

Anexo II - Riscos Climáticos



Anexo do **Guia Geral de Análise Socioeconômica de Custo-Benefício**
de Projetos de Investimento em Infraestrutura - Guia ACB



Ministério da Economia
Secretaria Especial de Produtividade e Competitividade
Secretaria de Desenvolvimento da Infraestrutura

Avaliação de Metodologias de Levantamento de Risco Climático e Fontes de Dados e Informações Climáticas

Anexo ao Guia ACB

Brasília-DF
Novembro de 2022

Esse Anexo foi realizado pela Kralingen Consultoria Ltda. sob a coordenação da Secretaria de Desenvolvimento da Infraestrutura da Secretaria Especial de Produtividade e Competitividade do Ministério da Economia do Brasil (SDI/Sepc/ME) e a Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável, por meio do projeto Apoio ao Brasil na Implementação da Agenda Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (ProAdapta). O projeto foi pactuado no âmbito da Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável, por meio da parceria entre o Ministério do Meio Ambiente do Brasil (MMA) e a Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ), no âmbito da Iniciativa Internacional para o Clima (IKI, sigla em alemão), do Ministério Federal do Meio Ambiente, Proteção da Natureza, Segurança Nuclear e Proteção ao Consumidor da Alemanha (BMUV, sigla em alemão).

APOIO TÉCNICO - Kralingen Consultoria LTDA

Daniel Thá
Layla Lambiasi

COORDENAÇÃO TÉCNICA E REVISÃO

Ministério da Economia (SDI/Sepc/ME)

Fabiano Mezadre Pompermayer
Rodolfo Gomes Benevenuto
Fabio Hideki Ono
Renato Alves Morato
Raul Menezes dos Santos
Diego Camargo Botassio

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Ana Carolina Câmara – Diretora de projetos
Eduarda Silva Rodrigues de Freitas – Assessora técnica
Pablo Borges de Amorim – Assessor técnico

As equipes agradecem a Laiz de Carvalho Souto e Isabella Ecard Barros pelas contribuições feitas durante a consulta pública.

Sumário

Apresentação	5
Definições	7
Siglas	12
1. Por que considerar riscos climáticos em projetos de investimento de infraestrutura	13
2. Como usar este Anexo	25
3. Etapa 1 - Triagem preliminar do risco climático: O projeto e seu contexto estão potencialmente sob risco climático?	31
4. Etapa 2 - Avaliação e análise do risco climático: como as ameaças climáticas afetam a performance do meu projeto?	47
5. Etapa 3 - Tomada de decisão considerando a componente climática	77
6. Fontes de informações e bases de dados climáticos	89
Referências	97

APRESENTAÇÃO

O último relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima das Nações Unidas conclui que a mudança do clima induzida pelo homem já afeta extremos climáticos em praticamente todas as regiões do mundo. Para o Brasil, as projeções apresentadas no *Climate Change Knowledge Portal* indicam que as temperaturas médias anuais podem subir de 1,7 a 5,3°C até o final do século.

Para reduzir os danos e prejuízos decorrentes desses impactos e tornar nossos ativos de infraestrutura mais resilientes, faz-se necessária uma seleção otimizada dos investimentos alocados para esse setor. A padronização de ferramentas e a disseminação de bases de dados climáticos disponíveis para aprimorar o planejamento da infraestrutura representa, portanto, um importante e necessário avanço institucional do governo brasileiro.

Nesse contexto, o presente Anexo sobre riscos climáticos do Guia Geral de Análise Socioeconômica de Custo-Benefício de Projetos de Investimento de Infraestrutura (Guia ACB) apresenta os conceitos e as ferramentas básicas para incorporação dos riscos associados à mudança do clima na análise socioeconômica dos projetos de infraestrutura. A metodologia de análise socioeconômica apresentada no Guia ACB tem se consolidado como um passo fundamental no planejamento da nossa infraestrutura. A partir de sua aprovação e recomendação no âmbito do Comitê Interministerial de Governança (CIG) e do Comitê Interministerial de Planejamento da Infraestrutura (CIP-Infra), sua utilização tem sido amplamente difundida em setores como transportes, saneamento, segurança hídrica, telecomunicações, energia, entre outros.

Assim, as diretrizes apresentadas neste documento visam detalhar e padronizar o processo de incorporação dos riscos climáticos em um sólido instrumento de análise já estabelecido dentro do ciclo de planejamento dos principais projetos de infraestrutura do país.

DEFINIÇÕES

Adaptação à mudança do clima: nos sistemas humanos, é o processo de ajuste ao clima real ou esperado e seus efeitos, a fim de moderar danos ou explorar oportunidades benéficas; nos sistemas naturais, é o processo de ajuste ao clima real e seus efeitos; a intervenção humana pode facilitar o ajuste ao clima esperado e seus efeitos (IPCC, 2022). Sistemas naturais que não são gerenciados pelo homem apresentam adaptação espontânea, ao passo que sistemas humanos podem adotar estratégias deliberadas (planejadas) ou reagir de forma espontânea a estímulos climáticos (Smit et al., 2000). A adaptação pode se basear em ecossistemas quando faz uso da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos como parte de uma estratégia de adaptação completa (CBD, 2015).

Ameaça climática: ocorrência potencial de um evento ou tendência física natural ou induzida pelo homem que pode causar perda de vidas, ferimentos ou outros impactos à saúde, bem como danos e perdas à propriedade, infraestrutura, meios de subsistência, prestação de serviços, ecossistemas e recursos ambientais (ex. aumento do nível do mar, chuva forte, enchentes e secas) (IPCC, 2022).

Ativo encalhado (stranded assets): ativos podem perder a utilidade como resultado da transição de políticas globais, mudanças tecnológicas ou de comportamentos dos consumidores em resposta à mudança do clima. Sob tal risco, a própria relevância dos serviços prestados pela infraestrutura é colocada em xeque, independentemente dos riscos físicos (van der Ploeg & Rezai, 2020).

Canais de impacto da mudança do clima: no contexto e na concepção (design) de infraestruturas, são os mecanismos que transmitem os impactos climáticos aos setores de infraestrutura, ou seja, as formas com as quais a mudança do clima pode afetar as variáveis de projeto (Dawson et al, 2016).

Cenário climático: resposta simulada do sistema climático a um cenário de emissões futuras ou concentrações de gases de efeito estufa e mudanças no uso da terra. As projeções dependem de um cenário de emissão/concentração/forçante radiativa, que por sua vez é baseado em premissas relativas, por exemplo, a desenvolvimentos socioeconômicos e tecnológicos futuros que podem ou não ser realizados (IPCC, 2022).

Cenário de emissões de gases de efeito estufa: representações plausíveis das trajetórias futuras de substâncias que contribuem para o efeito estufa (gases de efeito estufa, ou GEE), tendo como base um conjunto coerente e consistente de suposições sobre suas forças motrizes (desenvolvimento demográfico e socioeconômico, mudança tecnológica, energia e uso da terra) e suas principais relações. As projeções futuras do clima, derivadas de modelos de clima, consideram os cenários de emissões (IPCC, 2022).

Co-benefícios (co-benefits): efeito positivo que uma política ou medida destinada a um dado objetivo tem sobre um outro objetivo, aumentando assim o benefício total para a sociedade ou o meio ambiente. Os co-benefícios também são chamados de benefícios auxiliares (ancillary benefits) (IPCC, 2022).

Exposição à ameaça climática: presença de pessoas; meios de subsistência; espécies ou ecossistemas; funções, serviços e recursos ambientais; infraestrutura; ou bens econômicos, sociais ou culturais, em lugares e configurações que podem ser afetados negativamente pela mudança do clima. (IPCC, 2022).

Gases de efeito estufa (GEE): substâncias gasosas presentes na atmosfera, tanto naturais quanto antropogênicos, que absorvem e emitem radiação em comprimentos de onda específicos dentro do espectro de radiação emitido pela superfície da Terra, pela própria atmosfera e pelas nuvens. Esta propriedade causa o efeito estufa. Vapor de água (H₂O), dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄) e ozônio (O₃) são os principais gases de efeito estufa na atmosfera da Terra (IPCC, 2022).

Gerenciamento de risco de desastres (disaster risk management - DRM): processos para projetar, implementar e avaliar estratégias, políticas e medidas para melhorar a compreensão do risco de desastres atual e futuro, promover a redução e transferência de risco de desastres e promover a melhoria contínua nas práticas de preparação, prevenção e proteção, resposta e recuperação de desastres, com o explícito objetivo de aumentar a segurança humana, o bem-estar, a qualidade de vida e o desenvolvimento sustentável (IPCC, 2022).

Impacto climático: consequências dos riscos percebidos nos sistemas naturais e humanos, onde os riscos resultam das interações de ameaças relacionadas ao clima (incluindo eventos climáticos extremos), exposição e vulnerabilidade. Os impactos geralmente se referem a efeitos sobre vidas, meios de subsistência, saúde e bem-

estar, ecossistemas e espécies, ativos econômicos, sociais e culturais, serviços (incluindo serviços ecossistêmicos) e infraestrutura. Os impactos podem ser referidos como consequências ou resultados e podem ser adversos ou benéficos (IPCC, 2022).

Lente climática: consiste em um processo, passo ou ferramenta analítica para analisar uma política, plano ou programa, indicando os riscos que a mudança do clima representa para as metas de desenvolvimento em longo prazo (OCDE, 2011).

Má adaptação: ações que podem levar ao aumento do risco de resultados adversos relacionados ao clima, inclusive por meio do aumento das emissões de GEE, aumento da vulnerabilidade à mudança do clima ou diminuição do bem-estar, atualmente ou no futuro. A má adaptação é geralmente uma consequência não intencional (IPCC, 2022). Pode também resultar de desenvolvimento econômico business-as-usual que, ao negligenciar os impactos da mudança do clima, inadvertidamente aumenta a exposição e/ou vulnerabilidade à mudança do clima (OCDE, 2011).

Medidas de adaptação de nenhum ou baixo arrependimento (no-regret / low-regret): medidas ou atividades que trazem benefícios sociais e ecológicos, independentemente do nível de mudança climática (IPCC, 2022).

Mitigação à mudança do clima: ações para limitar a magnitude ou a taxa de mudança do clima de longo prazo, geralmente envolvendo reduções nas emissões humanas (antropogênicas) de gases de efeito estufa (IPCC, 2022).

Modelos de clima: representações numéricas do sistema climático com base em propriedades físicas, químicas e biológicas de seus componentes, suas interações e processos de retroalimentação. A complexidade da representação do sistema climático é variável, contingente do número de dimensões espaciais, da extensão em que os processos são explicitamente representados ou mesmo do nível das parametrizações empíricas envolvidas. Modelos acoplados de circulação atmosfera-oceano fornecem representações do sistema climático no qual o ciclo do carbono é incluído, permitindo o cálculo interativo de CO₂ atmosférico ou emissões compatíveis. Componentes adicionais (ou seja, química atmosférica, mantos de gelo, vegetação dinâmica, ciclo do nitrogênio, mas também modelos urbanos ou de cultivo) podem ser incluídos. (IPCC, 2022)

Normais climatológicas: valores médios de variáveis meteorológicas calculadas para um período relativamente longo e uniforme, incluindo médias de temperatura mínima e máxima, umidade, insolação, vento, precipitação, extremos de temperatura e chuva, entre outros. São utilizadas como referência contra a qual observações recentes ou atuais podem ser comparadas, inclusive fornecendo uma base para muitos conjuntos de dados climáticos baseados em anomalias (por exemplo, temperaturas médias globais). Também são amplamente utilizados, implícita ou explicitamente, para prever as condições mais prováveis de serem experimentadas em um determinado local (WMO, 2018).

Perdas evitadas: os danos e perdas imediatos e de longo prazo que as medidas de adaptação e de redução de risco de desastres podem evitar em caso de manifestação da ameaça climática (PNUD, 2005).

Recursos informacionais: abrangem dados, informações e análises em diversos formatos, tais como: variáveis climáticas e projeções de clima (ex. temperatura, precipitação, umidade, velocidade do vento etc.); análises de variáveis climáticas e projeções de clima (ex. tendências de temperatura e precipitação para uma dada região em um dado período); impactos climáticos secundários (ex. mapas de inundação, rendimento de culturas); ou ainda abordando vulnerabilidades e opções de resposta (ex. mapas de pobreza e portfólios de medidas de adaptação à mudança do clima no campo da ciência climática).

Resiliência: a capacidade de sistemas sociais, econômicos e ecológicos interconectados para lidar com uma ameaça ou distúrbio, respondendo ou reorganizando-se de maneira a manter sua função, identidade e estrutura essenciais. A resiliência é um atributo positivo quando mantém a capacidade de adaptação, aprendizagem e/ou transformação (IPCC, 2022).

Risco climático: potencial de consequências adversas para sistemas humanos ou ecológicos, reconhecendo a diversidade de valores e objetivos associados a tais sistemas. No contexto da mudança do clima, os riscos podem surgir dos impactos potenciais, bem como das respostas humanas. No contexto dos impactos da mudança clima, os riscos resultam de interações dinâmicas entre as ameaças relacionadas ao clima com a exposição e vulnerabilidade do sistema humano ou ecológico afetado aos perigos. No contexto das respostas à mudança do clima, os riscos resultam do potencial de tais respostas não atingirem o(s) objetivo(s) pretendido(s), ou de gerarem possíveis compensações ou efeitos colaterais negativos em outros objetivos sociais (IPCC, 2022).

Risco de fundo: a possibilidade de uma ameaça climática colocar em perigo as perspectivas da atividade econômica em andamento, provocando a restrição do investimento privado de longo prazo e reduzindo o potencial de crescimento econômico, mesmo na ausência da ocorrência de um desastre (Infrastructure Australia, 2018).

Sensibilidade: grau em que um sistema ou espécie é afetado, de forma adversa ou benéfica, pela variabilidade ou mudança do clima. O efeito pode ser direto (ex. uma mudança no rendimento da cultura em resposta a uma mudança na média, intervalo ou variabilidade da temperatura) ou indireto (ex. danos causados por um aumento na frequência de inundações costeiras devido à elevação do nível do mar) (IPCC, 2022).

Soluções baseadas na Natureza (SbN): soluções inspiradas e apoiadas pela natureza, que proporcionam benefícios ambientais, sociais e econômicos e ajudam a construir a resiliência. Também estão ligadas ao conceito de economia verde, que traz o uso sustentável dos recursos naturais e dos processos ecológicos como um dos fundamentos para sistemas econômicos mais estáveis e robustos, gerando impactos positivos inclusive em ecossistemas altamente modificados como as lavouras e pastagens (Comissão Europeia, 2015).

Tempo de retorno ou período de retorno: estimativa do intervalo de tempo médio entre as ocorrências de um evento (ex. inundações ou chuva extrema) de (ou abaixo/acima) uma determinada magnitude ou intensidade (IPCC, 2022).

Variável hidrometeoceanográfica: é a característica de interesse que é medida em fenômenos hidrológicos, atmosféricos e oceanográficos, como temperatura, pressão atmosférica, precipitação, vazão de um corpo d'água ou nível do mar.

Vulnerabilidade: propensão ou predisposição a ser adversamente afetada. A vulnerabilidade engloba uma variedade de conceitos e elementos, incluindo sensibilidade ou suscetibilidade a danos e falta de capacidade para lidar e se adaptar aos efeitos adversos da mudança do clima (IPCC, 2022).

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

ANTAQ - Agência Nacional de Transportes Aquaviários

CCKP - *Climate Change Knowledge Portal*

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

CMIP - *Coupled Model Intercomparison Project*

GEE - Gases de efeito estufa

GIZ - Cooperação Alemã para o Desenvolvimento

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

ISO - *International Standards Organization*

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações

MINFRA - Ministério da Infraestrutura

MVA - Movimento Viva Água

OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

PIEVC - *Engineering Protocol for Infrastructure Vulnerability Assessment and Adaptation to a Changing Climate*

RCP - *Representative Concentration Pathways*

SbN - Soluções baseadas na Natureza

SSP - *Shared Socioeconomic Pathways*

WMO - *World Meteorological Organization*



PORQUE CONSIDERAR RISCOS CLIMÁTICOS EM PROJETOS DE INVESTIMENTO DE INFRAESTRUTURA?



■ A mudança do clima e seus impactos

Atualmente, os efeitos decorrentes das emissões de origem antrópica são inequívocos, com a mudança do clima estando associada ao aumento do risco climático e da severidade de eventos extremos em escala global. Segundo o IPCC (2022)¹, *"as mudanças climáticas induzidas pelo homem, incluindo eventos extremos mais frequentes e intensos, causaram impactos adversos generalizados e perdas e danos relacionados à natureza e às pessoas, além do que teria ocorrido pela variabilidade natural do clima"*.

O planeta está 1,1°C mais quente em relação aos níveis pré-industriais, sendo um aquecimento de 1,5°C previsto para ocorrer já na próxima década, independentemente da trajetória de emissões adotada a partir da cena atual (IPCC, 2022). Mesmo que o nível de emissões de gases de efeito estufa seja reduzido drasticamente, o aumento da temperatura média terrestre deverá seguir seu curso, em intensidades ainda desconhecidas e dependentes das ações antrópicas, uma vez que o tempo de residência do CO₂ na atmosfera é de cerca de 500 anos. Isso não significa, no entanto, que esforços de mitigação não devam ser perseguidos: ao contrário, conclusões do IPCC revelam importante e estreita janela de oportunidade capaz de evitar consequências graves, principalmente em relação às projeções para o clima no final do século². O clima de uma Terra 2,0°C mais quente é exponencialmente mais hostil do que o clima de uma Terra 1,5°C mais quente.

O IPCC (2022) também apresenta prognósticos para o Brasil e suas regiões³: enquanto a maior parte das alterações identificadas como severas se concentram nas regiões Norte e Nordeste, todo o país está sujeito a grandes consequências. Em termos gerais, os aumentos de temperatura são praticamente certos e devem se fazer sentir com bastante intensidade em todo o território nacional. Caso

¹ Tradução livre de trecho do 6º Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), Grupo II. Disponível em [\[link\]](#).

² A mudança do clima demanda respostas da sociedade que podem ser agrupadas em duas distintas categorias: mitigação e adaptação. A mitigação refere-se à redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) para evitar ou reduzir a incidência da mudança do clima; enquanto a adaptação busca reduzir seus efeitos danosos e explorar possíveis oportunidades. A adaptação é necessária independentemente do quanto conseguimos reduzir de emissões de GEE, pois as emissões históricas já alteraram o clima de maneira que a temperatura média global da Terra vem batendo recordes a cada ano. Enquanto ações de mitigação atuam no sentido de reduzir o risco climático pela redução da ameaça, as ações de adaptação têm a possibilidade de influenciar o risco por meio da redução da vulnerabilidade. É recomendável que exista sinergia entre ações de mitigação e adaptação.

³ Capítulo 12 do 6º Relatório de Avaliação, disponível em [\[link\]](#).

as emissões sigam em alta, a precipitação média anual no Nordeste pode ser reduzida em 22% ao longo do século, sendo que chuvas mais concentradas e em períodos menos regulares são previstas de ocorrer em todo o país. Nesse contexto, a população exposta a enchentes e deslizamentos de terra pode dobrar ou até triplicar nas próximas décadas. Projeções de secas mais prolongadas afetam tanto a região Nordeste, quanto a Centro-Oeste, Sudeste e Sul. Da mesma forma, a floresta amazônica deve observar a aceleração do processo de savanização⁴, tendo como consequência, dentre outras coisas, uma redução (de até 40%) das chuvas ali geradas, afetando a circulação da monção sul-americana e modificando a distribuição dos regimes pluviométricos - em especial nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul.

■ O impacto da mudança do clima nas infraestruturas é material

A década passada mostrou que eventos climáticos extremos, bem como mudanças crônicas nos ciclos hidrológicos, podem prejudicar o desenvolvimento econômico do país. É bem reconhecido como investimentos públicos e privados têm se tornado mais expostos aos riscos climáticos.

Elevação do nível do mar, alterações nas médias de temperaturas e precipitação e outros fatores climáticos afetam diversos tipos de infraestruturas e serviços associados. Eventos extremos, como tempestades, inundações e secas severas também têm aumentado de frequência e intensidade nos últimos anos, representando possíveis interrupções e perdas diretas e indiretas associadas à operação desses ativos. Impactos agudos e crônicos advindos do clima já se manifestam em termos financeiros, não só em economias emergentes, mas também em países de renda média como o Brasil (UNDP, 2019). Nesse cenário, projeções quanto ao impacto da mudança do clima sobre a economia brasileira apontam para uma queda de quase 6% no PIB até 2070 (PBMC, 2013).

A crescente exposição de infraestruturas a riscos climáticos, seus retornos de investimento e sua capacidade de suprir as demandas para as quais foram projetadas têm evidenciado a necessidade de abordagens robustas de identificação e gerenciamento de tais riscos no ciclo de análise, tanto no nível do projeto quanto do portfólio.

⁴ *O processo de savanização advém de pressões de degradação e desmatamento, como demonstrado em diversas publicações científicas, e tanto exacerba como é exacerbado pelas mudanças do clima (ciclo de feedback positivo). Ver, por exemplo: Boulton, Lenton & Boers (2022), Painel Científico para a Amazônia (2021) e Silvério et al. (2013).*

Assim, identificar, avaliar e quantificar esse risco climático é uma condição importante e necessária para evitar perdas socioeconômicas futuras.

■ A promoção da resiliência climática como estratégia ganha-ganha

Gerir o risco climático pode significar construir infraestruturas de acordo com padrões diferentes (ex. uma ponte para uma especificação de inundação mais alta), ou considerar diferentes opções para se alcançar os mesmos resultados de serviço (ex. mover um corredor rodoviário para longe de áreas de possível inundação costeira futura, ou mudar o modo de transporte para se tornar mais flexível).

Embora existam incertezas quanto à magnitude das mudanças associadas ao clima, há uma elevada confiança de que os riscos decorrentes de falhas na gestão dessas mudanças continuarão a aumentar nas próximas décadas (Neumann et al., 2021).

Uma vez que a ação climática e o desenvolvimento sustentável são processos interdependentes, o desenvolvimento resiliente ao clima é possível quando essa

interdependência é alavancada a partir da implementação de opções de mitigação e adaptação, os chamados caminhos de desenvolvimento resilientes ao clima (*climate Resilient Development pathways*). Nesse contexto, a infraestrutura está no nexo da adaptação às mudanças climáticas, da mitigação das emissões de gases de efeito estufa, bem como da busca por justiça ambiental. Existem diversas maneiras de incorporar o conceito CRD em projetos de investimento em infraestrutura. Além de serem resilientes à mudança do clima (tema abordado neste anexo), os projetos de infraestrutura podem incorporar medidas de mitigação na fase de definição da infraestrutura optando, por exemplo, por usinas de geração de energia solar ou eólica em vez de termoelétricas. Na fase de desenho do projeto, poder-se-iam incluir, por exemplo, jardins de chuva, pavimentos permeáveis, telhados verdes, conservação e restauração de vegetação nativa. Finalmente, na fase de construção e operação da infraestrutura, poderia-se adotar medidas de eficiência energética e de uso da água (IPCC, 2022). Investimentos de interesse público em infraestrutura resiliente oferecem, portanto, oportunidades “ganha-ganha”, reduzindo emissões, aumentando benefícios sociais e reduzindo desigualdades por meio do acesso a saneamento, energia, comunicação, alimentos e a um meio ambiente mais equilibrado (Neumann et al., 2021). Mais informações sobre o tema de mitigação em projetos de investimento em infraestrutura podem ser encontradas no Guia ACB.

Por outro lado, impactos adversos da mudança do clima se configuram como graves ameaças ao desenvolvimento sustentável, sendo fundamental fortalecer o gerenciamento de risco de desastres *ex ante*, fomentando a construção de resiliência societária. Mesmo assim, investimentos no gerenciamento de risco de desastres permanecem aquém do necessário; possivelmente em decorrência da percepção de que seus benefícios só ocorrem quando há efetivamente um desastre. Crescentes evidências revelam, no entanto, que investimentos em resiliência produzem benefícios significativos e tangíveis mesmo na ausência (ou ocorrência tardia) de um desastre, são as chamadas medidas de não arrependimento (Tanner et al, 2018).

■ Projetos de adaptação à mudança do clima vs. projetos resilientes

Algumas tipologias de projetos de infraestrutura trazem uma relação direta com a resiliência climática, visto que objetivam reduzir a exposição ou a vulnerabilidade de sistemas naturais ou humanos, contribuindo de forma explícita para a resiliência de seus beneficiários, comunidades, ativos, ou sistemas mais amplos em que estão situados (ex., barragem de contenção de cheias). Tendo em vista que estes projetos visam minimizar danos e prejuízos ocasionados pelo clima, denomina-se **projeto de adaptação à mudança do clima**. Promove-se, nesses casos, a resiliência por meio do projeto, ou seja, projetos que visam a adaptação à mudança do clima.

Infraestruturas hídricas para contenção de cheias ou abastecimento de água podem ser consideradas projetos de adaptação à mudança do clima.

No mais das vezes, no entanto, os investimentos de interesse público buscam atender demandas que não estão diretamente relacionadas à redução dos impactos da mudança do clima. Porém, estes projetos devem estar preparados para possíveis alterações nos padrões climáticos a fim de garantir os serviços aos quais foram concebidos (ex., uma rodovia com uma drenagem que considera o regime de chuva futuro). Neste caso, denomina-se **projeto resiliente**. Caso um projeto seja concebido sem a devida consideração dos impactos de desastres trazidos pela mudança do clima, pode estar colocando em risco seu desempenho. Uma vez que a análise de custo-benefício deve informar o tomador de decisão acerca dos ganhos líquidos do projeto, seus riscos devem ser reportados de forma sistemática e transparente para que sejam adequadamente gerenciados. Projetos resilientes acabam por promover a resiliência de forma indireta, ao que se denomina resiliência do projeto.

■ Avaliações socioeconômicas são sensíveis aos efeitos da mudança do clima

Com base no anteriormente exposto, a consideração da mudança do clima na avaliação socioeconômica de projetos de infraestrutura

se torna imperativa, uma vez que uma maior variabilidade climática afeta o ambiente em que os ativos de infraestrutura estão inseridos, gerando impactos na sua performance operacional, ambiental, social e econômica. Nesse novo contexto climático, limites de operação segura e eficiente serão ultrapassados com maior frequência, passando de caráter excepcional e efeitos aceitáveis para frequência não excepcional e com efeitos, por vezes, inaceitáveis. Assim, a ACB socioeconômica é sensível a efeitos climáticos, tanto pela redução da vida útil do ativo, quanto pelo aumento de custos operacionais (Opex) e necessidade de capital adicional (Capex), perda de renda do ativo, aumento de danos ambientais, bem como alteração nas demandas de bens e serviços associados, entre outros (Comissão Europeia, 2013)⁵.

■ Lente climática no planejamento setorial e regional

Os efeitos da decisão de construção de uma ferrovia nacional que permita, por exemplo, a atividade agrícola em uma região sujeita a perdas de produtividade no futuro por conta de novos padrões climáticos, dificilmente serão capturados pela ACB em si, mas deverão ser antecipados pelo planejamento setorial e regional.

Embora a ACB possa capturar a maioria dos efeitos de eventos climáticos sobre determinada infraestrutura, geralmente de caráter físico ou operacional, o clima futuro tem incidência mais ampla e conjuntural. Decisões estratégicas do setor, seu planejamento, ou ainda, grandes infraestruturas com poder de deslocar padrões socioeconômicos (projetos estruturantes), também precisam ser avaliados sob uma perspectiva climática robusta.

A primeira etapa da avaliação do projeto de infraestrutura é sua justificativa no atendimento às demandas sociais identificadas, fase que se alinha à proposta inicial de investimento do Modelo de Cinco Dimensões. A concepção do projeto deve ter coerência política, institucional e regulatória, sendo a adaptação à mudança do clima um dos temas a serem avaliados.

Projetos de infraestrutura resilientes à mudança do clima devem se alinhar ao planejamento federal, estadual, setorial e regional, devendo também ser avaliados como potenciais promotores de adaptação. Ademais, em setores de infraestrutura organizados como redes complexas (transportes e logística, sistema elétrico interligado, sistemas metropolitanos de mobilidade), a observação dos novos padrões climáticos deve ser realizada de forma integrada às modelagens quantitativas tradicionalmente utilizadas, haja vista que cada intervenção individual afeta e é afetada pelos demais elementos da rede.

⁵ A incorporação do risco climático nas avaliações socioeconômicas é abordada por diversas publicações, com destaque para AECOM/Australian Government (2012), IISD (2014), Infrastructure Australia (2018), New Zealand Government (2020), The Asian Development Bank - ADB (2015), World Bank (2021), UK Department for Environment, Food and Rural Affairs (2020) e USAID (2013).

Sobre a natureza da ameaça climática e susas formas de incorporação na avaliação socioeconômica

A natureza da ameaça climática que se espera enfrentar pode, grosso modo, se manifestar de forma crônica, por meio de alterações nas condições climáticas médias, ou aguda, por meio de alterações de eventos extremos. Esta seção detalha ambas as situações e suas implicações para a avaliação socioeconômica de projetos, ilustrando formas de integrar tais riscos climáticos às estimativas de custos, benefícios e externalidades. Nota-se que uma dada infraestrutura pode apresentar vulnerabilidade a um, a outro ou a ambos os tipos de risco climático. Caso se manifestem conjuntamente, deve-se atentar para que suas considerações não promovam dupla contagem.

■ Risco crônico, oriundo das condições climáticas médias

As mudanças nas condições climáticas médias (climatologia) podem desempenhar um papel fundamental no risco de determinadas infraestruturas, especialmente naquelas cujo bem ou serviço é intrinsecamente dependente das condições ambientais, tais como saneamento básico, recursos hídricos e geração de energia hidrelétrica, eólica e solar. Nestes casos, a performance das infraestruturas está vinculada de forma direta ao clima e a devida consideração de modificações crônicas é essencial para que a performance esperada pelo projeto seja de fato entregue. Caso contrário, haverá sobreestimação de benefícios e falsa atestação de viabilidade socioeconômica.

A climatologia também pode afetar setores da infraestrutura de forma indireta, ao promover alterações na demanda pelos serviços. Regiões mais quentes podem requerer mais energia ou mais recursos hídricos (residencial, comercial e industrial). O setor de transportes também pode ser indiretamente afetado pela climatologia: a demanda de cargas agropecuárias e insumos correlatos deve sofrer modificações, seja pela produção de volumes maiores ou menores, mudanças no perfil das cargas ou em sua sazonalidade. Até mesmo os fluxos de passageiros podem se alterar em decorrência de modificações na climatologia.

Dessa forma, a mudança do clima afetará as projeções de demanda e de oferta pelos serviços e, consequentemente, no porte do projeto (custos) e em seus benefícios e externalidades. Diferentes tipos de projetos – e em diferentes localidades – podem ser impactados de formas específicas.

O efeito do clima em um componente do custo pode ser calculado com base na seguinte formulação:

$$\begin{aligned} & Custo_com_risco_climático (categoria, ano, cenário climático) \\ & = Custo_sem_risco_climático (categoria, ano) * (1 + \Delta Custo (\%)) \\ & (categoria, ano, cenário climático) \end{aligned}$$

Já o efeito do clima em um dado benefício ou externalidade pode alterar tanto suas variáveis de performance (m³/s, kWh, ton/ha etc.) como seu custo unitário (R\$/m³, R\$/kW, R\$/ton etc.). Nesse caso, o valor revisto do benefício (ou da externalidade) deve seguir a seguinte formulação:

$$\begin{aligned} & Benefício_com_risco_climático (categoria, ano, cenário climático) = \\ & Benefício_sem_risco_climático (categoria, ano) * (1 + \Delta Quantidade (\%)) (categoria, ano, cenário climático) * (1 + \Delta Preço (\%)) (categoria, ano, cenário climático) \end{aligned}$$

Abaixo, alguns exemplos de como as mudanças nas médias climáticas podem interferir em projetos de infraestrutura:

Capex: pode ser necessário considerar um reinvestimento (Repex) ou retrofit adicional caso um projeto de irrigação exija a substituição da unidade de bombeamento no futuro para compensar a redução ou irregularidade das chuvas, ou se um projeto rodoviário exigir recapeamento com materiais mais resilientes (e caros) em 20 anos.

Opex: maiores níveis médios de chuva podem aumentar o custo de manutenção de estradas; menores precipitações podem aumentar os custos de energia ligados ao bombeamento de água para irrigação; menores níveis médios de umidade podem exigir manutenção mais intensa nas faixas de servidão de linhas de transmissão dado o maior risco de incêndio.

Benefícios e externalidades (efeito direto): o aumento da temperatura pode forçar a redução da velocidade operacional de uma ferrovia; maiores precipitações e umidade do ar aumentam problemas com descargas atmosféricas e prejudicam as condições de propagação de radiofrequências; chuvas reduzidas e temperaturas mais altas podem diminuir os rendimentos agrícolas futuros.

Benefícios e externalidades (sob efeito indireto): as condições climáticas podem afetar os preços unitários da produção do projeto (a exemplo da produção agrícola, que tende a sofrer um aumento nos preços globais devido à mudança do clima) ou os preços nos mercados secundários.

■ Risco agudo, oriundo das condições climáticas extremas

Danos e prejuízos (públicos e privados)⁶ causados por eventos climáticos extremos já figuram entre as principais ameaças diretas a ativos de infraestrutura. Além de alterações crônicas na climatologia, a mudança do clima também altera a frequência, magnitude e intensidade de eventos climáticos extremos (IPCC, 2022).

Para lidar com riscos agudos, muitos projetos de engenharia consideram o tempo de retorno como parâmetro de projeto com o intuito de minimizar os efeitos prejudiciais de fenômenos naturais. Quanto maior o dano e prejuízo da falha da infraestrutura, maior é o tempo de retorno a ser considerado. Um sistema de drenagem pode considerar um tempo de retorno curto (de 2 a 10 anos), pois a falha de um sistema de drenagem acarreta danos e prejuízos leves. Por outro lado, uma barragem ou reservatório de água deve considerar um tempo de retorno longo (de 50 a 1000 anos), pois a falha pode ocasionar elevados danos e prejuízos (ex. inundação de cidades). Algumas normas técnicas de engenharia consideram tempos de retorno em função da vida útil de diversos ativos e seus métodos construtivos⁷.

Para considerar os danos e prejuízos na avaliação de um projeto de infraestrutura, é necessário estabelecer a curva de tempo de retorno de danos (Figura 2.1), que estabelece a relação entre a magnitude dos impactos (expressos em valor monetário a preços sociais) e sua probabilidade de ocorrência (representada por três ou quatro eventos e seus respectivos tempos de retorno). Com base nessa relação, calcula-se o valor anualizado do dano, ou seja, o que se espera materializar em qualquer ano no horizonte de análise do projeto⁸.

⁶ Danos (materiais) se referem às danificações em habitações, infraestrutura e em instalações públicas e privadas, geralmente apresentadas em números (ex. cinqüenta casas afetadas) ou em valores monetários. Prejuízos (imateriais) se referem às perdas reportadas nos setores público e privado. No primeiro, tem-se prejuízos pela interrupção de serviços essenciais (ex.: assistência médica, abastecimento de água, coleta e destinação de resíduos sólidos, geração e distribuição de energia, transportes, segurança pública, educação etc.). No segundo (setor privado), os prejuízos geralmente são estimados pelo tempo de interrupção das atividades econômicas (agropecuária, indústria e serviços).

⁷ Curvas de vulnerabilidade padrão conseguem relacionar, para muitos setores, características físicas de um evento e os custos de reparo (ex. se uma rodovia for inundada por mais de 1 metro de água, o custo do reparo é de cerca de 15% do custo inicial da construção).

⁸ Um dos métodos mais simples previstos por Olsen et. al. (2015) para calcular os danos e prejuízos anualizados é pela somatória da multiplicação das médias dos danos previstos nos anos T e $T-1$ pela diferença na probabilidade de excedência entre estes mesmos anos.

Medidas de prevenção e/ou mitigação são prescritas no intuito de reduzir a curva de probabilidade de excedência de danos, diminuindo, respectivamente, a probabilidade e/ou a severidade da ocorrência de cada evento. As perdas evitadas (na recuperação dos bens danificados e na cobertura dos prejuízos econômicos) representam os benefícios esperados pelas medidas. Já os custos associados às medidas devem retroalimentar os dados de entrada da ACB, podendo impactar Capex, Opex ou mesmo externalidades. A comparação entre os cenários base (sem medidas de mitigação) e alternativos (com medidas de adaptação) permite explicitar se a combinação entre custos e benefícios é positiva, sendo que os custos da adaptação devem ser inferiores à perda potencial de bem-estar identificada, para justificar as ações a serem tomadas.

A consideração do risco climático deve ser realizada com base no risco adicional, pressupondo-se que a análise default do projeto (desconsiderando o clima) já incorpora os danos esperados pela ocorrência de eventos extremos sob as condições atuais⁹. Idealmente, se faz necessário identificar o efeito de cada cenário climático na intensidade, duração, frequência e extensão espacial de cada um dos riscos naturais identificados como relevantes¹⁰. Uma vez que a severidade dos eventos extremos não consegue ser reduzida a um único número (ex. o prejuízo de uma estiagem é decorrente de sua intensidade, duração e extensão espacial), pode-se assumir a premissa de que apenas as probabilidades de ocorrência (tempos de retorno) serão afetadas.

De fato, é esperado que nas próximas décadas o principal impacto da mudança do clima seja na alteração da frequência de eventos extremos (IPCC, 2022). Como exemplo, a excepcional onda de calor que assolou o Reino Unido em julho de 2022 foi tornada 10 vezes mais provável devido às emissões humanas de gases de efeito estufa¹¹. Embora simplista, a premissa de consideração da mudança na frequência como proxy mínima para a modificação na intensidade, duração e extensão espacial atende a uma primeira aproximação para testar a vulnerabilidade do projeto; caso o risco remanescente permaneça elevado, pode-se recomendar representações mais complexas da

⁹ No caso de a análise default não contemplar os riscos naturais, deve-se realizar sua inclusão com base nas condições atuais, de forma que se identifique apenas o risco adicional trazido pela mudança do clima.

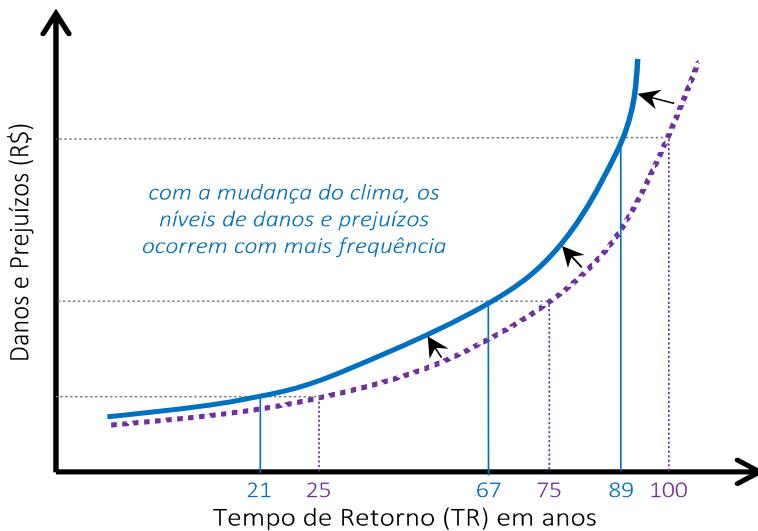
¹⁰ Se o projeto estiver sujeito a vários riscos, o processo de cálculo das curvas de excedência de danos deve ser repetido para cada um, individualmente - a combinação de diferentes ameaças com diferentes períodos de retorno não é trivial, pois depende da correlação espaço-temporal entre eventos.

¹¹ Análise do World Weather Attribution, disponível em [\[link\]](#).

mudança nas demais características de eventos extremos, para além de sua frequência.

Nesse caso, a adicionalidade em danos e prejuízos trazida pelo risco climático pode ser calculada com base na diferença entre as curvas de probabilidade de excedência de danos, tal como ilustrado na Figura 1.1. A mudança do clima desloca a curva, ou seja, os mesmos níveis de perdas passam a ocorrer com maior frequência: a curva em roxo representa a relação entre os danos e os tempos de retorno atuais; a curva em azul mostra que os mesmos danos são associados a tempos de retorno menores (mais frequentes).

Figura 1.1: Ilustração do deslocamento da curva de Tempo de Retorno de danos devido à mudança do clima



Fonte: Elaboração própria.

COMO USAR ESSE ANEXO

2

O presente anexo integra o Guia ACB e deve ser utilizado em conjunto com este. Embora as etapas de avaliação do risco climático em projetos de investimento preconizadas pela literatura possam ser aplicadas de forma autônoma, o objetivo é incorporá-las ao processo de elaboração de uma ACB Socioeconômica, em especial à aplicação do Guia ACB e seus passos.

A Figura 2.1 relaciona as três etapas de avaliação dos riscos climáticos em projetos de investimento de infraestruturas com os quatro grandes blocos da elaboração de uma ACB e respectivos capítulos do Guia ACB. A figura objetiva situar o leitor quanto à natureza paralela que a consideração de riscos climáticos tem na jornada de construção de uma análise de custo-benefício. À direita, as questões estratégicas orientam o que o analista deverá fazer em cada fase da ACB e da aplicação deste anexo, com base nas interações e repercussões da consideração do risco climático na avaliação socioeconômica.

O fluxograma seguinte (Figura 2.2) guia o analista pelas etapas e subetapas, por meio de perguntas orientadoras, pontos de decisão, indicações de referências e registros até a consideração comprehensiva dos riscos climáticos nos diversos componentes da ACB.

As próximas seções trazem mais detalhes de cada etapa e subetapa, baseadas no fluxograma exposto, e são estruturadas em (i) objetivo da etapa (ii) perguntas orientadoras (iii) informações e dados necessários, (iv) descrição e exemplificação da aplicação nas etapas e, (v) pontos de decisão, em que o analista deve se orientar para passar para as etapas subsequentes.

AVALIAÇÃO DO RISCO CLIMÁTICO

GUIA ACB

Avaliação da dimensão estratégica para o investimento

Capítulo 3 Fundamentos para intervenção

Antes do inicio da ACB, questões estratégicas para a intervenção devem ser claramente identificadas: o contexto institucional; objetivos do projeto; a análise estratégica de alternativas e adequada identificação do projeto; definição de objetivos; identificação do projeto; definição do cenário base e cenários alternativos

Fontes de dados que alimentam a ACB

Capítulo 4 Requisitos informacionais

- Estudos de demanda, para subsidiar a identificação e cálculo dos benefícios
- Estudos de engenharia as alternativas técnicas possíveis, estimativas de custos e cronograma de implementação
- Estudos ambientais que fundamentam as estimativas de externalidades

Passos metodológicos para a condução da Avaliação Socioeconômica

Capítulo 5 Estimativas de custos econômicos

- Custos de investimento (Capex)
- Custos operacionais (Opex)

Capítulo 6 Estimativas de benefícios econômicos

Identificação e estimativa dos benefícios diretos

Capítulo 7 Estimativas de externalidades

- Identificação das externalidades
- Estimativa das externalidades

Capítulo 8 Indicadores de viabilidade

- Fluxo de caixa comparativo
- Cálculo dos indicadores de viabilidade

Avaliações e análises complementares

Capítulo 9 Análise de risco

Análise de sensibilidade; Avaliação qualitativa de riscos; Análise probabilística de risco

Capítulo 10 Análise distributiva

Distribuição de custos e benefícios entre as partes afetadas pelo projeto

Capítulo 11 Alternativas de Implementação do projeto e a ACB

Etapa 1 Triagem do risco climático

O projeto e seu contexto estão sob risco climático?

Etapa 1.a: O que esperar da mudança do clima?

Etapa 1.b: Como meu projeto pode ser afetado pelo clima?

Etapa 1.c: a magnitude e/ou a probabilidade da ameaça e das vulnerabilidades do projeto tornam a consideração do risco relevante?

Interações e repercussões

- A área de estudo foi ou pode vir a ser afetada por eventos climáticos (mudanças nas média ou nos extremos)
- O projeto pode promover resiliência e ajudar a reduzir desastres
- Demanda e oferta para o cenário base podem se alterar pela mudança do clima
- Os cenários alternativos podem ser aprimorados

Etapa 2 Avaliação e análise do risco climático

Etapa 2.a: Quais cenários climáticos utilizar para a análise?

Etapa 2.b: Como estimativas de demandas e ofertas do cenário base se alteram ao longo do tempo?

Etapa 2.c: Como estimativas de custos (Capex, Opex etc.) do projeto se alteram ao longo do tempo?

Etapa 2.d: Como estimativas de benefícios do projeto se alteram ao longo do tempo?

Etapa 2.e: Como estimativas de externalidades do projeto se alteram ao longo do tempo?

- O planejamento setorial e estudos de demanda devem considerar as repercussões das alterações climáticas
- Estudos, dados históricos e referências setoriais podem ser consultados
- O projeto pode ser repensado para se tornar resiliente, com reflexo em custos e cronograma de implantação

Etapa 3 Tomada de decisão considerando a componente climática

Etapa 3.a: Configuração da análise de sensibilidade

Etapa 3.b: Condução da análise de sensibilidade

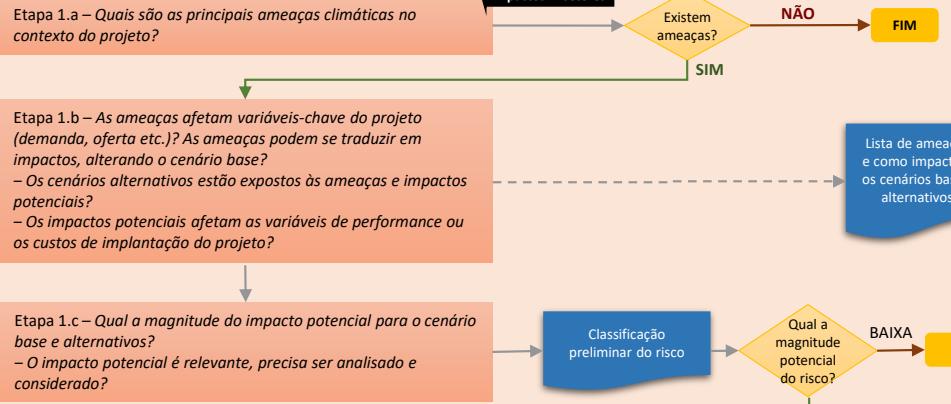
Etapa 3.c: Encaminhamentos da ACB com a consideração climática

- Se o risco climático for incorporado nos custos, benefícios e externalidades, os resultados da ACB refletirão seus custos e as análises resultantes podem seguir as recomendações-padrão do Guia ACB

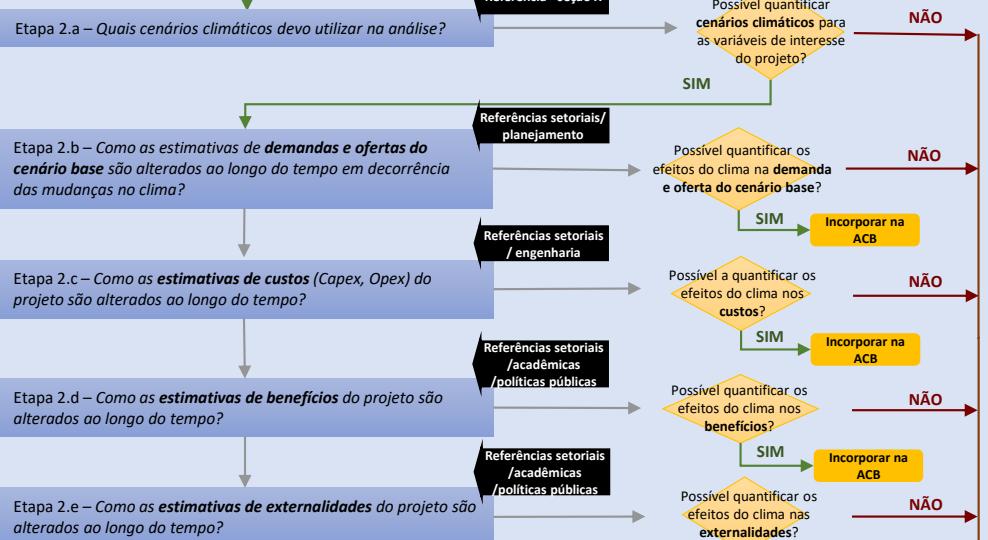
- Se o risco climático não puder ser incorporado, conduz-se a análise de sensibilidade específica (teste de estresse ou análise probabilística) para as variáveis de maior repercussão nos canais de impacto

- A análise distributiva deve considerar que a mudança do clima pode afetar a distribuição de custos e benefícios entre as partes, podendo recair sobre grupos menos favorecidos da população

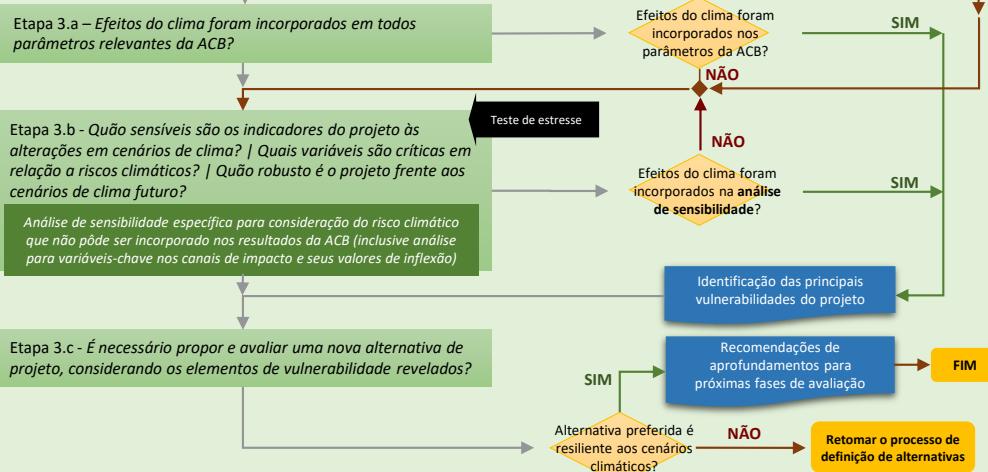
Etapa 1 - Triagem do risco climático: o projeto e seu contexto estão potencialmente sob risco climático?



Etapa 2 - Avaliação e análise do risco climático: como as ameaças climáticas afetam a performance do meu projeto?



Etapa 3 - Tomada de decisão considerando a componente climática



Em síntese, ambas as figuras explicitam que o tratamento do risco climático deve se dar em todas as etapas de desenvolvimento da ACB, pois se trata de um tema transversal. O formato dessa consideração deve ser objeto de avaliação, por parte do proponente do projeto (analista), a partir da classificação preliminar ao final da **Etapa 1**, que revela os riscos climáticos aos quais a infraestrutura está sujeita, ao longo de todo o seu horizonte de análise.

Caso o risco seja alto ou inaceitável, deve-se prosseguir para as demais etapas, sendo que na **Etapa 2**, o analista irá selecionar cenários climáticos e horizontes temporais aplicáveis ao contexto de intervenção e buscar incorporar seus efeitos em todos os componentes relevantes às estimativas da ACB, seja via oferta e demanda, custos (Capex e Opex), benefícios ou externalidades projetados, tanto no cenário do projeto como no contrafactual. Idealmente, os efeitos da mudança do clima serão incorporados de forma quantitativa nas estimativas, garantindo que os indicadores de resultado da ACB integrem um contexto climático realista para o projeto.

A ausência de informações climáticas futuras, e sobretudo de uma tradução clara e quantitativa dos efeitos climáticos em parâmetros do projeto relevantes à valoração (canais de impacto) pode ser um empecilho à plena incorporação dos efeitos do clima na metodologia padrão da ACB. Nesse caso, recorre-se à condução de análise de sensibilidade (teste de estresse ou análise probabilística) a fim de avaliar a relevância e o grau de influência que variações potenciais causadas pelo clima teriam nesses parâmetros, procedimentos que integram a **Etapa 3** deste anexo.

Também na Etapa 3, a partir dos resultados obtidos (seja pela incorporação direta dos efeitos do clima nos cálculos ou por meio da análise de sensibilidade) cabe uma avaliação crítica do analista identificando quais elementos do projeto são os mais vulneráveis (sensíveis e expostos às variações climáticas projetadas) e propor recomendações ou até mesmo novas alternativas de projeto. Cabe ressaltar a adequabilidade da consideração do risco climático na condução da ACB Preliminar: é na fase estratégica que a avaliação dos efeitos do risco e a concepção das alternativas estudadas se torna ideal na promoção de projetos resilientes, pois na fase de concepção de projetos alia-se uma ampla margem de interferência nos resultados futuros e um relativamente baixo esforço de análise.

Essa condução se preza, inclusive, a orientar o operador da ACB quanto ao grau de consideração e esforços necessários para incorporar tais elementos complexos, evitando negligenciar riscos importantes, mas também evitando esforços analíticos desnecessários em cada fase. Por exemplo, a triagem inicial pode concluir que o projeto (e

contrafactual) não está exposto, ou não é vulnerável, a alterações climáticas, poupando o analista de tais considerações. Por outro lado, pode evidenciar a necessidade de uma consideração mais minuciosa que, por sua vez, pode revelar oportunidades de adaptação ou mesmo a necessidade de novas alternativas de projeto.

As orientações prescritas neste Anexo abordam de forma conjunta duas vertentes da avaliação socioeconômica de projetos sob mudança do clima: tanto a do risco climático per se (negativo, prejudicial à performance do projeto e redutor de bem-estar social); como a da promoção da adaptação à mudança do clima (positiva, que visa garantir resiliência aos cenários climáticos, garantir os fluxos previstos de benefícios e agregar potenciais co-benefícios). O tratamento dos diferentes resultados da análise do risco climático e suas alternativas de adaptação são discutidos na Etapa 3.

ETAPA 1

**TRIAGEM PRELIMINAR DO
RISCO CLIMÁTICO: O PRO-
JETO E SEU CONTEXTO ES-
TÃO POTENCIALMENTE
SOB RISCO CLIMÁTICO?**

3

■ Objetivo

Esta etapa corresponde à fase de “pré-triagem e triagem”, presente em vários guias de avaliação e gestão de riscos climáticos de projetos e também preconizada pela OCDE (2011), que visa avaliar a pertinência ou não da consideração de ameaças climáticas no contexto do projeto e da sua ACB. É realizada de forma qualitativa, com base no histórico de impactos relacionados ao clima que a infraestrutura pode sofrer e suas causas, climáticas (ameaças climáticas) e não climáticas (relevo, tipo de solo, uso e ocupação do solo, presença de corpos hídricos), na probabilidade de ocorrência da ameaça e de seu nível de severidade (consequência). Ao final desta etapa, composta por três subetapas, espera-se ter uma classificação preliminar do nível de ameaça climática a qual a infraestrutura está exposta. Caso o risco seja baixo ou moderado, o projeto pode seguir os passos da ACB sem a incorporação da componente climática na avaliação (dispensa-se o uso deste Anexo). Sendo este alto ou inaceitável, deve-se seguir para as etapas seguintes de avaliação e análise deste risco. Os resultados dessa análise devem ser anotados para posterior consideração no relatório da ACB.

■ Perguntas orientadoras

Quais as principais ameaças climáticas no contexto do projeto? (Etapa 1.a.)

Essas ameaças afetam variáveis-chave no contexto de intervenção, tal como a demanda e a oferta de serviços? Ou seja, as ameaças podem se traduzir em impactos? (Etapa 1.b.)

As ameaças identificadas e os potenciais impactos climáticos alteram o cenário base? (Etapa 1.b.)

As ameaças e potenciais impactos identificados alteram os cenários alternativos do projeto? (Etapa 1.b.)

Essas ameaças e seus potenciais impactos afetam variáveis de performance do bem ou serviço oferecido, como seus Capex, Opex, serviços, benefícios? (Etapa 1.b.)

Qual a magnitude do impacto potencial para o cenário base e para os cenários alternativos? (Etapa 1.c.)

O impacto potencial é relevante, precisa ser analisado e considerado? (Etapa 1.c.)

■ Relação com o Guia ACB, interações e repercussões de avaliação

Capítulo 3 - Fundamentos para intervenção

- ◆ A área de estudo pode ter sido ou vir a ser afetada por eventos climáticos (tanto por mudanças na média como nos extremos).
- ◆ O projeto pode promover a resiliência à mudança do clima e reduzir danos e prejuízos nos sistemas naturais e humanos nos quais se insere.

Capítulo 4 - Requisitos informacionais da ACB

- ◆ Tanto a demanda como a oferta projetadas para o cenário base, podem ser alteradas pela mudança do clima.
- ◆ Os cenários alternativos podem ser aprimorados para promover a resiliência do projeto.

Capítulo 9 - Análise de risco

- ◆ Abordagem do risco climático deve ser realizada conforme a orientação do Guia ACB para análise qualitativa de riscos, fazendo uso da matriz de risco.

Etapa 1.a. Identificação das ameaças: quais as principais ameaças climáticas no contexto do projeto?

A etapa mais preliminar da consideração do risco climático numa ACB consiste no levantamento de informações relacionadas ao clima atual e futuro, ou seja, na busca das principais variáveis hidrometeoceanográficas relevantes no contexto de intervenção do projeto. Assim, considera-se o clima incidindo na área de implementação e influência do projeto de investimento (área de estudo) e num horizonte temporal que cubra o horizonte de análise e o ciclo de vida útil de seus principais ativos. Recomenda-se levantar informações que extrapolem os limites geográficos e temporais do projeto a fim de compor uma visão mais ampla das ameaças potenciais.

Um exemplo seria adotar um recorte geográfico em nível de bacia hidrográfica para a consideração do risco hidrológico.

Neste estágio, se está apenas identificando e classificando as ameaças que podem afetar a localização do projeto como um todo, não classificando seu impacto na infraestrutura, nos ativos e sua operação.

A identificação de ameaças potenciais ao contexto de intervenção se inicia pela observação dos acontecimentos históricos e pelos registros de impactos na região, tal como os da Defesa Civil e de serviços meteorológicos (ver Quadro 3.1). Além disso, certas infraestruturas estão sujeitas a normas e padrões de construção que estabelecem limites para condições climáticas¹².

Quadro 3.1: Recursos disponíveis para facilitar a identificação dos impactos e ameaças climáticas na região de interesse

Diversas instituições atuam na sistematização de dados hidrometeoceanográficos e de registros históricos de desastres e impactos climáticos. A Seção 6 deste Anexo traz diversas referências, dentre as quais algumas se destacam para uso na fase de triagem preliminar.

Sobre desastres já ocorridos, o **Atlas digital de desastres no Brasil**¹³ (CEPED/UFSC), que apresenta danos e prejuízos materiais sistematizados a partir da organização dos dados históricos de desastres segregados em diversas tipologias e associados a desastres climatológicos e hidrometeorológicos por município, estado e região do país.

O **Sistema Integrado de Informações sobre Desastres S2iD**¹⁴, do MDR, apresenta as principais informações sobre os Reconhecimentos Federais de Situação de Emergência e Estado de Calamidade Pública, integrando diversos produtos da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil - SEDEC de forma a apoiar o trabalho dos gestores públicos e informar a sociedade em geral.

A plataforma **ThinkHazard!**¹⁵, do Banco Mundial, fornece uma visão geral das ameaças naturais que devem ser consideradas na concepção e implementação de projetos, destacando a probabilidade de serem afetados por diferentes ameaças, tais como inundações fluviais e urbanas, deslizamento de terra, incêndio, escassez de água, calor extremo, inundaçao costeira e ciclone. Fornece, ainda, orientações sobre como reduzir o impacto às ameaças e onde encontrar mais informações, tais como avaliações de risco de países, melhores práticas internacionais e fontes adicionais de consulta.

Centros estaduais de monitoramento hidrometeorológicos, tais como EPAGRI/CIRAM em Santa Catarina, SIMEPAR no Paraná e DAEE em São Paulo, também sistematizam dados de monitoramento e permitem consultas regionalizadas¹⁶.

¹² A NBR nº 5422, por exemplo, estabelece que linhas de transmissão devem ser implementadas de forma a suportar ventos com tempo de retorno de 50 anos.

¹³ Disponível em [\[link\]](#).

¹⁴ Disponível em [\[link\]](#).

¹⁵ Disponível em [\[link\]](#).

¹⁶ Disponível em EPAGRI/CIRAM [\[link\]](#), SIMEPAR [\[link\]](#) e DAEE-SP [\[link\]](#).

Na sequência do olhar retrospectivo, deve-se adotar também o olhar prospectivo, no qual a consulta a cenários de mudança do clima pode relevar consistência com observações e prover um entendimento do sistema atual e futuro que permite inferir tendências e projeções futuras do clima.

Nesta etapa de triagem preliminar, é comum uma análise baseada nas variáveis de temperatura do ar e de precipitação, resultados básicos dos modelos climáticos. No entanto, sobretudo no contexto de infraestruturas, é importante que também sejam considerados outros indicadores derivados desses dados, uma vez que indicam severidade de eventos extremos. Exemplos de índices climáticos relevantes e disponibilizados por modelagens são:

- Precipitação: média anual, sazonal;
- Temperatura: média anual, sazonal, mínima e máxima;
- Eventos extremos de precipitação em relação ao período de referência (RX1day - quantidade máxima de chuva acumulada em um dia; RX5day - quantidade máxima de chuva acumulada em cinco dias);
- Eventos de dias secos consecutivos em relação ao período de referência (CDD - número máximo de dias consecutivos com precipitação < 1 mm);
- Eventos de dias úmidos consecutivos em relação ao período de referência (CWD - número máximo de dias consecutivos com precipitação \geq 1 mm);
- Quantidade de eventos em um dado período (anual, sazonal ou mensal, por exemplo) no qual houve a superação de um determinado nível de temperatura ou precipitação (R10, R20, R50 - índices, respectivamente, correspondentes ao número total de dias no período nos quais a precipitação foi maior do que 10, 20 e 50 mm);
- Aumento de dias quentes (%) em relação ao período de referência (TX90p).

Além da consideração de dados climatológicos, seja por meio de variáveis ou índices climáticos, esta etapa também poderá considerar fontes de informações de impactos observados ou projetados. **Nesse contexto, entende-se por impactos: os resultados da ação de variáveis climatológicas em sistemas naturais e humanos, como inundações, perdas de safra, aumento de doenças, disponibilidade hídrica entre outros.**

A Seção 6 deste Anexo traz uma listagem de fontes de dados, informações e análises de recursos informacionais no campo da ciência climática ou relacionados aos riscos e impactos pertinentes ao levantamento do risco climático no contexto da ACB. A Tabela 3.1 apresenta exemplos de perguntas que podem ser feitas pelo analista ao buscar informações sobre a tendência das ameaças no contexto de intervenção.

Tabela 3.1: Exemplo de perguntas que orientam a busca por informações sobre a tendência das ameaças climáticas

Ameaça climática de interesse	Perguntas iniciais
Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> • Projetam-se mudanças na temperatura média anual da área de interesse? • Projetam-se mudanças na temperatura anual e mensal (ou seja, na sazonalidade)? • Prevê-se que a frequência, intensidade e duração das temperaturas extremas mudem? • Projetam-se mudanças na evapotranspiração potencial?
Precipitação e inundações	<ul style="list-style-type: none"> • Projetam-se mudanças na vazão anual na bacia hidrográfica de interesse? • Projetam-se mudanças nos padrões de precipitação anual e mensal (ou seja, na sazonalidade)? • Prevê-se que a frequência, intensidade e duração da precipitação extrema mudem? • Prevê-se que o escoamento superficial se altere na bacia hidrográfica de interesse? • A vazão base anual está projetada para mudar na bacia hidrográfica de interesse?
Secas	<ul style="list-style-type: none"> • Prevê-se que a frequência, intensidade e duração das secas mudem? • Projetam-se mudanças na vazão mínima anual na bacia hidrográfica de interesse?
Ventos fortes	<ul style="list-style-type: none"> • A área de interesse está exposta a ventos de ciclones tropicais, como furacões ou tufões? • Preveem-se mudanças na frequência, intensidade e duração de ciclones tropicais?
Aumento do nível do mar	<ul style="list-style-type: none"> • Projetam-se mudanças no nível do mar local até o final da vida útil do projeto?

Fonte: Elaboração própria.

Quadro 3.2: Compreendendo as grandes tendências do clima

Para o não-especialista, a compreensão das grandes tendências do clima se torna a primeira aproximação à complexidade do tema. Destaca-se a **4ª Comunicação Nacional** do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (Brasil, 2020), relatório-síntese que apresenta, em português acessível, bons resumos de grandes tendências para biomas, setores e temas prioritários tratados. Permite, a partir de dados oficiais, compreender tendências de impactos e vulnerabilidade em setores-chave para infraestruturas como energia (hídrica, eólica, solar, mix), abastecimento e agricultura (como setor demandante de infraestruturas). O histórico e projeções de variáveis climáticas é bem detalhado e aponta ameaças hidrometeorológicas em todo território nacional.

Etapa 1.b. Identificação do risco: Como meu projeto pode ser afetado pelo clima?

Esta subetapa avalia se, e em que grau, as ameaças climáticas identificadas anteriormente impactam o projeto e seu contexto. Ou seja, se as ameaças afetam componentes da demanda ou da oferta de serviços, o cenário base identificado e alternativas de intervenção, assim como componentes da análise como custos, benefícios e externalidades.

Esse processo envolve, além da identificação das ameaças climáticas presentes e projetadas (subetapa anterior), a caracterização da potencial exposição e vulnerabilidade dos elementos de performance do projeto a tais ameaças. Assim, a identificação do risco climático passa pelo estabelecimento dos canais de impacto entre as variáveis climáticas e os elementos de performance da infraestrutura. A partir daí comprehende-se como essas ameaças podem afetar operações, desempenho, fornecedores e cadeias de suprimentos, mercados ou outros aspectos que influenciam os fluxos socioeconômicos do empreendimento.

Em outras palavras, os impactos físicos da mudança do clima têm um efeito direto na viabilidade de um projeto por meio da sua vulnerabilidade e exposição às ameaças climáticas agudas e crônicas, incluindo aquelas relacionadas a temperatura, estresse hídrico, aumento do nível do mar, seca, precipitação e inundação, ventos extremos e tempestades. **A manifestação do risco pode resultar em danos físicos aos ativos (perda de valor dos ativos), aumento dos custos de operação, interrupções na cadeia de suprimentos, alterações nos preços de recursos/inssumos, interrupções na produção/operação e possíveis alterações na demanda por produtos e serviços. Esses impactos são tangíveis e facilmente quantificáveis em retrospecto, mas difíceis de traduzir em riscos futuros esperados.**

Quadro 3.3: Recursos disponíveis para facilitar a triagem e identificação de riscos climáticos

A plataforma ***Climate and Disaster Risk Screening Tools***¹⁷, do Banco Mundial, apresenta comprehensivas fichas setoriais para a condução da triagem do risco climático e de desastres, tanto para uma primeira aproximação (*rapid screening assessment*), como para uma mais detalhada (*in-depth screening assessment*). Essa última avaliação permite a produção de um relatório de risco, sendo uma opção adequada para aplicação nos casos de avaliação socioeconômica de projetos. Os setores detalhados são o de agricultura, energia, saúde, transporte e água.

Diversos outros recursos online podem facilitar a realização não apenas da triagem do risco, mas também de sua quantificação. A Seção 6 deste Anexo apresenta uma listagem de 35 fontes de dados e informações climáticas, sendo que 25 fornecem dados hidrometeoceanográficos (históricos e projetados), enquanto 10 disponibilizam conteúdo abordando vulnerabilidades, riscos e impactos. Dentre essas, duas se destacam pela combinação entre abrangência, facilidade de uso, atualização, resolução espacial e disponibilidade de dados primários: o *Climate Change Knowledge Portal* e o *IPCC WGI Interactive Atlas*.

O ***Climate Change Knowledge Portal*** (CCKP)¹⁸, do Banco Mundial, é uma plataforma que oferece produtos de análise de variáveis climáticas, com uma vasta gama de informações apresentadas e consultadas em formato acessível e de fácil navegação e utilização. Destacam-se as análises de climatologia e de tendências climáticas para países ou regiões, bem como as análises de extremos climáticos, vulnerabilidade, incidência de desastres naturais e aumento do nível do mar. A plataforma permite acessar diferentes formatos gráficos para análise de índices e indicadores climáticos, bem como exportar em formato gráfico ou de planilha. Os dados observados, as projeções climáticas, bem como as análises de eventos extremos (ex. período de retorno de 50 anos projetado no cenário de emissões SSP3-7.0 para o maior evento de precipitação de 1 dia entre 2035-2064), podem ser extraídos por coordenada geográfica.

nacional.

O ***IPCC WGI Interactive Atlas***¹⁹, do *Working Group I* do IPCC, é uma plataforma que oferece projeções e dados históricos em uma mesma base, além de produtos de análises regionais por meio do denominado condutor de impacto climático (climatic impact-drivers), que se assemelham aos canais de impacto ora abordados. Tem como base os

¹⁷ Disponível em [\[link\]](#).

¹⁸ Disponível em [\[link\]](#).

¹⁹ Disponível em [\[link\]](#).

dados utilizados pelo IPCC no âmbito do Sexto Relatório de Avaliação (IPCC, 2022), e fornece informações para observações (para o passado recente) e simulações de modelos (para períodos paleoclimáticos²⁰, passado recente e futuro). Permite, de forma bastante intuitiva e em sínteses regionais, identificar o “sinal” da mudança do clima. O Atlas apresenta duas interfaces: uma simples, destinada ao público em geral, e outra avançada, com foco em pesquisadores e profissionais, na qual se torna ferramenta compreensiva e permite uma grande variedade e profundidade de análises.

A Tabela 3.2 relaciona, para diferentes perfis de infraestrutura, os efeitos da mudança do clima e os impactos potencialmente sofridos. Ilustra, assim, os canais pelos quais os impactos do clima se materializam em cada tipo de infraestrutura.

Tabela 3.1: Exemplo de perguntas que orientam a busca por informações sobre a tendência das ameaças climáticas

Infraestrutura	Efeitos da mudança do clima	Impactos sofridos
Hidrelétricas	Alteração na estacionariedade das vazões afluentes dos reservatórios	Menor confiabilidade do sistema Necessidade de maior capacidade instalada e/ou maior reservação Geração abaixo do previsto
Sistemas de transmissão e distribuição (energia elétrica)	Temperaturas mais altas e ondas de calor Alteração nos padrões de precipitação: maior frequência e intensidade Inundações Ventos fortes, tempestades e raios	Capacidade reduzida da rede elétrica Inundações de subestações Danos nas linhas de alta transmissão Desgaste dos materiais e redução de vida útil Maior manutenção do sistema
Rodovias	Aumento/intensificação de precipitação e extremos de temperatura Ondas de calor mais intensas e frequentes	Inundações nas estradas Aumento de áreas de pontes Instabilidade de taludes Danos à superfície das estradas e redução de vida útil
Ferrovias	Aumento/intensificação de precipitação e extremos de temperatura Ondas de calor mais intensas e frequentes	Inundações das linhas Aumento de áreas de pontes Instabilidade de taludes Deformação dos trilhos e maior manutenção

Fonte: Elaboração própria.

²⁰ Clima da Terra em um ponto especificado no tempo geológico.

A Tabela 3.3, adaptada e expandida a partir de Dawson et al. (2016), apresenta as principais ligações entre os impactos climáticos e os setores de infraestrutura. Um 'X' denota que o link foi identificado nos relatórios técnicos de especialistas em cada uma

Tendo o setor de Tecnologia da Informação e Comunicação como exemplo, vê-se que a estabilidade do solo - afetada pela precipitação - pode repercutir diretamente e negativamente tanto nas redes de comunicação aéreas quanto nas subterrâneas. O efeito da intrusão salina, no entanto, é indireto, pois afeta a manutenção de equipamentos e torres por causa da corrosão. Já o efeito das secas e baixas precipitações pode, por um lado, vir a ser benéfico ao reduzir os problemas com descargas atmosféricas e melhorar as condições de propagação de radiofrequências. No sentido oposto, no entanto, os centros de dados (data centers) são negativamente afetados, pois a água é insumo direto para resfriar equipamentos.

das infraestruturas, sendo que quanto maior o número de relacionamentos, maior o potencial de que a mudança do clima impacte as infraestruturas. Enquanto a maior parte das relações são bastante evidentes, outras são mais sutis e ainda um terceiro grupo pode apresentar relações ambíguas

Tabela 3.3: Principais relações entre as ameaças climáticas e os setores de infraestrutura (continua)

		Precipitação	Estabilidade de solo (erosão, assoreamento, deslizamento)	Processos biológicos e/ou degradação	Secas e baixa precipitação	Danos ou perturbações por enxurradas	Danos ou perturbações por alagamentos	Alterações na capacidade ou eficiência	Frio severo, neve ou gelo	Alterações na capacidade ou eficiência da estrutura	Subsidiência e/ou dessecção*	Demandas de serviço
Transporte Ferroviário	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Transporte Rodoviário	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Transporte Aquaviário	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Transporte Marítimo e Portos	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Abastecimento de Água	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Serviços de Saneamento / Esgotamento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Gerenciamento Costeiro e Controle de Erosão	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Tecnologia da Informação e Comunicação	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Resíduos Sólidos	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Energia - Óleo & Gás, Carvão e Nuclear	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Energia - Renováveis	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Energia - Sistemas, Transmissão e Distribuição	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Energia - Demanda	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

* Subsidiência: Afundamento do solo por esgotamento da água subterrânea. Dessecção: Remoção de umidade do solo.

Tabela 3.3: Principais relações entre as ameaças climáticas e os setores de infraestrutura (conclusão)

Setores de Infraestrutura	Aumento do nível do mar			Outras ameaças		
	Inundação costeira	Erosão costeira	Rebatida salina	Umidade	Radiação solar	Névoa ou neblina
Transporte Ferroviário	x	x	x	x	x	x
Transporte Rodoviário	x	x	x	x	x	x
Transporte Aquaviário	x	x	x	x	x	x
Transporte Marítimo e Portos	x	x	x	x	x	x
Abastecimento de Água	x	x	x			
Serviços de Saneamento / Esgotamento	x	x	x			
Gerenciamento Costeiro e Controle de Erosão	x	x	x		x	x
Tecnologia da Informação e Comunicação	x	x	x	x	x	x
Resíduos Sólidos	x	x	x		x	x
Energia - Óleo & Gás, Carvão e Nuclear	x		x		x	x
Energia - Renováveis	x				x	x
Energia - Sistemas, Transmissão e Distribuição	x			x	x	x
Energia - Demanda	x				x	x

Fonte: Adaptado e expandido a partir de Dawson et al., 2016.

Se por um lado alguns guias processuais, principalmente aqueles mais focados em setores específicos, podem dar luz à identificação das ameaças ao projeto por meio do fornecimento prévio de listas de verificação (*checklists*), ou mesmo cadernos setoriais específicos, é comum que esta avaliação seja baseada em informações externas ao processo da ACB em si, inclusive com auxílio de especialistas do setor.

Alguns setores da infraestrutura possuem estudos e levantamentos aprofundados sobre os impactos e riscos da mudança do clima, como é o caso da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ e GIZ, 2021) e dos setores rodoviário e ferroviário (projeto AdaptaVias)²¹. Existem, ainda, guias específicos para a identificação e avaliação de impactos e riscos setoriais, a exemplo do publicado pela agência ambiental alemã (GER, 2017).

Nesta fase, ferramentas e fontes informacionais mais genéricas e abrangentes já podem guiar o analista a uma boa identificação e avaliação de sua pertinência. Estas fontes incluem relatórios governamentais de impactos, vulnerabilidades e adaptação à mudança do clima em temas e setores, e sua distribuição no espaço, mesmo que em escalas menores. Destaca-se, nesse âmbito, o 6º Relatório de Avaliação do IPCC focado em impactos, adaptação e vulnerabilidade (IPCC, 2022) que fornece, dentre outros, uma avaliação pormenorizada dos impactos, riscos e adaptação nas cidades e suas infraestruturas críticas, incluindo sistemas de energia e transporte.

Quadro 3.4: Índices e indicadores de risco de impactos da mudança do clima no Brasil

A plataforma AdaptaBrasil, do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI)²², tem como objetivo consolidar, integrar e disseminar informações que possibilitem o avanço das análises dos impactos da mudança do clima, observados e projetados no território nacional, dando subsídios às autoridades competentes pelas ações de adaptação. A plataforma traz informações integradas e atualizadas sobre o clima e os riscos de impactos no Brasil para os setores estratégicos de infraestrutura portuária, recursos hídricos, segurança alimentar, segurança energética e saúde. Novos setores de infraestrutura deverão em breve ser incluídos, permitindo acessar, em nível municipal, diversos índices e indicadores de risco de impactos da mudança do clima.

²¹ Disponível em [\[link\]](#).

²² Disponível em [\[link\]](#).

Etapa 1.c. Avaliação preliminar do risco climático: A severidade e/ou a probabilidade da ameaça tornam a consideração do risco relevante?

Ao final desta Etapa 1, espera-se que o analista consiga ter uma avaliação preliminar e qualitativa - minimamente embasada e justificada - do potencial risco climático que o projeto e seu contexto estão sujeitos. **Isso inclui uma caracterização, mesmo que preliminar, simplificada e realizada através de julgamento de especialistas, da magnitude dos efeitos da alteração climática no projeto e seu contexto, assim como uma aproximação da probabilidade de ocorrência associada.** Deve contemplar as tendências climáticas passadas e projetadas de temperatura, precipitação e outras variáveis e índices climáticos de interesse, bem como a ocorrência, frequência e gravidade das principais ameaças.

A avaliação preliminar de risco climático deve seguir a metodologia recomendada pelo Guia ACB (Capítulo 9 - Análise de risco, seção sobre a análise qualitativa de riscos), pela qual se utiliza da matriz de risco. Essa matriz identifica o nível de risco a partir do cruzamento entre a probabilidade de ocorrência do evento adverso e o nível de severidade de impacto, ou seja, considerando a exposição e possíveis impactos ao projeto relacionados às mudanças climáticas. O nível de risco ponderado, que corresponde à combinação da probabilidade e da severidade ($P \times S$), é definido por quatro níveis: baixo, moderado, alto e inaceitável, conforme segue.

Tabela 3.4: Matriz de riscos

		Probabilidade				
		Im-provável	Pouco provável	Prob. média	Provável	Muito provável
Severidade	Catastro-fico	Moderado	Alto	Inaceitável	Inaceitável	Inaceitável
	Crítico	Baixo	Moderado	Alto	Inaceitável	Inaceitável
	Moderado	Baixo	Moderado	Moderado	Alto	Inaceitável
	Pequena	Baixo	Baixo	Moderado	Moderado	Alto
	Quase nula	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Moderado

Fonte: Elaboração própria.

Caso o risco seja baixo ou moderado, o projeto deve-se prosseguir com a ACB sem a necessidade de incorporação da componente climática na avaliação (dispensa-se o uso deste Anexo). Sendo alto ou inaceitável, deve-se seguir para as etapas de avaliação e análise deste risco.

A depender das escolhas do analista, das informações consolidadas e do setor em análise, espera-se que a matriz de risco inclua uma estimativa qualitativa e justificativa para determinar o julgamento da probabilidade e da severidade de cada ameaça, incluindo fontes de dados e cenários climáticos, além do racional usado em sua determinação.

PONTO DE DECISÃO

Ao final desta etapa de triagem (Etapa 1), caso o projeto e/ou seu contexto sejam classificados de baixo ou moderado risco climático, sua consideração explícita na ACB pode ser ignorada. **Caso apresente risco alto ou inaceitável, passa-se às etapas seguintes deste anexo**, em que se busca avaliar e analisar mais em detalhe como as ameaças identificadas afetarão os parâmetros de performance da ACB.

ETAPA 2

**AVALIAÇÃO E ANÁLISE DO
RISCO CLIMÁTICO: COMO
AS AMEAÇAS CLIMÁTICAS
AFETAM A PERFORMANCE
DO MEU PROJETO?**



■ Objetivo

Esta etapa, composta por 5 subetapas, corresponde à fase de “avaliação e análise de risco” preconizada pela OCDE (2011), entre outros. A análise do risco climático deve se dar, seguindo a recomendação do Guia ACB (Capítulo 9), preferencialmente por meio da **incorporação dos efeitos da mudança do clima na estrutura da ACB padrão e nos seus indicadores socioeconômicos**. Durante a análise de risco incluída na ACB, as modificações impostas pelo clima se refletem em todas as etapas da avaliação socioeconômica, ou seja, no levantamento de oferta e demanda, custos, benefícios e externalidades, o que implica na obtenção de indicadores de viabilidade socioeconômica que já refletem os cenários climáticos subjacentes.

Muito embora a incorporação do risco climático na ACB padrão seja o tratamento preferencial tanto para a fase de análise indicativa (ACB Preliminar) quanto para a detalhada (ACB Completa), é nessa última que poderá vir a ser imprescindível, caso o nível de risco identificado seja significativo (subetapas 2.a e 2.c). Nesses casos, a análise deverá contar com especialistas para processar e analisar dados climáticos, principalmente se o projeto identificar a necessidade de considerar múltiplos cenários e modelos de projeção de clima.

Caso não seja possível realizar a incorporação do risco climático na estrutura da ACB padrão, seja por incertezas oriundas da quantificação dos cenários climáticos ou da quantificação dos custos, benefícios e externalidades, deve-se **realizar análises de sensibilidade específicas** (i.e. teste de estresse ou análise probabilística), contornando assim a não-incorporação do risco nos resultados da ACB padrão. Embora esse não seja o tratamento preferencial, é amplamente aceito na fase de análise indicativa (ACB Preliminar), na qual é grande a influência no *design*, permitindo a avaliação de alternativas estratégicas e encaminhamentos práticos para as próximas fases de análise com (relativo) baixo esforço analítico.

De toda forma, **uma vez que o risco climático foi preliminarmente identificado como sendo alto ou inaceitável (Etapa 1), sua consideração se faz imprescindível**: seja na fase indicativa (ACB Preliminar) ou detalhada (ACB Completa), seja por meio da incorporação na ACB padrão ou pela realização de análise de sensibilidade.

■ Perguntas orientadoras

Quais cenários climáticos devo utilizar para conduzir a análise? (Etapa 2.a.)

Como os parâmetros relevantes de estimativas de oferta e demanda do cenário base são alterados ao longo do tempo em decorrência do clima? (Etapa 2.b.)

Como os parâmetros relevantes de estimativas de custos (Capex, Opex etc.) do projeto são alterados ao longo do tempo? (Etapa 2.c.)

Como os parâmetros relevantes de estimativas de benefícios do projeto são alterados ao longo do tempo? (Etapa 2.d.)

Como os parâmetros relevantes de estimativas de externalidades do projeto são alterados ao longo do tempo? (Etapa 2.e.)

■ Relação com Guia ACB, interações e repercussões da avaliação

Capítulo 4 - Requisitos Informacionais da ACB

- ◆ Idealmente, o planejamento setorial e seus estudos de demanda devem considerar, de partida, as repercussões das alterações climáticas nas projeções de demanda. Caso contrário, serão necessários ajustes nas premissas de demanda para contemplar as variações decorrentes da mudança do clima.
- ◆ Estudos, dados históricos e referências setoriais podem ser consultados.

Capítulo 5 - Estimativas de custos econômicos

- ◆ A concepção (design) do projeto pode ser repensado para se tornar resiliente, com reflexo no cronograma de implementação.
- ◆ Um projeto resiliente pode requerer custos econômicos maiores (Capex e Opex), que podem ser mais do que compensados pelas perdas evitadas.

Capítulo 6 - Estimativas de benefícios econômicos

- ◆ Pode ser necessário reavaliar, para mais ou para menos, os benefícios do projeto.

- ◆ Devido à resiliência do projeto, tem-se a não-interrupção na geração de benefícios econômicos, a não-ocorrência de desastres ou mesmo a redução de seus danos.

Capítulo 7 - Estimativas de externalidades

- ◆ Toda a ambiência na qual o projeto se insere pode ser modificada pelo clima, afetando também as externalidades (positivas ou negativas) do projeto.
- ◆ A promoção da resiliência climática pode agregar co-benefícios.

Etapa 2.a. Quantificação da ameaça do clima: Quais cenários climáticos devo utilizar para conduzir a análise?

Informações e dados: são necessários dados, informações e análises de recursos informacionais no campo da ciência climática ou relacionados aos riscos e impactos (ver listagem de fontes de dados e informações climáticas pertinentes ao levantamento do risco climático no contexto da ACB, Seção 6 deste Anexo). Recomenda-se que a equipe de análise do projeto conte com especialista em clima.

Nesta etapa, o analista definirá os cenários de mudança do clima que serão usados nos cálculos nas etapas seguintes. Diferentemente da Etapa 1, nesta o analista irá coletar dados e informações climáticas mais detalhadas para apoiar na elaboração dos cenários de mudança do clima. **Uma vez que a análise de custo-benefício é um método quantitativo, é necessário que a aplicação dos cenários climáticos definidos como relevantes para o projeto também se traduza de forma quantitativa nas variáveis da ACB** (ex. Capex, Opex, benefícios, externalidades etc.), refletindo os riscos crônicos e/ou agudos aos quais o projeto estará submetido (conforme Seção 1 do Cap. 1 - Sobre a natureza da ameaça climática e suas formas de incorporação na avaliação socioeconômica).

Enquanto a literatura sobre impactos e vulnerabilidades pode apontar potenciais riscos ao projeto, sua tradução quantitativa exige esforços de processamento de dados específicos - exercício que dependerá, muitas vezes, de dados hidrometeoceanográficos ainda não traduzidos em impactos. Métodos, modelos e fontes de informações climáticas nem sempre irão responder de forma precisa como os indicadores

A construção sistemática de bases de dados de ocorrência histórica de desastres naturais, incluindo a documentação e análise dos danos e prejuízos econômicos por setor e localização, auxilia a estimar a intensidade e frequência dos riscos, gerando extrapolações razoáveis para situações futuras.

da ACB serão impactados pelo clima, tornando o estabelecimento de cenários climáticos um exercício não trivial.

A escolha dos cenários de mudança do clima depende das variáveis e índices climáticos de interesse, do período de referência, da vida útil do projeto, da abrangência espacial da infraestrutura e dos cenários de emissões de gases de efeito estufa (GEE).

A Tabela 4.1 traz um exemplo de informações necessárias para elaborar e escolher cenários de mudança do clima, a exemplo da implementação de uma infraestrutura de transportes rodoviários que deve considerar o efeito da chuva na drenagem da pista. Cada um dos critérios é na sequência pormenorizado.

Tabela 4.1: Exemplo de informações necessárias para elaborar cenários de mudança do clima

Critérios	Ex. Drenagem de rodovia
Variáveis climáticas	Chuva
Índices climáticos	Total anual e TR de 10 anos
Período base	1995-2014
Abrangência espacial	Local
Cenários de emissões de GEE	SSP1-1.9 e SSP3-7.0
Horizonte temporal	2035-2064 (centrado em 2050)
Modelos de clima	Multi-modelos do CMIP6 (Global)

Fonte: Elaboração própria.

■ Variáveis climáticas

O primeiro passo é listar as variáveis climáticas que afetam significativamente a infraestrutura, como definido na Etapa 1. Exemplos: chuva, temperatura máxima, temperatura mínima, velocidade do vento, vazão e altura máxima da maré.

■ Índices climáticos

A escolha dos índices climáticos é contingente ao intuito da análise, cujo foco pode ser na estimativa de falhas da infraestrutura e/ou na diminuição na capacidade de fornecimento do serviço. **Para falhas na infraestrutura (ex. queda de uma torre de transmissão elétrica), é importante verificar ameaças agudas (extremos). Enquanto a diminuição na capacidade de fornecimento de serviço (ex. produção de energia elétrica hidráulica) está mais associada a ameaças crônicas (médias).**

Falhas nas infraestruturas são causadas predominantemente pela ocorrência de eventos climáticos extremos e, por isso, muitas infraestruturas são projetadas com base no Tempo de Recorrência (TR), ou Tempo de Retorno (probabilidade de ocorrência), de parâmetros climáticos. Dessa forma, o índice climático recomendado é o TR para as variáveis climáticas que afetam significativamente a infraestrutura. Recomenda-se que o analista verifique a existência de normas técnicas, diretrizes ou manuais que estabelecem o limiar do TR e as variáveis climáticas para o desenho da infraestrutura. Na ausência de norma técnica, diretriz ou manual específico, pode-se adotar a vida útil do projeto como referência mínima para o limiar do TR. Por exemplo, caso um projeto tenha uma vida útil de 50 anos, pode-se adotar um TR mínimo de 50 anos.

É importante ressaltar que as projeções climáticas derivadas de modelos de clima não contemplam dados de vazão. Caso não seja possível estimar a vazão por meio do Método Racional (DNIT, 2006), modelagem hidrológica ou outro método, recomenda-se usar dados de chuva para calcular o TR, pois a vazão está diretamente relacionada com a chuva (WMO, 2009). O Quadro 4.2 apresenta fontes de dados e informações climáticas sobre TR. A Tabela 4.2. descreve alguns exemplos de índices climáticos usados para projetar infraestruturas.

A escolha dos índices vai depender do contexto do serviço que a infraestrutura fornece e deve se dar com base na opinião de especialistas, pois também varia em função do comportamento da variável de interesse²³.

Para a diminuição na capacidade de fornecimento de serviço (ex. abastecimento de água, produção hidrelétrica), uma ameaça climática pode se manifestar por meio das alterações nas condições climáticas médias (ameaça crônica). Existem diversos índices climáticos que podem ser usados para representar tal ameaça, como a temperatura média anual e a chuva total anual. Outros índices ajudam a compreender aspectos relacionados à sazonalidade (ex.: um reservatório de água, projetado com base numa determinada distribuição anual de chuva pode sofrer com estiagens mais longas). Projetos de linhas de transmissão também consideram as condições médias de ameaças climáticas, tais como temperatura máxima e mínima, que afetam a capacidade de transmissão de energia.

Pode-se requerer o estabelecimento de um compasso diário, mensal, sazonal, anual ou mesmo decenal. Para cômputo do indicador RX5day, por exemplo, as projeções devem ser expressas em unidades temporais iguais ou menores do que o dia, de forma a permitir a agregação dos eventos diários na quantidade máxima acumulada em cinco dias.

Tabela 4.2: Exemplo de índices climáticos para diferentes tipos de infraestrutura

Infraestrutura	Variável climática	Índice climático	Referência
Drenagem de rodovias	Chuva	TR de 10 anos	DNIT, 2006
Pontes	Vazão	TR de 100 anos	DNIT, 2006
Barragens	Vazão	TR de 500 anos	ANA, 2016
Linhas de transmissão	Vento	TR de 50 anos	NBR 5422/1985
	Temperatura do ar	Máxima e mínima	

Fonte: Elaboração própria.

Quando se identifica, na Etapa 1, que um evento adverso se tornará mais frequente devido à mudança do clima, o tempo de retorno desse evento no futuro deve ser ajustado, conforme as informações mais atuais disponíveis, de forma a se obter a fração incremental de risco identificada.

■ Período base

Também denominado de normal climatológica, é o período de referência que representa o clima médio passado (ou atual), usado no cálculo de cenários de mudança do clima. Os valores do período base são comparados com os valores dos períodos futuros para estimar o cenário de mudança do clima (cenário de mudança = período futuro - período base). A Organização Meteorológica Mundial recomenda a utilização de períodos de 30 anos (ex. 1961-1990 e 1991-2020), porém períodos de 20 anos (ex. 1995-2014) também são usados (IPCC, 2022c).

Recomenda-se utilizar o período base mais recente para representar o clima atual (Quadro 4.1), a menos que exista norma técnica, diretriz ou manual que defina parâmetros climáticos distintos. Por exemplo, a NBR 5422/1985 para construção de linhas de transmissão considera dados de velocidade do vento, temperatura mínima e máxima da década de 1980. Logo, um período de referência representativo para a norma das linhas de transmissão seria 1956-1985 ou 1961-1990.

Vale ressaltar que, na maioria dos casos, quanto mais antigo for o período base, maior tende a ser a percepção de mudança do clima resultante (ex. 1961-1990 ao invés de 1995-2014), pois os dados observados já podem incorporar sinais da mudança do clima. A Seção 6 deste Anexo traz diversas referências para fontes de dados hidrometeoceanográficos históricos, destacando-se o do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA)²⁴, e o Hidroweb da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA)²⁵.

Quadro 4.1: A mudança do clima e as normais climatológicas do Brasil

A atualização das normais climatológicas do Brasil para o período de 1991 a 2020 (INMET, 2022)²⁶ identifica a presença de variações significativas em relação aos períodos anteriores, destacando-se a elevação da temperatura média e a intensificação das chuvas de grande porte. Em São Paulo, por exemplo, registra-se um aumento consistente e persistente de temperaturas mínimas e máximas nas últimas três décadas na comparação com outros períodos similares no passado, com altas de 1,2°C a 1,6°C na temperatura mínima. A frequência de tempestades também aumentou, principalmente na última década: entre 2011 e 2020, o número de dias com precipitação acima de 50 mm diminuiu, ao passo que eventos acima de 80 e 100 mm aumentaram. Dados dos últimos 60 anos também apontam uma diminuição no volume total de chuvas ao longo do ano, bem como na duração dos períodos chuvosos.

■ Abrangência espacial

A abrangência espacial da análise das ameaças climáticas vai depender da área de domínio da infraestrutura. Os cenários de mudança do clima podem abranger um local (ex. um porto) ou uma região (ex. rodovia, linha de transmissão, ou mesmo uma barragem que depende de uma bacia hidrográfica). **Na maioria dos casos, a abrangência espacial é local pois as projeções climáticas possuem uma resolução espacial da ordem de 40 x 40 km a 100 x 100 km de grade. Logo, só faz sentido subdividir a análise**

²⁴ Informações meteorológicas para todo o território brasileiro, incluindo produtos como: normais climatológicas; previsão climática; monitoramento; banco de dados meteorológicos históricos; entre outros. Disponível em [\[link\]](#).

²⁵ Séries históricas diárias de precipitação e vazão para mais de 4,6 mil pontos de monitoramento em todo o território nacional. Disponível em [\[link\]](#).

²⁶ Disponível em [\[link\]](#).

se a infraestrutura abrange uma área superior à da resolução espacial das projeções climáticas. Quanto à aplicabilidade na ACB, é admissível uma granulometria mais grosseira para a indicativa (ACB Preliminar), sendo recomendável uma mais fina para a detalhada (ACB Completa).

■ Cenários de emissões de gases de efeito estufa

Existem diversas versões e tipos de cenários de emissões de GEE. Até o momento da elaboração deste Anexo, a versão mais recente é denominada de *Shared Socioeconomic Pathways* (SSP), porém é comum encontrar o *Representative Concentration Pathway* (RCP) em relatórios e estudos ou, em casos mais antigos, o *Special Report on Emissions Scenarios* (SRES). Preferencialmente, deve-se considerar o SSP por ser a versão mais recente e usada no 6º Relatório de Avaliação do IPCC (2022). O SSP possui 5 classes, ou caminhos socioeconômicos, que representam diferentes níveis de emissões globais de GEE. Quanto maior o número do SSP, maior o nível de emissões (Tabela 4.3). O SSP possui uma relação muito próxima com o RCP, sendo comum encontrar nomenclaturas como “SSP1-2.6”, onde o número “2.6” refere-se ao tipo de cenário RCP, neste caso o “RCP2.6”. **A existência de mais de um cenário de emissões permite estimar as incertezas associadas aos caminhos socioeconômicos que a sociedade pretende tomar.** O SSP1-1.9 está diretamente relacionado ao cumprimento das metas do Acordo de Paris, ou seja, manter a temperatura global bem abaixo de 2,0°C. Já o SSP1-2.6 também apresenta uma redução drástica nas emissões, porém de forma mais lenta que o anterior. Os cenários SSP3-7 e SSP5-8.5 são os que mais se adequam ao caminho socioeconômico atual, ou seja, o cenário mais pessimista, embora exista um debate quanto à factibilidade deste último²⁷. Outra opção é o uso de um cenário intermediário como o SSP2-4.5, a depender do interesse do analista. Em síntese, os cenários SSP1-1.9 e SSP1-2.6 seriam os mais aderentes a um cenário otimista para fins da ACB; o cenário SSP2-4.5 seria o intermediário; e o SSP3-7 e SSP5-8.5 seriam os mais representativos como cenário pessimista.

²⁷ Hausfather & Peters (2020) argumentam que o SSP5-8.5 é pouco provável de se concretizar pois a sociedade já está tomando medidas de redução de emissões de GEE (ex. a intensificação do uso de energias renováveis). No entanto, Schwalm et al. (2020) recomendam o uso deste cenário devido ao que se sabe hoje sobre feedbacks bióticos, o caminho atual e previsões anteriores sobre o comportamento da sociedade.

Tabela 4.3: Descrição dos cenários SSP de emissões de GEE e o aquecimento global estimado.

SSP-RCP	Cenário Socioeconômico	Aquecimento (2041-2060) [faixa provável]	Aquecimento (2081-2100) [faixa provável]
SSP1-1.9	Sustentabilidade: o mundo muda rapidamente e de forma generalizada em direção a um caminho mais sustentável. Emissões de GEE reduzidas a zero por volta de 2050.	1,6 °C [1,2 – 2,0 °C]	1,4 °C [1,0 – 1,8 °C]
SSP1-2.6	Sustentabilidade gradual: o mundo muda de forma gradual e generalizada em direção a um caminho mais sustentável. Emissões de GEE reduzidas a zero por volta de 2075.	1,7 °C [1,3 – 2,2 °C]	1,8 °C [1,3 – 2,4 °C]
SSP2-4.5	Meio do caminho: o mundo segue um caminho com tendências socioeconômicas e tecnológicas similares aos padrões históricos. Emissões de GEE em torno dos níveis atuais até 2050, depois caindo, mas não atingindo emissões zero até 2100.	2,0 °C [1,6 – 2,5 °C]	2,7 °C [2,1 – 3,5 °C]
SSP3-7.0	Competição regional: ressurgência de nacionalismo, competitividade e conflitos regionais levam os países a se concentrarem em questões domésticas ou regionais. Emissões de GEE dobram até 2100.	2,1 °C [1,7 – 2,6 °C]	3,6 °C [2,8 – 4,6 °C]
SSP5-8.5	Desenvolvimento movido a combustíveis fósseis: o impulso para o desenvolvimento econômico e social é combinado com uma intensa exploração de combustíveis fósseis e estilos de vida intensivos em recursos e energia no mundo todo. Emissões de GEE triplicam até 2075.	2,4 °C [1,9 – 3,0 °C]	4,4 °C [3,3 – 5,7 °C]

Fonte: Adaptado de IPCC (2021).

■ Horizonte temporal

O horizonte temporal está diretamente relacionado com a vida útil do projeto. Se o projeto deve ser concluído em 2030 e a vida útil for de 50 anos, o horizonte temporal será 2080. Logo, o período climatológico futuro sugerido é aquele que engloba o ano de 2080. Uma vez que é comum se obter informações climáticas para períodos futuros (ex. 2021-2040, 2041-2060, 2081-2100), recomenda-se utilizar os dados dos períodos correspondentes para embasar as projeções das variáveis respectivas nos fluxos de demandas, custos, benefícios e externalidades.

■ Modelos de clima

Existem diversas gerações e tipos de modelos de clima e, via de regra, deve-se adotar a geração mais recente e a maior quantidade de modelos possível. A principal referência para modelos de clima é o *Coupled Model Intercomparison Project* (CMIP). Assim como os cenários de emissões de GEE, deve-se adotar a geração mais recente de modelos de clima. Até o momento da elaboração deste guia, a versão 6 (CMIP6) é a geração de modelos de clima mais recente. Porém é comum encontrar relatórios e estudos que adotam modelos do CMIP5 e até mesmo do CMIP3. O CMIP6 contempla projeções de dezenas de modelos de clima de diversos centros de pesquisa ao redor do mundo.

Via de regra, recomenda-se adotar a abordagem de conjunto de multi-modelos (*multi-model ensemble*) onde são considerados todos os modelos de clima disponíveis e analisa-se a distribuição estatística. Alternativamente, pode-se realizar as análises com base em um conjunto de vários modelos, selecionados com base na aderência do período histórico do modelo com os dados observacionais. Essa análise, no entanto, requer um nível elevado de conhecimento em processamento de dados e climatologia e o recomendável é usar todos os modelos disponíveis.

Para calcular os cenários de mudança do clima, deve-se considerar medidas que descrevem a distribuição estatística, como a média, ou a mediana, e os percentis. Os percentis servem para estimar o nível de incerteza do cenário de mudança do clima e os limiares mais usados são 10° e 90° (Banco Mundial 2021 e IPCC, 2022c). Outro aspecto é a questão da resolução espacial dos modelos de clima. Os modelos atuais possuem uma resolução na ordem de 40 x 40 km a 100 x 100 km de grade e podem ter limitações em representar o clima na escala local ou regional. Uma maneira de aprimorar a resolução espacial das projeções de clima é usar dados de modelos regionais de clima (*downscaling*). No entanto, até o momento os dados são limitados, seja devido ao número limitado de modelos regionais (ex. NASA-NEX-GDDP-CMIP6) ou devido ao uso de gerações mais antigas de modelos globais de clima como dado de entrada nos modelos regionais (ex. ESGF-CORDEX-CMIP5).

É preciso considerar ainda que maior resolução espacial não significa, necessariamente, maior nível de certeza; a pertinência de se considerar projeções de modelos regionais vai depender das condições fisiográficas do local de interesse e da capacidade do analista em processar dados de clima. Em regiões com topografia acentuada, onde a chuva ou a temperatura são afetadas

pela orografia, recomenda-se usar projeções de modelos regionais. Porém estas informações nem sempre estão prontas para uso, o que demandaria processar dados de clima.

■ Cenários climáticos

A combinação entre cenários de emissões e modelos de clima resulta em **cenários climáticos** (ou **projeções climáticas**), ou seja, uma série de respostas simuladas a partir de uma representação do sistema climático a um cenário futuro de emissões (concentração de gases de efeito estufa e aerossóis). **É importante ressaltar que as projeções climáticas não são previsões, mas representações plausíveis de condições climáticas futuras, não devendo, portanto, ser interpretadas de forma probabilística.** Também ao contrário das previsões, as projeções estão condicionadas a suposições relativas (ex. desenvolvimento socioeconômico, transição energética, cooperação política global e avanços tecnológicos) que podem ou não se realizar.

Quadro 4.2: Onde encontrar dados e informações climáticas e como usá-los?

Os dados climáticos são uma coleção de observações diretas ou de registros derivados de simulações de modelos de clima. Já as informações climáticas são resultado do processamento de dados em um formato que seja compreensível e de interesse do público-alvo (ex. mapas e gráficos).

O analista deve dar preferência às informações climáticas, pois estão prontas para uso, dispensando o processamento de dados. Dados observacionais (registros históricos) devem apoiar a validação dos resultados dos cenários futuros. Recomenda-se verificar as tendências em curso (exemplo na Figura 4.1) e compará-las com o sinal de mudança das projeções futuras (exemplo na Figura 4.2). Para condições extremas, pode-se consultar as mudanças no TR. A Figura 4.3 ilustra um exemplo para o Distrito Federal onde a chuva que atualmente acontece a cada 10 anos (TR 10 anos) terá a sua probabilidade de ocorrência alterada uma ocorrência a cada 8,58 anos.

O analista deve julgar se as informações climáticas disponíveis atendem minimamente aos critérios de elaboração de cenários climáticos definidos nessa etapa (Tabela 4.1) e se são suficientes para dar seguimento a etapa seguinte. Os valores dos cenários de mudança do clima podem ser definidos com base no julgamento de especialistas em clima, amparados pelas informações climáticas disponíveis. O caminho a ser adotado vai depender da capacidade da equipe em processar e analisar dados de clima e o tempo disponível de execução do estudo. A Tabela 4.4 apresenta as principais fontes de dados e informações climáticas disponíveis.

Tabela 4.4: Principais fontes de dados e informações para a construção de cenários climáticos

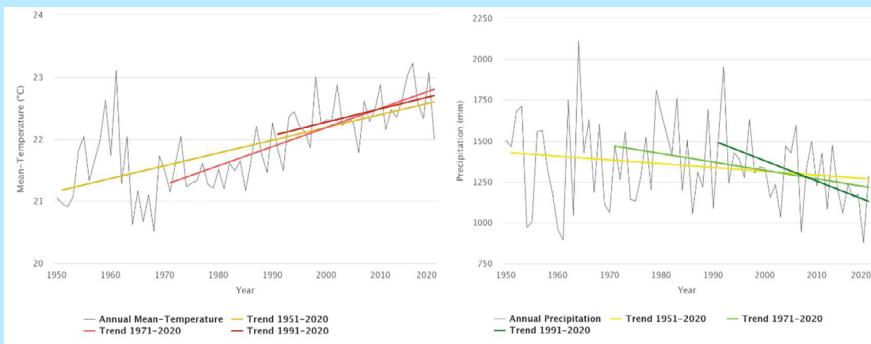
Abrangência	Dados ¹	Informações ²
Global	Climate Knowledge Portal - Dados para download [link]	Atlas-IPCC - conjunto de dados do CMIP6 [link] Climate Knowledge Portal - Projeções de clima [link] Climate Knowledge Portal - Extremos [link]
Regional	ESGF-CORDEX-CMIP5 [link] NASA-NEX-GDDP-CMIP6 [link]	Atlas-IPCC conjunto de dados do CORDEX-South America [link]

¹ Necessita de expertise em processamento de dados; ² Pronto para uso

Fonte: Elaboração própria.

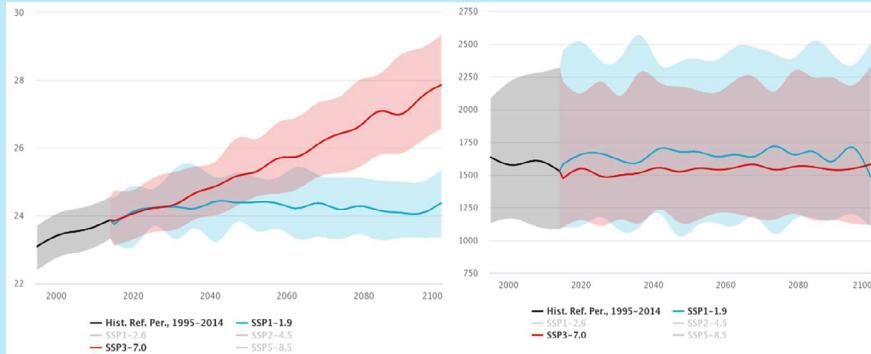
Exemplos de consulta e utilização de informações climáticas

Figura 4.1: Tendência observada nas últimas décadas para: temperatura média anual (esquerda) e chuva anual (direita) para o Distrito Federal.



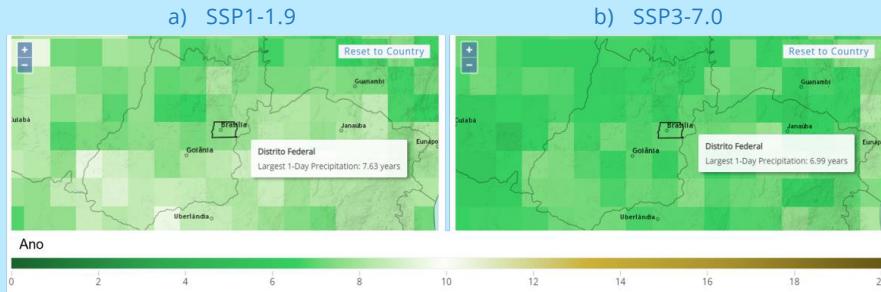
Fonte: consulta ao portal CCKP, Banco Mundial, 2022.

Figura 4.2: Projeções de multi-modelos do CMIP6 para: temperatura média anual (esquerda) e chuva anual (direita) para o Distrito Federal considerando os cenários de emissões SSP1-1.9 e SSP3-7.0 em relação ao período base de 1995-2014.



Fonte: consulta ao portal CCKP, Banco Mundial, 2022.

Figura 4.3: Cenários de mudança do clima para chuva extrema de TR 10 anos para o Distrito Federal considerando os cenários: a) SSP1-1.9 e b) SSP3-7.0, período 2035-2064 (centrado em 2050), em relação ao período base de 1995-2014.



Fonte: consulta ao portal CCKP, Banco Mundial, 2022.

A partir das variações dos tempos de retorno para os cenários de emissões e os horizontes de análise, como ilustrado na Tabela 4.5, torna-se possível calcular o deslocamento da curva de probabilidade de excedência de danos sob mudança do clima conforme método descrito na Seção: ***Sobre a natureza da ameaça climática e suas formas de incorporação na avaliação socioeconômica*** (ilustrado na Figura 2.1). As informações climáticas apresentadas na Tabela 4.5 tem como base o *Climate Knowledge Portal* (CCKP) do Banco Mundial (exemplificado na Figura 4.3). A Tabela 4.5 também inclui a distribuição estatística do conjunto de projeções de multi-modelos (percentis 10%, 50% e 90%) como forma de estimar as incertezas relacionadas à modelagem climática. De forma prática, recomenda-se usar os TRs referentes aos percentis 10% e 90% para se estimar o pior e melhor caso. Para situações que requerem maior resolução espacial, especialistas em clima podem calcular os novos TR a partir do processamento de dados climáticos.

Tabela 4.5: Exemplo de dados de entrada sobre clima para a estimativa do deslocamento da curva de probabilidade de excedência de danos sob mudança do clima

Tempo de retorno	Nível de retorno (mm)		Novo Tempo de Retorno (anos) 2035-2064 (centrado em 2050)					
	Obsevado (INMET)*	Histórico (modelos)	SSP1-1.9			SSP3-7.0		
			10%	50%	90%	10%	50%	90%
5 anos	95,7	82,1	2,4	4,0	4,4	2,0	3,7	4,7
10 anos	102,1	95,7	4,0	7,6	8,8	3,4	7,1	9,4
20 anos	111,8	109,2	6,8	14,4	17,3	5,9	13,3	18,6

* Dados da estação meteorológica do INMET em Brasília (código 01547004) obtidos em [\[link\]](#).

Fonte: elaboração própria.

■ Gestão proativa das incertezas

Uma última nota sobre as projeções climáticas diz respeito à sua inerente e eventual discordância de resultados - notadamente para a precipitação. **Resultados antagônicos entre projeções devem ser interpretados não como erros, mas sim como incertezas que requerem gestão proativa de risco.** Ao contrário do que justificativas para a inação, a observação da variabilidade permite identificar elementos críticos ao projeto e a amplitude das mudanças. A “governança antecipatória” para lidar com a mudança do clima consiste em abraçar a incerteza e incorporá-la no processo de decisões, criando sistemas mais versáteis e, consequentemente, resilientes, tal como defendido por Quay (2010).

Dada a complexidade na seleção dos cenários climáticos, reforça-se a necessidade de condução anterior da Etapa 1, que permite compreender o sinal das mudanças do clima e a característica do risco antes de se partir em busca de projeções específicas. A princípio, a adoção de qualquer cenário climático permite o cálculo de indicadores de viabilidade socioeconômica seguindo os passos apresentados na Etapa 2 e sua avaliação na Etapa 3. Dado o exposto, recomenda-se o estabelecimento de cenários climáticos que representem limites inferiores, medianos e superiores dentro da gama de resultados possíveis.

PONTO DE DECISÃO

É possível estabelecer, de forma quantitativa, cenários climáticos para as variáveis de interesse ao projeto?

Tendo em vista a existência e disponibilidade de dados e informações climáticas, e considerando a eventual necessidade de customizações, a resposta depende exclusivamente do conhecimento e experiência da equipe de analistas em processamento de dados e interpretação de informações climáticas.

Caso seja possível, realizar as etapas subsequentes dando preferência à incorporação da quantificação dos efeitos do clima diretamente na ACB; caso não, prosseguir para a conformação do teste de estresse (ver subseção abaixo: *Incorporando os efeitos dos cenários de clima nas subetapas 2.b, 2.c, 2.d e 2.e*).

Incorporando os efeitos dos cenários de clima nas subetapas 2.b, 2.c, 2.d e 2.e

As quatro subetapas subsequentes à quantificação da ameaça climática, quais sejam: estimativas de demanda e oferta (subetapa 2.b), custos (subetapa 2.c), benefícios (subetapa 2.d) e externalidades (subetapa 2.e), englobam duas importantes considerações que se desdobram em diferentes caminhos para a avaliação do risco climático na análise de custo-benefício.

A primeira importante consideração é quanto à possibilidade de se **incorporar** - de forma quantitativa e com base em estimativas críveis - os **riscos do clima** nas estimativas de demanda, custos, benefícios e externalidades para os distintos cenários. São dois os encaminhamentos possíveis:

A incorporação quantitativa do risco climático nas projeções do estudo de demanda e de custos, benefícios e externalidades para os diferentes cenários da ACB (base e alternativos) - o que leva a resultados da ACB que refletem o risco climático em seus indicadores-padrão; ou

A não incorporação quantitativa e consequente condução de testes de estresse ou análise probabilística - que consideram variações plausíveis de forma a qualificar a avaliação do risco e encaminhar a tomada de decisão.

Preferencialmente, a análise do risco climático deve se dar por meio da incorporação da mudança do clima na estrutura da ACB padrão, considerando as modificações impostas pelo risco em todas as etapas da avaliação socioeconômica de projetos que envolvem a quantificação pecuniária dos impactos do projeto (custos, benefícios e externalidades) a preços sociais.

Para que essa incorporação seja possível, o analista deve conseguir estimar, de forma quantitativa, os efeitos do clima nas projeções de demanda e nas estimativas de custos, benefícios e/ou externalidades. Geralmente, essa incorporação só se faz possível com base em estudos e informações setoriais de suporte, pois as relações físicas dos impactos são complexas e muitas vezes dependem de modelagens sofisticadas.

Incorporar o risco climático dessa forma pressupõe o estabelecimento - também quantitativo - das variáveis climáticas de interesse (ex. 50 mm de chuva a menos entre janeiro e março nos anos de 2041 a 2060), como descrito na subetapa 2.a. **A qualidade das estimativas**

de entrada determinará a qualidade dos resultados, devendo-se avaliar se há consistência suficiente para realizar a incorporação quantitativa do risco. Podem-se classificar as seguintes tipologias de estimativas:

- Estimativa baseada em fontes de dados/estudos relevantes para a localização, perfil e horizonte de análise específica ou semelhante à do projeto;
- Estimativa baseada em fontes de dados/estudos e extração de tendências; e
- Estimativa baseada em conhecimento e informações de especialistas e técnicos.

Caso as estimativas quantitativas possam ser realizadas de forma crível para cada um dos cenários de clima (definidos na subetapa 2.a), prossegue-se com a condução da ACB padrão. **Os indicadores de viabilidade da ACB, resultante da aplicação dos cenários climáticos, terão as condições de risco incorporadas e informarão sobre a viabilidade socioeconômica do projeto e a eventual presença de riscos remanescentes.** Não há necessidade, nesse caso, de se conduzir o teste de estresse ou a análise probabilística de risco.

A incorporação do risco climático na estrutura padrão da ACB nem sempre será possível: pode-se ter tanto incertezas oriundas da quantificação dos cenários climáticos como da quantificação das alterações na demanda e nas estimativas de custos, benefícios e externalidades. **Nesses casos, o risco deve ser avaliado por meio de teste de estresse ou de análise probabilística de risco** (detalhada na Etapa 3 deste Anexo). A condução dessa análise inclui as variáveis de maior repercussão nos canais de impacto e análise de valores de inflexão (tal como preconizado pelo Guia ACB), contrastando uma gama de possíveis resultados.

A segunda importante consideração (independente da primeira) advém da identificação da **natureza da ameaça climática que se espera enfrentar**, haja vista que o risco pode se manifestar de forma crônica e/ou aguda, conforme já anteriormente explicitado na Seção: *Sobre a natureza da ameaça climática e suas formas de incorporação na avaliação socioeconômica.*

Essa distinção é, claramente, uma simplificação, tanto frente à complexidade dos aspectos que configuram a climatologia; imperfeita frente as sobreposições existentes (ex. ciclos interdecenais); como ainda imprecisa frente a eventos como deslizamentos de encostas e incêndios florestais, que dependem de interações entre o “crônico” e o “agudo”. Não obstante, é didática ao ilustrar as implicações na incorporação do risco climático na avaliação socioeconômica.

Quadro 4.3: Exemplo da incorporação do risco climático na ACB

O estudo de caso de ACB em infraestrutura hídrica denominado “Projeto Vaza-Barris”²⁸, no rio homônimo, endereça o problema de insegurança hídrica para uma população de 210 mil habitantes da área urbana de nove municípios sergipanos. Apesar da universalização do acesso à água potável, com plena cobertura de atendimento pela rede pública, o planejamento setorial identificou a presença de notório risco hídrico devido à irregularidade na oferta de água bruta. A situação de risco hídrico tende a se agravar no tempo, tanto devido às projeções de crescimento demográfico, como também devido às projeções das mudanças do clima. Estas últimas apontam consistentemente para temperaturas mais altas e redução na disponibilidade hídrica, o que faz com que o risco atual se agrave. A concepção do projeto de ampliação da oferta de água, portanto, considerou tanto o déficit de atendimento majorado pela mudança do clima, assim como sofreu adequações em seu porte para acomodar essa nova demanda.

Etapa 2.b. Incorporação dos efeitos dos cenários de clima nas estimativas de oferta e demanda do cenário base

Informações e dados necessários: instrumentos de planejamento setoriais de médio e longo prazo; avaliações setoriais de risco climático; referências setoriais para planejamento de longo prazo; estudos de demanda do setor a ser atendido.

Projetos expostos a risco climático significativo, devem considerá-lo o mais cedo possível, preferencialmente desde a fase de concepção do projeto ou pelo menos na elaboração do cenário base (ou contrafactual), haja vista que pode ser relevante para a própria conformação do contexto de análise. Uma vez que esse cenário busca prescrever a evolução previsível das variáveis de interesse na ausência do projeto, desdobramentos relacionados ao clima podem alterar os efeitos socioeconômicos conformadores da demanda e da oferta, que constituem, por sua vez, as características do serviço a ser prestado pelo projeto. Maiores temperaturas ou menores precipitações, afinal, podem modificar a realidade na qual o projeto pretende se inserir (e interferir).

Uma vez que as infraestruturas detêm vidas úteis longas (30, 50 anos ou mais), o próprio cenário base deve ser analisado no compasso das incertezas críticas da mudança do clima e seu rebatimento nas

²⁸ Disponível em [\[link\]](#).

projeções de oferta, demanda, custos, benefícios e externalidades, realizadas para todo o horizonte de análise²⁹. A consideração dessas implicações pode motivar reavaliações dos cenários alternativos que são projetados de forma a atender aos anseios sociais que podem, por sua vez, serem modificados.

Como dados de entrada para a análise, tem-se, geralmente séries temporais (ex. população do município e que demanda água potável) e formas de realizar esse atendimento (ex. incremento de disponibilidade hídrica de x m³/s). Do lado da oferta, projeções de maior aridez (menores índices de precipitação na média) e/ou instabilidade na oferta natural de água (estações chuvosas mais intensas) podem resultar reduções na disponibilidade prevista, efeito que gera um acréscimo na demanda a ser atendida pelo projeto. Nesse exemplo, haverá maior insegurança hídrica - materializada em um déficit hídrico mais agudo do que o previsto na ausência da consideração do efeito da mudança do clima. Do lado da demanda, pode-se ter um incremento na taxa de consumo per capita de água em decorrência das maiores temperaturas.

Certamente, essa modificação deve considerar outras variáveis que configuram essa situação, tal como o crescimento populacional, mudanças no perfil demográfico, migração por conta de crescimento econômico etc. **Fatores que não estão correlacionados com a mudança do clima podem, também, vir a ser por ela influenciados, gerando um processo de iteração que deve ser escrutinado** (ex. a taxa de migração pode ser modificada como consequência das maiores temperaturas; mudanças na política global podem reduzir a viabilidade da exploração e uso de carvão mineral como combustível).

Nota-se que, como pontuado no Capítulo 1 deste Anexo, diversas dessas relações deverão estar previstas no planejamento setorial, pois requerem modelagens específicas que não são tratadas ao nível de projeto (ex. na variação na segurança hídrica, na demanda por energia, na modificação da adequabilidade de culturas agrícolas a cenários climáticos, dentre outros).

Quando o nível de complexidade extrapola a ACB, porém a incerteza permanece, recomenda-se não incorporar os resultados dos efeitos climáticos nas estimativas de demanda e oferta, mas sim realizar o teste de estresse ou a análise probabilística de risco (Etapa 3).

²⁹ Considerando a geração de energia hidrelétrica, por exemplo, as projeções de oferta no cenário base podem não ser mais tão regulares quanto previsto, devido à maior variabilidade no regime pluviométrico.

PONTO DE DECISÃO

Com base na subetapa 2.a e no risco gerado pelos cenários climáticos, é possível estimar (de forma quantitativa) a variação nas demandas e ofertas do cenário base?

Caso a quantificação seja possível, realizar a incorporação respectiva a cada cenário climático; caso não, anotar variações percentuais mínimas e máximas plausíveis, para cada variável afetada, de forma a conduzir o teste de estresse.

Etapa 2.c. Incorporação dos efeitos dos cenários de clima nas estimativas de custos econômicos

Informações e dados necessários: sistemas setoriais de informações de custos referenciais; normativas técnicas de engenharia, requisitos regulamentares e práticas setoriais voluntárias (normas técnicas e códigos de construção).³⁰

A mudança do clima pode gerar uma série de repercussões que afetam os custos diretos de capital (Capex) e de operação e manutenção (Opex). Na fase de implantação de um projeto (Capex), a construção pode se estender por mais tempo do que o previsto devido à ocorrência de inundações, ondas de calor que impedem o trabalho ao ar livre ou interrupções no fornecimento de energia devido a vendavais. Na fase de operação (Opex), os custos com a manutenção e operação podem ser maiores do que previsto devido, dentre outros: aos danos causados por tempestades, incêndios ou ventos fortes; às taxas aceleradas de corrosão; à tecnologia inadequada para as temperaturas mais altas; ao acionamento de energia de backup devido à intermitência na rede.

Esse último exemplo revela dependências cruzadas: quando a instalação e operação de um projeto depende da infraestrutura de outro projeto/setor, que por sua vez pode ser afetada pelo clima. O abastecimento de água, por exemplo, depende de eletricidade para bombeamento, e as linhas de transmissão de energia correm mais risco sob ventos mais fortes. Caso esse risco seja significativo, uma forma de mitigá-lo é por meio da aquisição e manutenção de geradores para backup - promovendo um aumento nos custos de Capex e Opex do projeto.

³⁰ Sistemas setoriais de compilação e atualização de custos referenciais podem vir a incorporar coeficientes ou índices que espelham a adaptação requerida sob maior estresse climático.

Outro aspecto a ser considerado é a possibilidade de a mudança do clima afetar o valor residual do ativo: pode-se ter um ativo que não será mais capaz de gerar benefícios devido ao clima; ou mesmo pode-se vir a ter a geração de passivos para além do horizonte de análise do projeto (ex. barragens de controle de cheias que podem não mais dar conta do aumento das inundações no final do século, estruturas costeiras que se tornam proibitivamente caras de manter com o aumento do nível do mar etc.).

A adaptação à mudança do clima geralmente envolve alterações aos custos dos projetos, e salvo quando Soluções baseadas na Natureza (SbN) são possíveis, tais modificações implicam em custos mais elevados. Espera-se, no entanto, que incrementos nos custos para resiliência e adaptação sejam mais do que compensados pelos benefícios associados. **Para tornar um projeto mais resiliente, a consideração de alterações em seu *design* pode ir além da retroalimentação dos custos (Capex e Opex), mas também motivar a concepção de novas alternativas de projeto.** Cabe lembrar que a incorporação do risco climático nas estimativas de custos deve se dar, preferencialmente, nas projeções do cenário base e alternativo(s).

A incorporação do risco climático deve considerar o perfil da avaliação socioeconômica sendo conduzida. **Em uma ACB Preliminar (ou indicativa), há grande margem para influência no design e no alinhamento estratégico do projeto, com avaliação de alternativas estratégicas e encaminhamentos práticos para as próximas fases de análise** (ex. a definição da tecnologia adotada, com grande influência nos custos previstos). **Já em uma ACB Completa (ou detalhada), a margem de influência é reduzida**, pois o foco das alternativas avaliadas está no refinamento da solução de engenharia adotada ou na definição do melhor traçado, por exemplo.

Nessa fase detalhada, em que se conduz a ACB completa, a perspectiva de um risco catastrófico deve motivar análises pormenorizadas, embasadas em normativas e requisitos regulamentares vigentes (como as normas técnicas e códigos de construção) ou em práticas voluntárias formalizadas por entidades de classe. Esses padrões podem ser aplicados às especificações dos materiais, equipamentos e insumos utilizados, ou aos processos de concepção e gerenciamento de projetos. Nesse contexto, as normas técnicas e padrões de infraestrutura podem desempenhar um papel importante na promoção da resiliência climática³¹.

³¹ Como exemplo, as normas técnicas de engenharia civil (Eurocódigos) para transporte, energia, edifícios e construção civil foram revistas com base na Estratégia Europeia de Adaptação (2013) para abranger a avaliação, reutilização e adaptação da infraestrutura existente, bem como a concepção de novos desenvolvimentos, sob a lente climática.

PONTO DE DECISÃO

Com base na subetapa 2.a e no risco gerado pelos cenários climáticos, é possível estimar (de forma quantitativa) a variação dos custos?

Caso a quantificação seja possível, realizar a incorporação respectiva a cada cenário climático; caso não, anotar variações percentuais mínimas e máximas plausíveis, para cada variável afetada, de forma a conduzir o teste de estresse.

Quadro 4.4: Padrões para avaliação e tratamento do risco climático em infraestruturas

A *International Standards Organization* (ISO) apresentou a normativa ISO 14091:2021, que trata especificamente da adaptação à mudança do clima: ***Adaptation to climate change - Guidelines on vulnerability, impacts and risk assessment***. É baseada no guia de gerenciamento de risco trazido pela ISO 31000:2018, e apresenta três etapas para a avaliação do risco climático, quais sejam: (i) preparação da avaliação de risco climático - inclui o estabelecimento do contexto, a identificação dos objetivos e resultados esperados, a definição de uma equipe de projeto, a determinação do escopo e metodologia, a definição de um horizonte temporal, a coleta de informações relevantes e a preparação de um plano de implementação; (ii) implementação da avaliação de risco climático - consiste na triagem de impactos e desenvolvimento da cadeia de impactos, na identificação de indicadores, na aquisição e gerenciamento de dados, na produção de indicadores e análise das componentes de risco, na avaliação da capacidade adaptativa e na interpretação dos resultados; e (iii) comunicação dos resultados - inclui um relatório de avaliação do risco climático, bem como a interpretação dos resultados no âmbito do planejamento para a adaptação à mudança do clima.

O ***Engineering Protocol for Infrastructure Vulnerability Assessment and Adaptation to a Changing Climate*** - PIEVC (LAPP, 2011) tem por objetivo detalhar a avaliação de infraestruturas frente à capacidade de resposta à mudança do clima, orientando operadores na incorporação de medidas de adaptação no design, desenvolvimento e gestão de infraestruturas, tanto existentes quanto planejadas. O guia PIEVC oferece um passo-a-passo para a avaliação do risco a partir da perspectiva da engenharia, identificando possíveis estratégias de adaptação de forma pragmática e com base em metodologias consolidadas. Os resultados quantitativos objetivam auxiliar na identificação dos riscos prioritários, sendo relevante para a quantificação das modificações de engenharia que podem deles decorrer. Embora o método prescrito não esteja inserido no contexto de avaliação socioeconômica de projetos, já serviu de insumo para avaliações socioeconômicas com base no método de análise custo-benefício.

Etapa 2.d. Incorporação dos efeitos dos cenários de clima nas estimativas de benefícios econômicos

Informações e dados necessários: catálogos de parâmetros (geral e setoriais); sistematização de resultados de políticas públicas; dados setoriais históricos; estudos acadêmicos e publicações de instituições de pesquisa.variações plausíveis de forma a qualificar a avaliação do risco e encaminhar a tomada de decisão.

Os benefícios socioeconômicos podem sofrer diversas consequências negativas da mudança do clima. Grosso modo, podem-se classificar dois tipos de efeitos:

A **interrupção no fluxo de bens ou serviços** gerados pela operação da infraestrutura. Por exemplo: altas temperaturas causando o desligamento de um transformador; inundação bloqueando o tráfego de uma rodovia; estiagem gerando déficit no abastecimento de água; deslizamento de encosta derrubando um sistema de comunicação; queda na eficiência de uma usina termelétrica de ciclo combinado devido ao aumento na temperatura da água usada para resfriamento.

O **atraso na entrada em funcionamento de um novo ativo**, por exemplo, de geração de energia, devido a condições climáticas desfavoráveis à construção, prolongando o período de obras e atrasando sua entrada em operação e o início da geração de benefícios.

O **comprometimento da vida útil do ativo** - situação na qual não há uma mera interrupção nos fluxos de benefícios esperados, mas sim uma impossibilidade na continuidade de sua geração. Por exemplo: incapacidade de promover o controle de inundações costeiras durante o horizonte de tempo pretendido à medida que o nível do mar aumenta; perda estrutural do ativo devido à erosão; ativos encalhados (*stranded assets*).

A incorporação do risco climático no cômputo dos benefícios exige considerar a temporalidade e abrangência dos impactos, permitindo qualificar a interrupção do fluxo dos benefícios e a consequente métrica de perda de bem-estar (ex. 10% de perda de eficiência; 20 dias de interrupção do serviço por ano; 10 mm a menos de pluviosidade entre janeiro e março etc.). Embora menos comum, pode haver situações em que ocorrem ganhos (maiores benefícios) ao invés de perdas, como o aumento na geração de energia solar.

No mais das vezes, a incorporação do risco climático nas estimativas de benefícios deve se dar tanto nas projeções do cenário base como na dos cenários alternativos, sendo da diferença entre estes que se obtém a medida dos benefícios incrementais ou comparativos. Caso um projeto resiliente promova a redução do risco, impedindo ou reduzindo a probabilidade e/ou a severidade da interrupção dos fluxos de benefícios, valora-se tal efeito pelo método de perdas evitadas. Uma vez que a motivação para a promoção da redução do risco de desastres é salvar vidas, reduzir os danos e prejuízos associados e também promover a recuperação efetiva das áreas impactadas, estas são exatamente as métricas para o cômputo das perdas evitadas (i.e. vidas salvas, danos ou prejuízos que deixaram de ocorrer, áreas que permaneceram produtivas ao invés de abaladas por desastres).

Supondo um projeto de energia cujo benefício seja a redução de perdas na transmissão, o aumento projetado de temperatura irá influenciar tanto a projeção de perdas na transmissão do cenário base (situação sem o projeto) quanto as do cenário alternativo (com o projeto). O mesmo racional se estende para benefícios de aumento do uso produtivo da terra, na qual o potencial de rendimento da terra pode ser positiva ou negativamente impactado pelo clima. O risco de acidentes em uma rodovia, caso seja majorado pela mudança do clima, afeta as projeções de acidentes do cenário base e, a depender do projeto, também do cenário alternativo. Atenção deve ser tomada para que não haja dupla contagem.

Por fim, haja vista que a valoração dos benefícios - especialmente os de não mercado - pode requerer o uso de técnicas de estimação da disposição a pagar (DAP), torna-se importante identificar se essa métrica pode vir a ser influenciada sob o contexto do risco climático (majorada frente a um maior risco de desabastecimento, por exemplo). Caso essa incorporação tenha sido realizada, é importante distinguir os resultados de acordo com as alternativas de projeto (caso uma delas, por exemplo, reduza a exposição ao risco e outra não), evitando-se dupla contagem.

PONTO DE DECISÃO

Com base na subetapa 2.a e no risco gerado pelos cenários climáticos, é possível estimar (de forma quantitativa) a variação dos benefícios?

Caso a quantificação seja possível, realizar a incorporação respectiva a cada cenário climático; caso não, anotar variações percentuais mínimas e máximas plausíveis, para cada variável afetada, de forma a conduzir o teste de estresse.

Etapa 2.e. Incorporação dos efeitos dos cenários de clima nas estimativas de externalidades

Informações e dados necessários: catálogo de parâmetros (geral e setoriais); indicadores de resultados de políticas públicas; estudos acadêmicos e publicações de instituições de pesquisa; repositórios de informações sobre valoração ambiental³².

A consideração das externalidades sob mudança do clima requer avaliar, primeiramente, quais delas - dentro do rol das previamente identificadas, quantificadas e valoradas (independentemente do clima) - poderão vir a ser alteradas. **Caso haja algum impacto nas externalidades elencadas, sua incorporação na ACB deve seguir o mesmo racional prescrito para os benefícios, incluindo-se as repercussões nas estimativas tanto do cenário base quanto dos cenários alternativos.**

O risco climático e seu gerenciamento (ex.: construção de resiliência) podem, adicionalmente, desencadear novas externalidades que devem também ser consideradas, sejam elas positivas ou negativas³³. Afinal, como premissa geral da avaliação socioeconômica, devem ser incluídos todos os custos, benefícios e externalidades geradas pelo projeto.

■ Geração de co-benefícios

A promoção de adaptação climática com Soluções baseadas na Natureza (SbN) é associada à geração de externalidades positivas, comumente denominadas de co-benefícios ou ainda de benefícios auxiliares (*ancillary benefits*). Um exemplo é o reflorestamento de uma encosta cujo propósito é a mitigação do risco de que uma infraestrutura de transporte venha a sofrer com deslizamentos de terra: o reflorestamento pode ser realizado com espécies nativas zoocóricas (que atraem a fauna e promovem a biodiversidade local); as árvores sequestram carbono (mitigação climática) e atuam como mecanismo auxiliar de regulação hídrica (promovendo a infiltração e a regularidade dos fluxos hidrológicos de base). Outro exemplo é a restauração e manutenção de manguezais como forma de promover a proteção de infraestruturas portuárias contra ressacas do mar; promovendo, também, habitats para espécies de interesse pesqueiro,

³² Exemplos de inventários e bases de informações: Environmental Valuation Reference Inventory [[link](#)]; Development Evidence Portal [[link](#)]; Enabling a Natural Capital Approach - ENCA, Reino Unido, com preços de serviços ecossistêmicos e outros [[link](#)]; Dataset CBAx do governo da Nova Zelândia [[link](#)].

³³ O item sobre má adaptação (*maladaptation*), na Etapa 3 deste Anexo, tece mais considerações sobre a promoção de externalidades negativas.

sequestro de carbono e retenção de sedimentos (que beneficiam o próprio porto por meio de dragagem evitada). **Embora a natureza dos co-benefícios varie significativamente, todos se materializam na prevenção de desastres e podem ser, assim, incorporados no fluxo de caixa do projeto.**

Há um interesse crescente em avaliar o potencial de abordagens que promovem serviços ecossistêmicos para adaptação e resiliência em geral, seja de forma individualizada ou em conjunto com soluções de engenharia tradicionais (infraestrutura cinza). Uma vez que investimentos em gerenciamento de risco de desastres podem servir a múltiplos propósitos, mesmo soluções tradicionais de engenharia ou a promoção de medidas de gestão (*soft measures*) também podem ser geradores de co-benefícios. Dispositivos de controle de cheias ou manejo de águas pluviais, por exemplo, podem funcionar como pistas de caminhada ou como parques lineares; abrigos para desastres podem, enquanto não cumprem sua função, ser usados como escolas ou espaços comunitários; sistemas de monitoramento e alerta de desastres podem fortalecer a capacidade de previsão do tempo, que por sua vez pode beneficiar agricultores locais.

Quadro 4.5: Promoção da segurança hídrica e resiliência climática com ações de conservação, restauração de ecossistemas e modelos produtivos sustentáveis

O Movimento Viva Água (MVA), iniciativa multiatores criada para promover a segurança hídrica, a conservação da natureza e o empreendedorismo sustentável da bacia hidrográfica do rio Miringuava, em São José dos Pinhais/PR, manancial estratégico para o abastecimento de água da Região Metropolitana de Curitiba, também promove a adaptação à mudança do clima por meio de suas ações de conservação, restauração de ecossistemas e modelos produtivos sustentáveis. A análise de custo-benefício do MVA estimou 16 benefícios diretos e externalidades positivas (algumas sendo co-benefícios) da adaptação à mudança do clima, aninhados em seis categorias: (i) sistema de produção com princípios de sustentabilidade; (ii) sequestro de carbono; (iii) regulação hídrica; (iv) retenção de sedimentos; (v) negócios sustentáveis; e (vi) associativismo e cooperativismo. Os benefícios superaram em 2,46 vezes os custos com as intervenções, contribuindo para aumentar a resiliência da Bacia aos efeitos da mudança do clima e assim evitar potenciais aumentos de custos futuros³⁴.

³⁴ Disponível em [\[link\]](#).

■ Papel indutor da redução de riscos

Uma última consideração acerca da promoção da adaptação à mudança do clima é quanto ao seu potencial papel indutor da atividade econômica (ver seção Efeitos econômicos indutivos, indiretos e de segunda ordem no Guia ACB). **A ocorrência de frequentes desastres, bem como a mera possibilidade de ocorrência de um desastre catastrófico futuro, desencadeia impactos reais nas decisões dos agentes econômicos que alteram seu comportamento em função do risco.** Agentes econômicos avessos ao risco podem, devido à percepção de risco, evitar investimentos em determinadas localidades ou classes de ativos, levando à perda de oportunidades de desenvolvimento. Quando a possibilidade de ameaça climática coloca em perigo as perspectivas da atividade econômica e restringe o investimento privado de longo prazo, ocorre um risco de fundo.

Uma vez que a ação climática e o desenvolvimento sustentável são processos interdependentes, investimentos resilientes ao clima e promotores da mitigação de emissões podem apoiar o próprio desenvolvimento econômico (*climate resilient development pathways*), desencadeando planejamentos prospectivos de investimentos privados de capital de longo prazo. Dessa forma, pode-se ter o fomento ao investimento em resiliência mesmo que os desastres não ocorram ou ocorram tardivamente em relação ao esperado. **Nas situações em que o projeto reduz o risco de fundo ao promover mudanças comportamentais, afetando decisões de investimentos privados, há indução sobre o investimento, podendo tal efeito ser considerado na análise de custo-benefício.** Embora a identificação do efeito seja relativamente clara e suportada por evidências³⁵, sua quantificação e valoração não é trivial, fazendo-se valer as recomendações expostas no Guia ACB acerca dos efeitos indutivos (Capítulo 7).

PONTO DE DECISÃO

Com base na subetapa 2.a e no risco gerado pelos cenários climáticos, é possível estimar (de forma quantitativa) a variação das externalidades?

Caso a quantificação seja possível, realizar a incorporação respectiva a cada cenário climático; caso não, anotar variações percentuais mínimas e máximas plausíveis, para cada variável afetada, de forma a conduzir o teste de estresse.

³⁵ Por exemplo, Tanner et al. (2018) apontam que a redução e gestão eficaz do risco permite que famílias pobres acumulem economias, invistam em ativos produtivos e melhorem seus meios de subsistência.

Quadro 4.6: Exemplo de efeito indutivo pela redução do risco climático

O estudo de caso de ACB em infraestrutura hídrica “projeto de controle de cheias na bacia hidrográfica do rio Muriaé”³⁶, entre os estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro, pretende reduzir o elevado grau de risco associado a tais eventos. Entre os anos de 1991 e 2019, 135 mil pessoas foram afetadas por cheias nos seis municípios contemplados, com perdas econômicas (danos e prejuízos, públicos e privados) estimadas em cerca de R\$ 900 milhões. Os eventos de inundações e enxurradas vêm ocorrendo, na média, a cada 4 anos. Com base em técnicas de econometria, confirmou-se a hipótese de que existem, embora discretas, restrições ao investimento por parte dos agentes econômicos que são atingidos pelas frequentes cheias. O projeto, portanto, é promotor da indução do investimento ao reduzir o risco climático de fundo, e o benefício desse alívio de restrição se soma aos demais considerados na ACB.

³⁶ Disponível em [\[link\]](#).

ETAPA 3

**TOMADA DE DECISÃO
CONSIDERANDO A COM-
PONENTE CLIMÁTICA**

5

■ Objetivo

Sendo a ACB uma **ferramenta de auxílio à tomada de decisões**, o objetivo dessa etapa é a **qualificação desta frente aos riscos trazidos ou majorados pelo clima**. A partir da identificação dos riscos, **deve-se avaliar e analisar como estes podem ser absorvidos pelo projeto (internalizados) ou se permanecerão remanescentes (impossíveis e/ou muito trabalhosos para serem incorporados)**.

Ao cabo dessa análise, os resultados podem tanto indicar a viabilidade social do projeto ou podem apontar, caso se conclua pela presença de riscos remanescentes, para revisões das alternativas de projeto ou mesmo estudos mais aprofundados.

■ Perguntas orientadoras

Efeitos do clima foram incorporados em todos os parâmetros relevantes da ACB? (Etapa 3.a.)

Quão sensíveis são os indicadores econômicos do projeto às alterações em cada cenário adotado? Quais são as variáveis-críticas? (Etapa 3.a)

É necessário propor e avaliar uma nova alternativa de projeto, considerando os elementos de vulnerabilidade revelados? (Etapa 3.b.) Existem repercussões do risco climático específicas para grupos menos favorecidos? (Etapa 3.b.)

A consideração do risco climático afeta as alternativas de intervenção do projeto? (Etapa 3.b.)

■ Relação com o Guia ACB, interações e repercussões da avaliação

Capítulo 8 - Indicadores de viabilidade do projeto

- ◆ Reavaliação dos indicadores de viabilidade do projeto à luz da incorporação do risco climático.

Capítulo 9 - Análise de risco

- ◆ Se o risco climático for incorporado nos custos, benefícios e externalidades, os resultados da ACB refletirão essa componente - a condução das análises complementares pode seguir as recomendações-padrão do Guia ACB.
- ◆ Já quando o risco climático não pôde ser incorporado, tem-se a condução da análise de sensibilidade específica (teste de estresse ou análise probabilística) para as variáveis de maior repercussão nos canais de impacto.

Capítulo 10 - Análise distributiva

- ◆ A mudança do clima pode afetar a distribuição de custos e benefícios entre as partes afetadas pelo projeto, recaindo, por exemplo, sobre grupos menos favorecidos da população.

Capítulo 11 - Alternativas de implementação do projeto e a ACB

- ◆ O risco do clima pode afetar os diferentes atores de maneiras distintas, conforme o modelo de implementação escolhido, devendo ser considerado na fase de avaliação das alternativas de implementação do projeto.

Etapa 3.a. Configuração e condução da análise de sensibilidade

Esta subetapa consiste, primeiramente, em revisar os processos anteriores e assegurar que os efeitos do clima relevantes ao cálculo foram devidamente incorporados nas estimativas da ACB padrão, inclusive os parâmetros do cenário contrafactual.

Caso tenha sido possível incorporar a variação causada pelos cenários de clima em todas as estimativas, passa-se à subetapa 3.b do Anexo, ou seja, aos encaminhamentos finais para tomada de decisão sob risco climático. Pressupõe-se, nesse caso, que os indicadores de viabilidade do projeto refletem o risco climático de forma orgânica, atestando ou não a viabilidade socioeconômica do projeto com a consideração do clima. Adicionalmente, a condução da análise de sensibilidade deve seguir o roteiro descrito no Guia ACB (Capítulo 9), embutindo as incertezas acerca do clima em conjunto com as demais variáveis da análise (ex. parâmetros de projeção da demanda, consumo per capita, disposição a pagar, Capex, Opex etc.). No âmbito da análise de sensibilidade, deverão ser conduzidas a identificação de variáveis críticas e seus valores de inflexão, bem como a análise de cenários - que estuda o impacto de combinações de valores assumidos por variáveis identificadas como críticas em situações “otimistas” e “pessimistas”.

Caso, nas etapas anteriores, por qualquer razão que seja, não tenha sido possível estimar de forma quantitativa os cenários climáticos ou sua repercussão quantitativa na variação causada em uma ou alguma das estimativas (demanda, custos, benefícios ou externalidades), cabe conduzir uma análise de sensibilidade própria para o contexto climático identificado, por meio de um teste de estresse ou análise probabilística de risco. Isso porque, quando a incorporação do risco climático na ACB não é possível, os indicadores de viabilidade resultantes (Δ VSP_L, TRE, IBC) não irão refletir as repercussões dos impactos climáticos ao bem-estar. De

forma análoga, a condução da análise de sensibilidade prescrita pelo Guia ACB no Capítulo 9 não irá capturar, com a devida propriedade, a amplitude e magnitude do risco.

Dessa forma, qualquer parâmetro das estimativas de demandas e ofertas dos cenários base e alternativo(s), dos custos, benefícios e externalidades que podem sofrer alterações devido aos efeitos do clima, precisam passar por uma análise de sensibilidade específica, denominada de teste de estresse. A metodologia prescreve uma análise quantitativa relativamente simplificada para complementar a análise socioeconômica existente de um projeto e destacar considerações importantes para melhorar a resiliência climática, qualificando a decisão acerca da viabilidade do projeto sob tal incerteza.

■ Teste de estresse

A concepção do teste de estresse em muito se assemelha à análise de cenários prescrita na seção de análise de sensibilidade do Guia ACB (Capítulo 9), que estuda o impacto de combinações de valores assumidos por duas variáveis identificadas como críticas em combinações de cenários “otimistas” e “pessimistas”, além do cenário mais provável (default). O resultado dessa análise é uma matriz onde os quadrantes apresentam as combinações assumidas nos cenários por cada uma das variáveis, quais sejam: otimista-otimista, otimista-pessimista, pessimista-otimista, pessimista-pessimista. O teste de estresse ora delineado, como o nome indica, também apresenta o contraste entre situações limites - a diferença sendo que as combinações não se dão entre duas variáveis críticas, mas sim entre situações extremas de (i) um conjunto de variáveis críticas e de (ii) cenários de mudança do clima. Cada um desses dois elementos é abordado na sequência³⁷.

O primeiro elemento do teste de estresse é composto por um **conjunto de variáveis críticas não correlatas ao clima** (ex. parâmetros de projeção da demanda, consumo per capita, disposição a pagar, itens de Capex e Opex etc.), dentre as variáveis utilizadas para a modelagem das demandas e ofertas do cenário base ou alternativos, estimativa de custos, benefícios ou externalidades. A identificação de quais destas são críticas deve seguir o preconizado pelo Guia ACB (Capítulo 9)³⁸. A incerteza acerca do valor assumido para uma dada variável também pode contribuir para sua inclusão no conjunto das “críticas”, desde

³⁷ *O teste de estresse não intenta calcular um impacto esperado ou mais provável, mas sim explicitar as vulnerabilidades do projeto em simulações que permitam informar os tomadores de decisão.*

³⁸ *Variáveis críticas são aquelas cujas variações, positivas ou negativas, têm impacto mais significativo na viabilidade socioeconômica, para as quais uma mudança de ±1% do seu valor inicial ocasiona uma variação absoluta de mais que 1% no ΔVSPL.*

que sua variação seja capaz de influenciar de forma relevante os resultados da ACB. Para cada uma das variáveis críticas, é necessário atribuir seus valores plausíveis em duas situações distintas:

Otimista, no qual os fluxos de benefícios e custos refletem uma situação vantajosa para a implementação do projeto; e

Pessimista, no qual as incertezas não relacionadas ao clima se desdobram de forma negativa, ou seja, refletindo situações indesejadas (porém plausíveis) para a implementação do projeto.

Os valores otimistas e pessimistas das variáveis (não correlatas ao clima) devem ter, sempre que possível, referências em base dados históricos e experiências passadas. **A produção dos cenários “otimista” e “pessimista” se dá por meio da variação concomitante das variáveis críticas em cada caso, representando variações, respectivamente, para mais e para menos, nos seus valores, desconsiderando o efeito da mudança do clima.**

Já o segundo elemento do teste de estresse é composto por ao menos dois **cenários climáticos**, que também assumem perfis “otimista” e “pessimista”. O primeiro é aquele de menor impacto negativo ou, eventualmente, o que representa o impacto positivo da mudança do clima; já o segundo é o de maior impacto negativo. A subetapa 2.a deste Anexo deve permitir, mesmo que baseada em intervalos de variação grosseiros, estabelecer tais cenários.

As referências para o estabelecimento das variações podem ser oriundas de estimativas baseadas nos dados históricos, referências acadêmicas, registros de experiências históricas, parâmetros setoriais ou julgamento de especialistas

Com base na sequência das subetapas 2.b, 2.c, 2.d e 2.e deste Anexo, para as variáveis de maior repercussão nos canais de impacto do risco climático³⁹, devem-se atribuir variações plausíveis em decorrência das variações climáticas otimista e pessimista. **Estas variações, claramente, não serão precisas - caso fossem, poderiam ter sido incorporadas na ACB - mas sequer necessitam ser: objetiva-se identificar limites que qualificam a tomada de decisões em detrimento a falsas atestações de viabilidade que podem esconder riscos significativos⁴⁰.**

³⁹ Idealmente, as diferentes categorias de custos, benefícios e externalidades devem ser discriminadas, permitindo que o teste de estresse aponte os impactos individualizados.

⁴⁰ Cabe lembrar a frase do matemático americano John W. Tukey: “melhor uma resposta aproximada à uma pergunta certa, que é muitas vezes vaga, do que uma resposta exata para a pergunta errada, que sempre pode-se fazer soar precisa” (tradução livre).

Uma vez que os intervalos de variações otimistas e pessimistas são definidos - tanto para o conjunto de variáveis críticas como para as variáveis que repercutem o risco climático - o teste de estresse se operacionaliza pela produção de indicadores de viabilidade alternativos, que podem então ser analisados em contraste aos resultados default, conforme a Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Ilustração do resultado do teste de estresse

Indicadores de viabilidade resultantes (Δ VSP; TRE; IBC)		Conjunto de variáveis críticas (independentes do clima)		
		Otimista	Default	Pessimista
Cenários climáticos	Otimista	otimista-otimista	otimista-default	otimista-pessimista
	Default	default-otimista	default-default	default-pessimista
	Pessimista	pessimista-otimista	pessimista-default	pessimista-pessimista

Fonte: Adaptado de IPCC (2021).

A partir da configuração inicial do teste de estresse, torna-se possível obter os resultados para as diferentes combinações de cenários, de maior otimismo e pessimismo, permitindo inferir sobre a resiliência do projeto. Além disso, pela análise de sensibilidade (vide Guia ACB, Cap. 9), é possível variar, de forma independente, as variáveis relacionadas aos estudos de demanda, custos, valores sociais dos benefícios, magnitude do impacto de eventos extremos, mudança na frequência de eventos extremos etc.

Quadro 5.1: Princípios para a escolha de cenários otimistas e pessimistas

Segundo guia do Banco Mundial (2021), que discute a condução de teste de estresse para consideração do risco climático na avaliação socioeconômica de projetos, as seguintes justificativas favorecem a adoção de uma gama ampla de variações para os cenários otimistas e pessimistas: (i) uma vez que o objetivo é identificar vulnerabilidades, é mais adequado superestimar do que subestimar a incerteza; (ii) quando o projeto tem risco de falha catastrófica, é importante identificar este risco, mesmo quando associado a uma baixa probabilidade de ocorrência; (iii) explorar cenários de baixa probabilidade é também uma boa maneira de se contornar a tendência inata de subestimar riscos oriundos de grandes mudanças ou eventos extremos.

■ Análise probabilística de riscos climáticos

O teste de estresse descrito acima pode ser substituído, com vantagens, pela condução da **análise probabilística de riscos pela metodologia de Monte Carlo**. Segundo o Guia ACB (Capítulo 9), trata-se de uma avaliação mais sofisticada que resulta em uma vasta gama de resultados, produzidos com base na alteração simultânea, sucessiva e aleatória de variações para as variáveis críticas e para os cenários de clima. A análise de Monte Carlo permite combinar incertezas cumulativas, capturando interações não lineares entre as variáveis e incertezas correlacionadas. É importante ressaltar que a análise probabilística (Monte Carlo) verifica o intervalo de confiança dos indicadores de viabilidade socioeconômica atribuindo uma função de distribuição de probabilidade às variáveis de entrada da ACB. **A realização dessa análise percorre os mesmos passos do teste de estresse, adicionados da atribuição de uma distribuição de probabilidades para cada elemento.**

Etapa 3.b. Encaminhamentos da ACB com a consideração climática

Uma vez que todos os parâmetros alterados pelo clima foram, ou incorporados nos cálculos, ou submetidos à análise de sensibilidade (*teste de estresse*), o analista deve registrar no Relatório da ACB um resumo deste processo, identificando as principais vulnerabilidades do projeto nos cenários climáticos. Ou seja, a partir da incorporação de alterações causadas pelo clima nos parâmetros ou da análise de sensibilidade, avalia-se quais elementos do projeto são mais sensíveis e suscetíveis aos cenários climáticos futuros.

Os registros desse processo de incorporação (todas as etapas), assim como dos resultados dos eventuais testes de estresse servirão de insumo para recomendações posteriores de aprofundamentos necessários na própria ACB e sobretudo no refinamento do projeto e suas alternativas. Por exemplo, se identificada a vulnerabilidade excessiva da operação de um porto, e por consequência sua performance socioeconômica, à alteração na frequência e intensidade futura de tempestades marítimas, o proponente de projeto terá rica informação para conceber alternativas de projeto e de operação que respondam melhor a tais circunstâncias.

■ Gerenciamento a incerteza

As conclusões geradas pela análise de sensibilidade do projeto sob risco climático, permitem gerenciar a incerteza e qualificar a tomada de decisões acerca da viabilidade do projeto. Ao se

identificar, por exemplo, que um projeto se mantém viável mesmo nas condições pessimistas, tem-se atestação de um projeto robusto. Pode-se identificar que o projeto, ao embutir determinadas medidas de adaptação, se prova custo-benefício mesmo na ausência da manifestação dos impactos da mudança do clima: alternativa classificada como sem arrependimento (*no-regret*), que agrupa bem-estar social sob quaisquer cenários futuros. Outra possibilidade é a identificação de medidas de adaptação que tornam um projeto custo-benefício mediante pequenos gastos adicionais que dão conta dos impactos negativos da mudança do clima - medidas de baixo arrependimento (*low-regret*)⁴¹.

Se o resultado da análise sugerir, por outro lado, que o ΔVSPL do projeto só é positivo em cenários otimistas, ou sem influência das mudanças climáticas, então o projeto não é mesmo viável. Já um projeto que é negativo apenas no cenário climático pessimista, ainda pode ser interpretado como um bom projeto, caso apresente retornos positivos nos demais casos - e que a ocorrência do risco não resulte em catástrofe. Aceitar que um projeto pode falhar em casos pessimistas evidencia a necessidade de considerar formas alternativas de gerenciamento do risco remanescente (ex. contratação de seguros, implantação em fases ou mesmo aprimoramentos ao design que podem ser realizados em momentos futuros).

Ao cabo dessa análise, os resultados podem indicar a presença de riscos remanescentes inaceitáveis, situações que obrigam repensar a concepção do projeto e o desenho de suas alternativas⁴². Encaminhamentos possíveis perpassam, dentre outros: a tomada de novos dados e estudos para fornecer estimativas mais precisas acerca da probabilidade e plausibilidade do risco climático; a concepção de alternativas combinadas de infraestrutura (*grey*), medidas de gestão (*soft*) e Soluções baseadas na Natureza (*green*); identificação de oportunidades complementares de adaptação para a geração de co-benefícios (ex. em um projeto vulnerável a riscos de inundações, pode-se adicionar um componente de gestão desse risco).

⁴¹ Como exemplo, considere medidas que tornem determinada infraestrutura portuária resiliente a marés 50 cm mais elevadas que as médias históricas. Se for executada (praticamente) sem custos adicionais (ex. via SbN), seriam medidas do tipo *no-regret*; se executadas com baixos custos adicionais (ex. via defensas marginalmente maiores), seria do tipo *low-regret*, caso a elevação de marés não venha a ocorrer.

⁴² Uma resposta eficiente ao risco climático poderá ser a de aceitar determinados riscos, mesmo com a implementação de medidas de adaptação, uma vez que seria impossível ou muito custoso mitigá-los adequadamente.

■ Tomada de decisões considerando a mudança do clima

Os resultados da análise socioeconômica de um projeto sob risco climático, especialmente quando este aborda alternativas de adaptação e resiliência à mudança do clima, podem gerar (grosso modo) três diferentes tipos de decisão. O **primeiro** deles é a realização da adaptação desde a concepção do projeto - o que decorre de resultados sem arrependimento ou de baixo arrependimento, nos quais os custos sociais da adaptação são menores (relativamente) do que os benefícios e co-benefícios por eles promovidos. Outra situação que pode levar à adaptação imediata decorre da inviabilidade técnica de se realizar a adaptação em um momento futuro.

O **segundo** tipo de decisão se dá a partir de resultados da análise socioeconômica que apontam para a inviabilidade de se investir imediatamente na adaptação do projeto. Pode-se investigar a possibilidade de preparar o projeto para a mudança do clima mediante a realização de investimentos mínimos no momento da concepção e implementação do projeto para garantir que este possa vir a ser adaptado no futuro, se e quando as circunstâncias indicarem ser propício. Trata-se de preservar a flexibilidade para se investir na resiliência climática (valor de opção) à medida que a observação da mudança do clima aponte para a direção de maior risco. Nem todas as infraestruturas poderão considerar, tecnicamente, essa opção.

Por fim, um **terceiro** tipo de decisão pode ser o de implementar o projeto sem as medidas de adaptação, aguardando mais informações sobre a mudança do clima e seus impactos na infraestrutura para que o investimento ocorra, em momento posterior, se e quando necessário. Essa decisão pode decorrer de custos de adaptação proibitivamente altos no presente, não compensados pelos benefícios e co-benefícios esperados. Essa decisão pode também ser tomada mediante a identificação de que os de adaptação serão menores em um momento posterior (ex. adoção de uma determinada tecnologia que passa a estar disponível).

A incorporação do risco climático e suas medidas de adaptação e resiliência, quando realizadas desde o início do ciclo de vida do projeto, não implica que medidas precisem ser implementadas desde o primeiro ano. Implica, no entanto, que as decisões sobre a concepção do projeto (cenários alternativos) e a adoção de um cronograma de implementação de medidas de adaptação (*grey, soft* ou *green*) estejam avaliadas e informadas desde as fases iniciais - e que sejam evitadas decisões de natureza irreversível.

■ Considerações acerca da questão distributiva

Os impactos adversos das mudanças climáticas são sentidos de maneira mais aguda pelos grupos da sociedade que já experimentam marginalização e vulnerabilidade socioeconômica, cuja a capacidade de adaptação é ainda mais limitada (Venn, 2019). Especialmente quando da ocorrência de desastres, geralmente as parcelas menos favorecidas da população acabam sendo as mais afetadas, seja pela maior exposição (ex. ocupação de áreas periféricas, infraestrutura menos adequada) e/ou pela maior vulnerabilidade (ex. menor capacidade de lidar com as consequências do evento).

É fundamental, portanto, atualizar a etapa de análise distributiva (Capítulo 10 do Guia ACB) do projeto considerando os riscos climáticos de modo a subsidiar uma tomada de decisão baseada também em princípios de justiça social e equidade. Os efeitos distributivos de projetos de infraestrutura devem levar em consideração o compartilhamento dos custos e benefícios entre diferentes grupos populacionais (por faixa de renda, região geográfica etc.) e entre as gerações presentes e futuras (distribuição intergeracional). Sempre que pertinente, essa distinção deve ser pormenorizada e incluída na tabela de incidência de benefícios (vide subcapítulo sobre matriz de *stakeholders* do Guia ACB).

O detalhamento dos impactos por grupo da sociedade pode ser feito principalmente a partir da estimativa do valor das perdas projetadas/evitadas que os diferentes cenários em análise podem resultar. Conforme já explicitado ao longo deste Anexo, danos (materiais) se referem às danificações em habitações, infraestrutura e em instalações públicas e privadas, geralmente apresentadas em números (ex.: cinquenta casas afetadas) ou em valores monetários. Prejuízos (imateriais) se referem às perdas reportadas nos setores público (ex.: interrupção de serviços essenciais como abastecimento de água) e no setor privado (ex.: interrupção das atividades de uma indústria). Além de parâmetros já disponíveis no Anexo I do Guia ACB (Catálogo de Parâmetros), como o valor de uma morte evitada (ou o valor de uma vida estatística), podem também ser utilizados dados históricos da região do projeto (ou região semelhante) das perdas e danos provocadas por tempestades, inundações, secas severas, entre outros impactos climáticos.

■ Considerações acerca das alternativas de implementação

O Capítulo 11 do Guia ACB aborda as alternativas de implementação do projeto, avaliação na qual a consideração do risco climático pode contribuir, principalmente ao se considerar as dimensões subsequentes do Modelo de Cinco Dimensões, quais sejam a Comercial, Financeira e Gerencial. Sobretudo na determinação da distribuição de riscos entre agentes públicos e privados em investimentos, a análise de sensibilidade pode gerar ricos insumos.

Embora existam interesses privados em agregar resiliência ao projeto, instituições governamentais também podem contribuir com a adequada divisão dos riscos em uma concessão, por exemplo. Buscar a resiliência climática deve ser do interesse de proprietários, operadores e investidores das infraestruturas, uma vez que afetam seus retornos de investimento, continuidade de negócios ou conformidade com os reguladores. No entanto, mesmo estando em melhor posição para gerenciar riscos de suas operações e determinar as estratégias de mitigação mais apropriadas, a falta de informações sobre riscos climáticos, visão de curto prazo ou incentivos regulatórios desalinhados, a ausência ou fragilidade de contratos explícitos ou bem definidos quanto à responsabilidade de riscos (climáticos, no caso), podem atuar como barreiras à adaptação com consequências sociais mais amplas. Assim, governos têm reconhecido o papel das políticas públicas e o alinhamento das suas instituições governamentais em garantir que investimentos públicos futuros resultem em uma maior resiliência, evitem aumentos de vulnerabilidades irreversíveis e não tragam maiores custos sociais. Há, portanto, uma importante interseção entre a análise distributiva e as estratégias de implementação sob risco climático.

PONTO DE DECISÃO

Caso a(s) alternativa(s) de projeto se mostrem satisfatórias do ponto de vista socioeconômico e igualmente resilientes a cenários climáticos futuros, a ACB se finaliza com recomendações. Caso as melhores alternativas não se mostrem resilientes, deve-se retomar o processo inicial de definição de alternativas de projeto a fim de conceber novas alternativas que sejam resilientes aos riscos climáticos identificados e retomar todo o processo de avaliação.

Quadro 5.2: Má adaptação (*maladaptation*)

Uma forma de má adaptação se dá ao negligenciar o risco: caso um projeto de risco moderado ou alto não promova a adaptação, sua execução pode exacerbar a exposição dos sistemas naturais e humanos à mudança do clima (ex. promovendo a ocupação ou a atividade econômica em uma área de risco).

A má adaptação também pode resultar de medidas ostensivas para reduzir o risco climático de um projeto que, intencionalmente ou não, geram aumento da vulnerabilidade de outros projetos, sistemas, setores ou grupos sociais. Uma vez que tais resultados adversos impactam negativamente o bem-estar social, na medida em que possam ser identificados, quantificados e valorizados, devem ser incorporados na avaliação socioeconômica como externalidades negativas. Ademais, devem ser analisados à luz da análise distributiva (Cap. 10 do Guia ACB).



FONTES DE INFORMAÇÕES E BASES DE DADOS



Recursos informacionais no campo da ciência climática ou relacionados aos riscos e impactos, apresentam dados, informações e análises em diversos formatos, tais como: variáveis climáticas e projeções de clima (ex. temperatura, precipitação, umidade, velocidade do vento etc.); análises de variáveis climáticas e projeções de clima (ex. tendências de temperatura e precipitação etc.); impactos climáticos secundários (ex. mapas de inundação, rendimento de culturas etc.); ou ainda abordando vulnerabilidades e opções de resposta (ex. mapas de pobreza, portfólios de medidas de adaptação à mudança do clima etc.). A aplicabilidade desses recursos, principalmente no caso de dados primários e secundários, tende a depender de alguma capacidade técnica, além de muitas vezes requerer procedimentos específicos para seu uso e obtenção de produtos analíticos.

A Tabela 6.1 apresenta uma classificação instrumental de fontes de dados climáticos em dois grandes grupos, visando auxiliar na compreensão tipológica dos recursos disponíveis.

Tabela 6.1: Tipologias de recursos de fontes e dados climáticos

Recursos	Observados / Históricos	Projeções
Dados hidrometeoceanográficos	Ex. banco de dados de séries históricas de chuvas	Ex.: projeções de precipitação geradas por modelos de clima
Impactos e vulnerabilidades	Ex. perdas e danos municipais causados por enchentes	Ex.: projeções de disponibilidade hídrica futura para abastecimento humano e/ou outros setores

Fonte: Elaboração própria.

De 35 fontes de dados e informações climáticas levantadas, 25 fornecem dados hidrometeoceanográficos, enquanto 10 disponibilizam conteúdo abordando vulnerabilidades, riscos e impactos. Em relação ao recorte temporal, 19 fontes contêm dados de natureza histórica e observacional, enquanto 15 fornecem produtos de projeções climáticas obtidas por meio de recursos de modelagem. A maior parte das fontes cobrindo dados hidrometeoceanográficos disponibilizam dados primários de variáveis climáticas e indicadores de eventos extremos.

A utilização desses dados, em muitos casos, requer capacidades específicas para o devido processamento dos grandes conjuntos de

variáveis climáticas, contidos em formatos de arquivo que exigem conhecimento especializado para extração. Por isso, muitas das fontes foram classificadas como requerendo elevada expertise por parte do analista.

No entanto, quanto mais acessível o formato e visualização dos dados, menor tende a ser a resolução espacial e geográfica das informações, o que reforça a necessidade de avaliar a pertinência de cada tipo de recurso em relação ao nível de detalhamento pretendido pela ACB. Assim, dados primários, de alta resolução espacial e em frequência diária, por exemplo, serão mais adequados no caso de uma ACB Completa (ou detalhada), que nessa fase deverá contar, então, com especialistas para o processamento e análise de dados climáticos, principalmente se o projeto identificar a necessidade de considerar múltiplos cenários e modelos de projeção de clima.

Tabela 6.2: Fontes de Dados e Informações Climáticas (em ordem alfabética, versão simplificada) (continua)

Ref.	Fonte	Autor/Organização	Descrição resumida	Tipo de informação	Recorte temporal	Projeto	Grupo de expertise	Link de acesso
1	Adaptabrasil	MCTI	Plataforma de índices e indicadores de risco de impactos da mudança do clima no Brasil	Histórico	●	Baixo	https://adaptabrasil.mcti.gov.br/	
2	Aqua Monitor	Deltas	Mudanças globais na superfície de água entre 1985 e 2016	●		Baixo	https://aqua-monitor.appspot.com/	
3	Brazilian Daily Weather Gridded Data (BR-DWD)	Xavier et al. (2022)	Dados diários de 6 variáveis em alta resolução para todo o território brasileiro entre 1961-2020	●	●	Alto	https://sites.google.com/site/alexandredavidoxavieirutes/brazilian-daily-weather-gridded-data?authuser=1	
4	CCAFS-Climate data portal	CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS)	Projeções para variáveis climáticas anuais e mensais de precipitação e temperatura de 2026 a 2100	●	●	Alto	http://ccafs-climate.org/	
5	CEMADEN - Mapa Interativo de Desastres Naturais	Cemaden - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais	Plataforma de consulta aos dados da rede observacional do Cemaden (pluviômetros, estações hidrológicas e radares meteorológicos)	●	●	Baixo-Médio	http://www2.cemaden.gov.br/mapainterativo/#	
6	Centros estaduais de monitoramento hidrometeorológico	Diversos centros estaduais, tais como EFAGR/CRAM em Santa Catarina, SIMEP/FAE no Paraná e DAEE em São Paulo	Diversas informações, com ênfase nos dados de monitoramento hidrológicos	●	●	-	Exemplos: EFAGR/CRAM (http://ciram.epagri.sc.gov.br/SIMEPAR (http://www.simepar.br), DAEE-SP (http://www.daae.sp.gov.br/site/hidrologia)	
7	Chelsa climate	Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research WSL	Valores globais diários, mensais e anuais de diferentes variáveis climáticas derivadas de temperatura e precipitação entre 1979 e 2016. Projeções de clima para o CMIP5 e CMIP6	●	●	Alto	https://chelsa-climate.org	
8	Climate Change Knowledge Portal (CCKP)	The World Bank Group	Dados de precipitação e temperatura mensais, anuais ou sazonais no período entre 1901-2020. Produtos de projeções climáticas para o CMIP5 e CMIP6	●	●	Baixo a Alto (vários módulos)	https://climatedataknowledgeportal.worldbank.org/country/brazil/climate-data-historical	

Tabela 6.2: Fontes de Dados e Informações Climáticas (em ordem alfabética, versão simplificada) (continua)

Ref.	Fonte	Autor/Organização	Descrição resumida	Tipo de informação		Recone temporal	Grau de expertise requerido	Link de acesso
				Historico	Projeto			
9	Climate Hazards Center Infrared Precipitation with Station data (CHIRPS) e CHIRTS daily	Climate Hazards Center	Dados globais de precipitação e temperaturas máximas e mínimas diárias	●	●	Alto	https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps	
10	Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store	União Europeia/ECMWF	Diferentes conjuntos de dados históricos e futuros para múltiplas variáveis e regiões do globo	●	●	Alto	https://cds.climate.copernicus.eu/#/home	
11	Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013)	Xavier et al. (2016)	Dados diários de 6 variáveis para todo o território brasileiro entre 1980–2013	●	●	Alto	https://uTEXAS.apo.box.com/y/Xavier-etal-IJOC-DATA	
12	Earth System Research Laboratory (ESRL)	NOAA Physical Sciences Laboratory (PSL)	Dados diários, mensais, anuais e sazonais para produtos de reanálise de diferentes variáveis	●	●	Alto	https://psl.noaa.gov/cbg-bin/data/geopage.pl	
13	ESGF Portal	Department of Energy Lawrence Livermore National Laboratory	Resultados de diferentes projetos envolvendo modelos climáticos globais	●	●	Alto	https://esgf-node.llnl.gov/search/esgf-llnl/	
14	Global Climate Monitor	University of Seville Climate Research Group	Dados mensais, anuais, normais e tendências lineares para precipitação, temperatura e evapotranspiração potencial desde 1901	●	●	Baixo-Médio	https://www.globalclimatemonitor.org/	
15	Global Historical Climate Network (GHCN)	National Centers for Environmental Information	Dados diários e mensais para 100.000 estações meteorológicas em 180 países	●	●	Médio	https://www.ncdc.noaa.gov/products/land-based-station/global-historical-climatology-network-daily	
16	Global Land Data Assimilation System (GLDAS)	NASA Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC)	Escoamento superficial, fluxo de águas subterrâneas, fluxos de calor, de umidade, umidade do solo, precipitação, ventos, neve, temperatura da superfície da terra, evapotranspiração em nível global desde 1948	●	●	Alto	https://ldas.gsfc.nasa.gov/gldas	

Tabela 6.2: Fontes de Dados e Informações Climáticas (em ordem alfabética, versão simplificada) (continua)

Ref.	Fonte	Autor/Organização	Descrição resumida	Tipo de informação	Recorte temporal	Projégeos	Grau de expertise	Link de acesso
17	Global Risk Data Platform	UNEP / UNISDR	Dados globais de risco para desastres naturais, incluindo secas, inundações, tempestades e deslizamentos, entre outros.	● Vulnerabilidade e impactos	●		Médio	https://preview.grid.unep.ch/index.php?preview=home&lang=eng
18	GloH2O	GloH2O.org	Produtos de dados climáticos e meteorológicos de alta qualidade, mesmo para locais sem estações ou dados observados.	●	●		Alto	http://www.gloh2o.org
19	Hidroweb	Agência Nacional de Águas	Séries históricas diárias de precipitação e vazão para 4.641 pontos de monitoramento no país	●	●		Alto	https://www.snhh.gov.br/hidroweb/apresentacao
20	Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento	Informações meteorológicas para todo o território brasileiro, incluindo produtos como: normais climatológicas; previsão climática; monitoramento; banco de dados meteorológicos históricos; entre outros.	●	●		Médio	https://portalinmet.gov.br
21	IPCC Data Distribution Centre	IPCC Task Group on Data	Produtos dos modelos climáticos globais para o CMIP3, CMIP5 e CMIP6.	●	●		Alto	https://ipcc-data.org
22	IPCC WGI Interactive Atlas	IPCC Working Group I	Ferramenta para análises espaciais e temporais flexíveis de grande parte das informações sobre mudanças do clima observadas e projetadas que sustentam a contribuição do Working Group I (Grupo de Trabalho I) para o Sexto Relatório de Avaliação	●	●	●	Baixo a Alto (vários módulos)	https://interactive-atlas.ipcc.ch
23	KNMI Climate Explorer	World Meteorological Organization	Precipitação mensal, temperatura e pressão do ar para regiões, países ou pontos do globo.	●	●		Médio-Alto	https://climexp.knmi.nl/plot_atlas_form.py
24	MapBiomass	Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Observatório do Clima (SEEG/OC)	Mapamento anual da cobertura e uso do solo e monitoramento a superfície de água e cicatrizes de fogo mensalmente com dados a partir de 1985.	●	●		Baixo	https://mapbiomas.org/

Tabela 6.2: Fontes de Dados e Informações Climáticas (em ordem alfabética, versão simplificada) (continua)

Ref.	Fonte	Autor/Organização	Descrição resumida	Tipo de informação		Reorte temporal	Grau de expertise requerido	Link de acesso
				Dados hidrometeorológicos	Riscos e impactos			
25	NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections (NEX- GDP)	NASA Center for Climate Simulation	Diferentes conjuntos de dados cobrindo cenários de mudanças do clima para 21 GCMs do CMIP6 regionalizados para o período 1950-2100, para precipitação e temperaturas máximas e mínimas, entre outras variáveis.	●		●	Alto	https://www.ncdc.noaa.gov/services/climate-data-services
26	NASA Sea Level Change Data Analysis Tool (DAT)	NASA/JPL Earthdata	Mapa interativo mostrando as mudanças observadas em variáveis-chave para o oceano e áreas costeiras.	●	●	●	Alto	https://sealevel.nasa.gov/data-analysis-tool/
27	NASA Sea Level Projection Tool	NASA Observations from Space	Mapa interativo que permite ao usuário consultar as projeções de nível do mar contidas no 6º Relatório de Avaliação do IPCC.	●		●	Baixo	https://sealevel.ipcc-ar6-sea-level-projection-tool
28	Observatório dos desastres naturais	CMN - Confederação Nacional de Municípios	Banco de publicações contendo levantamento de dados e informações das anomalias provocadas por desastres naturais nos municípios brasileiros		●		Baixo	https://desastres.cnm.org.br
29	PERSIANN (Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks)	Center for Hydrometeorology and Remote Sensing (CIRS) at the University of California, Irvine (UCI)	Dados estimados de precipitação diárias, mensais e anuais globais para os períodos 2000-Atual, 2003-Atual e 1985-Atual.	●		●	Alto	http://chrsdata.engr.uci.edu/
30	Projeções climáticas no Brasil	INPE	Projeções de mudança do clima sobre o território brasileiro a partir de modelagens brasileiras e internacionais.	●			Alto	http://pclima.inpe.br/
31	ProjEra	Ministério do Meio Ambiente (MMA); Cptec/INPE; UFF; GIZ	Projeções de mudança do clima para a América do Sul regionalizadas pelo modelo Era	●	●		Alto	https://projeta.cptec.inpe.br/

Tabela 6.2: Fontes de Dados e Informações Climáticas (em ordem alfabética, versão simplificada) (conclusão)

Ref.	Fonte	Autor/Organização	Descrição resumida	Tipo de informação		Reorte temporal	Grau de expertise redundado	Link de acesso
				Dados hidrometeorológicos anorgânicos	Riscos e imprecisões vulnerabilidade			
32	Relatório de danos materiais e prejuízos decorrentes de desastres naturais no Brasil: 1995 – 2019	CEPED/UFS	Danos e prejuízos materiais com diversas tipologias e associados a desastres climatológicos e hidrometeorológicos por município	●			Médio	https://relatorioideadesastres.ceped.ufsc.br
33	S2ID-Sistema Integrado de Informações sobre Desastres	MDR	Informações principais sobre os Reconhecimentos Federais de Situação de Emergência e Estado de Calamidade Pública	●			Baixo	https://s2id.mci.gov.br/
34	Surging Seas - Coastal Risk Screening Tool	Climate Central - Program on Sea Level Rise	Mapa interativo mostrando áreas ameaçadas pelo aumento do nível do mar e inundações costeiras. Combinando o modelo global mais avançado de elevações costeiras com as projeções mais recentes para níveis futuros de inundação.	●	●		Baixo	https://sealevel.climatecentral.org/maps/
36	Thinkhazard	Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (GFDRR)/The World Bank Group	Visão geral de riscos climáticos por país, incluindo inundações fluviais e urbanas, terremoto, deslizamento de terra, incêndio, escassez de água, calor extremo, inundações costeira, ciclone, tsunami e erupções vulcânicas.	●			Baixo	https://thinkhazard.org/en/
36	WorldClim	Fick, S.E. and R.J. Hijmans	Médias mensais para diferentes variáveis no período entre 1970-2000. Dados climáticos futuros regionalizados do CMIP6, fornecendo valores mensais de temperatura mínima, temperatura máxima e precipitação entre 2021-2100	●	●		Alto	https://www.worldclim.org/

Fonte: elaboração própria.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. 1985. NBR nº. 5422 - Projeto de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica.

AECOM/Australian Government. 2012. *Economic framework for analysis of climate change adaptation options*. Disponível em: <https://www.awe.gov.au/sites/default/files/documents/economic-framework-adaptation-options.pdf>.

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA. 2016. *Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens: Diretrizes Para Elaboração de Projetos de Barragens*. Brasília: ANA. 156 p. Disponível em [\[link\]](#).

Agência Nacional de Transportes Aquaviários - ANTAQ e Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável por meio da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. 2021. *Impactos e riscos da mudança do clima nos portos públicos costeiros brasileiros*. ANTAQ, Brasília. Disponível em [\[link\]](#).

Banco Mundial / World Bank. 2022. *Climate change knowledge portal - CCKP*. Washington, D.C.: World Bank. Disponível em [\[link\]](#).

Brasil. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações - MCTI. 2021. *Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima*. Brasília.

Brasil. Ministério da Economia. *Guia Geral de Análise Socioeconômica de Custo-Benefício de Projetos de Investimento em Infraestrutura (Guia ACB)*. Versão 3: 2022. [\[link\]](#)

Brasil. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009 que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. Presidência da República, Casa Civil. Disponível em [\[link\]](#).

Boulton, C.A., Lenton, T.M. & Boers, N. 2022. *Pronounced loss of Amazon rainforest resilience since the early 2000s*. Nat. Clim. Chang. 12, 271–278.

Convention on Biological Diversity - CBD. 2015. *Climate Change*. Disponível em [\[link\]](#).

Comissão Europeia - CE. 2013. *Guidelines for Project Managers: Making vulnerable investments climate resilient*. European Commission (Comissão Europeia), Directorate General - Climate Action. Disponível

em [[link](#)].

Comissão Europeia - CE. 2015. *Final Report of the Horizon 2020 Expert Group on Nature-Based Solutions and Re-Naturing Cities*. European Commission (Comissão Europeia).

Dawson, R. J. (ed.). 2016. *A Climate Change Report Card for Infrastructure*. LWEC Report Card. Living With Environmental Change. Disponível em [[link](#)].

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. 2006. *Diretrizes básicas para estudos e projetos rodoviários: escopos básicos / instruções de serviço*. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 3. ed. - Rio de Janeiro. Disponível em [[link](#)].

German Environment Agency - GER. 2017. *Guidelines for Climate Impact and Vulnerability Assessments*. Recommendations of the Interministerial Working Group on Adaptation to Climate Change of the German Federal Government. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. Disponível em [[link](#)].

Hausfather, Z.; Peters, G. P. 2020. *Emissions: the 'business as usual' story is misleading*. Nature, v. 577, n. 7792, p. 618–620. Disponível em [[link](#)].

IISD. 2014. *The Economic Implications of Climate Change on Transportation Assets: An analysis framework*. August issue. Disponível em [[link](#)].

Infrastructure Australia. 2018. *Assessment Framework For initiatives and projects to be included in the Infrastructure Priority List*. In Encyclopedia of Science Education. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6165-0_18-2

IPCC, 2021. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2338 pp., doi:10.1017/9781009157896.

IPCC, 2022. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.

LAPP. 2011. *PIEVC Engineering Protocol For Infrastructure Vulnerability Assessment and Adaptation to a Changing Climate*. Revision. October. Disponível em [\[link\]](#).

Lim, Bo; Spanger-Siegfried, Erika; Burton, Ian; Malone, Elizabeth; Huq, Saleemul. 2005. *Adaptation policy frameworks for climate change: developing strategies, policies and measures*. PNUD.

National Grid Electricity Transmission. 2021. *Climate Change Adaptation Report*. Disponível em: <https://www.nationalgrid.com/electricity-transmission/document/143211/download>.

Neumann JE, Chinowsky P, Helman J, Black M, Fant C, Strzepek K, Martinich J. 2021. *Climate effects on US infrastructure: the economics of adaptation for rail, roads, and coastal development*. Clim Change. Aug 19;167(44). doi:[10.1007/s10584-021-03179-w](https://doi.org/10.1007/s10584-021-03179-w).

New Zealand Government. 2020. *CBAx Tool User Guidance - Guide for departments and agencies using Treasury's CBAx tool for cost benefit analysis*. New Zealand Government, September. Disponível em [\[link\]](#).

Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico - OCDE / OECD. 2011. *Integração da Adaptação às Alterações Climáticas na Cooperação para o Desenvolvimento: Guia para o Desenvolvimento de Política*. OECD Publishing, Paris. Disponível em [\[link\]](#).

Olsen, A. et al. 2015. *Comparing Methods of Calculating Expected Annual Damage in Urban Pluvial Flood Risk Assessments*. Water 2015, 7, 255-270; doi:10.3390/w7010255

Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas - PBMC. 2013. *Sumário Executivo do Primeiro Relatório de Avaliação Nacional - Volume 1: Base Científica das Mudanças Climáticas*.

Quay, R. 2010. *Anticipatory Governance - A Tool for Climate Change Adaptation*. Journal of the American Planning Association vol. 76, nº 4.

Schwalm C.R., Glendon S., Duffy P.B. 2020. *Reply to Hausfather and Peters: RCP8.5 is neither problematic nor misleading*. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 117, 27793–27794.

Silvério D. V., Brando P. M., Balch J. K., Putz F. E., Nepstad D. C., Oliveira-Santos C. and Bustamante M. M. C. 2013. *Testing the Amazon savannization hypothesis: fire effects on invasion of a neotropical forest by native cerrado and exotic pasture grasses*. Phil. Trans. R. Soc. DOI <http://doi.org/10.1098/rstb.2012.0427>

Smit, B., Burton, I., Klein, R.J. et al. 2000. *An Anatomy of Adaptation to Climate Change and Variability*. Climatic Change 45, 223–251.

Scientific Panel for the Amazon - SPA / Painel Científico para a Amazônia. 2021. *Amazon Assessment Report*. Policy Brief. Disponível em [\[link\]](#).

Tanner, T, Surminski, S, Wilkinson, E, Reid, R, Rentschler, J, and Rajput, S. 2018. *The Triple Dividend of Resilience: Realizing Development Goals Through the Multiple Benefits of Disaster Risk Management*. The World Bank Group (Banco Mundial). Disponível em [\[link\]](#).

The Asian Development Bank - ADB. 2015. *Economic Analysis of Climate-Proofing Investments Projects*. In *Economic Analysis of Jobs Investment Projects*. <https://doi.org/10.1596/28219>.

UK Department for Environment, Food and Rural Affairs. 2020. *Accounting for the effects of climate change: Supplementary Green Book Guidance*. In HM Treasury.

United Nations Development Programme - UNDP. 2019. *UNDP and Climate Change Zero Carbon, Sustainable Development*. UNDP.

USAID 2013. *Methods for economic analysis of climate change adaptation interventions*. United States Agency for International Development (USAID).

van der Ploeg, F.; Rezai, A. 2022. *Stranded Assets in the Transition to a Carbon-Free Economy*. Annual Review of Resource Economics. 12 (1): 281–298. Disponível em [\[link\]](#).

Venn, A., 2019. *Social justice and climate change*. In Managing global warming (pp. 711-728). Academic Press.

Watkiss, P., Wilby, R., & Rodgers, C. A. 2020. *Principles of Climate Risk Management for Climate Proofing Projects*. Asian Development Bank, 2020, July (No. 69), 50. Disponível em [\[link\]](#).

World Bank [Stephane Hallegatte, Rubaina Anjum, Paolo Avner, Ammara Shariq, Michelle Winglee, Camilla Knudsen]. 2021. *Integrating Climate Change and Natural Disasters in the Economic Analysis of Projects: A Disaster and Climate Risk Stress Test Methodology*. Washington, D.C.: World Bank. Disponível em [\[link\]](#).

World Meteorological Organization - WMO. 2018. *Guide to Climatological Practices*. WMO, No. 100, Geneva. Disponível em [\[link\]](#).

World Meteorological Organization - WMO. 2009. *Manual on estimation of Probable Maximum Precipitation (PMP)*. WMO, No. 1045, Geneva. Disponível em [\[link\]](#).

