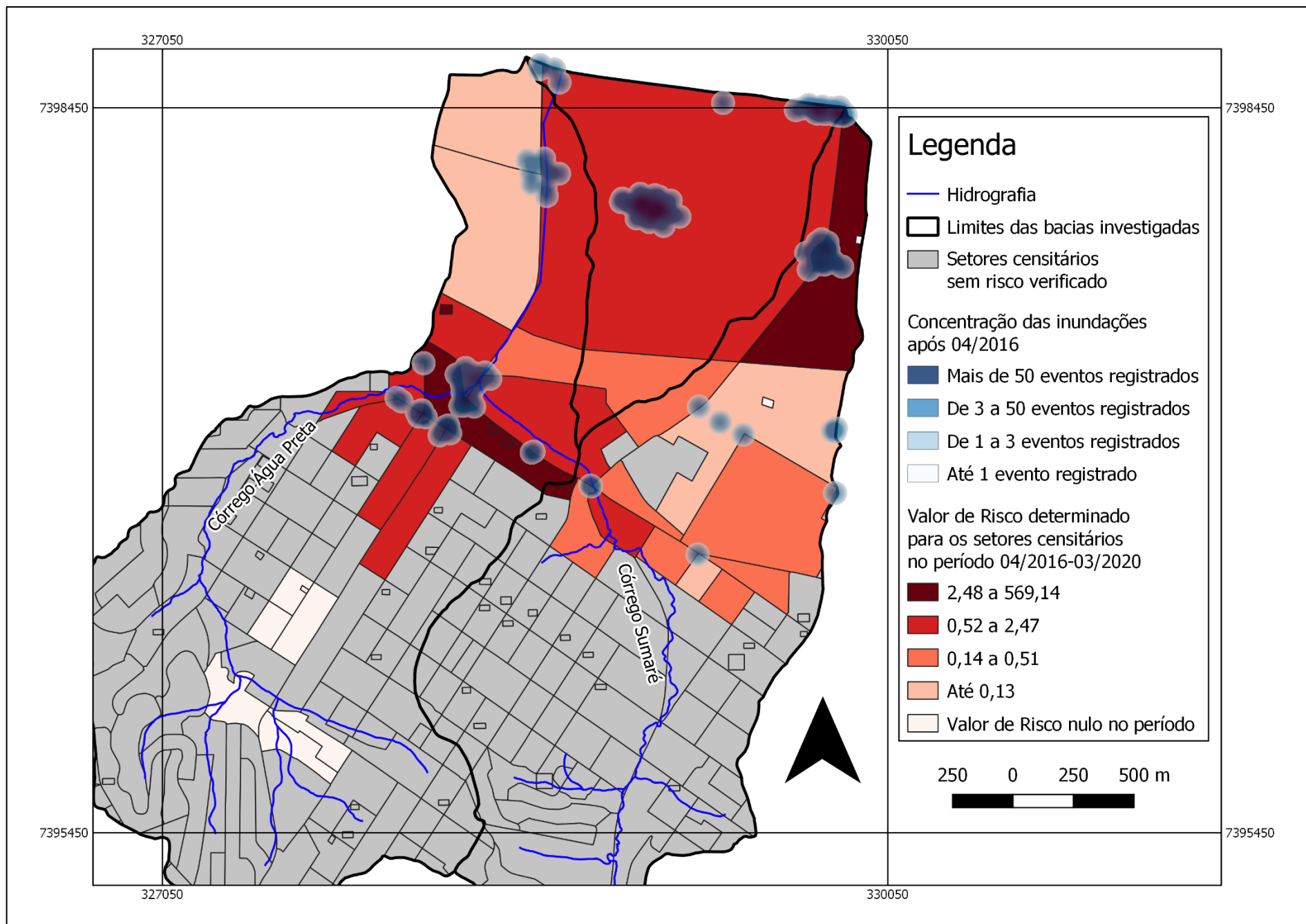


Figura 21 - Distribuição do risco e das enchentes na área de estudo, no período 04/2016-03/2020 (BRASIL, 2011; PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2020b). Org.: Andre Peron

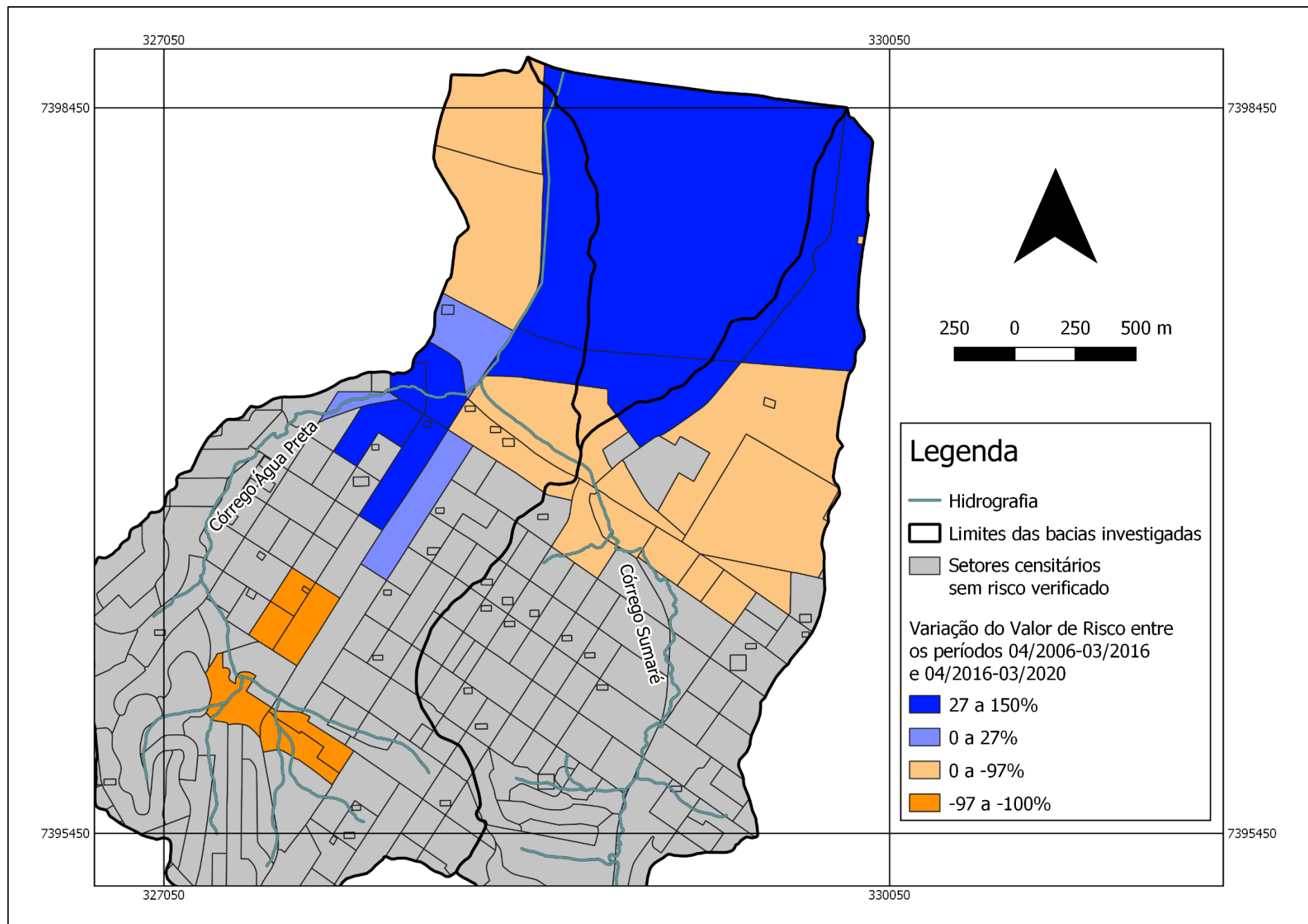


Figura 22 - Hidrografia e variação do risco na área de estudo entre os períodos 04/2006-03/2016 e 04/2016-03/2020. Org.: Andre Peron

Analisando-se primeiramente a concentração das inundações, percebe-se que há uma grande diferença entre as Figuras 20 e 21. O ponto de maior ocorrência desse fenômeno, na Figura 20, corresponde à Praça Marrey Junior. Como discutido na variável *perigo*, a grande redução das enchentes nessa localidade, após 2016, é acompanhada de um significativo aumento desses episódios em outras esquinas e praças, como na Praça Pascoal Martins e na Marginal Tietê. De fato, esta primeira é a localidade que mais apresenta inundações, como se percebe nas Figuras 9 e 10 e na Tabela 3.

Nesse sentido, o alto *perigo* observado no entorno da Praça Marrey Junior, no intervalo 04/2006-03/2016, faz com que os setores censitários que a margeiam – 4, 6, 15, 16, 19, 23, 30 e 31 – apresentem alguns dos maiores *riscos* na área de estudo. Entretanto, no período posterior, esses setores apresentam forte redução no *risco*, enquanto aqueles presentes nas localidades que mais apresentaram pontos de alagamento – como o setor 29 e o 38, margeados pelas praças Pascoal Martins, Luiz Carlos Mesquita e pela Marginal Tietê – evidenciaram aumento do *risco*. Nesse contexto, se faz uma exceção para os setores censitários 4, 6, 15, 16 e 30: embora margeados pela Praça Marrey Junior, eles mantiveram *risco* alto na Figura 21, já que também são delimitados pelo conjunto de esquinas entre as Avenidas Pompeia e Francisco Matarazzo, e a Rua Palestra Itália, onde houve aumento da razão pontos de alagamento mm de precipitação no período 04/2016-03/2020.

A Figura 22 ilustra parcialmente uma tendência apontada na discussão do indicador Medidas de controle à inundação empregadas pela PMSP. Na porção leste do mapa, percebe-se claramente que o *risco* se reduz nos setores censitários mais à montante, e se eleva nos setores à jusante. Isso se dá pela característica da intervenção municipal, que buscou o aumento da canalização dos córregos Sumaré e Água Preta. Como já discutido, essa medida estrutural intensiva acelera o escoamento da água pela bacia, evitando enchentes à montante e as estimulando à jusante.

A porção oeste da Figura 22 evidencia uma tendência diferente: enquanto nos setores 28 e 34 houve redução do *risco*, este se elevou em grande intensidade mais à montante, nos setores 5, 13 e 21. Estes estão localizados no conjunto de esquinas entre as Avenidas Pompeia e Francisco Matarazzo, e a Rua Palestra Itália, onde houve aumento da frequência de inundações, como anteriormente mencionado. A partir da drenagem observada no mapa, há uma grande probabilidade de que a canalização empreendida pela Prefeitura tenha retirado parte do volume excedente da Praça Marrey Junior, que se encontra sobre o Córrego Sumaré, para concentrá-lo no conjunto de esquinas supracitado, onde o Sumaré tributa no Água Preta. Isso explica a grande redução do *risco* nos setores margeados pela Praça Marrey Junior,

acompanhada por uma elevação também intensa nos setores censitários compreendidos entre o conjunto de esquinas.

Desse modo, percebe-se que as medidas da Prefeitura para *gestão de risco* à inundação, na área de estudo, reduziram o *risco* geral dentro das bacias investigadas, apesar de tê-lo aumentado em localidades específicas.

4. CONCLUSÕES

Ao longo deste trabalho, os *geoindicadores* e o conhecimento geoespacial se mostraram importantes componentes da análise do *risco* à inundação, na área de estudo. Enquanto os primeiros puderam, com sucesso, operacionalizar a variável *perigo*, permitindo uma boa compreensão sobre a frequência e a espacialização das inundações nas bacias investigadas, o método cartográfico se revelou essencial para uma visualização comparada do *risco* e de seus componentes dentro da área de estudo.

A conceituação do *risco* presente neste trabalho também se revelou acertada: de fato, sua manifestação no espaço investigado sempre se deu a partir da interação entre o meio natural e o tecido social – ou seja, diante da interação do *perigo* com a *vulnerabilidade*. Nesse sentido, a *gestão de risco* da PMSP nas bacias investigadas teve seu foco na redução do *perigo*, por meio de medidas estruturais intensivas para o controle de enchentes; isso difere da tendência apontada pelo IPCC, que considera a redução da *vulnerabilidade* como o cerne da *gestão de risco*. Ademais, destaca-se o sucesso das equações propostas neste trabalho, que possibilitaram a determinação do *risco* por um valor quantitativo e permitiram sua comparação sistemática. Esses valores numéricos, associados às produções cartográficas já mencionadas, foram essenciais para a análise comparativa que essa pesquisa propunha.

Além disso, ressalta-se a praticidade da utilização dos setores censitários, para o levantamento de indicadores demográficos e a confecção dos mapas que ilustrassem a *vulnerabilidade* nas bacias investigadas. Os dados sociais e espaciais desses setores apresentaram fácil acesso e interpretação, tanto na base do IBGE como na do Geosampa, e mostraram-se bem integrados entre essas duas fontes. A escala dos setores censitários também se apresentou adequada para a proposta deste trabalho, permitindo uma contextualização precisa do *risco* entre os vários espaços que compõem a área de estudo.

Durante a investigação da variável *perigo*, constatou-se que as inundações que atingem o espaço investigado possuem uma clara origem hidromorfológica. Esses episódios se concentraram sobre planícies de inundação e setores côncavos de vertentes, concentradores de

fluxos. Nesse sentido, a intervenção antrópica mostrou-se potencializadora das inundações, enquanto promoveu a impermeabilização e a perturbação dos solos dentro das bacias analisadas.

Nesse contexto, percebeu-se que a medida estrutural intensiva de controle às inundações, executada pela Prefeitura entre 2013 e 2016 – a canalização dos córregos – foi efetiva, dentro da proposta da gestão municipal. Essa intervenção foi capaz de diminuir a razão entre pontos de alagamento/mm de precipitação, comparando-se o período 04/2016-03/2020 ao intervalo 04/2006-03/2016. Ela também diminuiu o *risco* geral na área de estudo, mesmo que a localidade estudada tenha apresentado uma baixa *vulnerabilidade*. Ademais, inserida no contexto da OUCAB, a *gestão de risco* da PMSP foi parcialmente capaz de atender o interesse dos grandes empreendimentos presentes na região em reduzir o número das enchentes.

Por fim, é preciso frisar que a redução da razão supracitada, bem como do próprio *risco*, se deu de forma intensamente desigual entre as bacias investigadas. Enquanto um espaço teve os episódios de inundação diminuídos em 95% após a intervenção da Prefeitura, outros mostraram um aumento superior a 100%. É provável que isso se relacione à característica da medida implementada pela gestão municipal, que tende a evitar inundações à montante enquanto as estimula à jusante.

5. REFERÊNCIAS

ALEXANDER, D. Modelos de vulnerabilidade social a desastres. **Revista Crítica de Ciências Sociais**, Coimbra, vol. 93, p. 9-29, jun. 2011.

A. R. BERGER. Assessing rapid environmental change using geoindicators. **Environmental Geology**, Nova Iorque, v. 32, n. 1, p. 36-44, jul. 1997.

BERGES, B. **Geomorfologia Urbana Histórica aplicada à análise das inundações na bacia hidrográfica do Córrego da Mooca - São Paulo/SP**. 2013. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letra e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instituto Nacional De Meteorologia (INMET). **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP)**. Brasília, DF. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>> Acesso em: 15 set. 2020.

_____. Ministério de Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Centro de Documentação e Disseminação de Informações. **Base de informações do Censo Demográfico 2010**: resultados do universo por setor censitário. Rio de Janeiro, RJ, 2011.

CARLOS, A. F. A. A reprodução dos lugares da metrópole: o eixo empresarial-comercial. In: CARLOS, A. F. A. **Espaço-tempo na metrópole**. São Paulo: Contexto, 2001.

CARRÃO, H.; NAUMANN, G.; BARBOSA, P. Mapping global patterns of drought risk: an empirical framework based on sub-national estimates of hazard, exposure and vulnerability. **Global Environmental Change**, v. 39, p. 108-124, 2016.

CENTER FOR RESEARCH ON THE EPIDEMIOLOGY OF DISASTERS (CRED). **The human cost of natural disasters**: a global perspective. Bruxelas: Université Catholique de Louvain, 2015.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2ª ed. São Paulo: Edgard Bluecher, 1980.

COLTRINARI, L.; MCCALL, J. Geoindicadores: ciências da terra e mudanças ambientais. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 9, p. 5-11, 2011.

CUSTÓDIO, V. **A persistência das inundações na Grande São Paulo**. 2002. Tese (Doutorado em Geografia Humana) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002

CUTTER, S. L. A ciência da vulnerabilidade: modelos, métodos e indicadores. **Revista Crítica de Ciências Sociais**. Coimbra, vol. 93, p. 59-69, jun. 2011.

CUTTER, S. L.; BORUFF, B. J. SHIRLEY, W. L. Social Vulnerability to Environmental Hazards. **Social Science Quarterly**, vol. 84, n. 2, p. 242-261, jun. 2003.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. U.S. Department of the Interior. U.S. Geological Survey (USGS). **EarthExplorer**. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>> Acesso em 24 maio 2019.

FRANÇA, V. Jardim das Perdizes inaugurou tendência de megacondomínio em SP. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 11 nov. 2013. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/sobretudo/morar/2018/11/1984227-jardim-das-perdizes-inaugurou-tendencia-de-megacondominio-em-sp.shtml>> Acesso em 19 nov. 2019.

GOOGLE. **Google Earth**. 2019. Disponível em: <www.google.com/earth/> Acesso em 23 jul. 2019.

HADDAD, E. A.; TEIXEIRA, E. Economic impact of natural disasters in megacities: the case of floods in São Paulo, Brazil. **Habitat International**, Vancouver, v. 45, n. 2, p. 106-113, jan. 2015.

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATIC CHANGE (IPCC). **Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation**: a special report of working groups I and II of the International Panel on Climate Change. Cambridge: Editora da Universidade de Cambridge, 2012.

KER, J. et al. Temporal recorde em São Paulo causa dezenas de alagamentos e fecha marginais. **O Estado de S. Paulo**. São Paulo, 10 fev. 2020. Disponível em: <<https://sao-paulo.estadao.com.br/noticias/geral,chuva-forte-provoca-alagamentos-em-sao-paulo,70003192212>> Acesso em: 21 out. 2020.

LENCIONI, S. A metamorfose de São Paulo: o anúncio de um novo mundo de aglomerações difusas. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**. Curitiba, n.20, p. 133-148: jan/jun 2011.

LUZ, R. A. **Mudanças geomorfológicas na planície fluvial do Rio Pinheiros, São Paulo (SP), ao longo do processo de urbanização**. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

MALAGODI, C. C.; PELOGGIA, A. U. G. Vulnerabilidade e risco em um assentamento urbano na planície de inundação do Rio Tietê no município de São Paulo (SP). **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 36, n. 2, p. 47-60, 2015.

NIR, D. **Man, a geomorphological agent**: an introduction to Anthropic Geomorphology. Boston, Jerusalem: D. Reidel publishing Co., Keter publishing, 1983.

O'BRIEN, K. et al. Mapping vulnerability to multiple stressors: climate change and globalization in India. **Global Environmental Change**, v. 14, p. 303-313, 2004.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. Controladoria Geral. **Portal da Transparência**. São Paulo, 2017. Disponível em: <<http://transparencia.prefeitura.sp.gov.br/contas/Paginas/ComprasLicitacoes.aspx>> Acesso em 22 mai. 2018.

_____. Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. **SPUrbanismo**. 2020d. Disponível em: <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/urbanismo/sp_urbanismo/operacoes_urbanas/agua_branca/index.php?p=19589> Acesso em: 21 out. 2020.

_____. Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. SP Urbanismo. Diretoria de Gestão das Operações Urbanas. **Operação Urbana Consorciada Água Branca**. São Paulo, 2016.

_____. Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. Geosampa. **Mapa digital da Cidade de São Paulo**. São Paulo: 2018. Disponível em: <<http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br>>. Acesso em: 21 out. 2020.

_____. Secretaria Municipal de Infraestrutura Urbana e Obras. Centro de Gerenciamento de Emergências Climáticas da Prefeitura de São Paulo (CGE). **Histórico de alagamentos**. São Paulo, 2020b. Disponível em: <<https://www.cgesp.org/v3/alagamentos.jsp>> Acesso em 01 abr. 2020.

_____. Secretaria Municipal de Infraestrutura Urbana e Obras. SP Obras. **Legislação**. São Paulo, 2020a. Disponível em: <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/infraestrutura/sp_obras/arquivos/programa_de_metas.pdf> Acesso em 22 out. 2020.

_____. Secretaria Municipal de Planejamento, Orçamento e Gestão. Planejasampa. **Programa de Metas 2013-2016**: ficha de identidade. São Paulo, 2013a.

_____. Secretaria Municipal de Planejamento, Orçamento e Gestão. Planejasampa. **Programa de Metas 2013-2016**: versão final participativa. São Paulo, 2013b.

_____. Secretaria Municipal de Urbanismo e Licenciamento. **Gestão Urbana SP**. São Paulo, 2020c. Disponível em: <<https://gestaourbana.prefeitura.sp.gov.br/estruturacao-territorial/operacoes-urbanas/>> Acesso em 21 out. 2020.

RODRIGUES, C. Avaliação do impacto humano da urbanização em sistemas hidrogeomorfológicos: desenvolvimento e aplicação de metodologia na grande São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 20, p. 111-125, 2010.

ROSS, J. L. S. São Paulo: a cidade e as águas. In: CARLOS, A. F. A.; OLIVEIRA, A. U. (Org.). **Geografias de São Paulo**: a metrópole do século XXI. São Paulo: Contexto, 2004. p. 182-219.

SÃO PAULO (Estado). Arquivo Público do Estado de São Paulo (APESP). Autoria desconhecida. **Planta da Cidade de São Paulo**. São Paulo: 1930.

_____. Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S/A (EMPLASA). **Ortofotos e Modelos Digitais de Superfície**. São Paulo: 2010.

SARA BRASIL. **Mappa Topographico do Municipio de São Paulo**. São Paulo: 1930. Disponível em: <<http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br>>. Acesso em 13 set. 2019.

SELL, B. M. et al. Uso de geotecnologias para avaliação qualitativa dos fatores de influência nas regiões críticas de alagamentos na cidade de Pelotas-RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 21., 2015, Brasília. **Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Brasília: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2015.

TUCCI, C. E. M. (Org.) **Hidrologia**: ciência e aplicação. 2ª ed. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

VILLA, F.; MCLEOD, H. Environmental vulnerability indicators for environmental planning and decision-making: guidelines and applications. **Environmental Management**, Nova Iorque, v. 29, n. 3, p. 335-348, 2002.