



0313562 | CIDADES INTELIGENTES

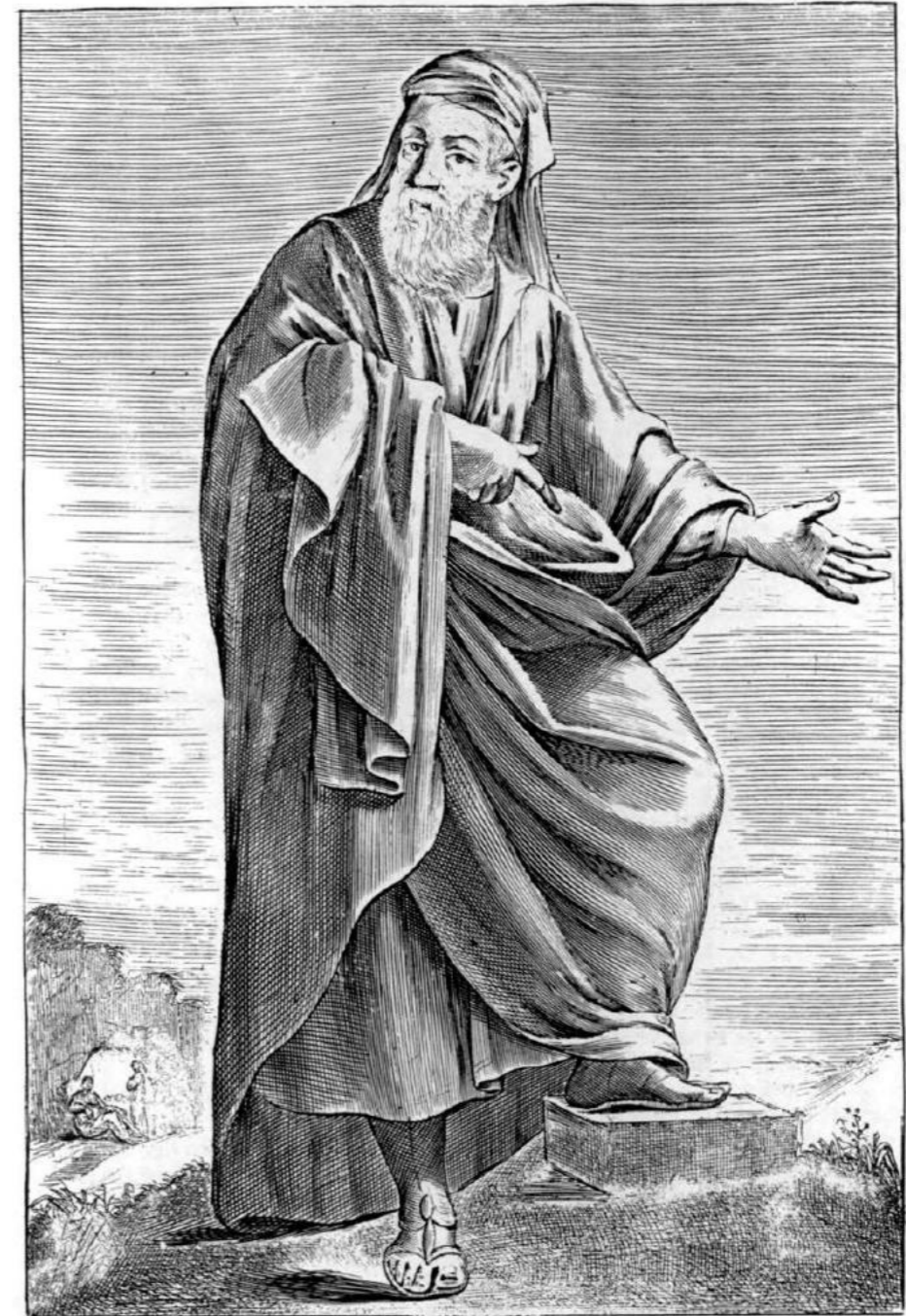
03 de outubro de 2022

Cidades inteligentes e meio ambiente subterrâneo

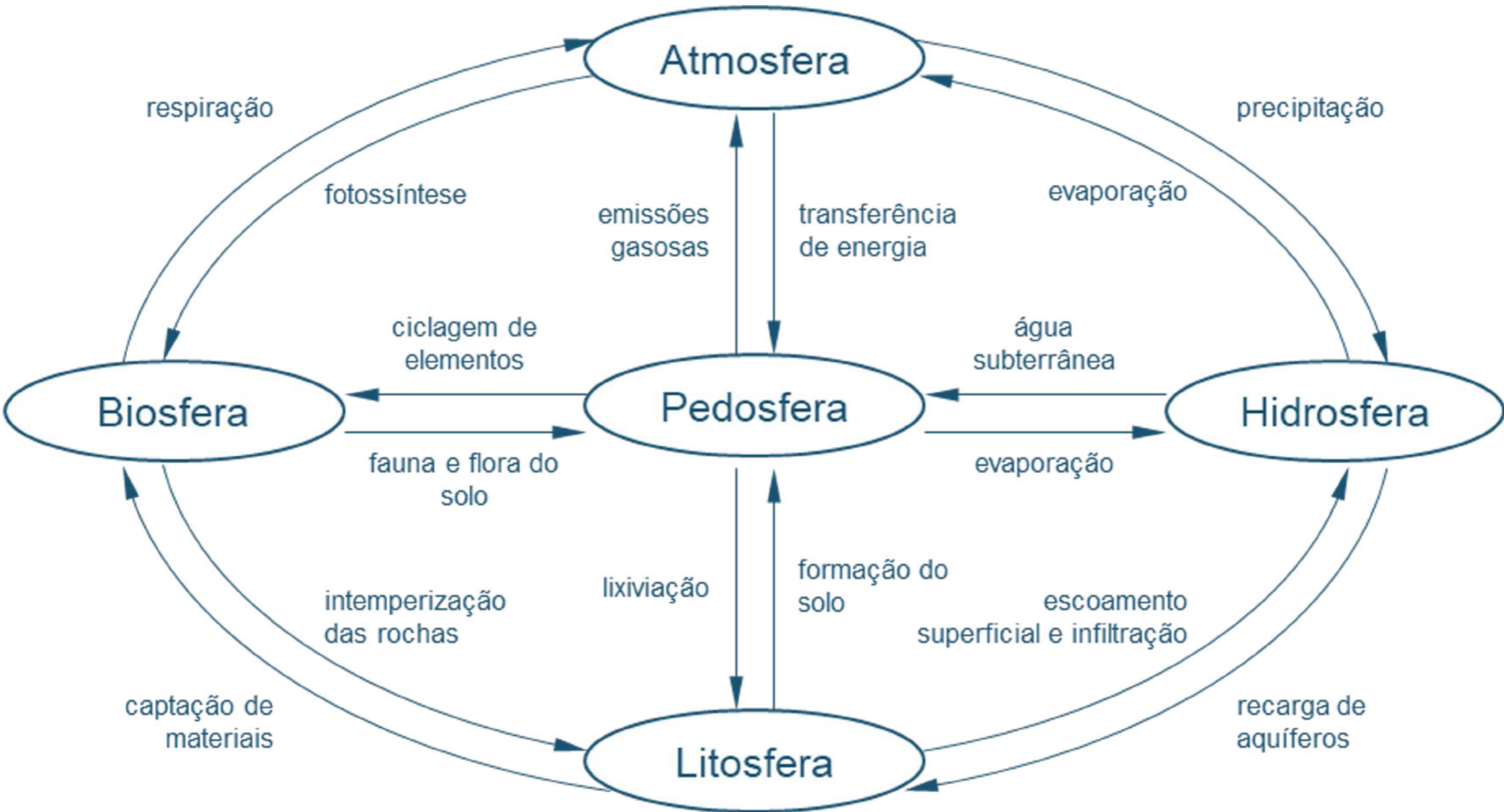
Fábio Cunha Lofrano | fabio.lofrano@usp.br

- Cosmogonia dos quatro elementos
 - Terra
 - Fogo
 - Ar
 - Água

- Matéria e processo



PROCESSOS E INTERAÇÕES ENTRE A PEDOSFERA E AS DEMAIS GEOSFERAS



Fonte: adaptado de LAL, R.; KIMBLE, J.M.; FOLLETT, R.F. Pedospheric processes and the carbon cycle. In: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; FOLLETT, R.F.; STEWART, B.A. (eds.). Soil processes and the carbon cycle. Boca Raton: CRC Press, 1997. P. 1-8.

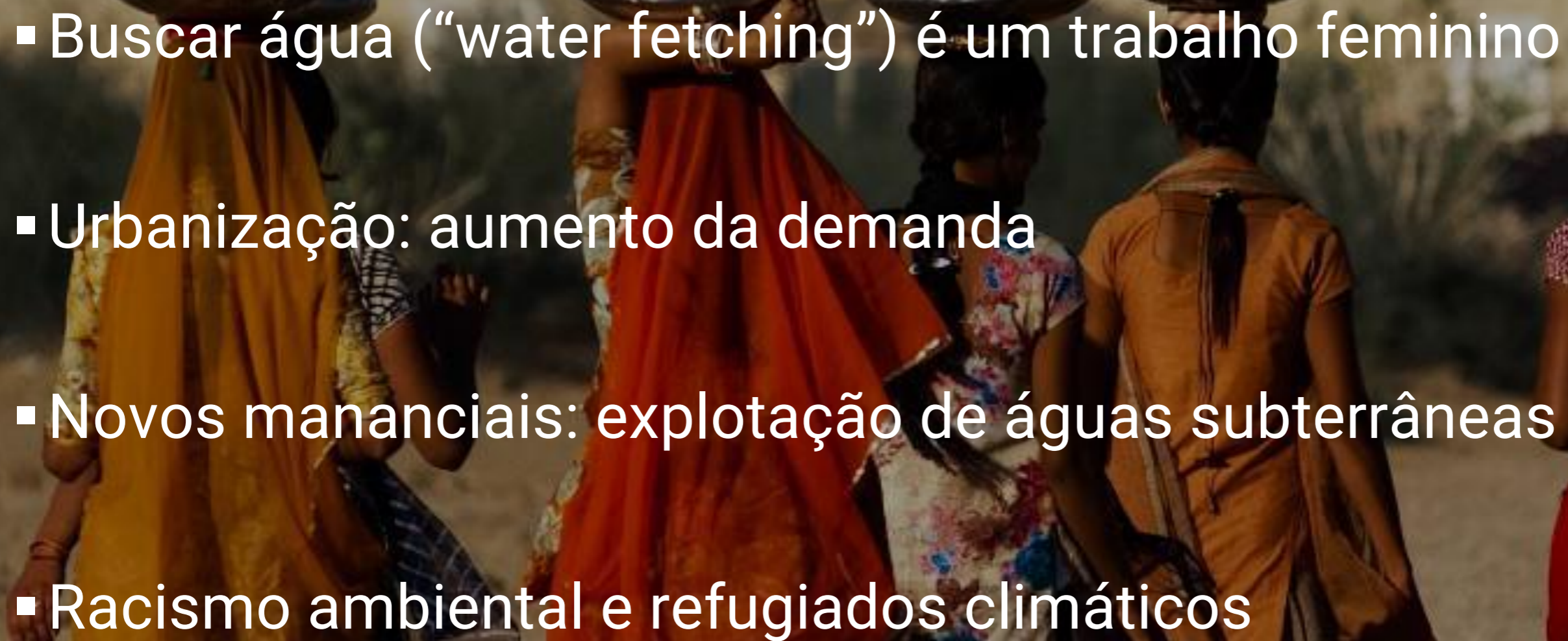
- Materiais de construção
- Terraplenagem
- Fundações
- Rebaixamento de lençol freático
 - Temporário
 - Permanente (quantos subsolos nossos edifícios têm? Por quê?)

- Transporte subterrâneo (metrô)
 - Alta capacidade (São Paulo: 5,3 milhões de pessoas/dia)
 - Regularidade e “resiliência” (chuva...)
- Distribuição de água
 - 200 L/hab./dia; população da cidade de São Paulo: 12,33 milhões de pessoas
 - Consumo diário: 2,466 bilhões de litros d’água
 - Perdas na rede...
- Em massa (1 pessoa = 70 kg)
 - Transporte: 371 milhões de kg
 - Água: 2.466 milhões de kg (6,6 x)

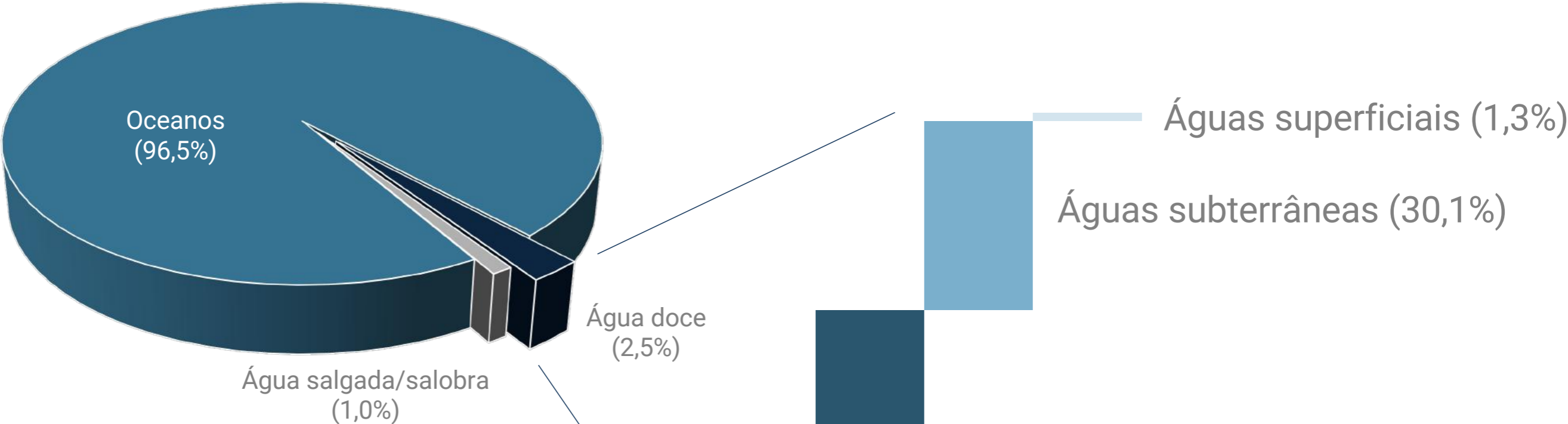
- Coleta de esgoto
 - Rede enterrada
 - Contaminação do solo
 - Gestão do lodo
- Resíduos sólidos
 - Disposição final
 - Contaminação do solo
- Drenagem
 - Impermeabilização e infiltração



Universalização do
saneamento básico... até 2033

- 
- Buscar água (“water fetching”) é um trabalho feminino
 - Urbanização: aumento da demanda
 - Novos mananciais: exploração de águas subterrâneas
 - Racismo ambiental e refugiados climáticos

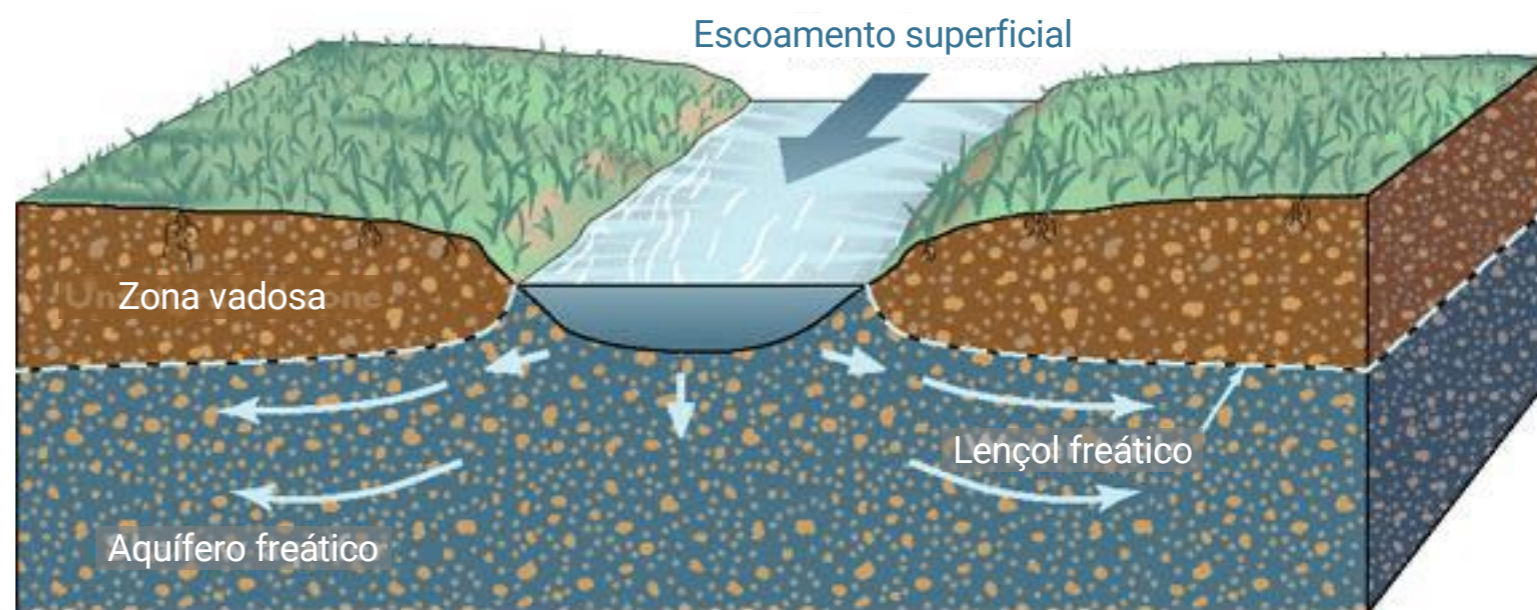
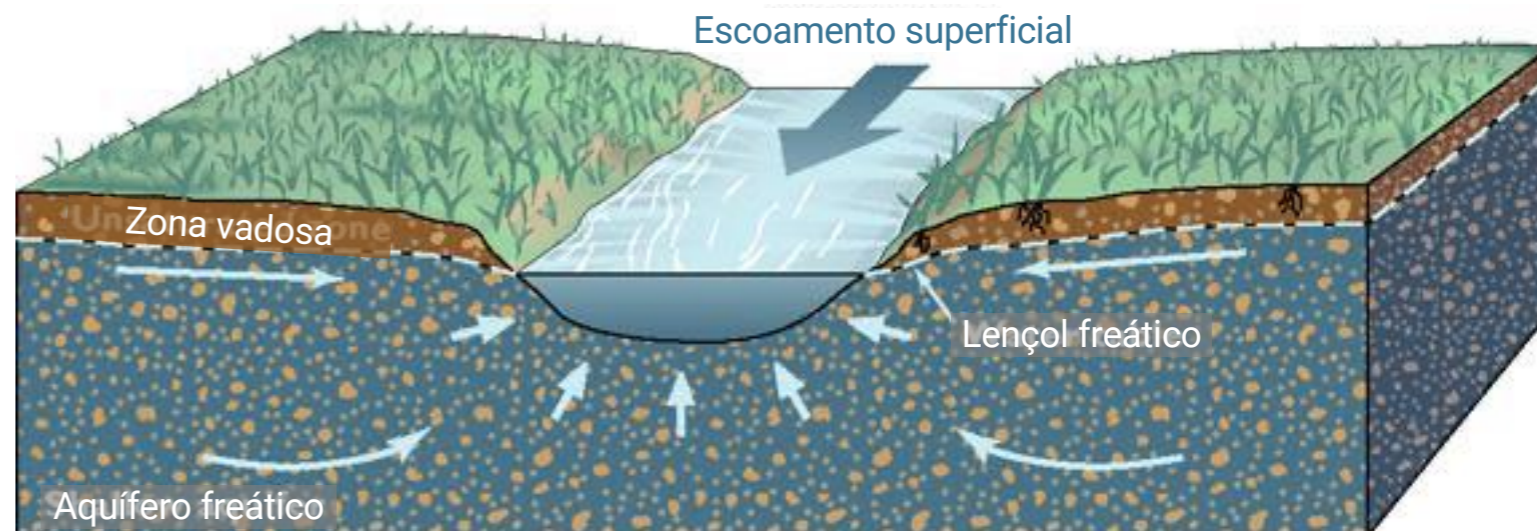
RESERVAS GLOBAIS DE ÁGUA



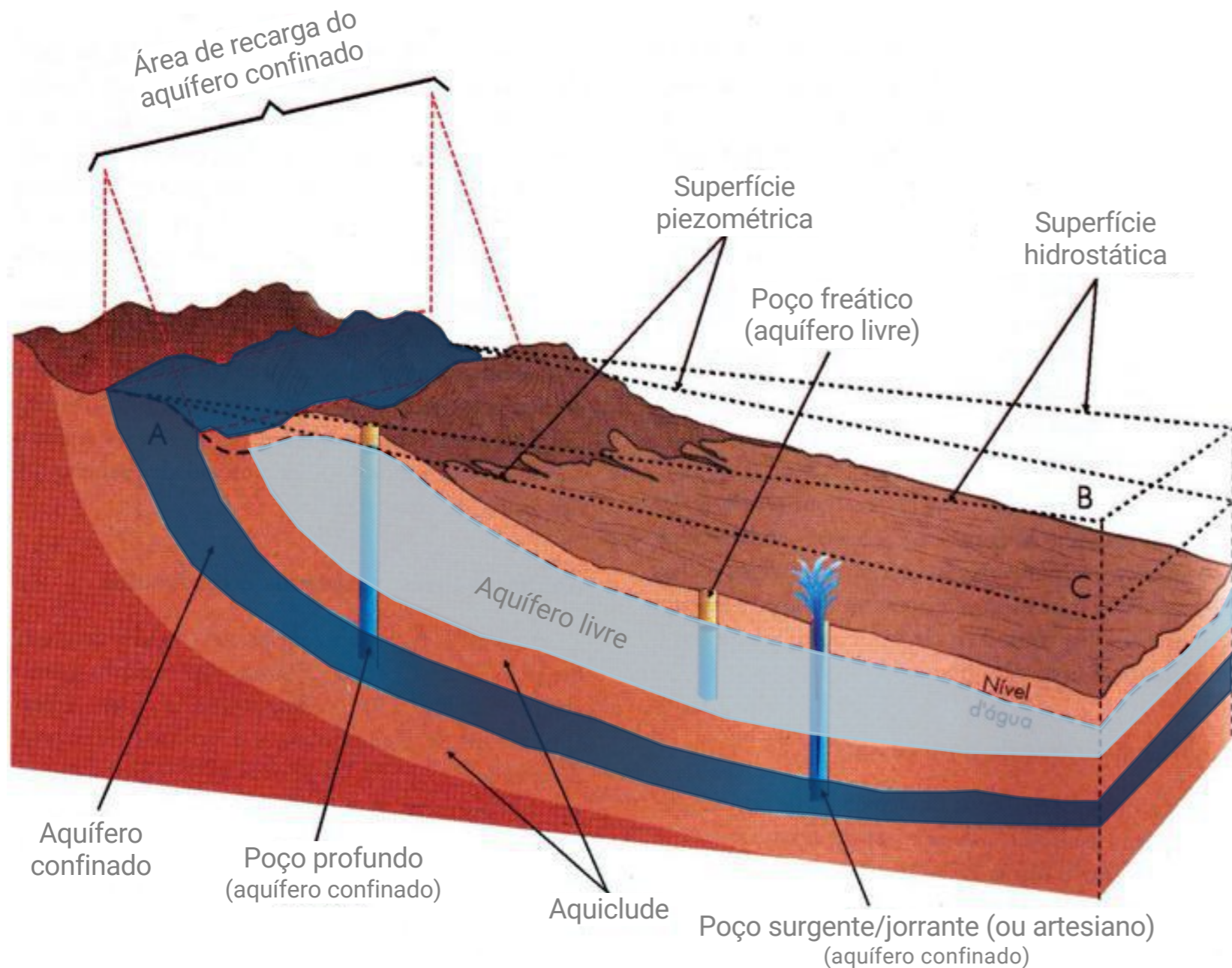
Estimativa	(10 ⁶ km ³)	% total
Oceanos	1.350	97,57
Geleiras	25	1,81
Águas subterrâneas	8,4	0,61
Rios e lagos	0,2	0,014
Atmosfera	0,013	...
Biosfera	0,0006	...

INTERAÇÃO COM ÁGUAS SUPERFICIAIS

- No processo de **infiltração**, a água atravessa uma camada não saturada (zona aerada ou zona vadosa)
 - Poros preenchidos por água e ar
- Posteriormente, a água atinge camadas mais profundas do solo (**percolação/recarga**) nas quais todos os poros são preenchidos com água (zona saturada)
- A água subterrânea é a principal responsável pela perenidade da maior parte dos rios que recebem a sua contribuição
 - “Rios influentes”
- Caso o fundo do rio esteja acima da zona saturada do solo, a água que escoam superficialmente pode infiltrar e ajudar na recarga freática
 - “Rios efluentes”



PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DE AQUÍFEROS



- Movimento lento

- $V_{sup} \approx 1 \text{ m/s}$, fluxo turbulento
- $V_{sub} \approx 1 \text{ m/dia}$, fluxo laminar

- Tempo de residência médio: 280 anos

- Varia muito, de dezenas a milhares de anos
- “Resiliência” é uma faca de dois gumes...

- Recarga anual muito pequena

Alter do Chão

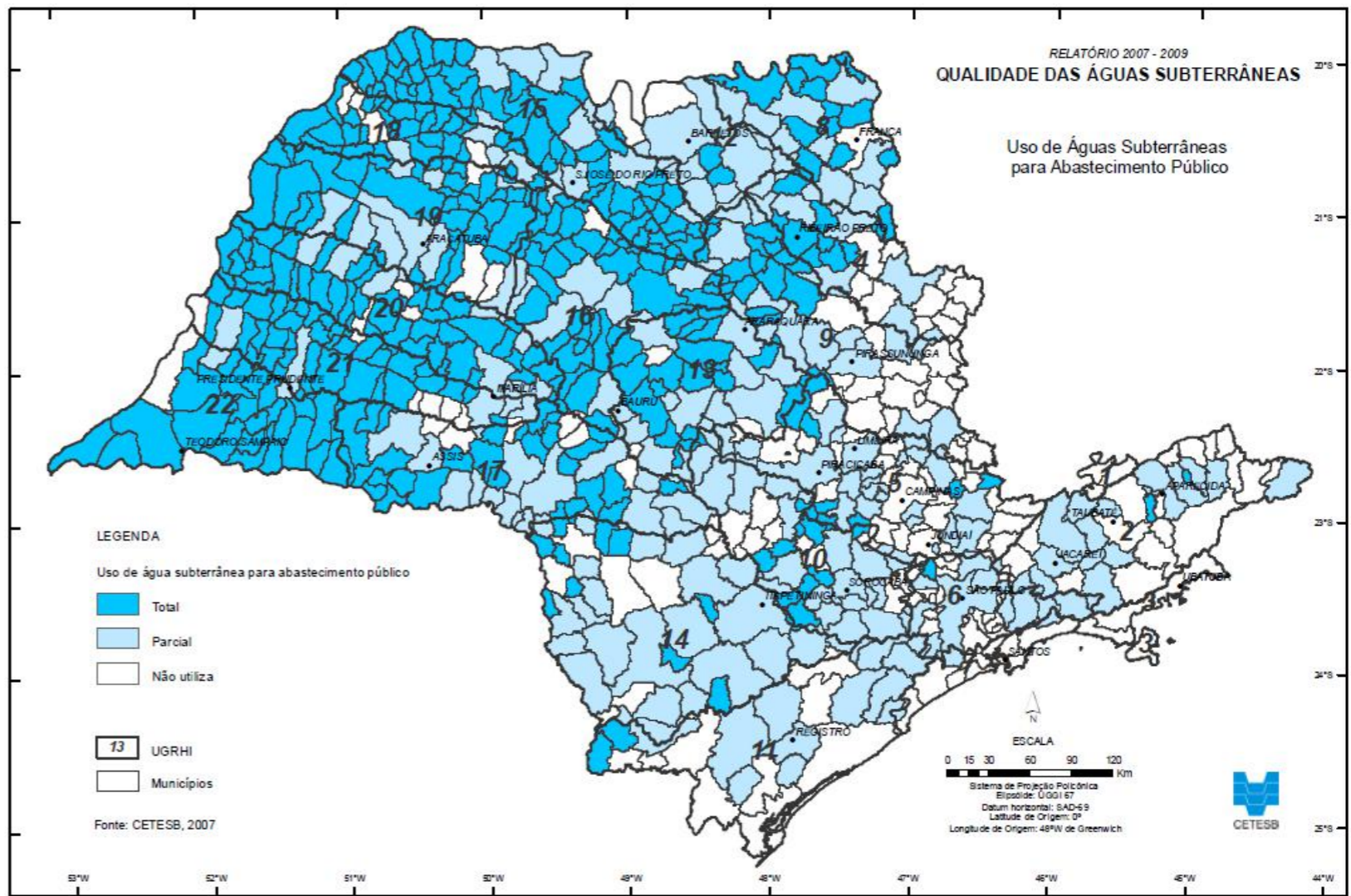
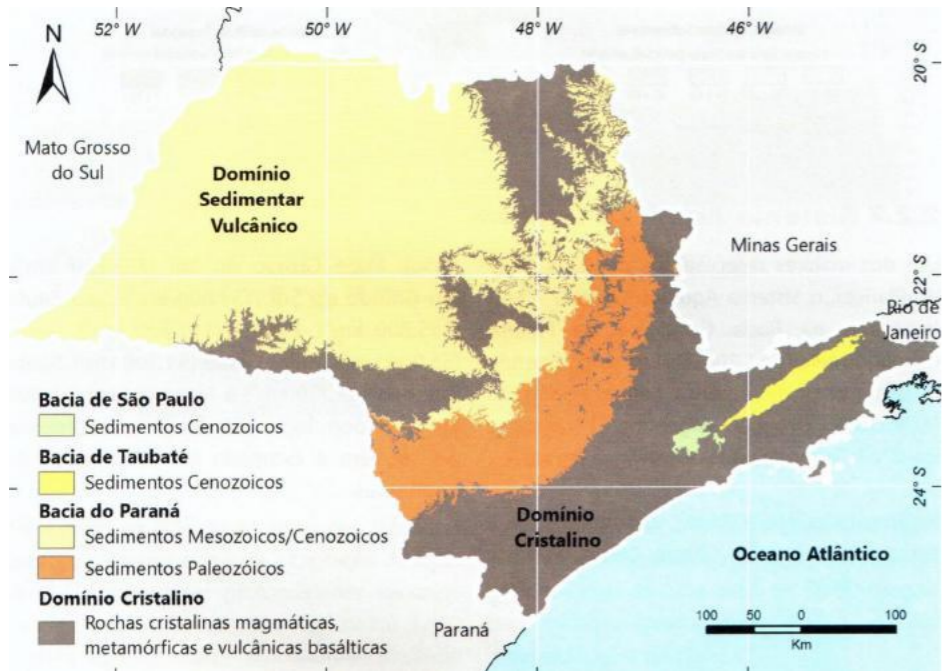
Capacidade: 86 mil km³
100% em território nacional

Guarani

Capacidade: 45 mil km³
70% em território nacional



USO OFICIAL DE MANANCIAS SUBTERRÂNEOS NO ESTADO DE SÃO PAULO



Mas e o uso não declarado?

EXPLOTAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Vantagens

- Os mananciais subterrâneos são naturalmente mais bem protegidos dos agentes poluidores
 - Geralmente dispensa tratamento (basta cloração, por exemplo)
- Geralmente dispensa adutoras de maior porte
 - Proximidade ao polo consumidor
- Escalonamento mais favorável das obras
 - Escavação de poços conforme a demanda
 - Prazos de execução são mais curtos e de menor custo
- Reserva confiável (se não for superexplorada)

Problemas

- Descontaminação cara e demorada
 - Pode levar décadas ou séculos!
- Tratamento difícil devido ao excesso de minerais
 - Exemplo: excesso de flúor
- Redução do escoamento básico aos cursos d'água
 - Complicações à gestão integrada de recursos hídricos
- Vazões exploráveis de certos aquíferos podem não atender a grandes demandas
- **Superexploração...**

CONSEQUÊNCIAS DA (SUPER)EXPLOTAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Adensamento de camadas subterrâneas e subsidência





SUBSIDÊNCIA
Cidade do México

MAS SERÁ SÓ ISSO?

“[...] a discussão [nos meios de comunicação] sobre os possíveis efeitos [das mudanças climáticas] é enganosamente restrita, limitada quase que invariavelmente à questão da elevação do nível do mar.”



“Cascatas de violência”

Feedbacks positivos entre as muitas consequências da mudanças climáticas

SUBSIDÊNCIA

Mudanças climáticas

- Aceleração da elevação do nível do mar
- Eventos hidrometeorológicos extremos

Desenvolvimento socioeconômico

- Urbanização e crescimento demográfico
- Demanda hídrica crescente

Elevação do nível do mar
3 a 10 mm/ano



Subsidência
6 a 100 mm/ano



Impactos

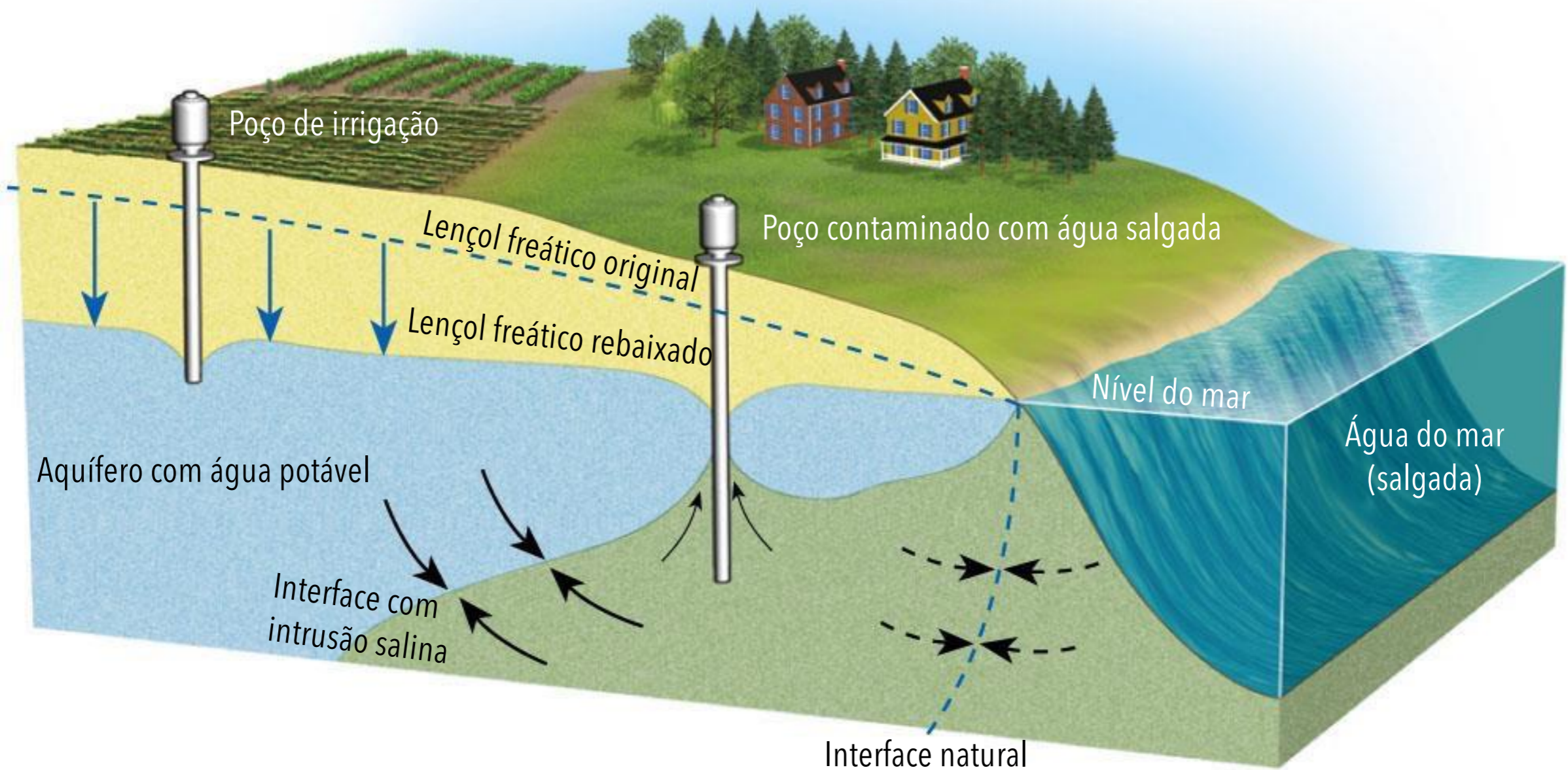
- Aumento do risco de inundações
- Danos às edificações e à infraestrutura
- Comprometimento de recursos hídricos

Causas

- Exploração de águas subterrâneas
- Exploração de óleo, gás e carvão
- Ação tectônica

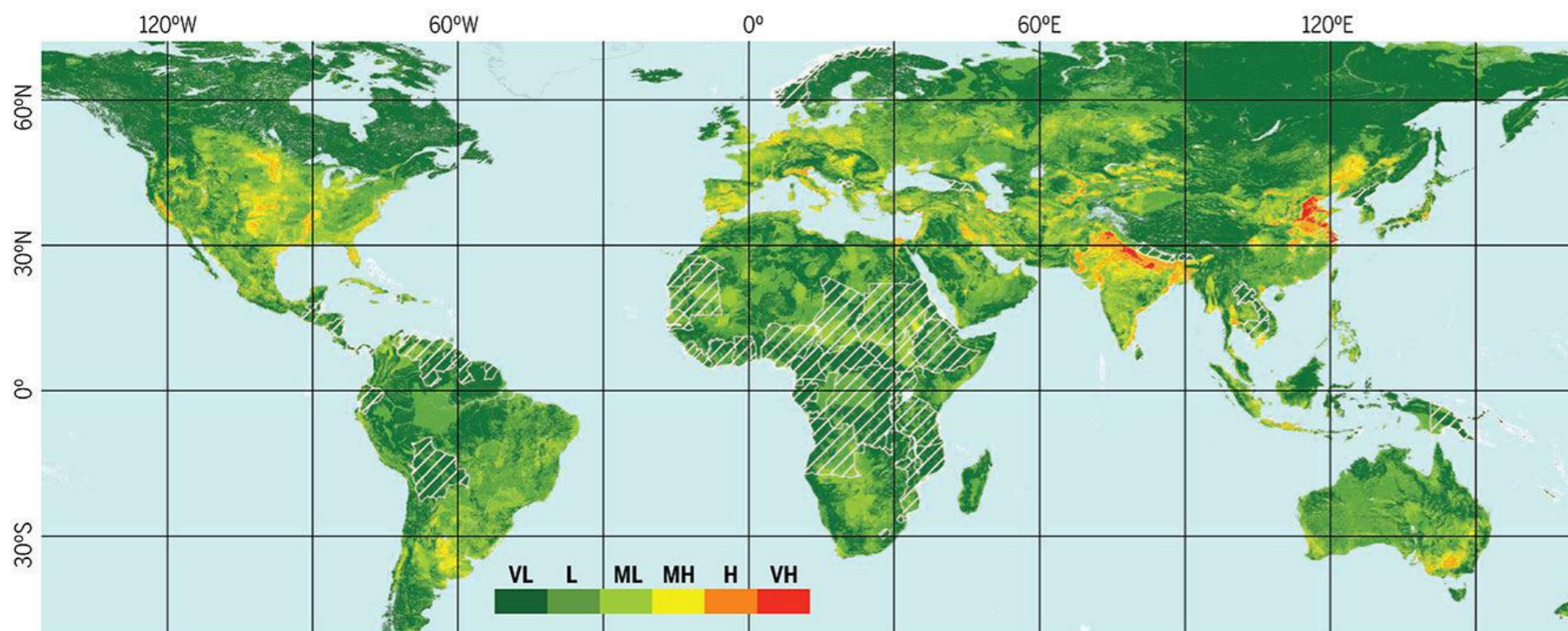
CONSEQUÊNCIAS DA (SUPER)EXPLOTAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Intrusão de cunha salina



ÁREAS POTENCIALMENTE VULNERÁVEIS À SUBSIDÊNCIA

- Atualmente
 - 2,2 milhões de km² (1,6% da superfície terrestre) são muito vulneráveis à subsidência
 - 1,2 bilhões de habitantes afetados (19% da população mundial)
- Áreas de alto stress hídrico (superexploração)
 - Áreas urbanas e densamente povoadas
 - Áreas agrícolas
- Grandes estuários e planícies deltaicas.
 - Golfo do México, Sudeste Asiático, Países Baixos, Egito, Índia, China...
- Em áreas inundáveis: 484 milhões de habitantes
 - 75% em áreas fluviais
 - 25% em áreas costeiras
- Ameaça de US\$ 8,19 trilhões ao PIB mundial (12% do PIB mundial)

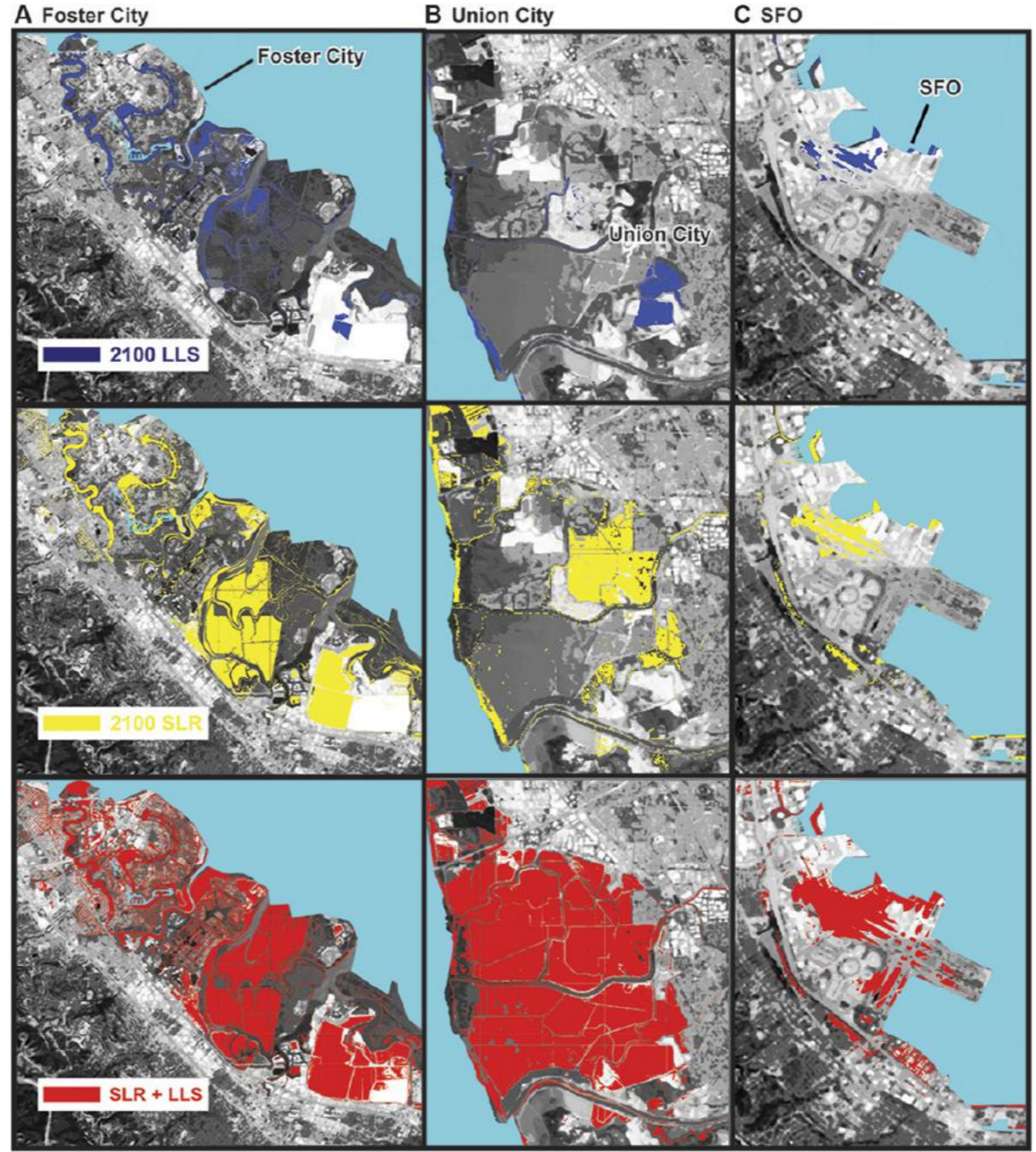


“The contribution from land subsidence may exceed the contribution from absolute sea-level rise by a factor of 10 or more and could be especially critical [...] where land elevation is less than 1 m above the mean sea level.”

Fonte: HERRERA-GARCIA, G. et al. Mapping the global threat of land subsidence. Science, v. 371, n. 6524, 2021. DOI: 10.1126/science.abb8549

SUBSIDÊNCIA NA REGIÃO DA BAÍA DE SÃO FRANCISCO

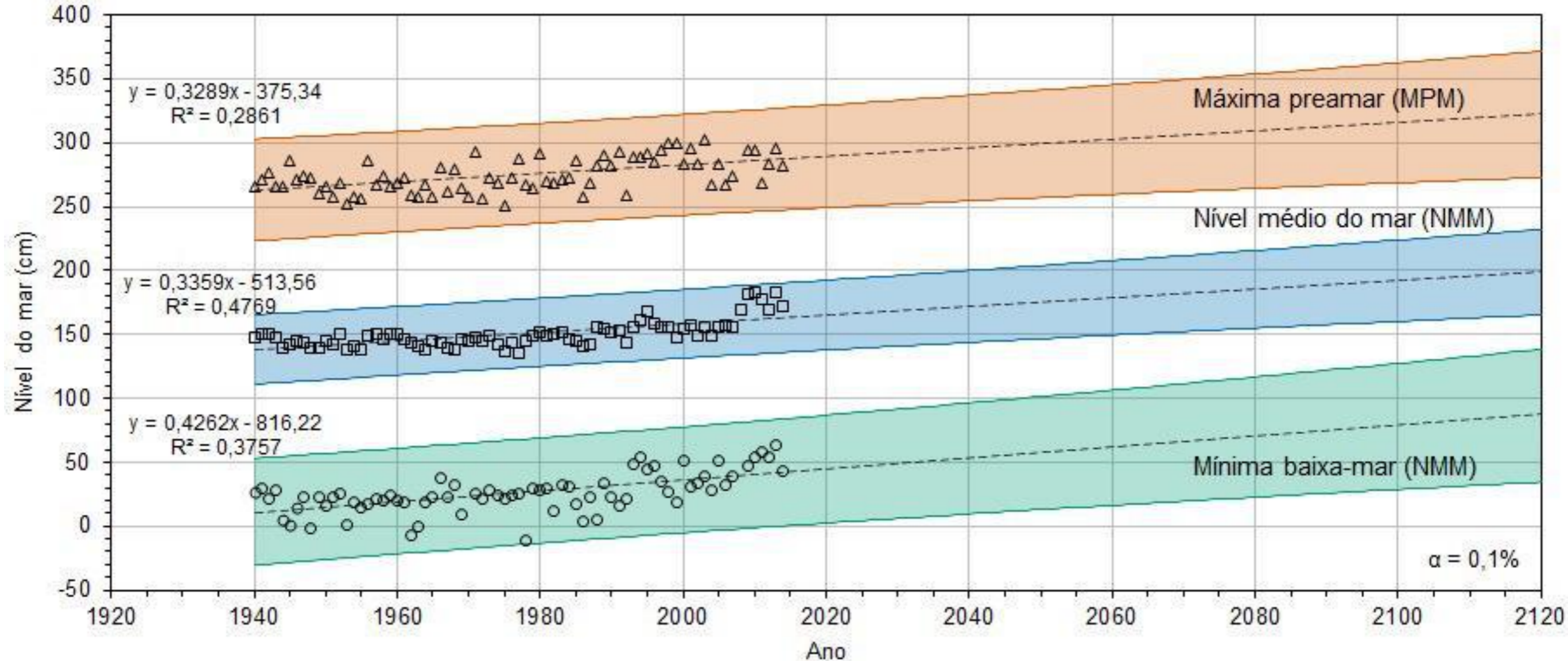
Subestimação entre 3,7 e 90,9%
da área vulnerável a inundações



Fonte: SHIRZAEL, M.; BÜRGMANN, R. Global climate change and local land subsidence exacerbate inundation risk to San Francisco Bay Area. Science Advances, v. 4, n.3, 2018. DOI: 10.1126/sciadv.aap9234.

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR EM SANTOS (SP) ATÉ 2120

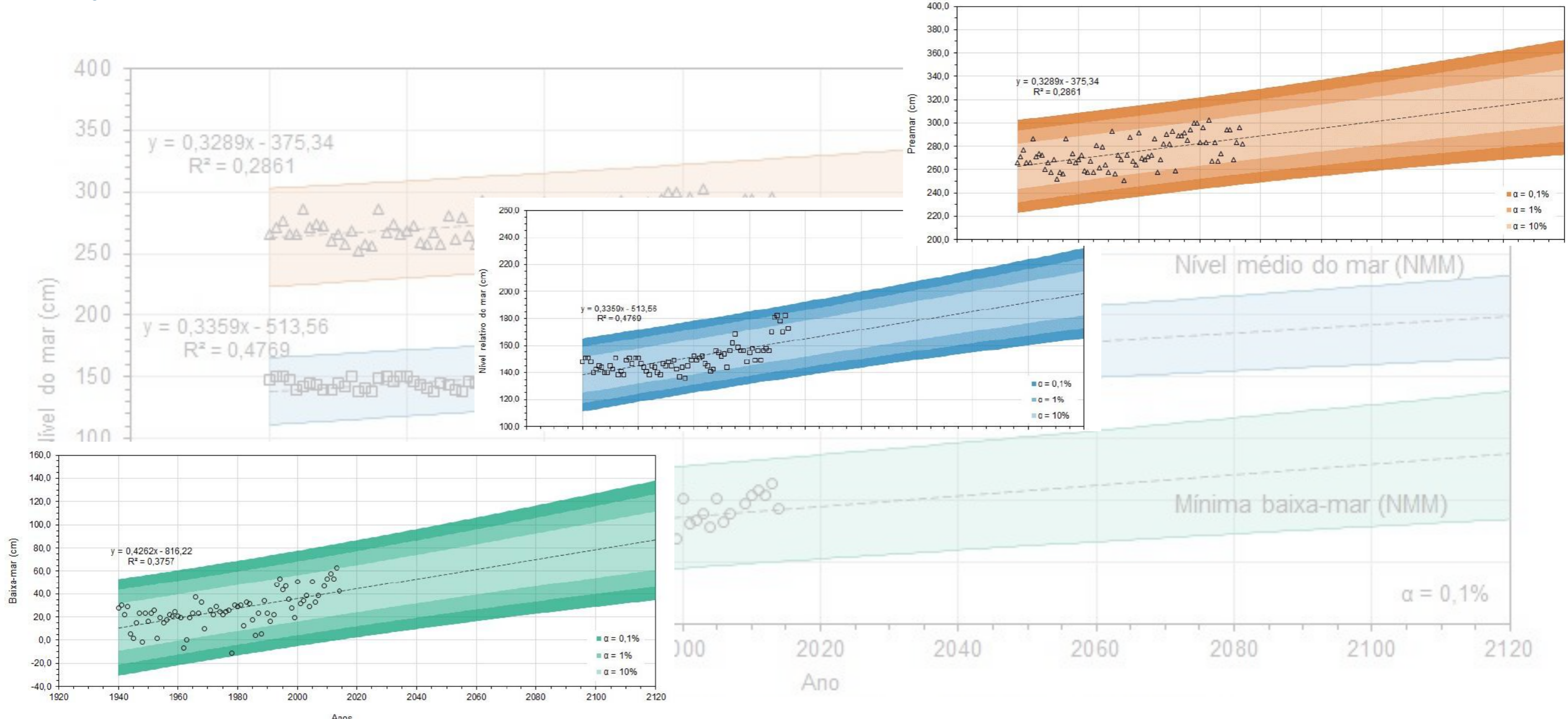
Elevações esperadas para o nível do mar



Fonte: CUCCIOLITO, G.D.S.; LACERDA, A.C.; SILVA, L.R. Elevação do nível do mar em Santos: geração de cenários e mapeamento de áreas vulneráveis até 2120. Monografia (Engenharia Civil). Orient.: LOFRANO, F.C. Universidade Católica de Santos, 2020. 75 p.

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR EM SANTOS (SP) ATÉ 2120

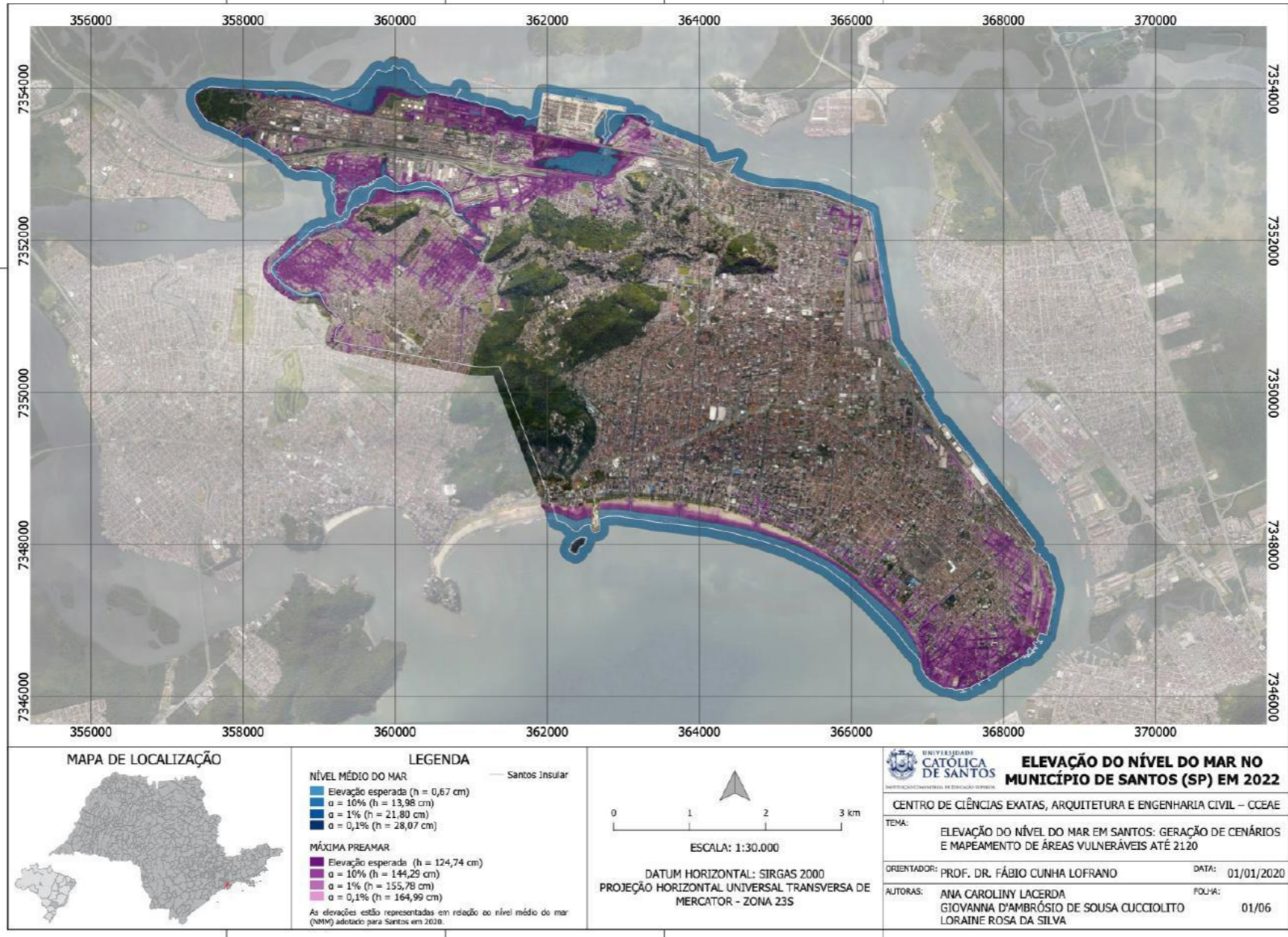
Elevações esperadas para o nível do mar segundo diferentes níveis de significância



Fonte: CUCCIOLITO, G.D.S.; LACERDA, A.C.; SILVA, L.R. Elevação do nível do mar em Santos: geração de cenários e mapeamento de áreas vulneráveis até 2120. Monografia (Engenharia Civil). Orient.: LOFRANO, F.C. Universidade Católica de Santos, 2020. 75 p.

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR EM SANTOS (SP) ATÉ 2120

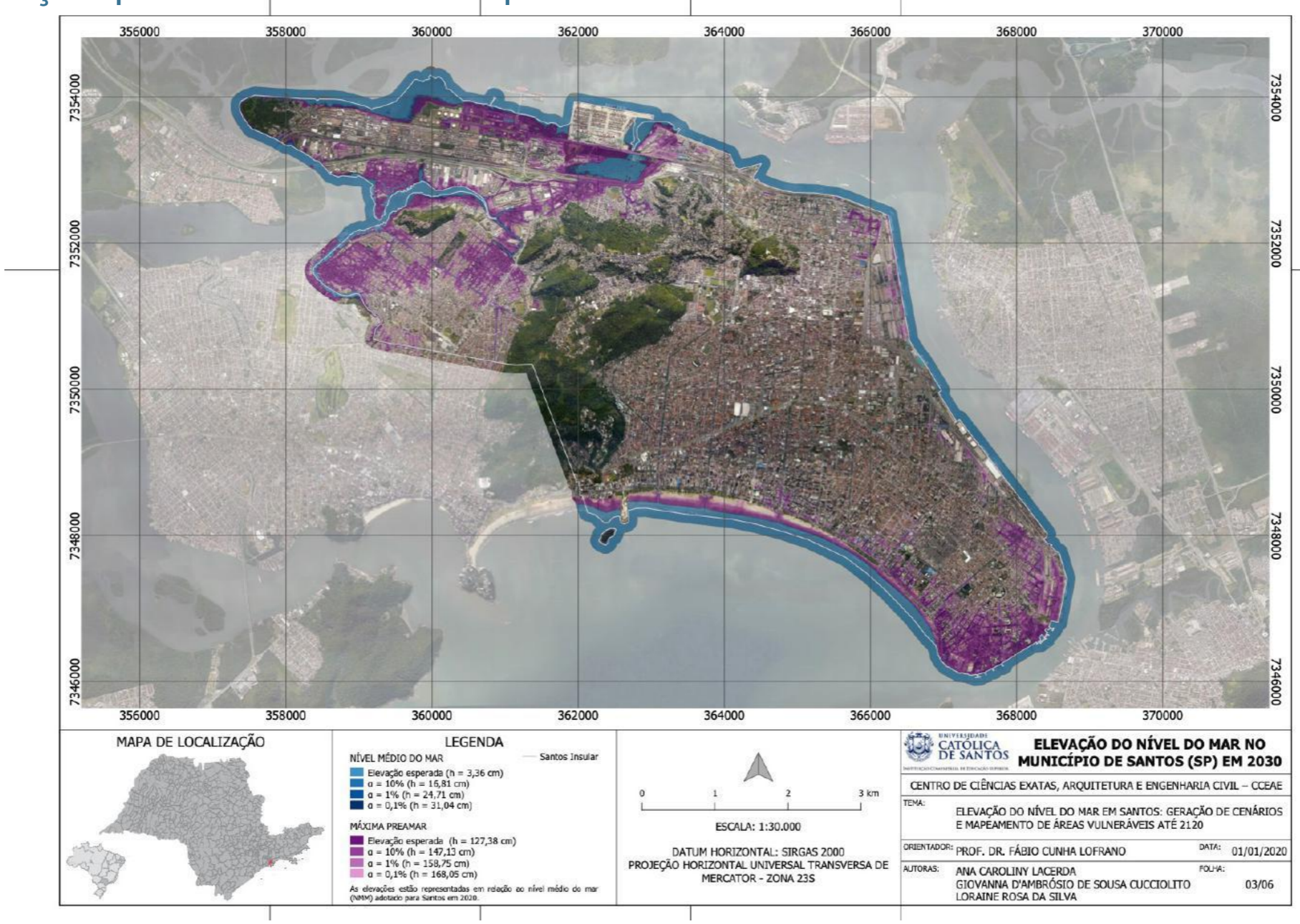
Manchas de inundação para Santos insular | 2022



Fonte: CUCCIOLITO, G.D.S.; LACERDA, A.C.; SILVA, L.R. Elevação do nível do mar em Santos: geração de cenários e mapeamento de áreas vulneráveis até 2120. Monografia (Engenharia Civil). Orient.: LOFRANO, F.C. Universidade Católica de Santos, 2020. 75 p.

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR EM SANTOS (SP) ATÉ 2120

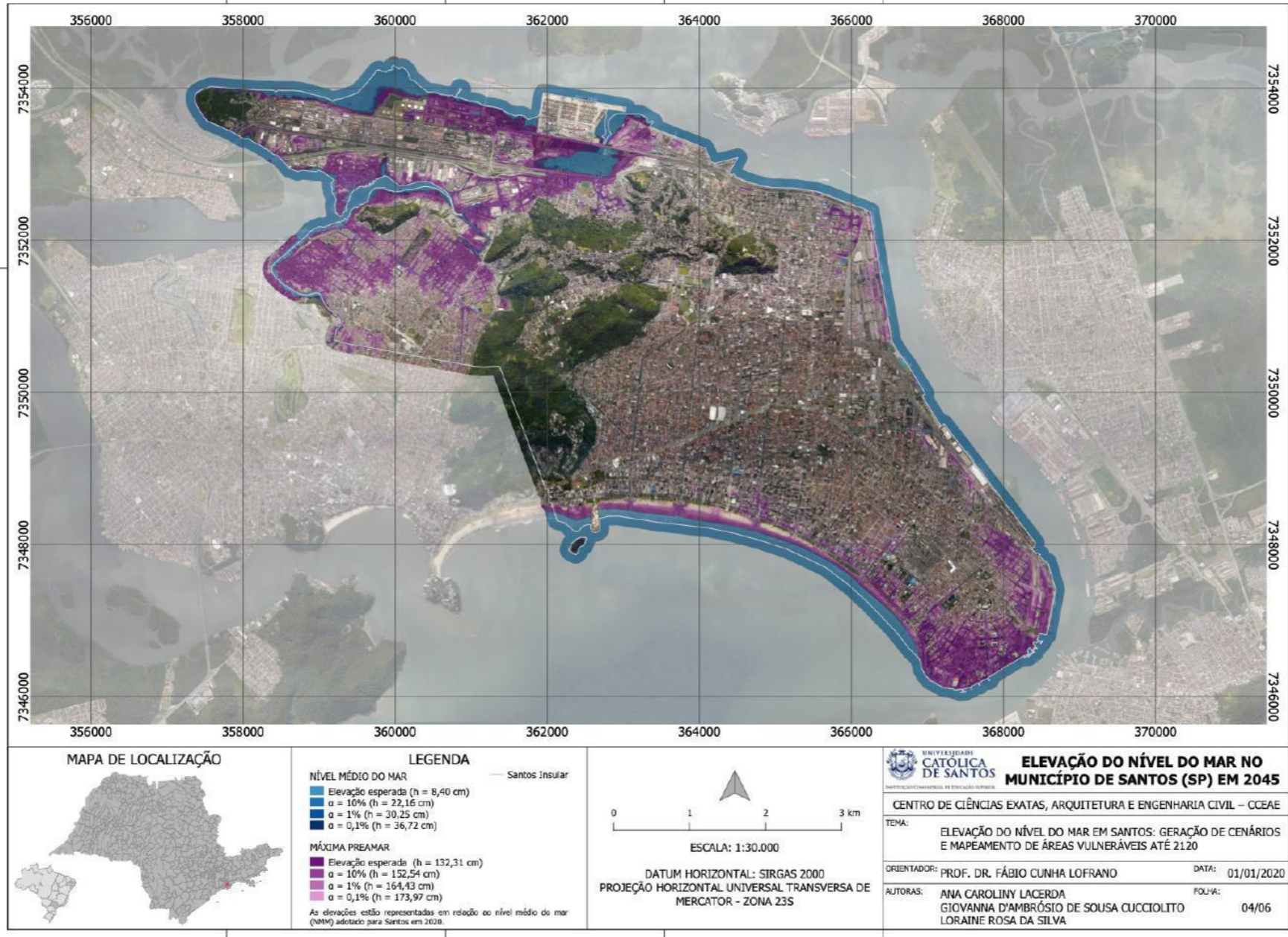
Manchas de inundação para Santos insular | 2030



Fonte: CUCCIOLITO, G.D.S.; LACERDA, A.C.; SILVA, L.R. Elevação do nível do mar em Santos: geração de cenários e mapeamento de áreas vulneráveis até 2120. Monografia (Engenharia Civil). Orient.: LOFRANO, F.C. Universidade Católica de Santos, 2020. 75 p.

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR EM SANTOS (SP) ATÉ 2120

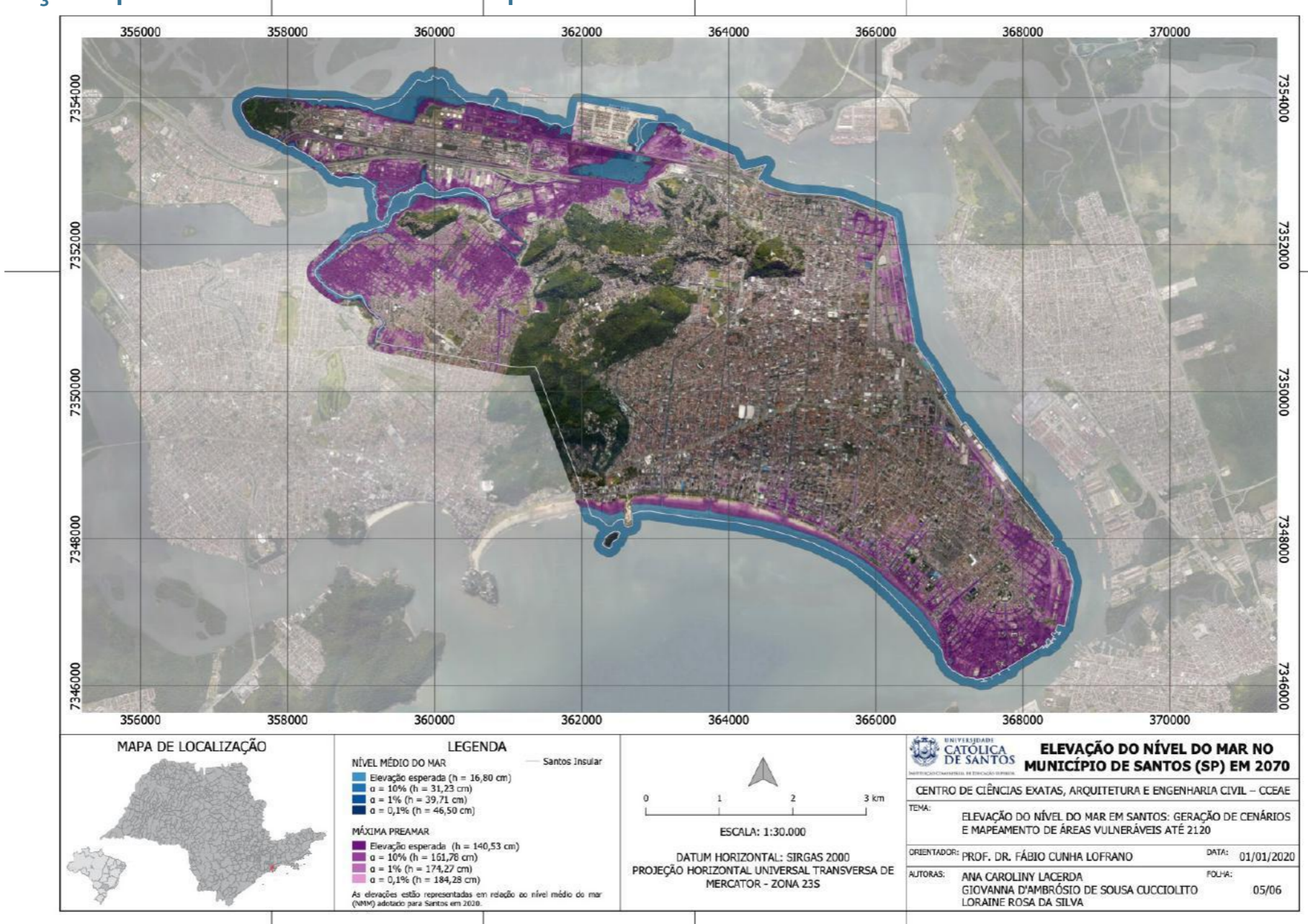
Manchas de inundação para Santos insular | 2045



Fonte: CUCCIOLITO, G.D.S.; LACERDA, A.C.; SILVA, L.R. Elevação do nível do mar em Santos: geração de cenários e mapeamento de áreas vulneráveis até 2120. Monografia (Engenharia Civil). Orient.: LOFRANO, F.C. Universidade Católica de Santos, 2020. 75 p.

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR EM SANTOS (SP) ATÉ 2120

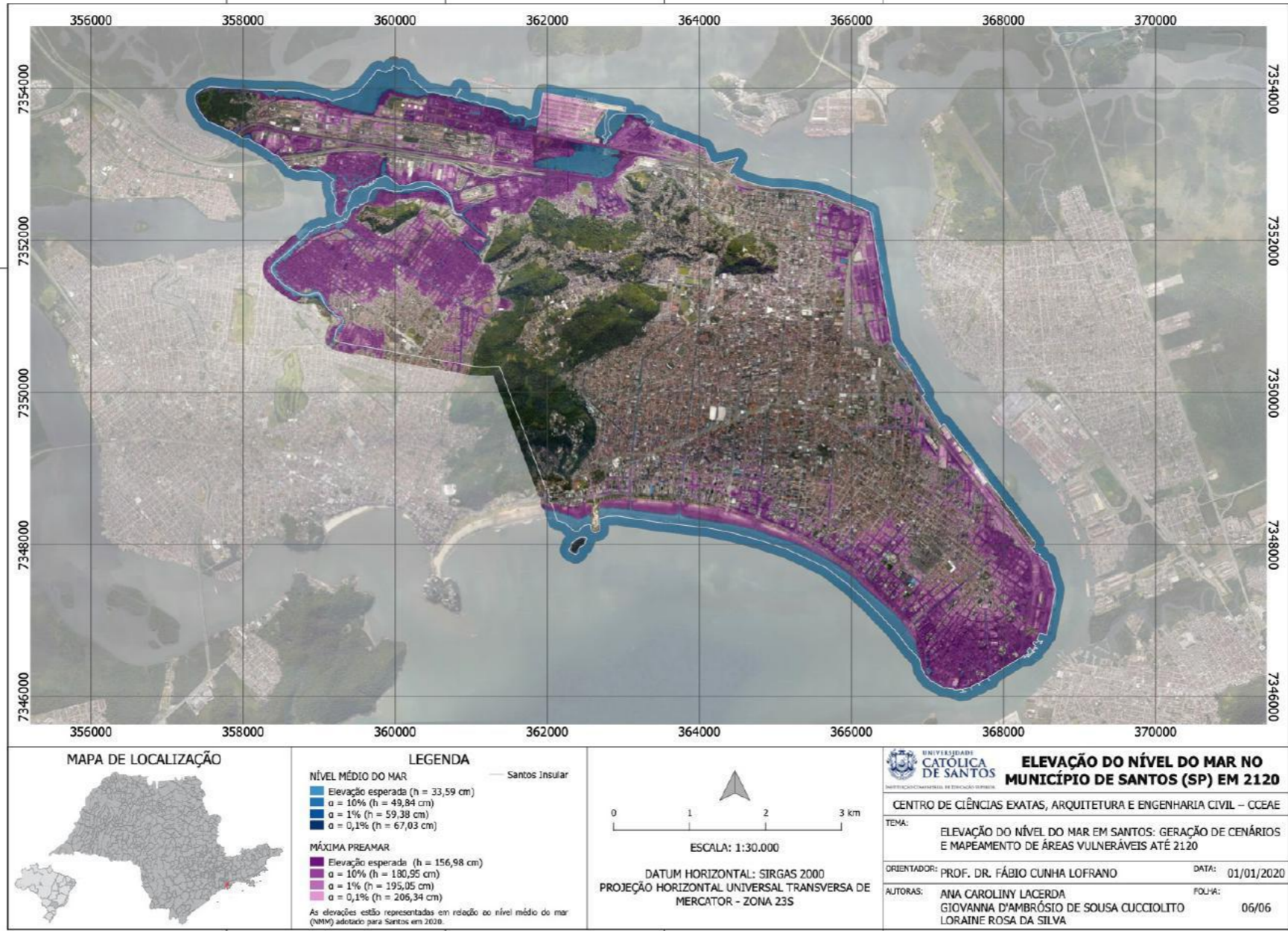
Manchas de inundação para Santos insular | 2070



Fonte: CUCCIOLITO, G.D.S.; LACERDA, A.C.; SILVA, L.R. Elevação do nível do mar em Santos: geração de cenários e mapeamento de áreas vulneráveis até 2120. Monografia (Engenharia Civil). Orient.: LOFRANO, F.C. Universidade Católica de Santos, 2020. 75 p.

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR EM SANTOS (SP) ATÉ 2120

Manchas de inundação para Santos insular | 2120



Fonte: CUCCIOLITO, G.D.S.; LACERDA, A.C.; SILVA, L.R. Elevação do nível do mar em Santos: geração de cenários e mapeamento de áreas vulneráveis até 2120. Monografia (Engenharia Civil). Orient.: LOFRANO, F.C. Universidade Católica de Santos, 2020. 75 p.

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR EM SANTOS (SP) ATÉ 2120

Vulnerabilidade ambiental x vulnerabilidade social



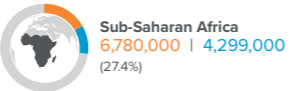
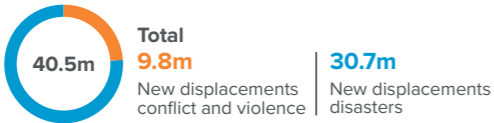
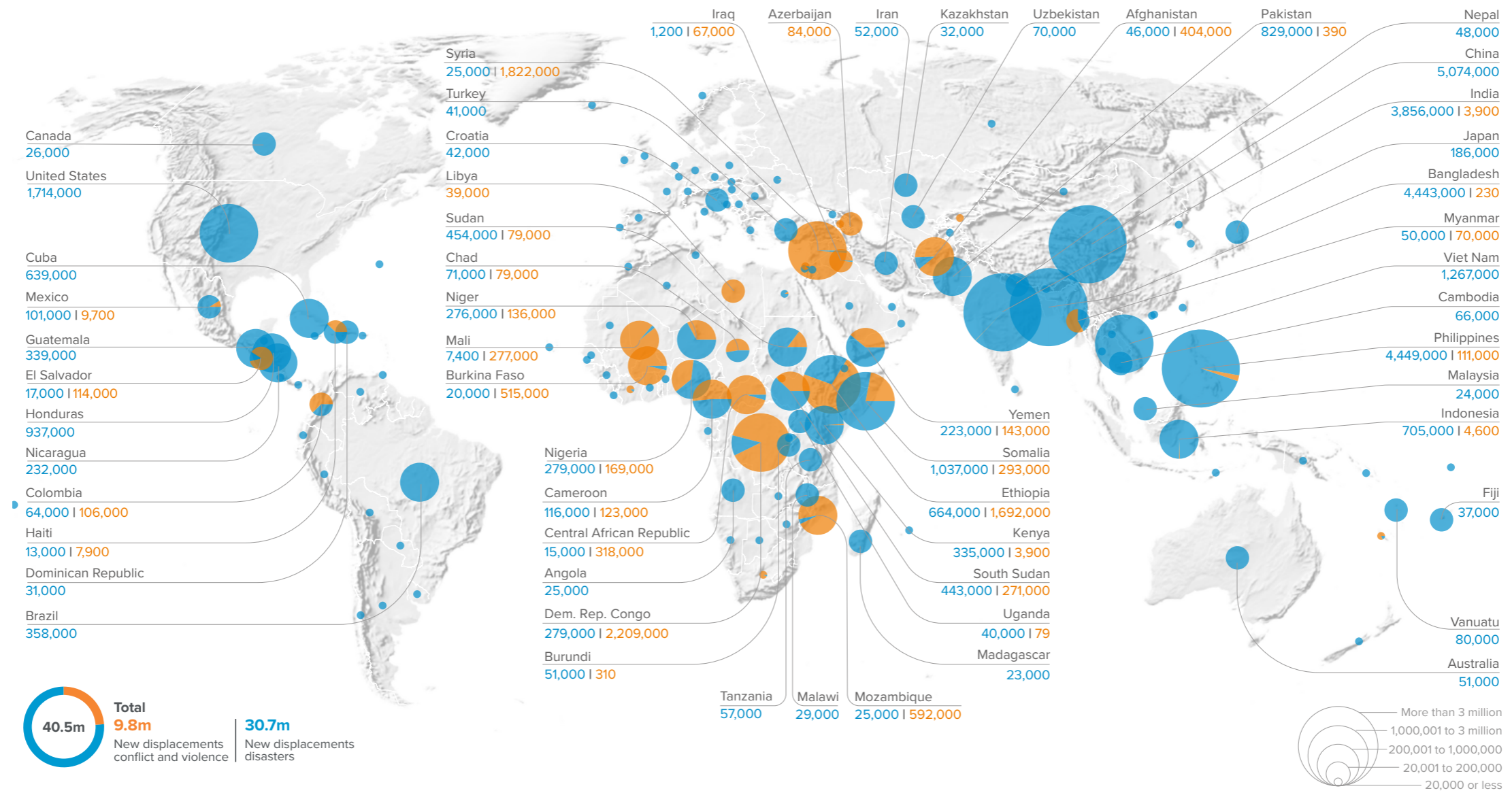
E A SUBSIDÊNCIA?
NÃO PRECISAREMOS ESPERAR 2120...

Em vermelho: porção insular do município de Santos
Em amarelo: APPs ocupadas por comunidades de palafitas

Fonte: Associação Brasileira de empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Combate às fontes de poluição marinha por resíduos sólidos. São Paulo: ABRELPE, 2019. 80 p.



REFUGIADOS CLIMÁTICOS: NOVAS MIGRAÇÕES POR CONFLITO E DESASTRES EM 2020



The country and territory names and figures are shown only when the total new displacements value exceeds 20,000. Due to rounding, some totals may not correspond with the sum of the separate figures.

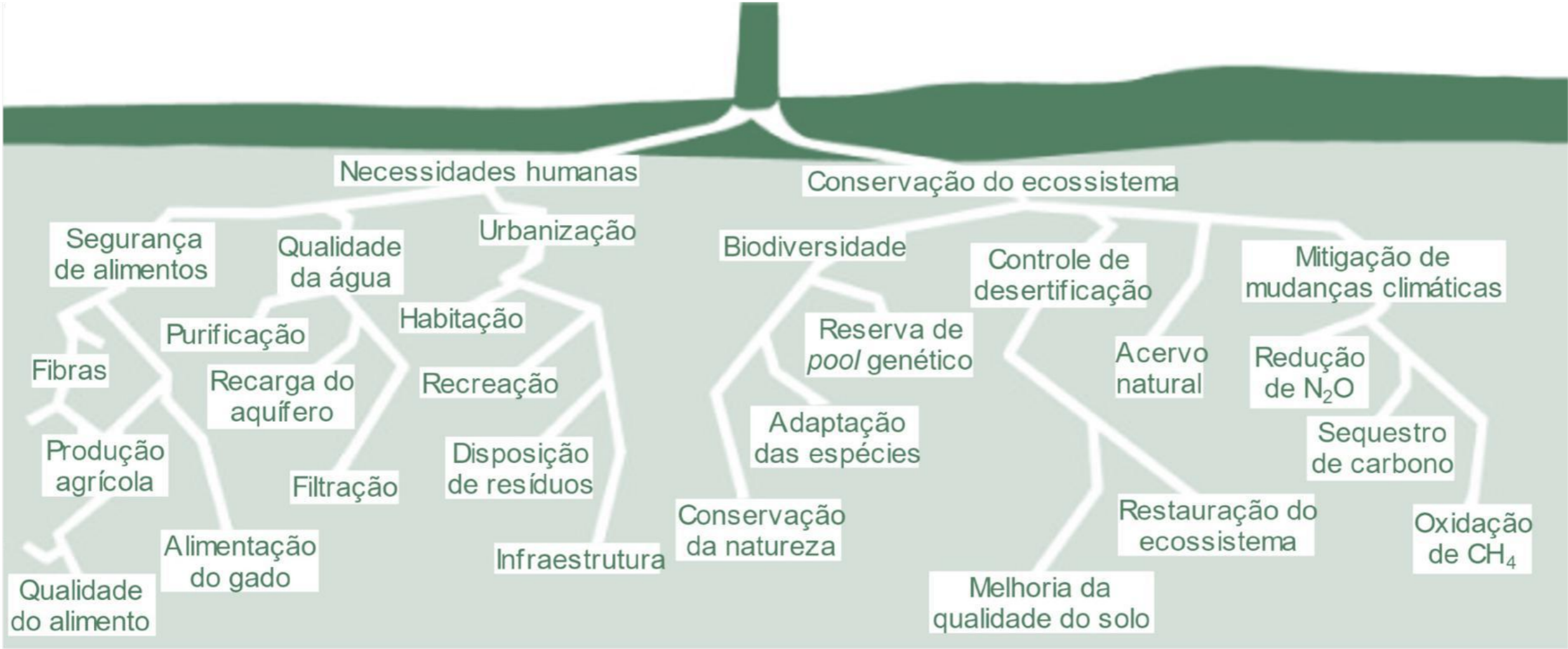
The boundaries and the names shown and the designations used on this map do not imply official endorsement or acceptance by IDMC.

“ Há desigualdades sociais que são, em primeiro lugar, desigualdades territoriais, porque derivam do lugar onde cada qual se encontra. Seu tratamento não pode ser alheio às realidades territoriais. O cidadão é o indivíduo num lugar. A República somente será realmente democrática quando considerar todos os cidadãos como iguais, independentemente do lugar onde estejam. ”

Milton Santos (1926–2001)
Geógrafo brasileiro
Prêmio Vautrin Lud (1994)



DEMANDAS ATUAIS SOBRE O MEIO SUBTERRÂNEO



Fonte: adaptado de LAL, R. World soils and global issues. Soil and Tillage Research, v. 97, n. 1, p. 1-4, 2007 e LEPSCH, I.F. 19 lições de pedologia. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 456 p.

Precisamos reconhecer o **meio ambiente subterrâneo como elemento da paisagem urbana**

Em um contexto de cidades inteligentes:

- Levantamentos, bases de dados, cadastros
- Gestão da informação e do conhecimento
- Ciência de dados
- **Transparência**





0313562 | CIDADES INTELIGENTES

03 de outubro de 2022

Cidades inteligentes e meio ambiente subterrâneo

Fábio Cunha Lofrano | fabio.lofrano@usp.br