

Hidrologia urbana: encarando os desafios como oportunidades

Filipe Antonio Marques Falcetta

*Palestra apresentada na sede da Câmara de São Carlos, na
Conferência da Cidade de São Carlos 14 slides*

A série “Comunicação Técnica” compreende trabalhos elaborados por técnicos do IPT, apresentados em eventos, publicados em revistas especializadas ou quando seu conteúdo apresentar relevância pública. **PROIBIDO REPRODUÇÃO**

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
S/A - IPT
Av. Prof. Almeida Prado, 532 | Cidade Universitária ou
Caixa Postal 0141 | CEP 01064-970
São Paulo | SP | Brasil | CEP 05508-901
Tel 11 3767 4374/4000 | Fax 11 3767-4099

www.ipt.br



ipt

INSTITUTO DE
PESQUISAS
TECNOLÓGICAS

CIDADES, INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE (CIMA)

Seção de Planejamento Territorial, Recursos
Hídricos, Saneamento e Florestas (SPRSF)

HIDROLOGIA URBANA: ENCARANDO OS DESAFIOS COMO OPORTUNIDADES



Pesq. Dr. Filipe Antonio Marques Falcetta

ipt
INSTITUTO DE
PESQUISAS
TECNOLÓGICAS

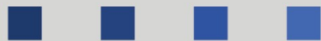
INTRODUÇÃO

Brasil: + de 90% de população urbana em 2030

8,2 mi de pessoas em áreas de risco a inundação e/ou desmoronamento

342 dos 645 municípios sujeitos a Inundações urbanas em SP

- **META “PARA ONTEM”:**
- Planejar a drenagem urbana com vistas à questão de inundações é perceber que existem tanto **problemas a serem resolvidos** como **oportunidades a serem exploradas**.



INTRODUÇÃO



- Até quando seguiremos retificando e tamponando rios?
- A drenagem urbana requer soluções e políticas inovadoras.
- Um plano de drenagem urbana é uma peça técnica, **voltada para o futuro**, que tem como escopo **orientar** as ações e o processo **decisório** a respeito dos problemas de inundações de uma bacia.
- Deve basear-se em **informações suficientes e confiáveis** e nas **melhores tecnologias disponíveis** para enfrentar os problemas apresentados.

INTRODUÇÃO



- **Cheias dos rios:** enchentes e inundações.
- **Fenômeno natural,** necessário para a manutenção dos ecossistemas aquáticos.
- **Essencial** para a reprodução e alimentação de diversas espécies animais.
- **Fornece 25% de todos os benefícios ecossistêmicos da natureza.**

INTRODUÇÃO

- Os **rios são muito importantes** para as atividades humanas: são fonte de alimento: além da pesca, as cheias dos rios fertilizam os solos.
- **Meio de transporte:** grandes rios possibilitam a navegação, conectam povos distantes e facilitam trocas comerciais.
- Importantes **Civilizações** humanas surgiram nos vales dos rios Nilo (Egito), dos rios Tigre e Eufrates (Mesopotâmia), do rio Indo (Índia), do rio Amarelo (China) etc.



INTRODUÇÃO

- Diversos centros urbanos do mundo começaram às margens de rios. A sua cidade pode inclusive ter o nome do rio que a originou.
- Inicialmente fonte de prosperidade e progresso, muitos rios urbanos foram ficando progressivamente degradados.
- A poluição das águas e a ocorrência de inúmeros episódios de cheia decorrentes da ocupação indevida das planícies de inundação tornaram os rios “inimigos da cidade”.

INTRODUÇÃO



INTRODUÇÃO



INTRODUÇÃO

- **Doutrina higienista** do século XIX: afastamento das águas pluviais para promover a “saúde pública”. Sociedade da época se mobilizou para aterrar várzeas, canalizar e tamponar rios e córregos e o viário de muitas cidades brasileiras foi estruturado nas “vias de fundo de vale”.
- A supressão de meandros e das regiões de várzea acelerou o escoamento, aumentado pela impermeabilização provocada pela pavimentação das vias e pelo tecido urbano tornou o **problema da drenagem urbana** um desafio **quase insolúvel**.
- A retificação dos rios e a impermeabilização das bacias ignora comportamentos naturais. Esta concepção equivocada da drenagem urbana obriga a construção de **estruturas cada vez maiores**.
- À medida que a cidade cresce e o solo urbano se impermeabiliza a situação se agrava e a **ampliação dos sistemas de drenagem torna-se impraticável**.

INTRODUÇÃO

COMISSÃO DE MELHORAMENTOS DO RIO TIETÊ
1924-1925

Planta do Rio Tietê
entre Osasco e Penha

Fonte: Água, sua linda (2020)

A várzea dá espaço para o rio encher, esvaziar e se mover



Projeto de melhoramentos entre Osasco e Penha

Extensão pelo Canal:
Osasco X a Ponte Guarulhos: 26.000ms.

Aterrado esse espaço, surgem as enchentes e alagamentos



PREFETO DA CAPITAL: D. Firmiano de Moraes Pinto
ENGENHEIRO CHEFE: F. Saturnino Rodrigues de Brito

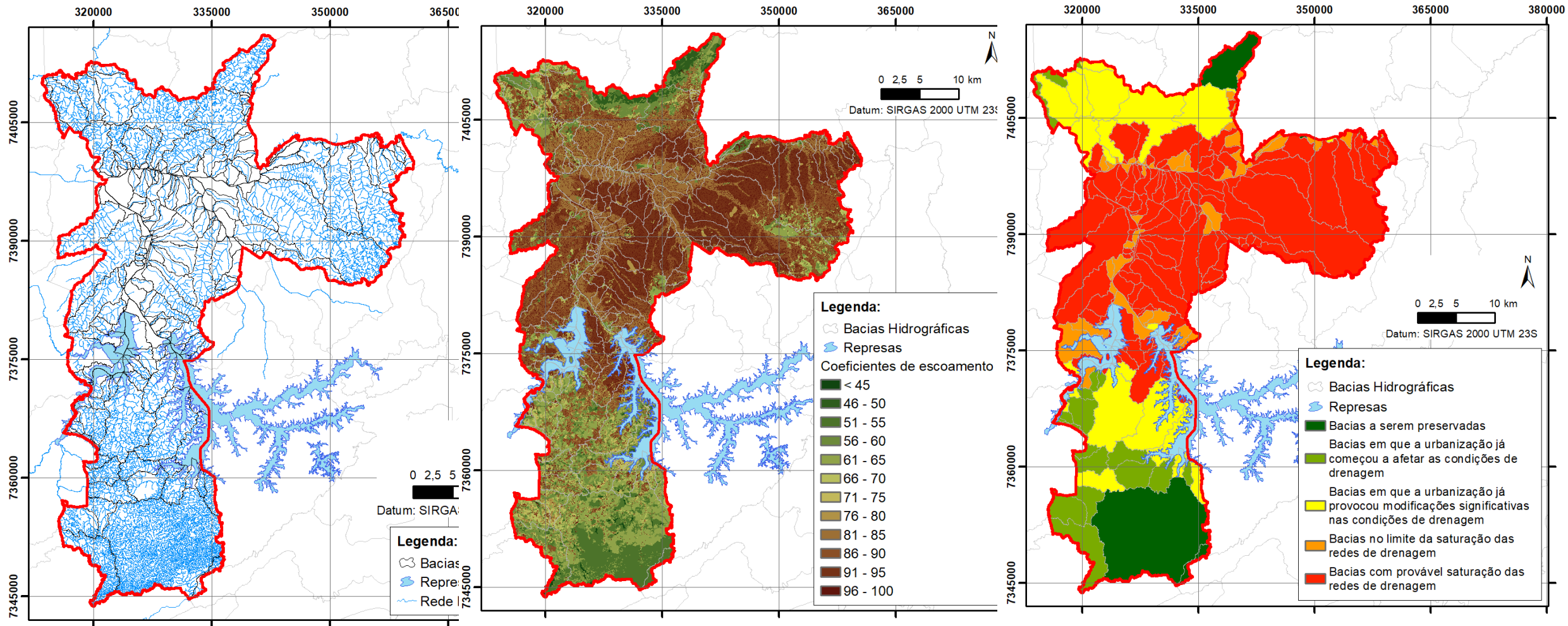


INTRODUÇÃO

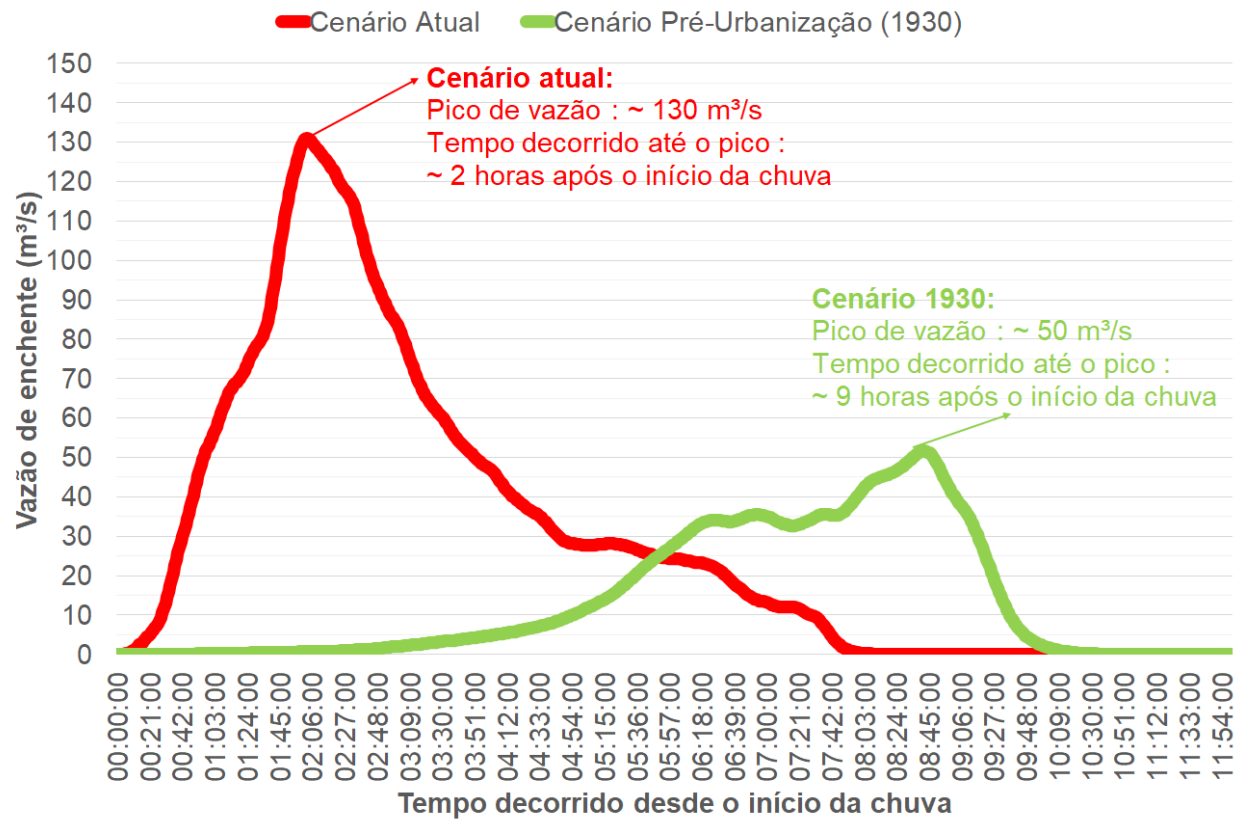
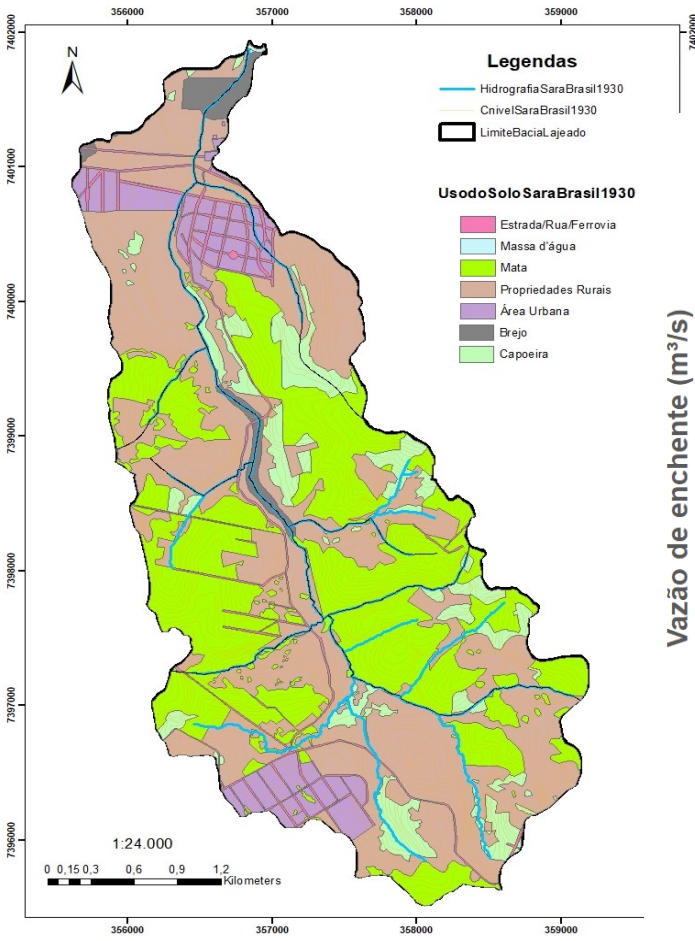
Retificação de rios urbanos:
a solução que virou um grande problema



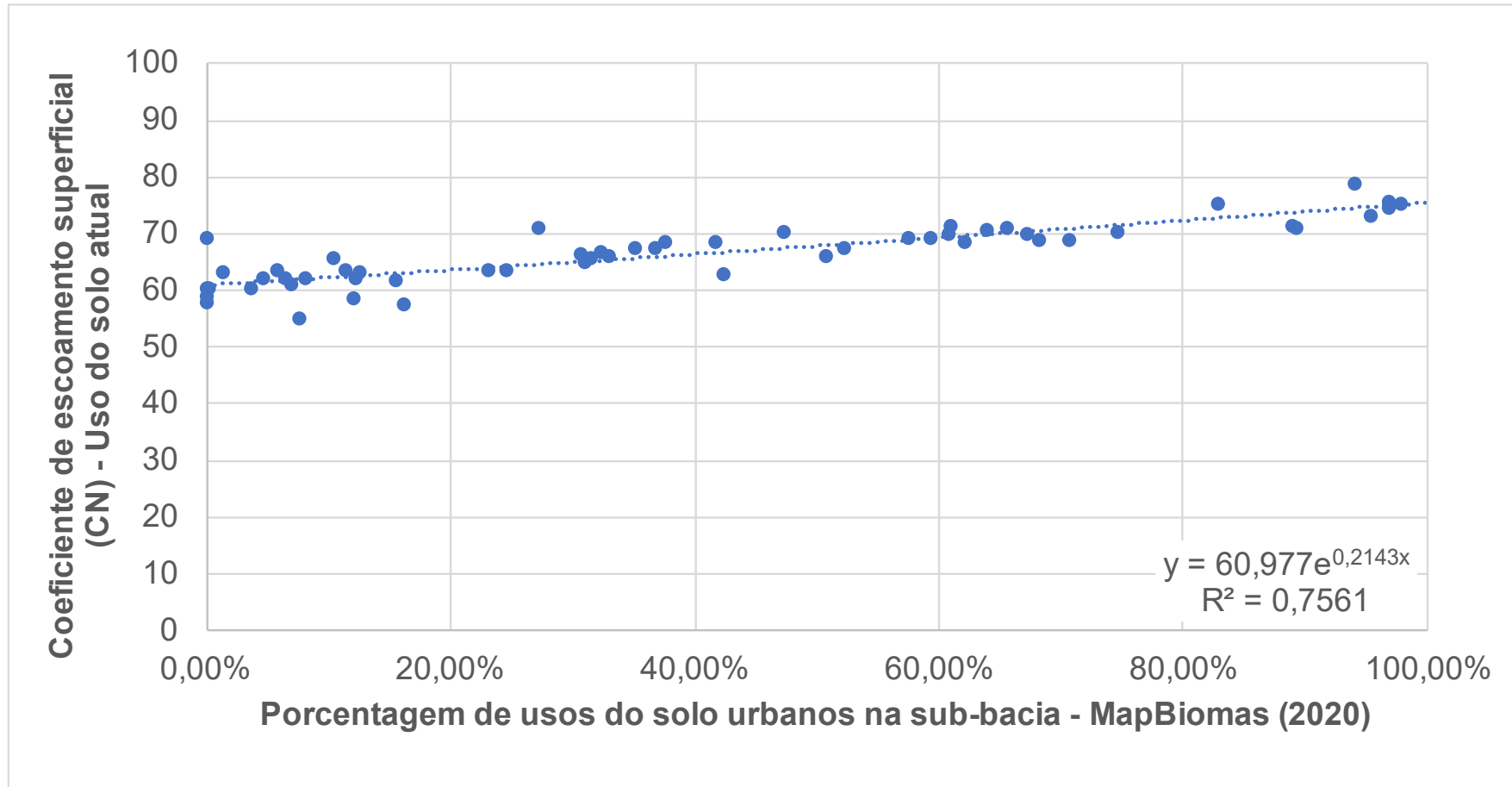
O BINÔMIO URBANIZAÇÃO-IMPERMEABILIZAÇÃO



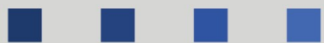
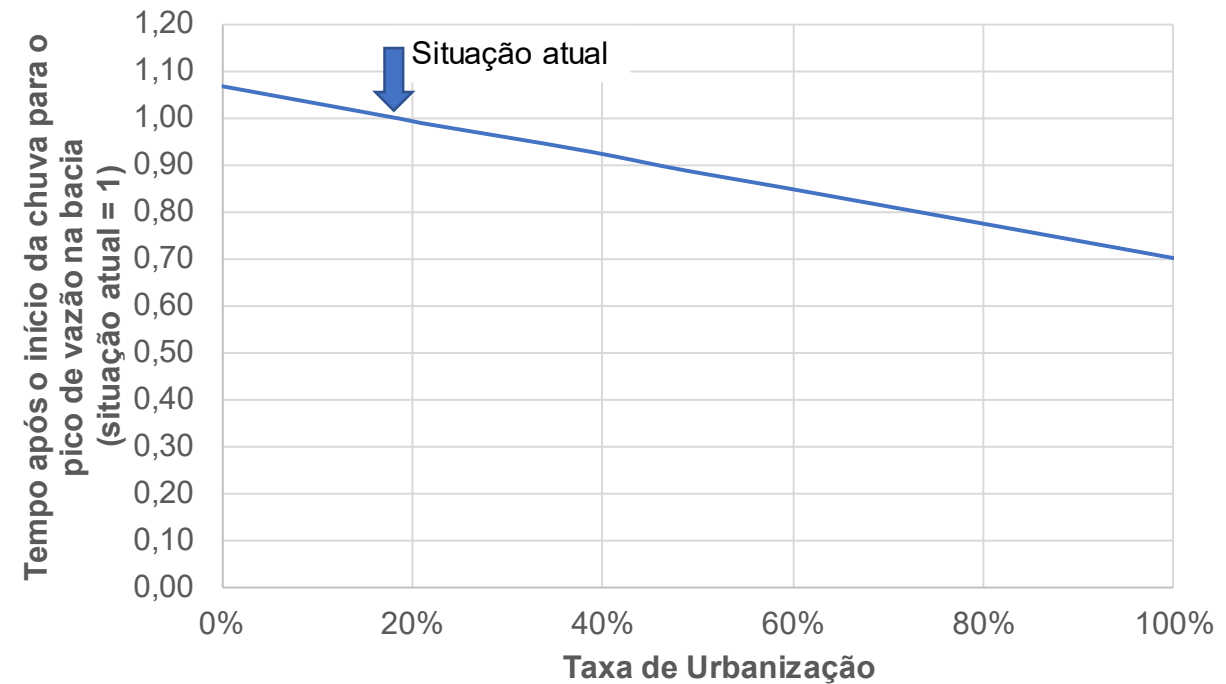
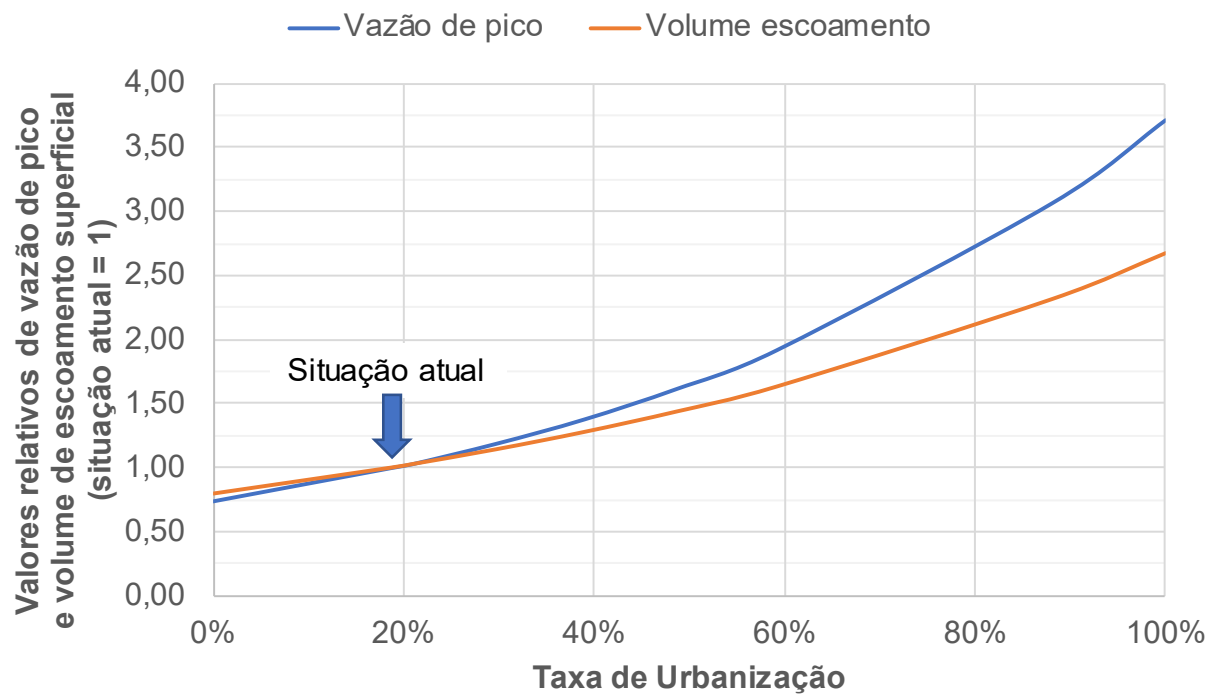
O BINÔMIO URBANIZAÇÃO-IMPERMEABILIZAÇÃO



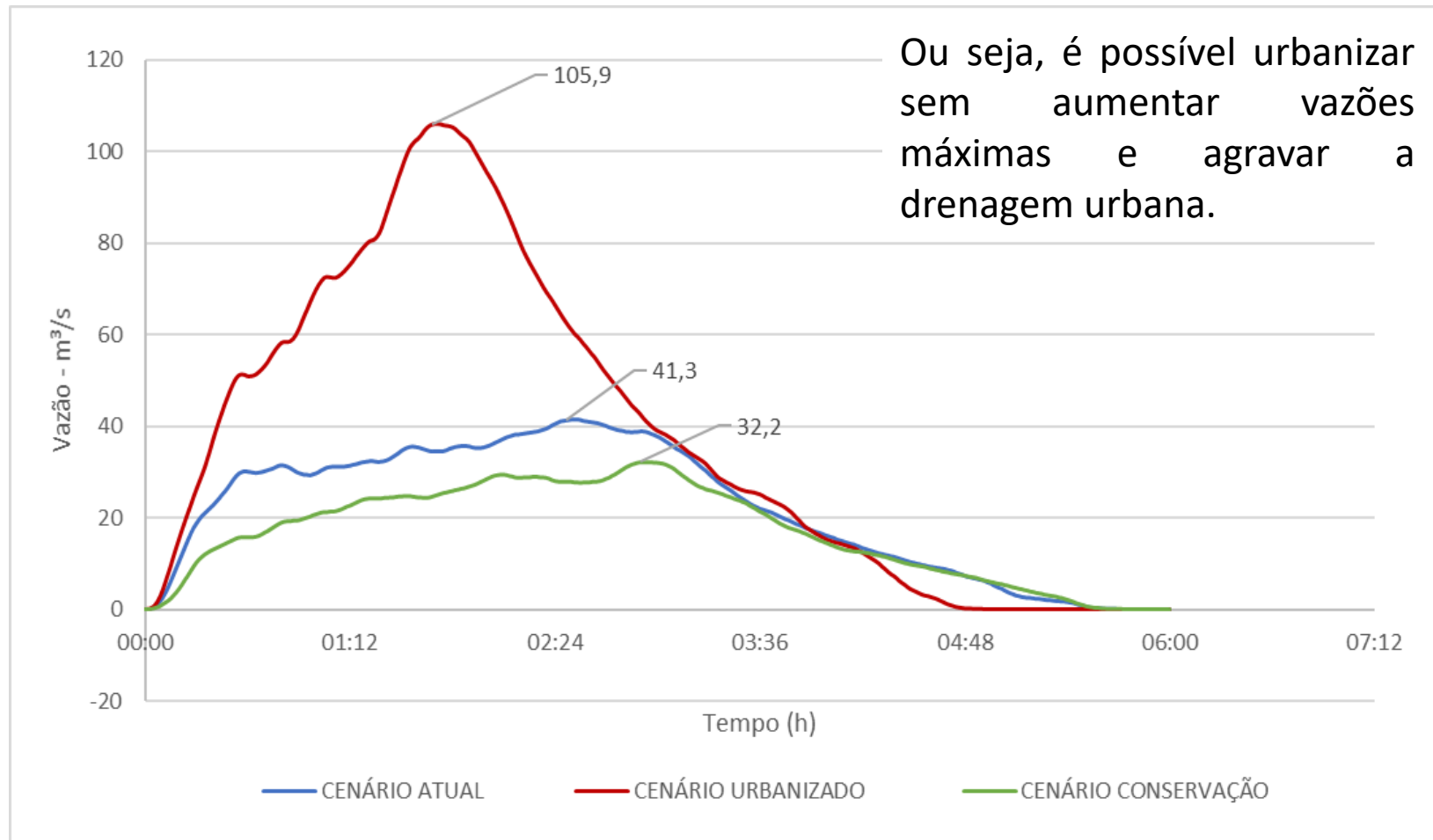
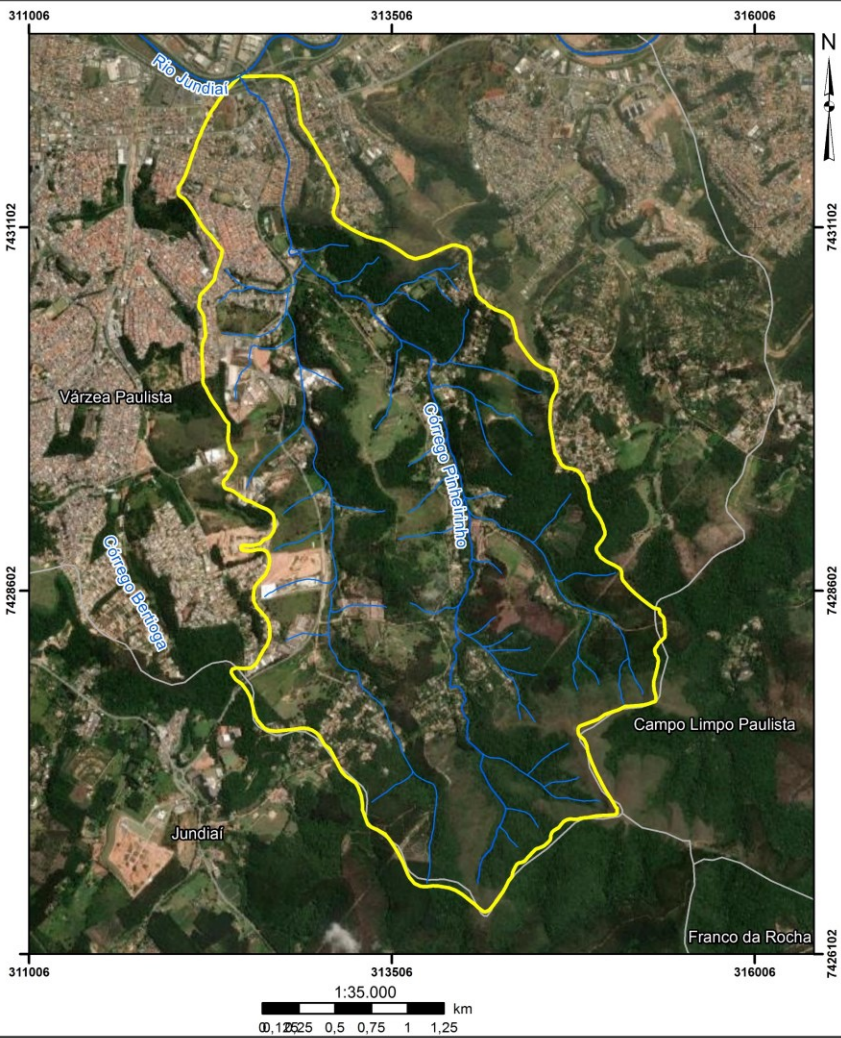
O BINÔMIO URBANIZAÇÃO-IMPERMEABILIZAÇÃO



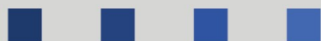
O BINÔMIO URBANIZAÇÃO-IMPERMEABILIZAÇÃO



O BINÔMIO URBANIZAÇÃO-IMPERMEABILIZAÇÃO



INUNDAÇÕES URBANAS. O QUE FAZER?



INUNDAÇÕES URBANAS. O QUE FAZER?

Ações não-estruturais:

Procuram reduzir impactos sem modificar o risco das enchentes naturais (por ações de convivência com as inundações sem intervenções por obras).

Ex.: regulamentação do uso da terra, sistema de previsão e alerta, seguro contra inundações etc.

Ações estruturais:

Modificam o sistema para reduzir o risco de cheias, pela implantação de obras para conter, reter ou melhorar a condução de escoamentos.

Ex.: barragens, diques, reflorestamento, canalização, retificação etc.

INUNDAÇÕES URBANAS. O QUE FAZER?

Abordagem higienista:

- Considerada por muitos autores como a abordagem tradicional dos projetos em drenagem urbana. Dominou o cenário até a década de 1970.
- Adoção massiva do princípio do afastamento das águas pluviais e da aceleração do escoamento, por meio do uso de canais e condutos enterrados. As vazões de pico são transferidas para jusante.
- São soluções caras (os custos podem superar 10 vezes ao controle na fonte) e cuja eficiência vai se perdendo no médio e no longo prazo.

INUNDAÇÕES URBANAS. O QUE FAZER?

Abordagem ambientalista:

- Abordagem alternativa (deveria ser a usual) em projetos de drenagem urbana.
- Manutenção e recuperação de ambientes, de forma a os terem saudáveis, tanto interna quanto externamente à área urbana.
- Medidas de controle devem ser integrados ao planejamento ambiental do meio urbano e às medidas não-estruturais.
- O objetivo principal é o de compensar o efeito da urbanização sobre os processos hidrológicos.

INUNDAÇÕES URBANAS. O QUE FAZER?

Boas práticas de drenagem urbana:

- Só o controle na fonte, isto é, no lote, é capaz de romper o binômio urbanização – impermeabilização;
- Estruturas de controle na fonte são: pavimentos permeáveis, trincheiras de infiltração, valas permeáveis, bacias de retenção e detenção, poços de infiltração, telhados verdes;
- Infraestrutura verde funciona, mas não sozinha; é necessário ter estruturas de controle de cheias tradicionais acopladas;
- Atenção: pavimento intertravado **não** é o mesmo que pavimento permeável!

INUNDAÇÕES URBANAS. O QUE FAZER?

Boas práticas de drenagem urbana:

- Manutenção do **traçado natural** dos cursos d'água;
- Redução da declividade do escoamento ou manutenção da **declividade natural**, quando possível;
- Adoção de revestimentos rugosos: gabiões ou manutenção do **revestimento natural**;
- Adoção de **seções hidráulicas mistas**, mantendo-se as vazões frequentes no leito menor;
- No leito maior, prever a utilização das áreas como **parques lineares e áreas de lazer**;
- Adotar ações atreladas a políticas de educação ambiental **SEMPRE!!!**



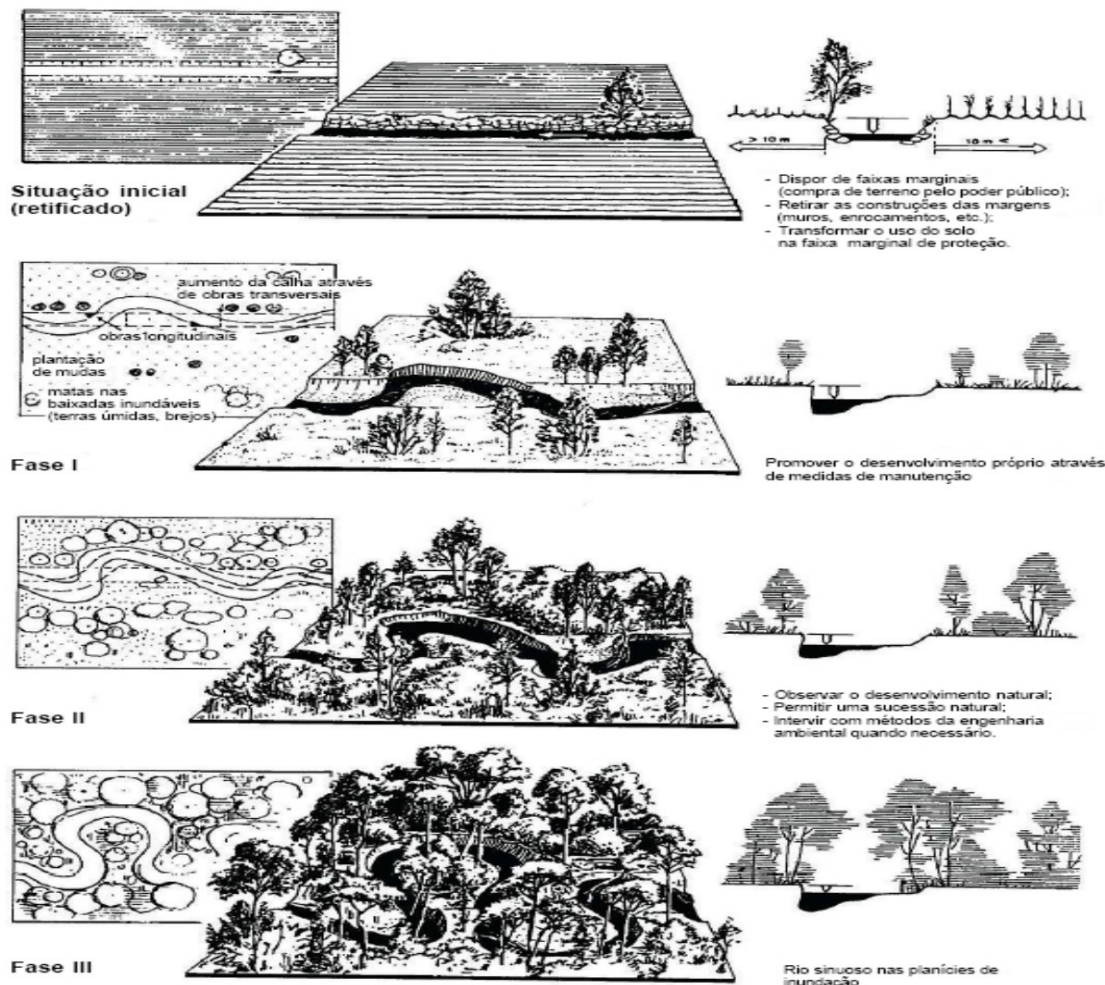
INUNDAÇÕES URBANAS. O QUE FAZER?

Conhecer a **bacia hidrográfica** é fundamental.

Entender o **solo**, a vegetação que nele se desenvolvia, o grau de **impermeabilização** o atual.

Entender o **clima**, a magnitude dos **eventos extremos**, as **tendências** climáticas.

Entender a **dinâmica demográfica**, como se dará a **ocupação** e densificação do tecido urbano nos anos seguintes.



MAPEAMENTO DE ÁREAS INUNDÁVEIS. DANDO DIMENSÃO ESPACIAL AO PROBLEMA

■ Publicação IPT – P.M. Campinas (2023)



SUMÁRIO

1. Introdução.....	1
2. Conceitos Básicos	3
3. Base Legal.....	6
4. Métodos e Procedimentos	11
4.1. Levantamento de materiais bibliográficos e cartográficos.....	12
4.2. Trabalhos de campo.....	13
4.2.1. Materiais e procedimentos de campo	15
4.3. Delimitação de planícies de inundação.....	16
4.3.1. Obtenção de dados topográficos básicos e de imagens	17
4.3.2. Geração das informações.....	20
4.3.3. Edição	25
4.3.4. Identificação dos solos da planície	27
4.4. Mapeamento da suscetibilidade do meio físico a inundações.....	44
4.5. Mapeamento das Áreas Inundáveis	61
4.5.1. Modelagem hidrológica	64
4.5.2. Modelagem hidráulica	133
5. Análise e Comparação dos Resultados	149
5.1. Impacto da urbanização em bacias hidrográficas	151
5.2. Procedimentos adotados para simular a ocupação futura e prever impactos nas vazões e volumes escoados.....	155
6. Mitigação do Impacto da Urbanização	164
7. Considerações finais – Buscando a Resiliência Climática	168
8. Referências Bibliográficas	171

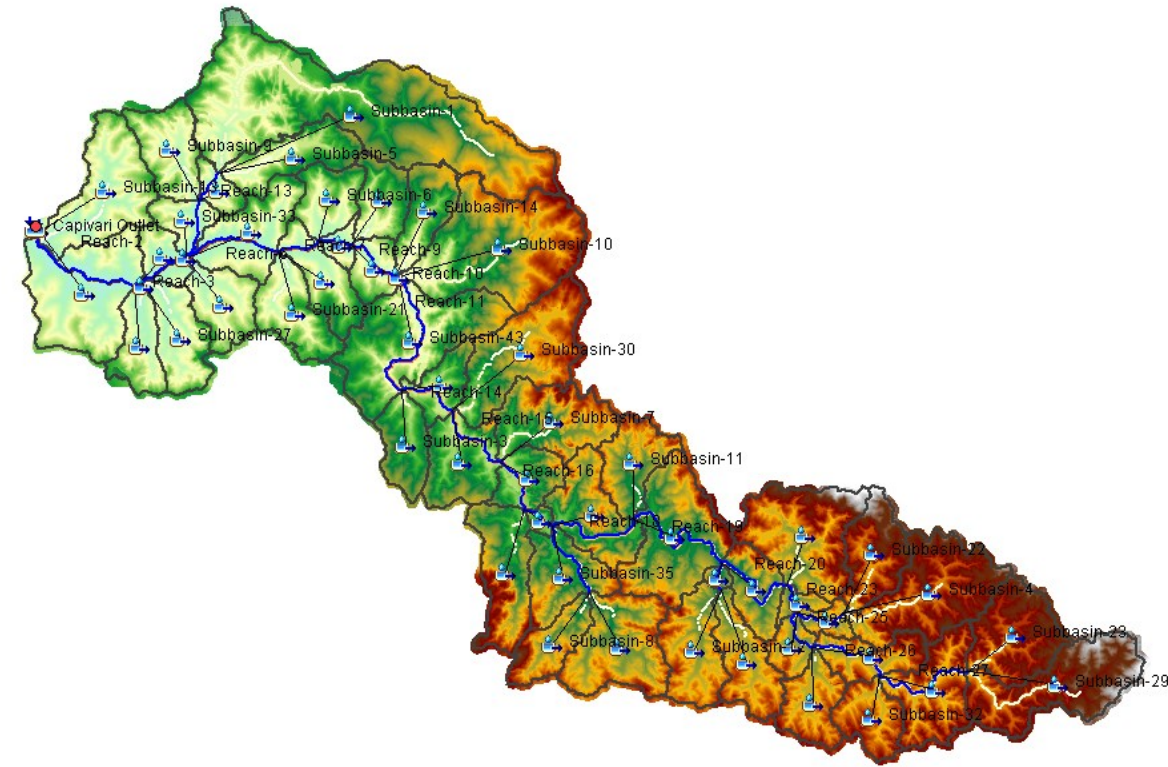
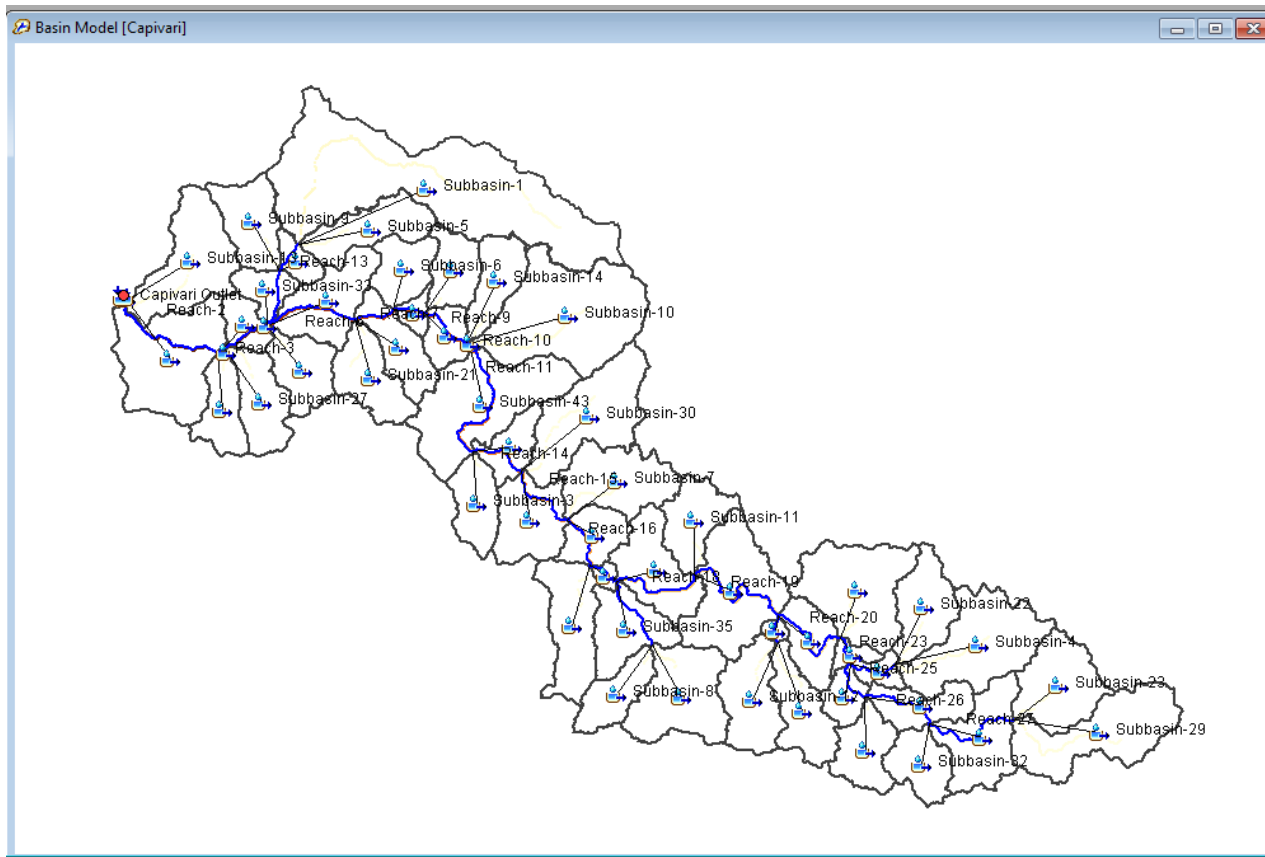
Ebook divulgado tanto no site do IPT como da Prefeitura do município de Campinas, com o objetivo de possibilitar a **replicação da metodologia em outras bacias hidrográficas urbanas**, contendo a descrição detalhada dos cálculos e **passo a passo dos procedimentos nos softwares utilizados**.



MAPEAMENTO DE ÁREAS INUNDÁVEIS. DANDO DIMENSÃO ESPACIAL AO PROBLEMA

- **Modelagem hidrológica e hidráulica**
 - Cenário de **crise climática** em curso: prevalência de eventos extremos de precipitação, com fenômenos de chuva cada vez mais intensos e concentrados.
 - **Modelagem hidrológica** passa a ser importante instrumento de planejamento urbano: permite estimar o acréscimo nas vazões máximas e nos volumes escoados induzidos pela urbanização.
 - Permite prever o tempo necessário para ocorrer resposta dos agentes de Proteção e de Defesa Cívica deflagrado o evento de precipitação cuja intensidade ou altura pluviométrica seja motivo de preocupação.
 - Estes modelos podem incorporar diversos cenários climáticos e de ocupação do solo.

MAPEAMENTO DE ÁREAS INUNDÁVEIS. DANDO DIMENSÃO ESPACIAL AO PROBLEMA

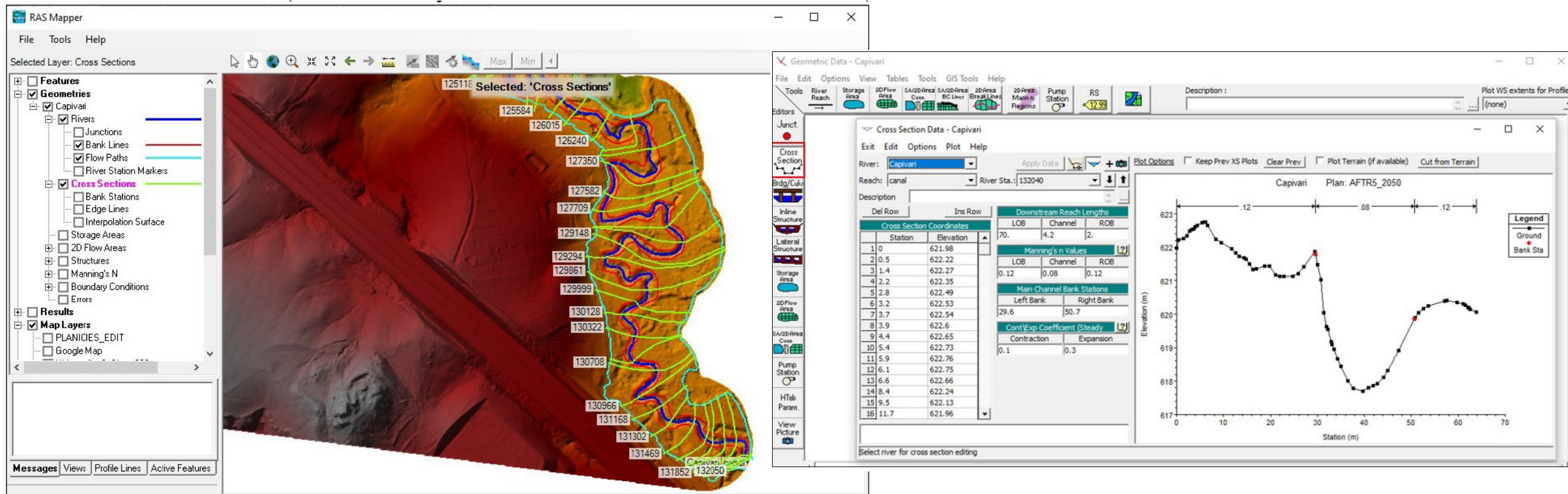


MAPEAMENTO DE ÁREAS INUNDÁVEIS. DANDO DIMENSÃO ESPACIAL AO PROBLEMA

- A **modelagem hidráulica** permite estimar as áreas que serão responsáveis pelo escoamento dos picos de vazão estimados pelo modelo hidrológico.
- Com base nos cenários adotados como dados de entrada de ambos modelos, as modelagens podem ser utilizadas como importantes **instrumentos de gestão** e de **planejamento urbano** e **governança climática**.

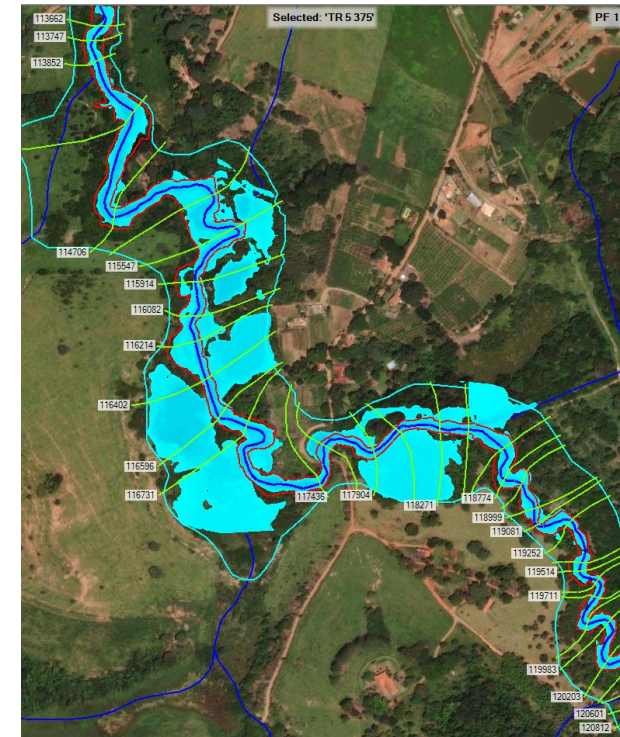
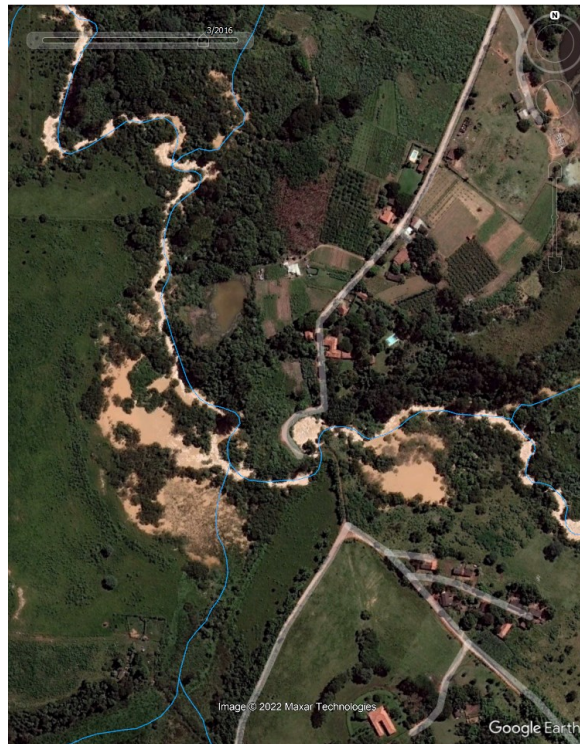


MAPEAMENTO DE ÁREAS INUNDÁVEIS. DANDO DIMENSÃO ESPACIAL AO PROBLEMA



MAPEAMENTO DE ÁREAS INUNDÁVEIS. DANDO DIMENSÃO ESPACIAL AO PROBLEMA

Comparação dos resultados do modelo hidráulico (TR 5 anos; aprox. 100 mm de chuva) com cheia ocorrida no rio Capivari em março/2016 referentes ao instante de tempo 375 minutos da onda de cheia)



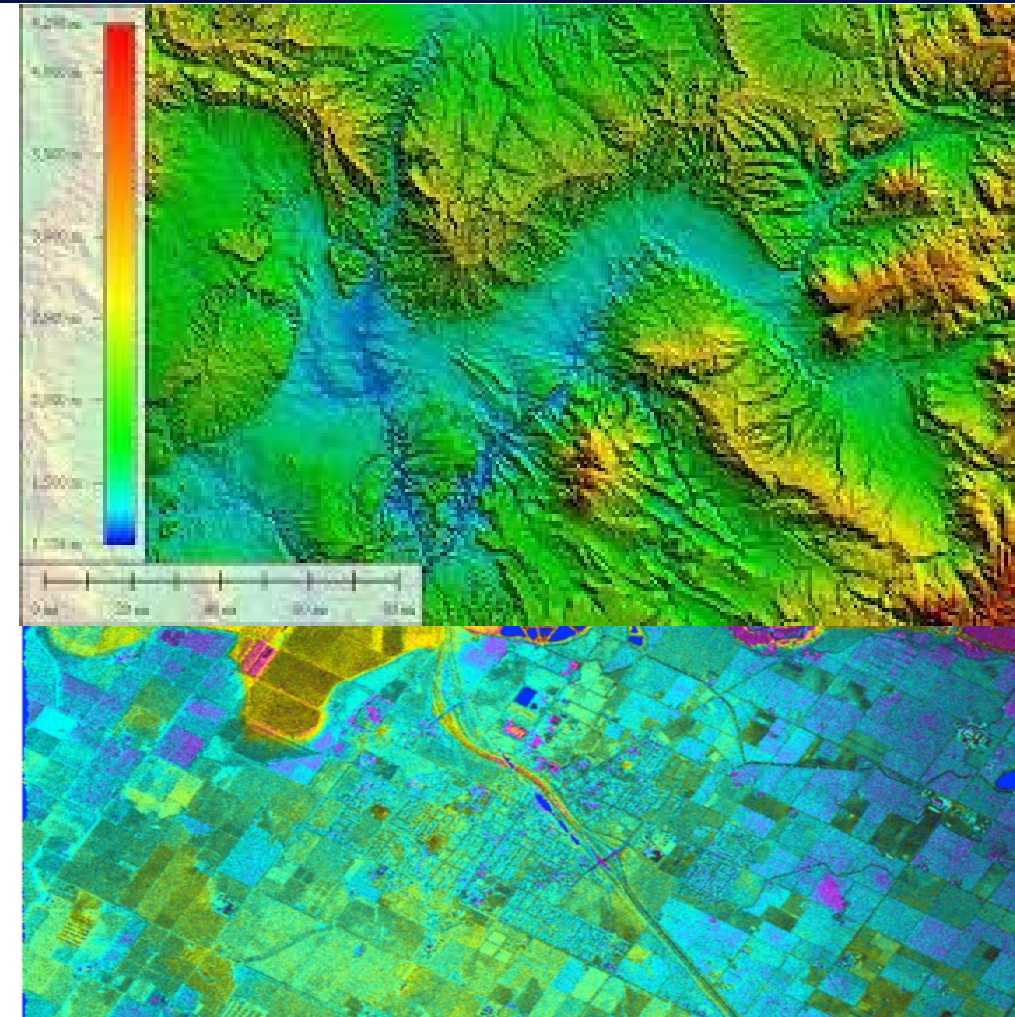
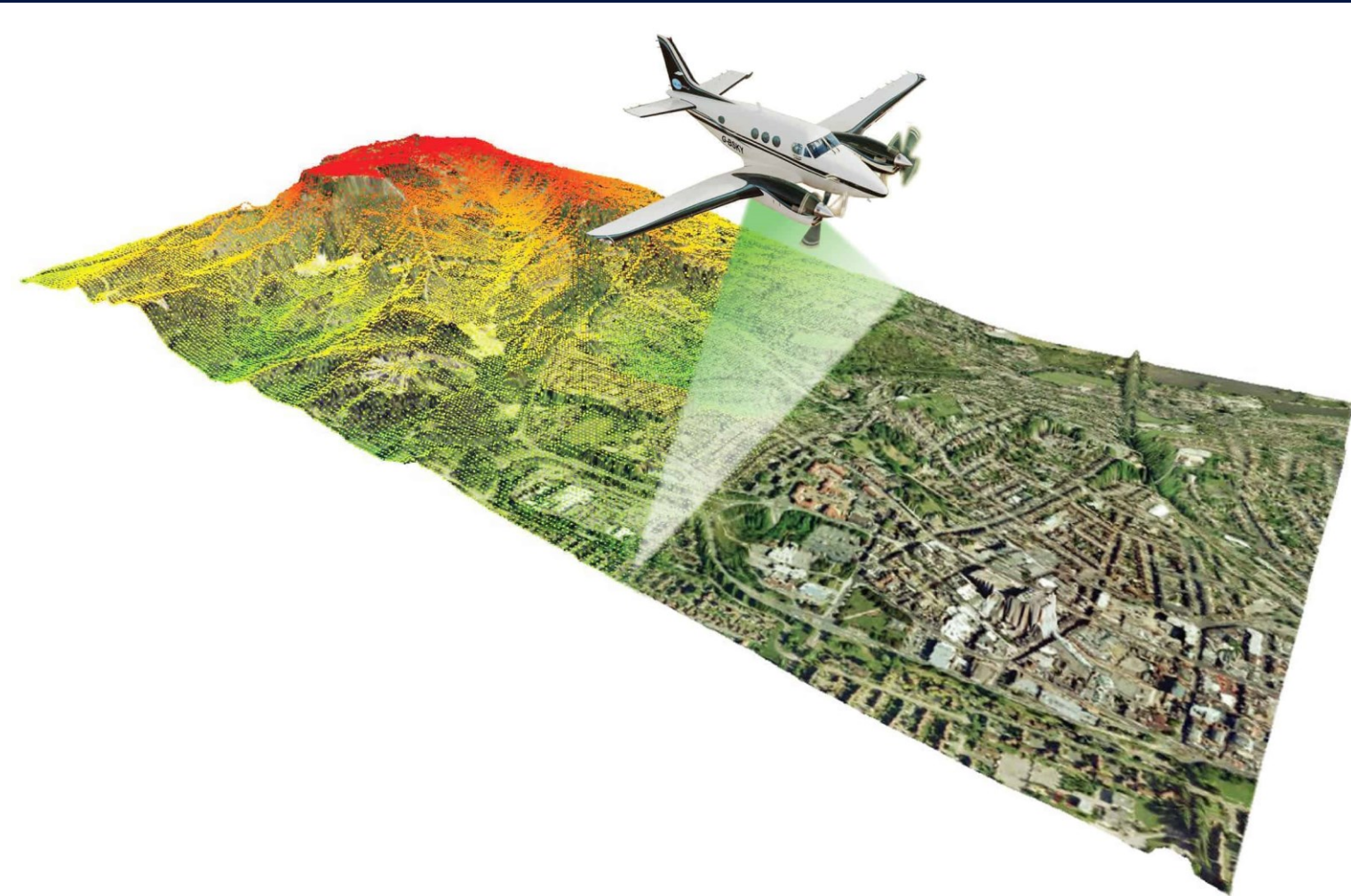
MAPEAMENTO DE ÁREAS INUNDÁVEIS. DANDO DIMENSÃO ESPACIAL AO PROBLEMA

- **Mapeamento das áreas inundáveis**
 - No mapeamento das áreas inundáveis, diversos eventos de precipitação associados a diversas probabilidades de recorrência são transformados em vazão com a utilização de um **modelo hidrológico**; posteriormente, um **modelo hidráulico** estima a geometria da calha dos cursos d'água capaz de escoar determinada vazão.
 - O mapeamento das áreas inundáveis começa com a delimitação da área de estudo, essencialmente, a **bacia hidrográfica** que contribui com a formação de vazão na área considerada.

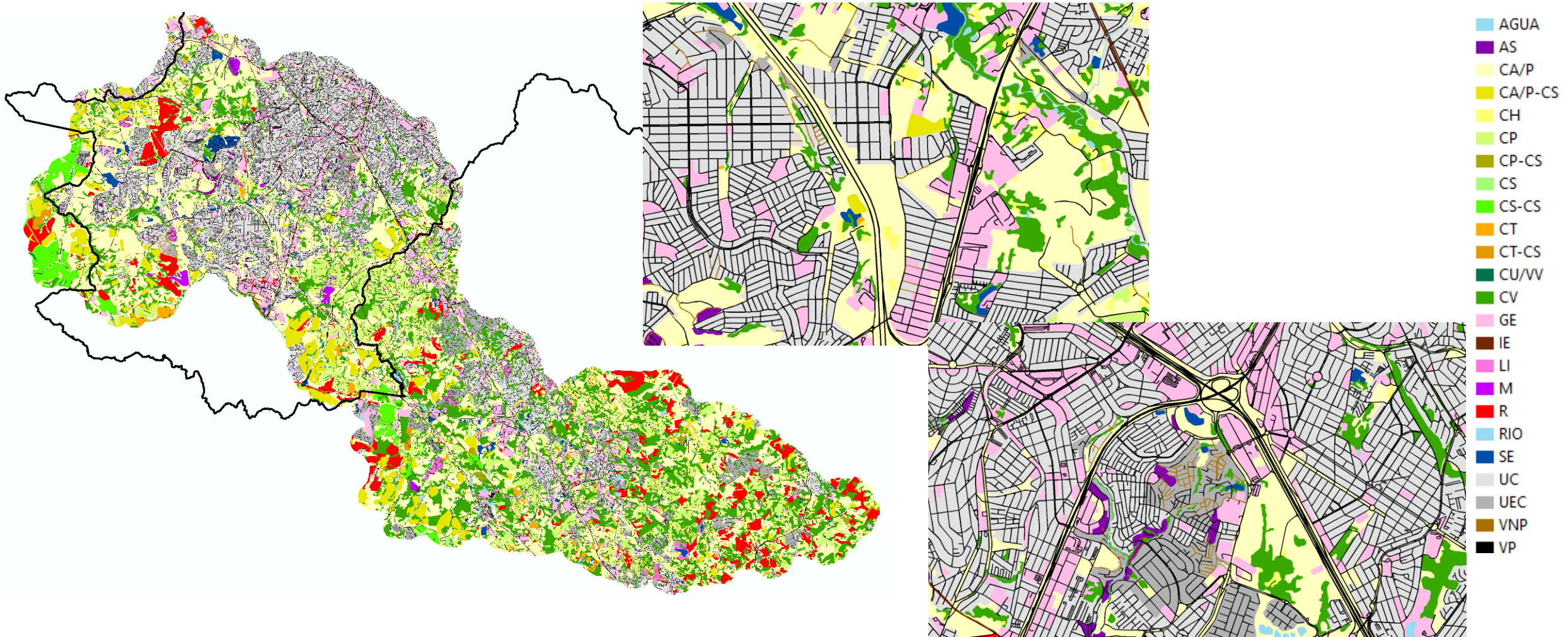
MAPEAMENTO DE ÁREAS INUNDÁVEIS. DANDO DIMENSÃO ESPACIAL AO PROBLEMA

- Os **dados topográficos** utilizados para se determinar as áreas de estudo são cada vez mais facilmente obtidos por meio de técnicas de sensoriamento remoto, com aplicação de VANTs, drones, aeronaves de pequeno porte equipadas com sensores LIDAR, imagens espectrais... A **qualidade dos dados** topográficos e do tratamento destes é determinante para a qualidade das modelagens e dos produtos por elas obtidos.
- Também faz parte da modelagem a produção de mapas de **uso e ocupação do solo** detalhados em escala que seja possível separar áreas urbanas consolidadas das em consolidação, arruamentos urbanos, pequenas áreas verdes (como parques e praças) etc.

MAPEAMENTO DE ÁREAS INUNDÁVEIS. DANDO DIMENSÃO ESPACIAL AO PROBLEMA



MAPEAMENTO DE ÁREAS INUNDÁVEIS. DANDO DIMENSÃO ESPACIAL AO PROBLEMA



MAPEAMENTO DE ÁREAS INUNDÁVEIS. DANDO DIMENSÃO ESPACIAL AO PROBLEMA

- Os **dados pluviométricos** atrelados a probabilidades de ocorrência são obtidos por meio de **análises estatísticas** elaboradas com as **séries temporais** dos postos pluviométricos. Também se insere nesta informação fatores de correção das **tendências climáticas globais**.
- Este conjunto de informações permite estimar os **parâmetros** necessários para aplicação do **modelo hidrológico chuva-vazão** escolhido, dentre estes, podem ser citados: área da bacia, tempo de concentração, abstração inicial, coeficiente de escoamento superficial etc.
- A resposta do modelo consiste em **hidrogramas** e **vazões máximas** resultantes dos eventos de precipitação e dos cenários de uso do solo considerados na análise.

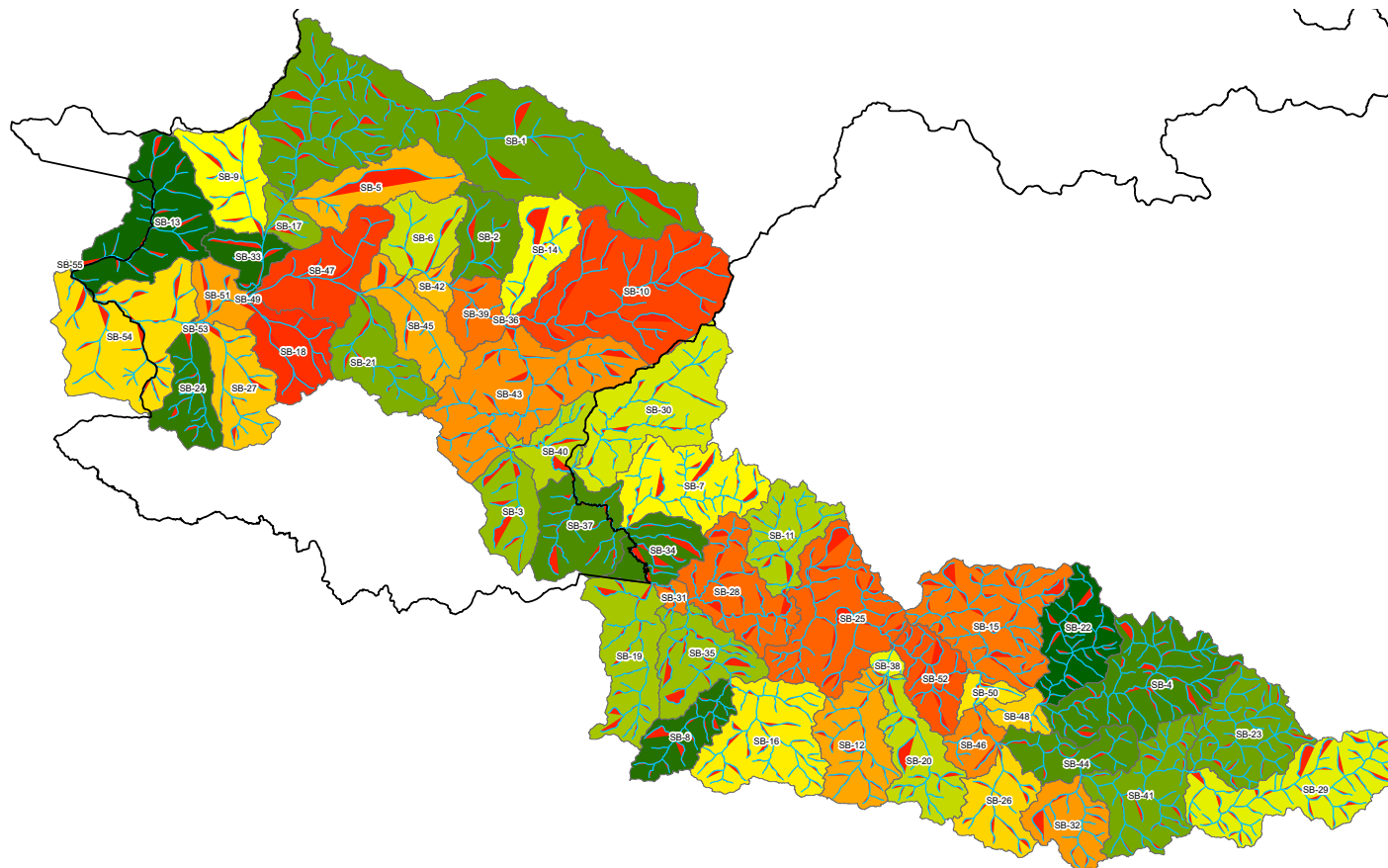
MAPEAMENTO DE ÁREAS INUNDÁVEIS. DANDO DIMENSÃO ESPACIAL AO PROBLEMA

- Este dado de vazão, combinado às características hidráulicas da planície de inundação e dos canais de drenagem, é inserido no **modelo hidráulico**, o qual procederá com a análise necessária para a **determinação das manchas de inundação**, as quais **combinadas** formam o **mapeamento das áreas inundáveis**, associadas ao cenário de ocupação do solo considerado e à probabilidade de ocorrência das chuvas.
- **Mapeamento das áreas inundáveis**: pode **subsidiar políticas de planejamento urbano e territorial**, de **políticas públicas** e **ações afirmativas** nas **sub-bacias** onde existe uma parcela maior da população atingida ou onde há a possibilidade de um maior atingimento da população considerando os cenários futuros de ocupação e tendências climáticas.

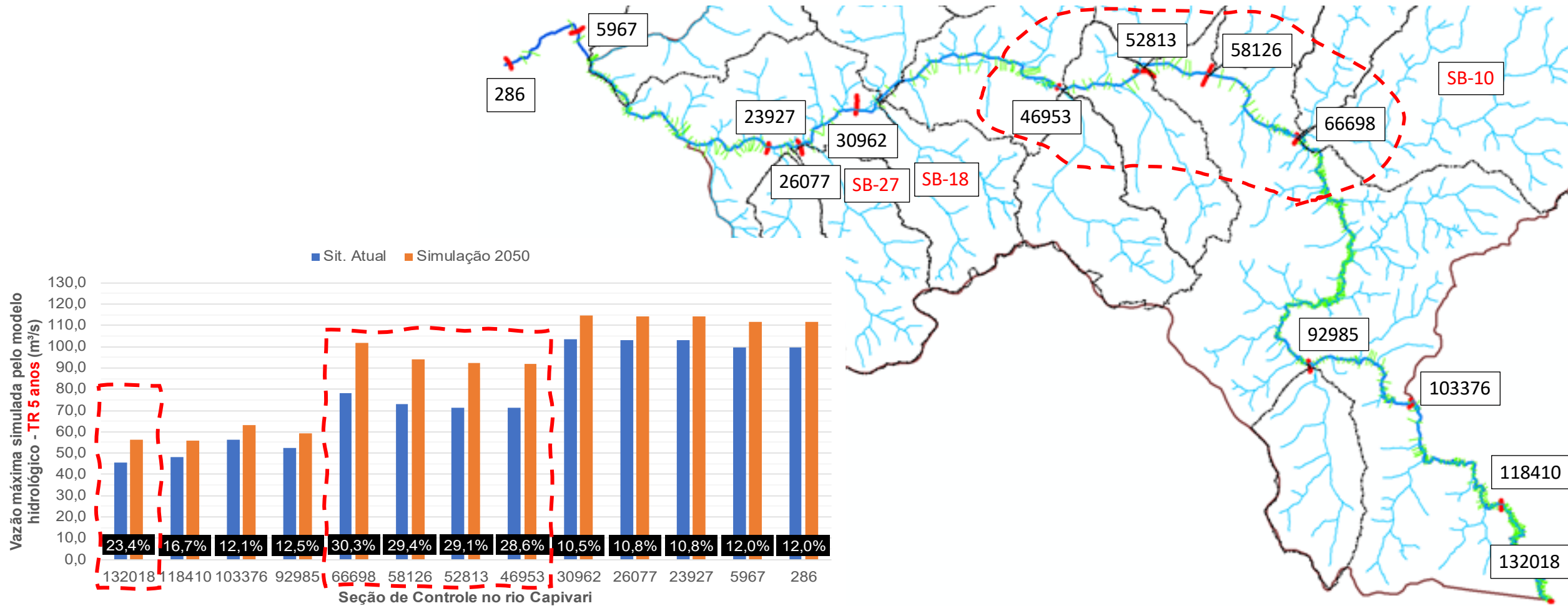


MAPEAMENTO DE ÁREAS INUNDÁVEIS. DANDO DIMENSÃO ESPACIAL AO PROBLEMA

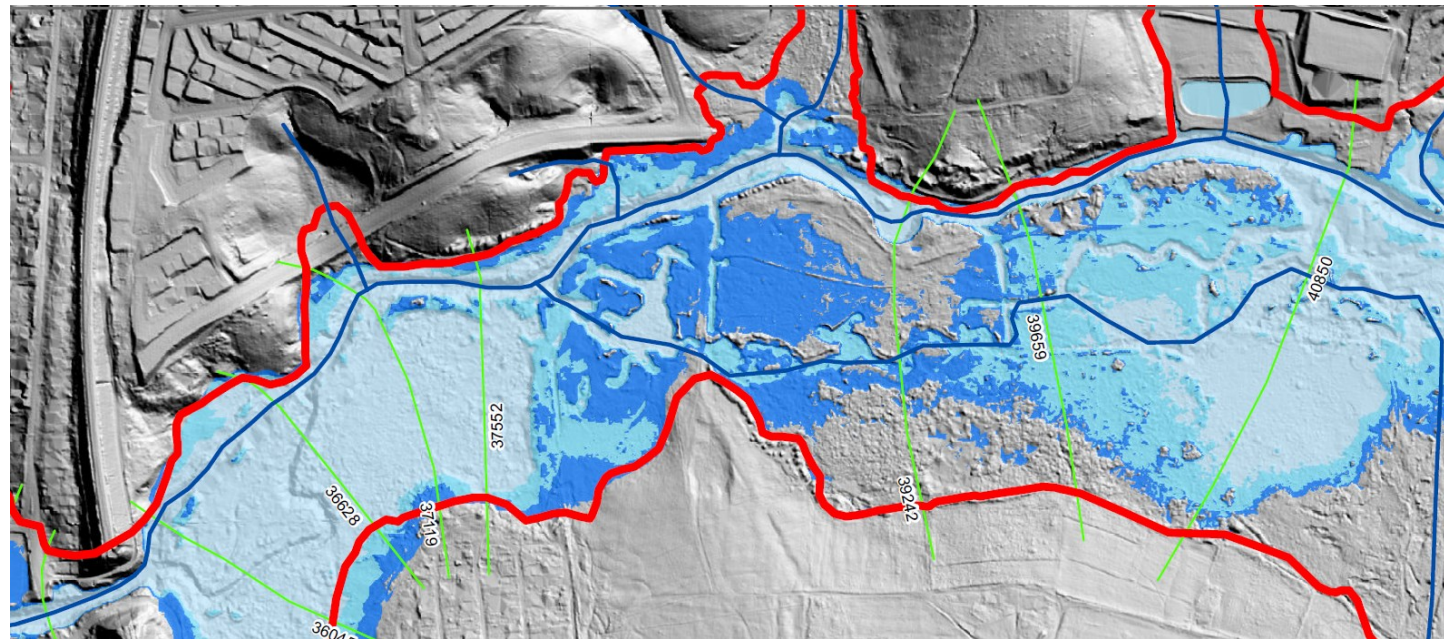
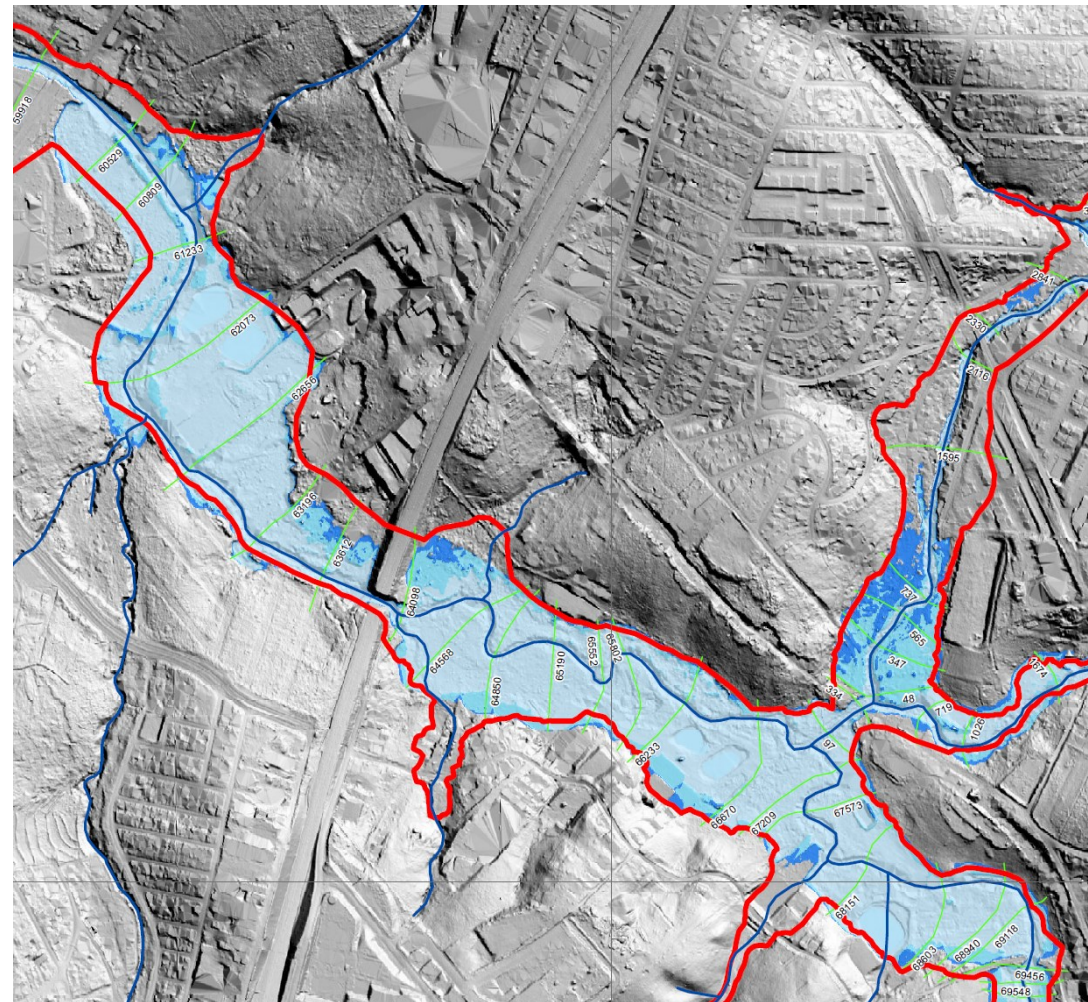
Criticidade – Bacias com maior potencial de incremento no escoamento superficial entre 2020 e 2050. Análise da evolução histórica das taxas de urbanização.



MAPEAMENTO DE ÁREAS INUNDÁVEIS. DANDO DIMENSÃO ESPACIAL AO PROBLEMA



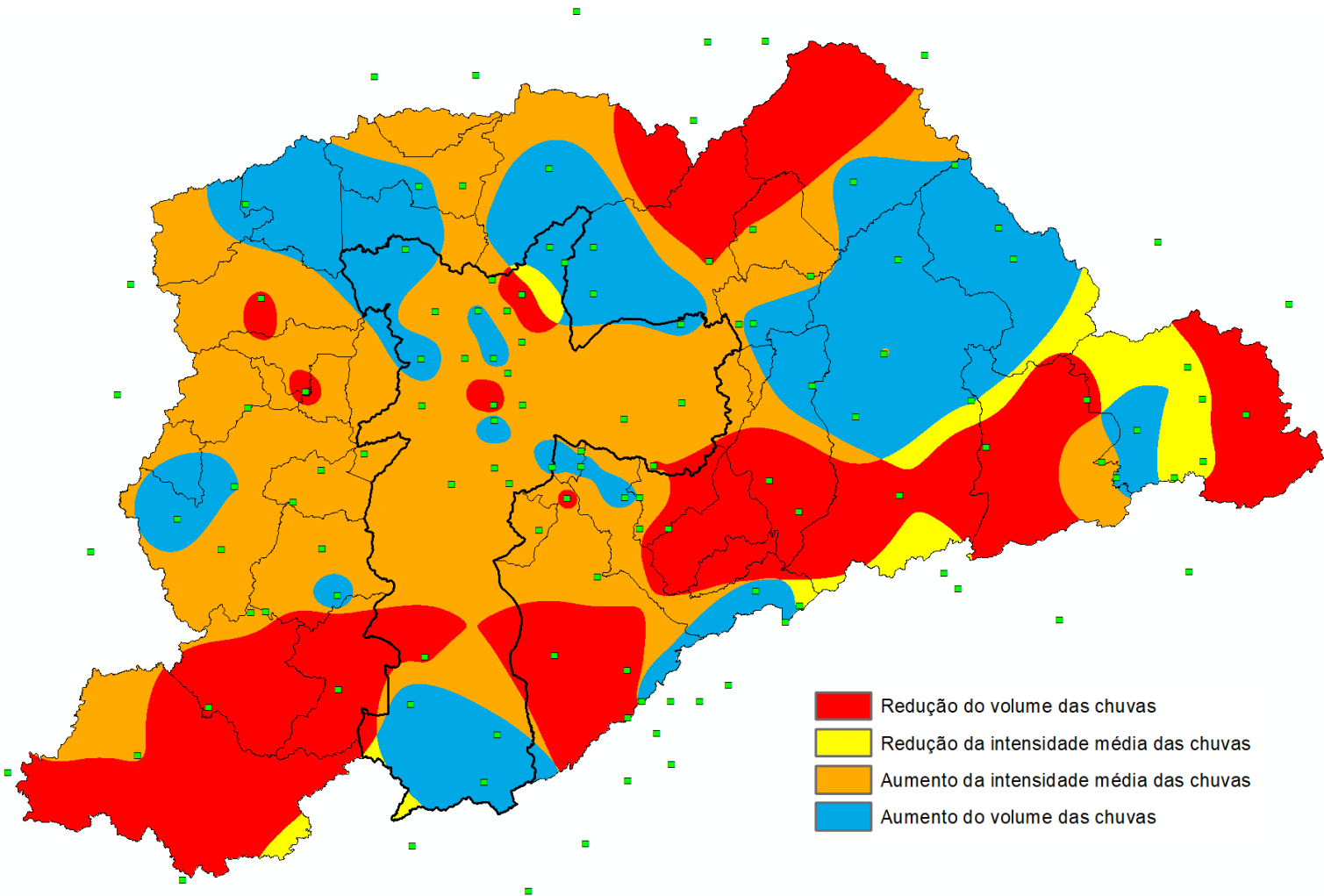
MAPEAMENTO DE ÁREAS INUNDÁVEIS. DANDO DIMENSÃO ESPACIAL AO PROBLEMA



Período de Retorno	Extensão das áreas inundáveis (km ²)		Variação atual - futuro
	Ocupação do solo Atual	Estimativa Ocupação Futura	
5 anos	4,41	4,78	8,33%
25 anos	6,06	6,35	4,68%
100 anos	7,17	7,42	3,55%



CRISE CLIMÁTICA GLOBAL. A IMPORTÂNCIA DE DIFUNDIR METODOLOGIAS DE PLANEJAMENTO



- Estudo de tendências nos dados pluviométricos observados na RMSP mostra uma forte tendência para o aumento da intensidade média das chuvas.
- O que quer dizer? Chuvas concentradas em eventos intensos – por vezes, extremos.
- Desafio para os gestores municipais, sobretudo considerando que as redes de drenagem já estão, em sua maioria, saturadas e o tecido urbano todo impermeabilizado.

PARA REFLETIR:

Planejamento

Em um cenário de **mudanças climáticas** já em curso, que aponta para cenários **extremos de precipitação** (mais intensos e concentrados no tempo e no espaço), associado ao crescimento das áreas urbanizadas, estudos em bacias hidrográficas urbanizadas ou por urbanizar devem ser adotados como **instrumentos sistemáticos de planejamento urbano**.

Replicabilidade

Devem ser definidos procedimentos claros e que permitam a **replicação** dos estudos em todas as bacias hidrográficas de um município e das **boas práticas de gestão** em todos os municípios.

Sustentabilidade

É possível estreitar a relação existente entre **drenagem urbana** e a **legislação urbanística**, possibilitando um modelo de cidade mais justa, **ambientalmente sustentável** e **resiliente** aos desafios que a agenda climática e as necessidades de crescimento da área urbana impõem.

Obrigado!

- Filipe Falcetta
- falcetta@ipt.br

 [linkedin.com/school/iptsp/](https://www.linkedin.com/school/iptsp/)

 [instagram.com/ipt_oficial/](https://www.instagram.com/ipt_oficial/)

 [youtube.com/@IPTbr/](https://www.youtube.com/@IPTbr/)

www.ipt.br

 **ipt**
INSTITUTO DE
PESQUISAS
TECNOLÓGICAS

 **SÃO
PAULO**
GOVERNO
DO ESTADO