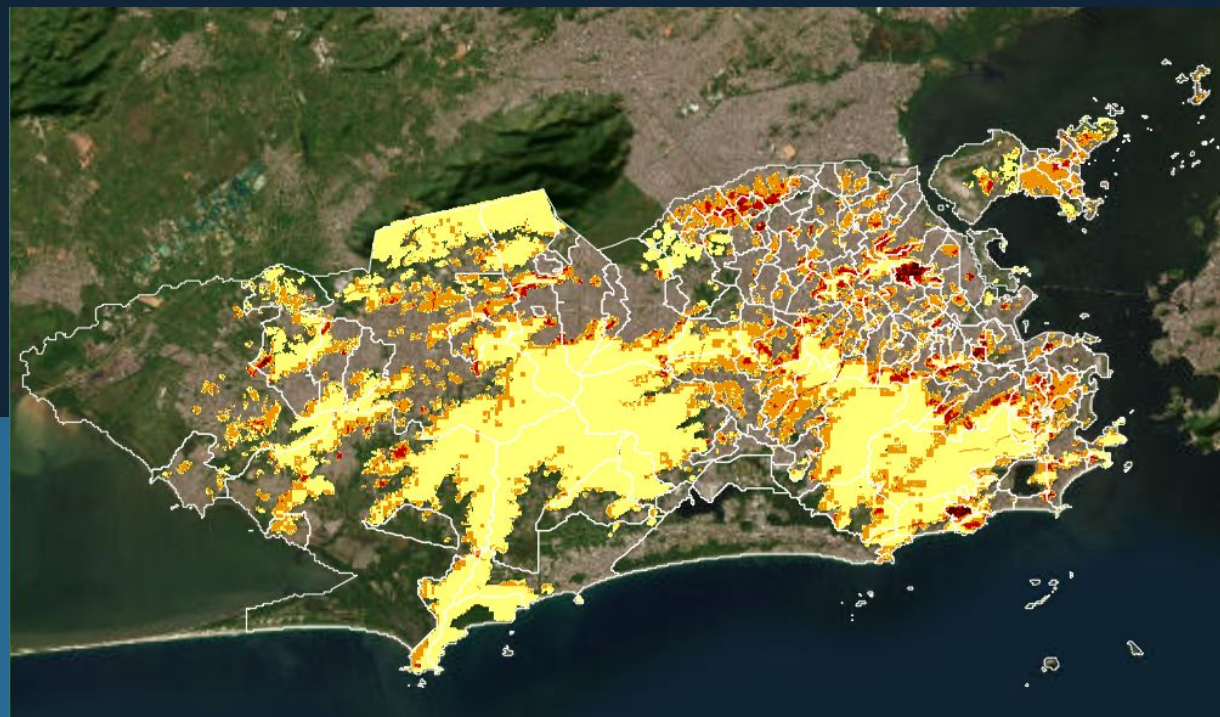


RIO DE JANEIRO

Cenários climáticos, riscos e adaptação

Localidade científica à decisão pública

Prof.^a Dr.^a Andréa Souza Santos •
COPPE/UFRJ



MPF – Set
2026

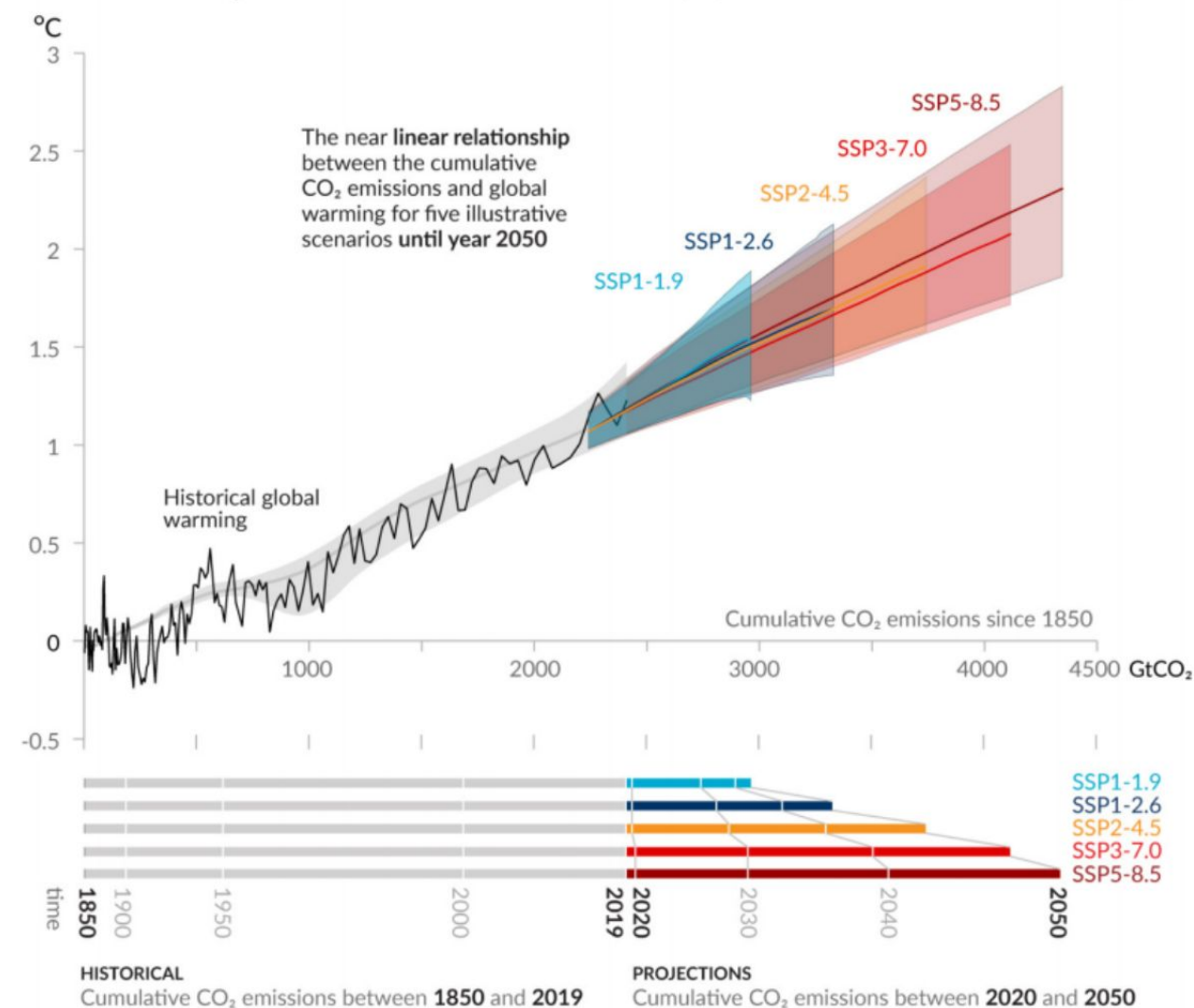


[Credit: NASA]

“As mudanças climáticas recentes observadas são generalizadas, rápidas e intensificadas e sem precedentes em milhares de anos.

Vivemos no tempo da Emergência Climática.

Global surface temperature increase since 1850-1900 (°C) as a function of cumulative CO₂ emissions (GtCO₂)



Em 2024, a temperatura média global anual ficou aproximadamente **1,55 °C acima de 1850–1900**. Em 2025, ficou em cerca de **1,43 °C**.

A OMM estimou **70% de probabilidade de que a média do período 2025–2029 fique acima de 1,5 °C**.

Em setembro de 2026, o PNUMA afirmou que a ultrapassagem de 1,5 °C é **amplamente considerada inevitável nas trajetórias atuais** e que agora é urgente limitar a magnitude e a duração desse *overshoot* e posteriormente reduzir novamente a temperatura.

O **cenário SSP1-1.9** do IPCC é a trajetória mais otimista, descrevendo um mundo sustentável que atinge emissões líquidas zero de CO₂ por volta de 2050. Ele limita o aquecimento global a cerca de 1,5 °C até 2100, evitando os piores impactos climáticos, com foco no bem-estar social e rápido declínio das emissões.

No **SSP1-2.6**, a mitigação também é forte, mas insuficiente para assegurar 1,5 °C; é uma trajetória mais próxima de **menos de 2 °C**.

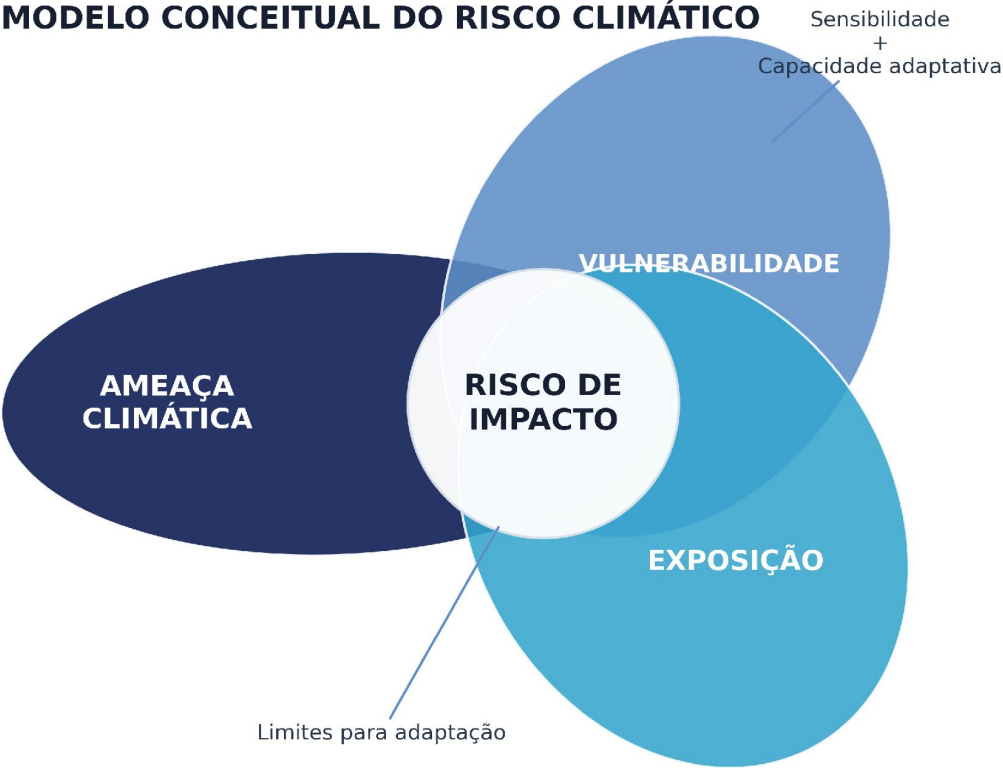
Desastres “naturais” causados por extremos climáticos



Os eventos climáticos extremos estão se tornando mais frequentes com as mudanças climáticas e afetam ainda mais as populações mais pobres

RISCO CLIMÁTICO NÃO É APENAS O EVENTO EXTREMO

MODELO CONCEITUAL DO RISCO CLIMÁTICO



Fonte: elaboração própria, adaptada do quadro conceitual do IPCC (AR5, 2014) e do AdaptaBrasil MCTI.

Ameaça climática

O que pode acontecer?

Chuva extrema • calor • elevação do mar • seca

Exposição

Quem e o que está no caminho?

População • moradias • hospitais • transportes • infraestrutura

Vulnerabilidade

Quão suscetível é o sistema?

Sensibilidade + capacidade de adaptação

Elevação do nível do mar

Calor extremo

Risco Climático = Ameaça × Exposição × Vulnerabilidade

Secas

Deslizamentos

Incêndios

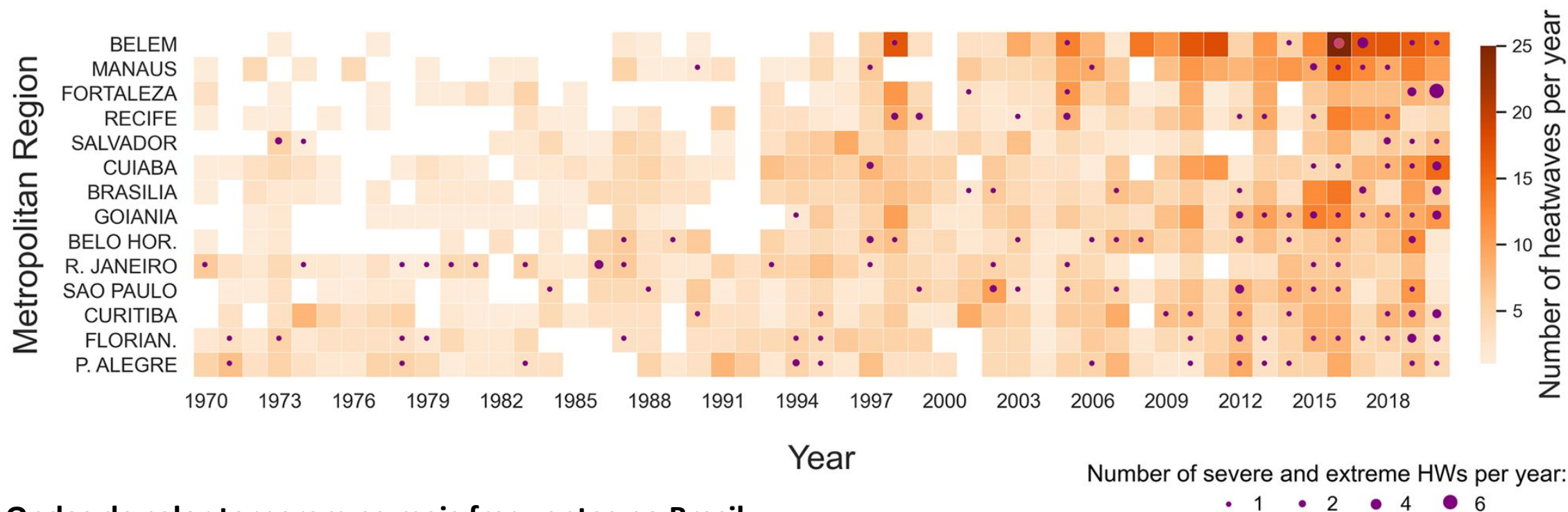
Inundação

RISCO DE IMPACTO

A ameaça se transforma em desastre quando encontra sistemas expostos e vulneráveis.

Evolução temporal do número anual de ondas de calor no período de 1970 a 2020 nas regiões metropolitanas brasileiras.

A escala de cores representa o número total de ondas de calor por ano; o tamanho dos círculos roxos indica o número de eventos classificados como severos ou extremos



Ondas de calor tornaram-se mais frequentes no Brasil

De **0–3 eventos/ano na década de 1970** para aproximadamente **3–11 eventos/ano na década de 2010**, dependendo da região metropolitana.

48.075 mortes excedentes associadas às ondas de calor entre 2000 e 2018, considerando as 14 regiões metropolitanas estudadas. **O Rio de Janeiro apresentou cerca de 9.641 mortes excedentes no período.**

Nova lei estabelece regras gerais para adaptação às mudanças climáticas



28/06/2024 16h12 · Por: Redação · Fonte: Agência Senado ·



O Presidente da República, Luiz Inácio Lula da Silva, sancionou a **Lei 14.904, de 2024**, que estabelece diretrizes para a elaboração de planos de adaptação às mudanças climáticas. A nova norma — que foi publicada no *Diário Oficial da União* nesta sexta-feira (28) — busca reduzir a

Feira de Santa



28° Sensação 2.83 Vento



Brasil



BRASIL REGISTROU 120 MIL MORTES ASSOCIADAS A ONDAS DE CALOR EM 20 ANOS

Brasil registrou 120 mil mortes associadas a ondas de calor em 20 anos

Estudo, realizado em âmbito de projeto do MCTI com o PNUD, estimou efeitos e impactos do calor extremo na saúde humana em mortalidade e hospitalização no SUS entre 2000 e 2019.

Reflexões iniciais

- O Rio de Janeiro já está experimentando os efeitos da mudança do clima; “quais serão os cenários?” X “**como transformar ciência em decisões de adaptação territorial, infraestrutura e proteção da população?**”

- Estamos diante de uma mudança do clima que já está produzindo impactos mensuráveis sobre a saúde, a infraestrutura, a mobilidade, a zona costeira e a qualidade de vida.

- O desafio científico e político é antecipar esses impactos, reduzir o risco e orientar investimentos para uma cidade mais resiliente, especialmente nos territórios onde a exposição e a vulnerabilidade social são maiores.

- Uma cidade resiliente precisa reduzir sua vulnerabilidade climática, o Risco climático e, simultaneamente, suas emissões de GEE – **Sinergia entre Adaptação e Mitigação**



**Plano de Desenvolvimento Sustentável
e Ação Climática da Cidade do
Rio de Janeiro**

1. O Rio já está sob pressão climática

Evidências observadas e indicadores municipais

43 dias/ano

eventos de calor extremo •
2023

34 dias/ano

eventos de tempestade extrema •
2023

106,88 m²/hab

Áreas verdes •
2023



Adaptação: arborização, sombreamento, infraestrutura verde, saúde pública e protocolos para ondas de calor.



Adaptação: drenagem urbana, reservatórios, infraestrutura resiliente e sistemas de alerta.



55,13% do território municipal estava coberto por áreas verdes em 2023.

Estratégias: Infraestrutura verde, biodiversidade e redução das ilhas de calor.

Fonte: PDS, 2021

1. O Rio já está sob pressão climática

20,11

emissões municipais •
2023

20,1 milhões tCO₂eq de emissões de GEE (Painel Rio, 2023)

série 2014–2023 como uma tendência de redução

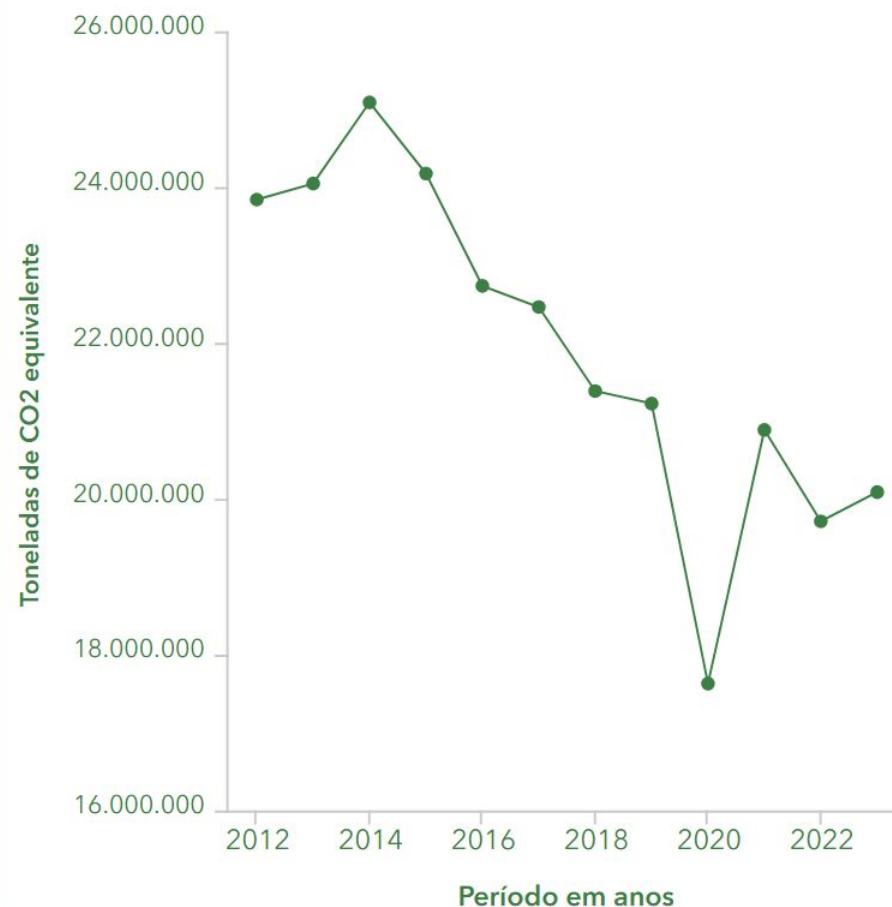
Estratégias:

Mitigação: mobilidade de baixo carbono, eletrificação, eficiência energética e energia renovável.

Estado do RJ

Os dados mais recentes (SEEG, 2025) indicam que **as emissões de GEE do Estado do Rio de Janeiro voltaram a crescer em 2024** (um aumento de 7%–8% entre 2023 e 2024).

Emissão de gases do efeito estufa (t CO₂e)



CALOR EXTREMO: DE EVENTO METEOROLÓGICO A RISCO À VIDA

Estado do Rio de Janeiro • 18 de novembro de 2023 • estudo de 2025

18 NOV 2023

39,4 °C

média espacial da temperatura máxima diária
(5 estações meteorológicas)

A mudança climática foi o principal vetor de intensificação;
o El Niño teve papel secundário.

IMPACTO NA MORTALIDADE

633

óbitos registrados no estado naquele dia

≈143

óbitos atribuíveis ao calor
IC 95%: 125–157

22,6% do total diário

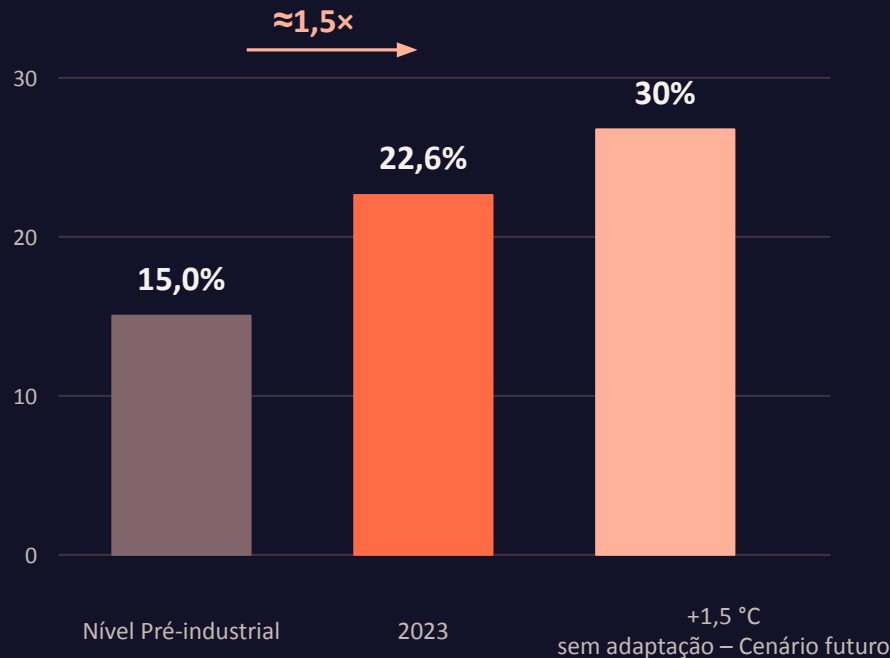
RR 1,45

+45%

risco relativo de mortalidade vs. temperatura de mínimo risco

FRAÇÃO DE MORTES ATRIBUÍVEL AO CALOR

O aquecimento já observado elevou a parcela atribuível ao calor



≈1 em 3 das mortes atribuíveis ao calor no pico corresponde ao efeito do aquecimento já ocorrido.

Mensagem-chave: o calor extremo já é um risco de saúde pública; sem adaptação, um clima +1,5 °C mais quente elevaria a fração atribuível a ≈30%.



RJ - NC 1 a 5 - a classificação de níveis de calor que vai nortear e implementar protocolos de alerta e estabelecer ações públicas nos períodos em que a cidade estiver sujeita a altas temperaturas.



CALOR NA CIDADE DO RIO:

Saúde pública • alerta antecipado • adaptação urbana

EVIDÊNCIA RECENTE E AÇÃO NECESSÁRIA

Temperatura de Mortalidade Mínima (TMM): É o ponto de menor risco à saúde (uma espécie de "zona de conforto" epidemiológica)

36 °C

LIMIAR EPIDEMIOLÓGICO

Quando há previsão ou registro de altos índices de calor (36°C a 40°C) por um ou dois dias consecutivos (NC2).

AÇÃO ANTES DO PICO

Acionar protocolos: Índice de Calor (IC) combinado com o tempo de exposição para definir os gatilhos de alerta

López-Bueno et al., 2025

QUEM É MAIS VULNERÁVEL?

- **IDOSOS**
maior risco e menor capacidade de termorregulação
- **MENOR ESCOLARIDADE MULHERES**
maior vulnerabilidade nas análises por sexo
- **NEGROS E PARDOS**
maior vulnerabilidade em subgrupos raciais analisados
- **MAIORES DESIGUALDADES SOCIAIS**
vulnerabilidade associada às desigualdades sociais

EVIDÊNCIA LOCAL DE MORTALIDADE

466.121 mortes naturais analisadas na cidade do Rio (2012–2024)

A SMS/CIE encontrou associação entre calor e mortalidade, especialmente em idosos e pessoas com doenças crônicas.

Eixos de Políticas Públicas

Evoluir o Protocolo de Calor já existente para um

PLANO MUNICIPAL DE PROTEÇÃO CONTRA CALOR EXTREMO

- | | |
|----------------------------------|------------------------------|
| 01 Alerta antecipado | 02 Protocolo da Saúde |
| 03 Espaços de resfriamento | 04 Proteção de trabalhadores |
| 05 Arborização prioritária | 06 Redução de ilhas de calor |
| 07 Acompanhamento de vulneráveis | 08 Monitoramento intraurbano |

MENSAGEM-CHAVE :Calor extremo é risco previsível à saúde — a resposta deve combinar previsão meteorológica, proteção social, saúde e desenho urbano.

3. Calor extremo: risco climático com efeito mensurável na saúde

39,4 °C

temperatura máxima média estadual
em 18/11/2023

633

óbitos no Estado no episódio
analisado

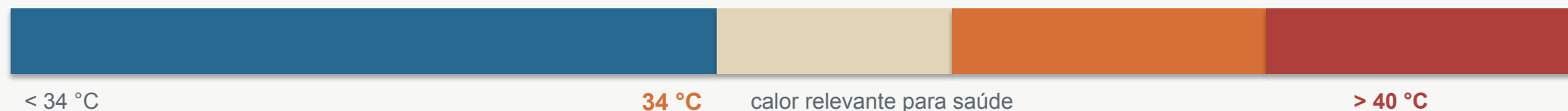
≈143

óbitos estimados atribuíveis ao
calor

Limiar epidemiológico de calor

Ondas de calor representam um dos perigos climáticos mais relevantes para o Rio de Janeiro, pois praticamente toda a cidade está exposta ao fenômeno, geralmente subnotificado. O limiar teórico de sobrevivência humana é de 35 °C de bulbo úmido.

O limiar epidemiológico de calor varia conforme a região geográfica, o clima local e a capacidade de adaptação dos habitantes.



Política prioritária: protocolo de calor → alerta → proteção da população → pontos de resfriamento → vigilância epidemiológica.

Avaliação das Ameaças Climáticas

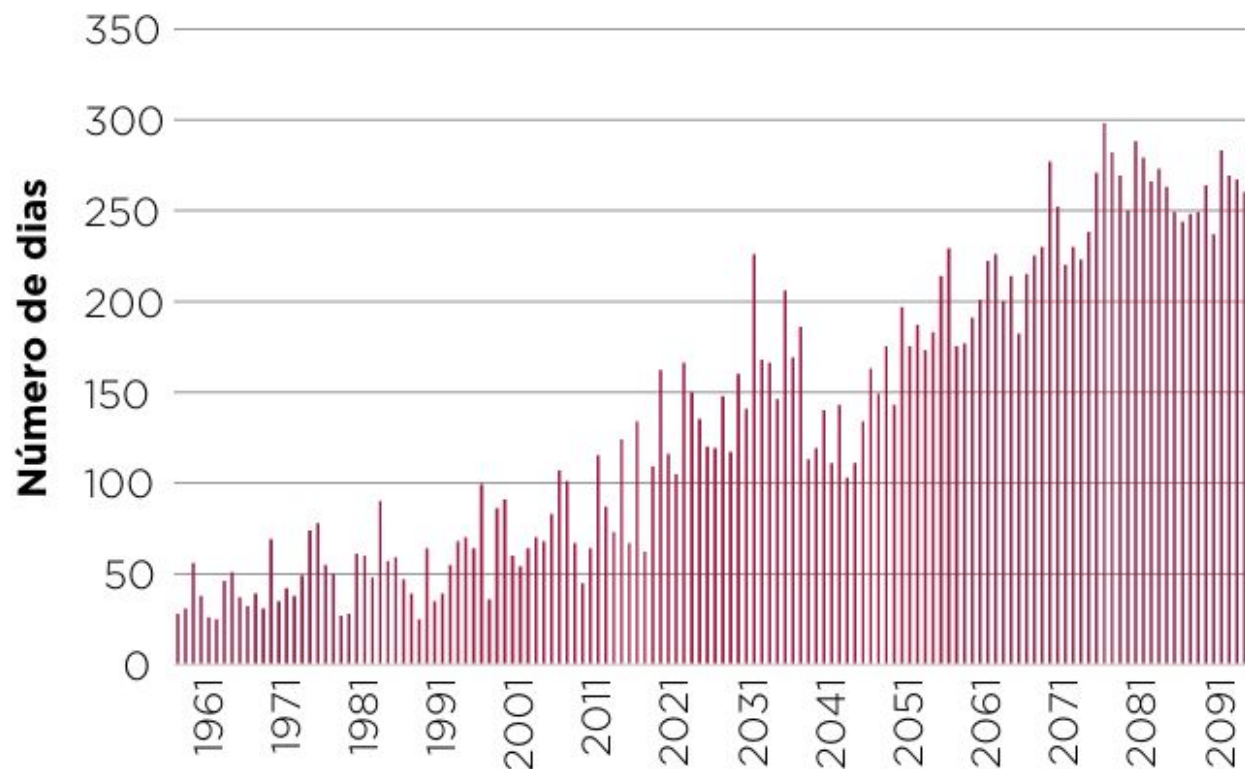
Aumento do nível médio do mar

Deslizamento de terra

Ondas de calor

Inundações

Número projetado de dias com um Índice de Calor acima de 40°C como modelado pelo HADGEM2-ES sob o cenário RCP 8.5



Fonte: Ramboll, 2020.

Os valores passam de cerca de **20–50 dias por ano nas décadas iniciais** para aproximadamente **250–300 dias por ano no final do século**, indicando uma intensificação progressiva do fenômeno climático representado (Ramboll, 2020)

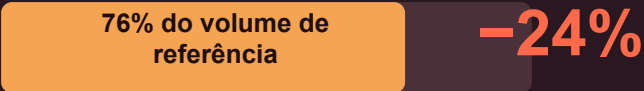
PRECIPITAÇÃO NO ESTADO DO RIO: MENOS CHUVA, MAIS SECA PROLONGADA

Projeções CMIP6 até 2100 • cenários intermediário e de altas emissões

PRECIPITAÇÃO ANUAL (PRCPTOT)

Até o final do século, o total anual projetado diminui nos dois cenários.

SSP 4.5
intermediário



SSP 8.5
pessimista

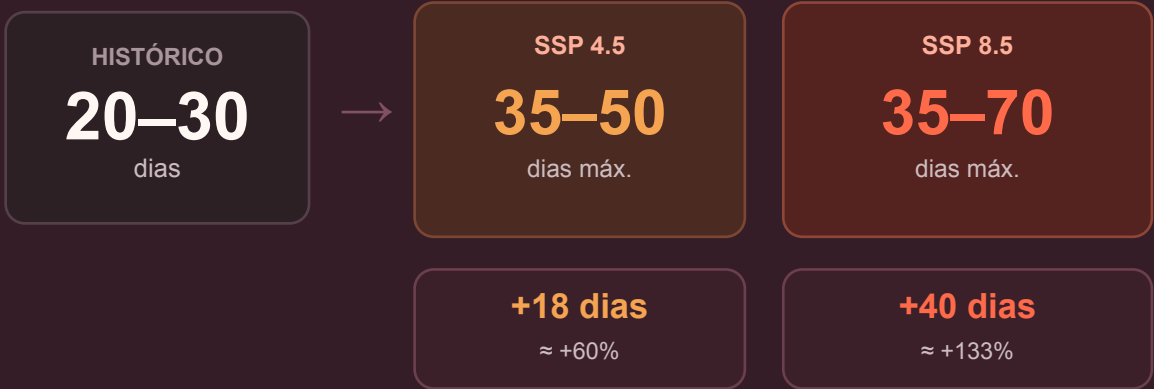


LEITURA Menor precipitação média anual não significa desaparecimento de eventos de chuva intensa.

A mudança é na distribuição da chuva no tempo — não apenas no volume total.

DURAÇÃO DOS PERÍODOS SECOS E ÚMIDOS

CDD máximo de dias consecutivos com chuva < 1 mm (Consecutive Dry Days)



CWD máximo de dias consecutivos com chuva ≥ 1 mm (Consecutive Wet Days)

Histórico: 10–19 dias. ↓ redução projetada em todas as regiões no SSP 4.5; efeito mais forte no SSP 8.5

MENSAGEM-CHAVE: o Estado do Rio tende a ficar mais seco em média, com períodos secos mais longos — sobretudo sob altas emissões.

O PARADOXO HIDROLÓGICO: MENOS CHUVA TOTAL NÃO SIGNIFICA MENOS EXTREMOS

A mudança climática redistribui a precipitação: mais concentração, maior variabilidade e riscos opostos

EXTREMO SECO

MENOS ÁGUA DISTRIBUÍDA AO LONGO DO ANO

 **-24% a -47%**
precipitação anual até 2100

 **até +133%**
nos dias consecutivos secos (CDD)

CWD ↓ menos sequências de dias chuvosos

Riscos: estresse hídrico • pressão sobre abastecimento • incêndios

EXTREMO ÚMIDO

CHUVA MAIS CONCENTRADA EM EPISÓDIOS INTENSOS



O estudo projeta aumento de indicadores ligados a dias muito e extremamente úmidos, com potencial para elevar a ocorrência de eventos extremos de precipitação.

Rx1day máximo de chuva em 1 dia

pode aumentar até o fim do século, inclusive no cenário intermediário.

Riscos: inundação • enxurrada • deslizamento • danos à infraestrutura

REDISTRIBUIÇÃO DA CHUVA

MENSAGEM-CHAVE:

planejar apenas para “mais chuva” ou apenas para “seca” é insuficiente — o risco aumenta nos dois sentidos.

IMPLICAÇÃO PARA O PLANEJAMENTO: **INFRAESTRUTURA PARA DOIS EXTREMOS**

Adaptação hídrica precisa combinar drenagem urbana, segurança hídrica e gestão de risco climático

A mesma trajetória climática pode produzir

escassez mais prolongada

e **chuvas extremas mais danosas.**

1 DRENAGEM E ENCOSTAS

- macrodrenagem e reservação
- manutenção de rios e galerias
- estabilização e alerta em encostas

2 SEGURANÇA HÍDRICA

- diversificação e redundância de fontes
- reservação e gestão de demanda
- planos para estiagens prolongadas

3 FOGO, VEGETAÇÃO E SOLO

- prevenção de incêndios florestais
- manejo de áreas verdes e umidade do solo
- proteção de mananciais

4 MONITORAMENTO E DECISÃO

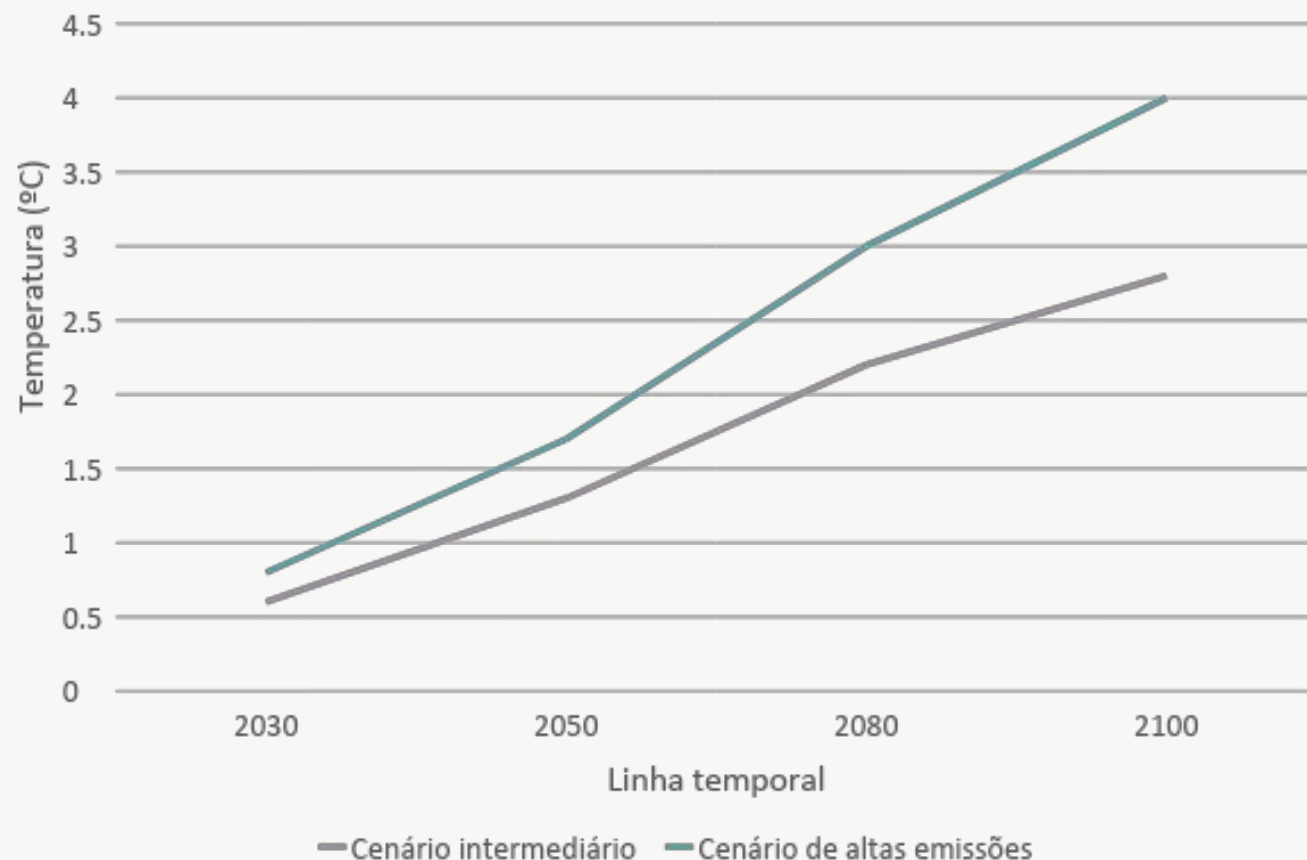
- previsão e alerta multirriscos
- chuva, vazão e umidade do solo em tempo real
- gatilhos operacionais para seca e excesso

PRINCÍPIO DE POLÍTICA PÚBLICA

Não dimensionar a cidade para a média histórica: dimensionar para **variabilidade + extremos + simultaneidade de riscos.**

2. Como o clima pode evoluir?

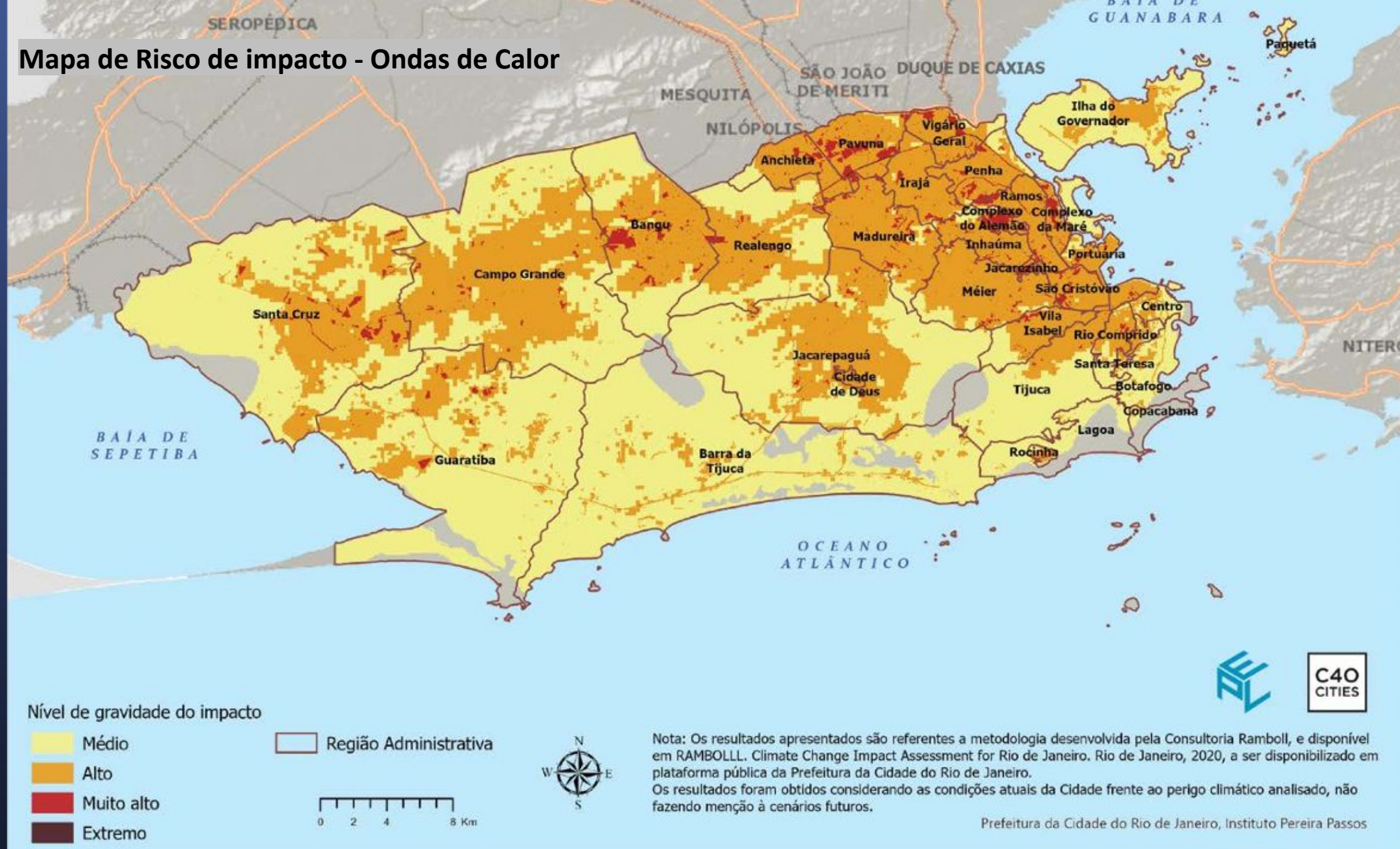
Cenários não são previsões pontuais: são trajetórias de risco para planejamento



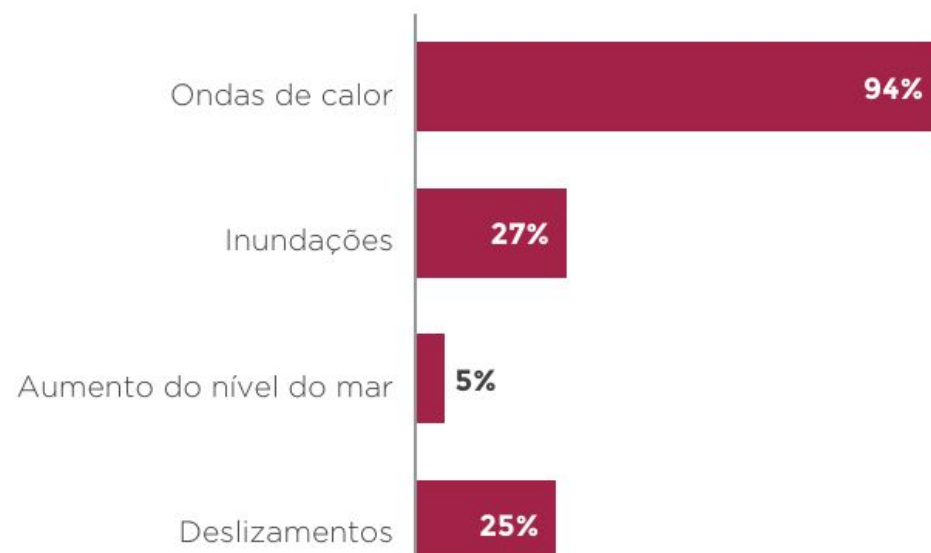
O que isso muda na política?

- dimensionar infraestrutura para o clima futuro
- atualizar critérios de drenagem e segurança
- planejar continuidade de serviços críticos
- priorizar territórios mais expostos e vulneráveis

Mapa de Risco de impacto - Ondas de Calor



Ameaças projetadas para 2030 e 2050 em proporção territorial



Fonte: Elaboração própria com base na Avaliação dos Impactos da Mudança Climática (Ramboll, 2020).

Fonte: PDS, 2021

Tendências climáticas para a cidade do Rio de Janeiro, de acordo com o modelo climático regionalizado Eta/HadGEM2-ES, 5,0 km (INPE)

PRESENTE		FUTURO	
Aumento da temperatura anual máxima		Intenso aquecimento no verão	
Aumento da temperatura média		Encurtamento do período frio	
Maior frequência de dias mais quentes		Maior frequência de dias e noites mais quentes	
Menor frequência de dias mais frios		Redução da precipitação*	
Ondas de calor mais duradouras		Redução da frequência de eventos extremos de precipitação*	
Maior frequência de eventos de precipitação intensa		Aumento na duração de períodos secos	

Fonte: Adaptação do documento da Estratégia de Adaptação às Mudanças Climáticas da Cidade do Rio de Janeiro (RIO DE JANEIRO & CENTRO CLIMA/COPPE/UFRJ, 2016). *Reforça-se a incerteza envolvida sobre os resultados.

4. Chuvas intensas, inundações e movimentos de massa

A cidade está suscetível a inundações repentinas devido a fortes chuvas, topografia irregular e urbanização excessiva

O risco cresce quando precipitação extrema encontra urbanização, encostas e drenagem insuficiente



O Plano de Desenvolvimento Sustentável e Ação Climática da cidade estima que, em **2030**, **quase 24% da área de expansão urbana horizontal** estará situada em áreas sujeitas a **deslizamentos**.

O mesmo estudo projeta que **quase 27%** dessa expansão estará em áreas propensas a **inundações**, enquanto **94%** estará exposta a **ondas de calor**.

As regiões com maior expansão e maior população exposta a deslizamentos são **Campo Grande, Guaratiba e Santa Cruz**; no caso das inundações, destacam-se **Barra da Tijuca, Guaratiba e Jacarepaguá**.

Chuva extrema



Escoamento



Inundação



Interrupção

Adaptação: drenagem + retenção + manutenção + alerta + ordenamento territorial.

5. Zona costeira: erosão, ressacas e inundação marinha

Cerca de 60% da costa do ERJ apresenta vulnerabilidade intermediária a alta frente a erosão costeira e inundações (UFF, 2026)

—
Ações de Adaptação: Reflorestamento e restauração de restingas –
soluções baseadas na natureza, como a restauração de ecossistemas e a ampliação de áreas protegidas



Erosão + ressaca + elevação do nível do mar

infraestrutura crítica

praias • vias • drenagem • saneamento • turismo

MONITORAR

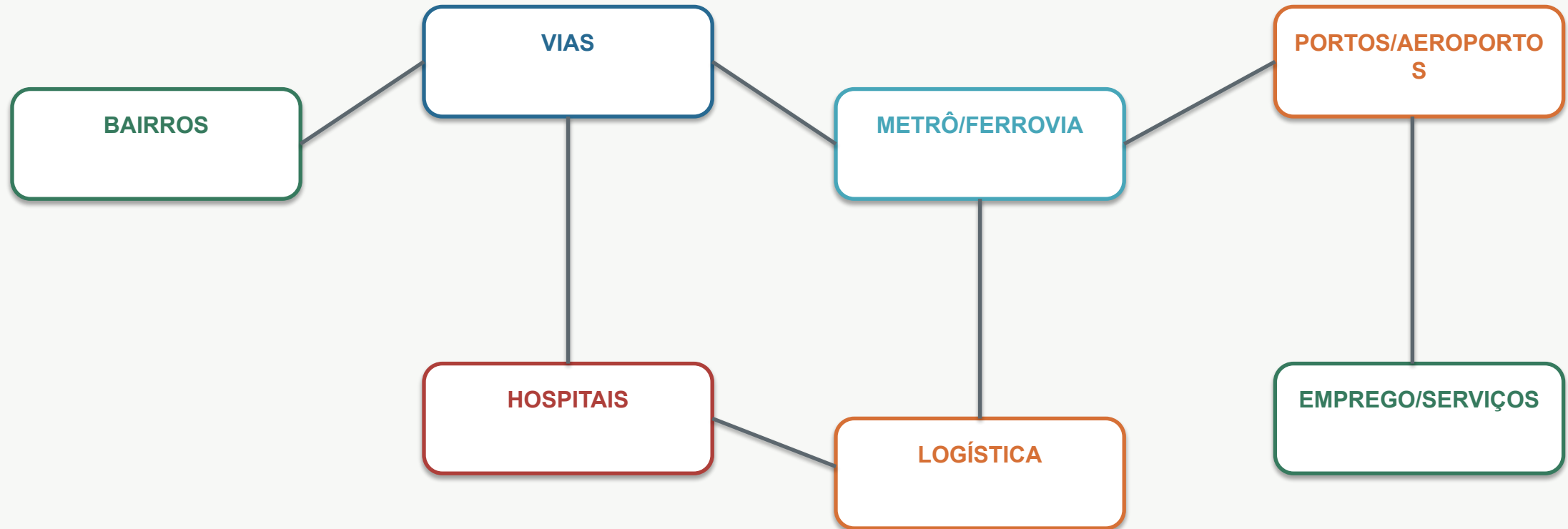
EVITAR EXPOSIÇÃO

ADAPTAR

PROTEGER ECOSISTEMAS

HENUD, Igor Rodrigues et al. Coastal resilience and adaptation strategies: Natural habitats for coastal protection and Atlantic forest restoration on the coast of the Rio de Janeiro state. International Journal of Disaster Risk Reduction, v. 113, p. 104861, 2024.

6. Infraestrutura e transportes: o risco se propaga pela rede



Uma interrupção local pode produzir impactos sistêmicos – Efeitos em cascata.

7. Vulnerabilidade é territorial e social

A mesma ameaça produz impactos diferentes em diferentes territórios

EXPOSIÇÃO

BAIXA



Priorizar onde se combinam:

alta exposição física



baixa capacidade adaptativa



déficit de infraestrutura



serviços essenciais frágeis

ALTA

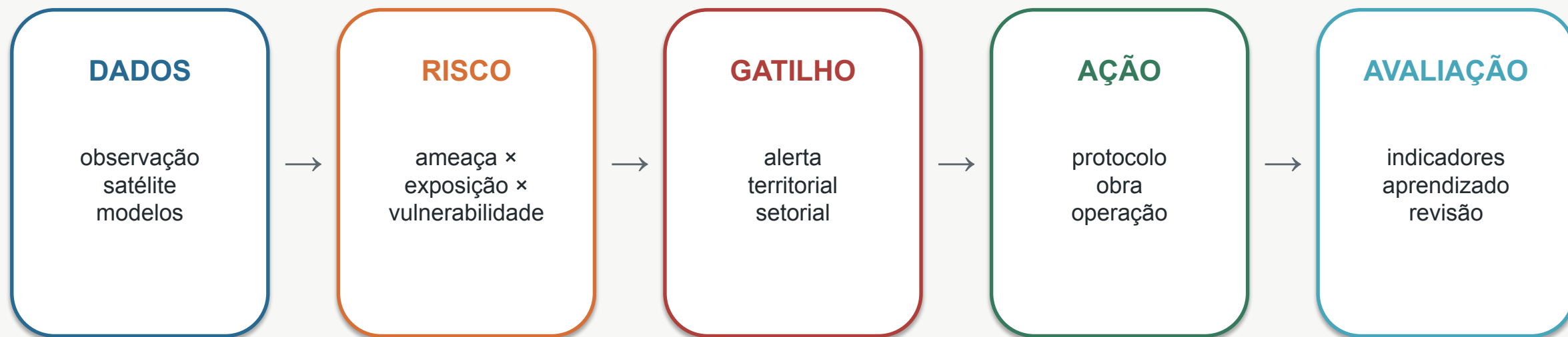
VULNERABILIDADE →



**Justiça climática é também uma
regra de priorização de
investimento.**

8. Da ciência à decisão pública

O salto necessário é transformar dados em gatilhos, prioridades e investimentos



Proposta: Observatório Integrado de Risco Climático do Rio

universidades + Defesa Civil + saúde + transporte + CEMADEN + INPE + concessionárias + sociedade

9. Seis prioridades de adaptação para o Rio

01

Calor e saúde

alerta + sombra + água + proteção laboral

02

Drenagem resiliente

retenção + manutenção + áreas permeáveis

03

Encostas

monitoramento + prevenção + reassentamento seguro

04

Zona costeira

erosão + nível do mar + soluções híbridas

05

Transportes

redundância + continuidade + rotas alternativas

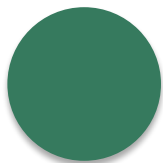
06

Natureza urbana

árvores + parques + biovaletas + restauração

10. Soluções baseadas na natureza como infraestrutura

Complementam a infraestrutura cinza e reduzem exposição, calor e escoamento



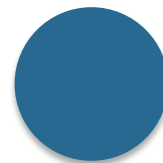
Árvores

sombra • evapotranspiração



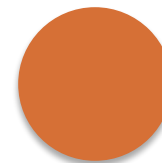
Biovaletas

infiltração • retenção



Parques inundáveis

armazenamento temporário



Ecosistemas costeiros

proteção • biodiversidade

Critério de projeto: desempenho climático + ciclo de vida + manutenção + equidade territorial.

Risco	Ameaça climática	Exposição	Vulnerabilidade	Possíveis impactos
Inundações urbanas	Chuvas intensas e concentradas	População, residências, comércio, vias, metrô e equipamentos públicos em áreas inundáveis	Impermeabilização, drenagem insuficiente, ocupação de áreas baixas e desigualdade socioeconômica	Mortes, perdas materiais, interrupção da mobilidade e de serviços
Deslizamentos	Chuva intensa e/ou persistente	Moradias, população e infraestrutura em encostas	Declividade, instabilidade do solo, ocupação precária e deficiência de drenagem	Soterramentos, mortes, desalojamentos e bloqueio de acessos
Calor extremo	Ondas de calor + ilhas de calor urbanas	Praticamente toda a população; trabalhadores externos; escolas e unidades de saúde	Idosos, doenças crônicas, menor renda, baixa arborização e moradias termicamente inadequadas	Mortalidade e morbidade, perda de produtividade, maior demanda de energia e saúde
Elevação do nível do mar e ressacas	Elevação do nível médio do mar, ondas e tempestades costeiras	Orla, áreas costeiras baixas, vias, redes de drenagem/saneamento e ativos econômicos	Baixa altitude, erosão costeira e limitações da drenagem em maré elevada	Alagamento costeiro, erosão, danos à infraestrutura e interrupções urbanas



A adaptação não é uma tarefa fácil!

- **Piscinão da Praça da Bandeira** inaugurado em 2013 | Rio de Janeiro |

- Capacidade para cerca de **18 milhões de litros** e recebe principalmente a drenagem da própria Praça da Bandeira

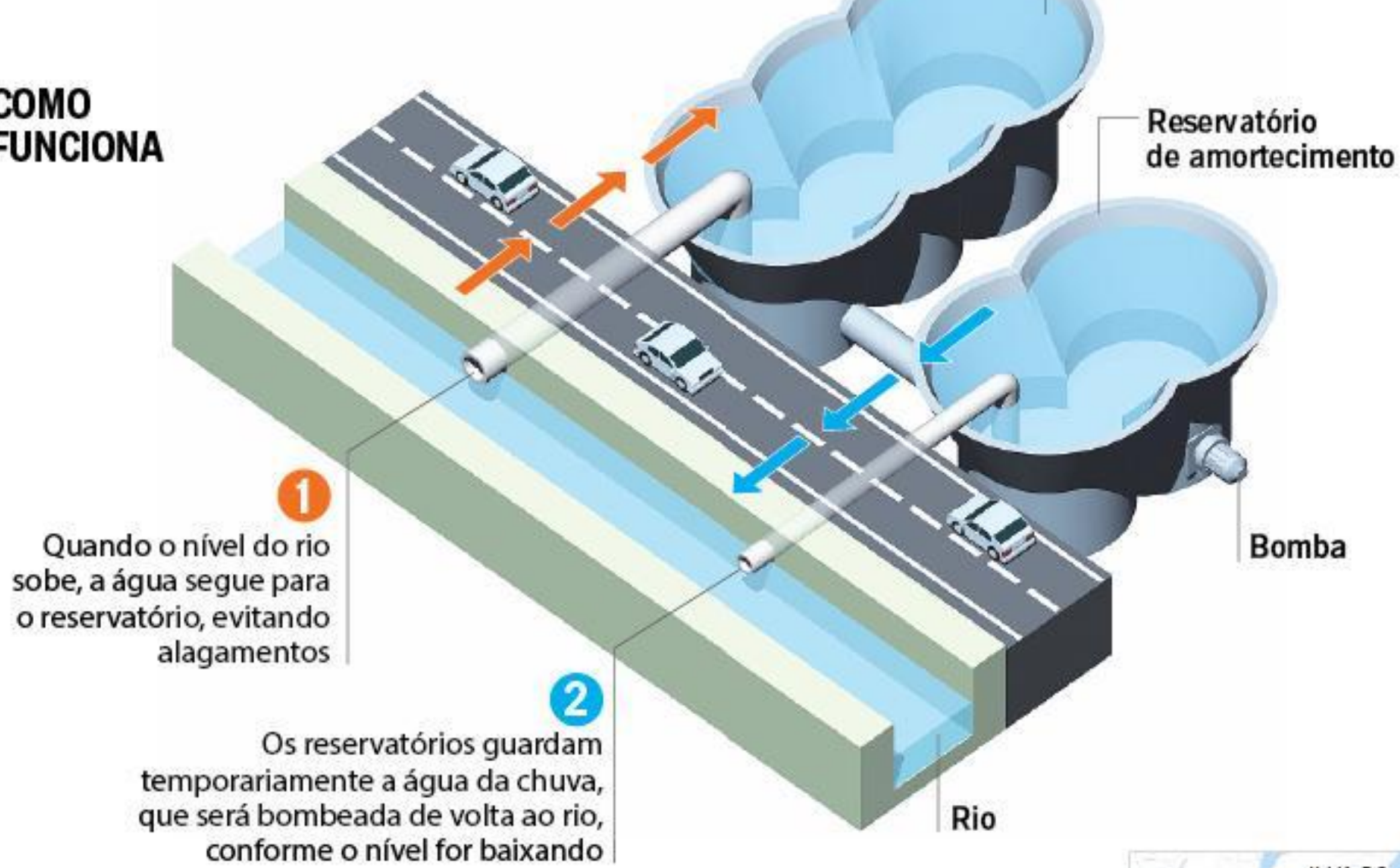
- Contribuiu de maneira significativa para reduzir as enchentes que historicamente atingiam o local (A Rio-Águas).

- Os custos de adaptação serão maiores quando a **incerteza** for maior.

- São necessárias novas estratégias para lidar com essa incerteza.

Local	Situação atual	Capacidade aproximada
Praça da Bandeira	Em operação desde 2013	18 milhões L
Praça Niterói	3 reservatórios em operação desde 2015	58 milhões L no total
Praça Varnhagen	Em operação desde 2016	43 milhões L
Total do sistema	Em operação	≈118–119 milhões L

COMO FUNCIONA



RIO 2050

de cidade exposta a cidade resiliente

ANTECIPAR

ciência + alerta

ADAPTAR

território + infraestrutura

PROTEGER

pessoas + ecossistemas

**“Adaptação não é apenas responder ao desastre.
É decidir hoje onde, como e para quem investir.”**

Referência

Sources para crédito e atualização dos números antes da apresentação

1. Prefeitura do Rio — Painel Rio: Mudanças Climáticas e Resiliência.
2. Prefeitura do Rio — Impacto dos Perigos Climáticos PDS.
3. MCTI / INPE / RNP — AdaptaBrasil: Painel Cidades e indicadores de risco climático (2026).
4. IPCC — Interactive Atlas; AR6 WGII.
5. NASA Earth Observatory — Climate Proofing Rio de Janeiro (Landsat; ilhas de calor).
6. NHESS (2025) — Extreme heat and mortality in the State of Rio de Janeiro.
7. Urban Climate (2025) — Heat-health risk in Metropolitan Rio de Janeiro; limiar de 34 °C.
8. Estudos CMIP6 — projeções de precipitação e extremos para o Estado do Rio de Janeiro.
9. PBMC — Impacto, Vulnerabilidade e Adaptação das Cidades Costeiras Brasileiras às Mudanças Climáticas.