



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



Davi Tochetto Bove

Cartografia Geomorfológica na avaliação da Suscetibilidade Espacial a Inundações:

Estudo comparativo de metodologias na RMSP

Geomorphological Mapping on assessing spatial flood susceptibility: Comparative study of methodologies at São Paulo Metropolitan Region

São Paulo

2024

Davi Tochetto Bove

Cartografia Geomorfológica na avaliação da Suscetibilidade Espacial a inundações:
Estudo comparativo de metodologias na RMSP

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

Orientadora: Prof^a. Dr^a Cleide Rodrigues

São Paulo

2024

[ESPAÇO RESERVADO PARA FICHA CATALOGRÁFICA]

BOVE, Davi Tochetto. **Cartografia Geomorfológica na avaliação da Suscetibilidade Espacial a inundações:** Estudo comparativo de metodologias na RMSP. Trabalho de Graduação Individual (TGI) apresentado à Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Bacharel em Geografia.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____ Instituição_____

Julgamento_____ Assinatura_____

Dedico este trabalho a meus avós.

AGRADECIMENTOS

A meus pais, sem eles sequer sonharia em estar onde estou.

Às minhas avós, cujas lições e profecias me inspiraram, e inspiram, a dar os melhores passos em minha vida.

À minha companheira, por suportar viver este longo, árduo e tortuoso período de gestação, e por nunca deixar que eu acreditasse em equivocados autojulgamentos.

Aos pesquisadores envolvidos na produção dos dados comparados neste trabalho, pela confiança que me creditaram e pela cessão de seu trabalho para a elaboração de minha primeira tentativa de contribuição aos pares.

Aos mestres que me abriram os olhos à filosofia, à importância do não-esquecimento e do saber que não se sabe, em especial ao professor Benoit e seus aprendizes.

Aos mestres que me abriram os olhos à ciência da natureza e à Geografia. Em especial a professora Cleide, por me conduzir nos estudos que trouxeram este trabalho à luz do dia.

Também aos professores Fernando(s), Luis, Sueli, Anselmo, Carlos, entre outros que, sabendo ou não, influenciaram decisivamente minha trajetória acadêmica. A todos os gigantes que me aceitam em seus ombros.

A Jânio, Luana, Adão e Pedro, por me abrirem as portas, e os olhos, à prática ética, responsável e incansável das Ciências da Terra. Em especial ao Fernando, pela decisiva orientação no início deste trabalho.

A todos os demais, colegas e *youtubers* (por que não?) que contribuíram para o complemento necessário à formação acadêmica, sem cujo apoio eu dificilmente chegaria até aqui.

À Universidade de São Paulo, e ao Departamento de Geografia, por proporcionar, direta e indiretamente, as mais formativas experiências culturais, políticas e sociais que poderia querer como jovem trabalhador nesta sociedade.

Aos trabalhadores da USP, pelos 120 dias de calorosa recepção à vida consciente, e pelas fortes emoções aos 45 do segundo tempo.

Ao coro de carcarás, e a todos os realistas que exigem o impossível, e com os pés no chão constroem os seus sonhos.

Vai Corinthians.

*“Vita brevis,
ars longa,
occasio praecipit,
experimentum periculosum,
iudicium difficile.”¹*

- Hipócrates

“Be water my friend.”

- Bruce Lee

¹“A vida é breve,
a arte é longa,
a ocasião fugaz,
a experiência enganosa
e o julgamento difícil.”

RESUMO

BOVE, Davi Tochetto. **Geomorfologia na avaliação da Suscetibilidade Espacial a inundações: Estudo comparativo de metodologias na Grande São Paulo.** 2024. 99p. Trabalho de Graduação Individual (TGI) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2024

O estudo consiste na comparação do conteúdo geomorfológico de dois produtos cartográficos utilizados, entre outras aplicações, para a avaliação da suscetibilidade natural dos terrenos a inundações. O primeiro deles consiste no limite das planícies fluviais indicado pelo mapeamento das Morfologias Originais das planícies da Bacia do Alto Tietê, de Rodrigues et al. (inédito) , obtido segundo a procedimentos da cartografia geomorfológica retrospectiva de detalhe em projeto desenvolvido no âmbito do Departamento de Geografia da USP, sistematizando avanços de produções anteriores articuladas pela perspectiva da Geomorfologia Antropogênica, bem como do trabalho conjunto de pesquisadores do Departamento desenvolvido no escopo da elaboração do Plano de Manejo da APA Várzeas do Rio Tietê. Estes limites são comparados quantitativa e qualitativamente com as planícies delimitadas pela cartografia de Unidades Básicas de Compartimentação do Meio Físico (UBCs), unidades espaciais propostas no âmbito das pesquisas em Gestão de Riscos no Instituto Geológico (atualmente Instituto de Pesquisas Ambientais - IPA) como feições mínimas do ambiente natural, identificáveis visualmente por sensoriamento remoto e correlações temáticas, e utilizadas como unidades para avaliação quantitativa da suscetibilidade a inundações na Região Metropolitana de São Paulo (IG, 2020).Busca-se, assim, avaliar a convergência dos resultados dos mapeamentos em unidades amostradas intencionalmente em áreas de sobreposição dos projetos na RMSP. Neste sentido, ambos os mapeamentos são comparados também à luz dos registros de enchentes e inundações no Cadastro de Eventos Geodinâmicos de 1991 a 2018, elaborado no âmbito do mesmo projeto de avaliação de riscos na metrópole paulista.

Palavras-chave: inundações urbanas; cartografia geomorfológica; suscetibilidade a inundações

ABSTRACT

BOVE, Davi Tochetto. ***Geomorphological Mapping on assessing spatial flood susceptibility: Comparative study of methodologies at São Paulo Metropolitan Region.*** 2024. 99p. Trabalho de Graduação Individual (TGI) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2024

This study compares the geomorphological content of two cartographic products used, among other applications, to assess the natural susceptibility to flooding. The first product consists of the limits of the floodplains of the Upper Tietê Basin indicated by the mapping of the Original Morphologies by Rodrigues et al. (unpublished), obtained according to the procedures of detailed retrospective geomorphological mapping in a project developed within the Department of Geography of the USP, systematizing advances of previous productions articulated by the perspective of Anthropogenic Geomorphology, as well as the joint work of researchers from the Department developed within the scope of the preparation of the Management Plan for the APA Várzeas do Rio Tietê. These limits are compared quantitatively and qualitatively with the plains delimited by the cartography of Basic Units of Compartmentalization of the Physical Environment (UBCs), spatial units proposed within the scope of risk management research at the Geological Institute (currently Institute of Environmental Research - IPA) as minimum features of the natural environment, visually identifiable by remote sensing, and used as units for quantitative assessment of flood susceptibility in the Metropolitan Region of São Paulo (IG, 2020). Thus, the aim is to evaluate the convergence of the mapping results in intentionally sampled units in areas of project overlap in the RMSP. In this sense, both mappings are also compared considering the records of floods and inundations in the Geodynamic Events Cadastre from 1991 to 2018 (IG, 2018), prepared within the scope of the same risk assessment project in the São Paulo metropolis.

Keywords: urban floods ; geomorphological mapping ; flood susceptibility

LISTA DE ILUSTRAÇÕES E TABELAS

Figura 1 - Manchete a respeito dos desastres de 2023 no estado do Rio Grande do Sul (Fonte: MetSul, 2023)

Gráfico 1-1 – Distribuição regional do percentual de registros de inundação (Fonte: Brasil, 2013 apud. CEPED, 2013)

Gráfico 1-2 – Registros anuais de inundações no brasil entre 1991 e 2012. (Fonte: Brasil, 2013 apud. CEPED, 2013)

Figura 1-1 – A síndrome da planície de inundação (Hockin, Whittle e Bailey, 1978 adapt. Luz, 2014)

Figura 1-2 – Balanço hídrico em uma bacia hidrográfica antes e depois do processo de urbanização. Fonte: Decina, 2012 apud Almeida, 2016

Figura 1-3 – Sobreposição de hidrogramas de tormentas em bacias pré e pós-urbanização, relacionando-os às taxas reduzidas de infiltração no contexto urbano (Fonte: Chow, 1994 apud. VENEZIANI, 2014)

Figura 1-4 – Impactos da urbanização sobre os reservatórios hídricos de uma bacia hidrográfica, em termos de seu volume e composição (Fonte: Hall, 1984 apud. Veneziani, 2014)

Figura-2.1-1 – Relação entre as ordens de grandeza das formas de relevo, sua duração e tempo de formação (Fonte: Brunsden, 1996)

Figura 2.3.1-1 – Exemplo de delimitação de morfologias originais sobre fotografia aérea (Fonte: Luz, 2014)

Figura 2.3.1-2 – Amostra dos *overlays* da restituição morfológica para cartografia geomorfológica retrospectiva (Fonte: Luz, 2014)

Figura 2.3.1-3 – Amostra da restituição morfológica de planícies de inundação de nível 1 e 2 para mapeamento geomorfológico de detalhe na Bacia do Baixo Ribeira de Iguape (Fonte: Veneziani, 2019)

Figura 2.3.2-1 – Sistema classificatório de tipologias de planícies fluviais, em correspondência com modelo faciológico de cada circunstância, baseado na energia disponível e materiais do substrato (Fonte: Nanson & Crooke, 1992)

Figura 2.3.2-2 – Seção transversal de baixo curso do Rio Ribeira de Iguape com o nível de atingimento de subcompartimentos da planície fluvial em inundações modeladas, com precipitações com diferentes tempos de retorno (Fonte: Veneziani, 2019)

Figura 2.3.2-3 – Classes para fatiamento do relevo no modelo *HAND* (Fonte: CPRM/IPT, 2014)

Tabela 2.3.2-1 - Parâmetros e índices morfométricos selecionados para análise da suscetibilidade a inundações pelo IPT², em associação à aplicação do modelo *HAND*

Figura 2.3.2-4 – Bacias hidrográficas estudadas sob a metodologia da Geomorfologia Antropogênica, cujas morfologias originais foram mapeadas por meio da cartografia geomorfológica retrospectiva em escala de detalhe (Fonte: Rodrigues et. al., 2019)

Figura 3.3-1 - Fluxo de trabalho da etapa de Cartografia Geomorfológica Evolutiva de Detalhe, na abordagem da Geomorfologia Antropogênica, para avaliação da suscetibilidade espacial a inundações (Fonte: Veneziani, 2014)

Figura 3.3.1.2-1 – Relação de feições mínimas do relevo e tendências dos fluxos hídricos superficiais. Fonte: COLANGELO, 1996, apud. Veneziani, 2014

Figura 3.3.3-1 – Ilustração das cartas de Unidades Complexas do Córrego Três Pontes. Fonte: VENEZIANI, 2014

Figura 3.3.4-1 – Ilustração da Carta de Suscetibilidade (a inundações e produção de escoamento superficial concentrado), obtida pela metodologia da Geomorfologia Antropogênica. Fonte: VENEZIANI, 2014

Tabela 3.3.4-1 – Matriz da classificação das Unidades Complexas do Sistema Interfluvial (SI) pela suscetibilidade à produção de escoamento superficial concentrado. Fonte: VENEZIANI, 2014

Tabela 3.3.4-2 – Matriz da classificação das Unidades Complexas do Sistema de Planície (PI) pela suscetibilidade à produção de escoamento superficial concentrado. Fonte: VENEZIANI, 2014

Figura 4.2-1 – Ilustração das etapas do zoneamento geotécnico (Fonte: Vedovello, 2000)

Figura 5.2.1-1 – Contextualização escalar dos atributos das UTBs segundo a taxonomia do relevo (Fonte: Brasil, 2006, adaptado de. ROSS et. al. 1992, atualizado segundo o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos – SBCS, EMBRAPA, 1999)

Figura 5.2.1-2 – UBCs do Estado de São Paulo – representação da classificação das Unidades Morfoestruturais e Geotectônicas (ou Domínio Fisiográfico de Nível I). (Fonte: Vedovello et al. 2020)

Tabela 5.2.1-1 - Tabela de atributos associada ao shapefile das UBCs (IG, 2020).

Figura 5.2.2-1 – Hidrograma teórico comparativo das inundações graduais e inundações rápidas ou bruscas. (Fonte: Kobiyama et al., 2016 apud IG, 2014)

Figura 5.2.2-2 – Equação e variáveis envolvidas na determinação quantitativa do Perigo Final a Inundações em escala regional a partir das UBCs. (Fonte: IG, 2020 adap Bove, 2024)

Figura 5.2.2.2-1 – Valores de Potencial de Indução Antrópico à Inundação. (Fonte: IG, 2020)

Figura 6.1-1 – Ilustração das Unidades Morfoesculturais (ROSS e MOROZ, 1997, apud. IG 2020), Nível 3 de classificação das UBCs, mapeados nos municípios abrangidos pelo projeto do IG (2020). (Elaboração: Bove, 2024)

Figura 6.1-2 – Ilustração dos Padrões de Relevo (CPRM/IPT, 2014), Nível 4 de classificação das UBCs, mapeados nos municípios abrangidos pelo projeto do IG (2020). (Elaboração: Bove, 2024)

Figura 6.1-3 – Hipsometria das bacias amostrais em visualização aproximada. (Elaboração: Bove, 2024)

Figura 6.1-4 – Declividades das bacias amostrais, classificadas de acordo com Embrapa (1979), em visualização aproximada. (Elaboração: Bove, 2024)

Figura 6.1-5 – Ilustração dos setores delimitados no mapeamento de Suscetibilidade a Inundações (CPRM/IPT, 2015) em 1:25.000 (Elaboração: Bove, 2024)

Figura 6.2-1 – Ilustração do mapeamento de Rodrigues et al. (inédito) das morfologias originais do sistema fluvial da Bacia do Alto Tietê (Elaboração: Bove, 2024)

Figura 6.2-2 – Ilustração da distribuição das UBCs delimitadas no interior das bacias amostrais, classificadas entre Planícies e Encostas, no mapeamento do IG (2020) (Elaboração: Bove, 2024)

Figura 6.2-3 – Visões aproximadas da sobreposição dos limites mapeados por Rodrigues et al (inédito), e por IG (2020) (Elaboração: Bove, 2024)

Figura 6.2-4 – Exemplo da sobreposição dos polígonos delimitados (em verde os limites das UBCs, em roxo, os limites das planícies fluviais originais) e da Curvatura Vertical (ou de perfil) do terreno. (Elaboração: Bove, 2024)

Figura 6.3-1 – Ilustração da distribuição dos setores de Perigo mapeados em 1:3.000 e pontos de ocorrência de enchentes e inundações do Cadastro de Eventos Geodinâmicos – 1993 a 2018 (IG, 2018)

Figura 6.3.1-1 – Ilustração da distribuição dos setores de Perigo mapeados em 1:3.000 e pontos de ocorrência de enchentes e inundações do Cadastro de Eventos Geodinâmicos – 1993 a 2018 (IG, 2018) na bacia 1

Tabela 6.3.1-1 - Síntese dos resultados da análise quantitativa das sobreposições dos mapeamentos na bacia 1

Figura 6.3.2-1 – Ilustração da distribuição dos setores de Perigo mapeados em 1:3.000 e pontos de ocorrência de enchentes e inundações do Cadastro de Eventos Geodinâmicos – 1993 a 2018 (IG, 2018) na bacia 2

Tabela 6.3.2-1 - Síntese dos resultados da análise quantitativa das sobreposições dos mapeamentos na bacia 2

Figura 6.3.3-1 – Ilustração da distribuição dos setores de Perigo mapeados em 1:3.000 e pontos de ocorrência de enchentes e inundações do Cadastro de Eventos Geodinâmicos – 1993 a 2018 (IG, 2018) na bacia 3

Tabela 6.3.3-1 - Síntese dos resultados da análise quantitativa das sobreposições dos mapeamentos na bacia 3

Figura 6.3.4-1 – Ilustração da distribuição dos setores de Perigo mapeados em 1:3.000 e pontos de ocorrência de enchentes e inundações do Cadastro de Eventos Geodinâmicos – 1993 a 2018 (IG, 2018) na bacia 4

Tabela 6.3.4-1 - Síntese dos resultados da análise quantitativa das sobreposições dos mapeamentos na bacia 4

Figura 6.3.5-1 – Ilustração da distribuição dos setores de Perigo mapeados em 1:3.000 e pontos de ocorrência de enchentes e inundações do Cadastro de Eventos Geodinâmicos – 1993 a 2018 (IG, 2018) na bacia 5

Tabela 6.3.5-1 - Síntese dos resultados da análise quantitativa das sobreposições dos mapeamentos na bacia 5

Figura 6.3.6-1 – Ilustração da distribuição dos setores de Perigo mapeados em 1:3.000 e pontos de ocorrência de enchentes e inundações do Cadastro de Eventos Geodinâmicos – 1993 a 2018 (IG, 2018) na bacia 6

Tabela 6.3.6-1 - Síntese dos resultados da análise quantitativa das sobreposições dos mapeamentos na bacia 6

Figura 6.3.7-1 – Ilustração da distribuição dos setores de Perigo mapeados em 1:3.000 e pontos de ocorrência de enchentes e inundações do Cadastro de Eventos Geodinâmicos – 1993 a 2018 (IG, 2018) na bacia 7

Tabela 6.3.7-1 - Síntese dos resultados da análise quantitativa das sobreposições dos mapeamentos na bacia 7

Figura 6.3.8-1 – Ilustração da distribuição dos setores de Perigo mapeados em 1:3.000 e pontos de ocorrência de enchentes e inundações do Cadastro de Eventos Geodinâmicos – 1993 a 2018 (IG, 2018) na bacia 8

Tabela 6.3.8-1 - Síntese dos resultados da análise quantitativa das sobreposições dos mapeamentos na bacia 8

Figura 6.3.9-1 – Ilustração da distribuição dos setores de Perigo mapeados em 1:3.000 e pontos de ocorrência de enchentes e inundações do Cadastro de Eventos Geodinâmicos – 1993 a 2018 (IG, 2018) na bacia 9

Tabela 6.3.9-1 - Síntese dos resultados da análise quantitativa das sobreposições dos mapeamentos na bacia 9

Figura 6.3.10-1 – Ilustração da distribuição dos setores de Perigo mapeados em 1:3.000 e pontos de ocorrência de enchentes e inundações do Cadastro de Eventos Geodinâmicos – 1993 a 2018 (IG, 2018) na bacia 10

Tabela 6.3.10-1 - Síntese dos resultados da análise quantitativa das sobreposições dos mapeamentos na bacia 10

Tabela 7-1 - Síntese comparativa das metodologias

SUMÁRIO

Introdução.....	1
Objetivos.....	4
Objetivo Central.....	4
Objetivos Secundários.....	5
Justificativa	5
Metodologia	6
1 Inundações e Bacias Hidrográficas Urbanas.....	7
2 Geomorfologia e a Suscetibilidade Espacial a Inundações:	12
2.1 Geomorfologia: tópicos gerais	12
2.2 Geomorfologia na avaliação da suscetibilidade e riscos ambientais	14
2.3 Geomorfologia Fluvial.....	15
2.3.1 Subcompartimentos do sistema fluvial.....	15
2.3.2 Sistemas fluviais e a suscetibilidade a inundações	19
3 Cartografia Geomorfológica e Geomorfologia Antropogênica	26
3.1 Contextualização histórica	26
3.2 A Cartografia Geomorfológica em Escala de Detalhe	27
3.3 A aplicação da Geomorfologia Antropogênica: Cartografia Geomorfológica Retrospectiva e Evolutiva.....	28
3.3.1 Mapeamento das morfologias originais.....	30
3.3.2 Mapeamento das morfologias antropogênicas.....	32
3.3.3 Unidades morfológicas complexas.....	33
3.3.4 Suscetibilidade espacial à inundaçāo e produção do escoamento superficial concentrado	36
4 Zoneamento geotécnico e compartimentação do meio físico.....	40
4.1 Geologia de engenharia e zoneamento geotécnico: tópicos gerais.....	40
4.2 A Cartografia Geotécnica.....	41
5 Mapeamento de Riscos da Região Metropolitana de São Paulo (IG, 2020).....	45
5.1 Riscos na RMSP: Etapas e escalas de trabalho	45
5.2 Metodologia de mapeamento do perigo de inundaçāo em escala regional (Fase 2 - 1:10.000).....	46
5.2.1 Unidades de Análise	46
5.2.2 Índices Componentes do Perigo de Inundações	50
6 Comparação dos Mapeamentos das Planícies Fluviais	55
6.1 Área de Estudo: Localização e Caracterização	58
6.1.1 O Processo de Urbanização – Perturbação Antrópica na Bacia do Alto Tietê.....	65
6.2 Sobreposições: Planícies Fluviais e UBCs.....	67

6.3	Sobreposição das Ocorrências e Setores de Perigo de Inundação (1:3.000)	70
6.3.1	Bacia 1 - Bacia de Contribuição da Vertente Esquerda do Tietê	72
6.3.2	Bacia 2 - Bacia do Baquirivu	74
6.3.3	Bacia 3 - Bacia do Baquirivu	75
6.3.4	Bacia 4 - Bacia dos Macacos	77
6.3.5	Bacia 5 - Bacia de Itaquera	78
6.3.6	Bacia 6 - Bacia de Itaquera	80
6.3.7	Bacia 7 - Bacia de Contribuição da Vertente Direita do Tietê	81
6.3.8	Bacia 8 - Bacia do Baquirivu	83
6.3.9	Bacia 9 - Bacia de Contribuição Lateral do Tietê	84
6.3.10	Bacia 10 - Bacia do Tamanduateí Médio I	86
7	Conclusões	87
8	Referências Bibliográficas	91
APÊNDICE A	- Tabelas	100
APÊNDICE B	- Metodologia para Mapeamento do Perigo de Inundação em Escala de Detalhe (1:3.000)	106
APÊNDICE C	- Mapas	113
ANEXO A	- Legenda do Mapeamento de Detalhe das Morfologias Originais	114
ANEXO B	- Quadro Explicativo da Classificação das Morfologias Antropogênicas	115
ANEXO C	- Estrutura de Classes das Unidades Homogêneas de Uso e Cobertura da Terra (UHCTs)	116

INTRODUÇÃO

Há décadas os fatos geomorfológicos são estudados à luz de suas formas, processos e materiais, cuja relação de interdependência se traduz, em grande medida, na própria evolução da paisagem em diversas escalas espaciais e temporais (RODRIGUES, 1997). Dessa forma, abarca também os processos vigentes na atualidade e no passado recente (em termos do tempo geológico) e na escala da ocupação humana.

. Assim, a geomorfologia é uma ciência de grande valia para evitar que o espraiamento das manchas urbanas ocorra em ritmo mais acelerado do que a capacidade social de I) compreender os ambientes naturais e os perigos inerentes às suas condições e II) planejar as mudanças ambientais para evitar o surgimento de novas áreas de risco. As inundações, em todo o mundo, são retrato fiel desta situação, que adquire contornos ainda mais graves no meio tropical úmido. Respondem por 47% dos desastres verificados a nível global entre 1995 e 2015 (UNISDR, 2016), 25% dos danos materiais e afetaram 2,3 bilhões de pessoas no período (56% do total).

A gravidade da questão é reconhecida por marcos internacionais como o de Hyogo (2005-2015) e de Sendai, vigente de 2015 a 2030. Raros paralelos existem no passado, talvez apenas nos tempos de maior iminência da ameaça atômica, de momentos em que a incerteza sobre o futuro do planeta e da humanidade tomou tanto espaço na mente coletiva. Seja na escala do Apocalipse, ou na escala da ameaça anual de perda dos poucos pertences e à vida de amigos e familiares, a capacidade de previsão e defesa social em poucos momentos foi tão requerida.

Em relação às inundações urbanas, a geomorfologia fluvial apresenta grande contribuição para a avaliação expedita de áreas suscetíveis ao atingimento, relacionando as formas e materiais dos subsistemas do ambiente fluvial a limiares de magnitude e frequência dos processos hidrológicos neles atuantes (LEOPOLD & WOLMAN, 1957; BENITO, 2010), apresentando inclinação conceitual a subsidiar o processo de mapeamento e gestão de riscos a inundações no território.

A hidrologia de paleoinundações (GREGORY, 1984; BENITO, 2010), subárea da geomorfologia fluvial, por muitos anos tem dado exemplos do valor dos apontamentos geomorfológicos sobre as inundações passadas para inferir sobre os processos atuais e

comprova o poder do conhecimento geomorfológico na avaliação da suscetibilidade a inundações (BAKER, 1994).

Esta abordagem, dessa forma, lida com uma questão central para conferir maior acuidade às previsões para gestão de riscos e desastres: a necessidade de expandir as fontes de informação sobre a suscetibilidade para além do recente (na escala temporal dos eventos extremos) e incompleto registro histórico das inundações reais, oferecidos pelas fontes instrumentais (BENITO, 2010).

Restringir-se aos dados da fase instrumental para o estudo de inundações (e nas avaliações de suscetibilidade e risco), bem como a confiança cega nos modelos hidrológicos e neles baseados, tende, assim, a subestimar a frequência natural de processos extremos (BAKER, 1994), cujas frequências são aumentadas pelas mudanças climáticas globais.

A Geografia, desde os anos 1970, pôde, de modo geral, manter-se como referencial crítico a visões menos atentas à espacialidade e a complexidade natural que os índices e variáveis buscam associar e resumir matemática e estatisticamente. No âmbito da hidrologia e sua interface com a Geografia, Ward (1979, apud GREGORY, 1992) aponta que:

“O engenheiro se atém ao empirismo e aos coeficientes, à simplificação e à generalização dos sistemas e dos processos. O geógrafo, por outro lado, está fundamentalmente interessado em como a paisagem atua e nas interações do homem com ela e, assim, reconhece que a água não é senão um dos fenômenos terrestres no ecossistema de totais e complexas interações no qual está realmente interessado. Isso implica que muitos dos objetivos hidrológicos de geógrafos estejam dirigidos não para a solução de problema hidrológico específico, mas para a mais completa compreensão da paisagem”.

Ainda que a consideração da propensão natural do terreno não resuma todo o perigo de inundaçõe apresentado por dado contexto geomorfológico, as formas do relevo podem ser consideradas componentes de grande influência entre as variáveis que caracterizam estas condições. Assim, um consenso a respeito dos limites dessas formas é desejável, se não essencial, a uma confiável avaliação dos riscos a que está sujeita a sociedade.

Tais limites e descontinuidades da superfície terrestre (como aqueles entre os sistemas fluvial e interfluvial) são objeto central da geomorfologia, que dedicou e dedica enorme parte de seus esforços em atingir a forma adequada da sistemática para sua obtenção e representação cartográfica.

Por outro lado, não apenas geomorfólogos são chamados a se debruçar sobre as formas, processos e materiais da superfície para resolver problemas práticos no que tange à ocupação humana e garantia de sua qualidade. Isto pois o relevo, consistindo em interface dos processos sistêmicos do meio físico (considerando aqui também as modificações antrópicas), imprescinde, para a sua análise, dos conhecimentos especializados de outras ciências a partir de trabalho interdisciplinar (RODRIGUES, 1997).

Assim, com múltiplos olhares para este mesmo objeto, viu-se, no âmbito da Geologia associada à Mecânica dos Solos, o surgimento da Cartografia Geotécnica. Este tipo de cartografia, cuja execução inicialmente servia a objetivos específicos da engenharia, para verificar a aptidão dos terrenos a obras de grande porte (ex: infraestrutura rodoviária) no território (ZUQUETTE, 1993; RODRIGUES, 1997). Compartilhando com a cartografia geomorfológica, a partir da década de 1950, os referenciais relacionados à sistemática da obtenção de informações a partir da fotointerpretação (SOARES & FIORI, 1976; VENEZIANI & ANJOS, 1982) a cartografia geotécnica dá conta da elaboração de variados produtos, frutos da seleção de atributos geotécnicos mais relevantes aos objetivos da carta.

Contudo, e sem discutir os motivos disto, percebe-se, no âmbito dos trabalhos aplicados no Brasil (entre eles, aqueles voltados à avaliação e gestão de riscos e desastres), a prevalência da geotecnica em detrimento da geografia física e da cartografia geomorfológica. Exemplo disto são as elaborações de pesquisadores do Instituto de Pesquisas Ambientais (antigo Instituto Geológico) do Estado de São Paulo para sistematização dos dados geoambientais e socioeconômicos do estado em unidades mínimas para agregação das informações.

Em especial, chamamos a atenção às Unidades Básicas de Compartimentação do Meio Físico, ou simplesmente UBCs (VEDOVELLO, 1993, apud Vedovello, 2000, 2002; FERREIRA e ROSSINI-PENTEADO, 2011, 2013), utilizadas largamente na agregação de dados geológicos, geomorfológicos e pedológicos, em diversos níveis hierárquicos, para

gestão territorial no estado de São Paulo, cuja geometria responde fundamentalmente à compartimentação “fisiográfica” (ou, como chamaremos a partir da consideração de Rodrigues (1997)³, compartimentação morfométrica) do relevo, realizada por sensoriamento remoto.

Estas UBCs são voltadas à elaboração de diversos mapas temáticos relacionados ao meio físico, permitindo, além da mera representação dos dados tabulados, a quantificação e associação matemática de atributos. Este é o caso, por exemplo, das análises de Perigo/Suscetibilidade no escopo dos mapeamentos de risco do estado, como tem sido exploradas suas possibilidades desde a década de 2000 no Estado de São Paulo.

Tendo sido utilizadas cada uma das abordagens em amplos projetos de mapeamento na RMSP, e considerando a proximidade escalar (ambas dentro dos limites de 1:10.000 a 1:50.000 estabelecidos para a cartografia geomorfológica de detalhe por Demek, 1972 apud. Veneziani, 2014), propõe-se a comparação metodológica das duas escolas de cartografia, bem como de seus produtos cartográficos e seu conteúdo geomorfológico.

OBJETIVOS

OBJETIVO CENTRAL

Comparação quantitativa e qualitativa dos produtos cartográficos selecionados para identificação das divergências e convergências entre 1) a cartografia geomorfológica de detalhe desenvolvida no escopo metodológico da Geomorfologia Antropogênica para o mapeamento de morfologias originais dos sistemas fluviais naturais das modificações promovidas pelo avanço da urbanização (RODRIGUES, 2004, 2005, 2010; PEGORARO, 2008; MOROZ, 2010; RODRIGUES et. al, 2011; RODRIGUES & MOROZ, 2013; CLARO, 2013; BERGES, 2013; VENEZIANI, 2014; SIMAS 2017) e 2) as unidades de análise propostas para a cartografia do meio físico em escala regional e de semidetalhe para o

³ Sobre o termo “fisiografia”, Rodrigues (1997) aponta que sua origem está nos primórdios da Geografia Física, consistindo em denominação pretérita deste ramo da Geografia e em desuso em seus circuitos.

mapeamento e gerenciamento de riscos ambientais no Estado de São Paulo (VEDOVELLO, 2000 ; ROSSINI-PENTEADO & FERREIRA, 2011, 2013; IG, 2020).

OBJETIVOS SECUNDÁRIOS

Contribuir para o aprimoramento da relação da geomorfologia com os instrumentos técnicos para gerenciamento de riscos em escala local e regional no Brasil, a partir das possibilidades de aplicação da cartografia geomorfológica de detalhe nas rotinas de mapeamento da suscetibilidade ambiental a eventos de inundação. Espera-se também que ilustrar dilemas da transposição do conhecimento científico-acadêmico ao meio técnico-profissional pela aplicação dos conceitos da geomorfologia pura nas esferas do planejamento e ordenamento territorial. Verificação da aderência de cada um dos mapeamentos comparados às ocorrências efetivamente registradas no Cadastro de Eventos Geodinâmicos (1993 a 2018) (IG, 2018) e aos setores de Perigo de Inundação mapeados nas unidades amostrais pelo Instituto Geológico em 2020.

JUSTIFICATIVA

O trabalho se fundamenta na valorização das medidas prevenção para a gestão de risco de desastres relacionados aos processos de inundação. Trata-se de momento de especial interesse para a gestão e planejamento territorial, viabilizando ações de mitigação e preparação, e no qual a cartografia e a análise geográfica exercem funções fundamentais. Também neste sentido, a Geomorfologia é chamada a contribuir na elaboração de meios mais acurados para avaliação de contextos ambientais potencialmente perigosos à vida humana.

Assim, o presente visa à revisão do conteúdo geomorfológico que se expressa nos procedimentos metodológicos, principalmente cartográficos, desenvolvidos para auxiliar na avaliação da suscetibilidade espacial a inundações e aplicados na RMSP. Além de revisitar a questão da transposição dos conceitos e procedimentos da Geomorfologia acadêmica e as condições em que se processa sua apropriação pelo meio técnico com seus objetivos aplicados.

METODOLOGIA

A metodologia adotada é a da análise comparativa, a ser realizada pela revisão dos procedimentos metodológicos e dos produtos dos mapeamentos 1) utilizados e produzidos nas pesquisas e relatórios do antigo Instituto Geológico (IG, 2020, ROSSINI-PENTEADO & FERREIRA 2011) e 2) a da Cartografia Geomorfológica de detalhe aplicada segundo as necessidades estabelecidas pela Geomorfologia Antropogênica (RODRIGUES, 2004, 2005, 2010, RODRIGUES & MOROZ, 2013, 2017; VENEZIANI, 2014, 2017; MOROZ, 2010; BERGES, 2013; SIMAS, 2017). O estudo adota, portanto, o método indutivo, ao partir dos produtos da aplicação de cada abordagem para a discutir seus fundamentos e esboçar os apontamentos gerais sobre estas vertentes no que toca à cartografia geomorfológica, com enfoque nas planícies de inundação e subcompartimentos do sistema fluvial. Assim, a pesquisa foi desenvolvida nas seguintes etapas:

- Seleção do conjunto amostral entre as unidades hidrográficas mapeadas na região (“sub-bacias”⁴).
- Sistematização bibliográfica: definição do universo conceitual que embasará as comparações entre as metodologias - estudos e sistematizações a respeito de inundações urbanas, geomorfologia fluvial, cartografia geomorfológica e metodologias para avaliação de riscos de inundação.
- Produção da cartografia temática.
- Avaliações:
 - Quantitativa (dos mapeamentos), a partir da aderência dos mapeamentos aos registros de eventos hidrológicos do Cadastro Georreferenciado de Eventos (IG, 2018) nas unidades amostrais;
 - Qualitativa (dos mapeamentos), a partir da sobreposição aos setores de Perigo de Inundações, mapeados pelo Instituto Geológico em 2020 na RMSP, e;
 - Qualitativa (das metodologias), a partir de critérios selecionados na análise dos fundamentos teórico-metodológicos das cartografias comparadas, a saber:

⁴ Aspas, pois, esta denominação não se aplica completamente, uma vez que a delimitação destas unidades apresenta inconsistências hidrológicas que as descharacterizam enquanto bacias hidrográficas.

- Objetivos frente ao registro dos elementos do relevo;
- Objetivos frente à avaliação da suscetibilidade espacial;
- Resultado cartográfico projetado;
- Escala;
- Método para avaliação da suscetibilidade;
- Unidades mínimas de análise;
- Insumos para a cartografia;
- Processos hidromorfológicos avaliados;
- Variáveis da suscetibilidade;
- Forma de agregação das variáveis.

1 INUNDAÇÕES E BACIAS HIDROGRÁFICAS URBANAS

Segundo o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (CEPED, 2013) essa tipologia de desastre foi a 3^a em número de registros no período de 1991 a 2012 - com 4.691 ocorrências no país (12% do total). Destacam-se nesse quadro a maior frequência na região Sudeste, responsável por 34% dos registros de inundação (**gráfico 1-1**).

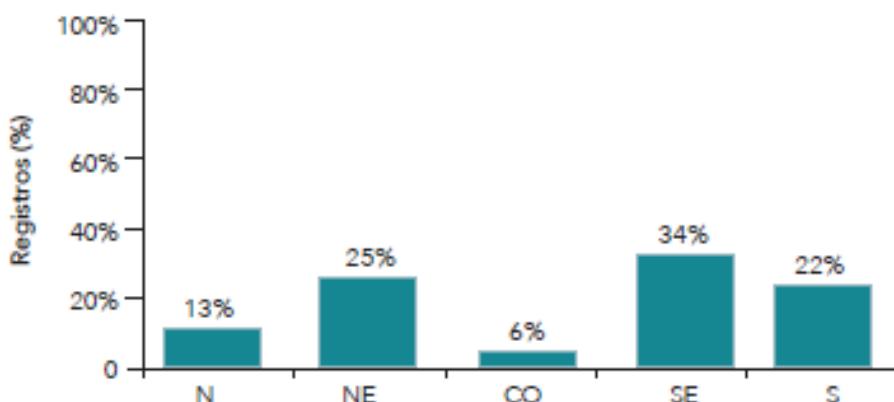


Gráfico 1-1 – Distribuição regional do percentual de registros de inundação (Fonte: Brasil, 2013 apud. CEPED, 2013)

Considerando o mesmo período, os dados agregados para o país apontam forte aumento nos registros a partir do início do século (**gráfico 1-2**), a partir de quando ocorreram os

maiores totais nacionais. Desde o ano 2000, nenhum outro apresentou menos de 100 registros, tendência observada na década de 1990, à exceção dos 294 episódios de 1992, cuja marca foi ultrapassada definitivamente pelos 629 do ano de 2004.

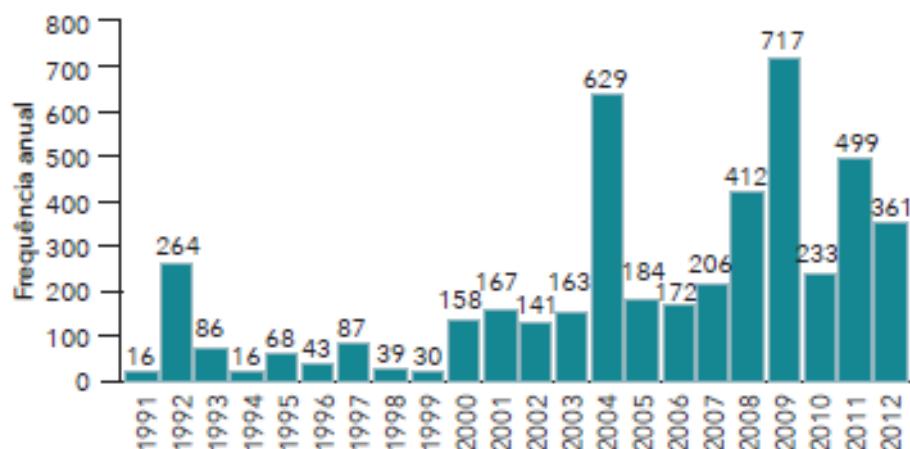


Gráfico 1-2 – Registros anuais de inundações no brasil entre 1991 e 2012. (Fonte: Brasil, 2013 apud. CEPED, 2013)

Os impactos diretos e indiretos dos eventos de inundação resumem a urgência da questão. Em termos humanos: a destruição de posses individuais, ferimentos e adoecimento físico e mental; em termos econômicos: danos infraestruturais e de equipamentos públicos – como um todo: profundas catástrofes sociais, de distribuição global e com raízes no histórico de uma expansão urbana incompatível com as dinâmicas naturais, e incapaz de absorver os impactos por ela mesma gerados quando da ocupação histórica das planícies fluviais (**figura 1-1**).

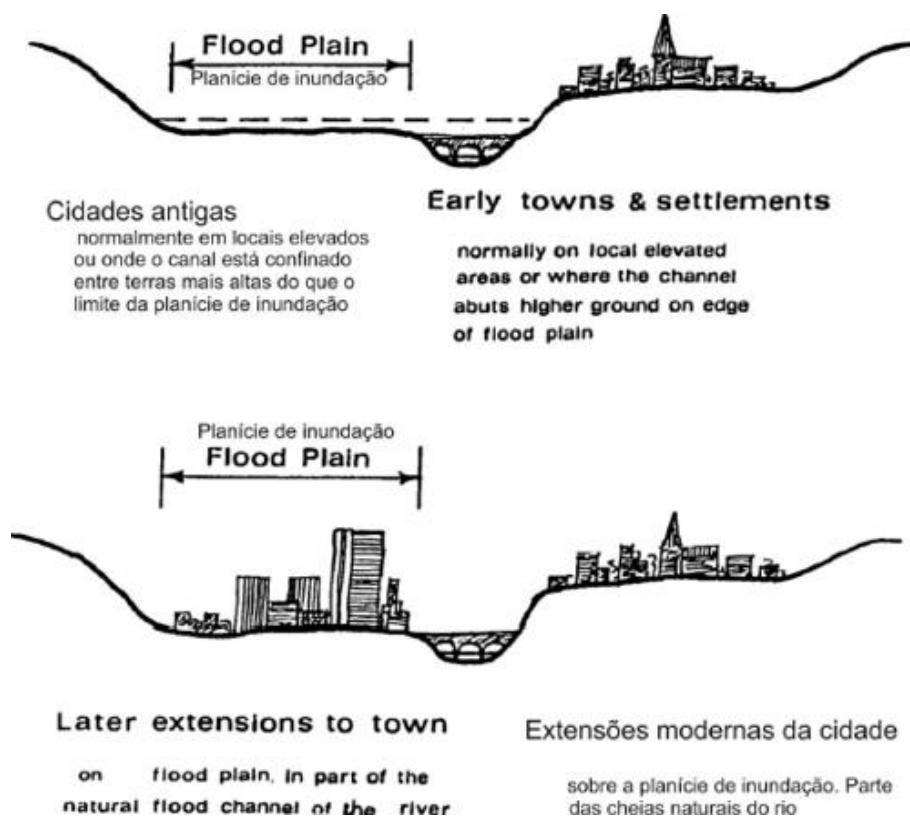


Figura 1-1 – A síndrome da planície de inundaçāo (Hockin, Whittle e Bailey, 1978 adapt. Luz, 2014)

Além da própria sociedade se colocar em risco, expondo-se a contextos de maior probabilidade de ocorrência de eventos, ela também agrava cenários, interferindo nos processos naturais. A água ainda é um dos melhores indicadores dos impactos antrópicos sobre os sistemas naturais, pois em sua circulação passa por variações físicas e químicas que respondem de maneira bastante sensível aos ambientes e às mudanças de suas condições (RODRIGUES, 2010). Neste sentido, os balanços hídricos de bacias hidrográficas pós e pré-urbanização ilustram claramente o que se quer dizer (**figura 1-2**).

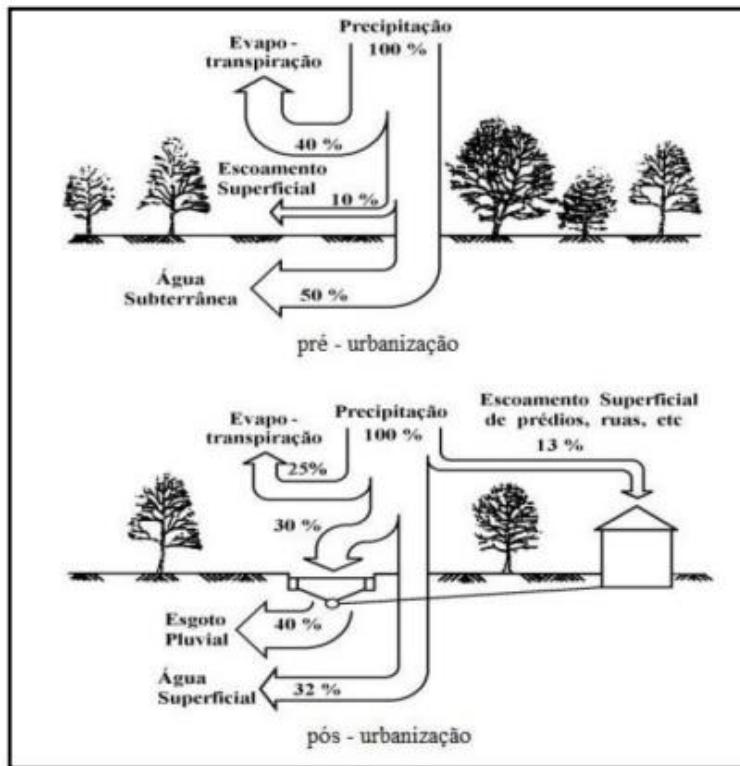


Figura 1-2 – Balanço hídrico em uma bacia hidrográfica antes e depois do processo de urbanização. Fonte: DECINA, 2012 apud ALMEIDA, 2016

No modelo apresentado é possível verificar a tendência de redução do tempo de armazenamento e do tempo de residência da água no sistema, acelerando-se a circulação. Isso é assim pois, no processo de urbanização, as ações diretas de alteração da morfologia original acabam por gerar “(...) modificações indiretas tanto em elementos (morfologia, coesão, posicionamento dos materiais, etc.) como nos processos de desenvolvimento do sistema vertente em que foi realizada (com desdobramento nos sistemas fluviais articulados) (RODRIGUES, 2019).

Do ponto de vista da hidrologia de inundações, o significado deste processo geralmente é o do aumento das vazões de pico e da redução do tempo de concentração da água na bacia (COLTRINARI, 1996, apud. VENEZIANI, 2014), aumentando o grau de suscetibilidade às cheias, como ilustrado pelo hidrograma teórico da **figura 1-3**.

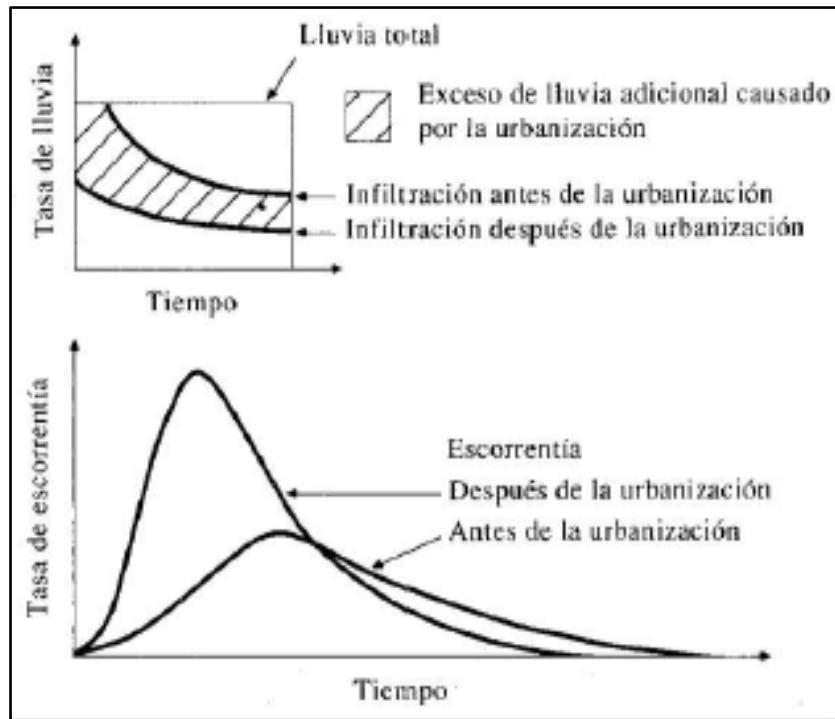


Figura 1-3 – Sobreposição de hidrogramas de tormentas em bacias pré e pós-urbanização, relacionando-os às taxas reduzidas de infiltração no contexto urbano (Fonte: Chow, 1994 apud. VENEZIANI, 2014)

Assim, a incompreensão dos nexos sistêmicos que ativam a dinâmica fluvial ou de uma bacia estruturada pela rede de drenagem sobre o terreno, inúmeros problemas surgem (**figura 1-4**). Isto torna além das mudanças na própria bacia, a atividade humana transgride os limites naturais dos processos, os volumes naturais dos materiais e a quantidade total de energia disponível – como é o caso do incremento hídrico de bacias urbanas, que ocorre pelas mudanças impostas para o abastecimento residencial, comercial e industrial (VENEZIANI, 2014).

Também por isso as bacias hidrográficas há muito se sagraram unidades de análise essenciais ao desenvolvimento da abordagem sistêmica na geografia, abrangendo sistemas e subsistemas, de canais e planícies fluviais aos sistemas interfluviais, com todos os processos superficiais e subsuperficiais de vertente que elas encerram (RODRIGUES & ADAMI, 2013).

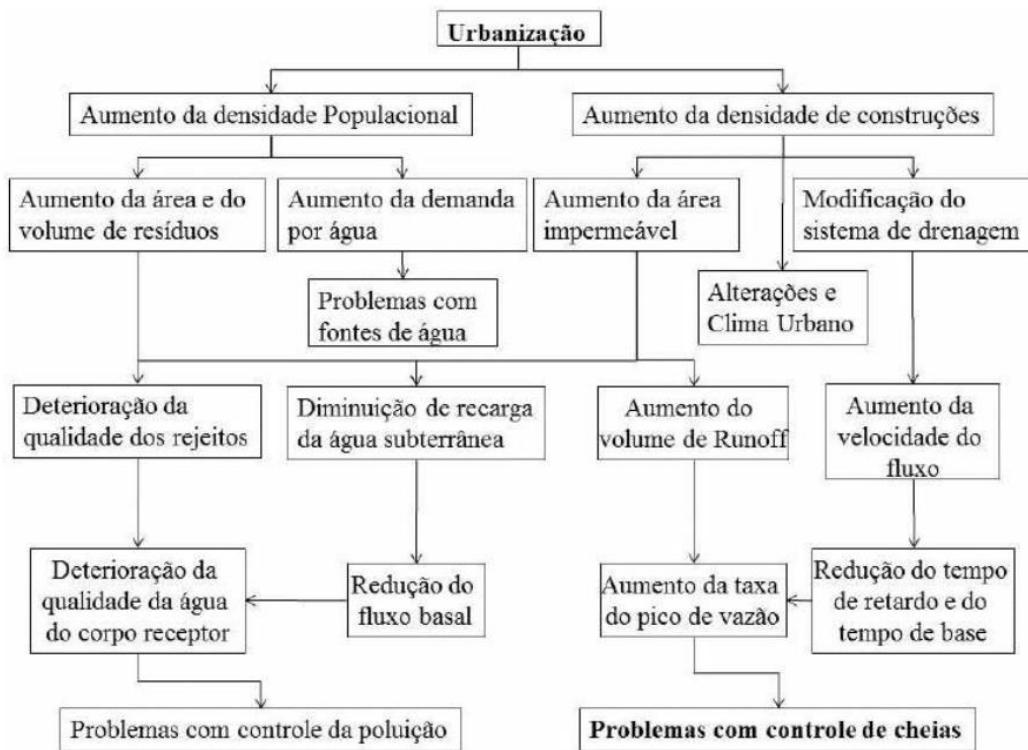


Figura 1-4 – Impactos da urbanização sobre os reservatórios hídricos de uma bacia hidrográfica, em termos de seu volume e composição (Fonte: Hall, 1984 apud. VENEZIANI, 2014)

Contudo, na maioria das vezes, o que se vê não é o necessário passo atrás em nome da compreensão dos processos, e sim a tentativa hercúlea (e matematicamente ineficaz em escala metropolitana, segundo Simas (2023)), de sobrepujar as consequências do conjunto das modificações urbanas sobre os sistemas naturais com obras de engenharia para o aumento de vazão nas bacias (regulação antropogênica do tempo de concentração em meio urbano) (VENEZIANI, 2014).

2 GEOMORFOLOGIA E A SUSCETIBILIDADE ESPACIAL A INUNDAÇÕES:

2.1 GEOMORFOLOGIA: TÓPICOS GERAIS

Grande parte dos principais objetivos da Geografia Física, tais como definidos sistematizados por Sotchava (1977) segundo abordagem geossistêmica, se expressam nos objetivos centrais da Geomorfologia, com sua vocação para a síntese e interdisciplinaridade

(RODRIGUES, 1997). Um bom panorama dos paradigmas atuais do estudo da superfície terrestre é apresentado por Rodrigues (1997), que o encontra contido na obra de Tricart (1965), Joly (1977) e, principalmente, Hart (1986). O cerne da ciência geomorfológica estaria no estudo das formas, dos processos e dos materiais da superfície terrestre, em sua conexão sistêmica, ou seja, em sua dinâmica e na estrutura de suas relações, espacial e temporalmente distribuídas.

Dessa forma, é inerente à Geomorfologia, pelas diversas ordens de grandeza em que se expressa seu objeto de estudo (**figura 2.1-1**), o trânsito entre diferentes escalas de trabalho. Esta necessidade está na origem da aspiração taxonômica desta área de geografia física, assim como sua necessidade por explicação genética, processual e cronológica do relevo e seus materiais (RODRIGUES, 1997). Dessa maneira, a pesquisa geomorfológica completa é obrigada a fazer o percurso das caracterizações mais abrangentes, cujos controles processuais se expressam em escala temporal mais ampla, às articulações mais mutáveis e dinâmicas, de escala temporal mais próxima daquela humana, de ocorrência anual a milenar.

A intenção de conferir coerência entre os estudos em diferentes níveis levou Cailleux e Tricart (1956, apud. RODRIGUES, 1997) e Tricart (1965, apud RODRIGUES, 1997) a lançar as bases de um sistema taxonômico para a geomorfologia, apresentando em ordens de grandeza os pontos de vista de grande, média e pequena escalas em Geomorfologia.

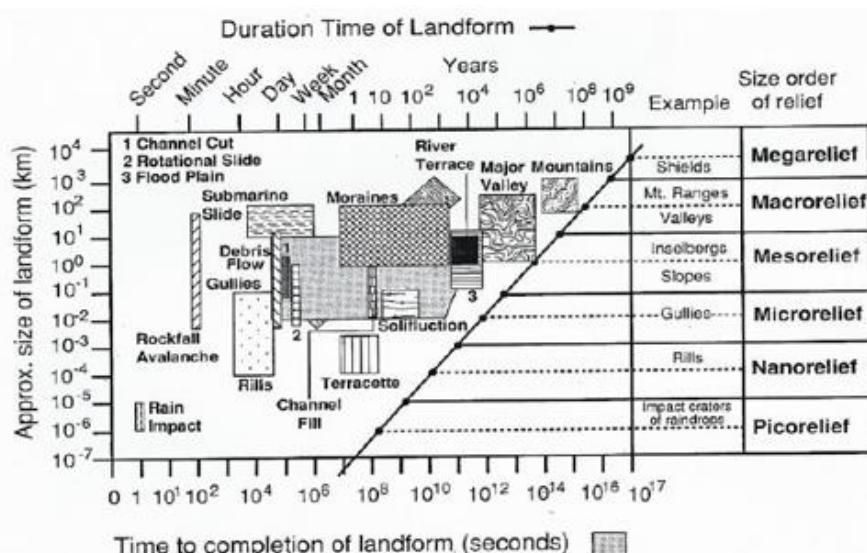


Figura 2.1-1 – Relação entre as ordens de grandeza das formas de relevo, sua duração e tempo de formação (Fonte: Brunsden, 1996)

A importância do tema é colocada por Cailleux e Tricart (1965 apud. Rodrigues, 1997), ao atribuir ao conceito de escala a própria possibilidade da pesquisa sistemática das zonas de descontinuidade espacial ou temporal entre mecanismos morfogenéticos de diferentes modalidades, reafirmando a prioridade da identificação dessas descontinuidades na pesquisa geomorfológica.

2.2 GEOMORFOLOGIA NA AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE E RISCOS AMBIENTAIS

O mapeamento de risco surge neste contexto como um dos instrumentos técnico-institucionais que permitem orientar as respostas dos agentes responsáveis nas diversas fases de gerenciamento dos riscos e desastres. Conceitual e metodologicamente, entende-se com facilidade a pertinência das geociências no estabelecimento dos parâmetros e limiares para a avaliação a propensão natural dos terrenos aos processos em foco.

É por isso que nos mapeamentos de risco são realizadas as avaliações sobre a morfodinâmica, levantam-se características das formas e dos materiais superficiais relevantes à caracterização desta dinâmica e se propõe modelos (organização conceitual e matemática dos dados relativos aos processos e seus condicionantes) que permitam setorizar o território para a elaboração de etapas de contingência, previstas em um planejamento de atividades para momentos de desastre.

Muito já foi elaborado sobre os dilemas e os problemas envolvidos na transposição do conhecimento acadêmico-científico da geomorfologia ao meio técnico-profissional (RODRIGUES, 1997), contudo, a advertência contra sua má apropriação em nada modifica sua pertinência no atingimento dos objetivos do planejamento e na instrumentalização dos agentes para a tomada de decisão e para as intervenções no território.

2.3 GEOMORFOLOGIA FLUVIAL

2.3.1 SUBCOMPARTIMENTOS DO SISTEMA FLUVIAL

Passa-se neste momento à rápida caracterização das principais morfologias abarcadas no mapeamento de Rodrigues et al. (inédito), cujos significados do ponto de vista de processos e materiais são extremamente caros à abordagem geomorfológico das inundações. Essas morfologias são apropriadamente abordadas no trabalho de Veneziani (2014), que aglutina nos sistemas de fundo de vale: a) o canal fluvial e b) seus setores de inundaçāo (planícies de inundaçāo, diques marginais, *backswamps* e terraços fluviais).

A planície de inundaçāo, segundo Christofoletti (1981, apud Veneziani, 2014) é a área da sedimentação aluvial do vale que se estende ao longo das bordas do curso do rio⁵, periodicamente inundada (frequência estimada em menos de 10 anos de tempo de retorno, até anualmente). A rigor, seu conceito é o de leito maior do canal fluvial, mais do que uma área que pode ou não ser inundada. É conformada pela acrescção lateral e vertical do material aluvial, que ocorre na dinâmica natural de cheias e vazantes descrita pelo regime fluvial. Sobre as planícies se pode ver construídos diques marginais, pela sedimentação próxima ao canal em períodos de vazante, formando planos sutilmente inclinados para fora do canal.

Entretanto, as planícies são formadas geralmente por material grosseiro, respondendo a contextos de torrencialidade, à exceção de setores de decantação de finos que se formam quando baixa o nível d'água e material coloidal permanece retido em áreas de baixada localizadas (*backswamps* ou *floodbasins*), como afirma Veneziani (2014) recuperando Luz (2010). Continua o autor apontando que “esta dinâmica fluvial que produz a planície de inundaçāo e a remodela de maneira a constituir outros setores aplaniados ou levemente inclinados são indicadores morfológicos do regime de cheias e inundaçāo de uma determinada bacia, e denunciam aspectos de sua torrencialidade (intensidade), temporalidade (duração e frequência) e espacialidade.”

⁵ O mesmo autor pondera que a planície fluvial pode ser redefinida de acordo com os critérios de cada campo do conhecimento: a um geólogo é onde, no vale, uma área é recoberta por sedimentos; ao hidrólogo, é o setor inundado periodicamente com certa frequência e magnitude (não superior a 10 anos de tempo de retorno). Para o geomorfólogo, é uma configuração topográfica, que resulta em um sistema geomorfológico, com forma, material e dinâmica própria (VENEZIANI, 2014).

Sobre os terraços fluviais, caracteriza-os, de acordo com a literatura, como sendo setores abandonados da planície de inundação, cuja descrição morfológica geralmente converge à horizontalidade e à inclinação nula, e preferencialmente localizados no contato com o sistema vertente, e limitados por berma em sua interface com a planície. Os terraços constituiriam, assim, superfícies paralelas e altimetricamente superiores às planícies, formados por pacotes sedimentares da antiga planície de inundação, servindo como importantes locais para documentação do antigo regime fluvial (VENEZIANI, 2014). Do ponto de vista das tendências hidrológicas naturais, a expectativa é de raro atingimento de seus níveis topográficos pelas inundações periódicas. Sua construção é na maioria das vezes controlada, segundo o autor, por variação no fator climático e no nível de base relativo, associados ou não. Os mecanismos deste controle são descritos como se segue:

“(1) Alterações climáticas resultando em menores acumulados pluviométricos podem provocar diminuição no débito fluvial que passa então a dar forma a uma nova superfície de inundação mais baixa e encravada na anterior. Neste caso, o rio perde poder erosivo, e tanto a antiga planície como a nova, e o próprio escoamento, ocorrem sobre o mesmo embasamento litológico. Por outro lado, se tais alterações redundarem no aumento da vazão é possível que, tanto a competência quanto a capacidade do rio sejam acrescidas, podendo levar a um aumento da frequência e da magnitude das cheias favorecendo a agradação do assoalho e das áreas vizinhas ao canal, fato que leva ao recobrimento da planície por novas aluviões de características diferentes. Este processo dá origem a um terraço de recobrimento.

(2) A mudança do nível de base relativo (a partir do qual, em direção à jusante, o rio não erode) pode levar a modificação nas taxas de erosão e deposição do canal, cuja resposta morfológica, não raramente, está atrelada à alteração nas áreas de sedimentação e erosão, e na própria forma do canal. É preciso lembrar ainda que, em vales estreitos, grande parte da planície de inundação antiga pode ser removida durante a formação da nova planície, principalmente na ocasião de aumento do débito fluvial.” (VENEZIANI, 2014)

No mapeamento de Rodrigues et. al. (inédito), desenvolvido no âmbito do Departamento de Geografia da FFLCH-USP, o conhecimento especializado em geomorfologia fluvial foi mobilizado para delimitação em 1:25.000 das Morfologias Originais do sistema fluvial da Bacia do Alto Tietê (planícies de inundação, terraços fluviais, *backswamps* (bacias de decantação) e rampas de colúvio).

Este mapeamento foi desenvolvido a partir de procedimentos anteriormente definidos por diferentes estudos em cartografia histórica e evolutiva (RODRIGUES, 2005, 2019), aplicados em teses de mestrado e doutorado conduzidas segundo a perspectiva da Geomorfologia Antropogênica na Região Metropolitana de São Paulo (RODRIGUES, 2019) – metodologia sobre a qual se discorrerá mais a frente. Outro grande ponto de apoio para a execução do mapeamento completo das planícies da RMSP foi a participação destes pesquisadores na elaboração do módulo de Recursos Hídricos do Plano de Manejo da APA Várzeas do Rio Tietê, (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2013), criada em 1987, no escopo do qual o mapeamento das geomorfologia pré-urbana (RODRIGUES, 2005) das planícies em escala de detalhe pôde se estender a toda a extensão do rio principal entre Salesópolis e Santana do Parnaíba.

Desse modo, estas morfologias foram obtidas pelos procedimentos sistematizados entre pesquisadores da geomorfologia antropogênica para reconstituição das formas originais das áreas atualmente antropizadas. Os procedimentos utilizados para reconstituição dos cenários anteriores à perturbação antrópica estão previstos nos trabalhos como o Rodrigues (2005, 2010), Moroz (2010), Luz (2014), Veneziani (2014 e 2019) – o que se ilustra com as **figuras 2.3.1-1, 2.3.1-2 e 2.3.1-3**



Figura 2.3.1-1 – Exemplo de delimitação de morfologias originais sobre fotografia aérea
(Fonte: Luz, 2014)

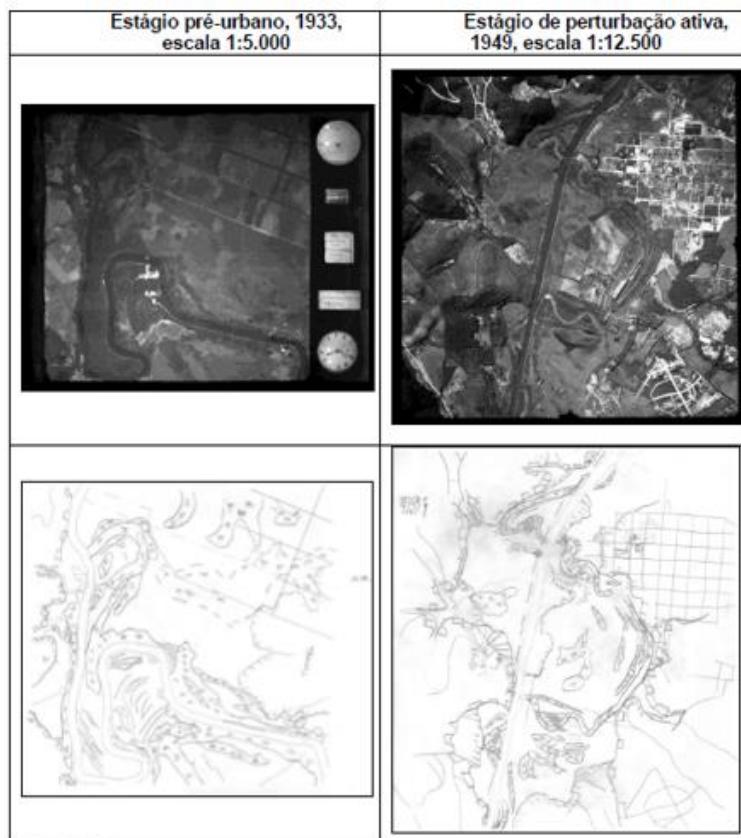


Figura 2.3.1-2 – Amostra dos *overlays* da restituição morfológica para cartografia geomorfológica retrospectiva (Fonte: Luz, 2014)

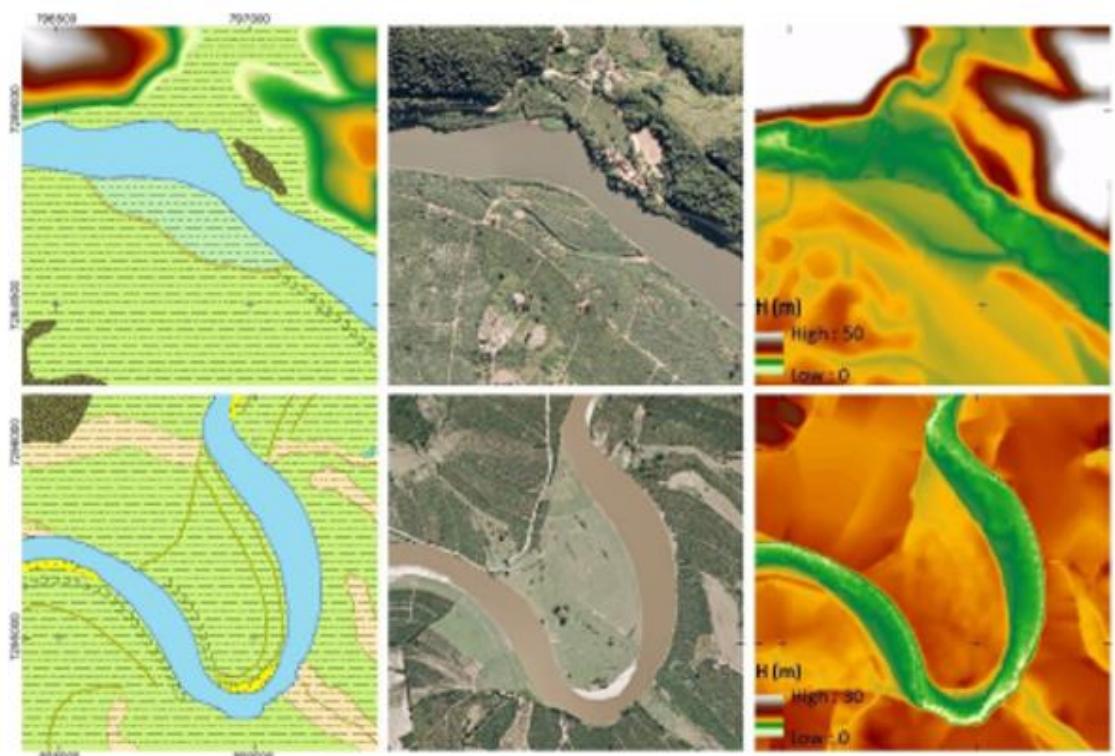


Figura 2.3.1-3 – Amostra da restituição morfológica de planícies de inundaçāo de nível 1 e 2 para mapeamento geomorfológico de detalhe na Bacia do Baixo Ribeira de Iguape (Fonte: Veneziani, 2019)

2.3.2 SISTEMAS FLUVIAIS E A SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÕES

A respeito dos episódios de inundaçāo, trata-se de processo hidrodinâmico natural, cuja ocorrência é indicação da atividade dos compartimentos do sistema fluvial (planícies de inundaçāo, cinturão meândrico, diques marginais, terraços, backswamps, meandros abandonados e colmatados), caracterizados pela magnitude e frequência da atividade geomórfica nesses sistemas (WOLMAN & MILLER, 1960). Neste sentido é que se fala da “suscetibilidade”, ou seja, da propensão natural dos terrenos à inundaçāo, que pode ser agravada pela utilização mal planejada da terra nas cidades.

Assim, variáveis centrais foram identificadas e relacionadas a ponto de proporem-se modelos evolutivos e sistemas classificatórios das planícies de inundaçāo (NANSON & CROOKE, 1992) de diferentes padrões e leitos fluviais, como se vê na **figura 2.3.2-1**. Os responsáveis por estes avanços, porém, nunca arrogaram a si mesmos a palavra final sobre as questões relativas à dinâmica evolutiva destes sistemas, seja por variações naturais ou induzidas pela expansão e intensificação da atividade humana.

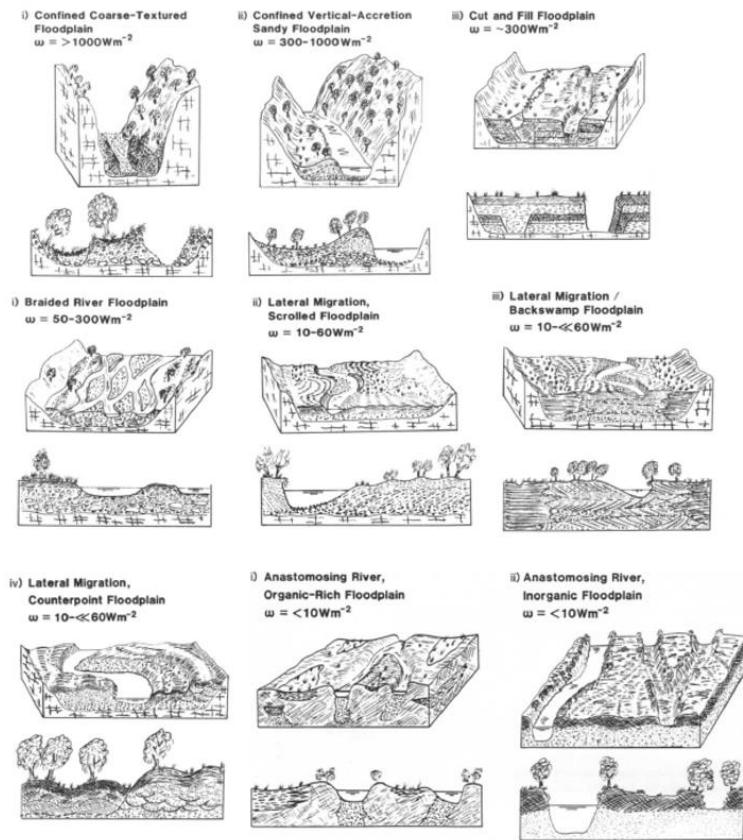


Figura 2.3.2-1 – Sistema classificatório de tipologias de planícies fluviais, em correspondência com modelo faciológico de cada circunstância, baseado na energia disponível e materiais do substrato (Fonte: Nanson & Crooke, 1992)

Cada subcompartimento do sistema apresenta tendência diferenciada, no tempo e no espaço, a ter sua superfície inundada, podendo eles mesmos serem estudados como indicadores de limiares de vazões extremas (BENITO, 2010; LEOPOLD et. al., 1964), como ilustrado na **figura 2.3.2-2**.

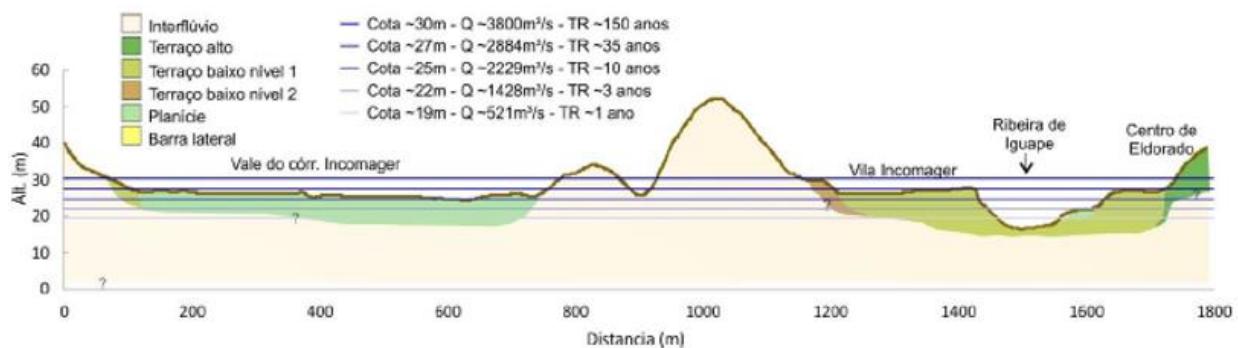


Figura 2.3.2-2 – Seção transversal de baixo curso do Rio Ribeira de Iguape com o nível de atingimento de subcompartimentos da planície fluvial em inundações modeladas, com precipitações com diferentes tempos de retorno (Fonte: Veneziani, 2019)

Raciocínio semelhante é mobilizado na aplicação do modelo *HAND* (*Height Above the Nearest Drainage*), utilizado nos mapeamentos de suscetibilidade à inundaçāo realizados pelo IPT em colaboração com a CPRM (Serviço Geológico Brasileiro), que atribui às classes topográficas um significado relativo à compartimentação do sistema fluvial, correlacionando-os a classes de suscetibilidade (**figura 2.3.2-3**).

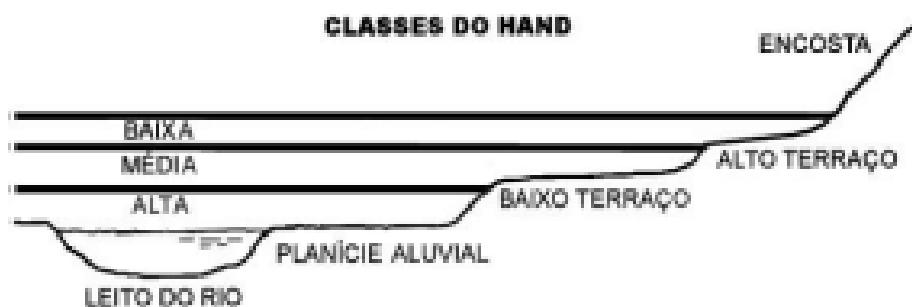


Figura 2.3.2-3 – Classes para fatiamento do relevo no modelo *HAND* (Fonte: CPRM/IPT, 2014)

Os agentes controladores dos processos de inundaçāo são variados, igualmente, no espaço e no tempo, contudo, algumas relações básicas entre os fatores ambientais vêm sendo identificadas com maior clareza desde meados do século XX. Do ponto de vista geomorfológico, a associação das dos processos de inundaçāo, e dos materiais por eles transportados, à construção das formas do sistema fluvial (LEOPOLD & WOLMAN, 1957) tiveram papel central na elucidação das questões referentes à dinâmica destes ambientes.

Para a geomorfologia fluvial, a inundaçāo é a resposta dada pelo canal na busca pela vazão de um débito além do ordinário, de modo que ao longo do tempo geológico, as formas originadas das sucessivas fases de inundaçāo e retorno da água ao conduto principal se estabelecem como compartimentos naturais voltados ao amortecimento das cheias e reservaçāo hídrica (VENEZIANI, 2014).

Ressalta-se, com a retomada de COOKE e DOORNKAMP (1990) na fundamentação da metodologia da CPRM/IPT (2014), que os fatores condicionantes das inundaçāes podem

ser divididos em A) *transitórios*, associados à ocorrência de chuvas, taxas de evapotranspiração e grau de saturação do solo (fatores variáveis); B) *permanentes*, que correspondem à morfologia da bacia e da rede de drenagem e à geologia (fatores fixos); e C) *mistas*, relacionados ao uso e ocupação do solo.

Assim, na literatura da geomorfologia fluvial, desde as contribuições de Horton (1932, 1945 apud. PATTON, 1988)⁶ encontram-se importantes métricas para avaliação da suscetibilidade a inundações, que nascem da articulação dos parâmetros morfométricos e morfográficos das bacias e redes de drenagem em índices úteis à comparação e identificação de casos sensíveis (**tabela 2.3.2-1**). Neste caso, há subjacente a compreensão da noção de equilíbrio em geomorfologia (HACK, 1975), segundo a qual, grosso modo, em determinada escala temporal e espacial pode-se considerar o ajuste mútuo dos elementos, uni, bi e tridimensionais, das bacias hidrográficas.

Tabela 2.3.2-1 - Parâmetros e índices morfométricos selecionados para análise da suscetibilidade a inundações pelo IPT⁷, em associação à aplicação do modelo *HAND*.

Parâmetro/Índice	Proposição	Cálculo	Influência
Área de contribuição	-	Extração automática em SIG	Associa-se ao volume de água que atinge o rio principal. Quanto maior Ac, maior tende a ser a suscetibilidade.
Relação de relevo (Rr)	SCHUMM, 1956	Relação entre amplitude (Δa) e comprimento do rio principal da sub-bacia (L); $Rr = \Delta a/L$	Indica velocidade de escoamento. Quanto maior Rr, mais rápido tende a ser o fluxo, reduzindo o acúmulo de água na sub-bacia.

⁶ Em sua revisão sobre análise morfométrica de bacias hidrográficas, Patton (1988) retoma Miller (1953), Chorley (1957), Schumm (1956), Melton (1957), Maxwell (1960) e Morisawa (1962).

Tabela 2.3.2-1 - Parâmetros e índices morfométricos selecionados para análise da suscetibilidade a inundações pelo IPT⁷, em associação à aplicação do modelo *HAND*.

Parâmetro/Índice	Proposição	Cálculo	Influência
Densidade de drenagem (Dd)	HORTON, 1945	Relação entre comprimento da drenagem (C) c/ área da sub-bacia (A); $Dd = C/A$	Quanto maior Dd, menor é infiltração de água no solo e maior tende a ser a velocidade com que a água atinge o rio.
Índice de circularidade (Ic)	MÜLLER, 1953	Relação entre a área da sub-bacia (A) e a de um círculo de mesmo perímetro (Ac); $Ic = A/Ac$	Quanto maior é o Ic, maior tende a ser a retenção de água na sub-bacia, reduzindo a velocidade de chegada da água no rio.
Índice de sinuosidade (Is)	SCHUMM, 1963	Relação entre o comprimento do canal principal (L) com a distância vetorial entre os extremos do canal (dv); $Is = L/dv$	Quanto maior o Is, menor tende a ser a velocidade do escoamento e chegada da água no rio.

Fonte: CPRM/IPT (2014) adaptado de Oliveira, Guasselli e Saldanha (2010)

Destas compreensões derivaram-se sofisticadas modelagens hidrológicas do escoamento superficial e inundações em bacias hidrográficas, como é o caso dos Hidrogramas Unitários Sintéticos, que combinam a probabilidade conhecida de uma topologia de rede de drenagem com um modelo estocástico de armazenamento e transferência de água entre segmentos de canal para simular os processos hidrológicos reais (PATTON, 1988).

Nas últimas décadas, a Antropogeomorfologia consolidou-se metodologicamente adequando os conceitos, técnicas e procedimentos da pesquisa geomorfológica para o estudo do meio físico em seus diversos graus de intervenção antrópica (RODRIGUES, 2005). Entre estas técnicas a cartografia tem papel central, expressando-se nesta abordagem como uma cartografia geomorfológica retrospectiva e evolutiva.

Mais à frente será discutida mais detidamente, mas cabe adiantar, no que respeita à análise da suscetibilidade às inundações urbanas, suas proposições de resgate das morfologias originais para avaliação de suas tendências hidrogeomorfológicas originais, para posterior superposição e síntese com as tendências apresentadas nos diferentes cenários de urbanização (RODRIGUES, 2005; VENEZIANI, 2014; MOROZ & RODRIGUES, 2017).

Segundo Rodrigues (2005), este processo de reconhecimento da morfologia original parte-se dos princípios gerais da cartografia geomorfológica (fotointerpretação, sobreposição cartográfica e levantamentos de campo). Para escalas de detalhe, os insumos principais são cartas topográficas e fotografias aéreas as mais antigas o possível, que informem mesmo que parcialmente sobre a distribuição espacial das formas pré-urbanas (MOROZ & RODRIGUES, 2017).

Assim, dá-se grande destaque à busca e seleção das bases cartográficas e insumos de mapeamentos, de modo que a cartografia deve ser precedida de intensa pesquisa e levantamento junto a arquivos de órgãos públicos, empresas responsáveis por aerolevantamentos e empresas responsáveis por implantação de infra-estrutura urbana, dentre outras (MOROZ & RODRIGUES, 2017). Ainda segundo Rodrigues & Moroz (2017), é possível recorrer ainda a outras fontes primárias, por exemplo documentos e obras históricas, registros iconográficos e depoimentos de moradores antigos (tratando-se de áreas de urbanização mais recente).

Há algumas décadas estes procedimentos vêm sendo amplamente aplicados e validados em bacias hidrográficas da Região Metropolitana de São Paulo (**figura 2.3.2-4**), ganhando volume em estudos de fôlego no âmbito da pós-graduação em Geografia Física da USP e no âmbito da elaboração do Plano de Manejo da APA das Várzeas do Rio Tietê, culminando no mapeamento das planícies fluviais da RMSP de Rodrigues et al. (inédito) - também objeto do presente trabalho.

Os resultados das pesquisas nessa linha não deixam dúvida sobre as dimensões do problema, e nem espaço para ilusões com a ideia de compensação efetiva das perdas de funcionalidades hidrológicas das planícies de inundação. Funções como a capacidade de estocagem e amortecimento de cheias são suplantadas pela urbanização irracional, e grandes obras de engenharia e macrodrenagem, como os chamados “piscinões”, surgem como meros simulacros. Completa-se este quadro grave com a estatística dos mais direta e materialmente atingidos pelas consequências do processo: quase como regra, as populações mais vulneráveis, cujas construções, inadequadas ao contexto geomorfológico existente, não oferecem qualquer segurança ou defesa contra as tendências hidrológicas das áreas que ocupam (VENEZIANI, 2014).

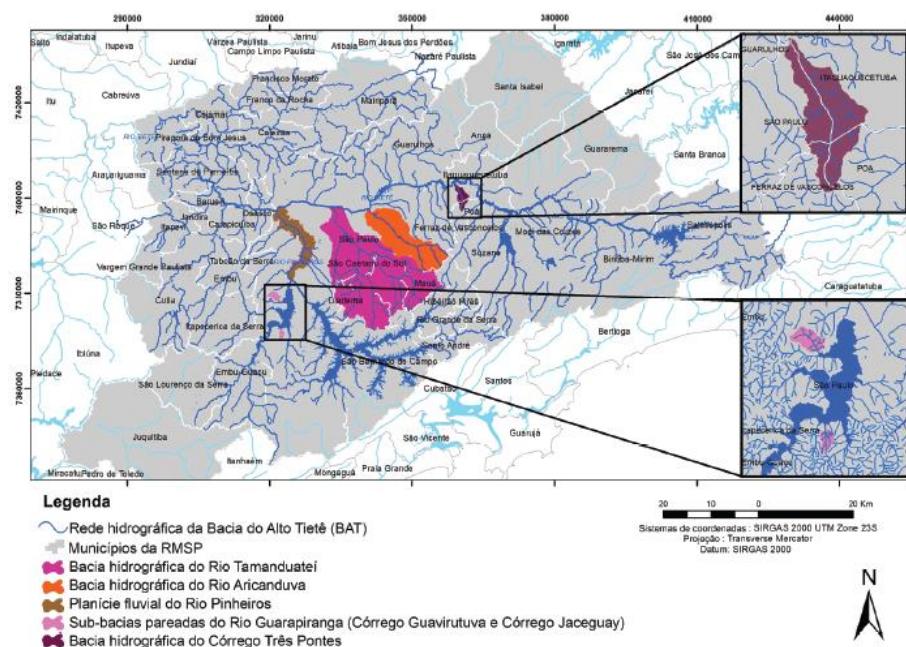


Figura 2.3.2-4 – Bacias hidrográficas estudadas sob a metodologia da Geomorfologia Antropogênica, cujas morfologias originais foram mapeadas por meio da cartografia geomorfológica retrospectiva em escala de detalhe (Fonte: Rodrigues et. al., 2019)

As inferências oportunizadas por esta abordagem que associa as morfologias à magnitude e à frequência dos processos geomórficos (como as inundações) permitem que se vislumbre um planejamento urbano e social verdadeiramente de longo prazo, que extrapole os 10^2 anos geralmente aceitos nos projetos de engenharia, para atingir, por que não, a escala milenar e decamilenar.

A este respeito, contudo, não mais que uma janela de possibilidades é aberta, ainda que valorizemos ao máximo o aumento de registros disponíveis para predição das tendências ambientais naturais. Isto é assim pois a variedade e complexidade dos sistemas fluviais e sua dinâmica, como ocorre com a natureza, não permitem nunca a perfeita generalização dos registros pontuais (BAKER, 1988). Mantém-se invariavelmente, nestes assuntos, margem para incertezas, de modo que será sempre mais adequado trabalhar com a noção de probabilidade, sobre as qual se traçam os limites do risco “aceitável” pela sociedade (BAKER, 1994).

3 CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA E GEOMORFOLOGIA ANTROPOGÊNICA

3.1 CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA

A cartografia se apresenta para a Geomorfologia como um dos principais métodos e produtos da pesquisa geomorfológica, e seu desenvolvimento remonta a um longo histórico (Rodrigues, 1997) de experimentações e busca pela padronização das soluções em termos da representação dos fatos geomórficos, dos conteúdos de legenda, das escalas de mapeamento, entre outras características relevantes ao aprofundamento do rigor metodológico da Geomorfologia na produção de suas sínteses.

Sobre este tema, acompanhamos a reconstituição da matéria no trabalho de Rodrigues (1997) As cartas geomorfológicas e sua elaboração se encontram no centro da pesquisa geomorfológica, e se confundem com o próprio objeto desta, de modo que o conteúdo da geomorfológica fica estabelecido por um conjunto de fatores, cuja apresentação parcial não permite, a rigor, sua consideração como carta geomorfológica *de fato*⁸.

Assim, os conteúdos mínimos a serem apresentados na carta seriam, segundo Tricart (1979, apud. Rodrigues, 1997): I) a geometria das formas; II) a natureza do material; III) formações superficiais e substrato; IV) idade das formas e dos materiais relativos à morfogênese. Este rol é relativamente consensual desde as primeiras experiências sistemáticas realizadas, constantes na literatura clássica já na década de 1950 na Polônia

⁸ Neste caso, o conteúdo geomorfológico parcial deveria ser expresso, segundo Rodrigues, (1997), pelo nome parcial, a exemplo dos mapas morfológicos, de declividades, de rupturas de declive, evidências morfológicas, processos morfogenéticos, avaliação morfodinâmica, etc.

e na Alemanha Oriental, restando aberta a discussão de seus pesos relativos e da forma de apresentação (Rodrigues, 1997), persistindo aí questão da falta de padrões.

O reconhecimento mundial das questões relativas à cartografia geomorfológica veio no Congresso Internacional de Geografia da UGI (Rio de Janeiro, 1956), com a criação da Subcomissão de Mapeamento Geomorfológico, com atribuições relativas à elaboração metodológica e de um sistema uniforme para o mapeamento, que resultasse na compatibilidade das pesquisas realizadas (Rodrigues, 1997).

As primeiras diretrizes vieram do encontro da Subcomissão de 1962, na Polônia, que resultou, dentre as quais Rodrigues (1997) ressalta: I) a reafirmação do trabalho de campo como fundamento do mapeamento geomorfológico detalhado, bem como a recomendação ao recurso das fotografias aéreas e das técnicas de fotointerpretação; II) enquadramento dos mapas de detalhe entre as escalas 1:10.000 e 1:100.000; III) reafirmação do conteúdo já mencionado para síntese do relevo (morfologia, morfometria, morfogênese, morfocronologia e morfodinâmica). Além disso, figuram neste momento especificações sobre o uso de cores e símbolos para significados específicos, bem como indicações sobre a apresentação da ordem cronológica e dos vínculos genéticos na organização da legenda.

No plano internacional, a década de 1960 foi de intensa produção sobre os métodos e produtos da cartografia geomorfológica, datando do início da década de 1970 importantes sínteses sobre o assunto, com objetivo de concertar as diferentes proposições: o Manual de Mapeamento Geomorfológico Detalhado (DEMEK, 1972, 1972, apud. Rodrigues, 1997) e a legenda do Mapa Geomorfológico Internacional da Europa, em 1:2.500.000 (BASHENINA, 1971 apud Rodrigues, 1997).

3.2 A CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA EM ESCALA DE DETALHE

Sobre o papel central atribuído ao mapeamento em escala de detalhe pelos avanços da Subcomissão, Rodrigues (1997) aponta que poderia progressivamente sanar questões metodológicas, pois se refere à “categoria espaço-temporal de fenômenos mais relacionados ao entendimento da gênese, dos processos e das formas reais”. Enquanto, a carta de pequena escala se orienta naturalmente pelos fenômenos morfoestruturais (Tricart, 1965 apud. Rodrigues, 1997). Não nos deteremos sobre o mapeamento em escalas médias e pequenas (acima de 1:200.000) e as questões específicas que trazem à

tona (sobretudo quanto à generalização dos conteúdos para classes mais abrangentes), para nos debruçar sobre as recomendações sobre as grandes escalas.

A este respeito, o manual de Demek compila contribuições de vinte geomorfólogos e abrange os principais assuntos que circundam a produção da carta geomorfológica de detalhe – da concepção geral, indicações precisas sobre os procedimentos de mapeamento e organização da legenda (RODRIGUES, 1997). Em relação à legenda, as diretrizes reproduzem em boa medida as proposições de Klimaszewski (1953 apud. Rodrigues 1997), com sua subdivisão entre formas endogenéticas e exogenéticas, organizadas por idade.

No que tange aos procedimentos de mapeamento, o manual destaca a análise de mapas topográficos, etapas de fotointerpretação, construção de mapas morfométricos e morfográficos específicos, compilação de perfis, métodos de análise morfoestrutural, estudos geológicos, análise laboratorial de parâmetros selecionados, além de indicações sobre o tratamento de cada forma exogenética (RODRIGUES, 1997).

A autora menciona que o manual elenca também, em capítulo específico, as possíveis aplicações, previstas ou permitidas pelo conteúdo dos mapas geomorfológicos, entre as quais há destaque para:

- a) Planejamento
- b) Agricultura e Reflorestamento
- c) Assentamentos Industriais, Sistema Viário e Hidroviário, Proteção de Áreas Costeiras, Construção de Dutos e Proteção às Enchentes
- d) Prospecção Mineral
- e) Cartografia

3.3 A APLICAÇÃO DA GEOMORFOLOGIA ANTROPOGÊNICA: CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA RETROSPECTIVA E EVOLUTIVA

Como mencionado anteriormente, uma tendência relativamente recente no mapeamento geomorfológico é a incorporação metodológica dos efeitos da urbanização sobre o meio físico natural (RODRIGUES, 2005). A abordagem da Antropogeomorfologia, ou Geomorfologia Antropogênica (RODRIGUES, 2005, 2010; RODRIGUES & MOROZ, 2010; LUZ, 2010,

2014; VENEZIANI, 2014, 2017; entre outros), traz indicações valiosas sobre o tratamento do elemento antrópico pela pesquisa geomorfológica. Do ponto de vista cartográfico, como se verifica em Rodrigues (2005), Moroz (2010), Veneziani (2014), Moroz & Rodrigues (2017), trata-se de acompanhar as progressivas intervenções no meio físico, subsidiando a análise e síntese geomorfológica em termos quantitativos e qualitativos, caracterizando espacial e temporalmente as mudanças nos sistemas hidrogeomorfológicos nos diferentes cenários da consolidação urbana.

Considerando a própria intervenção antrópica como ação geomorfológica, a metodologia (ilustrada no fluxograma da **figura 3.3-1**) propõe métodos para o resgate das Morfologias Originais (geomorfologia pré-urbana), e reconstituição dos cenários intermediários de urbanização até o momento presente, registrando o surgimento gradativo das Morfologias Antropogênicas, formas criadas no processo de urbanização que se superpõem às formas originais e que as derivam em Unidades de Morfologia Complexa.

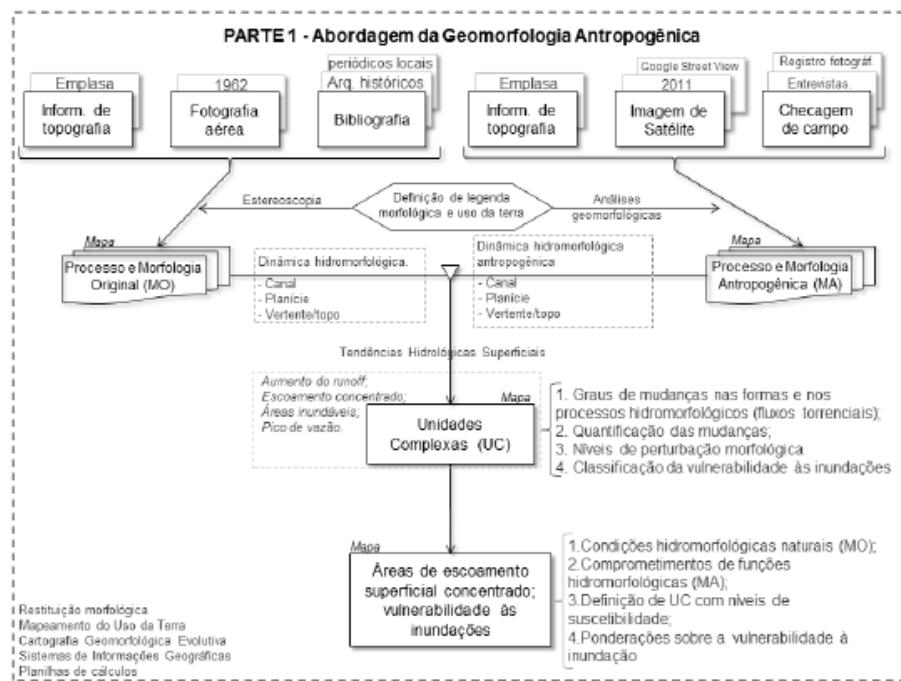


Figura 3.3-1 - Fluxo de trabalho da etapa de Cartografia Geomorfológica Evolutiva de Detalhe, na abordagem da Geomorfologia Antropogênica, para avaliação da suscetibilidade⁹ espacial a inundações (Fonte: Veneziani, 2014)

⁹ Nota-se aqui um desvio terminológico, mas cujo sentido pode ser compreendido à luz da discussão realizada.

A partir destas Unidades Complexas tem-se uma “(...) correlação entre morfologias originais e morfologias antropogênicas, [em que] é possível a identificação de quadro ou contextos em que tendências naturais sejam intensificadas, reduzidas ou eliminadas, que processos tomem tendências preferenciais diferentes a aquelas observadas originalmente, que novas formas derivem processos não observados anteriormente, que se altere o balanço entre as taxas de erosão e sedimentação, entre outros (...)” (VENEZIANI, 2014)

A operacionalização desta abordagem para a avaliação da suscetibilidade espacial a inundações em unidades de planejamento (RODRIGUES, 2005) tem sido desenvolvida em diversos trabalhos e artigos. Contudo, considerando os aspectos cartográficos da metodologia os apontamentos de Rodrigues (2005), Moroz, (2010), Veneziani (2014) e Rodrigues & Moroz (2017) tem grande destaque no que concerne a indicações sobre os insumos e etapas de trabalho.

Contudo, será tomado Veneziani (2014) como representante da metodologia apresentada, considerando o desenvolvendo específico que se prevê no fluxograma da **figura 3.3-1**, e a adequação escalar do mapeamento ao mapeamento comparado neste trabalho (execução em 1:10.000 e apresentação em 1:20.000). Assim, os tópicos a seguir apresentam as etapas da cartografia geomorfológica retrospectiva e evolutiva (RODRIGUES, 2005) para a avaliação da suscetibilidade espacial¹⁰ a inundações (VENEZIANI, 2014).

3.3.1 MAPEAMENTO DAS MORFOLOGIAS ORIGINAIS

Esta etapa inicial consiste fundamentalmente na fotointerpretação dos produtos de sensoriamento remoto, tomando-se a bacia hidrográfica como unidade de análise e baseando-se em legenda (**Anexo A**) sistematizada a partir da (1) cartografia geomorfológica de Queiroz Neto e Journaux (1978, apud. Veneziani, 2014) e (2) da legenda morfológica de detalhe de Savigear (1965) com adaptações de Cooke e Doornkamp (1990, apud. Veneziani, 2014) – ambas elaboradas para o contexto da cartografia de detalhe (escalas maiores que 1:50.000).

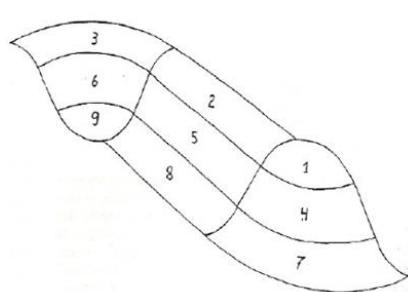
¹⁰ No trabalho de Veneziani (2014), o termo “vulnerabilidade” é utilizado no lugar de “suscetibilidade”, contudo, compreende-se pelo contexto sua exata correspondência ao conceito de suscetibilidade adotado neste trabalho, motivo pelo qual optou-se pela manutenção da referência à suscetibilidade.

3.3.1.1 Análise descritiva da bacia

No primeiro passo procede-se à análise morfográfica da bacia. Após levantamento dos parâmetros, passa-se ao cálculo dos índices morfométricos. Dessa forma, uma descrição detalhada é realizada para caracterização das tendências que se pode deduzir destes parâmetros¹¹ bem como da distribuição espacial da hipsometria e das declividades (por exemplo, eventuais controles estruturais, estimativa da taxa relativa de incisão fluvial, ou outras correlações já consolidadas pela literatura, a respeito do comportamento hidrológico das bacias).

3.3.1.2 Descrição e análise das morfologias originais das vertentes

Neste momento, a análise se subdivide entre os dois domínios hidromorfológicos principais, iniciando-se pela abordagem das vertentes (domínio interfluvial), em que predominam os processos de transporte. Aqui, a análise focaliza as curvaturas em planta e em perfil, por meio de estereoscopia, subsidiada por análise espacial em SIG (com produção de curvaturas do terreno a partir de Modelo Digital de Elevação), definindo feições mínimas (COLANGELO, 1996 apud. Veneziani, 2014 – **figura 3.3.1.2-1**) para identificação das tendências naturais de escoamento superficial.



FM	Perfil	Planta	Fluxo Resultante	Domínio
1	CV	CV	Hiperdispersor	Dispersão
2	CV	r	Mesodisp. Longitudinal	
3	CV	CC	Hiperdispersor	
4	r	CV	Mesodisp. Radial	
5	r	r	Transição (Neutro)	Transição
6	r	CC	Mesocconc. Radial	
7	CC	CV	Hipoconcentrador	
8	CC	r	Mesoc. Longitudinal	
9	CC	CC	Hiperconcentrador	Concentração

Figura 3.3.1.2-1 – Relação de feições mínimas do relevo e tendências dos fluxos hídricos superficiais. Fonte: COLANGELO, 1996, apud. Veneziani, 2014

¹¹ Trata-se aqui que parâmetros e índices como: área, assimetria, comprimento, perímetro, forma, índice de circularidade, comprimento total da drenagem, densidade hidrográfica e de drenagem, coeficiente de manutenção, índice de bifurcação, dissecação vertical e horizontal (VENEZIANI, 2014).

A partir deste mapeamento, nova etapa descritiva é realizada para interpretação da distribuição espacial destas feições, permitindo inferir-lhes as características do ponto de vista dos processos morfológicos.

3.3.1.3 *Descrição e análise das morfologias originais da planície fluvial.*

O segundo domínio abordado é o dos compartimentos do sistema fluvial, ou subcompartimentos da planície fluvial, com base na análise hipsométrica e, principalmente, na distribuição das declividades – identificação de mudanças e rupturas, e interpretação de seu significado pelo contexto morfológico. No trabalho sobre o Córrego Três Pontes, 4 morfologias de menor dimensão, subordinadas à dinâmica de inundações, foram abrangidas (VENEZIANI, 2014): planície de inundação, terraços fluviais, *backswamps* e meandros colmatados. Caracterizou-se também algumas formas adicionais, não representadas em área, como vales encaixados e nichos de nascente, estes derivados da erosão flúvio-pluvial. A legenda explicativa destas formas se encontra no **Anexo A**.

3.3.1.3.1 Análise da morfologia original do canal principal

Adicionalmente, é realizada a análise do canal principal, caracterizando a dinâmica fluvial a partir do perfil longitudinal, pela análise das declividades dos trechos, relacionando-os com o substrato rochoso e padrão da rede de drenagem.

3.3.2 MAPEAMENTO DAS MORFOLOGIAS ANTROPOGÊNICAS

Além das morfologias originais (correspondentes à leitura da paisagem em cenário pré-urbano), o outro eixo de análise previsto pela Geomorfologia Antropogênica é o das morfologias antropogênicas, ou seja, formas originadas pela ação antrópica em sua dimensão geomorfológica.

No estudo de Veneziani (2014), estas foram deduzidas do uso da terra mapeado em 2011, cuja legenda baseou-se em categorias usualmente aplicadas por pesquisadores da cartografia geomorfológica retrospectiva e evolutiva. Para isso, consideraram-se alterações

em área (sobre lotes, terrenos e vertentes) e lineares (sobre o córrego e seus afluentes). Ao final, além dos remanescentes de morfologias semi-preservadas¹², o estudo propõe a definição de quatro grandes categorias conforme a modalidade de intervenção urbana e não urbana, bem como intervenções sobre os canais (VENEZIANI, 2014), sendo estas:

- Urbano – estágio intermediário (Uso residencial com padrão construtivo precário);
- Urbano – estágio final (Uso residencial com alta taxa de impermeabilização, equipamento urbano, unidade industrial e pátio);
- Não urbano (via férrea, solo exposto e mineração);
- Modificações nos canais fluviais (hidrografia antropogênica).

A estas classes associam-se características morfológicas e tendências a processos hidromorfológicos, conforme a tabela explicativa do **Anexo B**, apresentada no trabalho de Veneziani (2014).

3.3.2.1 Hidrografia antropogênica

O estudo considera ainda o impacto das alterações nas morfologias dos condutos por intervenções e obras sobre os canais (bem como sobre vertentes e planícies). Para esta análise, classifica a hidrografia no contexto da urbanização em: a) cursos d'água com traçado natural, conforme o mapa de morfologias originais; b) retificados (calhas concretadas), c) tubulados (sob pontilhões e travessias) ou d) canalizados (sob área urbana).

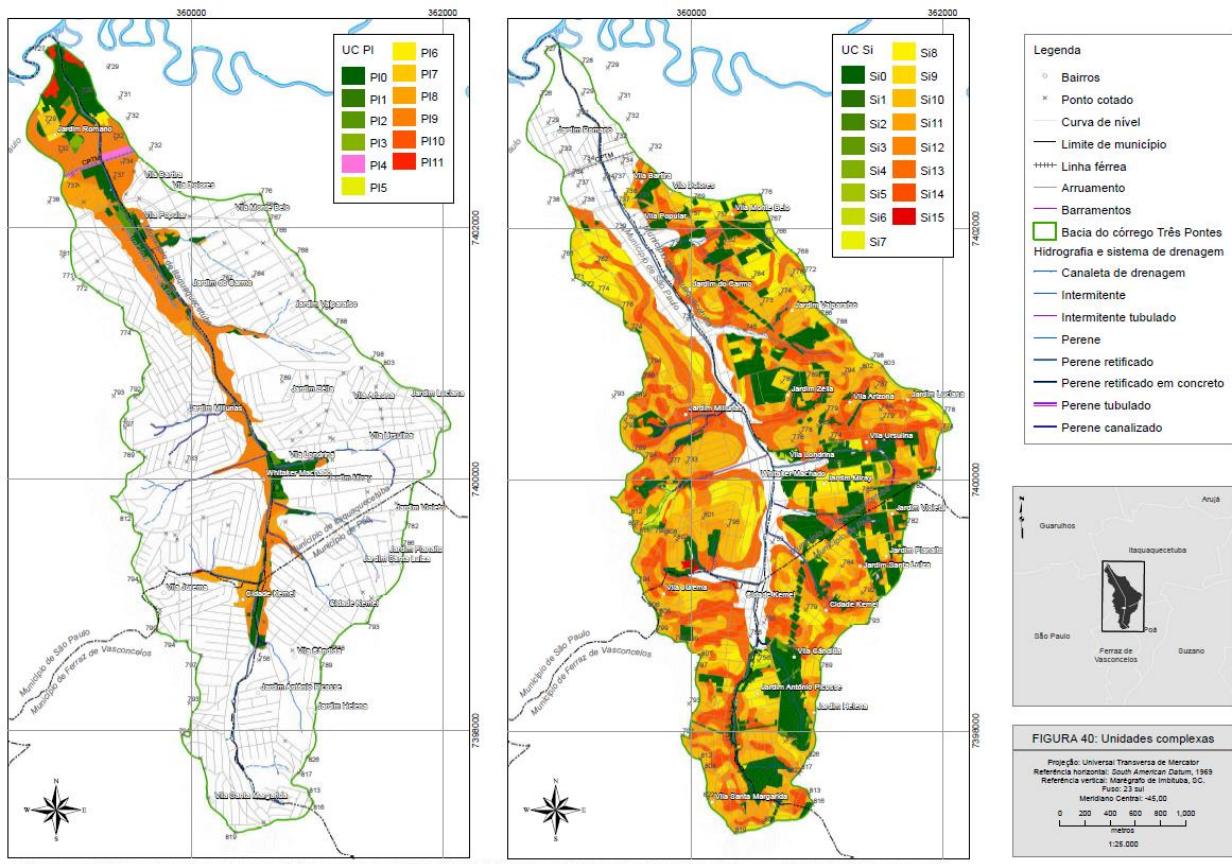
3.3.3 UNIDADES MORFOLÓGICAS COMPLEXAS

A síntese dos mapeamentos é alcançada na carta de Unidades Complexas (UCs), ou Unidades Morfológicas Complexas. Tais unidades podem ser definidas como “a combinação das morfologias originais às morfologias antropogênicas derivada da sobreposição entre ambas, caracterizando um cruzamento que evidencia espacialmente os setores preservados ou semi-preservados do modelado e os locais onde as interferências antrópicas de diferentes modalidades produziram morfologias com diferentes níveis de perturbação ao longo do histórico de ocupação” (VENEZIANI, 2014).

¹² Neste contexto, o autor destaca: fragmento de vegetação arbórea; vegetação arbórea e arbustiva marginal; terreno urbano livre; campo de futebol e campo antrópico.

Concebidas inicialmente por Rodrigues (2005), as unidades morfológicas complexas “agregam características de sua situação pré-intervenção e sequência de intervenção urbanas semelhantes”, o que inclusive as habilitaria como unidades de planejamento urbano (RODRIGUES, 2005). Nelas, para a avaliação da suscetibilidade a inundações, são analisadas as características da perturbação hidromorfológica representados pelas diferentes tipologias de UCs¹³ - **figura 3.3.3-1** - cuja legenda expandida se encontra no

Anexo C.



Fonte: Cartas topográficas 1:10.000 da Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano (EMPLASA). Folhas: Jardim São Miguel (SF-25-V-3-V-40-40-A), 1998; Pobs (SF-25-V-3-V-40-40-AEA), 1998; São Miguel Paulista (SF-32-V-2-V-40-50-C), 1992; Resquebraduba (SF-25-V-3-V-40-40-SE), 1997. Fotografias aéreas 1:25.000 de 1992 produzidas pelo IAC (Instituto Agronômico de Campinas) e disponibilizado pelo AEA do Laboratório de Aerofotogeografia e Sistêmicos Remotos, DCEPT/CH/UFSC. Imagens de Satélite de Alta Resolução WorldView-2, 2011, fornecido pelo Laboratório de Geoinformação, DCEPT/CH/UFSC.

Figura 3.3.3-1 – Ilustração das cartas de Unidades Complexas do Córrego Três Pontes. Fonte: VENEZIANI, 2014

¹³ Aqui o autor subdivide a análise das UCs de acordo com os domínios morfológicos a que respondem: a) Planície – PI – ou b) Sistema Interfluvial – SI. Isto ocorre devido aos processos predominantes em cada contexto, e que neles configura o real risco ambiental. Assim, nas UCs de Planície é trabalhada a suscetibilidade a inundações, enquanto nas UCs do Sistema Interfluvial o que se avalia é a produção do escoamento superficial concentrado (VENEZIANI, 2014).

3.3.3.1 Unidades morfológicas complexas de planície (PI)

As unidades morfológicas complexas de planície correspondem às sobreposições das morfologias antropogênicas às morfologias originais da planície fluvial, geneticamente relacionadas a processos de sedimentação fluvial, dentre os quais, a dinâmica de inundações do canal principal, servindo à estocagem dos excedentes hídricos (VENEZIANI, 2014). As principais perturbações neste contexto morfológico caracterizam-se pela “mudança da permeabilidade hídrica dos materiais superficiais, por alterações das taxas de impermeabilização, pela produção de aterros para construção civil (visando a nivelação e o alteamento do terreno) e a escavação do solo e subsolo, realizada pelas atividades de mineração” (VENEZIANI, 2014).

O escalonamento dos níveis de perturbação realiza-se pela inferência de níveis de mobilização de material, reconfiguração morfológica, alteração de tendências hidromorfológicas superficiais, partindo-se sempre das características originais de cada morfologia da planície para determinar as características da situação de alteração pelas morfologias antropogênicas (VENEZIANI, 2014). Com base nisto, definem-se os extremos: unidade PI0, correspondente ao agrupamento de todas as morfologias originais de planície fluvial que permaneceram preservadas ou semi-preservadas, até a unidade PI10 de maior perturbação. O ordenamento dos níveis de perturbação, segundo Veneziani (2014) dá-se por:

- A tendência de vulnerabilidade original – crescente, seguindo a ordem, do menos suscetível ao mais suscetível (de acordo com a frequência dos processos de sedimentação/ inundações): terraço fluvial, planície de inundações e backswamp/meandro colmatado, estes últimos considerados conjuntamente.
- A intensidade da perturbação morfológica decorrente de alterações antropogênicas, que respeitou a seguinte ordem, também crescente: morfologias semi-preservadas, solos expostos, via férrea, estágio intermediário de urbanização e estágio final de urbanização.

Apontamento particularmente relevante aos cenários de extrema perturbação urbana é feito sobre as unidades instituídas sobre terraços fluviais. Apesar de sua uniformidade topográfica e posição altimétrica definirem superfícies de maior estabilidade, o cada vez mais denso alteamento de planícies adjacentes, bem como a impermeabilização da planície tendem a ter impacto sobre frequência original de inundações dos terraços, ainda mais se se localizam a jusante de setores de vertentes convergentes, e em condições de maior concentração de fluxos pelo padrão de arruamento.

3.3.3.2 Unidades morfológicas complexas do sistema interfluvial (Si)

Estas unidades respondem pela sobreposição das morfologias antropogênicas ao sistema de vertentes, definido pelo modelo de feições mínimas de Colângelo (1996, apud. Veneziani, 2014). Diferentemente das morfologias de planície fluvial, a classificação das categorias de UC baseia-se em:

- Nível de perturbação morfológico da superfície, e
- Tendência de direção dos fluxos (divergentes e convergentes, focalizando estes últimos como classe de suscetibilidade ao processo em questão).

Aqui a unidade SI0, responde pelo conjunto das unidades de menor perturbação, a partir da qual a perturbação se eleva até a combinação S15 (maior concentração), com tratamento diferenciado apenas para SI1 (definida pelo setor retilíneo-retilíneo, sem influência sobre a concentração de fluxos). Assim, sobre estas unidades originais do terreno, são dispostas as morfologias antropogênicas para inferências sobre a alteração das condições do escoamento superficial.

3.3.4 SUSCETIBILIDADE ESPACIAL À INUNDAÇÃO E PRODUÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL CONCENTRADO

Por fim, para a produção do mapa de suscetibilidade à inundaçāo (**figura 3.3.4-1**) e ao escoamento superficial concentrado, parte-se para a interpretação e ponderação das unidades morfológicas complexas dos domínios de planície e vertente quanto ao grau de perturbação de suas funções hidrológicas originais.

Os critérios para classificação de suscetibilidade vão além da sobreposição de mapas e a classificação do atributo: além do resultado inicial da sobreposição, considera-se o arranjo das unidades entre si e em relação ao arruamento (nas zonas urbanas de estágio final), bem como o alteamento inferido de setores da planície de inundaçāo para a categorização das áreas produtoras de escoamento concentrado e sujeitas à inundaçāo – alcançando, assim, a definição da suscetibilidade em escala qualitativa (VENEZIANI, 2014).

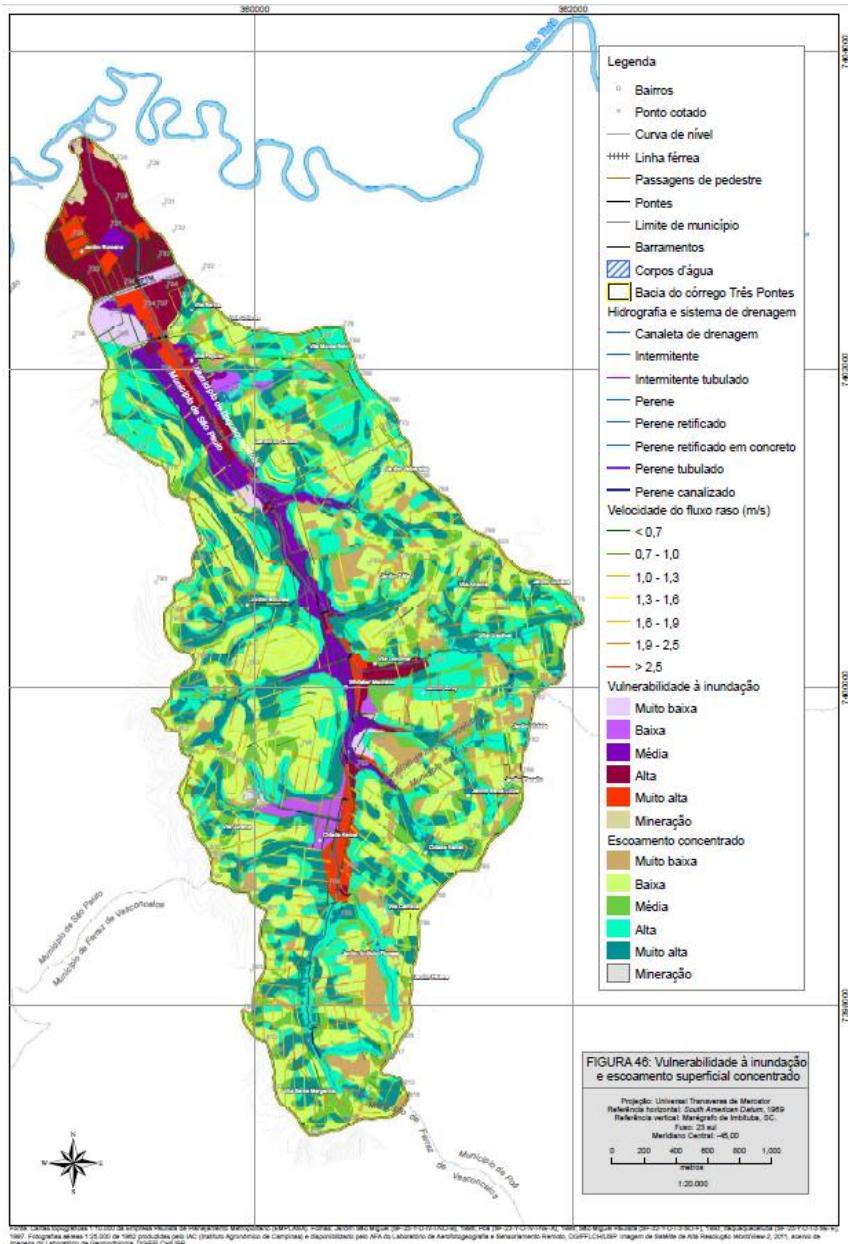


Figura 3.3.4-1 – Ilustração da Carta de Suscetibilidade (a inundações e produção de escoamento superficial concentrado), obtida pela metodologia da Geomorfologia Antropogênica. Fonte: VENEZIANI, 2014

O potencial de escoamento deve ser agrupado conforme os critérios expostos na **tabela 3.3.4-1**, referente à tendência de concentração. Nota-se novamente os extremos, por exemplo, nas morfologias hiperconcentradoras do escoamento, combinadas com urbanização consolidada e padrões de arruamento direcionados no sentido de jusante, em um arranjo que sugere um nível muito alto de potenciais de escoamento superficial

concentrado. Ao contrário, unidades hiperdispersoras com morfologias preservadas, apresentam potencial muito baixo para a formação de tais fluxos.

Tabela 3.3.4-1 – Matriz da classificação das Unidades Complexas do Sistema Interfluvial (SI) pela suscetibilidade à produção de escoamento superficial concentrado. Fonte: VENEZIANI, 2014

Unidades Complexas de Sistemas Interfluviais (Si)									
MO\MA	Cc/Cc	Ret/Cc	Cv/Cc	Cc/Ret	Ret/Ret	Cv/Ret	Cc/Cv	Ret/Cv	Cv/Cv
Corpo d'água	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Morfologia semi-preservada	Alta	Alta	Média	Alta	Média	Muito baixa	Baixa	Muito baixa	Muito baixa
Estágio intermediário de urbanização	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Estágio final de urbanização	Muito alta	Muito alta	Alta	Muito alta	Alta	Baixa	Média	Baixa	Baixa
Solo exposto	Muito alta	Alta	Moderada	Alta	Média	Muito baixa	Baixa	Muito baixa	Muito baixa
Mineração	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Via férrea	-	-	-	-	Muito baixa	-	-	-	-

Analisando-se as dimensões e distribuição espacial destas áreas de produção de escoamento concentrado têm-se informações importantes para inferir sobre convergência e velocidade de fluxos excedentes na baixa vertente e nos diferentes setores da planície fluvial, impactando diretamente na estimativa da suscetibilidade, devido ao arranjo espacial das UCs de planície e características do arruamento dos setores de alto e muito alto potencial de produção de escoamento concentrado (VENEZIANI, 2014).

No que toca às inundações, importa observar que as tendências hidromorfológicas originais, adicionadas as perturbações antropogênicas, podem reverberar em condições distintas de drenagem, mesmo pertencendo a uma mesma morfologia original. Partindo desta compreensão, as suscetibilidades à inundações foram agrupadas conforme os critérios expostos na **tabela 3.3.4-2**, e expressam as áreas com diferentes graus de suscetibilidade ao transbordamento do canal, bem como à retenção dos excedentes hídricos do escoamento superficial concentrado, no cenário de perturbação morfológica. Aqui também se adota a escala qualitativa para avaliação da suscetibilidade ao processo.

Tabela 3.3.4-2 – Matriz da classificação das Unidades Complexas do Sistema de Planície (PI) pela suscetibilidade à produção de escoamento superficial concentrado. Fonte: VENEZIANI, 2014

Unidades complexas de Planície (PI)				
Morf. Original Morf. Antrop.	Backswamp	Meandro colmatado	Planície	Terraço
Morfologia original ou semi-preservada	Muito alta	Muito alta	Alta	Baixa
Estágio intermediário de urbanização	Muito alta	-	Muito alta	-
Estágio final de urbanização	Alta	Alta	Média	Muito baixa
Solo exposto	Muito alta	-	Muito alta	Baixa
Mineração	-	Muito alta	Muito alta	Muito alta
Via férrea	-	-	Muito baixa	Muito baixa

Alguns critérios adicionais são introduzidos por Veneziani (2014) para avaliação da suscetibilidade, dando conta de situações particulares que atendam a determinadas condições particulares.

4 ZONEAMENTO GEOTÉCNICO E COMPARTIMENTAÇÃO DO MEIO FÍSICO

Para apresentar propriamente o segundo termo da comparação proposta (as Unidades Básicas de Compartimentação - UBCs), cabe tecer algumas linhas sobre alguns de seus principais fundamentos teórico-metodológicos em um plano mais abrangente. Para tanto, nos centraremos nas colocações de Vedovello (2000), por ser a origem das unidades propostas e pela completude de sua apreciação sobre a metodologia e os procedimentos empregados no seu desenvolvimento.

4.1 GEOLOGIA DE ENGENHARIA E ZONEAMENTO GEOTÉCNICO: TÓPICOS GERAIS

Paralelamente aos avanços da Geomorfologia, mudanças paradigmáticas se processavam também no seio da Geologia de Engenharia. A partir dos anos de 1970, aponta Vedovello (2000), esta área aplicada da Geologia superava os eixos de desenvolvimento da década anterior, em que serviu principalmente como suporte a grandes obras de engenharia, com hegemonia de uma abordagem tecnológica. A partir de então se ancoraria em duas tendências: I) resgate da Geologia como base científica e II) diversificação das áreas de atuação¹⁴

Nesse contexto, e sem perder de vista o acervo tecnológico conquistado junto à Mecânica dos Solos (Oliveira et al., 1995 apud. Vedovello, 2000), a Geologia de Engenharia adicionou a seus objetivos de viabilização técnica dos empreendimentos humanos, os objetivos de análise, previsão e minimização dos impactos destas atividades sobre o meio físico¹⁵. As cartas geotécnicas surgem em cada vez maior número para subsidiar ações de planejamento territorial e urbano, e posteriormente para resolução de problemas ambientais específicos, como aptidão de áreas para a disposição de resíduos (VEDOVELLO, 2000)

O zoneamento geotécnico, em si, consiste na identificação, no terreno, dos limites de diferentes condições geotécnicas do meio físico (propriedades dos materiais, como água, solos e rochas – englobando para isso os campos da Geologia de Engenharia, da Mecânica

¹⁴ Nota-se que esta diversificação das áreas de atuação acompanha também o desenvolvimento do pensamento sistêmico na geomorfologia, momento em que a necessidade de interdisciplinariedade se verbalizava e se impunha como tradução prática do novo aparato teórico-metodológico. Ambos os processos se relacionam também pela ascensão internacional da agenda ambiental entre os anos de 1970 e 1980, com fortes impactos no Brasil.

¹⁵ Acabando por se colocar, assim, em uma interface de formas, processos e materiais, e mesmo de escala de trabalho (local e regional) bastante semelhante à da Geomorfologia.

dos Solos e Mecânica das Rochas), caracterizando unidades com mesmas tendências geomecânicas (VEDOVELLO, 2000) ou classificadas segundo a aptidão a determinado uso requisitado.

São dignas de nota as manifestações do autor sobre os limites e tendências da Cartografia Geotécnica. Diz ele:

“A nova vertente, de aplicação ambiental da cartografia geotécnica, tem proporcionado nos anos mais recentes a participação dos geólogos de engenharia em equipes multidisciplinares que trabalham com planejamento e gestão ambiental. A experiência adquirida por esses grupos multidisciplinares, e a percepção cada vez maior do caráter integrado dos elementos que constituem o meio ambiente, têm mostrado que os estudos ambientais carecem de um caráter mais interdisciplinar e sistêmico. Neste sentido, uma preocupação que se tem colocado, para todas as áreas técnicas envolvidas na questão ambiental, é a reestruturação de seus produtos e métodos, considerando sua inserção nesses estudos integrados.”

E justifica sua preocupação pelo fato de que “cada área técnica tende a apresentar suas informações através de produtos desenvolvidos metodologicamente segundo as características evolutivas particulares de cada área”, tornando difícil evitar os conflitos quando um tema ou área do conhecimento prevalece ou se sobrevaloriza em relação a outro (VEDOVELLO, 2000). Partindo do panorama traçado, levanta a importância do desenvolvimento de métodos, técnicas e formas de representação na cartografia geotécnica que se adequem à análise conjunta de outras informações ambientais, do meio físico e socioeconômico.

4.2 A CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA

As cartas geotécnicas são objetos de conceituação diversa segundo os autores que sobre ela se debruçam. Assim como as cartas geomorfológicas estão envoltas de discussões a respeito dos conteúdos mínimos para que deixe de se tratar de um produto parcial e possa ser considerada uma verdadeira carta geotécnica. Vedovello (2000) apresenta algumas dessas tentativas de enquadramento conceitual da carta geotécnica:

- a) "... **representação** da distribuição e relações espaciais dos componentes importantes à geotecnologia (características de solos e rochas, hidrogeologia, geomorfologia e processos geodinâmicos), refletindo a história e a dinâmica de desenvolvimento das condições geotécnicas, de forma a tornar possível a previsão e o prognóstico da interação

entre obra e ambiente." (International Association of the Engineering Geologyst - IAEG -,1970, apud Vedovello, 2000).

b) "...**processo** que tem por finalidade básica levantar, avaliar e analisar os atributos que compõem o meio físico, sejam geológicos, hidrogeológicos, hidrológicos e outros; tais informações deverão ser manipuladas de maneira tal que possam ser utilizadas para fins de engenharia, planejamento, agronomia, saneamento e outros. As informações devem ser manipuladas através de processos de seleção, generalização, adição e transformação, para que possam ser relacionadas, correlacionadas, interpretadas e no final representadas em mapas, cartas e anexos descritivos, sempre respeitando os princípios básicos que regem a execução do mapeamento geotécnico conforme proposto por Thomas (1970)" (Zuquette, 1987, apud Vedovello, 2000).

c) "... importante **mecanismo de estudo** ambiental, o qual consiste de uma série de procedimentos que envolvem fotointerpretação, inventário, trabalhos de campo, análises e ensaios químicos e físicos, etc., executados com o objetivo de se obter informações de caráter geotécnico, as quais possam ser apresentadas de forma a constituírem subsídio para fins de planejamento, ocupação e monitoramento do meio físico, bem como à implementação de obras de engenharia civil, mineração e zoneamento agro-silvo-pastoril." (Vedovello e Mattos, 1990 apud Vedovello, 2000).

O autor retoma a diferenciação de Zuquette e Nakazawa (1998 apud. Vedovello, 2000) entre cartas geotécnicas aplicadas a obras civis e aquelas aplicadas ao planejamento urbano, territorial e ambiental. Sobre a últimas, o autor identifica as contribuições metodológicas centrais em IAEG (1970), Sanejouand (1972), Grant (1974) e Zuquette (1987), as quais divide em dois grupos, com abordagens significativamente diferentes sobre o zoneamento geotécnico. De acordo com ele:

"(...) metodologias como as da IAEG (1970) e da PUCE - *Paterns Units Components Evaluation* (Grant, 1974) constituem, em linhas gerais, sistemas de classificação de terrenos baseados em princípios geomórficos (características geomorfológicas, dos solos, da vegetação e da geologia). Suas etapas de execução envolvem a caracterização dos componentes do terreno (relevo, solos, vegetação, litologia), a análise da interrelação entre esses componentes e os fatores exógenos ao meio físico, a delimitação de classes de área do terreno para as quais identificam-se as condições geotécnicas, e a previsão da influência decorrente da ação antrópica nas unidades delimitadas.

Já metodologias como a francesa (Sanejouand, 1972) e a proposta por Zuquette (1987) caracterizam-se pela análise em separado dos diversos "atributos" do meio físico. Em tais metodologias o mapeamento geotécnico compreende a obtenção de um conjunto de cartas dos diferentes atributos investigados. Essas cartas são analisadas diferenciadamente, através da atribuição de pesos, em relação ao tipo de aplicação desejado, dando origem a uma coleção de cartas de aptidão em relação aos diversos tipos de uso e ocupação previstos.

Da análise geral das metodologias [percebe-se que] um refere-se à análise dos elementos ou das formas de ocorrência dos elementos componentes do meio físico (geológicos, geomorfológicos, etc.), com o objetivo de se obter informações de interesse geotécnico. O outro diz respeito à representação do terreno em função de suas características e propriedades geotécnicas."

Outra compreensão, apresentada em Rodrigues (1997), a partir da proposta e revisão bibliográfica sobre a cartografia geotécnica feita por Coelho (1980 apud Rodrigues, 1997), é que a base desta cartografia está nas cartas hidrogeológicas, geológicas e geomorfológicas, em associação com o conhecimento das propriedades dos materiais solicitado pela engenharia, mobilizados para fins específicos. Vedovello (2000) resume as etapas do zoneamento geotécnico conforme se ilustra na **figura 4.2-1**:

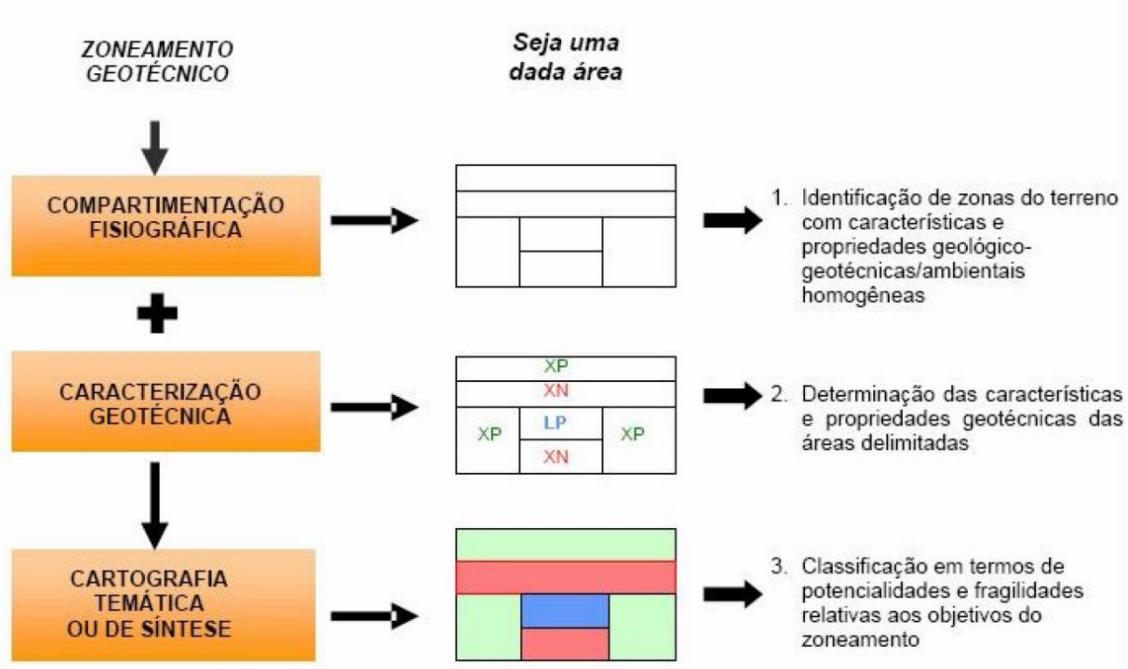


Figura 4.2-1 – Ilustração das etapas do zoneamento geotécnico. Ressalta-se a etapa de compartimentação fisiográfica (morfométrica), na qual os limites das UBCs são obtidos por fotointerpretação (Fonte: Vedovello, 2000)

O autor reforça o caráter fisiográfico (morfométrico) da etapa da compartimentação dos terrenos, devido ao qual é permitido o uso da fotointerpretação para obtenção das Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs), que constituem a base da identificação de unidades geotécnicas. O conjunto dos procedimentos das três etapas permitiriam, assim, “uniformizar a elaboração de produtos geotécnicos com caráter de avaliação de áreas naturais sobre *fragilidades e potencialidades do terreno*” (VEDOVELLO, 2000). Segundo o autor, os procedimentos seriam passíveis de adaptação para igual avaliação de áreas antropizadas.

O autor segue a reconstituição filogenética da metodologia proposta avançando sobre a literatura técnica a respeito da Avaliação de Terrenos (*Terrain Evaluation*), na qual se inserem os zoneamentos geotécnicos. Encontra nesta literatura duas abordagens operacionais fundamentais na espacialização dos dados do terreno, segundo Mitchell (1973 apud Vedovello, 2000):

A) Abordagem fisiográfica (ou de paisagens)

“Na abordagem fisiográfica ou de paisagem, os elementos componentes do terreno são identificados e analisados integradamente, normalmente através da utilização de Sistemas de Classificação de Terrenos. Esses sistemas são baseados na análise de aspectos fisionômicos do terreno os quais, analisados geralmente através de fotointerpretação, permitem identificar diferentes unidades de terreno. Essas unidades refletem associações específicas dos elementos ambientais (geologia, geomorfologia, topografia, vegetação e clima) e, cuja expressão no terreno reflete padrões morfoambientais recorrentes e distinguíveis nas fotografias aéreas. As unidades identificadas dessa maneira, são então caracterizadas quanto às propriedades e características dos elementos componentes do terreno e avaliadas em termos de diagnósticos e prognósticos ambientais.” (VEDOVELLO, 2000)

B) Abordagem paramétrica.

“Na abordagem paramétrica, considera-se o levantamento de diversas informações temáticas individualmente para posterior integração. Assim, são elaborados produtos cartográficos de diferentes temas os quais são cruzados diretamente ou em associações específicas, sucessivamente, por vezes com atribuições de pesos, até se chegar a um mapa de síntese final.” (VEDOVELLO, 2000)

Sobre as duas abordagens, o autor recupera o destaque dado Ross (1995 apud. Vedovello, 2000) à natureza analítico-sintética da abordagem fisiográfica, da qual se diferencia a abordagem paramétrica, que separa em momentos distintos a análise (anterior) e a síntese

(posterior). Comenta em seguida sobre a preponderância da primeira sobre a segunda, devido aos custos mais baixos, menor tempo de execução e maior aplicabilidade. Isto se deve, segundo ele, ao fato desta abordagem prover um produto cartográfico único, fruto da análise integrada dos elementos da paisagem (relevo, solo, geologia, vegetação, uso do solo), que são “individualizados em unidades que refletem limites concretos no espaço, facilitando ações de planejamento territorial” (VEDOVELLO, 2000). Ao contrário, a abordagem fisiográfica, ao proceder à sobreposição de múltiplos produtos temáticos, com concepções teóricas, metodológicas e técnico-operacionais próprias de cada área do conhecimento, oferece como saídas unidades com limites abstratos no espaço, inadequados às tarefas concretas do planejamento e ordenamento territorial.

5 MAPEAMENTO DE RISCOS DA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO (IG, 2020)

5.1 RISCOS NA RMSP: ETAPAS E ESCALAS DE TRABALHO

O projeto “Avaliação e Mapeamento de Risco (Escalas Regional e Local) de parte da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP – Trechos Norte/Oeste/Sudoeste/Sudeste) e do Litoral Norte” foi publicado em 2020 sob coordenação do Instituto Geológico, e tinha como objetivo o mapeamento de riscos em diferentes escalas necessárias ao planejamento e execução de grandes obras viárias. As metodologias desenvolvidas pelos técnicos e pesquisadores do IG foram amplamente utilizadas na condução dos trabalhos, e no que tange a esta pesquisa, também das etapas de delimitação das unidades de análise, aquisição dos atributos relacionados aos processos.

Tendo como uma de suas principais referências de aplicação metodológica as experiências do Vale do Paraíba o projeto foi dividido em três fases, correspondentes às escalas 1:25.000, 1:10.000 e 1:3.000 (ou 1:1.000, para circunstâncias específicas de localização das áreas junto à infraestrutura rodoviária). Destas, será focalizada a de nível intermediário (Fase 2), pois é nela que a utilização das UBCs enquanto unidades de análise se inscreve como etapa metodológica na definição das variáveis de risco, seguindo procedimentos adaptados de Ferreira e Rossini-Penteado (2011) para mapeamento com abordagem quantitativa em escala regional.

Contudo, há ressalvas, pois dados primários e produtos da Fase 3, de maior detalhe serão mobilizados como elemento de comparação complementar dos mapeamentos, em escala mais compatível, das planícies fluviais originais (Rodrigues et al., inédito) e das UBCs classificadas como planície. Além disso, restringe-se aqui a discussão em torno da avaliação relativa ao perigo/suscetibilidade à inundação, ou seja, serão desconsiderados os apontamentos do estudo (IG, 2020) atinentes apenas aos processos de escorregamentos e corridas de massa, bem como aqueles relacionados à parametrização e cálculo da Vulnerabilidade, ou do próprio grau de Risco a que se destina.

5.2 METODOLOGIA DE MAPEAMENTO DO PERIGO DE INUNDAÇÃO EM ESCALA REGIONAL (FASE 2 - 1:10.000)

Nos tópicos a seguir, tratar-se-á de aspectos relativos ao mapeamento do Instituto Geológico de 2020 na RMSP, suas proposições e componentes para obtenção da cartografia final de Perigo (aqui, Suscetibilidade) em 1:10.000.

5.2.1 UNIDADES DE ANÁLISE

As unidades tratadas neste tópico são aquelas que, no âmbito do projeto, serviram à agregação dos atributos e espacialização dos índices do cálculo de Perigo. Fundamentalmente, se dividem em Subbacias hidrográficas (SBHs) e Unidades Territoriais Básicas (UTBs). Esta última, como mencionado, surge no cruzamento espacial dos limites das UBCs com os das UHCTs (Unidades Homogêneas de Uso e Cobertura da Terra).

Por sua vez, as SBHs delimitadas na Fase 1¹⁶, vêm-se operacionalmente relacionadas às Ottobacias¹⁷ (OBHs) no mapeamento da Fase 2. Estas unidades são utilizadas como forma de individualizar, intrabacia (por exemplo, com avaliações de exutórios internos às bacias), características relevantes à análise e ao refinamento dos cálculos das SBHs em 1:10.000.

¹⁶ Delimitação em 1:25.000, a partir de rotina computacional que considera informações da rede de drenagem e parâmetros morfométricos oriundos do MDE selecionado (IG, 2020).

¹⁷ Disponíveis na base de dados abertos e arquivos digitais disponibilizados pela Agência Nacional de Águas – ANA, as ottobacias (ou bacias hidrográficas *ottocodificadas*) são produto da aplicação do método de classificação de Otto Pfafstatter (1989 apud. IG, 2020), que se baseia na área de contribuição direta dos canais de drenagem, e sobre o qual se arvora um sistema de codificação em 7 níveis de detalhamento.

Estas Subbacias, por partirem das bacias previamente delimitadas por método automático de classificação, passaram por adaptação na Fase 2, na qual bacias adjacentes com apenas drenagens de 1^a ordem, ou nenhuma drenagem, foram unificadas, ou permaneceram inalteradas da Fase anterior.

O sistema de UTBs (e seus planos intermediários constituintes, UBCs e UHCTs) se inscreve nas pesquisas e publicações mencionadas e se comprovaram passíveis de uso em diversos estudos ambientais, principalmente os que recorrer a ferramentas de quantificação e elaboração de índices ambientais (SANTOS, 2004 apud FERREIRA e ROSSINI-PENTEADO, 2013), e em diferentes escalas, na medida que dispõem de níveis de agregação das informações de cada tema.

Trata-se, em suma, de unidades para o armazenamento digital das informações associadas a parcelas do terreno, como verdadeiros bancos de dados geoambientais (VEDOVELLO et al., 2002) que fornecem os insumos para os diferentes mapas temáticos necessários à gestão ambiental e territorial. No que tange à geomorfologia, as diretrizes nacionais para o zoneamento ecológico-econômico, as UBCs prevêem o detalhamento até o quarto nível taxonômico de ROSS et. al. (1992).

As UBCs mobilizadas neste estudo foram delimitadas inicialmente em parceria do IG com a Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais - FUNCATE (VEDOVELLO, 2020), segundo metodologia de Vedovello (2000). Inicialmente apresentadas na escala de 1:75.000, a vetorização em ambiente SIG foi realizada com escala de visualização de até 1:50.000 sobre composições RGB (5/4/3) de imagens da missão LANDSAT, apoiada por Modelos Digitais de Elevação (MDEs) diversos, a exemplo do GISAT (DAEE, 2008 apud Vedovello, 2020) e SRTM (VALERIANO, 2008).

A caracterização hierárquica dos chamados domínios fisiográficos (de natureza geológico-geomorfológica) foi baseada inicialmente na classificação taxonômica de Ross e Moroz (1997, apud. Vedovello et al, 2020), a exemplo da **figura 5.2.1-1**, e na classificação geológica estadual em 1:750.000 de Perrota et. al. (2005 apud Vedovello et al., 2020), resultando em 4 níveis de classificação: 1) Unidades Morfoestruturais e geotectônicas; 2) Unidades morfoesculturais e litoestratigráficas; 3) Unidades de relevo e litotipos; 4)

Unidades básicas de compartimentação (UBC). Além destas classes, figuram como atributos no arquivo digital destas unidades toda uma série de informações sobre o terreno, calculadas em SIG, como se vê na **tabela 5.2.1-1**.

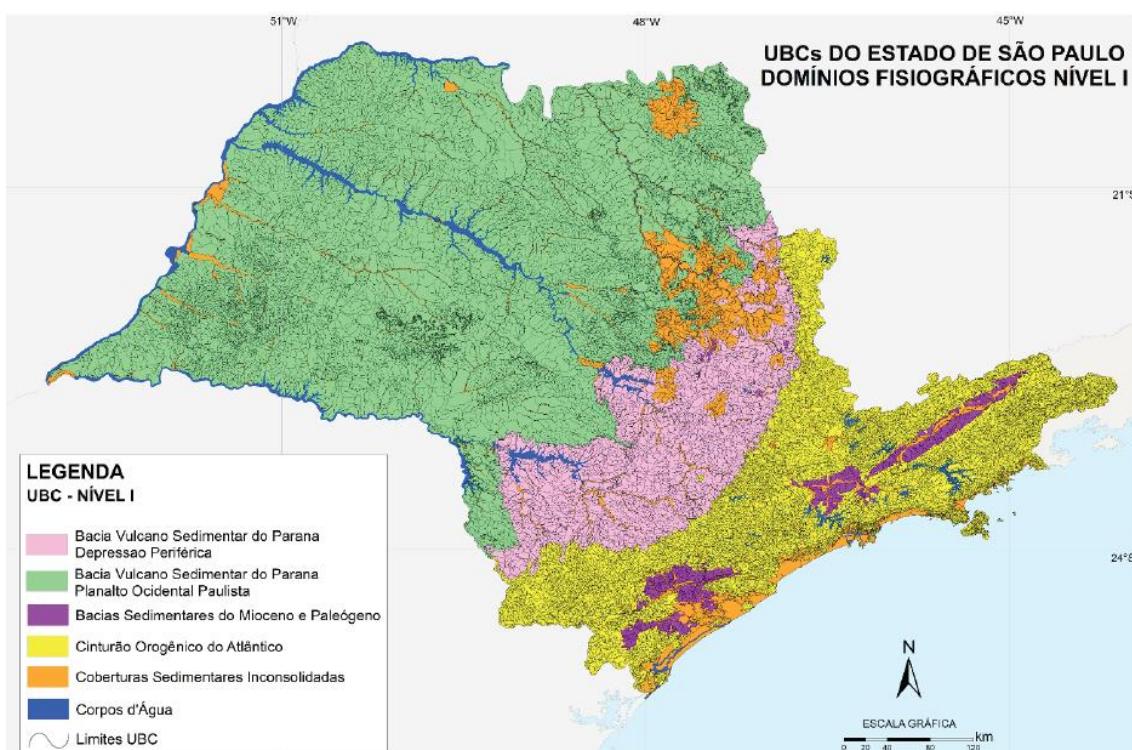


Figura 5.2.1-1 – UBCs do Estado de São Paulo – representação da classificação das Unidades Morfoestruturais e Geotectônicas (ou Domínio Fisiográfico de Nível I). (Fonte: Vedovello et al. 2020)

Tabela 5.2.1-1 - Tabela de atributos associada ao shapefile das UBCs.

Coluna	Descrição
NIVEL_1	Unidades morfoestruturais
NIVEL_2	Unidades morfoesculturais
NIVEL_3	Unidades morfoesculturais, segundo a localização geográfica
NIVEL_4	Unidade Básica de Compartimentação – UBC
DECLIV_MED	Declividade média em graus
AMPLIT_ALT	Amplitude altimétrica em metros
E_HIDR_MED	Média do excedente hídrico em milímetros
DDREN_MED	Média da densidade de drenagem em metros/m ²
DECLIV_N	Declividade média em graus normalizada
E_HIDR_N	Média do excedente hídrico em milímetros normalizada
DDREN_N	Média da densidade de drenagem em metros/m ² normalizada
AMPLIT_N	Amplitude altimétrica em metros normalizada
FOLIACAO	Intensidade de foliação

P_ESC_CLAS	Classes de perigo de escorregamentos para o estado de São Paulo
P_ESC_IND	Índice de perigo de escorregamentos para o estado de São Paulo

Fonte: Vedovello et. al., 2020 adap. BOVE, 2024

Entretanto, no escopo do mapeamento em 1:10.000, estas UBCs foram alvo de detalhamento, com aplicação dos procedimentos já conhecidos, mas sobre produtos mais refinados de sensoriamento remoto (MDE de 5m de resolução, produzido no âmbito do levantamento aerofotogramétrico do Estado de São Paulo pela Emplasa, em 2010/2011) e outros atributos foram adicionados e outros derivados¹⁸. Além disso, a base cartográfica de Geologia utilizada para os atributos das UBCs em 1:75.000, passa-se às referências também da Carta Geológica do Estado de São Paulo (CPRM, 1999 apud. IG, 2020) e a Carta Geológica da Região Metropolitana da Grande São Paulo (Emplasa, 1980 apud IG, 2020).

Mantém-se a referência central de Ross e Moroz (1997 apud IG, 2020) para elaboração do 2º e 3º níveis, mas o 4º nível é então descrito como definido pela “ordenação da unidade obtida pela interpretação dos elementos dos Níveis 1, 2 e 3. O último nível das delimitações das UBCs -nível 4, se baseia na comparação textural de setores menores, quanto aos tipos de elemento textural, densidade dos elementos, arranjo e o grau de organização espacial destes”, consistindo portanto em uma etapa de refinamento baseada na fotointerpretação sobre certo “gabarito” dos primeiros 3 níveis, e produtos de sensoriamento remoto compatíveis com a escala de mapeamento.

Por sua vez as UHCTs, como descritas por Ferreira e Rossini-Penteado (2013) agregam dados do estrato socioeconômico do território, trabalhando com atributos relacionados à classificação do uso e cobertura da terra, além de outros dados relevantes e que se vinculem espacialmente aos polígonos identificados inicialmente por sensoriamento remoto (como informações censitárias). Os níveis hierárquicos da classificação são igualmente 4, sendo: 1) Classe de cobertura da terra; 2) Subclasse de cobertura da terra; 3) Tipologia do uso; 4) Tipo e padrão da ocupação, seguindo a estrutura de categorias definida pela tabela do **Anexo D**.

¹⁸ A exemplo da Posição do Relevo (atributo “plan_enc” no *shapefile* das UBCs), a ser utilizada no presente trabalho, e cujas opções de preenchimento são “Planície”, “Encosta” ou “Água”

Estas passaram pelo mesmo refinamento das UBCs (partindo do dado original em 1:75.000, chegou-se à resolução de 1:10.000 nos dados da Fase 2). Como se verá adiante, respondendo pelo Uso e Ocupação da Terra, as UHCTs são as unidades de agregação primária de um dos principais índices componentes do Perigo Final de Inundações. Estas unidades, como as UBCs, neste projeto, foram retificadas com controle de campo em 200 pontos¹⁹

5.2.2 ÍNDICES COMPONENTES DO PERIGO DE INUNDAÇÕES

Do ponto de vista da operacionalização dos cálculos de Perigo, estas unidades de análise correspondem aos arquivos que contêm as informações do cálculo, estas são reunidas nas unidades apropriadas para a agregação da equação final. Passa-se agora a uma breve caracterização dos índices, e esclarecimento das relações destes com as unidades de análise correspondentes.

Os processos considerados neste tópico serão os de Inundações Graduais e Inundações Rápidas (Bruscas), diferenciação feita com base em Castro (2003 apud. IG, 2014) com diferenças significativas do ponto de vista processual, dos gatilhos pluviométricos, e áreas suscetíveis à ocorrência – como se infere parcialmente pela observação dos hidrogramas teóricos correspondentes a cada uma (**figura 5.2.2-1**).

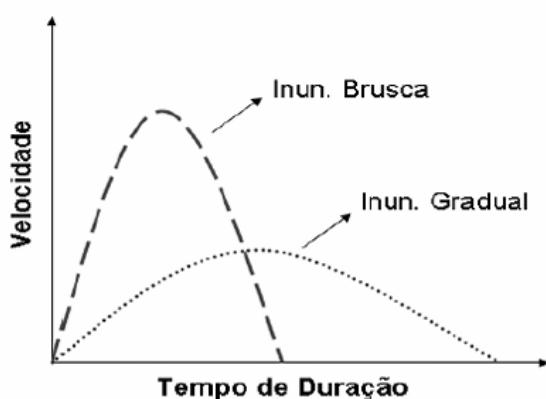


Figura 5.2.2-1 – Hidrograma teórico comparativo das inundações graduais e inundações rápidas ou bruscas. (Fonte: Kobiyama et al., 2016 apud IG, 2014)

¹⁹ Não foi possível, contudo, identificar quais seriam estes pontos, seu critério de seleção, ou outra informação que permitisse utilizá-los como parâmetro na pesquisa.

As inundações graduais ocorrem com o aumento lento e “previsível” do nível d’água, e a situação de cheia mantém-se por algum tempo, escoando gradualmente. Em termos da violência do processo, considera-se baixa, ainda que a área de atingimento seja mais extensa (IG, 2020). Por outro lado, as inundações rápidas ou bruscas, comumente chamadas enxurradas, são processos ativados por “chuvas intensas e concentradas, principalmente em regiões de relevo mais acidentado. A elevação do nível d’água é súbita e seu escoamento é violento. Ela ocorre em um tempo próximo ao evento da chuva que a causa” (IG, 2014). Assim, é um processo com maiores potencial destrutivo, probabilidade de óbitos, capacidade de carrear grandes volumes de materiais. É comum ao longo de vias implantadas sobre antigos cursos d’água com alto gradiente hidráulico e em terreno com alta declividade natural (Brasil, 2007 apud IG, 2014)

Em relação aos índices componentes do grau final de Perigo de Inundações, dividem-se em: Perigo Preliminar e Potencial de Indução Antrópico a Inundações (**figura 5.2.2-2**). Estes consistem nos instrumentos de avaliação, respectivamente, dos componentes naturais e antrópicos no condicionamento físico de determinada área ao processo hidrológico²⁰. O Perigo Preliminar, respondendo à predisposição natural do terreno, é calculado de maneira diferenciada para cada processo, enquanto o Potencial de Indução, respondendo às características da ocupação, é considerado o mesmo para ambas as tipologias (IG, 2020).

$$P_{INU} = (0,7 \times Pp_{INU}) + (0,15 \times PI_{INU_LOCAL}) + (0,15 \times PI_{INU_BC})$$

Onde:

- P_{INU} = Perigo de Inundação
- Pp_{INU} = Perigo Preliminar de Inundação
- PI_{INU_LOCAL} = Potencial de Indução de Inundação Local
- PI_{INU_BC} = Potencial de Indução de Inundação para a Bacia de Contribuição

Figura 5.2.2-2 – Equação e variáveis envolvidas na determinação quantitativa do Perigo Final a Inundações em escala regional a partir das UBCs. (Fonte: IG, 2020 adap Bove, 2024)

²⁰ Nota-se já aqui, a convergência das apreciações sobre o peso relativo das variáveis condicionantes da Suscetibilidade Espacial a Inundações, reservando o espaço de maior influência no modelo às características físicas naturais (70%), ainda que os pesos relativos não sejam explicados no âmbito do relatório consultado.

5.2.2.1 Perigo Preliminar

Em relação a estes índices alguns comentários gerais a serem feitos. Além dos índices morfométricos e parâmetros morfográficos clássicos associados ao perigo/suscetibilidade a inundações, mobilizam-se informações sobre o controle hidrometeorológico a partir da aplicação do método do Hidrograma Unitário Triangular (HUT-SCS) definido por Watt e Chow (1985 apud IG, 2020) para determinação da vazão de pico (Qp) a partir da associação entre comprimento da maior drenagem da bacia e a declividade deste curso (IG, 2020).

Como neste modelo é requerido como entrada o dado de precipitação, foi necessário definir tipologias de chuva para cada processo. Isto foi realizado em consulta ao Cadastro de Eventos Geodinâmicos do Estado de São Paulo (IG, 2018), a ser melhor caracterizado em tópico específico, no qual buscou-se identificar as chuvas associadas a cada tipologia de processo, as quais foram relacionadas às informações complementares da publicação “Chuvas Intensas do Estado de São Paulo” (IG, 2020).

Além disso, no processo de cálculo os resultados, a cada operação realizada, foram normalizados para o intervalo de 0 a 1, e divididos em 6 classes pelo método estatístico de quebras naturais (*natural jenks*), após eliminação dos *outliers* (valores anômalos, que apresentassem variação maior que dois desvios-padrão) (IG, 2020).

a) Inundações Graduais

O Perigo Preliminar de Inundações Graduais é um atributo calculado nas tabelas de atributos das UBCs, especificamente aquelas classificadas como “Planícies” segundo o atributo Posição do Relevo²¹. Nelas, a seguinte equação é processada a partir dos atributos associados na tabela:

$$\text{PPINUG} = 0,1 (1 - \text{DE}) + 0,2 (1 - \text{DC}) + 0,2 \text{ Qp720;50} + 0,2 \text{ DDBC} + 0,1 \text{ ICUBC} + 0,2 \text{ SIN},$$

Onde:

- PPINUG = Perigo Preliminar de Inundação Gradual;

²¹ Às UBCs classificadas como “Encostas” é automaticamente atribuída a classe de “P0 – Perigo Nulo” para inundações graduais.

- DE = Declividade Média da UBC;
- DC = Declividade do Canal, média ponderada dos vetores (aplicada à UBC);
- Qp720;50 = Vazão de Pico de Precipitação - para precipitações intensas de duração de 720 minutos e recorrência de 50 anos;
- DDBC = Densidade de drenagem da bacia de contribuição;
- ICUBC = Índice de Circularidade da UBC

b) Inundações Rápidas (ou Bruscas)

O Perigo Preliminar de Inundações Rápidas é um atributo calculado inicialmente na tabela de atributos das ottobacias. Nelas, a seguinte equação é processada a partir dos atributos associados na tabela:

$$\text{PPINUR_OBH} = (\text{DEOBH} + \text{DCOBH} + \text{Qp60;50} + \text{MEBC} + \text{ICOBH} + \text{SINOBH})/6$$

Onde:

- PPINUR = Perigo Preliminar de Inundação Brusca ou Rápida;
- DEOBH = Declividade Média da ottobacia;
- DCOBH = Declividade do Canal, média dos segmentos de vetores (aplicados à ottobacia);
- Qp60;50 = Vazão de pico de precipitação intensa da área de contribuição da ottobacia para precipitação de duração 60min e recorrência de 50 anos;
- MEBC = Índice de Melton da bacia de contribuição da OBH;
- ICOBH = Índice de Circularidade da OBH;
- SINOBH = Índice de sinuosidade do canal na Ottobacia.

5.2.2.2 Potencial de Indução Antrópico a Inundações

Este fator é calculado inicialmente na tabela de atributos das UHCTs, posteriormente atribuídos às ottobacias (OBHs), para cálculo do índice no âmbito das subbacias (SBHs). Trata-se de um fator comum ao Perigo Final de ambas as tipologias de processo de inundação.

Corresponde ao potencial estimado de cada classe de uso e cobertura da terra induzir (interferir positivamente na probabilidade) a ocorrência dos eventos. Assim, é um índice que se relaciona aos diferentes padrões de uso da terra, tendo sido estimado por meio da ponderação direta dos valores dos atributos a estes (**figura 5.2.2.2-1**), exceto para a classe “Residencial, Comercial e Serviços” (R/C/S).

Classes de Uso e Cobertura da Terra (Nível Hierárquico III)	Potencial de Indução de Inundação local para UHCT PlNU_UHCT
Corpo d'água	0,9
Vegetação arbórea (Formação florestal / Silvicultura)	0,1
Espaço Verde Urbano (Espaço verde urbano)	0,3
Vegetação Herbácea-Arbustiva (Área úmida / Pastagem / Agricultura)	0,3
Solo Exposto / Área Desocupada (Solo exposto / Afloramento rochoso)	0,5
Loteamento (Loteamento em implantação)	0,4

Figura 5.2.2.2-1 – Valores de Potencial de Indução Antrópico à Inundação. (Fonte: IG, 2020)

Para este caso específico (e expressivo no território) – R/C/S – o fator Potencial de Indução foi obtido pelo cálculo de um Índice de Infraestrutura (IF), envolvendo os atributos descritos abaixo, e variando de 0,5 a 1.

$$IF = (CE + CL + DOEOin + PAin)/4$$

Sendo:

- CE = Índice de Coleta de Esgoto;
- CL = Índice de Coleta de Lixo;
- DOEOin = Índice de Densidade/Estágio de Ocupação;
- PAin = Índice de Pavimentação

6 COMPARAÇÃO DOS MAPEAMENTOS DAS PLANÍCIES FLUVIAIS

Caracterizados os polos da comparação proposta como sendo **a)** os limites das planícies fluviais (desconsiderando-se sua compartimentação interna²²) no mapeamento de Rodrigues et al. (inédito) e **b)** os limites exteriores das UBCs definidas no âmbito do projeto de mapeamento de riscos na RMSP (IG, 2020)

A análise comparativa dos mapeamentos considerou as seguintes etapas

1) Coleta, seleção e organização de dados:

- Reunião dos produtos cartográficos para comparação (planícies originais e UBCs do tipo planície);
- Levantamento das bases de dados temáticos e produtos de sensoriamento remoto²³ utilizados como insumo do mapeamento do IG (2020)²⁴ pertinentes à reconstituição da delimitação das UBCs.
- Realização de recortes e aplicação de filtros para seleção de dados pertinentes à avaliação dos processos de inundação: filtragem dos pontos de ocorrência com grau de confiabilidade 1 (endereço completo, com numeração) dentre os registros do Cadastro de Eventos Geodinâmicos (IG, 2018). Filtragem dos pontos referentes aos processos de enchentes e inundações, excluindo-se os registros de processos geológicos e alagamentos²⁵. A síntese dos pontos encontrados para cada bacia, com sua totalização e distribuição anual, pode ser verificada no **Apêndice A (Tabela A)**.

²² Isto devido ao fato das UBCs definidas no projeto do IG (2020, Fase 2) não se comprometendo com os objetos da geomorfologia fluvial, restringiu o mapeamento das planícies à identificação dos setores aplainados que corresponderiam à dinâmica processual do sistema de fundo de vale.

²³ Trata-se neste caso de MDE (Modelo Digital de Elevação) composto para abranger toda a área do projeto com a melhor resolução disponível, obtido pela mosaicagem dos seguintes produtos, declarados no relatório

“1) Modelo Digital de Terreno (MDT) obtido a partir da interpolação dos dados vetoriais das cartas topográficas fornecidas pela Agência Metropolitana da Baixada Santista (AGEM); 2) MDT FUNCATE elaborado com o objetivo de ortorretificar as imagens dos satélites IKONOS na Região Metropolitana de São Paulo, fornecido pelo IG; 3) Modelo Digital de Superfície (MDS) do Projeto Mapeia São Paulo, EMPLASA (2010/2011)” (IG, 2020)

²⁴ Não se obteve acesso aos insumos do mapeamento das morfologias fluviais originais (Rodrigues et. al., inédito)

²⁵ Isto se deveu à consideração conceitual de que o registro dos alagamentos tende a não se diferenciar fortemente das enchentes e inundações em contextos de urbanização avançada, a não ser em condições

- Coleta dos setores de perigo de inundação mapeados em escala de detalhe (1:3.000), cuja metodologia é detalhada no **Apêndice B**.
- Produção de dados derivados do MDE (Emplasa, 2010), de 5 m de resolução para caracterização das bacias e UBCs (hipsometria, sombreamento do relevo, declividade, inclinação, curvaturas vertical e horizontal).

2) Seleção da área de estudo: Definição das unidades espaciais ²⁶para comparação por amostragem intencional (não-aleatória), considerando a representatividade de diferentes condições das planícies de inundação (frente hipsometria, formas de bacia, etc), e a partir dos critérios:

- Área de contribuição (não muito superior a 10 km²),
- Ordenamento da rede de drenagem segundo Strahler (2^a ou 3^a ordem),
- Quantidade e distribuição geral dos pontos de ocorrência de inundações, enchentes e alagamentos com alto grau de confiabilidade espacial no Cadastro Georreferenciado de Ocorrências (IG, 2018) – verificados por inspeção visual.
- Quantidade e distribuição geral dos setores de perigo alto e muito alto para inundação mapeados pelo Instituto Geológico em 2020.

3) Produção cartográfica: Elaboração dos mapas temáticos e de sobreposição dos limites dos mapeamentos. A relação dos temas dos mapas produzidos consta no **Apêndice A - Tabela C**.

4) Análise das sobreposições: os procedimentos dessa etapa consistiram em:

- Análise qualitativa visual e descritiva dos mapas produzidos²⁷, avaliando por duas abordagens:
 - Por tema (todas as bacias)

muito evidentes da situação da ocorrência frente ao terreno, de modo que a separação dos registros por tipologia poderia acarretar em perdas de informação.

²⁶ Estas unidades, similares até certo ponto a subbacias hidrográficas, são obtidas por integração das ottobacias mantidas pela Agência Nacional de Águas como referência para gestão hídrica no Brasil. Como mencionado, apresentam inconsistências quanto à delimitação de bacias propriamente, incorporando áreas de contribuição difusa do canal principal, no caso de tributários diretos de grandes rios como o Tietê, cuja ampla planície complexifica o processo de delimitação.

²⁷ Mapas temáticos produzidos e sobreposição dos limites dos mapeamentos aos produtos derivados do MDE utilizado (IG, 2020)

- Por bacia (todos os temas)
- Análise qualitativa e quantitativa das sobreposições, nas seguintes situações:
 - Sobreposição dos limites das planícies fluviais originais (Rodrigues et. al., inédito) e das UBCs do tipo planície (IG, 2020)
Parâmetro analisado:
 - Percentual de sobreposição (por bacia)
 - Sobreposição dos limites das planícies fluviais originais (Rodrigues et. al., inédito) e dos pontos de ocorrência de enchentes e inundações (IG, 2018).
Parâmetro analisado:
 - Percentual de pontos de ocorrência dentro do polígono delimitado (por bacia).
 - Sobreposição dos limites UBCs do tipo planície (IG, 2020) e dos pontos de ocorrência de enchentes e inundações (IG, 2018).
Parâmetro analisado:
 - Percentual de pontos de ocorrência dentro do polígono delimitado (por bacia).
- Análise qualitativa das sobreposições nas seguintes situações:
 - Sobreposição dos limites das planícies fluviais originais (Rodrigues et. al., inédito) e dos setores de Perigo mapeados em escala local – 1:3.000 (IG, 2020).
Parâmetro analisado:
 - Percentual dos setores com área dentro dos polígonos delimitados (por bacia)
 - Análise dos setores em área de divergência
 - Sobreposição dos limites das UBCs do tipo planície (IG, 2020) e dos setores de Perigo mapeados em escala local – 1:3.000 (IG, 2020).
Parâmetro analisado:

- Percentual dos setores com área dentro dos polígonos delimitados (por bacia)
- Análise dos setores em área de divergência

6.1 ÁREA DE ESTUDO: LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO

No que concerne à taxonomia do relevo (ROSS, 1992), o conjunto amostral de microbacias hidrográficas focalizado neste trabalho, de 2^a e 3^a ordens, inserindo-se no contexto metropolitano da Grande São Paulo, situa-se integralmente sobre a morfoestrutura do Planalto Atlântico (Almeida, 1958 apud RICCOMINI et. al. 1992 / 1º Táxon – Ross e Moroz, 1997). Do ponto de vista morfoescultural (2º Táxon), contudo, registra-se relativa diversidade entre as amostras (**figura 6.1-1**), que se sustentam, além das formas do sistema fluvial, pelas características interfluviais que marcam 1) o Planalto de São Paulo (colinas e morros sedimentares – 3º Táxon), pelo Planalto Paulistano/Alto Tietê (morros) e mesmo pelo Planalto Serra da Mantiqueira, cujo padrão de formas de relevo (3º táxon) descreve-se como morros (altos e baixos). A **figura 6.1-2 (Apêndice C – Tema 8)** ilustra a distribuição espacial dos padrões de formas de relevo, mapeados em 1:25.000 por CPRM e IPT (2014), e que correspondem ao nível de catografia do 3º táxon (ROSS, 1992).

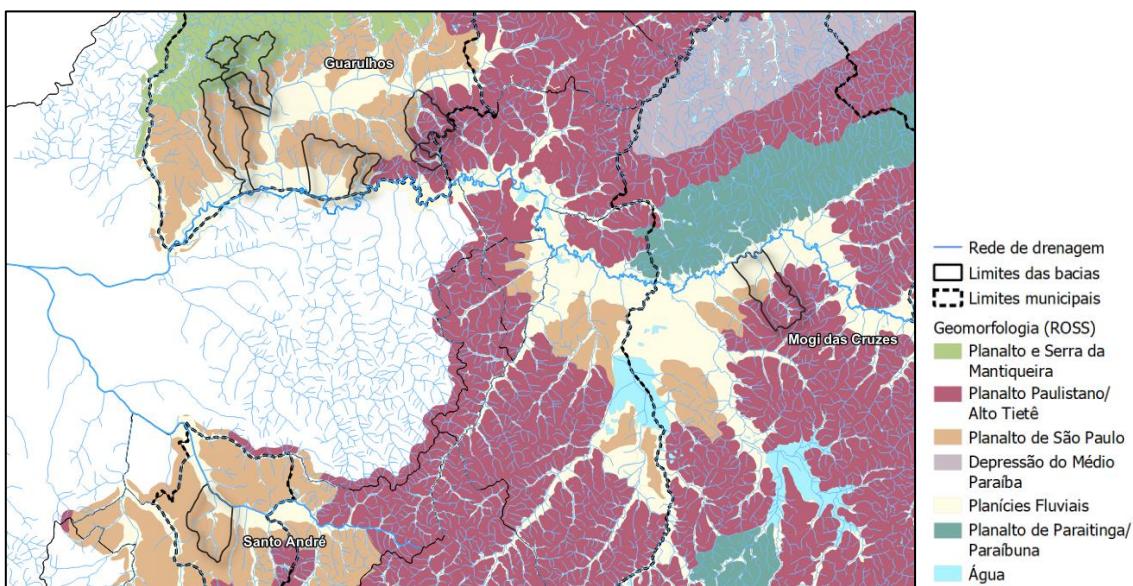


Figura 6.1-1 – Ilustração das Unidades Morfoesculturais (ROSS e MOROZ, 1997, apud. IG 2020), Nível 3 de classificação das UBCs, mapeados nos municípios abrangidos pelo projeto do IG (2020). (Elaboração: Bove, 2024)

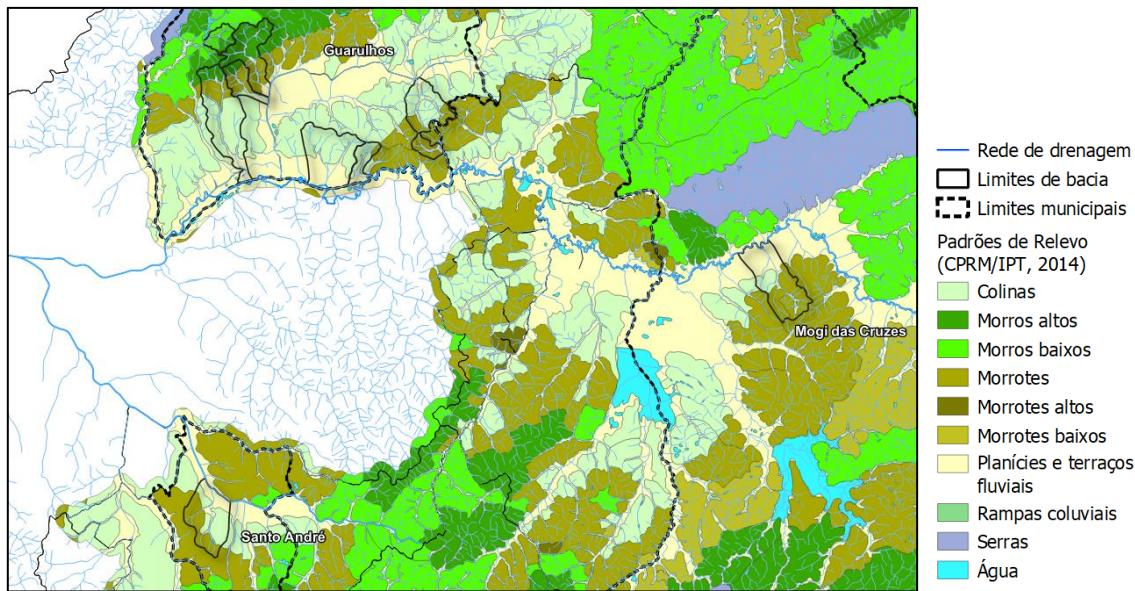


Figura 6.1-2 – Ilustração dos Padrões de Relevo (CPRM/IPT, 2014), Nível 4 de classificação das UBCs, mapeados nos municípios abrangidos pelo projeto do IG (2020). (Elaboração: Bove, 2024)

Assim, do ponto de vista da geologia regional, verificam-se tanto as unidades associadas aos processos de sedimentação (quaternária e/ou cenozóica), que caracterizam o Rift Continental do Sudeste Brasileiro – RCSB (RICCOMINI et. al. 1985; RICCOMINI et al, 1992; RICCOMINI, 2004; etc.), e dentro dele a Bacia de São Paulo, quanto aquelas do embasamento cristalino circundante (Complexo Embu, Grupo Serra do Itaberaba, suítes graníticas, etc).

A distribuição espacial destas diferentes unidades litológicas acompanha a do gradiente altimétrico e também a dos intervalos de declividade, duas variáveis-chave para caracterização das morfologias interfluviais que sustentam, ilustradas nas **figuras 6.1-3 e 6.1-4**, e em maior detalhe no **Apêndice C (Temas 3, 4 e 14)**. Neste sentido, predomina a ocorrência de rochas ígneas nos setores de cabeceira, e litologia sedimentar cenozoica em porções intermediárias da bacia, bem como sedimentos aluviais nos fundos de vale.

Entretanto, a sobreposição das cartas e dos limites das bacias permitiu encontrar também exemplos de transição direta entre o embasamento cristalino e os sedimentos registrados como quaternários (Qa), e mesmo um caso de inversão, que pode estar relacionado às diferentes escalas de mapeamento, da geologia, e dos divisores hidrográficos de pequena ordem.

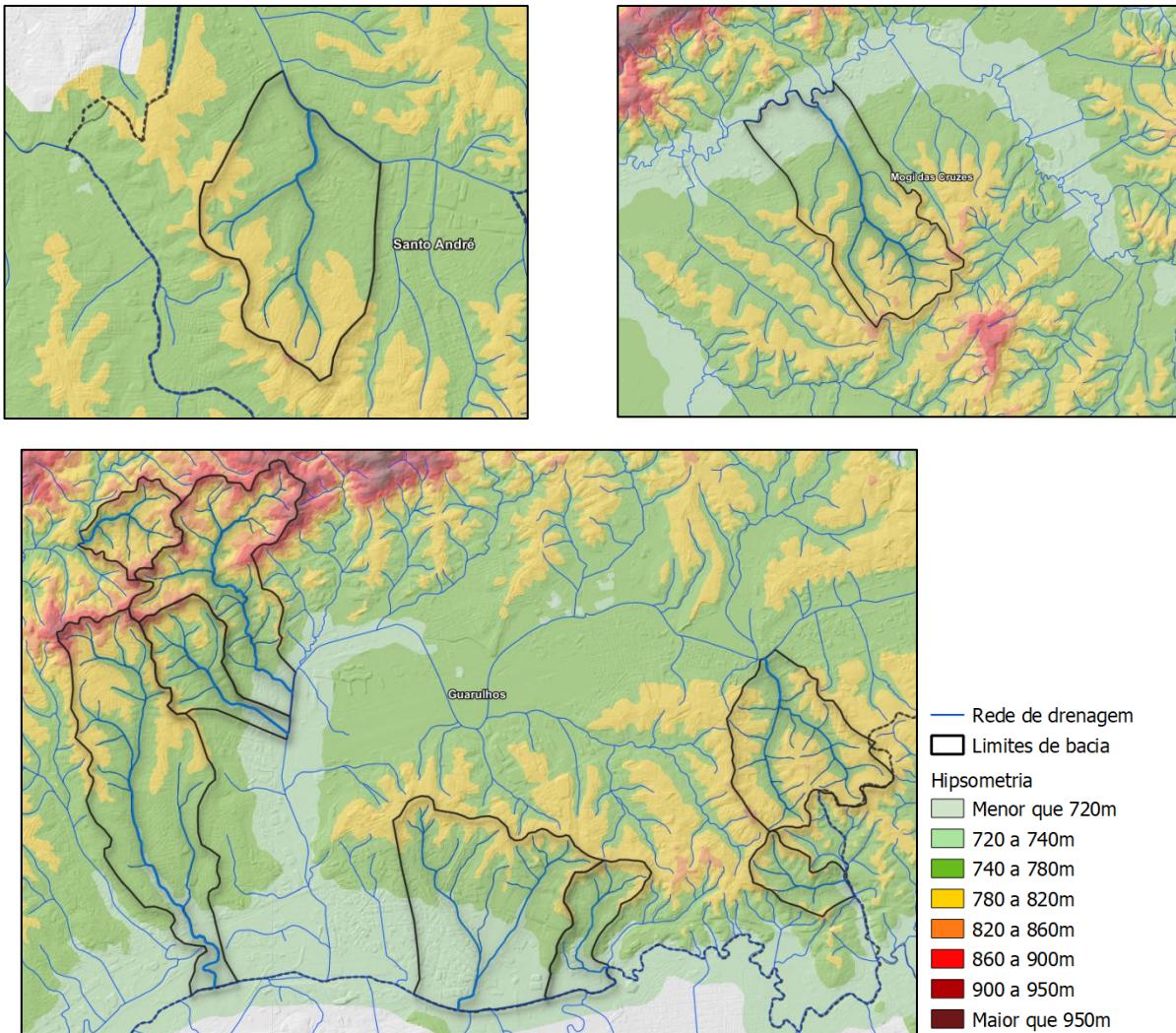
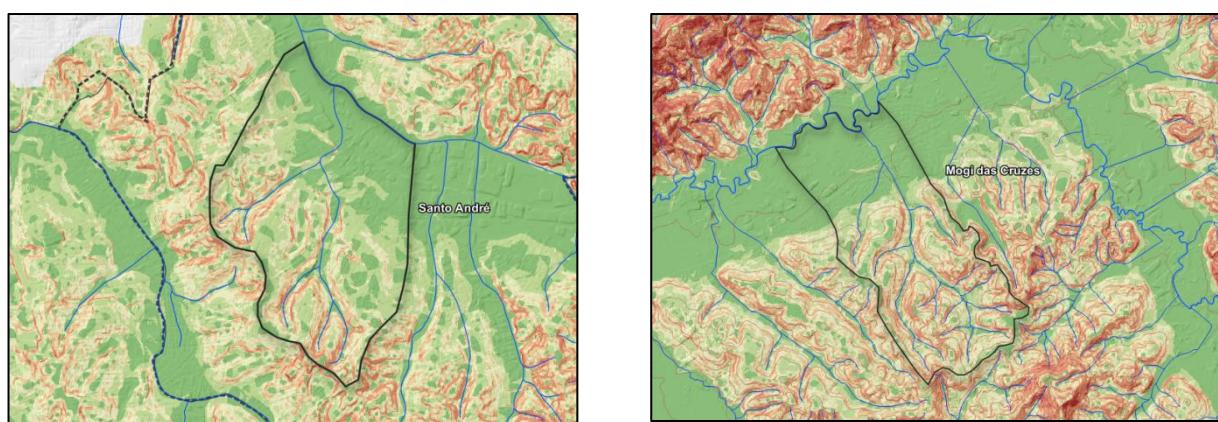


Figura 6.1-3 – Hipsometria das bacias amostrais em visualização aproximada. (Elaboração: Bove, 2024)



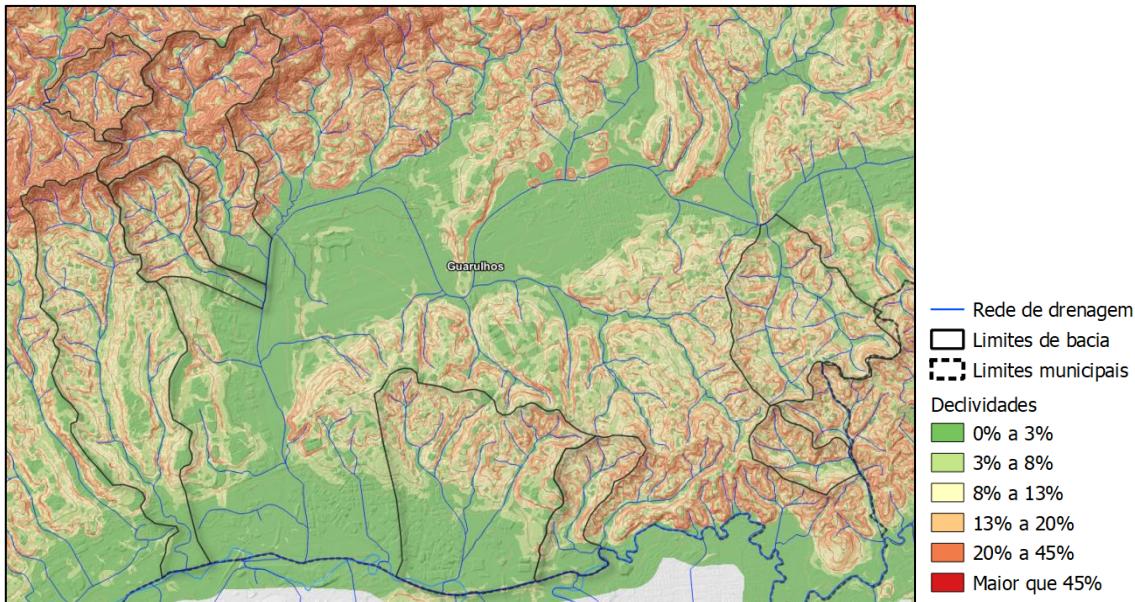


Figura 6.1-4 – Declividades das bacias amostrais, classificadas de acordo com Embrapa (1979), em visualização aproximada. (Elaboração: Bove, 2024)

Em relação às planícies fluviais do rio Tietê, tomadas a nível regional, o panorama da geologia e geomorfologia quaternária paulista de Ab'Saber (1969), se tratariam de feições holocênicas com posição fisioestratigráfica de fácil discriminação, associando-se sempre aos fundos de vale, enquanto os níveis de terraceamento inseririam-se entre as feições de vertente, com idade pleistocênica.

Segundo Ab'Saber (1969), os baixos terraços, margeando descontinuamente as calhas fluviais mais recentes (2,5 a 7m de diferença altimétrica) seriam via de regra mantidos por cascalhieiras, e teriam origem predominantemente climática, registrando antigos lençóis aluviais grosseiros. E ainda que esta interpretação ressoe na maioria dos geomorfólogos brasileiros, ainda não se descarta por completo a hipótese neotectônica, com breve retomada de movimento epirogenético ascensional na passagem do Pleistoceno para o Holoceno, em território paulista e paranaense, como se desenvolve na vasta obra de Moraes do Rego (vários, apud. Ab'Saber, 1969).

A **figura 6.1-5** ilustra um recorte do mapa de Suscetibilidade a Inundações (CPRM/IPT, 2015) para a área de estudo, indicando, grosso modo, os níveis topográficos internos ao sistema fluvial, cujos limites exteriores coincidem como o mapa de 2014 anteriormente apresentado. Ilustra também, oportunamente, o fato já mencionado de, como as diferentes morfologias da esculturação fluvial descrevem marcantes níveis topográficos na paisagem,

podem se inserir como importantes variáveis na produção de modelos para avaliação regional da suscetibilidade a inundações a partir da topografia digital do terreno.

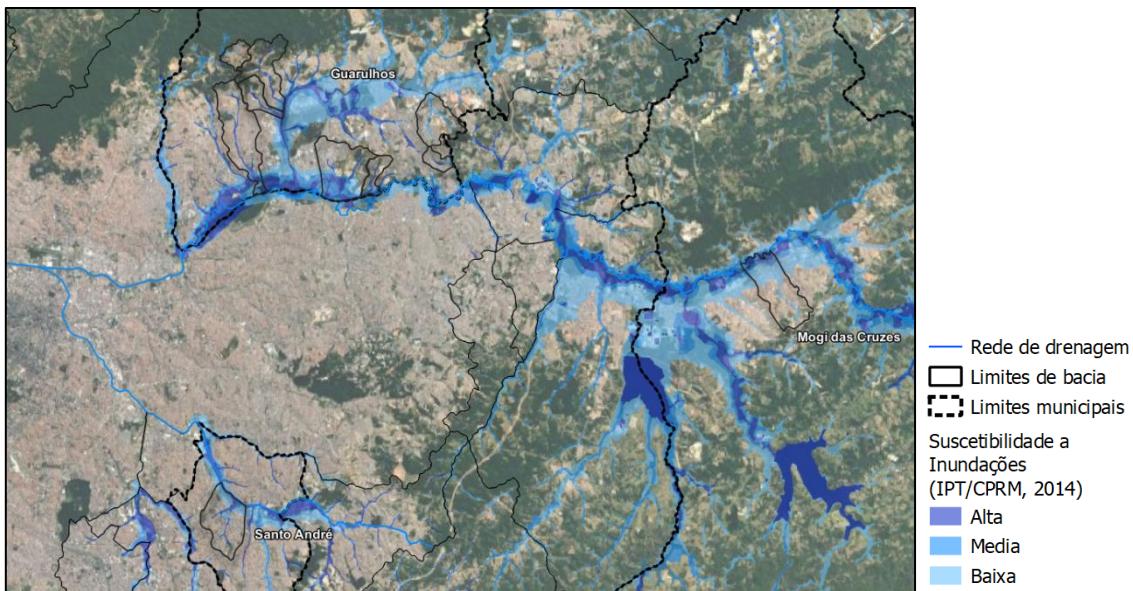


Figura 6.1-5 – Ilustração dos setores delimitados no mapeamento de Suscetibilidade a Inundações (CPRM/IPT, 2015) em 1:25.000 (Elaboração: Bove, 2024)

Conectado ao sistema interfluvial, o sistema de planícies do Tietê é apresentado por Ab'Saber (1978) como se segue:

“Para se avaliar a importância do espaço abrangido pela planície fluvial do Tietê, bastaria dizer que a mesma, desde Barueri até Biritiba – Mirim (confluência do Paraitinga Paulistano - Alto Tietê) - por um eixo maior de aproximadamente 60 km - apresenta largura girando entre 1,5 - 2,0 km em média, sem quaisquer estrangulamentos, dignos de maior nota. A relação entre a largura do rio Tietê (60 - 80 m) e a largura média da faixa aluvial (1 800 - 2 200 m), sujeita a cheias e inundações (até um passado muito recente), [ultrapassa] em muito a relação obtida em outras planícies meandrinas situadas em compartimentos de planaltos, no Brasil e alhures.

Entre a confluência do Tietê com o Pinheiros e o setor aluvial de Vila Maria Baixa, os terrenos mais rasos e inundáveis do Tietê, até 1954, localizavam-se a 718 – 720 m, aproximadamente. Por oposição às colinas mais elevadas, imediatamente ao norte da faixa aluvial - e que serviram de sítio para os bairros urbanos de além-Tietê - possuíam altitude girando em torno de 770 – 780 m e 790 – 810 m.

Ao sul das várzeas do Tietê, na faixa considerada, há um maior escalonamento de níveis [e o] escalonamento mais definido de níveis topográficos na margem esquerda do Tietê e a ausência de degraus perceptíveis na margem direita marcam um perfil assimétrico para as vertentes do vale.

Subtraída a tendência para escalonamento de níveis, que é um fato de presença mais local (válido sobretudo para o sitio da área central da cidade), em ambas as margens do Tietê existem elevações colinosas de até 90 - 123 metros, acima do nível de referência representado pelas várzeas. Tal fato define o conjunto das planícies regionais como uma planicie aluvial de compartimento do planalto, embutida em um sistema de colinas. O nível médio das colinas mais elevadas gira em torno de 800 - 820 metros, enquanto o nível das planícies aluviais, outrora submersíveis do vale do Tietê, em seu principal setor dentro da área metropolitana de São Paulo, é de aproximadamente 720 - 722 metros.

Sobre estas planícies Ab'Saber (1978) sugere uma gênese desenvolvida sobretudo no final do Pleistoceno, início do Holoceno, sustentada por processos ativos e contínuos até pouco antes das grandes obras de retificação e drenagem da década de 1940 e 1950, realizadas pela Prefeitura de São Paulo e pela Light. No período anterior a estas grandes intervenções que culminaram no enxugamento relativo da faixa aluvial construída pelo trabalho milenar das inundações do Tietê, prossegue Ab'Saber (1978), “havia um *fundo quase plano de aluviões e solos hidromórficos*, encostando-se ao Norte nos sopés de colinas e morros (predominantemente cristalinos) e ao Sul, atingindo a base dos taludes de terraços fluviais, mantidos por cascalheiros e aluvies grosseiros, bem mais que os sedimentos finos da planicie atual propriamente dita” (destaque nosso).

A descrição de Ab'Saber (1978) dá conta ainda de que, “ao centro do conjunto aluvial mais raso e mais recente, desenvolvia-se o cinturão meandrino, com altura ligeiramente superior as das várzeas que o ladeavam. Os diques marginais do cinturão meandrino alcançavam de 1,20 a 1,50 m acima do nível das várzeas mais próximas (*backswamps*). Estas, por sua vez, alteavam-se imperceptivelmente das vertentes das colinas, morros e terraços, que as limitavam. Não existiam falsos rios entre a base das vertentes e o início. No entanto, alguns meandros situavam-se, ocasionalmente, muito próximos à base dos taludes de terraços fluviais, mantidos por cascalheiras, como era o caso de meandros abandonados existentes a leste do Parque São Jorge”.

Ainda em termos descritivos, Ab'Saber (1978) indica que a morfologia da planície do Tietê reflete três principais padrões de solos e sedimentos:

“*T(al)* - faixa de aluviação principal, compostos de detritos finos, oriundos de mistura por processos flúvio-aluviais de transporte e sedimentação, recortamento e recheio;

T(oo) - faixa de extravasamento lateral das águas com sedimentos em solução e flutuação, com predominância quase total de “finos” e forte hidratação responsável pela formação de rasas bacias orgânicas, em pântanos ribeirinhos;

T(o) - faixa máxima de extravasamento lateral das águas com sedimentos finos, transportados por solução e flutuação (por ocasião das grandes inundações), em áreas menos sujeitas a encharcamentos e formação de bacias orgânicas.”

Apesar de se situarem em território majoritariamente planáltico (altitudes entre 300 m e 900 m), a maioria dos rios paulistas apresenta planícies aluviais, com grande diversidade em largura, extensão e conformação (AB'SABER, 1969). Quanto à forma, ou disposição em plano, as planícies apresentam-se na forma de pequenos e recentes alvéolos até largas e extensas calhas de escala decaquilométrica (AB'SABER, 1969).

De modo geral, segundo Ab'Saber (1969), é o predomínio de carga detritica fina, em suspensão e solução na carga sedimentar dos grandes rios paulistas do domínio dos mares de morros que explicaria a grande recorrência de planícies meândricas típicas na porção leste do estado de São Paulo, não sem advertir que os “cinturões meândricos, com ponderáveis massas de areias e siltes, refletem mais o saldo residual de materiais removidos dos baixos terraços e dos depósitos arenosos basais, do que propriamente os sedimentos gerados na fase climática atual”.

O autor afirma que, via de regra, nas áreas serranas accidentadas do Planalto Atlântico há maior ocorrência de planícies de conformação alveolar, e que nessas áreas de alargamento local dos vales (tratando-se do domínio dos mares de morros), “coincidem sempre com sítios localizados a montante de soleiras rochosas resistentes e são tanto maiores quanto fôr o número de pequenos cursos d'água aí concentrados” (AB'SABER, 1969), como é o caso setor do Alto Tietê, caracterizado inteiramente como trecho metropolitano, e situado entre as principais cabeceiras e a soleira de Barueri.

Ainda em seu estudo de 1969, o autor reafirma a existência de diferença indiscutível entre “a sedimentação flúvio-aluvial da base das planícies de inundação paulistas, quando cotejados com os sedimentos aluviais finos, da área superior de aluviação em processo” (AB'SABER, 1969). E neste sentido, contextualiza o conhecimento público sobre a

exploração de areia na região de São Paulo passar pelo "destampamento" da várzea, para que se atinjam os depósitos inferiores, de maior volume e valor para materiais de construção. Isto por se tratarem de lençóis aluviais com areias e pedregulhos associados, de distribuição bem mais irregular do que os finos superiores das várzeas, ou "back swamps" (AB'SABER, 1969).

6.1.1 O PROCESSO DE URBANIZAÇÃO – PERTURBAÇÃO ANTRÓPICA NA BACIA DO ALTO TIETÊ

Em seu texto de 1978, inteiramente dedicado à análise das planícies do Tietê, Ab'Saber ainda discorre sobre o processo de ocupação dos sistemas originais no último século. Afirma que a vocação das colinas paulistanas para a ocupação, em um primeiro momento reduziu as planícies à condição de espaço de reserva para a expansão urbana. Já na década de 1940 ficava clara a tendência a ocupar estas porções do território com as mais importantes artérias do sistema viário metropolitano, para ligação entre a circulação interna e externa da planície, ao mesmo tempo articulando e desafogando os setores residenciais, de ocupação mais densa e tradicional.

Apenas nas décadas de 1950 e 1960, quando o plano de aproveitamento rodoviário já estava em plena execução (construção do sistema das marginais Tietê-Pinheiros), é que surgia a discussão sobre um aproveitamento múltiplo, porém o destino parecia selado. Decidindo-se a sociedade pela vocação rodoviária das várzeas, esta pressionou a concentração industrial, e junto desta, pelo adensamento habitacional das áreas inundáveis (processo estudado a fundo no trabalho seminal de Seabra, 1987), e "em menos de 15 anos a cidade que nasceu e cresceu sobre colinas e que elegeu as colinas como seu tipo ideal de sítio topográfico desceu para as várzeas, ocupando setores e glebas importantes das planícies recém-enxugadas pelas obras da Companhia Light" (Ab'Saber, 1978).

O resultado paisagístico deste processo é aquele da formação das Unidades de Morfologia Complexa, conforme preconizado pela Antropogeomorfologia (RODRIGUES, vários), contudo, descrição interessante do processo é apresentado também por Pellogia (2005), partidário da Teoria do Relevo Tecnogênico, cuja afinidade com a teoria anteriormente mencionada é prontamente reconhecível. Segundo o autor:

"As antigas áreas de aluviação quaternárias freqüentemente são transformadas em planícies tecnogênicas, que são modelados de segundo tipo, correlacionados a deposição (processo de agradação), e nas quais ocorre a homogeneização da compartimentação anterior (retificação dos canais com padrão arbitrário, geométrico, em lugar dos meandros livres ou divagantes; aterramentos generalizados destruindo os níveis de terraços, diques marginais e brejos inundáveis). Assim, nessas áreas urbanas não existem mais "planícies fluviais quaternárias" (como categoria geomorfológica), conquanto possam restar, via de regra soterrados pelos "terraços antrópicos" (expressão de AB'SABER, 1980), os depósitos aluviais quaternários." (PELLOGIA, 2005)

Contudo, reconhece o autor que é mantido em algum grau, variável, a dependência do relevo tecnogênico em relação ao substrato e às formas originais. Deste modo, exemplifica que o ravinamento em um conjunto de ruas que se abra em certo loteamento, expondo as alteritas de rochas xistosas ou gnáissicas, será mais ou menos intenso em função da relação entre a disposição da rua e a orientação das estruturas planares desses materiais, entre outras circunstâncias em que as propriedades originais persistam e possam se expressar em termos dos processos e taxas esperados.

Assim, segundo Pellogia (2005) apesar de drástica transformação, as antigas várzeas em geral continuam a configurar compartimentos relativamente planos, diferenciados em relação aos compartimentos contíguos, porém sua estruturação original não é mais reconhecível (a não ser por "anomalias" de traçado viário ou de limites de propriedades que seguem antigos traçados de canais fluviais, e que podem ser reconhecidos como relíquias de uma geomorfologia passada).

Fica claro que compartimentos como planícies ou conjuntos de colinas ou morros esculpidos sobre um determinado substrato, que representam formas de 3º e 4º táxons, mesmo alterados, ainda podem ser reconhecidos como tal, enquanto que "as formas menores são obliteradas por um recobrimento quase homogêneo de depósitos tecnogênicos" (Pellogia, 2005)²⁸.

²⁸ Assim, sugere o autor que o limite taxonômico do relevo tecnogênico é dado pela capacidade da ação geomorfológica da sociedade ganhar escala, variável dada por fatores econômicos, sociais e tecnológicos.

6.2 SOBREPOSIÇÕES: PLANÍCIES FLUVIAIS E UBCs

Reunidos os vetores dos mapeamentos para comparação (**figura 6.2-1 e 6.2-2**), foi realizada a análise de seus traçados (**figura 6.2-3**) sobre mapas temáticos, bem como sobre produtos e subprodutos de sensoriamento remoto, estes últimos gerados com diferentes classificações a nível de testagem, com objetivo de identificar as configurações que pudessem corresponder às que levaram ao raciocínio utilizado na interpretação que levou à restituição cartográfica do terreno, em especial no mapeamento de UBCs, cujos insumos de mapeamento puderam ser encontrados e utilizados diretamente.

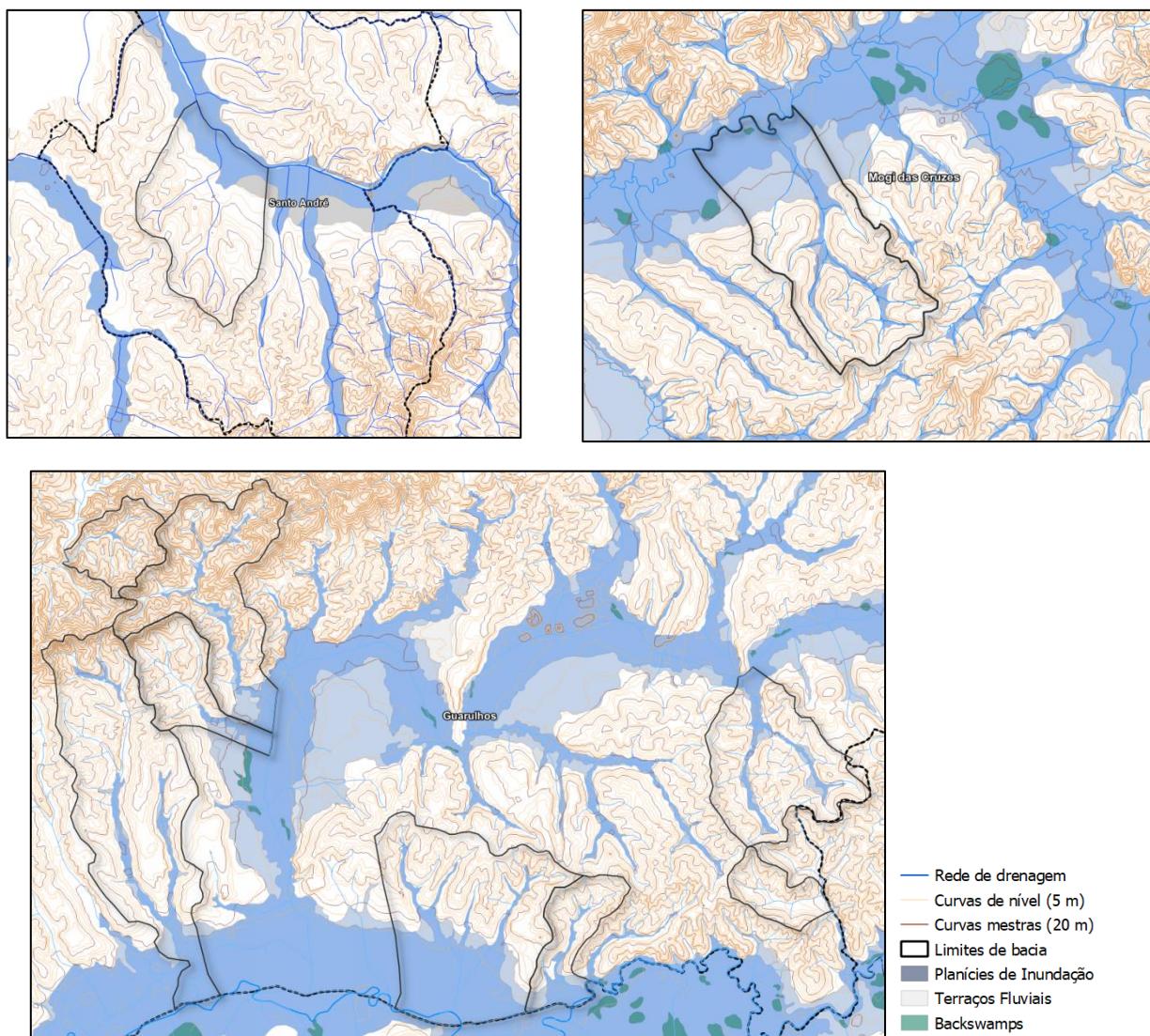


Figura 6.2-1 – Ilustração do mapeamento de Rodrigues et al. (inédito) das morfologias originais do sistema fluvial da Bacia do Alto Tietê (Elaboração: Bove, 2024)

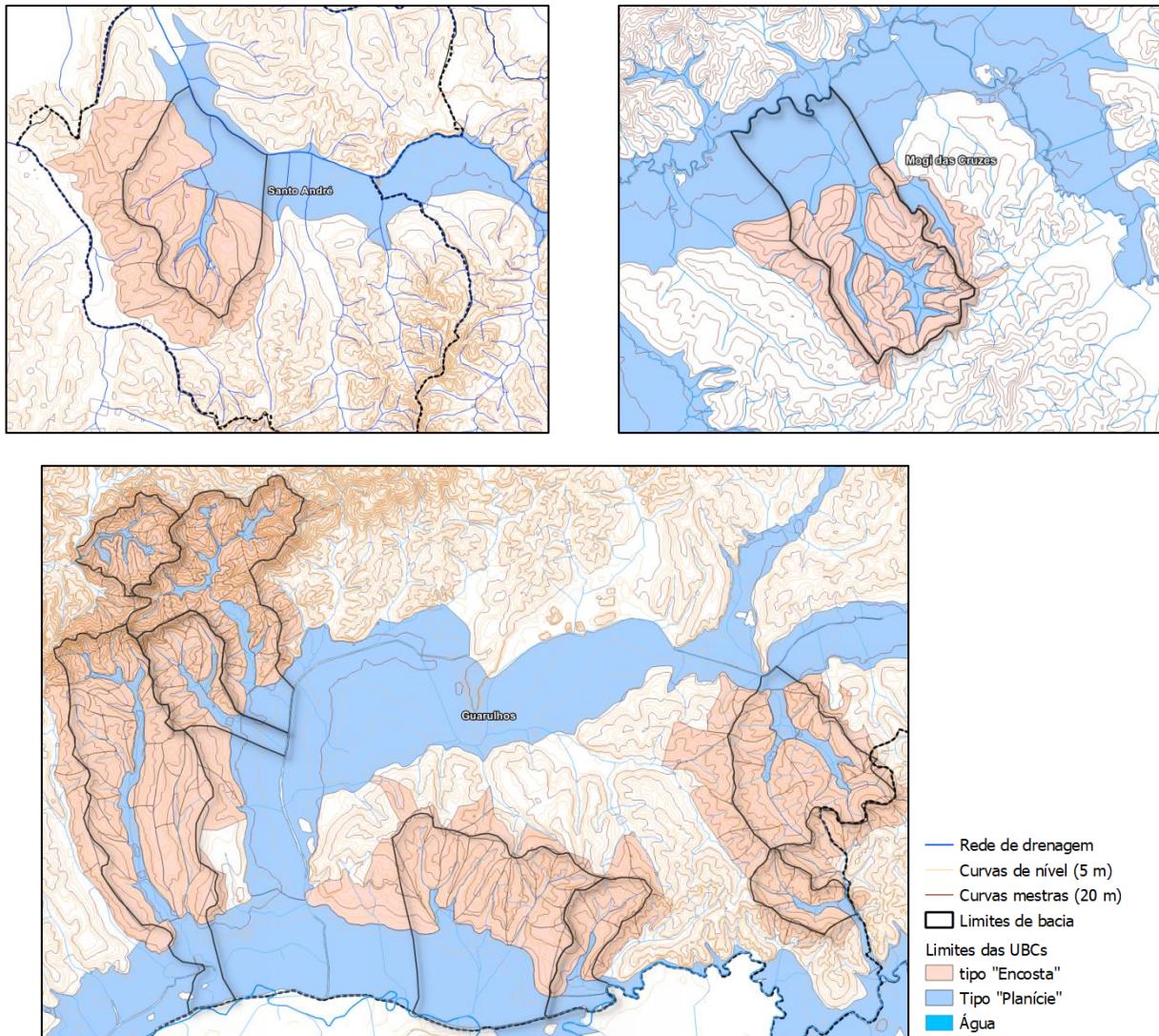


Figura 6.2-2 – Ilustração da distribuição das UBCs delimitadas no interior das bacias amostrais, classificadas entre Planícies e Encostas, no mapeamento do IG (2020) (Elaboração: Bove, 2024)

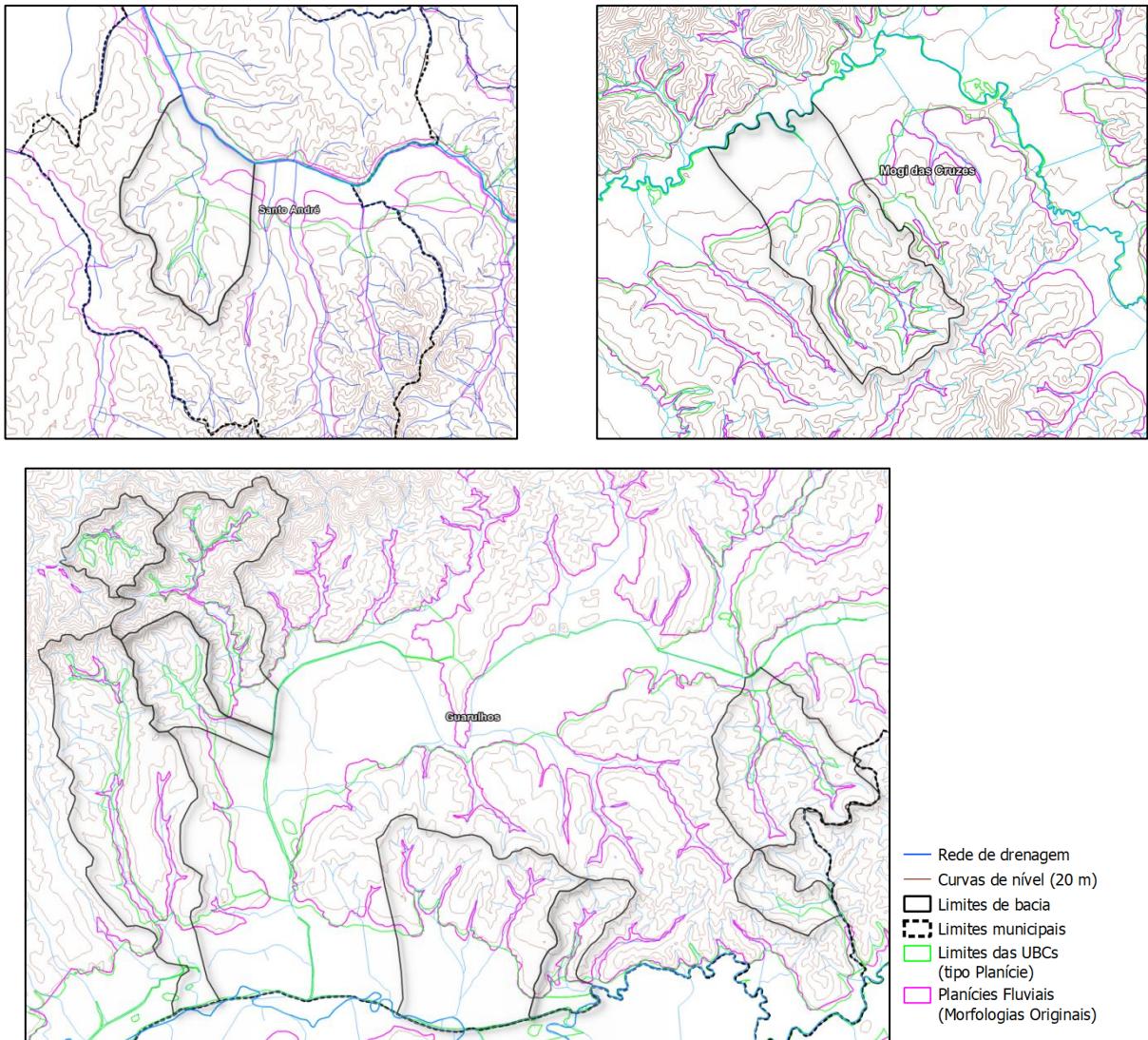


Figura 6.2-3 – Visões aproximadas da sobreposição dos limites mapeados por Rodrigues et al (inédito), em roxo, e por IG (2020), em verde, sobre curvas de nível (20 m de equidistância).

Ressalta-se que não se ilustra aqui com a integralidade dos dados, senão com o que diz respeito às bacias selecionadas e seu entorno. (Elaboração: Bove, 2024)

Os subprodutos principais do MDE utilizado como fonte de dados topográficos foram aqueles elencados por Valeriano (2008) – declividade e as curvaturas horizontal e vertical, ficando a orientação de vertentes e o sombreamento do relevo (*hillshade*) como camadas auxiliares para reconstituição do processo de fotointerpretação. Com estas diferentes camadas-base para as sobreposições, pode-se verificar a prevalência de um ou outro fator na definição dos limites do sistema interfluvial (ou de encostas) e do sistema fluvial – ou a planície fluvial, limite exterior das áreas controladas pelos processos fluviais. Os fatores de

maior peso foram a declividade, a curvatura vertical, conforme sugere a análise dos mapas de sobreposições no **Apêndice C**, bem como outras visualizações em SIG, ilustrados pela **figura 6.2-4**.

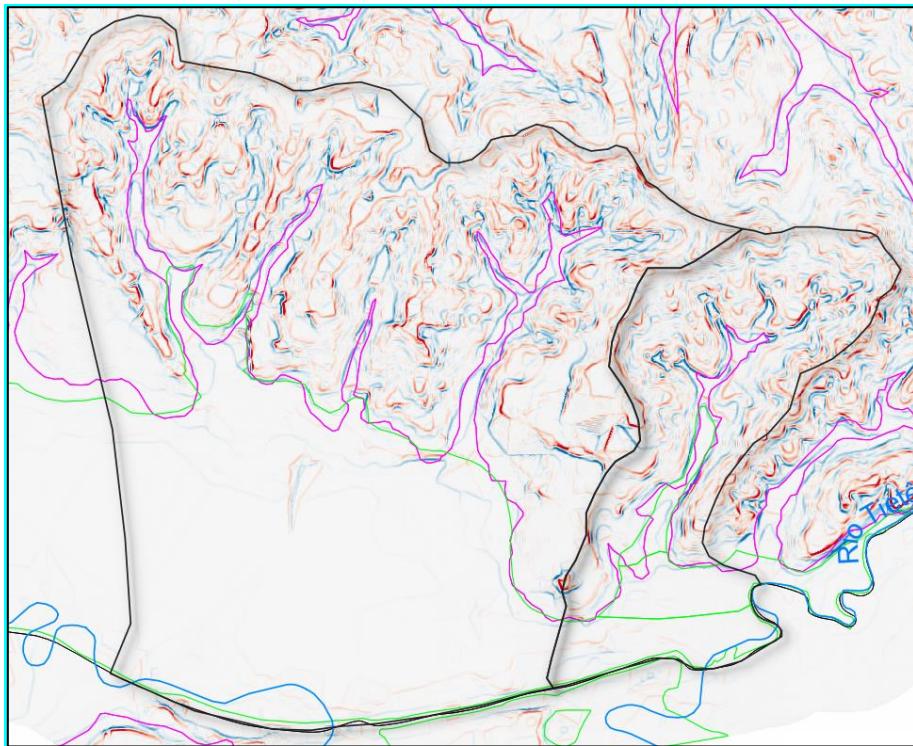


Figura 6.2-4 – Exemplo da sobreposição dos polígonos delimitados (em verde os limites das UBCs, em roxo, os limites das planícies fluviais originais) e da Curvatura Vertical (ou de perfil) do terreno. Nesta classificação, regiões em tons de azul representam os vários graus de concavidade, enquanto os vermelhos representam as convexidades. (Elaboração: Bove, 2024)

As análises, contudo, não permitiram concluir sobre a influência de algum fator que incidisse como uma fonte de diferenças sistemáticas no traçado das planícies entre os dois mapeamentos, sugerindo motivos de outra natureza, possivelmente mais relacionados a outras condicionantes de execução dos projetos, discutidas entre as conclusões deste trabalho.

6.3 SOBREPOSIÇÃO DAS OCORRÊNCIAS E SETORES DE PERIGO DE INUNDAÇÃO (1:3.000)

A última etapa da comparação consistiu na análise quantitativa e qualitativa de ambos os mapeamentos, com suas áreas de sobreposição, relacionados aos pontos de ocorrência de enchentes, alagamentos e inundações registrados no Cadastro de Eventos

Geodinâmicos (de 1991 a 2018), elaborado pelo então Instituto Geológico, e os setores de perigo de inundaçāo mapeados em 1:3.000 pela mesma instituição em 2020 – dados ilustrados pela **figura 6.3-1**, e constantes na cartografia apresentada no **Apêndice C**.

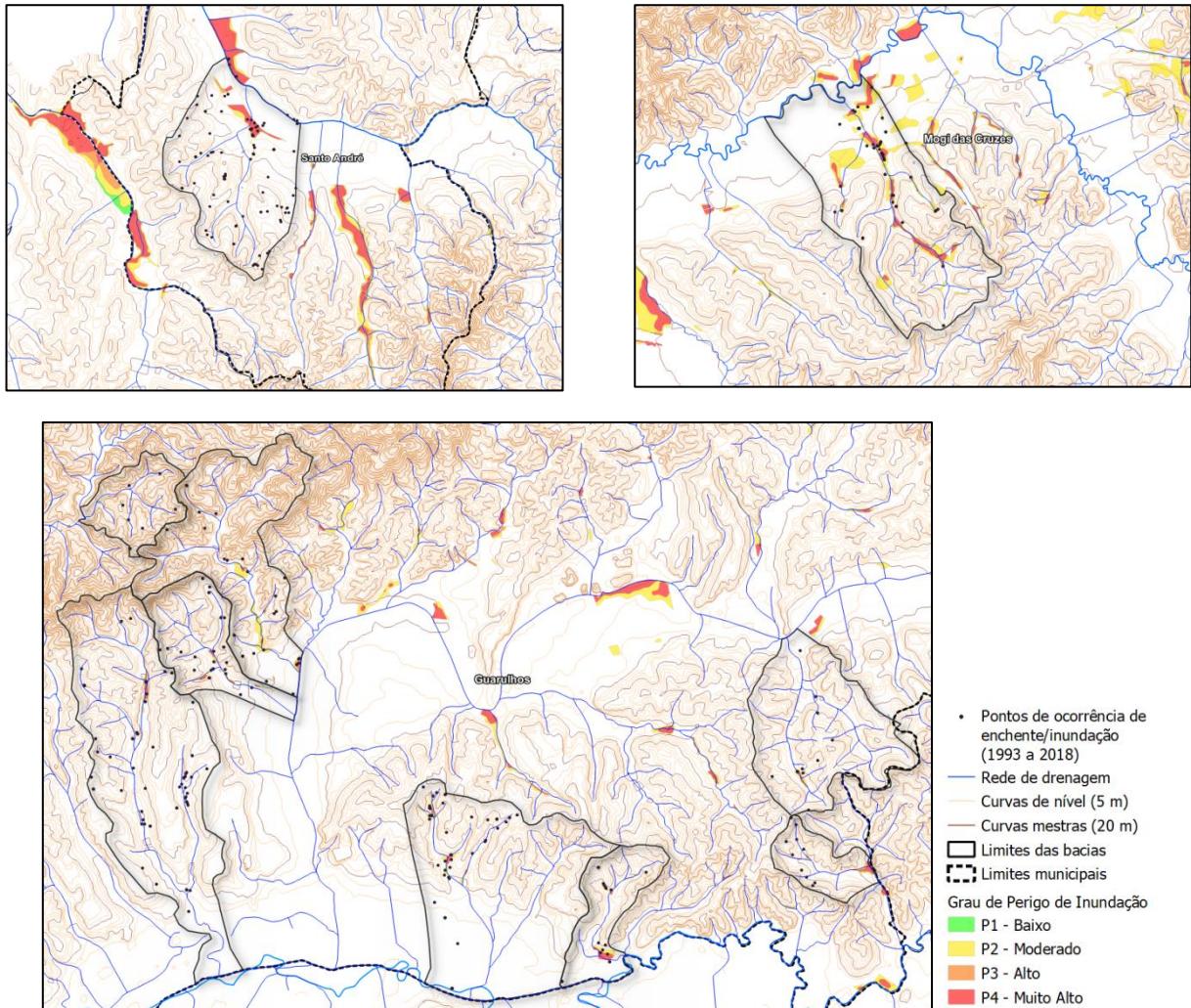


Figura 6.3-1 – Ilustração da distribuição dos setores de Perigo mapeados em 1:3.000 e pontos de ocorrência de enchentes e inundações do Cadastro de Eventos Geodinâmicos – 1993 a 2018 (IG, 2018)

Os setores de perigo foram mesclados e considerados como mancha única, de grau de perigo indiscriminado, cujo limite exterior pode representar até o nível P2 – Moderado. Não se procedeu a nenhuma análise temporal ou estatística dos pontos de ocorrências nas bacias selecionadas. A seguir, apresentam-se ilustrações das sobreposições finais, assim como a sumarização dos resultados encontrados na análise quantitativa das sobreposições para cada bacia em relação aos pontos de ocorrência (o quadro geral destes dados

encontra-se no **Apêndice A – Tabela D**. Os índices morfométricos calculados para as bacias, com os parâmetros fisiográficos relacionados, podem ser consultados também no **Apêndice A**, na **Tabela C**. A respeito dos setores de perigo sugere-se breve análise descritiva, em abordagem qualitativa, relacionando as áreas de sobreposição e divergência e as manchas de perigo.

6.3.1 BACIA 1 - BACIA DE CONTRIBUIÇÃO DA VERTENTE ESQUERDA DO TIETÊ

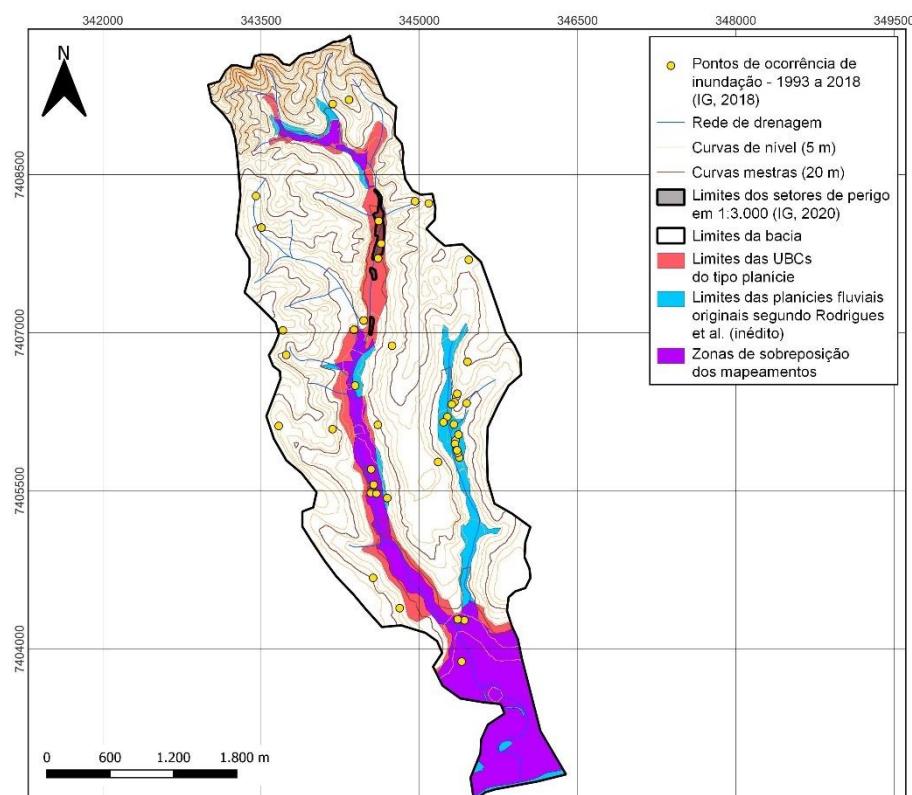


Figura 6.3.1-1 – Ilustração da sobreposição final dos mapeamentos das planícies, dos pontos de ocorrência (IG, 2018) e limites dos setores de perigo de inundação mapeados em 1:3.000 na bacia 1 (Elaboração: Bove, 2024)

A bacia 1 encontra-se no município de Guarulhos e é pertencente à subregião hidrográfica Penha-Pinheiros. Trata-se de uma bacia de 3^a ordem, com área calculada em 11,25 km² e amplitude altimétrica de cerca de 222 metros. O comprimento do canal principal estima-se em 8,79 km, e o comprimento total da drenagem em 21,26 km. O índice de circularidade

(Ic) calculou-se em 0,36 (forma alongada), a densidade de drenagem (Dd), em 1,89 km/km² (baixa), com uma razão de relevo de 0,03 (baixa) e índice de sinuosidade de 1,09 (canal tendendo ao retilíneo). Os dados obtidos na comparação das planícies mapeadas em seu interior são apresentados na **tabela 6.3.1-1**.

Tabela 6.3.1-1 - Síntese dos resultados da análise quantitativa das sobreposições dos mapeamentos na bacia 1²⁹.

Bacia	Mapeamento*	Área da divergência (km ²)	Percentual de sobreposição**	Número de ocorrências abarcadas	Total de ocorrências na bacia	Percentual das ocorrências na bacia
1	Apenas MO	0,49	79%	12	67	18%
	Apenas UBC	0,72	72%	8		12%
	Sobreposição	1,90	-	21		31%

Nesta bacia, os limites de planície definidos no mapeamento das Morfologias Originais abarcaram 49% dos pontos de ocorrência, contra 43% do mapeamento de UBCs do tipo planície. Em relação ao traçado, verificam-se duas divergências mais significativas: 1) enquanto o mapeamento das MO reconhece o avanço da planície ao longo do curso do afluente da margem esquerda do rio principal, o mapeamento das UBCs a reconhece apenas ao longo do rio principal; e 2) na planície fluvial do rio principal, enquanto o mapeamento de UBCs apresenta polígono contínuo, o mapeamento das MO identifica importante descontinuidade – nota-se que justamente nesta área de divergência dos mapeamentos ocorreu setorização de perigo de inundações na bacia.

²⁹

*Convencionou-se, aqui, MO como os limites das planícies fluviais segundo suas Morfologias Originais (Rodrigues et al. inédito).

** Trata-se da razão entre a área sobreposta e a área total do mapeamento.

6.3.2 BACIA 2 - BACIA DO BAQUIRIVU

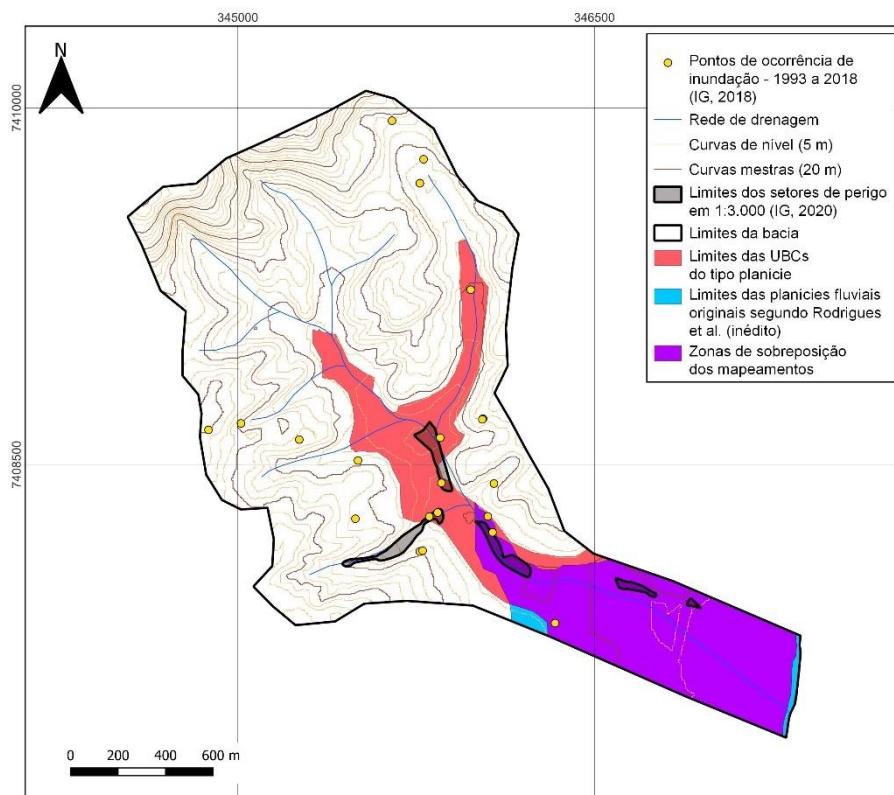


Figura 6.3.2-1 – Ilustração da sobreposição final dos mapeamentos das planícies, dos pontos de ocorrência (IG, 2018) e limites dos setores de perigo de inundação mapeados em 1:3.000 na bacia 2 (Elaboração: Bove, 2024)

A bacia 2 encontra-se no município de Guarulhos e é pertencente à subregião hidrográfica Cabeceiras. Trata-se de uma bacia de 3^a ordem, com área calculada em 3,16 km² e amplitude altimétrica de 147 metros. O comprimento do canal principal estima-se em 3,37 km, e o comprimento total da drenagem em 7,97 km. O índice de circularidade (Ic) calculou-se em 0,46 (forma tende a ser alongada), a densidade de drenagem (Dd), em 2,51 km/km² (média), com uma razão de relevo de 0,04 (baixa) e índice de sinuosidade de 1,09 (canal tendendo ao retilíneo). Os dados obtidos na comparação das planícies mapeadas em seu interior são apresentados na **tabela 6.3.2-1**.

Tabela 6.3.2-1 - Síntese dos resultados da análise quantitativa das sobreposições dos mapeamentos na bacia 2

Bacia	Mapeamento*	Área da divergência (km ²)	Percentual de sobreposição**	Número de ocorrências abarcadas	Total de ocorrências na bacia	Percentual das ocorrências na bacia
2	Apenas MO	0,02	50%	0	25	0%
	Apenas UBC	0,32	6%	6		24%

Sobreposição	0,02	-	2	8%
--------------	------	---	---	----

Nesta bacia, os limites de planície definidos no mapeamento das Morfologias Originais abarcaram 8% dos pontos de ocorrência, contra 32% do mapeamento de UBCs do tipo planície. A principal diferença no traçado das planícies nos dois mapeamentos consiste no prolongamento da planície de acordo com as UBCs, abarcando toda a terceira ordem do rio principal, e incluindo parte significativa do maior afluente de sua margem esquerda. Por outro lado, o mapeamento das MO restringe a planície às circunjacências do último trecho. Esta discrepância fez com que as UBCs abrangessem um setor de perigo de inundaçāo a mais em relação ao mapeamento de MOs, contudo, resta um setor não abrangido por nenhum dos dois, ao longo do último afluente da margem direita.

6.3.3 BACIA 3 - BACIA DO BAQUIRIVU

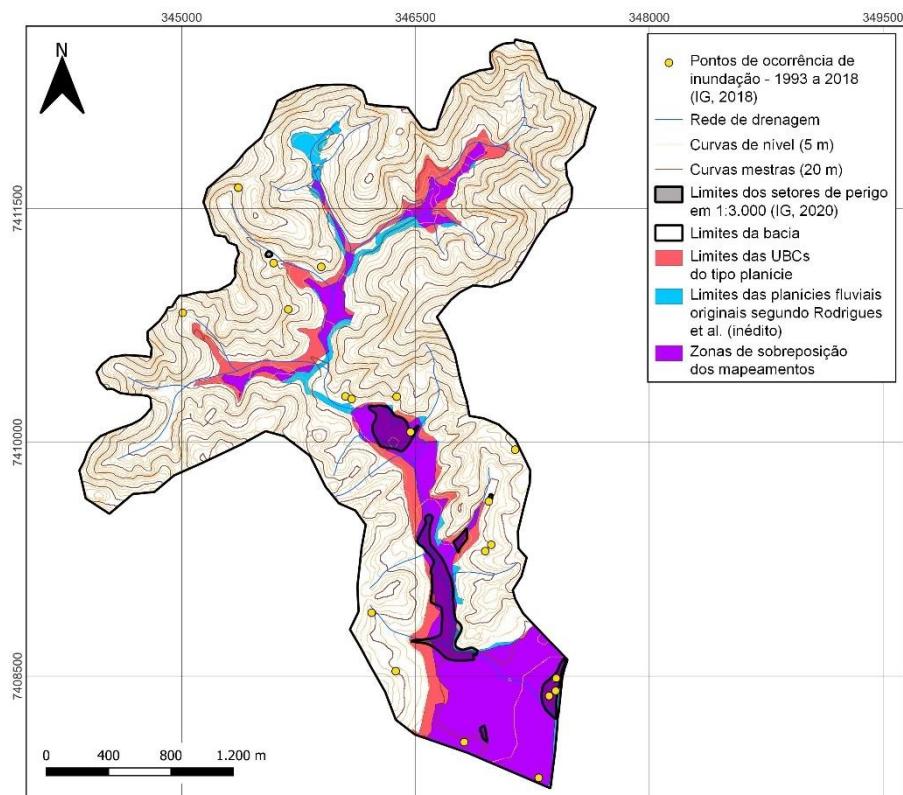


Figura 6.3.3-1 – Ilustração da sobreposição final dos mapeamentos das planícies, dos pontos de ocorrência (IG, 2018) e limites dos setores de perigo de inundaçāo mapeados em 1:3.000 na bacia 3 (Elaboração: Bove, 2024)

A bacia 3 encontra-se no município de Guarulhos e é pertencente à subregião hidrográfica Cabeceiras. Trata-se de uma bacia de 3^a ordem, com área calculada em 7,27 km² e amplitude altimétrica de 219 metros. O comprimento do canal principal estima-se em 5,93 km, e o comprimento total da drenagem em 17,17 km. O índice de circularidade (Ic) calculou-se em 0,32 (forma alongada), a densidade de drenagem (Dd), em 2,36 km/km² (média), com uma razão de relevo de 0,04 (baixa) e índice de sinuosidade de 1,08 (canal tendendo ao retilíneo). Os dados obtidos na comparação das planícies mapeadas em seu interior são apresentados na **tabela 6.3.3-1**.

Tabela 6.3.3-1 - Síntese dos resultados da análise quantitativa das sobreposições dos mapeamentos na bacia 3

Bacia	Mapeamento*	Área da divergência (km ²)	Percentual de sobreposição**	Número de ocorrências abarcadas	Total de ocorrências na bacia	Percentual das ocorrências na bacia
3	Apenas MO	0,12	92%	0	26	0%
	Apenas UBC	0,45	76%	0		0%
	Sobreposição	1,39	-	10		38%

Nesta bacia, os limites de planície definidos no mapeamento das Morfologias Originais, assim como os do mapeamento de UBCs, sobrepunderam-se a 38% dos pontos de ocorrência, todos na área de sobreposição dos mapeamentos. Em relação aos setores de perigo de inundação, ambos os mapeamentos se sobrepõem à todos os setores, exceto um pequeno setor no setor mais a jusante da bacia. Os traçados das planícies estão de acordo com um conjunto estreito de planícies aluvionares inseridas em sistema de fundo de vale na parte mais a norte da bacia, com um setor mais amplo a sul, na parte contígua à planície do Tietê. Contudo, os mapeamentos divergem em relação à continuidade da planície de inundação na parte central da bacia.

6.3.4 BACIA 4 - BACIA DOS MACACOS

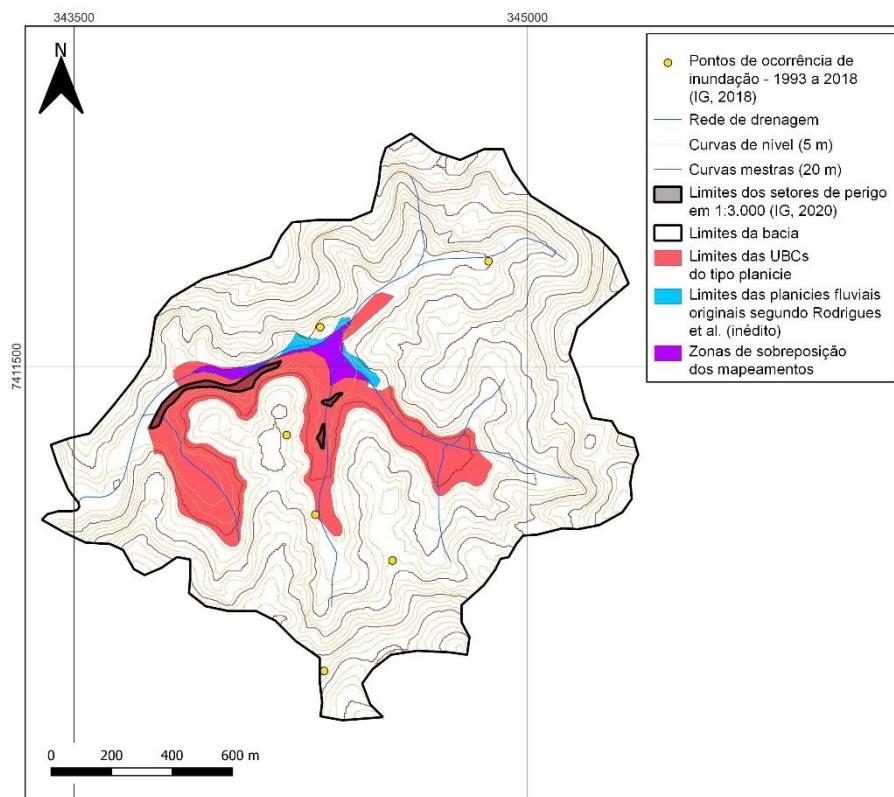


Figura 6.3.4-1 – Ilustração da sobreposição final dos mapeamentos das planícies, dos pontos de ocorrência (IG, 2018) e limites dos setores de perigo de inundações mapeados em 1:3.000 na bacia 4 (Elaboração: Bove, 2024)

A bacia 4 encontra-se no município de Guarulhos e é pertencente à subregião hidrográfica Penha-Pinheiros. Trata-se de uma bacia de 3^a ordem, com área calculada em 2,11 km² e amplitude altimétrica de 133 metros. O comprimento do canal principal estima-se em 2,07 km, e o comprimento total da drenagem em 5,44 km. O índice de circularidade (Ic) calculou-se em 0,54 (forma intermediária), a densidade de drenagem (Dd), em 2,57 km/km² (média), com uma razão de relevo de 0,07 (baixa) e índice de sinuosidade de 1,04 (canal tendendo ao retilíneo). Os dados obtidos na comparação das planícies mapeadas em seu interior são apresentados na **tabela 6.3.4-1**.

Tabela 6.3.4-1 - Síntese dos resultados da análise quantitativa das sobreposições dos mapeamentos na bacia 4

Bacia	Mapeamento*	Área da divergência (km ²)	Percentual de sobreposição**	Número de ocorrências abarcadas	Total de ocorrências na bacia	Percentual das ocorrências na bacia
4	Apenas MO	0,01	94%	0	8	0%

Apenas UBC	0,25	40%	0	0%
Sobreposição	0,17	-	0	0%

Nesta bacia, tanto os limites de planície definidos no mapeamento das Morfologias Originais, quanto os do mapeamento de UBCs, não abarcaram nenhum dos pontos de ocorrência. A respeito da delimitação das planícies fluviais, ambos os mapeamentos reconhecem se tratar de um pequeno setor de planície descontínuo da planície do Tietê, encaixadas nos fundos de vales desta região de morros e morros baixos. Nota-se também que as UBCs foram mais generosas em relação à área das planícies, chegando a englobar todos os setores de inundação da bacia.

6.3.5 BACIA 5 - BACIA DE ITAQUERA

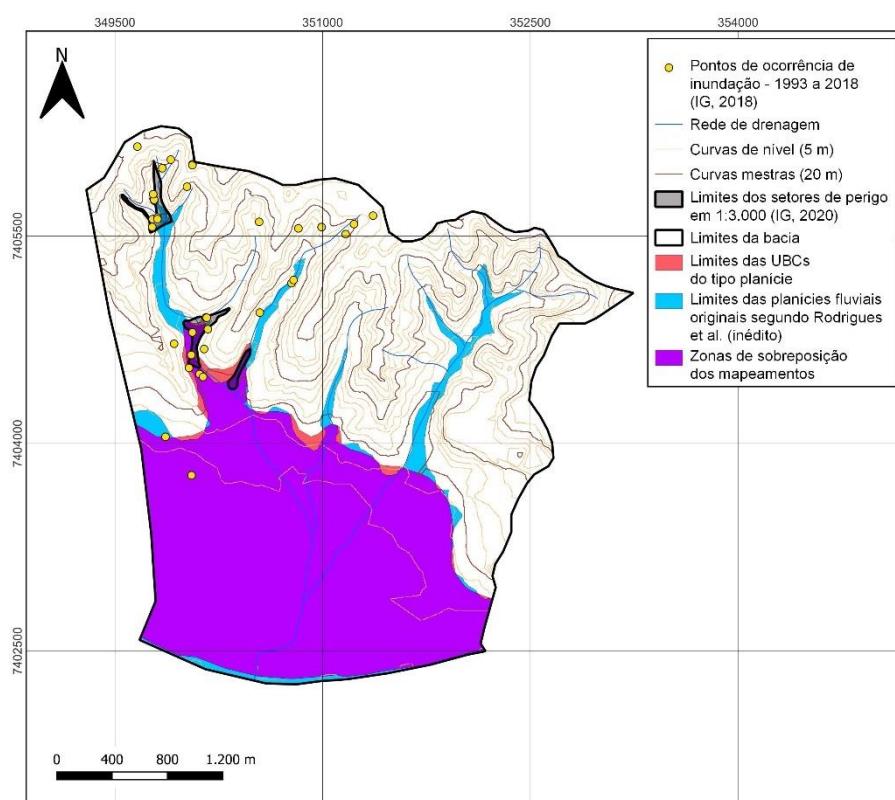


Figura 6.3.5-1 – Ilustração da sobreposição final dos mapeamentos das planícies, dos pontos de ocorrência (IG, 2018) e limites dos setores de perigo de inundação mapeados em 1:3.000 na bacia 5 (Elaboração: Bove, 2024)

A bacia 5 encontra-se no município de Guarulhos e é pertencente à subregião hidrográfica Cabeceiras. Trata-se de uma bacia de 3^a ordem, com área calculada em 10,20 km² e amplitude altimétrica de 89 metros. O comprimento do canal principal estima-se em 4,55 km, e o comprimento total da drenagem em 15,66 km. O índice de circularidade (Ic) calculou-se em 0,65 (forma intermediária), a densidade de drenagem (Dd), em 1,53 km/km² (baixa), com uma razão de relevo de 0,02 (baixa) e índice de sinuosidade de 1,06 (canal tendendo ao retilíneo). Os dados obtidos na comparação das planícies mapeadas em seu interior são apresentados na **tabela 6.3.5-1**.

Tabela 6.3.5-1 - Síntese dos resultados da análise quantitativa das sobreposições dos mapeamentos na bacia 5

Bacia	Mapeamento*	Área da divergência (km ²)	Percentual de sobreposição**	Número de ocorrências abarcadas	Total de ocorrências na bacia	Percentual das ocorrências na bacia
5	Apenas MO	0,44	90%	8	45	18%
	Apenas UBC	0,09	98%	1		2%
	Sobreposição	3,82	-	5		11%

Nesta bacia, os limites de planície definidos no mapeamento das Morfologias Originais abarcaram 29% dos pontos de ocorrência, contra 13% do mapeamento de UBCs do tipo planície. Aqui, trata-se de um setor em que a planície do Tietê é bastante larga, e sua delimitação é feita de modo coerente entre os dois mapeamentos. A diferença reside no prolongamento dos setores de planície aos afluentes de segunda e primeira ordem, para os quais foram definidas planícies segundo o mapeamento das MO, enquanto as UBCs restringem-se ao registro da planície principal, fazendo-a acompanhar as curvas de nível de 735 m. Tal prolongamento, no mapeamento de MOs, permitiu que fosse abarcado um importante setor de perigo de inundações, e segue no sentido de muitos pontos de ocorrência, ainda que não os sobreponha.

6.3.6 BACIA 6 - BACIA DE ITAQUERA

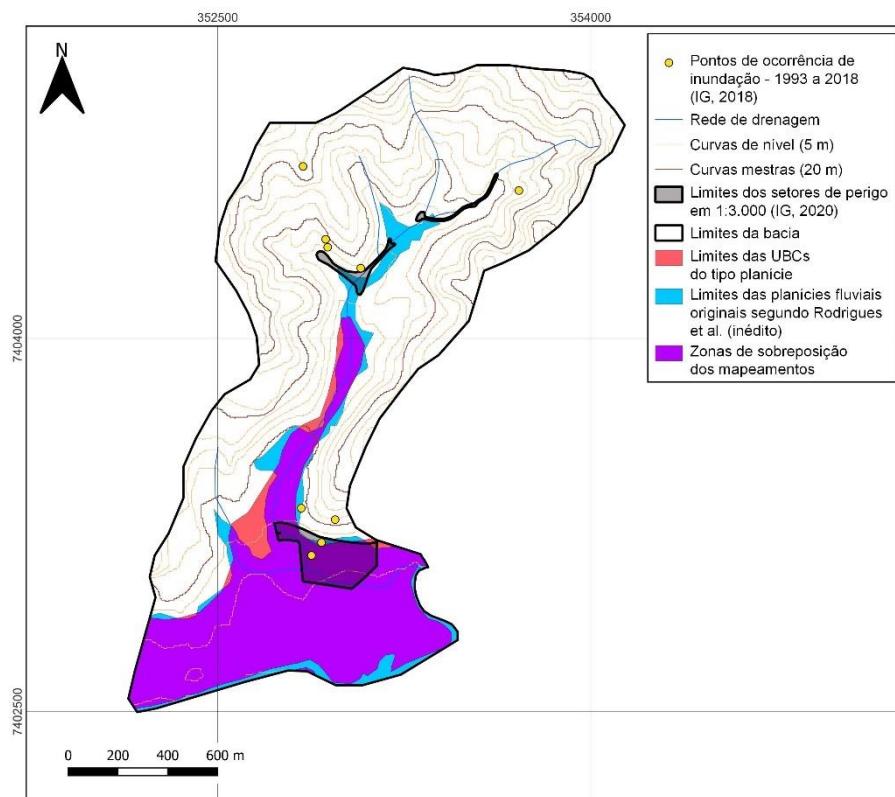


Figura 6.3.6-1 – Ilustração da sobreposição final dos mapeamentos das planícies, dos pontos de ocorrência (IG, 2018) e limites dos setores de perigo de inundação mapeados em 1:3.000 na bacia 6 (Elaboração: Bove, 2024)

A bacia 6 encontra-se no município de Guarulhos e é pertencente à subregião hidrográfica Cabeceiras. Trata-se de uma bacia de 2^a ordem, com área calculada em 2,49 km² e amplitude altimétrica de 96,7 metros. O comprimento do canal principal estima-se em 3,04 km, e o comprimento total da drenagem em 4,87 km. O índice de circularidade (Ic) calculou-se em 0,44 (forma intermediária), a densidade de drenagem (Dd), em 1,95 km/km² (baixa), com uma razão de relevo de 0,03 (baixa) e índice de sinuosidade de 1,05 (canal tendendo ao retilíneo). Os dados obtidos na comparação das planícies mapeadas em seu interior são apresentados na **tabela 6.3.6-1**.

Tabela 7.3.6-1 - Síntese dos resultados da análise quantitativa das sobreposições dos mapeamentos na bacia 6

Bacia	Mapeamento*	Área da divergência (km ²)	Percentual de sobreposição**	Número de ocorrências abarcadas	Total de ocorrências na bacia	Percentual das ocorrências na bacia
6	Apenas MO	0,11	85%	2	18	11%

Apenas UBC	0,04	94%	0	0%
Sobreposição	0,60	-	1	6%

Nesta bacia, os limites de planície definidos no mapeamento das Morfologias Originais abarcaram 17% dos pontos de ocorrência, contra 6% do mapeamento de UBCs do tipo planície. Em relação ao traçado das planícies de inundação, verifica-se similaridade geométrica entre as delimitações dos mapeamentos, com um pouco menos de detalhamento na delimitação das UBCs em relação às MOs. Estas apresentam ainda um prolongamento, que as fazem chegar a um dos setores de perigo de inundação registrados mais a norte³⁰.

6.3.7 BACIA 7 - BACIA DE CONTRIBUIÇÃO DA VERTENTE DIREITA DO TIETÊ

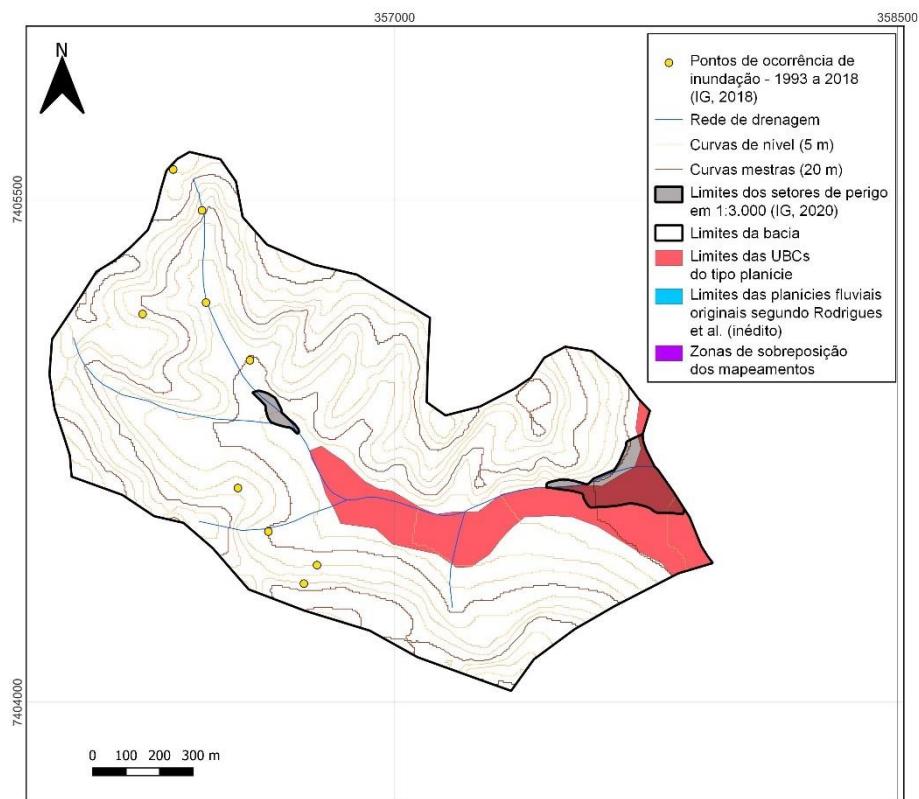


Figura 6.3.7-1 – Ilustração da sobreposição final dos mapeamentos das planícies, dos pontos de ocorrência (IG, 2018) e limites dos setores de perigo de inundação mapeados em 1:3.000 na bacia 7 (Elaboração: Bove, 2024)

³⁰ Nota-se aqui que o setor de perigo de inundação mais a sul praticamente coincide com a área de um terraço fluvial mapeado no âmbito das morfologias originais.

A bacia 7 encontra-se no município de Guarulhos e é pertencente à subregião hidrográfica Cabeceiras. Trata-se de uma bacia de 2^a ordem, com área calculada em 1,62 km² e amplitude altimétrica de 82 metros. O comprimento do canal principal estima-se em 2,06 km, e o comprimento total da drenagem em 3,57 km. O índice de circularidade (Ic) calculou-se em 0,59 (forma intermediária), a densidade de drenagem (Dd), em 2,2 km/km² (média), com uma razão de relevo de 0,04 (baixa) e índice de sinuosidade de 1,02 (canal tendendo ao retilíneo). Os dados obtidos na comparação das planícies mapeadas em seu interior são apresentados na **tabela 6.3.7-1**.

Tabela 6.3.7-1 - Síntese dos resultados da análise quantitativa das sobreposições dos mapeamentos na bacia 7

Bacia	Mapeamento*	Área da divergência (km ²)	Percentual de sobreposição**	Número de ocorrências abarcadas	Total de ocorrências na bacia	Percentual das ocorrências na bacia
7	Apenas UBC	0,18	0%	0	11	0%

Nesta bacia, não foram identificados limites de planície no mapeamento das Morfologias Originais, ocorrendo apenas polígonos do mapeamento de UBCs do tipo planície – estes, no entanto, não abarcaram nenhum dos pontos de ocorrência. Em relação aos setores de perigo de inundação, verifica-se que a principal mancha delimitada se encontra no interior das planícies definidas pelas UBCs, contudo existe também um pequeno setor a montante de seus limites.

6.3.8 BACIA 8 - BACIA DO BAQUIRIVU

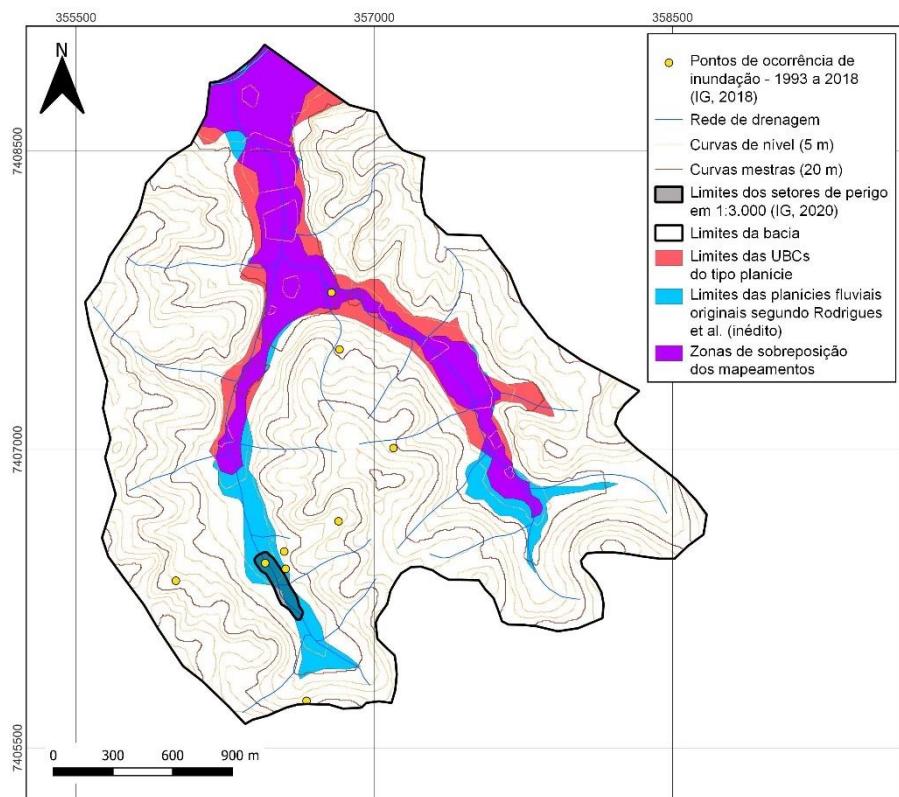


Figura 6.3.8-1 – Ilustração da sobreposição final dos mapeamentos das planícies, dos pontos de ocorrência (IG, 2018) e limites dos setores de perigo de inundação mapeados em 1:3.000 na bacia 8 (Elaboração: Bove, 2024)

A bacia 8 encontra-se no município de Guarulhos e é pertencente à subregião hidrográfica Cabeceiras. Trata-se de uma bacia de 3^a ordem, com área calculada em 6,08 km² e amplitude altimétrica de 80,43 metros. O comprimento do canal principal estima-se em 3,6134 km, e o comprimento total da drenagem em 16,23 km. O índice de circularidade (Ic) calculou-se em 0,57 (forma intermediária), a densidade de drenagem (Dd), em 2,67 km/km² (média), com uma razão de relevo de 0,02 (baixa) e índice de sinuosidade de 1,1 (canal tendendo ao retilíneo). Os dados obtidos na comparação das planícies mapeadas em seu interior são apresentados na **tabela 6.3.8-1**.

Tabela 6.3.8-1 - Síntese dos resultados da análise quantitativa das sobreposições dos mapeamentos na bacia 8

Bacia	Mapeamento*	Área da divergência (km ²)	Percentual de sobreposição**	Número de ocorrências abarcadas	Total de ocorrências na bacia	Percentual das ocorrências na bacia
8	MO	0,27	70%	3	11	27%

UBC	0,28	70%	0	0%
Sobreposição	0,64	-	1	9%

Nesta bacia, os limites de planície definidos no mapeamento das Morfologias Originais abarcaram 36% dos pontos de ocorrência, contra 9% do mapeamento de UBCs do tipo planície. Aqui, também se verifica similaridade entre o traçado das bacias, ainda que apenas o mapeamento de MOs, com prolongamento da planície no principal tributário da margem esquerda do rio principal, alcance o setor de perigo de inundação da bacia. Os mapeamentos divergem quanto à largura da planície por quase toda sua extensão, sendo que as UBCs a reconhecem maior nos médio e baixo cursos, aproximadamente, e as MOs as têm ampliadas no setor de cabeceiras (no caso do afluente da margem direita do rio principal)³¹.

6.3.9 BACIA 9 - BACIA DE CONTRIBUIÇÃO LATERAL DO TIETÊ

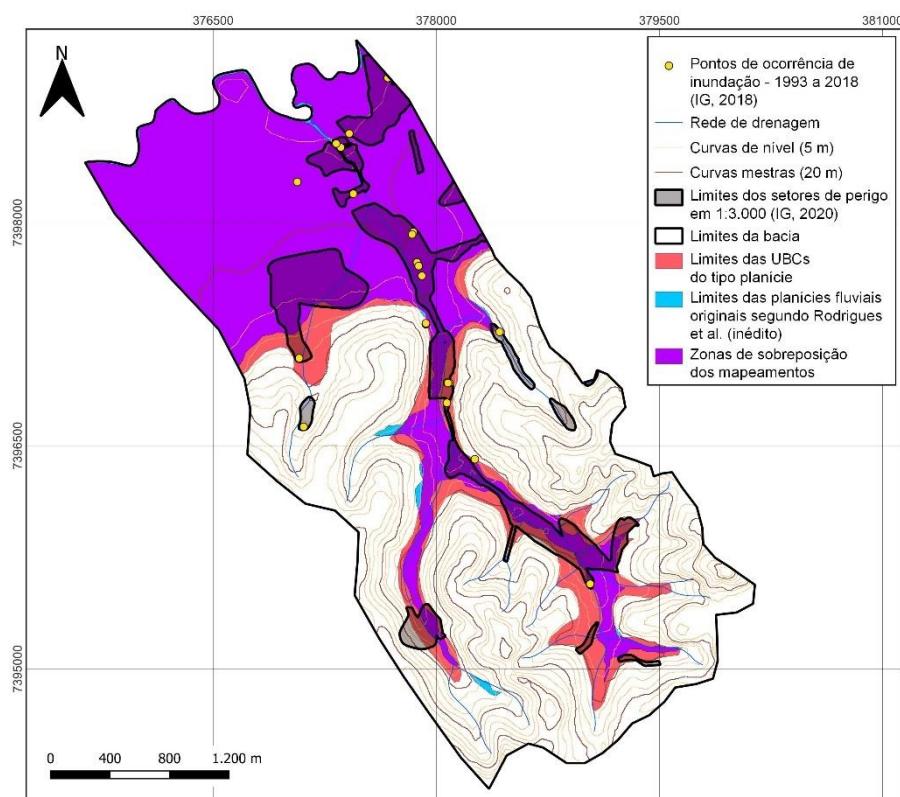


Figura 6.3.9-1 – Ilustração da sobreposição final dos mapeamentos das planícies, dos pontos de ocorrência (IG, 2018) e limites dos setores de perigo de inundação mapeados em 1:3.000 na bacia 9 (Elaboração: Bove, 2024)

³¹ Nota-se que, sobrepostas às MO, as UBCs ora contemplam as áreas de terraço, e ora as desconsideram como parte do sistema da planície fluvial, refletindo a ausência de preocupações quanto a essas feições de ocorrência frequente na região.

A bacia 9 encontra-se no município de Mogi das Cruzes, e é pertencente à subregião hidrográfica Cabeceiras. Trata-se de uma bacia de 3^a ordem, com área calculada em 10,02 km² e amplitude altimétrica de 112 metros. O comprimento do canal principal estima-se em 4,61 km, e o comprimento total da drenagem em 17,64 km. O índice de circularidade (Ic) calculou-se em 0,46 (forma tende a ser a alongada), a densidade de drenagem (Dd), em 1,76 km/km² (baixa), com uma razão de relevo de 0,02 (baixa) e índice de sinuosidade de 1,03 (canal tendendo ao retilíneo). Os dados obtidos na comparação das planícies mapeadas em seu interior são apresentados na **tabela 6.3.9-1**.

Tabela 6.3.9-1 - Síntese dos resultados da análise quantitativa das sobreposições dos mapeamentos na bacia 9

Bacia	Mapeamento*	Área da divergência (km ²)	Percentual de sobreposição**	Número de ocorrências abarcadas	Total de ocorrências na bacia	Percentual das ocorrências na bacia
9	Apenas MO	0,06	99%	0	54	0%
	Apenas UBC	0,80	83%	6		11%
	Sobreposição	3,85	-	13		24%

Nesta bacia, os limites de planície definidos no mapeamento das Morfologias Originais abarcaram 24% dos pontos de ocorrência, contra 35% do mapeamento de UBCs do tipo planície. Tem-se aqui o maior número e a maior área em termos de perigo de inundação, e quase todos os setores são total ou parcialmente abarcados por ambos os mapeamentos. Verifica-se apenas que a área atribuída à planície é maior segundo a delimitação de UBCs, que acompanham de certa forma o traçado das MOs, algumas isoíspas acima.

6.3.10 BACIA 10 - BACIA DO TAMANDUATEÍ MÉDIO I

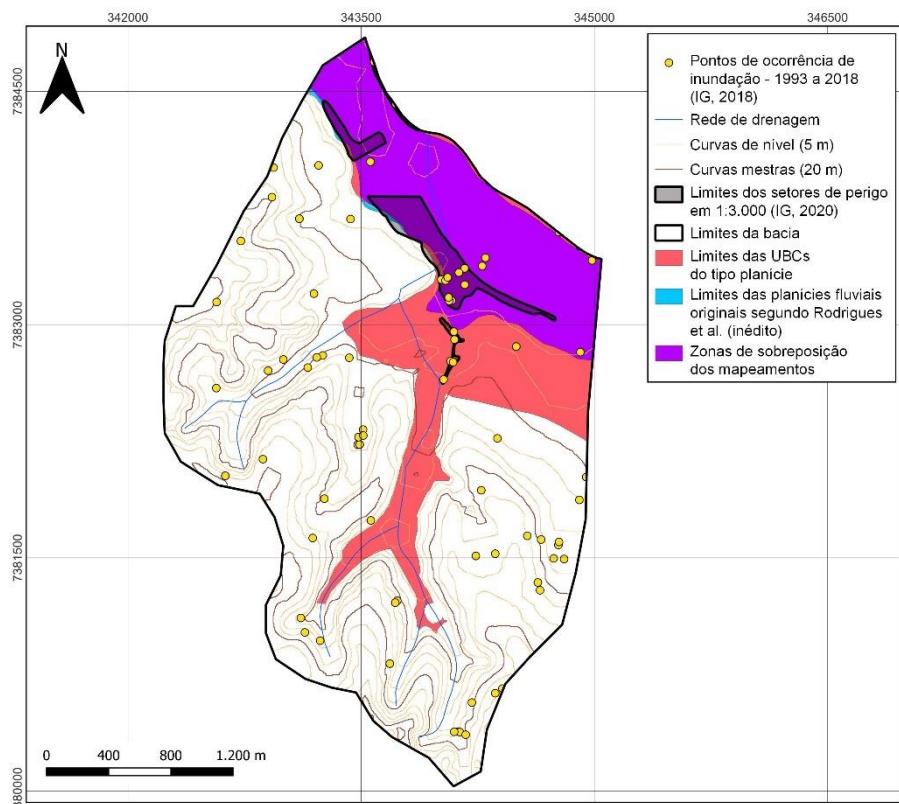


Figura 6.3.10-1 – Ilustração da sobreposição final dos mapeamentos das planícies, dos pontos de ocorrência (IG, 2018) e limites dos setores de perigo de inundação mapeados em 1:3.000 na bacia 10 (Elaboração: Bove, 2024)

A bacia 10 encontra-se no município de Santo André, e é pertencente à subregião hidrográfica Billings-Tamanduateí. Trata-se de uma bacia de 3^a ordem, com área calculada em 8,27 km² e amplitude altimétrica de 80 metros. O comprimento do canal principal estimase em 4,37 km, e o comprimento total da drenagem em 8,26 km. O índice de circularidade (Ic) calculou-se em 0,69 (forma intermediária), a densidade de drenagem (Dd), em 1,0 km/km² (baixa), com uma razão de relevo de 0,02 (baixa) e índice de sinuosidade de 1,12 (canal tendendo ao retilíneo). Os dados obtidos na comparação das planícies mapeadas em seu interior são apresentados na **tabela 6.3.10-1**.

Tabela 6.3.10-1 - Síntese dos resultados da análise quantitativa das sobreposições dos mapeamentos na bacia 10

Bacia	Mapeamento*	Área da divergência (km ²)	Percentual de sobreposição**	Número de ocorrências abarcadas	Total de ocorrências na bacia	Percentual das ocorrências na bacia
10	Apenas MO	0,01	99%	0	116	0%

Apenas UBC	1,14	55%	10	9%
Sobreposição	1,39	-	17	15%

Nesta bacia, os limites de planície definidos no mapeamento das Morfologias Originais não abarcaram nenhum dos pontos de ocorrência, contra 24% do mapeamento de UBCs do tipo planície. Nela, a divergência entre os mapeamentos é considerável apesar dos principais setores de perigo de inundação estejam sobrepostos por ambos os mapeamentos. Aqui, as MOs fixam a altimetria da planície por volta dos 745 metros, enquanto as UBCs estendem-na em alguns pontos quase até os 775 m, no que ocorre grande ampliação de área – o que as fazem sobrepor ao setor de perigo restante, e apresenta certa correspondência com os polígonos de Planícies e Terraços Fluviais do mapeamento de Padrões de Relevo em 1:25.000 (**CPRM/IPT, 2015**).

7 CONCLUSÕES

A partir do exposto entende-se que, mesmo divergindo em termos dos resultados concretos, existem convergências importantes entre os dois mapeamentos. Para auxiliar na compreensão dos resultados encontrados, buscou-se sistematizar na tabela 8-1 os parâmetros da comparação realizada e, de forma resumida, o que se associa a cada uma das cartografias.

Tabela 7-1 - Síntese comparativa das metodologias em termos da Avaliação da Suscetibilidade Espacial a Inundações

Critérios		Geomorfologia Antropogênica	Abordagem Quantitativa da Paisagem
Objetivos	Frente ao registro dos fatos do relevo	Delimitação dos sistemas geomorfológicos a partir de naturais e antropogênicos, por meio da cartografia geomorfológica retrospectiva e evolutiva.	Delimitação com critérios morfométricos de unidades com mesmo comportamento geotécnico.
	Frente à avaliação da suscetibilidade	Definição de graus relativos da tendência à ocorrência de processos hidrológicos	Subsidiar mapeamento de detalhe, indicação a nível regional das áreas prioritárias

Tabela 7-1 - Síntese comparativa das metodologias em termos da Avaliação da Suscetibilidade Espacial a Inundações

Critérios		Geomorfologia Antropogênica	Abordagem Quantitativa da Paisagem
		em áreas antropizadas por meio da avaliação do comportamento hidrogeomorfológico esperado pelas diferentes Unidades Complexas de uma bacia hidrográfica.	para ações de prevenção e defesa civil
Referencial cartográfico		Cartografia Geomorfológica de Detalhe	Cartografia Geotécnica
Escala (espacial)		Regional a Detalhe (4º a 6º táxon) - de 1:50.000 a 1:10.000	Regional a Detalhe (4º a 6º táxon) - 1:25.000 a 1:10.000
Método para avaliação da suscetibilidade		Qualitativo e quantitativo	Quantitativo
Unidades de análise		Definidas pelos próprios sistemas morfológicos (Morfologias Originais) e pelas manchas de uso da terra analisadas segundo as modificações do sistema natural (Morfologias Antropogênicas) e Unidades Complexas (síntese espacial em unidades de planejamento).	Sistema de UBCs (para agregação dos dados do meio físico), UHCTs (para agregação dos dados do meio socioeconômico) e UTBs (cruzamento espacial das unidades anteriores, reunindo todos os seus atributos)
Insumos		Fotos aéreas de diferentes períodos, MDEs, cartas topográficas as mais antigas o possível, outras fontes documentais, históricas e iconográficas, mapeamentos de uso da terra derivados de imagens atualizadas	MDEs, cartas topográficas, mapa geológico, pedológico, e mapas de macrocompartimentação geomorfológica (para o mapeamento de UBCs) e imagens de satélite e mapas de cobertura vegetal (para delimitação de UHCTs)
Processos hidromorfológicos avaliados		Inundação e Produção de Escoamento Superficial Concentrado	Inundação rápida (nas UBCs tipo Encosta) e inundação gradual (UBCs tipo Planície)

Tabela 7-1 - Síntese comparativa das metodologias em termos da Avaliação da Suscetibilidade Espacial a Inundações

Critérios	Geomorfologia Antropogênica	Abordagem Quantitativa da Paisagem
Variáveis da suscetibilidade	Relações magnitude-frequência estabelecidas pelos sub-compartimentos do sistema da planície fluvial	Composição matemática do índice de Perigo (Suscetibilidade) - soma do índice do Perigo Preliminar (tendência natural) e do Potencial de Indução (tendência antrópica)
Forma de agregação das variáveis da suscetibilidade	Síntese cartográfica a partir de análise qualitativa e semiquantitativa (atribuição de pesos)	Síntese quantitativa, baseada em modelagem estatística

Elaboração: Bove, 2024

Com isso, reforça-se a ideia de que discrepâncias nos apontamentos de áreas de planície podem ter origem diversa, dentre as quais destaca-se a despadronização dos produtos de sensoriamento remoto³² adotados como referência no mapeamento, a subjetividade do processo de fotointerpretação, que não só condiciona variações entre as conclusões de um e outro intérprete, como pode se expressar como discrepâncias nos padrões de interpretação adotados por cada equipe.

Adiciona-se aqui como outros fatores de possível origem das diferenças: as ênfases particulares dos projetos, o número e nível médio da apropriação técnica e conceitual dos membros das equipes de mapeamento, em especial no que tange à identificação e delimitação das formas do relevo elaboradas por processos fluviais, de encosta ou localizados em zonas de transição, marcadas por limites progressivos, que exigem análises complexas, cuja viabilidade fica também condicionada pelos diferentes prazos estipulados

³² A proposição metodológica da Antropogeomorfologia para a Cartografia Geomorfológica de Detalhe, envolvendo a busca pelo registro das condições espaciais dos sistemas nos estágios de pré-perturbação, passa pela valorização das fontes mais antigas – como cartas topográficas, fotografias aéreas e imagens de satélite de diferentes datas – o que não se exige, a princípio, para a delimitação de UBCs, que pode ser realizada fundamentalmente sobre os MDEs.

para a conclusão dos projetos, disponibilidade de recursos, entre outras condições de contorno da própria atividade de mapeamento.

Contudo, parece haver notável convergência de objetivos entre a Cartografia Geomorfológica de Detalhe e a Compartimentação Fisiográfica de Terrenos em alguns pontos fundamentais. Em primeiro lugar, ressalta-se a apreciação multiescalar dos fatos geomorfológicos, para o que a filiação do sistema de UBCs à proposta taxonômica de Ross surge de maneira decisiva, como um dos principais fatores na definição dos níveis hierárquicos das UBCs. Em segundo lugar, o aparente acordo na consideração do fator antrópico não apenas como elemento exposto e vulnerável aos processos naturais, mas como condicionante de uma nova suscetibilidade espacial aos processos, sendo estes alterados pela intervenção no terreno³³.

Em terceiro, aponta-se o compartilhamento, a nível metodológico, do rol de técnicas e fontes de informação para obtenção das informações territoriais (produtos de sensoriamento remoto, fotointerpretação, produção de mapas temáticos e das derivadas topográficas como subprodutos de uma fase analítica, etc). Isto ocorre a tal ponto que, na delimitação de UBCs, parece-se acompanhar o processo de cartografia geomorfológica, em especial dos níveis de maior detalhe, associados até o 5º táxon (vertentes e formas das vertentes).

Para além da comparação dos mapeamentos, a análise de seus pressupostos e da prática envolvida em sua elaboração permitem esboçar alguns apontamentos gerais. Em primeiro lugar, destaca-se a pertinência do sistema de UBCs, UHCTs e UTBs como forma de armazenamento das informações ambientais e territoriais no âmbito do planejamento e da gestão de riscos e desastres. Nesse sentido são valiosas as possibilidades operacionais que oferecem para o mapeamento sistemático e multiescalar do relevo³⁴, valendo-se da conveniente estrutura de dados vetoriais dos SIGs para instrumentalizar de modo bastante

³³ Reforça-se aqui que, na abordagem da Antropogeomorfologia, a consideração de três níveis de integração das informações (Morfologias Originais, Morfologias Antropogênicas, Unidades Complexas), correspondem de certa forma à articulação proposta para os fatores ambientais na metodologia análise de risco semiquantitativa em escala regional, na qual utiliza-se o sistema das UBCs, UHCTs para definição das variáveis de risco – correspondentes à predisposição natural dos terrenos, o favorecimento ou desfavorecimento dos processos geodinâmicos pelas condições da ocupação e à vulnerabilidade dos elementos expostos aos perigos, ou seja, em áreas suscetíveis.

adequado o dinâmico processo de gestão das informações ambientais na esfera do planejamento.

Em segundo lugar, o arcabouço da Cartografia Geomorfológica de Detalhe prova-se indispensável para as atividades de mapeamento do território realizadas em vista de diferentes aplicações, de maneira que todas estas atividades se beneficiarão com a maior observância aos conceitos geomorfológicos, tornando inevitável a presença de especialistas em geomorfologia nas equipes multidisciplinares voltadas à cartografia do meio físico.

Por fim, a Antropogeomorfologia, como subárea da Geomorfologia, oferece indicações de especial interesse para a compreensão da dinâmica do surgimento das áreas de risco. Sua base conceitual e procedimentos de análise e síntese cartográfica a partir da elaboração do Mapa de Unidades Complexas permitem a identificação de zonas críticas do processo de ocupação, onde os usos urbanos modificam as tendências naturais criando ou agravando situações de perigo. De outro lado, seu potencial de aplicação na busca e proposição de áreas interessantes à conservação³⁵ ou readequação, visando a mitigação do risco instalado nas cidades, ainda é algo a ser desenvolvido e testado. De toda maneira, a Geomorfologia Antropogênica pode ser considerada uma importante contribuição da geomorfologia para a construção de uma nova urbanidade, que avalie profunda e previamente os sistemas naturais, antes de sobrepor-los com as complexas camadas do meio antrópico.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A. N. 1969 **Uma revisão do quaternário paulista: do presente para o passado.** Revista Brás de Geografia, p. 1-50

AB'SABER, A. N. 1978 **A planície do Tietê no Planalto Paulistano.** Geomorfologia, São Paulo, n.57, p.1-24.

³⁵ Exemplo central destas possibilidades foi dado na elaboração do Plano de Manejo de APA Várzeas do Rio Tietê (APAVRT), como registrado por Rodrigues (2015).

ALESP – ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Decreto Estadual nº 57.512, 2011** – Programa Estadual de Prevenção de Desastres Naturais e Redução de Riscos Geológicos do Estado de São Paulo – PDN.

ALMEIDA, T. A. de. 2016 **Impactos decorrentes das mudanças ocasionadas pelo uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica urbana da UFJF – Campus JF sobre o escoamento superficial** – Monografia, Curso de Engenharia Ambiental, Juiz de Fora, 79p.

ANDRADE, E.; DANNA, L.C.; SANTOS, M.L., FERNANDES DA SILVA, P.C. (2010). **Levantamento de ocorrências de inundação em registros de jornais como subsídio ao planejamento regional e ao mapeamento de risco.** Anais do 7º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental. ABGE/ISSN 2178-1834. Maringá, Agosto de 2010. 16p.

ANDRADE, E.; DANNA, L.C.; FERNANDES DA SILVA, P.C. 2012 **Mapeamento de perigos e riscos de inundação no Município de Aparecida (São Paulo).** Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ. ISSN 0101-9759 e-ISSN 1982-3908 - Vol. 35 - 2 / 2012 p.28-42.

BAKER, V.R. 1976 **Hydrogeomorphic Methods for the Regional Evaluation of Flood Hazards.** Environmental Geology, 1(5), p.261-281.

BAKER, V. R. 1994 **Geomorphological understanding of floods.** Geomorphology, 10, p.139-156.

BENITO, G. & HUDSON, P. F. 2010 **Flood hazards: the context of fluvial geomorphology.** In: ALCÁNTARA-AYALA I. & GOUDIE, A. "Geomorphological hazards and disaster prevention". - Cambridge University Press, Cambridge, p.111-128.

BERGES, B. 2013 **Geomorfologia Urbana Histórica aplicada à análise das inundações na bacia hidrográfica do Córrego da Mooca - São Paulo/SP.** Dissertação de Mestrado. Departamento de Geografia FFLCH/USP. Universidade de São Paulo, São Paulo

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente 2006 **Diretrizes Metodológicas para o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) do Brasil**".

BRASIL. CASA CIVIL - **Lei Federal nº 12.608 de 10 de abril de 2012** – Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm> Acesso em 21/06/2023

BRUNSDEN, D. 1996 **Geomorphological events and landform change**. - Z. Geomorph. N. F., 40, p.273-288.

CEPED - CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES 2013 **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 1991 a 2012** – 2^a ed. rev. ampl. – Florianópolis UFSC

CLARO, M. M. S. 2013 **Unidades morfológicas complexas na bacia hidrográfica no Córrego da Tapera, São Paulo, SP: Contribuições ao planejamento ambiental urbano**. Dissertação de mestrado, Departamento de Geografia – FFLCH/USP, São Paulo, 156p.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL e IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO 2014 **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: 1:25.000: nota técnica explicativa**. Coordenação Omar Yazbek Bittar. São Paulo, SP / Brasília, DF

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL e IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações, 1:25.000**. 2015.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. 2018. **Manual de Mapeamento de Perigo e Risco a Movimentos Gravitacionais de Massa – Volume 1**. Rio de Janeiro: CPRM/SGB –Serviço Geológico do Brasil, 203 p.

CNM – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS MUNICÍPIOS. 2023. **Desastres obrigam mais de 4,2 milhões de pessoas que foram negligenciadas pelas políticas públicas a buscarem alternativas de moradia nos últimos dez anos**. Estudo Técnico. Disponível

via <<https://www.cnm.org.br/comunicacao/noticias/desastres-em-47-dos-municípios-forcaram-mais-de-4-2-milhões-a-deixarem-suas-casas-nos-últimos-10-anos>>

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA e SNLCS – SISTEMA NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DE SOLOS. 1979.

Manual de Métodos de Análise de Solo. Rio de Janeiro, 300p.

FERREIRA, C.J.; ROSSINI-PENTEADO, D. 2011 **Mapeamento de risco a escorregamento e inundações por meio da abordagem quantitativa da paisagem em escala regional.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 11, 2011, São Paulo. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental

FERREIRA, C.J.; ROSSINI-PENTEADO, D.; GUEDES, A.C.M. 2013. **O uso de sistemas de informações geográficas na análise e mapeamento de risco a eventos geodinâmicos.** In: FREITAS, M.I.C & LOMBARDO, M.A.: Riscos e Vulnerabilidades: Teoria e prática no contexto Luso-Brasileiro. São Paulo: Cultura Acadêmica.

FUNDAÇÃO FLORESTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. 2013. **Plano de Manejo da APA Várzea do Rio Tietê. Volume 1 (principal).** 5 Vol., São Paulo. 711p.

IG - INSTITUTO GEOLÓGICO DA SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. 2012 **Mapeamento de riscos associados a escorregamentos, inundações, erosão, solapamento, colapso e subsidência - Município de Aparecida - SP.** São Paulo: Instituto Geológico. Relatório Técnico, 3 volumes

IG - INSTITUTO GEOLÓGICO. 2014 **Unidades básicas de compartimentação do meio físico (UBC).** Ficha Técnica. São Paulo.

IG - INSTITUTO GEOLÓGICO. 2014 **Mapeamento de riscos associados a escorregamentos, inundações, erosão e solapamento de margens de drenagens – Município de Campos do Jordão, SP.** São Paulo: Instituto Geológico, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Relatório Técnico, 4 volumes

IG - INSTITUTO GEOLÓGICO 2018 **Cadastro Georreferenciado de Eventos Geodinâmicos: 50 Municípios da Região Metropolitana de São Paulo, Baixada**

Santista e Litoral Norte. Projeto Transporte Sustentável de São Paulo (P127723). São Paulo.

IG - INSTITUTO GEOLÓGICO 2020 **Mapeamento de Riscos de Movimentos de Massa e Inundações nos municípios da Região Metropolitana de São Paulo. Relatórios Técnicos e Shapefiles.** São Paulo: Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo. 2020. Disponível em: < <https://drive.google.com/drive/folders/1j63-0LaNH4WNAcHBhUZHcpZ1YmEp5IEE> >

GREGORY, K. J. (1984). **Fluvial geomorphology.** Progress in Physical Geography: Earth and Environment, 8(3), 421-430.

GREGORY, KJ **A natureza da Geografia Física.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1992. 367 p.

HACK, J. T. **Dynamic equilibrium and landscape evolution.** – In: MELHORN, W.N. & FLEMAL, R.C. (eds.): Theories of Landform Development, Proceedings of the Sixth Annual Binghampton Symposium, 1975, p.87-102.

LEOPOLD, LB & WOLMAN, MG. 1957 **River Flood Plains: Some observations on their formation.** USGS Professional Paper 282-C, Washington D.C., p.86-109.

LEOPOLD, L.B.; M.G. WOLMAN; J.P. MILLER 1964 **Fluvial Processes in Geomorphology.** W.H. Freeman & Co. San Francisco, 522 p

LUZ, R. A. 2014 **Mudanças geomorfológicas na planície fluvial do Rio Pinheiros, São Paulo (SP), ao longo do processo de urbanização** - Tese de Doutorado, Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo.

MENDONÇA, F. 2023 **Urban Floodings: Conceptions and Challenges in the Scope of Global Climate Change – A Look at the City of São Paulo, Brazil** – In: "Urban Flooding in Brazil" – Mendonça, F.; Farias, A.; Buffon, E. (ed.), Springer Nature, Switzerland.

MOROZ-CACCIA GOUVEIA, I. C. 2010 **Da originalidade do sítio urbano de São Paulo às formas antrópicas: aplicação da abordagem da Geomorfologia Antropogênica na**

Bacia Hidrográfica do Rio Tamanduateí, na Região Metropolitana de São Paulo. – Tese de Doutorado, Departamento de Geografia., Universidade de São Paulo.

NANSON, G. C. & CROKE, J. C. 1992 **A Genetic Classification of Floodplains – Geomorphology**, n.4, Elsevier Publishers, Amsterdam, p.459-486

NIR, D. 1983 **Man, a geomorphological agent: an introduction to Anthropic Geomorphology**. - D. Reidel, Boston: Keter publishing house, Jerusalem, 165p.

PATTON, P.C. 1988 **Drainage Basin Morphometry and Floods**. In: Baker, V., Kochel, R. and Patton, P., Eds., *Flood Geomorphology*, Wiley, New York, 51-65.

PELLOGIA, A. U. G. 2005 **A cidade, as vertentes e as várzeas: a transformação do relevo pela ação do Homem no município de São Paulo**. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, n. 16, p.24-31.

MELO, M. S. de; RICCOMINI, C., HASUI, Y., ALMEIDA, F. F. M. de, & COIMBRA, A. M. 1985. **Geologia e evolução do sistema de bacias tafrogênicas continentais do sudeste do Brasil**. *Revista Brasileira de Geociências*, 15(3), 193-201

RICCOMINI, C.; COIMBRA, A. M.; TAKIYA, H. 1992. **Tectônica e sedimentação na Bacia de São Paulo**. In *Problemas Geológicos e Geotécnicos na Região Metropolitana de São Paulo*. ABGE. p. 21-45.

RICCOMINI, C., SANT'ANNA, L. G., & FERRARI, A. L. 2004. **Evolução geológica do rift continental do sudeste do Brasil**. *Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo.

RODRIGUES, C. 1997 **Geomorfologia Aplicada: Avaliação de experiências e de instrumentos de planejamento físico-territorial e ambientes brasileiros** – Tese de Doutorado – Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, USP, São Paulo.

RODRIGUES, C. 2005 **Morfologia Original e Morfologia Antropogênica na definição de unidades espaciais de planejamento urbano: um exemplo na metrópole paulista**. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, n.17, p.101-111

RODRIGUES, C. 2010 **Avaliação do impacto humano da urbanização em sistemas hidromorfológicos: Desenvolvimento e aplicação de metodologia na Grande São Paulo**

RODRIGUES, C & MOROZ CACCIA-GOUVEIA, I. C. 2013 **Importância do fator antrópico na redefinição de processos geomorfológicos e riscos associados em áreas urbanizadas do meio tropical úmido. Exemplos na Grande São Paulo.** In: "Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas" – GUERRA, A. J. T. & JORGE, M. C. O. (Orgs.), Oficina de Textos, São Paulo, 254p.

RODRIGUES, C. 2015. **Atributos ambientais no ordenamento territorial urbano: o exemplo das planícies fluviais na metrópole de São Paulo.** Geousp – Espaço e Tempo, v. 19, n.2, p.325-348.

RODRIGUES, C.; MOROZ-CACCIA GOUVEIA, I. C.; LUZ, R. A.; VENEZIANI, Y.; SIMAS, I. T. H.; SILVA, J. P. 2019. **Antropoceno e mudanças geomorfológicas: sistemas fluviais no processo centenário de urbanização de São Paulo.** Revista do Instituto Geológico (Online), v. 40, p. 105-123

ROSS, J. L. S. 1992 **O registro cartográfico dos fatos Geomórficos e a questão da taxonomia do relevo.** Revista do Departamento de Geografia/FFLCH/USP, n.º 6, 17-29

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. 2011. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo.** Revista Do Departamento De Geografia, 10, 41-58.

SEABRA, O. C. L. 1987. **Os meandros dos rios nos meandros do poder: Tietê e Pinheiros – Valorização dos rios e das várzeas na cidade de São Paulo.** Tese de Doutorado. Departamento de Geografia – FFLCH/USP, 290p.

SIMAS, I.T.H. 2017 **Análise retrospectiva de inundação na bacia do Rio Aricanduva,** São Paulo. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, Dissertação de Mestrado, 168 p.

SIMAS, I.T.H. 2023. **Análise forense de episódios de inundação em bacia hidrográfica urbanizada de São Paulo** Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado

SOARES, P.C.; FIORI, A.P. 1976 **Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia**. Notícias Geomorfológicas, Vol.6, n.32, p.71-104.

SOTCHAVA, V.B. 1977. **O estudo dos geossistemas** São Paulo, Instituto de Geografia USP. 51p. (Métodos em Questão, 16).

UNISDR – UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISNK REDUCTION 2016 **The Human Cost of Weather-Related Disasters 1995-2015**.

VALERIANO M.M. 2008. **TOPODATA: guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. INPE.

VEDOVELLO, R. 2000 **Zoneamentos geotécnicos aplicados à gestão ambiental a partir de unidades básicas de compartimentação (UBCs)**. Rio Claro, 2000. 154p. Tese (doutorado) – IGCE – UNESP/Rio Claro.

VEDOVELLO, R., 2002 **Modelagem e arquitetura de um sistema gerenciador de informacoes geoambientais (SIG) como produto de avaliações geológico-geotécnicas**. X CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL. Ouro Preto. Sao Paulo: ABGE, 2002.

VEDOVELLO, R.; FERREIRA, C. J.; SALIM, A.; MATSUZAKI, J. A. C.; MATSUZAKI, K.; ROSSINI-PENTEADO, D.; OHATA, A. T. 2020 **Unidades básicas de compartimentação (UBC) do estado de São Paulo e seu uso para avaliações geoambientais e planejamento territorial**. Revista Brasileira de Geologia e Engenharia Ambiental, v. 10, n. 1, p. 73-87.

VENEZIANI, Y. 2014 **A abordagem da geomorfologia antropogênica e de modelagens hidrológica e hidráulica na bacia do Córrego Três Pontes (SP) para determinação de picos de vazão e da vulnerabilidade a inundações**. – Master thesis, Dep. Geogr., Univ. São Paulo, 2014.

VENEZIANI, Y. 2019 **Inundações em sistemas fluviais meândricos: geomorfologia e hidrologia de paleoinundações aplicadas à identificação de eventos holocênicos extremos no baixo Rio Ribeira de Iguape, Brasil**. Tese (Doutorado em Geografia

Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

WMO - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. 2024. **Climate change indicators reached record levels in 2023.** Disponível em <<https://wmo.int/news/media-centre/climate-change-indicators-reached-record-levels-2023-wmo>>Press release.

WOLMAN, M. G. & MILLER, J. P. 1960. **Magnitude and Frequency of Forces in Geomorphic Processes.** *The Journal of Geology*, 68 (1). p.54-74.

APÊNDICE A - TABELAS

Tabela A - Distribuição temporal dos pontos de ocorrência de enchentes/inundações nas bacias hidrográficas selecionadas no estudo, arbitrariamente numeradas para identificação.

Município	Bacia	Área (km ²)	Pontos de ocorrências (total na bacia)	Ano	Nº de Pontos
				2007	1
				2008	9
				2009	20
1		11,25	67	2010	7
				2011	21
				2012	2
				2013	6
				2007	3
				2008	3
2		3,17	25	2009	3
				2010	11
				2011	2
				2012	3
				2007	1
				2008	7
3		7,27	26	2009	3
Guarulhos				2010	2
				2011	10
				2012	2
				2008	3
				2009	2
4		2,11	8	2010	1
				2011	1
				2012	1
				2007	6
				2008	7
				2009	9
5		10,2	45	2010	2
				2011	8
				2012	4
				2013	11
				2008	1
6		2,49	18	2009	9
				2010	1

Tabela A - Distribuição temporal dos pontos de ocorrência de enchentes/inundações nas bacias hidrográficas selecionadas no estudo, arbitrariamente numeradas para identificação.

Município	Bacia	Área (km ²)	Pontos de ocorrências (total na bacia)	Ano	Nº de Pontos
				2011	2
				2012	2
				2013	3
				2007	2
				2008	1
				2009	2
				2010	2
				2011	3
				2013	1
				2000	1
				2007	3
7		1,62	11	2008	2
8		6,08	11	2009	3
Mogi das Cruzes	9	10,02	54	2012	2
Santo André	10	8,27	116	1993	1
				1994	1
				1995	11
				1996	5
				1997	3
				1998	2
				1999	3
				2001	2
				2003	1
				2004	2
				2005	21
				2006	2
				1997	1
				1998	1
				2001	1
				2002	3
				2003	1
				2004	6
				2005	6
				2006	11
				2007	9
				2008	15
				2009	12
				2010	9

Tabela A - Distribuição temporal dos pontos de ocorrência de enchentes/inundações nas bacias hidrográficas selecionadas no estudo, arbitrariamente numeradas para identificação.

Município	Bacia	Área (km ²)	Pontos de ocorrências (total na bacia)	Ano	Nº de Pontos
				2011	16
				2012	7
				2013	9
				2014	4
				2017	3
				2018	2

Tabela B – Relação de mapas temáticos no apêndice

Código	Temas - Mapas do Apêndice
1	Morfologias Originais do Sistema Fluvial (RODRIGUES et al., inédito)
2	Unidades Básicas de Compartimentação (IG, 2020)
3	Hipsometria
4	Declividade (classificação Embrapa, 1979)
5	Inclinação
6	Curvatura Horizontal
7	Curvatura Vertical
8	Geomorfologia - Padrões de Relevo (CPRM/IPT, 2014)
9	Suscetibilidade a Inundações (IPT, 2014)
10	Perigo Preliminar de Inundações (IG, 2020)
11	Potencial de Indução Antrópico a Inundações (IG, 2020)
12	Perigo Final de Inundações (IG, 2020)
13	Sobreposição 1 - Planícies fluviais originais (RODRIGUES et al, inédito) e UBCs do tipo planície (IG, 2020)
14	Sobreposição 2 - Declividade (classificação Embrapa, 1979) e mapeamentos das planícies
15	Sobreposição 3 - Curvatura Horizontal e mapeamentos das planícies
16	Sobreposição 4 - Curvatura Vertical e mapeamentos das planícies
17	Sobreposição 5 - Suscetibilidade a Inundações (IPT, 2014) e mapeamentos das planícies
18	Sobreposição 6 - Pontos de ocorrência de enchentes e inundações e mapeamentos das planícies
19	Sobreposição 7 - Setores de Perigo de Inundações mapeados em 1:3.000 (IG, 2020 - Fase 3) e mapeamentos das planícies

Tabela C - Tabela síntese dos parâmetros fisiográficos e índices morfométricos das bacias amostrais

Código da bacia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Município	Guarulhos	Guarulhos	Guarulhos	Guarulhos	Guarulhos	Guarulhos	Guarulhos	Guarulhos	Mogi das Cruzes	Santo André
Subbacia	Bacia de Contribuição da Vertente Esquerda do Tietê	Bacia do Baquirivu	Bacia do Baquirivu	Bacia dos Macacos	Bacia de Itaquera	Bacia de Itaquera	Bacia de Contribuição da Vertente Direita do Tietê	Bacia do Baquirivu	Bacia de Contribuição Lateral do Tietê	Bacia do Tamanduateí Médio I
Subregião Hidrográfica	Penha-Pinheiros	Cabeceiras	Cabeceiras	Penha-Pinheiros	Cabeceiras	Cabeceiras	Cabeceiras	Cabeceiras	Cabeceiras	Billings-Tamanduateí
Subcomitê hidrográfico	Cabeceiras	Cabeceiras	Cabeceiras	Cabeceiras	Cabeceiras	Cabeceiras	Cabeceiras	Cabeceiras	Cabeceiras	Billings-Tamanduateí
Área (km ²)	11,2505	3,1655	7,2687	2,1136	10,2006	2,4949	1,6184	6,08	10,022	8,2703
Amplitude altimétrica (m)	221,9664307	147	219	133	89	96,6969604	82	80,4292603	112	80
Comprimento do canal principal (km)	8,792	3,3712	5,9317	2,0709	4,5481	3,0417	2,0651	3,6134	4,616	4,3762
Comprimento total da drenagem (km)	21,2658	7,9658	17,1673	5,444	15,6573	4,8695	3,574	16,2336	17,6429	8,2626
Índice de circularidade - Ic	0,3685	0,4637	0,3223	0,5444	0,6518	0,4403	0,5914	0,5782	0,4607	0,6931

Tabela C - Tabela síntese dos parâmetros fisiográficos e índices morfométricos das bacias amostrais

Código da bacia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Densidade de drenagem - Dd	1,8902	2,5164	2,3618	2,5757	1,5349	1,9518	2,2084	2,67	1,7604	0,9991
Razão de relevo - Rr	0,028	0,045	0,04	0,067	0,021	0,034	0,041	0,024	0,025	0,021
Índice de sinuosidade - Is	1,0932	1,0223	1,0849	1,0427	1,0618	1,056	1,0256	1,0996	1,0296	1,1266

Elaboração: Bove, 2024

Tabela D - Síntese dos resultados da análise quantitativa das sobreposições dos mapeamentos.

Bacia	Mapeamento*	Área da divergência (km ²)	Percentual de sobreposição**	Número de ocorrências	Total de ocorrências na bacia	Percentual das ocorrências na bacia
1	MO	0,49	79%	12	67	18%
	UBC	0,72	72%	8		12%
	Sobreposição	1,90	-	21		31%
2	MO	0,02	50%	0	25	0%
	UBC	0,32	6%	6		24%
	Sobreposição	0,02	-	2		8%
3	MO	0,12	92%	0	26	0%
	UBC	0,45	76%	0		0%
	Sobreposição	1,39	-	10		38%
4	MO	0,01	94%	0	8	0%
	UBC	0,25	40%	0		0%
	Sobreposição	0,17	-	0		0%
5	MO	0,44	90%	8	45	18%
	UBC	0,09	98%	1		2%
	Sobreposição	3,82	-	5		11%
6	MO	0,11	85%	2	18	11%
	UBC	0,04	94%	0		0%
	Sobreposição	0,60	-	1		6%
7	UBC	0,18	100%	0	11	0%
	MO	0,27	70%	3		27%
	Sobreposição	0,64	-	1		9%
8	UBC	0,28	70%	0	11	0%
	MO	0,06	99%	0		0%
	Sobreposição	3,85	-	13		24%
9	UBC	0,80	83%	6	54	11%
	MO	0,01	99%	0		0%
	Sobreposição	1,39	-	17		31%
10	UBC	1,14	55%	10	116	9%
	Sobreposição	1,39	-	17		15%

* Convencionou-se, aqui, MO como os limites das planícies fluviais segundo suas Morfologias Originais (Rodrigues et al. inédito).

** Trata-se da razão entre a área sobreposta e a área total do mapeamento.

APÊNDICE B – METODOLOGIA PARA MAPEAMENTO DO PERIGO DE INUNDAÇÃO EM ESCALA DE DETALHE (1:3.000)

Nesta 3^a fase do mapeamento do Instituto Geológico, a metodologia adotada para a avaliação das inundações foi aquela descrita em Fernandes da Silva et al. (2014), que se diferencia da anterior, no que tange ao objeto de estudo, por distribuir as componentes do Potencial de Indução Antrópico nas variáveis Perigo e Vulnerabilidade. Contudo, no que interessa a este trabalho, dois elementos (um insumo utilizado e um dos produtos elaborados) desta etapa de mapeamento em escala local são considerados relevantes, por serem úteis na comparação dos mapeamentos das planícies fluviais da RMSP na escala regional³⁶:

O primeiro é o Cadastro Georreferenciado de Eventos Geodinâmicos (IG, 2018), fornecido como insumo aos executantes do projeto para seleção de áreas-alvo para o mapeamento em escala local. Isto ocorre para seleção de áreas mais críticas, às quais faz-se necessário detalhamento de informações com o objetivo de operacionalizar ações de enfoque tático no território. O segundo, é a própria setorização do grau final perigo de inundações segundo a metodologia para mapeamento em escala local (FERNANDES DA SILVA et al, 2014).

1) Seleção das áreas-alvo

Algumas linhas são necessárias para a caracterização procedural desta fase de mapeamento, pois se trata de importante mudança induzida pela alteração do raciocínio escalar. As áreas para detalhamento nesta etapa, passaram pelo seguinte critério de hierarquização e seleção, após coleta e preparação dos dados para identificação das áreas:

“Organização e espacialização das informações oriundas dos registros fornecidos pelas Defesas Civis municipais e estaduais, bem como registros do Instituto Geológico da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo.

Organização e espacialização de locais apontados pelas Defesas Civis municipais dos 27 municípios que foram alvo de mapeamento das áreas urbanas de uso residencial/comercial/serviços desta fase, em reuniões técnicas entre estes órgãos e a Contratada, e visando à seleção das áreas críticas de ocorrência recente e recorrência dos eventos geodinâmicos de interesse em cada município;

³⁶ O principal destes dois conjuntos de dados é que, voltadas à mesma temática das inundações, têm existência independente das UBCs delimitadas em fases anteriores (IG, 2020), assim como não guardam qualquer relação com as planícies identificadas no mapeamento das Morfologias Originais da Bacia do Alto Tietê (RODRIGUES et al., inédito)

Coleta de dados: a) junto às Defesas Civis dos municípios interceptados pelas rodovias do Bloco C; b) junto à Defesa Civil Estadual; c) registros do Instituto Geológico da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo;

Integração das informações oriundas do Cadastro de Eventos Geodinâmicos, que constitui o inventário de dados e informações sobre eventos e acidentes ocorridos entre 1993 e 2013" (IG, 2020).

A partir destas informações foram definidos os seguintes critérios de seleção, reproduzidos conforme se apresentam no relatório da Fase 3 (IG, 2020):

"1º Critério:

Áreas com ocorrências recentes e/ou recorrentes, resultantes dos apontamentos das reuniões com as Defesas Civis municipais e entidades públicas ou privadas relacionadas com a manutenção das rodovias abrangidas pelo projeto;

Áreas indicadas por atendimentos emergenciais recentes do Instituto Geológico da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo;

Para as áreas urbanas de uso residencial/comercial/serviços, foram selecionadas as áreas indicadas por informações oriundas de PMRR – Plano Municipal de Redução de Risco realizados anteriormente nos municípios abrangidos pelo projeto nesta Fase;

2º Critério:

Para as áreas urbanas de uso residencial/comercial/serviços, foram selecionadas as áreas classificadas como Risco Alto ou Muito Alto, resultantes da análise do mapeamento da Fase 02 em escala 1:10.000, associadas à ocorrência ou recorrência de eventos geodinâmicos indicados pelo Cadastro de Eventos Geodinâmicos ocorridos entre 1993 e 2013 e com grau de confiabilidade 1 (imóveis com endereço completo, onde consta nome da via e número do imóvel) ou 2 (imóveis com endereço incompleto, onde consta nome da via mas não há número do imóvel);

Para as áreas da Infraestrutura Rodoviária, foram selecionadas as áreas de Risco em rodovia classificadas como Perigo Preliminar Muito Alto, resultantes da análise do mapeamento da Fase 02 em escala 1:10.000, associadas à ocorrência ou recorrência de eventos geodinâmicos indicados pelo Cadastro de Eventos Geodinâmicos ocorridos entre 1993 e 2013 e com grau de confiabilidade 1 (locais com endereço completo, onde consta nome da via e número do imóvel ou km da rodovia)

3º Critério

Para as áreas urbanas de uso residencial/comercial/serviços, foram selecionadas as áreas classificadas como Risco Médio, resultantes da análise do mapeamento da Fase 02 em escala 1:10.000, associadas à ocorrência ou recorrência de eventos geodinâmicos indicados pelo Cadastro de Eventos Geodinâmicos ocorridos entre 1993 e 2013 e com grau de confiabilidade 1 (imóveis com endereço completo, onde consta nome da via e número do imóvel) ou 2 (imóveis com endereço incompleto, onde consta nome da via mas não há número do imóvel);

Para as áreas da Infraestrutura Rodoviária, foram selecionadas as áreas de Risco em rodovia classificadas como Perigo Preliminar Alto ou Médio, resultantes da análise do mapeamento da Fase 02 em escala 1:10.000, associadas à ocorrência ou recorrência de eventos geodinâmicos indicados pelo Cadastro de Eventos Geodinâmicos ocorridos entre 1993 e 2013 e com grau de confiabilidade 1 (imóveis com endereço completo, onde consta nome da via e número do imóvel ou km da rodovia);

Especificamente para inundações e processos correlatos, este critério é complementado pela seleção de áreas derivadas da sobreposição de UTB (Unidade Territorial Básica) com a OBH (Ottobacia) com classificação de Risco Muito Alto ou Alto para o processo de enxurrada, resultantes da análise do mapeamento da Fase 02 em escala 1:10.000, associadas à ocorrência ou recorrência de eventos

geodinâmicos indicados pelo Cadastro de Eventos Geodinâmicos ocorridos entre 1993 e 2013 e com grau de confiabilidade 1 (imóveis com endereço completo, onde consta nome da via e número do imóvel) ou 2 (imóveis com endereço incompleto, onde consta nome da via mas não há número do imóvel);

4º Critério:

Áreas indicadas por relatos de moradores ou decorrentes de observações dos próprios trabalhos de campo.” (IG, 2020)

O Cadastro Georreferenciado de Eventos Geodinâmicos

Conforme previsto na metodologia de Fernandes da Silva et al. (2011 e 2014) Andrade et al. (2012), o registro do histórico de ocorrências passa a primeiro plano nas determinações iniciais do mapeamento de detalhe do perigo de inundações. Este procedimento, de construção do cadastro de ocorrências está bem ilustrado no fluxograma apresentado em Fernandes da Silva et al. (2011), reproduzido abaixo (**figura 5.4.2-1**).

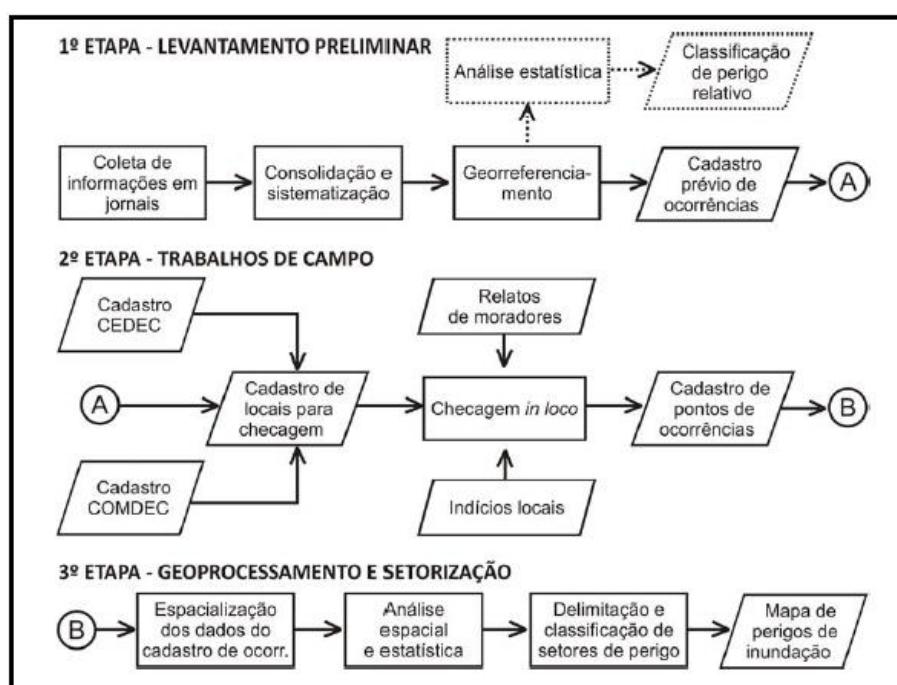


Figura B-1 – Fluxograma das etapas do mapeamento de perigo de inundaçāo em escala de detalhe. Destaque para a primeira e segunda etapas, que fundamentam a construção do cadastro de ocorrências (Fonte: Fernandes da Silva et al, 2011)

Por este motivo, na execuçāo do projeto o Cadastro de Eventos Geodinâmicos (1993 a 2013) passou por etapa de complementaçāo de sua base de dados. Os municípios abrangidos, e suas respectivas secretarias de Defesa Civil, foram contatados para envio

dos boletins de atendimento a desastres e registros de eventos geodinâmicos ocorridos, com destaque aos anos de 2013 a 2018, para complementação do intervalo temporal (IG, 2020).

Neste processo de aumento da abrangência para os anos de 2013 a 2018, foi utilizada também a sistemática de levantamento prevista em Andrade et al. (2010), cujo objetivo é o de padronizar a obtenção de dados de inundação em notícias de jornais e outros registros históricos em arquivos públicos³⁷. Resultou disso a complementação dos registros nos anos já abarcados, bem como a abrangência temporal da base de dados. Além destes procedimentos, adotou-se como fonte de dados o Sistema Integrado de Defesa Civil (SIDEC) da Coordenadoria Estadual de Defesa Civil do Governo do Estado de São Paulo, de acesso restrito, e procedeu-se à espacialização dos dados.

2) Mapeamento de Perigo de Inundação em Escala Local (de Detalhe)

Com a definição das áreas-alvo passou-se aos passos metodológicos subsequentes definidos em Fernandes da Silva et al. (2014), que sintetiza e consolida a metodologia desenvolvida desde Fernandes da Silva et al. (2011) e Andrade et al. (2012). Assim tiveram lugar os seguintes procedimentos, na ordem em que se apresentam:

Caminhamento pelas áreas-alvo

Tratando-se de áreas classificadas como “Residencial, Comercial e Serviços”, esta etapa tem alguns objetivos, para os quais realiza os seguintes procedimentos:

1) Levantamento de características da paisagem e da ocupação (estágio de ocupação, tipo de uso e cobertura da terra), percentuais de tipos construtivos observados, padrão construtivo e infraestrutura³⁸

³⁷ Ressalta-se esta etapa prática por sua relevância, ao aumentar o número e a qualidade dos registros disponíveis ao estudo das inundações. A partir das diretrizes de **Andrade et al. (2010)** pode-se levantar, por exemplo: data, duração, quantidade de chuva registrada, tipo de evento (enchente, inundação ou alagamento – ainda que sobre esta distinção haja matéria para muita discussão), nome do curso d’água relacionado, localidades e áreas afetadas (em diferentes níveis de completude), nível do atingimento (altura) (**IG, 2020**).

³⁸ Esta tarefa está na sobreposição dos mapeamentos de Perigo e Vulnerabilidade (**IG, 2020**)

2) Levantamento dos Níveis de Atingimento (NAt) ao longo da Área-Alvo, definindo para cada ponto registrado suas coordenadas e altura de atingimento da água nos locais em que foram observados ou inferidos (a partir de informações de moradores ou poder público)³⁹;

3) Levantamento dos limites da área de inundação (ou processo correlato), de acordo com os seguintes critérios:

Onde o NAt, obtido por observação ou inferência, seja igual a 0 m. definiu-se como a margem exterior da área de suscetibilidade/perigo;

Considerando o atingimento de barreiras físicas pelo processo hidrológico (muros, construções ou outros elementos do terreno que pudessem agir como barramento), a interpolação respeitou seus limites. O resultado foi o traçado de áreas suscetíveis a processos hidrológicos cujos níveis de atingimento são interceptados por estas barreiras. Assim, estas áreas não apresentam margem exterior com NAt = 0 m ao longo de todo seu perímetro;

Sendo a seleção dessas áreas-alvo restrita às áreas de uso “Residencial, Comercial e Serviços”, estabeleceram-se “limites arbitrários que seguem os limites deste tipo de uso do solo” (IG, 2020). Dessa forma, alguns limites exteriores de áreas suscetíveis foram levantados tal como mencionado no caso das barreiras físicas. Portanto, “áreas sem ocupação lindeira às áreas-alvo, embora atingidas pelo processo, não foram mapeadas e os limites das áreas de uso residencial/comercial/serviços adjacente foi definido como limítrofe” (IG, 2020).

Setorização do Perigo

Com auxílio de SIG, são realizados os seguintes passos (IG, 2020):

Apontamento dos Níveis de Atingimento (NAt) identificados;

Interpolação assistida⁴⁰ (para delimitação dos setores de *Perigo Preliminar – Pp*)

³⁹ O objetivo destes registros é subsidiar a geração de uma superfície por interpolação dos pontos com nível de atingimento atribuído, separados em 4 classes de Perigo Preliminar, conforme definições de **Fernandes da Silva et al. (2014)**

⁴⁰ O relatório menciona que a abordagem por interpolação assistida, utilizada tanto na delimitação dos setores de Perigo Preliminar quanto na adequação dos limites externos dos setores de Risco (quando coincidente com áreas ocupadas por objetos aos quais não se aplica, ou estavam fora do escopo do projeto), foi desenvolvida no âmbito do próprio projeto (IG, 2020)

Deste modo, em primeiro lugar obtêm-se os elementos fundamentais da setorização, cuja descrição resumida se apresenta abaixo, e sua forma de admissão no SIG pode ser verificada nos exemplos da **figura B-1**:

- 1) A área de inundação (polígono delimitados pelo NAT=0 m ou barreiras físicas – naturais ou antropogênicas);
- 2) Barreiras ou limite indefinido (linhas que constituem os lados do polígono da área de inundação, representam barreira natural ou antropogênica, ou indefinição do nível de atingimento do local);
- 3) Nível de atingimento (pontos com a elevação do nível d'água em relação à superfície)



Figura B-1 – Forma de admissão em SIG dos elementos constituintes da setorização de perigo segundo Fernandes da Silva et al. (2014) (Fonte: IG, 2020)

Em seguida, estes elementos são reunidos em dado composto para realização da interpolação, no processo ilustrado pela **figura B-2**, abaixo⁴¹.

⁴¹ O exemplo ilustrado é “perfeito”, ou seja, não representa, como no exemplo do próprio relatório (IG, 2020) alguns procedimentos de correção e utilização de dados complementares, que eventualmente foram necessários para solução de situações específicas e complexas que surgem quando da análise das áreas metropolitanas e suas múltiplas configurações.

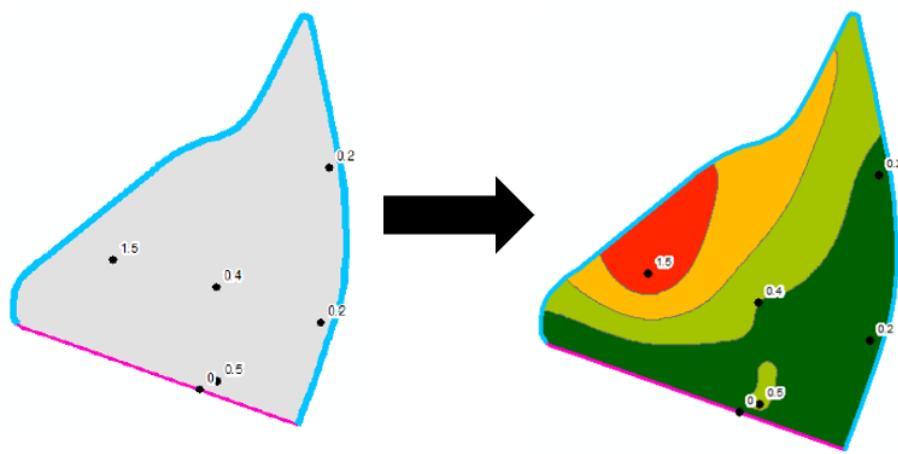


Figura B-2 –Entrada (dado composto) e saída (setores de perigo) do processo de interpolação geoestatística para setorização de perigo segundo Fernandes da Silva et al. (2014) (Fonte: IG, 2020 adap Bove, 2024)

APÊNDICE C - MAPAS

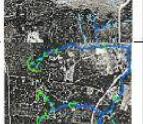
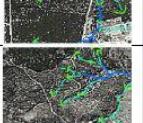
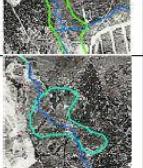
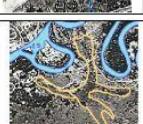
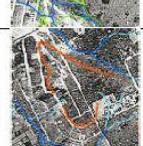
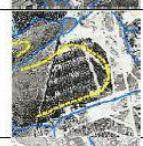
Para acessar o conjunto de mapas, acesse o link abaixo:

<https://drive.google.com/drive/folders/1oboHDnfO9Fi1GuogCX7JwEj1QAggsbTU?usp=sharing>

Ou entre em contato pelo e-mail:

davitbove@gmail.com

ANEXO A – LEGENDA DO MAPEAMENTO DE DETALHE DAS MORFOLOGIAS ORIGINAIS

Nome	Descrição morfológica	Tendência de processos hidrológicos	Simbologia	Visão vertical
Córrego perene	Canal fluvial permanente alimentado por nível freático. Apresenta talvegue bem definido, normalmente no centro do vale.	Principal descarga da bacia hidrográfica, apresenta flutuação conforme oscilações sazonais e eventos de chuva.	—	
Curso intermitente	Incisões menos proeminentes, formam concavidades que concentram fluxos pluviais, mas não definem talvegue fluvial.	Corpos d'água com funcionalidade descontínua no tempo e atuação como coletores nas cabeceiras de drenagem.	~	
Vales em "V"	Vales de incisão profunda, com calha fluvial e sem conformação de planícies. Declividades >10° e distância interfluvial <300m, denotam dissecação do relevo.	Quanto maior a incisão, mais fechadas e íngremes tendem a ser as vertentes. O escoamento superficial tende a ser predominante e veloz (>1m/s).	▲	
Vales em berço	Vales abertos, com vertentes <10° de declividade; sem talvegue. Localizado em cabeceiras, apresentam concavidade na base e forma curva.	Predomínio de infiltração, no início das chuvas, com aumento do escoamento superficial concentrado induzido pela concavidade. Convergência de fluxos.	~	
Planície de inundação	Áreas rebaixadas em relação ao entorno e aplanada, com declividades <4°. Associadas a cursos perenes, estendem-se longitudinalmente no eixo principal da bacia, alargando-se nas proximidades de confluências fluviais. Podem apresentar contato abrupto côncavo com a vertente.	Morfologia sujeita a inundações regulares (<2 anos), com nível freático pouco profundo, má drenagem superficial e saturação constante do solo.	■	
Backswamp (bacias de inundação)	Setores aplanados e rebaixados dentro da planície de inundação. Normalmente localizados na retaguarda da planície com terraço ou com vertente.	Constantemente saturada, pode apresentar afloramento de nível freático. Os excedentes fluviais tendem a permanecer mais tempo ocupando estas bacias, do que o entorno da planície de inundação.	■	
Meandro colmatado	Formas senoidais em planta, rebaixadas em relação ao nível da planície. Conformam alças meandrinas não ativas associadas ao antigo curso fluvial que sofrem intenso processo de assoreamento.	Setores constantemente saturados e caracterizados pelo predomínio do assoreamento por aluviões. Estão sujeitas à inundações e permanência da água quando em situações de chuva intensa.	■■■	
Terraços	Paleosuperfícies elevadas em relação ao nível da planície e com morfologia aplanada <4°, localizadas entre a planície e a vertente. O contato com a vertente é em geral côncavo ou em rampa.	Formas onde a inundação não é o processo predominante e sujeitas à erosão nas bordas. Com melhor drenagem superficial em relação à planície de inundação, a infiltração é mais elevada, favorecendo a diminuição do fluxo concentrado.	■■■	
Rupturas e mudanças convexas (terço superior da vertente)	Limites ou zonas convexas da ruptura ou da mudança de declividade entre o topo do morro (<4°) e o sistema vertente (>4°). A importância dessa alteração denuncia o grau de dissecação do relevo na alta vertente.	Drenagem eficiente com predomínio de divergência de fluxo. Denota o grau de dissecação do modelado na alta vertente.	Ruptura - Mudança -	
Rupturas e mudanças convexas (terço médio e inferior da vertente)	Limites ou zonas convexas da ruptura ou da mudança de declividade entre a alta/media vertente (<4°), com a superfície a jusante (>4°).	Drenagem eficiente com predomínio de divergência de fluxo. Denota o grau de dissecação do modelado nos terços médios.	Ruptura - Mudança -	
Ventente côncava	Recuo central côncavo na vertente, a partir da perspectiva em planta. Variação positiva da orientação das faces.	Tende à concentração de fluxos com predomínio de escoamento superficial concentrado. Cursos efêmeros.	→	
Ventente convexa	Proeminência central convexa na vertente, a partir da perspectiva em planta. Variação negativa da orientação das faces.	Tende à dispersão de fluxos, área melhor drenada. Podem ocorrer afloramentos de rocha devido à erosão laminar intensa.	→*→	
Vertente retilínea	Vertente com morfologia plana a partir da perspectiva em planta. Não há variação da orientação das faces.	A tendência hidrológica nestes setores depende do grau de inclinação da vertente.	→	

ANEXO B – QUADRO EXPLICATIVO DA CLASSIFICAÇÃO DAS MORFOLOGIAS ANTROPOGÊNICAS

Morfologia	Unidades	Descrição morfológica e tendência de processos hidromorfológicos	Legenda
Morfologia semi-preservada	Corpos d'água com características semi-preservada	Corpos d'água menores que 900 m ² , formam pequenos açudes de regime perene, em geral, com margens desprovidas de vegetação ciliar e circundados por gramíneas. Estão preferencialmente localizados nas vertentes setores médios e inferiores, ocasionalmente nos setores superiores das vertentes, normalmente com geometria côncava. A turbidez é um aspecto marcante, sugerindo predomínio de processos hidromorfológicos intensos de sedimentação, e erosão nas cabeceiras.	
	Áreas predominantemente dotadas de cobertura vegetal (matas, capoeiras, campos, vegetação de várzea ou, ainda, reflorestamento), que mantém as condições de originalidade dos sítios.	Constituídas por remanescentes arbóreos e formações arbustivas ou rasteiras, não apresentam intervenções antrópicas significativas sobre as formas do modelado conservando, parcialmente, as características morfológicas originais. Podem denotar alterações intensas nos processos hidromorfológicos superficiais decorrentes das modificação nos materiais predominantes, com algum incremento nas velocidades dos fluxos e nas taxas de erosão.	
De natureza urbana	Estágio não consolidado (intermediário) de urbanização	Constituem-se de ocupação urbana residencial com padrões construtivos inadequados que denotam estágios não consolidados de ocupação, normalmente envolvendo remodelação de material superficial, exposição de grandes volumes de solo, sistemas de drenagem pluvial improvisado e não dimensionados. Sobre os sistemas de vertente, podem deflagrar processos erosivos intensos aumentando o aporte de sedimentos. Por outro lado, em setores de planície, alteram taxas de infiltração redundando na aceleração do enchimento, transbordamento e aumento da permanência da água na superfície.	
	Áreas urbanas com taxas de impermeabilização muito altas, desprovidas de infra-estrutura	Constituem-se de ocupação urbana diversificada com padrões construtivos adequados e melhor estruturados, denotando alterações hidromorfológicas significativas decorrentes de obras de reconfiguração topográfica, com destaque a: produção de descontinuidades entre materiais tecnogênicos dos aterros e as superfícies originais do modelado, aumentos da taxas de permeabilidade e de infiltração, aumento do volume, da velocidade e concentração do fluxo. Nas planícies, salienta-se as tendências de diminuição do tempo de reservação da água em função da drenagem urbana, aumento da saída de agua em virtude das drenagens associadas a alteamentos de industriais e casas, diminuição do potencial de infiltração e atenuação dos cheias fluviais, e aumento da vulnerabilidade (frequência e magnitude de inundações), principalmente nos setores remanescentes desta unidade morfológica.	
	Estágio consolidado (final) de urbanização	Constituem-se de ocupação urbana diversificada com padrões construtivos adequados e melhor estruturados, denotando alterações hidromorfológicas significativas decorrentes de obras de reconfiguração topográfica, com destaque a: produção de descontinuidades entre materiais tecnogênicos dos aterros e as superfícies originais do modelado, aumentos da taxas de permeabilidade e de infiltração, aumento do volume, da velocidade e concentração do fluxo. Nas planícies, salienta-se as tendências de diminuição do tempo de reservação da água em função da drenagem urbana, aumento da saída de agua em virtude das drenagens associadas a alteamentos de industriais e casas, diminuição do potencial de infiltração e atenuação dos cheias fluviais, e aumento da vulnerabilidade (frequência e magnitude de inundações), principalmente nos setores remanescentes desta unidade morfológica.	
	Áreas urbanas com taxas de impermeabilização muito altas, dotadas de infraestrutura.	Constituem-se de ocupação urbana diversificada com padrões construtivos adequados e melhor estruturados, denotando alterações hidromorfológicas significativas decorrentes de obras de reconfiguração topográfica, com destaque a: produção de descontinuidades entre materiais tecnogênicos dos aterros e as superfícies originais do modelado, aumentos da taxas de permeabilidade e de infiltração, aumento do volume, da velocidade e concentração do fluxo. Nas planícies, salienta-se as tendências de diminuição do tempo de reservação da água em função da drenagem urbana, aumento da saída de agua em virtude das drenagens associadas a alteamentos de industriais e casas, diminuição do potencial de infiltração e atenuação dos cheias fluviais, e aumento da vulnerabilidade (frequência e magnitude de inundações), principalmente nos setores remanescentes desta unidade morfológica.	
Morfologia antropogênica	Solos expostos. Superfície totalmente exposta, podendo ou não apresentar movimentação de terra	Constituem-se de solos expostos ou terrenos com movimentação para preparação do terreno ou em função de uso intensivo, possuem como característica básica a remoção completa da vegetação. Mesmo não implicando, necessariamente, reconfiguração topográfica, apresentam níveis de perturbação intermediários a elevados, associados à tendências hidromorfológicas de diminuição significativa da capacidade de infiltração, aumento do escoamento superficial e da produção de sedimentos.	
	Mineração	Constituem-se de áreas sujeitas à atividade mineradora, particularmente para extração de areia na BHTP. Apresentam ampla movimentação de terra devido a abertura e aprofundamento da cava, e nas pilhas de estéril, decorrendo nos mais elevados níveis de perturbação morfológica. A céu aberto, caracterizam-se pela remoção da cobertura vegetal e completa reconfiguração topográfica, com cortes e aterros, deflagrando processos erosivos severos nos taludes das cavas e acessos, intensa produção de sedimentos a corpos d'água a jusante. Em casos específicos podem apresentar funcionalidades relacionadas à reservação de excedentes.	
	Via férrea	Consistui-se de uma morfologia particular no contexto das formas não urbanas da BHTP, com ocorrência exclusiva na planície fluvial, e determinam o aterramento de importantes setores da planície de inundações e terraços, com alteamento significativo. Importantes à manobra ferroviária. constituem terrenos antropogênicos bem drenados e menos vulneráveis à inundações. Devido ao alteamento podem resultar no agravamento do acúmulo de água em remanescentes morfológicos e áreas não alteadas.	

ANEXO C – ESTRUTURA DE CLASSES DAS UNIDADES HOMOGENEAS DE USO E COBERTURA DA TERRA (UHCTS)

NÍVEL 1 (classe de cobertura da terra)	NÍVEL 2 (subclasse de cobertura da terra)	NÍVEL 3 (tipologia de uso)	NÍVEL 4 (Tipo e Padrão da ocupação)					
1. Superfícies Antrópicas Não Agrícolas	1.1. Área Urbana ou Edificada	1.1.1. R/C/S (Residencial / Comercial / Serviços)	i) Padrão da edificação: i.1. Edificações verticais (> 3 pavimentos = prédio) i.2. Edificações horizontais (< = 3 pavimentos = casa)					
			ii) Densidade de ocupação: ii.1. Muito alta (edificações verticalizadas ou lotes de até 150 m ²) ii.2. Alta (lotes de 151 m ² a 250 m ²) ii.3. Média (lotes de 251 m ² a 450 m ²) ii.4. Baixa (lotes > 450 m ²) ii.5. Muito baixa (chácaras, sítios e ocupações esparsas)					
			iii) Estágio da ocupação: iii.1. Consolidado (mais de 80 % de lotes edificados) iii.2. Em consolidação (de 30 % a 80 % de lotes edificados) iii.3. Rarefeito (menos de 30 % de lotes edificados)					
			iv) Ordenamento urbano para R/C/S: *considerar árvores em quintais, no sistema viário e em lotes vazios. Não considerar gramas	Classes	Traçado do sist. viário	Exist. de pavimentação	Arborização urbana (*)	
			iv.1. Muito alto iv.2. Alto iv.3. Médio iv.4. Médio iv.5. Baixo iv.6. Muito baixo	Sim Sim Sim Sim Não Não	Sim Sim Não Não Não Não	Sim Não Sim Não Sim Não		
			v) Ordenamento urbano para loteamento: **considerar também cobertura tipo gramínea entre as quadras	1.1.2. Loteamento em Implantação	Classes	Traçado do sist. viário	Exist. de pavimentação	Arborização urbana (**)
				v.1. Ord_Lot_1 v.2. Ord_Lot_2 v.3. Ord_Lot_3 v.4. Ord_Lot_4	Sim Sim Sim Sim	Sim Sim Não Não	Sim Não Sim Não	
				1.1.3. Espaço Verde Urbano	vi.1. Canteiro central vi.2. Praças vi.3. Parques vi.4. Faixa de servidão vi.5. Áreas verdes e espaços livres			
				1.1.4. Grandes Equipamentos	vi.1. Complexo industrial vi.2. Indústria e galpões isolados vi.3. Estação de tratamento de água vi.4. Estação de tratamento de esgoto vi.5. Estruturas de sistemas de transporte vi.6. Instituições de ensino vi.7. Templo religioso vi.8. Área militar vi.9. Área de lazer e desportiva (campo de futebol, golfe, etc.) vi.10. Mineração (porção edificada) vi.11. Aterro sanitário vi.12. Cemitério vi.13. Estrutura de energia vi.14. Estrutura de saúde vi.15. Estação meteorológica vi.16. Galpão de comércio e serviços vi.17. Institucional vi.18. Penitenciária vi.19. Abastecimento de água vi.20. Barragem vi.21. Reservatório de retenção de enchentes			
2. Superfícies Antrópicas Agrícolas	2.1. Área Agrossilvopastoril	2.1.1. Pastagem	viii.1. Pasto sujo (arbustivo-arbóreo) viii.2. Pasto limpo (herbáceo-arbustivo)					
		2.1.2. Agricultura	ix.1. Cultura perene (arbóreo) ix.2. Cultura temporária (herbáceo-arbustivo)					
		2.1.3. Silvicultura	x.1. Reforestamento					
3. Superfície Natural ou Seminatural	3.1. Formação Florestal (Não inclui reflorestamento)	3.1.1. Floresta (Porte arbóreo ou Arbóreo- arbustivo)	xi.1. Mata Atlântica xi.2. Capoeira (arbóreo-arbustivo) xi.3. Mangue (arbóreo-arbustivo)					
	3.3. Área Umida (Herbácea ou Arbórea- Arbustivo)	3.3.1. Área Umida (Herbácea ou Arbórea- arbustivo)	xii.1. Planície alagável					
4. Áreas Descobertas (espaços abertos com pouca ou nenhuma vegetação)	4.1. Solo Exposto	4.1.1. Solo Exposto	xiii.1. Solo exposto para agricultura xiii.2. Solo exposto para ocupação urbana xiii.3. Solo exposto por erosão xiii.4. Solo exposto por mineração					
	4.2. Afloramento Rochoso	4.2.1. Afloramento Rochoso	xiv.1. Afloramento rochoso xiv.2. Afloramento rochoso por mineração					
5. Água	5.1. Água Continental	5.1.1. Curso d'água	xv.1. Curso d'água					
		5.1.2. Lago/Lagoa/ Represa	xvi.1. Lago / Lagoa / Represa xvi.2. Lago / Lagoa por mineração					