2

INVESTIMENTOS EM INFRAESTRUTURA E RESILIÊNCIA CLIMÁTICA: CONCEITOS, DESAFIOS E CAMINHOS

RODOLFO GOMES BEVEVENUTO, PHD

RESUMO

Este capítulo analisa os impactos crescentes das mudanças climáticas sobre os sistemas de infraestrutura, destacando de que forma riscos crônicos e eventos extremos podem comprometer a integridade, a funcionalidade e a longevidade dos ativos, gerando consequências econômicas e sociais expressivas. São apresentados critérios internacionais de classificação de financiamento para adaptação climática, com especial atenção às distinções conceituais entre infraestrutura resiliente e infraestrutura voltada à promoção da resiliência. Enfatiza-se a relevância de intervenções que favoreçam a resiliência sistêmica, indo além da proteção pontual de ativos. O texto também evidencia a persistente lacuna de financiamento para adaptação nos diversos setores de infraestrutura, frente às demandas crescentes e aos entraves à mobilização de capital. Por fim, são discutidas ferramentas para o aprimoramento dos processos de estruturação de projetos com base no Modelo de Cinco Dimensões, destacando seu potencial como alavanca estratégica para ampliar o volume e garantir a qualidade dos investimentos em infraestrutura orientados à construção de sistemas mais resilientes.

Palavras-chave:

Financiamento de adaptação; resiliência sistêmica; estruturação de projetos; modelo de cinco dimensões

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas configuram-se como um vetor de risco estrutural crescente para os sistemas de infraestrutura. A elevação do nível médio do mar, a intensificação de eventos hidrometeorológicos extremos (como inundações, ondas de calor e tempestades) e o aumento gradual das temperaturas médias globais impactam diretamente a integridade física, a durabilidade e a funcionalidade de ativos de infraestrutura de todos os setores. Esses fatores não apenas elevam os custos de operação e manutenção, mas também comprometem a confiabilidade e a continuidade dos serviços promovidos por tais ativos, com implicações diretas sobre a mobilidade urbana, a logística de abastecimento, a integração regional e o desempenho das cadeias produtivas. Tal contexto exige uma análise dos principais conceitos relacionados, desafios e possíveis estratégias de aumento dos investimentos em infraestrutura que promovam maior resiliência climática, sejam eles públicos ou privados.

Projeções baseadas em cenários climáticos vigentes indicam que, até 2050, o valor líquido de ativos[1] de infraestrutura poderá ser reduzido na média em 4,4%, atingindo perdas de até 26,7% nos cenários mais adversos, em decorrência da intensificação dos riscos físicos relacionados às mudanças climáticas (Darwin e Blanc-Brude, 2023). A análise baseia-se em uma amostra representativa de 700 empresas, para as quais estimativas de risco climático em nível de ativo estão disponíveis na plataforma *InfraMetrics*, da EDHECInfra. A perda financeira estimada para o portfólio de ativos de infraestrutura foi calculada por meio de um modelo probabilístico apresentado por Blanc-Brude e Gupta (2022), que consiste na criação de portfólios simulados, imitando como investidores reais aplicam recursos ao longo do tempo. Observa-se, na Figura 1, um destaque para o setor de transportes, no qual tais perdas podem chegar a 98% do valor dos ativos em cenários mais extremos de mudanças climáticas. Além do prejuízo financeiro sofrido pelos gestores des-

1 NAV ou Net asset value de um ativo de infraestrutura: valor de mercado do ativo menos todos os seus passivos associados, constituindo como uma métrica para avaliar a saúde financeira do ativo.

ses ativos, tais perdas podem comprometer a conectividade territorial, a eficiência logística e a acessibilidade de populações vulneráveis, ampliando desigualdades socioespaciais.

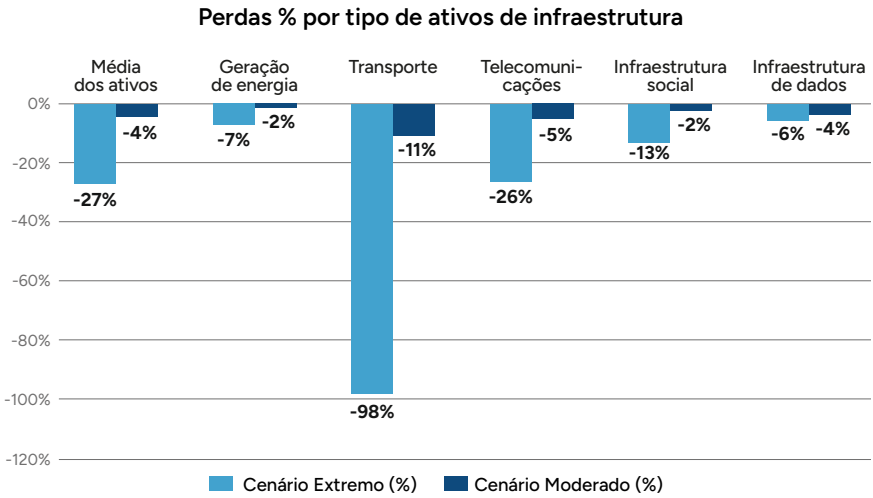


Figura 1: Perdas potenciais do valor líquido dos ativos de infraestrutura **devido ao risco físico de mudanças climáticas por cenário até 2050**
(Fonte: Darwin e Blanc-Brude, 2023)

É importante mencionar que métricas financeiras mais conhecidas, como *value at risk*, ainda que sejam cada vez mais utilizadas por investidores privados para avaliar retornos ajustados ao risco, ainda deixam de capturar uma dimensão crítica: os impactos econômicos, sociais e ambientais mais amplos que podem comprometer a funcionalidade e os benefícios desses ativos para a sociedade. Isso ocorre pela dificuldade de quantificar os benefícios não financeiros da adaptação. Alguns desses impactos podem ser estimados de maneira mais ampla com base em experiências passadas. Por exemplo, em um relatório recente produzido para o G20, o *World Resources Institue* avaliou 320 investimentos em adaptação em agricultura, água, infraestrutura e saúde em 12 países entre 2014 e 2024 e concluiu que cada US$ 1 investido em adaptação gera mais de US$ 10,50 em benefícios ao longo de um período de 10 anos

(Brandon *et al.*, 2025). No entanto, muitos dos efeitos positivos — como resiliência social, saúde pública ou proteção ambiental — não geram retorno financeiro direto e raramente são registrados ou valorizados nos modelos tradicionais de avaliação de investimentos. Esses benefícios sociais e externalidades são frequentemente ignorados devido a falhas de mercado e questões de equidade, o que subestima o valor real das ações de adaptação (Stoll *et al.*, 2021; Tall *et al.*, 2021).

Nesse contexto, a resiliência dos ativos de infraestrutura deve ser concebida como um atributo estratégico intrínseco aos processos de planejamento e tomada de decisão em investimentos, extrapolando a noção restrita de robustez física para englobar a capacidade dos sistemas de manterem seu desempenho funcional diante de condições climáticas extremas e de incertezas futuras. A análise conduzida por Verschuur *et al.* (2023) exemplifica de forma elucidativa a ordem de grandeza dos potenciais impactos financeiros mais amplos a partir de uma análise de ativos específicos. Ao modelarem os efeitos de paralisações induzidas por eventos climáticos em 1.320 portos distribuídos globalmente, os autores estimam perdas anuais da ordem de US$ 81 bilhões no comércio internacional e US$ 122 bilhões em atividade econômica associada — evidenciando que os impactos não se restringem ao comprometimento de ativos isolados, mas afetam de forma sistêmica a resiliência funcional das cadeias logísticas e produtivas em escala global.

Torna-se necessário, portanto, repensar o modo como os projetos de investimento em infraestrutura são estruturados, financiados e priorizados. Este capítulo busca contribuir para esse debate ao discutir os conceitos, os desafios e os caminhos para a estruturação de projetos de investimento que abordam o tema da resiliência. Em primeiro lugar, explora-se como se caracteriza um investimento em resiliência, diferenciando iniciativas que apenas protegem ativos de riscos diretos daquelas que contribuem para a capacidade adaptativa de sistemas sociais e econômicos. Em seguida, aprofundamos o conceito de resiliência sistêmica, ressaltando a importância de intervenções que promovam redundância, flexibilidade e inclusão social em escala territorial. A análise tam-

bém examina a atual lacuna de financiamento para adaptação climática, reconhecendo que, apesar da crescente atenção política e regulatória, os fluxos financeiros continuam insuficientes e desiguais — demonstrando a necessidade de uma composição entre capital público e privado para atingir o volume necessário de investimentos em adaptação. Por fim, propomos caminhos para que a estruturação de projetos de investimento utilizando metodologias internacionalmente reconhecidas, que podem acelerar os investimentos em infraestrutura capazes de fortalecer a resiliência de maneira integrada e transformadora.

1. DEFINIÇÕES INTERNACIONAIS SOBRE INVESTIMENTOS EM RESILIÊNCIA E ADAPTAÇÃO CLIMÁTICA

Um primeiro aspecto importante a ser aprofundado no âmbito da promoção de resiliência climática por meio da infraestrutura é precisamente a questão da taxonomia do que constitui um investimento em adaptação climática. Essas definições são fundamentais para alinhar políticas públicas, orientar decisões de financiamento e assegurar a comparabilidade e rastreabilidade dos fluxos de recursos destinados à adaptação climática. Em um contexto de crescente exposição a riscos físicos e de escassez de financiamento para a resiliência, a ausência de critérios consistentes pode levar à fragmentação de esforços e à alocação ineficiente de capital. Reconhecendo essa lacuna, fóruns multilaterais, como o G20, a OCDE e os Bancos Multilaterais de Desenvolvimento (MDBs), têm avançado na construção de diretrizes comuns, como as taxonomias verdes e os princípios para infraestrutura resiliente ao clima. Esses marcos buscam não apenas harmonizar as práticas entre países e instituições, mas também fortalecer a credibilidade dos investimentos rotulados como “resilientes”, contribuindo para maior transparência, integridade ambiental e impacto sistêmico nas estratégias de desenvolvimento sustentável.

Segundo a OCDE (2024), os investimentos (aplicação de recursos para aquisição de bens e ativos de longo prazo, por meio

de obras, máquinas, equipamentos) de adaptação devem satisfazer os três critérios seguintes: i) benefícios para a resiliência: o investimento deve aumentar a resiliência às alterações climáticas, reduzindo diretamente os riscos climáticos físicos ou apoiando a adaptação de terceiros; ii) não causar danos significativos: o investimento não deve afetar negativamente a resiliência de outras pessoas ou ecossistemas, por exemplo, aumentando os riscos enfrentados pelas comunidades vizinhas; e iii) compatível com os planos de adaptação: o investimento deve ser compatível com as estratégias nacionais ou locais, como os planos nacionais de adaptação, os contributos determinados a nível nacional ou as estratégias nacionais de redução de catástrofes. Se esses planos não existirem, ou não definirem objetivos em relação ao investimento, presume-se que um investimento é compatível. Esses critérios visam assegurar que o investimento é suscetível de ter um impacto positivo na adaptação e reduzir o risco de a medida ser ineficaz ou contraproducente (ou seja, o risco de má-adaptação).

Já os MDBs utilizam uma metodologia em três etapas para classificar um investimento como "investimento de adaptação" (World Bank, 2019). A primeira etapa consiste na contextualização do risco climático, em que o projeto deve demonstrar estar inserido em um contexto de vulnerabilidade específica às mudanças climáticas, com base em evidências científicas e análises de risco. A segunda etapa exige que o projeto apresente uma intenção explícita de adaptação, ou seja, que tenha sido desenhado deliberadamente para responder aos riscos climáticos identificados, incorporando medidas específicas para reduzir vulnerabilidades. Por fim, na terceira etapa, é necessário estabelecer um vínculo claro e racional entre as atividades financiadas e os objetivos de adaptação, assegurando que apenas os componentes diretamente relacionados à adaptação sejam contabilizados como tal. Essa abordagem busca garantir a integridade, rastreabilidade e efetividade dos recursos aplicados em ações de adaptação climática. Listas específicas de tipologias de projeto, consolidando soluções tipicamente compatíveis com tal metodologia, têm sido promovidas pelo *Climate Policy Initiative* (CPI, 2024). Esse tipo de iniciativa tem o potencial não

apenas de facilitar o rastreamento, mas também de aumentar a mobilização de financiamento privado para adaptação climática.

As definições, taxonomias e metodologias de avaliação de investimentos de adaptação também têm sido alvo de discussão em diversos grupos de trabalho do G20. O grupo de trabalho de *Redução de Riscos de Desastres* foca na prevenção e na promoção de infraestrutura resiliente, propondo métricas sistêmicas para avaliar a capacidade de resistir a desastres e mudanças climáticas, orientando investimentos. O grupo de trabalho de *Infraestrutura* discute instrumentos financeiros inovadores para mobilizar capital privado, destacando a importância de métricas que incentivem investimentos em ativos resilientes. Já o grupo de trabalho de *Meio Ambiente e Sustentabilidade Climática* trabalha na identificação de barreiras à adaptação global e na criação de abordagens sistêmicas para mensurar a eficácia das políticas de adaptação. Por fim, o grupo de trabalho de *Finanças Sustentáveis* busca integrar métricas de resiliência aos marcos financeiros, promovendo sociedades mais resilientes e inclusivas, e aumentando a credibilidade dos ativos voltados à adaptação climática.

2. INFRAESTRUTURA RESILIENTE VS INFRAESTRUTURA PARA RESILIÊNCIA

No contexto das diferentes taxonomias utilizadas internacionalmente para classificar investimentos em adaptação climática, para se ter uma discussão qualificada no setor de infraestrutura, é fundamental a distinção entre os conceitos de *infraestrutura resiliente* e de *infraestrutura para resiliência*.

Uma *infraestrutura resiliente* ao clima refere-se àquela que é planejada, projetada, construída e operada de forma a antecipar, se preparar e se adaptar às mudanças climáticas (OCDE, 2024). Esse tipo de infraestrutura é capaz de suportar e se recuperar rapidamente de interrupções causadas por condições climáticas em transformação ao longo de sua vida útil. O conceito abrange tanto novos ativos quanto os já existentes, que podem necessitar de readequações físicas ou de alterações em sua operação para lidar com os impactos das mudanças climáticas. Esse conceito refere-se,

portanto, a ativos de infraestrutura capazes de resistir, absorver e se recuperar de choques e estresses, como desastres naturais ou mudanças climáticas — como veremos a seguir, o foco está nos *outputs* do projeto, como pontes ou redes elétricas mais robustas.

Já o conceito de *infraestrutura para resiliência* se refere a promoção dos resultados alcançados (*outcomes*) a partir da utilização de um ativo de infraestrutura que visa aumentar a capacidade adaptativa das comunidades, cadeias de valor e sistemas frente a choques climáticos — por exemplo, infraestruturas que forneçam redundância de sistemas, ou facilitem a mitigação dos impactos climáticos em contextos de crise. Confundir esses conceitos pode levar à priorização de investimentos que não necessariamente contribuem para a resiliência sistêmica, desviando recursos de intervenções que poderiam gerar impactos mais duradouros e equitativos. Isso compromete a efetividade das políticas públicas ao focar na robustez da infraestrutura em si, em vez de considerar sua função estratégica na redução de vulnerabilidades sociais e econômicas.

Nesse contexto, faz-se necessário uma diferenciação conceitual das entregas (outputs), os resultados (*outcomes*) e efeitos de longo prazo (*impacts*) de um ativo de infraestrutura[2]:

- As entregas (*outputs*) referem-se aos produtos, bens de capital e serviços entregues no âmbito do projeto, concebidos para responder ao contexto específico de vulnerabilidade climática em que a intervenção está inserida, com o objetivo de promover a resiliência climática. Por exemplo: hectare de mangais restaurados; cidade costeira com plano de resiliência aprovado. Os *outputs* podem incluir também políticas e planos relevantes em nível regional ou nacional que estejam sendo desenvolvidos ou atualizados com o apoio do projeto. Além disso, os *outputs* podem abranger alterações institucionais, técnicas ou operacionais decorrentes da implementação, desde que contribuam diretamente para a consecução dos resultados (*outcomes*) esperados. Tais elementos podem ser reportados ao final do período de

2 Adota-se aqui a definição consensuada entre os principais Bancos de Desenvolvimento Multilateral (BID *et al.*, 2019).

execução do projeto ou, em alguns casos, de forma *ex ante* no momento de sua aprovação.

1. Os resultados (*outcomes*) referem-se aos efeitos de curto e médio prazo, previstos ou efetivamente alcançados pelo projeto, os quais podem se manifestar sob a forma de ajustes em sistemas físicos, humanos ou ambientais, bem como em benefícios econômicos associados. Por exemplo, quilômetros de costa protegidos do risco de catástrofes induzidas pelo clima, como resultado de florestas de mangue. Tais efeitos devem estar alinhados ao contexto específico de vulnerabilidade climática em que o projeto se insere, contribuindo para o fortalecimento da resiliência climática. Os *outcomes* podem ser reportados ao longo da vida útil esperada dos ativos e/ou sistemas financiados, ou ainda de forma *ex ante* no momento da aprovação do projeto. Sua verificação também pode ocorrer por meio de avaliações *ex post*. Os horizontes temporais típicos para a observação desses resultados situam-se entre um e cinco anos após a conclusão do projeto.
2. Os efeitos de longo prazo (*impacts*) referem-se aos efeitos primários e secundários de longo prazo resultantes do projeto, sejam eles diretos ou indiretos, intencionais ou não, que possam contribuir para o fortalecimento da resiliência climática em escala mais ampla, para o aumento da capacidade adaptativa e/ou para a redução da vulnerabilidade climática. Por exemplo, o aumento da resiliência das comunidades e ativos costeiros, medida por uma análise *ex post* que avalie a redução da perda de receitas provenientes de riscos relacionados com o clima. Em razão dos horizontes temporais mais extensos e das incertezas inerentes, os impactos são, em geral, inferidos ou expressos em termos qualitativos e descritivos, podendo também serem avaliados por meio de análises *ex post* de longo prazo. Os prazos para a observação desses impactos situam-se, em geral, na ordem de anos a décadas após a implementação do projeto.

3. RESILIÊNCIA SISTÊMICA

Uma vez compreendido os diferentes níveis de resiliência promovidos por um projeto de investimento em infraestrutura, podemos avançar para o conceito de resiliência sistêmica, ou resiliência dos sistemas. Esse conceito parte do entendimento que os sistemas de infraestrutura crítica — que incluem transporte, energia, abastecimento de água e telecomunicações — funcionam como redes interligadas que fornecem serviços essenciais a nível local, regional e global. Essa definição conceitual tem se tornado cada vez mais relevante, dada a sobreposição e consecução de choques derivados de eventos climáticos extremos que tem imposto desafios cada vez mais frequentes e de maior intensidade para as redes de infraestrutura (Allan *et al.*, 2023; Pörtner *et al.*, 2022). Esses choques expõem vulnerabilidades profundas de projeto (*design*), operação e governança desses ativos de infraestrutura, causando impactos diretos na segurança pública, estabilidade econômica e integridade ambiental.

O conceito de resiliência sistêmica, segundo a UNDRR (2022) pode ser definido como uma propriedade de um sistema de infraestrutura que emerge de forma dinâmica quando os ativos de infraestrutura são organizados de modo a garantir a provisão contínua de serviços críticos acordados — como energia, telecomunicações, mobilidade urbana, abastecimento de água e coleta de esgoto e resíduos — mesmo diante de ameaças endógenas e/ou exógenas, bem como frente à adição, modificação ou remoção de componentes da infraestrutura. O caso emblemático descrito no Quadro 1 exemplifica tal conceito de forma prática.

Quadro 1: O canal de navegação MRGO e a resiliência sistêmica de Nova Orleans

Em 1965, foi construído um canal de navegação com 11 metros de profundidade e 200 metros de comprimento com o objetivo de conectar o Canal Industrial de Nova Orleans ao mar aberto, a leste, visando facilitar o acesso marítimo à cidade. No entanto, apenas três meses após sua conclusão, o Furacão Betsy atingiu a região, tornando-se o primeiro desastre nos Estados Unidos a ultrapassar US$ 1 bilhão em perdas econômicas – um impacto amplificado pela presença do Canal MRGO. Classificado como um furacão de categoria 3, Betsy apresentou ventos predominantes do leste, provenientes do Golfo do México, contornando as defesas instaladas ao longo do Lago Pontchartrain, que usualmente seriam suficientes para conter esse tipo de evento. Em vez disso, a tempestade direcionou uma elevação do nível das águas de 3,6 metros pelo Canal MRGO em direção ao Canal Industrial, rompendo os diques baixos recentemente expostos e provocando inundações significativas na zona leste da cidade.

Como resultado, aproximadamente 13.000 residências foram submersas por águas com profundidade de até 2,7 metros, deixando cerca de 60.000 pessoas desabrigadas e causando 58 mortes. Esse episódio evidencia como decisões de engenharia e intervenções em infraestrutura, quando desarticuladas de análises de risco climático e de impactos sistêmicos, podem amplificar a vulnerabilidade de áreas urbanas densamente povoadas, transformando obras concebidas para fins de desenvolvimento econômico em vetores de risco e desastre.

A construção do Canal MRGO constitui um exemplo emblemático de falha em priorizar a resiliência sistêmica de uma cidade – neste caso, Nova Orleans – diante de um desafio já conhecido, como a ocorrência de furacões. Embora o canal, em si, apresentasse características de infraestrutura resiliente, sua implementação comprometeu a resiliência do sistema urbano como um todo. Em contraste, a decisão de desativar o canal após a passagem do Furacão Katrina – que mais uma vez evidenciou as fragilidades sistêmicas decorrentes de sua presença – resultou no fortalecimento da resiliência sistêmica da cidade, demonstrando a importância de se considerar os efeitos integrados e interdependentes das infraestruturas nos territórios onde se inserem.

Fonte: Shaffe et al. (2009)

A necessidade de investimentos que promovam a resiliência sistêmica de cadeias produtivas, municípios ou regiões decorre de

que abordagens tradicionais de investimento em resiliência, que focam em intervenções isoladas, não conseguem lidar adequadamente com as falhas em cascata — por exemplo, quando uma interrupção no sistema elétrico compromete o abastecimento de água, transporte e serviços de emergência. Tal fato evidencia a necessidade de estratégias sistêmicas que considerem essas interdependências. Além disso, essas vulnerabilidades não afetam igualmente todas as comunidades: populações socioeconomicamente desfavorecidas, especialmente no Sul Global, enfrentam impactos desproporcionais devido a desigualdades estruturais e distribuição regressiva de acesso a serviços básicos de infraestrutura (Aberra *et al.*, 2024; Bhargava & Bhargava, 2023; Benevenuto & Caulfield, 2019).

Para enfrentar essas complexidades, o conceito de resiliência sistêmica tem ganhado destaque como um quadro fundamental para compreender e gerenciar infraestruturas interconectadas. Essa abordagem enfatiza a capacidade das redes de infraestrutura de absorver, adaptar-se e recuperar-se de perturbações mantendo suas funções essenciais, reconhecendo que falhas em um setor podem desencadear efeitos em cascata em outros (Linkov *et al.*, 2014; Sathurshan *et al.*, 2022). A resiliência sistêmica desafia o planejamento tradicional fragmentado, propondo uma perspectiva de "sistema de sistemas" que é crucial diante dos riscos climáticos compostos, do envelhecimento das infraestruturas e da crescente dependência das tecnologias digitais (Francis & Bekera, 2014). A aplicação da resiliência sistêmica aprimora a governança de infraestrutura ao alinhar design, investimento e operação com ambientes de risco complexos e multirriscos, indo além da proteção de ativos isolados. Ela reconhece que falhas emergem não apenas de choques externos, mas também de fragilidades estruturais e dependências funcionais entre sistemas, como exemplificado pela interrupção da rede elétrica que afeta serviços de água e transporte (Hickford *et al.*, 2018). Ademais, métricas robustas de resiliência sistêmica são essenciais para avaliar vulnerabilidades, orientar investimentos sustentáveis e inclusivos e promover decisões baseadas em dados, catalisando aportes públicos e privados em infraestrutura resiliente ao clima (OECD, 2024).

4. A LACUNA DE INVESTIMENTOS EM ADAPTAÇÃO E RESILIÊNCIA CLIMÁTICA

A demanda global por financiamento voltado à adaptação às mudanças climáticas supera amplamente os fluxos financeiros atualmente mobilizados pelos setores público e privado. O relatório *Global Landscape of Climate Finance* 2023 estima que os países em desenvolvimento precisarão de US$ 212 bilhões por ano até 2030 para financiamento da adaptação, aumentando para US$ 239 bilhões por ano entre 2031 e 2050. O *UNEP Adaptation Gap Report* 2023 sugere uma faixa semelhante, entre US$ 130–415 bilhões anuais nesta década, com aumento significativo até 2050. A dificuldade na mobilização desse capital amplia a exposição de populações e ativos aos impactos adversos decorrentes do agravamento do cenário climático. A Tabela 1 demonstra, em uma perspectiva comparativa, a ordem de grandeza dos investimentos estimados para adaptação no setor de infraestrutura em relação a demais setores econômicos para países em desenvolvimento.

Tabela 1: Custos setoriais de adaptação *(Fonte: CPI, 2023; UNEP, 2023)*

Setor	Tipo de Custo	Custo Estimado (países em desenvolvimento)
Infraestrutura	Resiliência nos setores de construção civil, energia e transportes	USD 56 bilhões/ano, com aumento significativo até 2050
Zonas costeiras	Proteção costeira e recuperação de praias	USD 56 bilhões/ano (2010–2050)
Inundações fluviais	Proteção contra inundações fluviais	USD 54 bilhões/ano
Alerta precoce e proteção social	Sistemas universais de alerta precoce	USD 16 bilhões/ano
Agricultura	Redução do impacto climático na fome crônica	USD 16 bilhões/ano
Saúde	Controle de doenças relacionadas ao clima e mortalidade	USD 11 bilhões/ano até a década de 2050

As informações sobre o financiamento público nacional para adaptação às mudanças climáticas, bem como do setor privado,

ainda são escassas e pouco transparentes. No entanto, é possível observar uma diversidade de fontes e instrumentos financeiros envolvidos no financiamento climático de adaptação. Governos, bancos multilaterais, instituições financeiras privadas e indivíduos contribuem com recursos por meio de doações, empréstimos concessionais, investimentos de mercado e capital próprio.

Entretanto, dados do relatório Citi GPS (2023) indicam que o financiamento de investimentos em adaptação a nível mundial ainda é fortemente concentrado em fontes públicas, representando 97% dos recursos destinados à adaptação entre 2021 e 2022. Isso reflete a dificuldade que muitas empresas enfrentam para perceber a utilidade ou a rentabilidade dos investimentos em adaptação. Essas informações são fundamentais para qualificar a precificação do risco climático e, assim, facilitar a mobilização de financiamento privado para adaptação. A tomada de decisão empresarial depende de uma avaliação clara dos impactos financeiros de eventos climáticos — como interrupções operacionais ou perda de receita —, mas a variabilidade local e a escassez de dados dificultam estimativas precisas. Sem uma mensuração adequada, investidores privados tendem a evitar projetos de adaptação, agravando os riscos futuros. Além disso, torna-se difícil estimar os custos da inação, já que os benefícios de intervenções muitas vezes só se manifestam após a ocorrência de eventos extremos (OECD, 2023a).

Dados recentes indicam que o financiamento para adaptação climática entre 2021 e 2022 representou um total de 68 bilhões de dólares em média anual durante o período analisado (Wignarajah *et al.*, 2023). Apesar de esse valor ter mais que duplicado entre 2018 e 2022, os montantes de financiamento de adaptação ainda são significativamente menores do que os recursos destinados à mitigação (US$ 1.171 bilhões). O setor público continuou sendo a principal fonte desses fluxos (92% em 2022), predominando nos setores de infraestrutura hídrica e esgotamento sanitário (88%) e AFOLU (agricultura, florestas e uso da terra). De toda forma, o volume relativamente baixo de financiamento para adaptação em comparação com a mitigação sugere a necessidade de reequilibrar as prioridades globais.

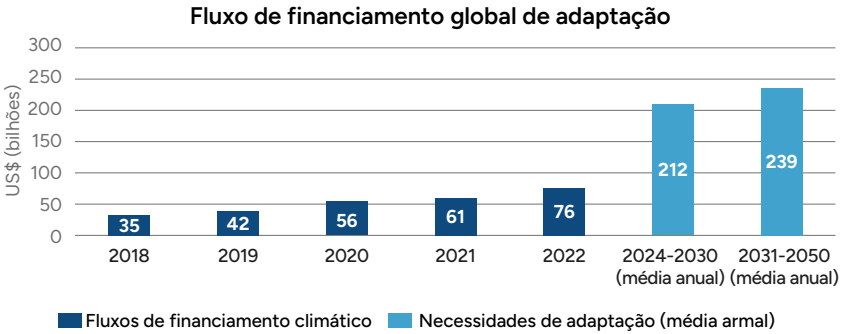


Figura 2: Fluxos de financiamento global de adaptação - Histórico vs Necessidade futura *(Fonte: Wignarajah et al., 2023)*

Em um cenário de restrição fiscal crescente, torna-se evidente que, para atingir tais incrementos nos fluxos financeiros para adaptação, uma composição entre investimentos públicos e privados é necessária. No entanto, tais investimentos frequentemente enfrentam obstáculos significativos para serem alocados em projetos de adaptação climática, em grande parte devido à escassez de projetos que atendam aos requisitos mínimos de viabilidade técnica, financeira, jurídica e ambiental. Essa lacuna configura um dos principais entraves à mobilização de capital em escala compatível com os desafios climáticos, sendo amplamente reconhecida como um dos fatores estruturais que limitam o avanço de investimentos em resiliência. O Fundo Monetário Internacional (2024) ressalta que a eficiência dos investimentos públicos, especialmente em países de baixa renda, está diretamente condicionada à qualidade do ciclo do projeto, incluindo etapas críticas como a preparação, a seleção e a gestão dos empreendimentos. Embora o número de projetos orientados ao setor privado tenha crescido de forma expressiva nas últimas décadas, iniciativas que incorporam componentes robustos de adaptação climática ainda representam uma fração minoritária da carteira total de projetos estruturados (CPI, 2015). A esse contexto, somam-se as incertezas inerentes à avaliação de riscos climáticos e à mensuração dos benefícios da resiliência, que dificultam a adequada precificação dos ativos e a viabilização de instrumentos financeiros inovadores. Nesse sentido, o fortalecimento

das capacidades institucionais e a modernização dos processos de estruturação de projetos despontam como elementos centrais para destravar fluxos de investimento e catalisar intervenções à altura da urgência imposta pelas mudanças climáticas.

5. MAINSTREAMING RESILIÊNCIA NA ESTRUTURAÇÃO DE PROJETOS DE INVESTIMENTO

Para alcançar níveis compatíveis de fluxos financeiros necessários para a adaptação no setor de infraestrutura, é essencial ampliar a escala dos investimentos sem comprometer a qualidade dos projetos. Nesse sentido, o aprimoramento dos processos de estruturação de projetos de infraestrutura representa uma alavanca estratégica para acelerar a execução e assegurar a qualidade dos investimentos voltados à promoção da resiliência sistêmica.

A estruturação de projetos de investimento refere-se à condução de estudos de viabilidade e à elaboração da documentação técnica, econômico-financeira, jurídica e gerencial necessária para a licitação de projetos em setores de infraestrutura econômica e social. Ao longo da última década, observa-se no contexto brasileiro um expressivo avanço na modernização dos processos de governança, avaliação e estruturação de projetos de investimentos em infraestrutura (Moraes *et al.*, 2024; OECD, 2023b). Um dos pontos de destaque nesse processo foi a adoção do Modelo de Cinco Dimensões (M5D), inspirado e adaptado do *Five Case Model* britânico, como metodologia de estruturação de projetos de investimento como referencial para infraestrutura nacional e subnacional (Moraes *et al*, 2024; Brasil, 2022).

O M5D é metodologia recomendada internacionalmente (G20, 2017; HM Treasury, 2022) e progressivamente referendada também a nível nacional por instituições como o Tribunal de Contas da União, o Comitê Interministerial de Governança, a Secretaria Especial do Programa de Parcerias de Investimentos da Casa Civil, entre outras entidades públicas nas esferas federal, estadual e municipal (Turolla *et al.*, 2025). Notadamente, o M5D oferece uma

estrutura analítica robusta que permite incorporar, de forma sistemática, os objetivos de resiliência climática nas distintas esferas de análise — estratégica, econômica, financeira, comercial e gerencial — de projetos de investimento (HM Treasury, 2022).

Ao introduzir a perspectiva da resiliência na preparação das diversas fases do ciclo de vida do projeto, o modelo possibilita a identificação antecipada de riscos e oportunidades associados às mudanças climáticas, promovendo avaliações mais abrangentes do valor socioeconômico de longo prazo, incluindo os chamados *dividendos de resiliência* (WRI, 2025). A exigência de critérios vinculados à resiliência climática favorece o alinhamento dos investimentos em infraestrutura às metas de adaptação, aos marcos regulatórios vigentes e às expectativas de distintos stakeholders, contribuindo para a implementação de ativos públicos mais robustos e preparados para os desafios futuros.

A seguir são apresentados elementos que demonstram como a promoção da resiliência climática pode ser fortalecida em cada uma das cinco dimensões recomendadas por tal modelo para estruturação de um projeto.

Dimensão Estratégica: Alinhamento com Políticas de Adaptação Climática

Diversos eventos recentes, como as inundações ocorridas no estado do Rio Grande do Sul (2023), em Pernambuco (2022) e na Bahia (2021), entre outras catástrofes climáticas, evidenciam que grande parte da infraestrutura brasileira ainda não incorpora, de forma sistemática, a consideração dos riscos climáticos em seu planejamento estratégico. A carência de alinhamento entre as metas individuais de cada projeto e as diretrizes de adaptação estabelecidas em níveis local, regional e nacional resulta em ações fragmentadas e na ausência de coordenação entre as intervenções setoriais (OECD, 2023a). A incorporação da resiliência climática começa na Dimensão Estratégica, onde se define a justificativa do projeto e sua articulação com os objetivos mais amplos de políticas públicas. Para assegurar a integração da resiliência climática desde as fases iniciais da concepção do projeto, seus objetivos devem estar expli-

citamente alinhados com as estratégias nacionais (como os Estudos do *Adaptavias* do Ministério dos Transportes) e subnacionais (como os Planos Diretores de Drenagem), promovendo coerência com as políticas públicas de adaptação vigentes. Esse alinhamento assegura que os investimentos em infraestrutura não apenas atendam às necessidades atuais de serviços, mas também estejam preparados para enfrentar incertezas futuras relacionadas ao clima.

Dimensão Econômica: Avaliação da resiliência nas diversas alternativas

A dimensão econômica oferece uma base rigorosa para avaliar a relação socioeconômica de custo-benefício do projeto, sendo essencial para verificar quantitativamente os dividendos de resiliência (WRI, 2025) gerados na avaliação de cada alternativa. Especificamente para endereçar a questão dos riscos climáticos nessa etapa, o governo federal, em parceria com a Agência de Cooperação Alemã (GIZ), publicou o anexo de *Riscos Climáticos do Guia Geral de Análise Socioeconômica de Custo-Benefício de Projetos de Investimento em Infraestrutura* (Brasil, 2022b). Esse documento estabelece uma metodologia para incorporar os riscos associados às mudanças climáticas na avaliação de projetos de qualquer setor de infraestrutura. A metodologia é estruturada em três etapas principais: inicialmente, realiza-se uma triagem para identificar se o projeto está exposto a riscos climáticos relevantes, como aumento do nível do mar, secas ou enchentes. Caso seja identificada exposição, segue-se para uma análise detalhada dos impactos potenciais sobre custos e benefícios do projeto, considerando tanto riscos crônicos (mudanças graduais) quanto agudos (eventos extremos). Por fim, os resultados dessa avaliação são integrados ao processo de tomada de decisão, permitindo comparar cenários com e sem adaptação e avaliar a viabilidade socioeconômica das intervenções propostas. A análise da dimensão econômica, incorporando tal ferramenta de avaliação dos riscos climáticos, proporciona que os elementos de adaptação deixem de ser vistos como custos adicionais e passem a ser reconhecidos como componentes fundamentais para a eficiência e sustentabilidade econômica ao longo do ciclo de vida do projeto.

Dimensão Financeira: Viabilizando o Financiamento de Projetos de Adaptação

No Dimensão Financeira, avaliam-se a viabilidade financeira, as fontes de financiamento e os riscos financeiros do projeto — inclusive aqueles relacionados à variabilidade e às mudanças climáticas. A resiliência pode ser incorporada considerando custos de ciclo de vida que contemplem manutenção, reparos e operação sob diferentes cenários climáticos. Os mecanismos de financiamento de infraestrutura de adaptação climática por meio de Parcerias Público-Privadas (PPPs) destacam-se como uma alternativa relevante para viabilizar grandes projetos que exigem investimentos robustos e compartilhamento de riscos. Diversos projetos de gestão de riscos de enchentes e resiliência costeira, como o *Fargo-Moorhead River Diversion Project* (EUA), *Broadland Flood Protection* (Reino Unido) e *Mission Rock em San Francisco* (EUA), têm sido financiados por PPPs, que incluem remunerações por meio de pagamentos de disponibilidade ("*availability payment*"), contratos de desempenho, ou captura de valor imobiliário, a depender do modelo adotado (World Bank, 2025). Garantir a sustentabilidade financeira em um futuro de mudanças climáticas exige que os riscos físicos associados a tais novos cenários climáticos sejam precificados desde o início, permitindo um planejamento financeiro mais robusto e previsível.

Dimensão Comercial: Modelos de contratação e market sounding

A Dimensão Comercial analisa os mecanismos de contratação e execução, oferecendo uma oportunidade para integrar a resiliência climática por meio do engajamento com o mercado e da estruturação contratual. A resiliência pode ser promovida, por exemplo, por meio de contratos de desempenho que recompensem resultados relacionados à adaptação climática, como a continuidade dos serviços durante eventos extremos ou a eficiência energética sob condições climáticas adversas. O engajamento antecipado com fornecedores e atores do setor privado também pode revelar soluções tecnológicas e inovações que apoiem a adaptação. Além disso, processos de consulta ao mercado podem avaliar a viabilidade e

a atratividade de entregar infraestrutura resiliente nas condições atuais, identificando eventuais lacunas de capacidade ou incentivos necessários para alinhar o setor privado aos objetivos de resiliência.

Dimensão Gerencial: Governança, gestão dos riscos e avaliação dos projetos

A Dimensão Gerencial trata da governança, planejamento de execução e gestão de riscos do projeto, sendo fundamental para operacionalizar a resiliência climática. Isso inclui o estabelecimento de responsabilidades institucionais claras para a implementação das medidas de adaptação, o monitoramento de indicadores de desempenho climático e a adoção de processos de gestão adaptativa ao longo de todo o ciclo do projeto. A resiliência deve estar presente nos registros de risco e nos planos de contingência, com protocolos definidos para responder a eventos climáticos adversos. Iniciativas de capacitação voltadas às equipes de projeto e aos órgãos executores também são fundamentais para assegurar que as medidas de resiliência sejam efetivamente implementadas. Além disso, mecanismos de aprendizado contínuo — por meio de monitoramento, avaliação pós-implementação e atualizações baseadas em novos dados climáticos — devem ser incorporados, para garantir a melhoria constante das ações de adaptação.

6. CONCLUSÃO

A análise desenvolvida ao longo deste capítulo evidencia que a incorporação da resiliência climática nos investimentos em infraestrutura é não apenas uma necessidade técnica, mas um imperativo estratégico para o desenvolvimento sustentável. As evidências demonstram que a intensificação dos riscos físicos relacionados às mudanças climáticas representa uma ameaça direta à funcionalidade e ao valor econômico dos ativos de infraestrutura, ao mesmo tempo em que amplia desigualdades sociais e territoriais. A resposta a esse desafio exige uma transformação profunda na forma como governos, investidores e instituições financeiras concebem, planejam e executam projetos — passando de uma lógica reativa de

proteção pontual para uma abordagem proativa de fortalecimento da resiliência sistêmica.

Nesse sentido, distinguir entre *infraestrutura resiliente* e *infraestrutura para resiliência* revela-se crucial para orientar investimentos que não apenas resistam a eventos climáticos, mas que também ampliem a capacidade adaptativa de comunidades e sistemas produtivos. O foco em resultados (*outcomes*) e impactos de longo prazo (*impacts*) reforça a necessidade de mensurar a efetividade dos investimentos sob uma ótica socioeconômica ampliada, que inclua externalidades e equidade na distribuição dos custos e benefícios. Essa visão sistêmica é o que permite compreender a infraestrutura como vetor de transformação estrutural, capaz de reduzir vulnerabilidades, impulsionar produtividade e promover coesão social diante de um clima em rápida mutação.

Ao mesmo tempo, a lacuna persistente no financiamento de adaptação reflete não apenas a escassez de recursos, mas a dificuldade de estruturar projetos bancáveis, rastreáveis e alinhados às taxonomias e metodologias internacionais. O fortalecimento institucional e a qualificação técnica dos processos de estruturação tornam-se, portanto, fatores determinantes para destravar o investimento em escala. Metodologias como o M5D oferecem um caminho concreto para integrar critérios de resiliência climática em todas as etapas do ciclo de projeto — desde a justificativa estratégica até a governança e avaliação *ex post* — assegurando que a resiliência seja tratada como eixo transversal da política de investimentos públicos e parcerias público-privadas.

Por fim, construir uma carteira robusta de projetos de infraestrutura adaptados ao clima requer uma nova geração de instrumentos financeiros, regulatórios e institucionais que promovam sinergias entre capital público e privado e reconheçam os "dividendos de resiliência" como parte integrante do retorno do investimento. Ao articular metodologias consistentes, critérios de priorização claros e métricas de impacto, os tomadores de decisões poderão priorizar investimentos mais racionais e eficientes, reduzindo custos futuros e ampliando benefícios coletivos.

REFERÊNCIAS

Aberra, F., Harrod, C., Mays, M., & Stevenson, H. (2024, May). **The Ethics of Disaster Resilient Infrastructure Maintenance and Social Equity**. *In* 2024 Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS) (pp. 466-471). IEEE.

Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), African Development Bank, Asian Development Bank, Asian Infrastructure Investment Bank, European Bank for Reconstruction and Development, European Investment Bank, International Development Finance Club, & Islamic Development Bank (2019). **A Framework and Principles for Climate Resilience Metrics in Financing Operations**. Disponível em: https://doi.org/10.18235/0002040

Benevenuto, R., & Caulfield, B. (2019). **Poverty and transport in the global south: An overview**. Transport Policy, 79, 115-124.

Bhargava, R., & Bhargava, M. (2023). **The climate crisis disproportionately hits the poor. How can we protect them**. *In* World Economic Forum

Blanc-Brude, F., A. Gupta., J.Lee, F. Nugier & T. Whittaker, "**The cost of international sanctions to investors in Russia's airports**" (March 2022). Disponível em: https://edhecinfraprivateassets.com/paper/the-cost-of-international-sanctions-to-investors-in-russias-airports/

Brandon, C., Kratzer, B., Aggarwal, A. and Heubaum, H. (2025). World Resources Institute. **Working paper: Strengthening the investment case for climate adaptation: A triple dividend approach**. DOI https://doi.org/10.46830/wriwp.25.00019

Brasil, 2022a. **Estruturação de propostas de investimento em infraestrutura: modelo de cinco dimensões**. Brasília. Disponível em: https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/choque-de-investimento-privado/modelo-de-cinco-dimensoes/guia-modelo-de-cinco-dimensoes.pdf

Brasil, 2022b. **Anexo II – Riscos Climáticos**. Anexo do Guia Geral de Análise Socioeconômica de Custo-Benefício de Projetos de Investimento em Infraestutura - Guia ACB. Disponível

em: https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/choque-de-investimento-privado/avaliacao-socioeconomica-de-custo-beneficio-1/anexo-riscos-climaticos-1.pdf

Climate Policy Initiative – CPI. (2024). **Tracking and Mobilizing Private Sector Climate Adaptation Finance**. Disponível em: https://www.climatepolicyinitiative.org/wp-content/uploads/2024/09/Tracking-and-Mobilizing-Private-Sector-Climate-Adaptation-Finance-2024.pdf

Climate Policy Initiative. (2023). **Global landscape of climate finance 2023**. Disponível em: https://www.climatepolicyinitiative.org/pt-br/publication/global-landscape-of-climate-finance-2023/

Climate Policy Initiative. (2023). **State and trends in climate adaptation finance**. Disponível em: https://gca.org/wp-content/uploads/2023/12/State-and-Trends-in-Climate-Adaptation-Finance-2023_WEB.pdf

Climate Policy Initiative (2015). **Emerging solutions to drive private investment in climate resilience**. Disponível em: https://climatepolicyinitiative.org/wp-content/uploads/2015/06/Finance-for-Climate-Resilience.pdf

Confederação Nacional dos Municípios. 2025. **Estudo Panorama dos Desastres no Brasil – 2013 a 2024**. Disponível em: https://cnm.org.br/storage/biblioteca/2025/Estudos_Tecnicos/ET_DEFCIVIVL_05-2025_Panorama_dos_Desastres_no_Brasil_2013_a_2024.pdf

Francis, R., & Bekera, B. (2014). **A metric and frameworks for resilience analysis of engineered and infrastructure systems**. Reliability engineering & system safety, 121, 90-103.

Fundo Monetário Internacional (2024). **Working paper: Public Investment Management Bottlenecks in Low-income Countries**. Disponível em: https://www.imf.org/-/media/Files/Publications/WP/2024/English/wpiea2024232-print-pdf.ashx

Linkov, I., Bridges, T., Creutzig, F., Decker, J., Fox-Lent, C., Kröger, W., Lambert, J. H., Levermann, A., Montreuil, B., Nathwani, J., Nyer, R., Renn, O., Scharte, B., Scheffler, A., Schreurs, M., & Thiel-Clemen, T. (2014). **Changing the resilience paradigm. Nature Climate Change**, 4(6), 407-409. https://doi.org/10.1038/nclimate2227

Marcelo, Darwin and Frederic Blanc-Brude, "**It's Getting Physical**" SSRN (2023). http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4784951

Moraes, R., Peci, A. Pompermayer, F. M, Lucas, L. F. C., Rech, T., Marinho, S. (2024). **Indicadores quantitativos da OCDE e o Brasil: governança pública**. Rio de Janeiro: Ipea: CEPAL, 2024. v. 3. ISBN: 978-65-5635-079-0. DOI: http://dx.doi.org/10.38116/9786556350790

G20 (2017). G20 **Principles for the Infrastructure Project Preparation Phase Prepared by the Infrastructure Working Group**. Disponível em: https://cdn.gihub.org/umbraco/media/2570/g20-principles-for-the-project-prep-phase.pdf

HM Trasury, 2023. **Infrastructure and Projects Authority – Infrastructure Busines Case: International Guidance**. Disponível em: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/623b24e6e90e07799f0c7c3e/Infrastructure_Business_Case_International_Guidance.pdf

OECD (2024), **Infrastructure for a Climate-Resilient Future, OECD Publishing**, Paris. Disponível em: https://doi.org/10.1787/a74a45b0-en

OECD (2023a). **Green Finance and Investment Scaling Up Adaptation Finance in Developing Countries CHALLENGES AND OPPORTUNITIES FOR INTERNATIONAL PROVIDERS**. Disponível em: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2023/11/scaling-up-adaptation-finance-in-developing-countries_4f4b0a0a/b0878862-en.pdf

OECD (2023b). **Economic Surveys: Brazil 2023**. Disponível em: https://www.oecd.org/en/publications/oecd-economic-surveys-brazil-2023_a2d6acac-en.html

Sathurshan, M., Saja, A., Thamboo, J., Haraguchi, M., & Navaratnam, S. (2022). **Resilience of critical infrastructure systems: a systematic literature review of measurement frameworks**. Infrastructures, 7(5), 67. Disponível em: https://www.mdpi.com/2412-3811/7/5/67

Shaffer, Gary P., John W. Day, Sarah Mack, G. Paul Kemp, Ivor van Heerden, Michael A. Poirrier, Karen A. Westphal, *et al.* "**The MRGO Navigation Project: A Massive Human-Induced Environmental, Economic, and Storm Disaster**." Journal of Coastal Research, 2009, 206–24. http://www.jstor.org/stable/25737481

Turolla, F., Benevenuto, R., Botassio, D, Igrejas, R. (2023) **Working paper: Novos protocolos na estruturação de projetos de infraestrutura no Brasil**. PSP Hub Infrastructure and Urbanism Studies. Disponível em: https://psphub.org/wp-content/uploads/2023/12/2023_12_02-PSP_Hub-WP004-Estruturacao_projetos_Brasil.pdf

United Nations Office for Disaster Risk Reduction - UNDRR (2022). **Principles for resilient infrastructure**. Disponível em: https://www.undrr.org/quick/70250

Verschuur, Jasper, Elco E. Koks, and Jim W. Hall, "**Systemic risks from climate-related disruptions at ports**," Nature Climate Change, 13, no. 8 (2023): 804-806. https://doi.org/10.1038/s41558-023-01754-w

UNEP (2023). Underfinanced. Underprepared. **Adaptation Finance Gap Update 2023 Inadequate investment and planning on climate adaptation leaves world exposed**. Disponível em: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Finance_Gap_Update.pdf

Wignarajah, D., Richmond, M., Stout, S., Martinez, G., Schell-Smith, K., & Padmanabhi, R. (2023). State and Trends in Climate Adaptation Finance 2023. **Climate Policy Initiative, Global Center on Adaptation Report**. Disponível em https://www.climatepolicyinitiative.org/wp-content/uploads/2023/12/State-and-Trends-in-Climate-Adaptation-Finance-2023_.pdf

World Bank, 2019. **Joint methodology for tracking climate change adaptation finance**. Disponível em: https://thedocs.worldbank.org/en/doc/20cd787e947dbf4459874146953 8a4ab-0020012022/original/20220242-mdbs-joint-methodology-climate-change-adaptation-finance-en.pdf

World Bank, 2025. **Financing Climate Adaptation Nature-based Infrastructure**. Disponível em: https://documents1.worldbank.org/curated/en/099050725135521570/pdf/P501013-299da78d-86cc-4f74-a095-cde17655875a.pdf

World Resources Institue – WRI (2025). **Working paper: Strengthening the Investment Case for Climate Adaptation: A Triple Dividend Approach**. Disponível em: https://doi.org/10.46830/wriwp.25.00019

2

INVESTMENTS IN INFRASTRUCTURE AND CLIMATE RESILIENCE: CONCEPTS, CHALLENGES AND PATHS

RODOLFO GOMES BEVEVENUTO, PHD

ABSTRACT

This chapter analyzes the growing impacts of climate change on infrastructure systems, highlighting how chronic risks and extreme events can compromise the integrity, functionality, and longevity of assets, generating significant economic and social consequences. International criteria for classifying climate adaptation financing are presented, with special attention to the conceptual distinctions between resilient infrastructure and infrastructure for resilience. The relevance of interventions that favor systemic resilience, going beyond the punctual protection of assets, is emphasized. The text also highlights the persistent financing gap for adaptation in various infrastructure sectors, in the face of growing demands and obstacles to capital mobilization. Finally, tools for improving project preparation processes based on the Five Case Model are discussed, highlighting its potential as a strategic lever to increase the volume and ensure the quality of investments in infrastructure aimed at building more resilient systems.

Keywords:

Adaptation finance; systemic resilience; project preparation; Five Case Model

INTRODUCTION

Climate change is a growing structural risk for infrastructure systems. Rising sea levels, more extreme hydrometeorological events (such as floods, heat waves, and storms), and gradually higher global temperatures directly impact the physical integrity, durability, and functionality of infrastructure assets across all sectors. These factors not only increase operation and maintenance costs, but also compromise the reliability and continuity of the services promoted by such assets, with direct implications on urban mobility, supply logistics, regional integration and the performance of production chains. This context requires an analysis of the main related concepts, challenges and possible strategies for increasing investments in infrastructure that promote greater climate resilience, whether public or private.

Projections based on current climate scenarios indicate that, by 2050, the net asset value (NAV), of an infrastructure asset[1] could be reduced on average by 4.4%, reaching losses of up to 26.7% in the most adverse scenarios, as a result of the intensification of physical risks related to climate change (Darwin and Blanc-Brude, 2023). The analysis is based on a representative sample of 700 companies for which asset-level climate risk estimates are available on EDHECInfra's *InfraMetrics* platform. The estimated financial loss for the infrastructure asset portfolio was calculated using a probabilistic model presented by Blanc-Brude and Gupta (2022), which consists of creating simulated portfolios, mimicking how real investors apply resources over time. Figure 1 highlights the transportation sector, which can reach 98% of the value of assets in more extreme climate change scenarios. In addition to the financial loss suffered by the managers of these assets, such losses can compromise territorial connectivity, logistical efficiency, and accessibility for vulnerable populations, widening socio-spatial inequalities.

1 The market value of the asset minus all its associated liabilities constituting a metric to assess the financial health of the asset.

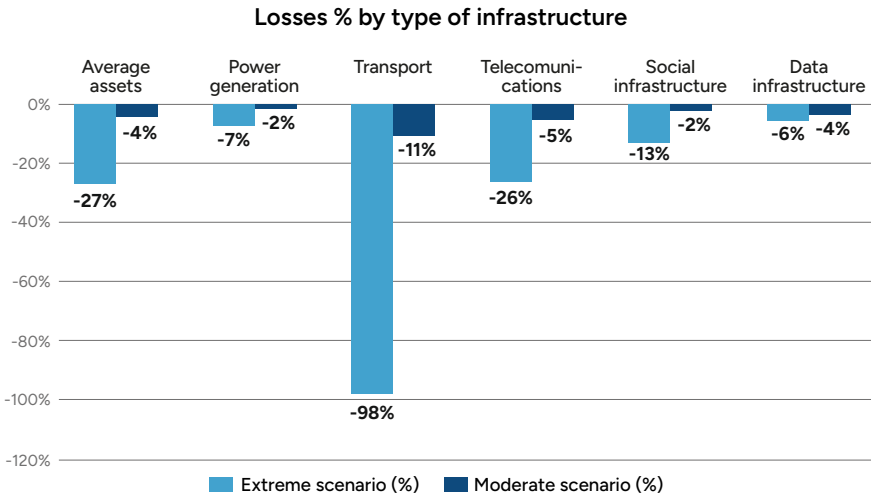


Figure I: Potential losses of the net value of infrastructure assets due **to the physical risk of climate change by scenario to 2050**

(Source: Darwin and Blanc-Brude, 2023)

It is important to mention that well-known financial metrics, such as *value at risk*, although increasingly used by private investors to assess risk-adjusted returns, still fail to capture a critical dimension: the broader economic, social, and environmental impacts that can compromise the functionality and benefits of these assets to society. This is due to the difficulty of quantifying the non-financial benefits of adaptation. Some of these impacts can be estimated more broadly based on past experiences. For example, in a recent report produced for the G20, the *World Resources Institute* evaluated 320 adaptation investments in agriculture, water, infrastructure, and health in 12 countries between 2014 and 2024 and concluded that every US$1 invested in adaptation generates more than US$10.50 in benefits over a 10-year period (Brandon *et al.*, 2025). However, many of the positive effects—such as social resilience, public health, or environmental protection—do not generate direct financial returns and are rarely recorded or valued in traditional investment valuation models. These social benefits and externalities are often ignored due to market failures and equity issues,

which underestimates the real value of adaptation actions (Stoll *et al.*, 2021; Tall *et al.*, 2021).

In this context, the resilience of infrastructure assets should be conceived as a strategic attribute, intrinsic to the planning and decision-making processes in investments, extrapolating the restricted notion of physical robustness to encompass the ability of systems to maintain their functional performance in the face of extreme weather conditions and future uncertainties. The analysis conducted by Verschuur *et al.* (2023) exemplifies in an insightful manner the order of magnitude of the potential broader financial impacts from an analysis of specific assets. By modeling the effects of weather-induced shutdowns in 1,320 ports distributed globally, the authors estimate annual losses of around US$ 81 billion in international trade and US$ 122 billion in associated economic activity—showing that the impacts are not restricted to the impairment of isolated assets, but systematically affect the functional resilience of logistics and production chains on a global scale.

It is therefore necessary to rethink the way infrastructure investment projects are prepared, financed and prioritized. This chapter seeks to contribute to this debate by discussing the concepts, challenges, and paths for structuring investment projects that address the theme of resilience. First, we explore how an investment in resilience is characterized, differentiating initiatives that only protect assets from direct risks from those that contribute to the adaptive capacity of social and economic systems. Next, we delve into the concept of systemic resilience, emphasizing the importance of interventions that promote redundancy, flexibility, and social inclusion on a territorial scale. The analysis also examines the current climate adaptation finance gap, recognizing that despite growing policy and regulatory attention, financial flows remain insufficient and uneven—demonstrating the need for a composition between public and private capital to achieve the necessary volume of adaptation investments. Finally, we propose ways for structuring investment projects using internationally recognized methodologies that can accelerate investments in infrastructure capable of strengthening resilience in an integrated and transformative way.

1. INTERNATIONAL DEFINITIONS ON INVESTMENTS IN CLIMATE RESILIENCE AND ADAPTATION

An important first aspect to be explored in the context of promoting climate resilience through infrastructure is precisely the taxonomy of what constitutes an investment in climate adaptation. These definitions are essential to align public policies, guide financing decisions, and ensure the comparability and traceability of the flows of resources destined to climate adaptation. In a context of increasing exposure to physical risks and a shortage of resilience funding, the absence of consistent criteria can lead to fragmentation of efforts and inefficient allocation of capital. Recognizing this gap, multilateral forums, such as the G20, the OECD, and the Multilateral Development Banks (MDBs), have made progress in building common guidelines, such as green taxonomies and principles for climate-resilient infrastructure. These frameworks seek not only to harmonize practices across countries and institutions, but also to strengthen the credibility of investments labeled as "resilient," contributing to greater transparency, environmental integrity, and systemic impact on sustainable development strategies.

According to OECD (2024), adaptation investments (application of resources for the acquisition of long-term goods and assets, through works, machinery, equipment) must meet the following three criteria: i) benefits for resilience: the investment must increase resilience to climate change, directly reducing climate risks physical or supporting the adaptation of others; (ii) do no significant harm: the investment must not negatively affect the resilience of other people or ecosystems, for example by increasing the risks faced by neighboring communities; and (iii) compatible with adaptation plans: the investment shall be compatible with national or local strategies, such as national adaptation plans, nationally determined contributions or national disaster reduction strategies. If such plans do not exist, or do not set objectives in relation to the investment, an investment is presumed to be compatible. These criteria aim to ensure that the investment is likely

to have a positive impact on adaptation and to reduce the risk that the measure will be ineffective or counterproductive (i.e. the risk of maladaptation).

MDBs, on the other hand, use a three-step methodology to classify an investment as an "adaptation investment" (World Bank, 2019). The first stage consists of the contextualization of climate risk, in which the project must demonstrate that it is inserted in a context of specific vulnerability to climate change, based on scientific evidence and risk analysis. The second stage requires that the project has an explicit intention to adapt, that is, that it has been deliberately designed to respond to the identified climate risks , incorporating specific measures to reduce vulnerabilities. Finally, in the third step, it is necessary to establish a clear and rational link between the funded activities and the adaptation objectives, ensuring that only the components directly related to adaptation are counted as such. This approach seeks to ensure the integrity, traceability, and effectiveness of the resources applied in climate adaptation actions. Specific lists of project typologies, consolidating solutions typically compatible with such a methodology have been promoted by the *Climate Policy Initiative* (CPI, 2024). This type of initiative has the potential not only to facilitate tracking, but also to increase the mobilization of private finance for climate adaptation.

The definitions, taxonomies and methodologies for assessing adaptation investments have also been discussed in several G20 working groups. The *Disaster Risk Reduction* working group focuses on preventing and promoting resilient infrastructure, proposing systemic metrics to assess the capacity to withstand disasters and climate change, guiding investments. The *Infrastructure* working group discusses innovative financial instruments to mobilize private capital, highlighting the importance of metrics that encourage investments in resilient assets. The *Environment and Climate Sustainability* working group works on identifying barriers to global adaptation and creating systemic approaches to measure the effectiveness of adaptation policies. Finally, the *Sustainable Finance* working group seeks to integrate resilience metrics into financial

frameworks, promoting more resilient and inclusive societies, and increasing the credibility of assets aimed at climate adaptation.

2. RESILIENT INFRASTRUCTURE VS INFRASTRUCTURE FOR RESILIENCE

In the context of the different taxonomies used internationally to classify investments in climate adaptation, in order to have a qualified discussion in the infrastructure sector, it is essential to distinguish between the concepts of *resilient infrastructure* and *infrastructure for resilience*.

A *climate-resilient infrastructure* refers to infrastructure that is planned, designed, built, and operated in a way that anticipates, prepares, and adapts to climate change (OECD, 2024). This type of infrastructure is able to withstand and recover quickly from disruptions caused by changing weather conditions over its lifetime. The concept covers both new and existing assets, which may require physical readjustments or changes in their operation to deal with the impacts of climate change. This concept refers, therefore, to infrastructure assets capable of resisting, absorbing, and recovering from shocks and stresses, such as natural disasters or climate change—as we will see below, the focus is on project *outputs*, such as bridges or more robust power grids.

The concept of *infrastructure for resilience*, on the other hand, refers to the promotion of the results achieved (*outcomes*) from the use of an infrastructure asset that will increase the adaptive capacity of communities, value chains, and systems in the face of climate shocks—for example, infrastructures that provide system redundancy, or facilitate the mitigation of climate impacts in crisis contexts. Confusing these concepts can lead to prioritization of investments that do not necessarily contribute to systemic resilience, diverting resources from interventions that could generate more lasting and equitable impacts. This compromises the effectiveness of public policies by focusing on the robustness of the infrastructure itself, rather than considering its strategic role in reducing social and economic vulnerabilities.

In this context, it is necessary to conceptually differentiate the *outputs*, *outcomes* and long-term effects (*impacts*) of an infrastructure asset2:

- *Outputs* refer to the products, capital goods and services delivered under the project, designed to respond to the specific context of climate vulnerability in which the intervention is inserted, with the aim of promoting climate resilience. For example: hectare of restored mangroves; Coastal city with approved resilience plan. *Outputs* may also include relevant policies and plans at the regional or national level that are being developed or updated with project support. In addition, *outputs* may cover institutional, technical or operational changes resulting from implementation, as long as they contribute directly to the achievement of the expected *outcomes*. Such elements can be reported at the end of the project execution period or, in some cases, *ex ante* at the time of its approval.

1. The *outcomes* refer to the short and medium-term effects, foreseen or actually achieved by the project, which may manifest themselves in the form of adjustments in physical, human or environmental systems, as well as associated economic benefits. For example, kilometers of coastline protected from the risk of climate-induced disasters as a result of mangrove forests. Such effects must be aligned with the specific context of climate vulnerability in which the project is inserted, contributing to the strengthening of climate resilience. The *outcomes* can be reported over the expected useful life of the assets and/or systems financed, or even *ex ante* at the time of project approval. Its verification can also occur through *ex post* evaluations. The typical time horizons for the observation of these results are between one and five years after the completion of the project.
2. Long-term *impacts* refer to the long-term primary and secondary effects resulting from the project, whether direct or

2 The definition agreed upon by the main Multilateral Development Banks is adopted here (IDB et al., 2019).

indirect, intentional or unintentional, that can contribute to strengthening climate resilience on a broader scale, increasing adaptive capacity, and/or reducing climate vulnerability. For example, the increase in resilience of coastal communities and assets, as measured by an *ex-post* analysis, assessing the reduction in revenue loss from climate-related risks. Due to the longer time horizons and inherent uncertainties, impacts are generally inferred or expressed in qualitative and descriptive terms, and can also be evaluated through long-term *ex-post* analyses. The deadlines for observing these impacts are generally in the order of years to decades after the implementation of the project.

3. SYSTEMIC RESILIENCE

Once we understand the different levels of resilience promoted by an infrastructure investment project, we can move on to the concept of systemic resilience, or systems resilience. This concept is based on the understanding that critical infrastructure systems—which include transportation, energy, water supply, and telecommunications—function as interconnected networks that provide essential services at local, regional, and global levels. This conceptual definition has become increasingly relevant given the overlapping and achievement of shocks derived from extreme weather events that have imposed increasingly frequent and more intense challenges for infrastructure networks (Allan *et al.*, 2023; Pörtner *et al.*, 2022). These shocks expose deep vulnerabilities in the design, operation, and governance of these infrastructure assets, causing direct impacts on public safety, economic stability, and environmental integrity.

The concept of systemic resilience, according to UNDRR (2022), can be defined as a property of an infrastructure system that emerges dynamically when infrastructure assets are organized in such a way as to ensure the continuous provision of agreed critical services—such as energy, telecommunications, urban mobility, water supply, and sewage and waste collection—even in the face of endogenous and/or exogenous threats, as well as in the face of the

addition, modification or removal of infrastructure components. The emblematic case described in Chart 1 exemplifies this concept in a practical way.

Exhibit 1: The MRGO Shipping Channel and New Orleans' Systemic Resilience

In 1965, a navigation canal was built 11 meters deep and 200 meters wide with the aim of connecting the New Orleans Industrial Canal to the open sea, to the east, in order to facilitate maritime access to the city. However, just three months after its completion, Hurricane Betsy struck the region, becoming the first disaster in the United States to surpass $1 billion in economic losses – an impact amplified by the presence of the MRGO Channel. Classified as a Category 3 hurricane, Betsy had prevailing easterly winds from the Gulf of Mexico, bypassing defenses along Lake Pontchartrain, which would usually be sufficient to contain this type of event. Instead, the storm drove a 10-foot (3.6 m) rise through the MRGO Canal toward the Industrial Canal, breaching the recently exposed low levees and causing significant flooding in the eastern part of the city.

As a result, approximately 13,000 homes were submerged by waters with a depth of up to 2.7 meters, leaving about 60,000 people homeless and causing 58 deaths. This episode highlights how engineering decisions and infrastructure interventions, when disconnected from climate risk and systemic impact analyses, can amplify the vulnerability of densely populated urban areas, transforming works designed for economic development purposes into vectors of risk and disaster.

The construction of the MRGO Canal is an emblematic example of the failure to prioritize the systemic resilience of a city–in this case, New Orleans–in the face of a familiar challenge, such as hurricanes. Although the canal itself had characteristics of resilient infrastructure, its implementation compromised the resilience of the urban system as a whole. In contrast, the decision to deactivate the channel after the passage of Hurricane Katrina – which once again highlighted the systemic weaknesses resulting from its presence – resulted in the strengthening of the city's systemic resilience, demonstrating the importance of considering the integrated and interdependent effects of infrastructures in the territories where they are located.

Source: Shaffe et al. (2009)

The need for investments that promote the systemic resilience of supply chains, municipalities, or regions stems from the fact that traditional resilience investment approaches, which focus on isolated interventions, cannot adequately address cascading failures—for example, when an interruption in the electricity system compromises water supply, transportation, and emergency services. This fact highlights the need for systemic strategies that consider these interdependencies. Moreover, these vulnerabilities do not affect all communities equally: socioeconomically disadvantaged populations, especially in the Global South, face disproportionate impacts due to structural inequalities and regressive distribution of access to basic infrastructure services (Aberra *et al.*, 2024; Bhargava & Bhargava, 2023; Benevenuto & Caulfield, 2019).

To address these complexities, the concept of systemic resilience has gained prominence as a key framework for understanding and managing interconnected infrastructures. This approach emphasizes the ability of infrastructure networks to absorb, adapt, and recover from disruptions while maintaining their essential functions, recognizing that failures in one sector can trigger cascading effects in others (Linkov *et al.*, 2014; Sathurshan *et al.*, 2022). Systemic resilience challenges traditional fragmented planning by proposing a "system of systems" perspective, which is crucial in the face of compounding climate risks, aging infrastructures, and increasing reliance on digital technologies (Francis & Bekera, 2014). Applying systemic resilience enhances infrastructure governance by aligning design, investment, and operation with complex, multi-risk environments, going beyond protecting isolated assets. It recognizes that failures emerge not only from external shocks, but also from structural weaknesses and functional dependencies between systems, as exemplified by the interruption of the electricity grid affecting water and transportation services (Hickford *et al.*, 2018). In addition, robust systemic resilience metrics are essential to assess vulnerabilities, guide sustainable and inclusive investments, and promote data-driven decisions, catalyzing public and private investments in climate-resilient infrastructure (OECD, 2024).

4. THE CLIMATE ADAPTATION AND RESILIENCE INVESTMENT GAP

Global demand for climate change adaptation finance far outstrips the financial flows currently mobilized by the public and private sectors. The *Global Landscape of Climate Finance* 2023 report estimates that developing countries will need $212 billion per year by 2030 for adaptation finance, increasing to $239 billion per year between 2031 and 2050. The *UNEP Adaptation Gap Report* 2023 suggests a similar range, between US$130–415 billion annually this decade, with a significant increase by 2050. The difficulty in mobilizing this capital increases the exposure of populations and assets to the adverse impacts resulting from the worsening climate scenario. Table 1 shows in a comparative perspective the order of magnitude of the estimated investments for adaptation in the infrastructure sector in relation to other economic sectors for developing countries.

Table 1: Sectoral adaptation costs *(Source: CPI, 2023; UNEP, 2023)*

Sector	Type of cost	Estimated Cost (developing countries)
Infrastructure	Resilience in the construction, energy, and transportation sectors.	USD 56 billion/year, with a significant increase until 2050
Coastal zones	Coastal protection and beach restoration	USD 56 billion/year (2010-2050)
River floods	Protection against river flooding	USD 54 billion/year
Early warning and social protection	Universal early warning systems	USD 16 billion/year
Agriculture	Reducing the impact of climate change on chronic hunger	USD 16 billion/year
Health	Control of climate-related diseases and mortality	USD 11 billion/year until the 2050

Information on national public financing for climate change adaptation, as well as from the private sector, is still scarce and non-transparent. However, it is possible to observe a diversity of sources and financial instruments involved in climate adaptation finance. Governments, multilateral banks, private financial institutions, and individuals contribute resources through grants, concessional loans, market investments, and equity.

However, data from the Citi GPS report (2023) indicate that global financing for adaptation investments is still heavily concentrated in public sources, representing 97% of the resources allocated to adaptation between 2021 and 2022. This reflects the difficulty that many companies face in realizing the usefulness or profitability of adaptation investments. This information is essential to qualify the pricing of climate risk and thus facilitate the mobilization of private financing for adaptation. Business decision-making depends on a clear assessment of the financial impacts of weather events—such as operational disruptions or lost revenue—,but local variability and scarcity of data make accurate estimates difficult. Without proper measurement, private investors tend to avoid adaptation projects, aggravating future risks. In addition, it becomes difficult to estimate the costs of inaction, as the benefits of interventions often only manifest themselves after extreme events occur (OECD, 2023a).

Recent data indicate that climate adaptation finance between 2021 and 2022 accounted for a total of $68 billion on average annually during the period analyzed (Wignarajah *et al.*, 2023). Although this amount more than doubled between 2018 and 2022, the amounts of adaptation finance are still significantly lower than the resources allocated to mitigation (US$ 1.171 billion). The public sector continued to be the main source of these flows (92% in 2022), predominating in the water infrastructure and sanitation (88%) and AFOLU (agriculture, forestry, and land use) sectors. In any case, the relatively low volume of financing for adaptation compared to mitigation suggests the need to rebalance global priorities.

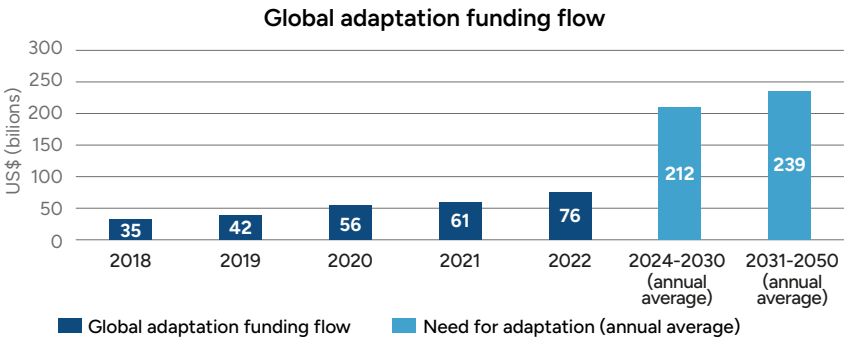


Figure 2: Global adaptation finance flows – Background vs Future need
(Source: Wignarajah et al., 2023)

In a scenario of increasing fiscal constraint, it becomes evident that to achieve such increments in financial flows for adaptation requires a composition between public and private investments. However, such investments often face significant obstacles to being allocated to climate adaptation projects, largely due to the scarcity of projects that meet minimum technical, financial, legal, and environmental feasibility requirements. This gap is one of the main obstacles to capital mobilization on a scale compatible with climate challenges, and is widely recognized as one of the structural factors that limit the advance of investments in resilience. The International Monetary Fund (2024) points out that the efficiency of public investments, especially in low-income countries, is directly conditioned by the quality of the project cycle, including critical steps such as the preparation, selection, and management of projects. Although the number of projects oriented to the private sector has grown significantly in recent decades, initiatives that incorporate robust climate adaptation components still represent a minority fraction of the total portfolio of structured projects (CPI, 2015). In addition to this context, there are the uncertainties inherent in the assessment of climate risks and the measurement of the benefits of resilience, which make it difficult to properly price assets and make innovative financial instruments viable. In this sense, the strengthening of institutional capacities and the modernization of project structuring processes emerge as central elements to unlock

investment flows and catalyze interventions that meet the urgency imposed by climate change.

5. MAINSTREAMING RESILIENCE IN THE STRUCTURING OF INVESTMENT PROJECTS

To achieve compatible levels of financial flows needed for adaptation in the infrastructure sector, it is essential to scale up investments without compromising the quality of projects. In this sense, the improvement of the processes for structuring infrastructure projects represents a strategic lever to accelerate the execution and ensure the quality of investments aimed at promoting systemic resilience.

The preparation of investment projects refers to the conduction of feasibility studies and the preparation of the technical, economic-financial, legal and managerial documentation necessary for the bidding of projects in sectors of economic and social infrastructure. Over the last decade, there has been significant progress in the Brazilian context in the modernization of governance, evaluation, and structuring processes for infrastructure investment projects (Moraes *et al*., 2024; OECD, 2023b). One of the highlights in this process was the adoption of the Five Case Model (5CM), inspired and adapted from the British *Five Case Model*, as a methodology for structuring investment projects as a reference for national and subnational infrastructure (Moraes *et al*, 2024; Brazil, 2022).

5CM is an internationally recommended methodology (G20, 2017; HM Treasury, 2022) and progressively endorsed at the national level by institutions such as the Federal Court of Accounts, the Interministerial Governance Committee, the Special Secretariat of the Investment Partnerships Program of the Chief of Staff, among other public entities at the federal, state, and municipal levels (Turolla *et al*., 2025). Notably, 5CM offers a robust analytical framework that allows for the systematic incorporation of climate resilience objectives in the different spheres of analysis—strategic,

economic, financial, commercial, and managerial—of investment projects (HM Treasury, 2022).

By introducing the resilience perspective in the preparation of the various phases of the project life cycle, the model enables the early identification of risks and opportunities associated with climate change, promoting more comprehensive assessments of the long-term socioeconomic value, including the so-called *resilience* dividends (WRI, 2025). The requirement of criteria linked to climate resilience favors the alignment of infrastructure investments with adaptation goals, current regulatory frameworks, and the expectations of different stakeholders, contributing to the implementation of more robust public assets prepared for future challenges.

Below are elements that demonstrate how the promotion of climate resilience can be strengthened in each of the five dimensions recommended by such a model for structuring a project.

Strategic Case: Alignment with Climate Adaptation Policies

Several recent events, such as the floods that occurred in the state of Rio Grande do Sul (2023), Pernambuco (2022) and Bahia (2021), among other climate catastrophes, show that a large part of the Brazilian infrastructure still does not systematically incorporate the consideration of climate risks in its strategic planning. The lack of alignment between the individual goals of each project and the adaptation guidelines established at local, regional, and national levels results in fragmented actions and the absence of coordination between sectoral interventions (OECD, 2023a). The incorporation of climate resilience begins in the Strategic Dimension, where the justification of the project and its articulation with the broader objectives of public policies are defined. To ensure the integration of climate resilience from the initial phases of project design, its objectives must be explicitly aligned with national strategies (such as the Ministry of Transport's *Adaptavias* Studies) and subnational strategies (such as Drainage Master Plans), promoting coherence with current public adaptation policies. This alignment ensures that infrastructure investments not only meet current

service needs, but are also prepared to face future climate-related uncertainties.

Economic Case: Assessment of resilience in the various alternatives

The economic dimension offers a rigorous basis for evaluating the socioeconomic cost-benefit ratio of the project, and is essential for quantitatively verifying the resilience dividends (WRI, 2025) generated in the evaluation of each alternative. Specifically to address the issue of climate risks at this stage, the federal government in partnership with the German Cooperation Agency (GIZ) published the Climate Risks annex of the *General Guide for Socioeconomic Cost-Benefit Analysis of Infrastructure Investment Projects* (Brasil, 2022b). This document establishes a methodology for incorporating the risks associated with climate change into the evaluation of projects in any infrastructure sector. The methodology is structured in three main stages: initially, a screening is carried out to identify whether the project is exposed to relevant climate risks, such as sea level rise, droughts or floods. If exposure is identified, a detailed analysis of the potential impacts on the project's costs and benefits is carried out, considering both chronic (gradual changes) and acute (extreme events) risks. Finally, the results of this evaluation are integrated into the decision-making process, allowing the comparison of scenarios with and without adaptation and the evaluation of the socioeconomic feasibility of the proposed interventions. The analysis of the economic dimension, incorporating such a climate risk assessment tool, allows the elements of adaptation to be no longer seen as additional costs and are now recognized as fundamental components for efficiency and economic sustainability throughout the project life cycle.

Financial Case: Enabling the Financing of Adaptation Projects

In the Financial Dimension, the financial viability, sources of financing, and financial risks of the project are evaluated — including those related to variability and climate change. Resilience can

be incorporated by considering life cycle costs that include maintenance, repairs, and operation under different climate scenarios. Climate adaptation infrastructure financing mechanisms through Public-Private Partnerships (PPPs) stand out as a relevant alternative to enable large projects that require robust investments and risk sharing. Several flood risk management and coastal resilience projects, such as the *Fargo-Moorhead River Diversion Project* (USA), *Broadland Flood Protection* (UK) and *Mission Rock in San Francisco* (USA), have been financed by PPPs that include compensation through "availability payments", performance contracts or real estate value capture, depending on the model adopted (World Bank, 2025). Ensuring financial sustainability in a climate change future requires that the physical risks associated with such new climate scenarios be priced in from the outset, allowing for more robust and predictable financial planning.

Commercial Case: Contracting models and market sounding

The Commercial Dimension analyzes contracting and execution mechanisms, offering an opportunity to integrate climate resilience through market engagement and contract structuring. Resilience can be fostered, for example, through performance contracts that reward outcomes related to climate adaptation, such as continuity of services during extreme events or energy efficiency under adverse weather conditions. Early engagement with suppliers and private sector actors can also reveal technological solutions and innovations that support adaptation. In addition, market consultation processes can assess the feasibility and attractiveness of delivering resilient infrastructure under current conditions, identifying any capacity gaps or incentives needed to align the private sector with resilience objectives.

Management Case: Governance, risk management and project evaluation

The Managerial Dimension deals with project governance, execution planning, and risk management, and is key to operationa-

lizing climate resilience. This includes establishing clear institutional responsibilities for the implementation of adaptation measures, monitoring climate performance indicators, and adopting adaptive management processes throughout the project cycle. Resilience must be present in risk records and contingency plans, with protocols defined to respond to adverse weather events . Capacity-building initiatives aimed at project teams and executing agencies are also key to ensuring that resilience measures are effectively implemented. In addition, continuous learning mechanisms—through monitoring, post-implementation evaluation, and updates based on new climate data—must be incorporated to ensure the constant improvement of adaptation actions.

6. CONCLUSION

The analysis developed throughout this chapter shows that incorporating climate resilience into infrastructure investments is not only a technical necessity, but a strategic imperative for sustainable development. Evidence demonstrates that the intensification of physical risks related to climate change poses a direct threat to the functionality and economic value of infrastructure assets, while widening social and territorial inequalities. Responding to this challenge requires a profound transformation in the way governments, investors, and financial institutions conceive, plan, and execute projects—moving from a reactive logic of point protection to a proactive approach of strengthening systemic resilience.

In this sense, distinguishing between resilient infrastructure and infrastructure for resilience is crucial to guide investments that not only withstand climate events, but also expand the adaptive capacity of communities and productive systems. The focus on *outcomes* and long-term *impacts* reinforces the need to measure the effectiveness of investments from a broader socioeconomic perspective, which includes externalities and equity in the distribution of costs and benefits. This systemic view is what allows us to understand infrastructure as a vector of structural transformation, capable of reducing vulnerabilities, boosting pro-

ductivity, and promoting social cohesion in the face of a rapidly changing climate.

At the same time, the persistent gap in adaptation finance reflects not only the scarcity of resources, but the difficulty of structuring projects that are bankable, traceable, and aligned with international taxonomies and methodologies. Institutional strengthening and technical qualification of structuring processes become, therefore, determining factors to unlock investment at scale. Methodologies such as 5CM offer a concrete pathway to integrate climate resilience criteria at all stages of the project cycle—from strategic justification to governance and *ex-post* evaluation—ensuring that resilience is treated as a cross-cutting axis of public investment policy and public-private partnerships.

Finally, building a robust portfolio of climate-adapted infrastructure projects requires a new generation of financial, regulatory, and institutional instruments, which foster synergies between public and private capital and recognize "resilience dividends" as an integral part of the return on investment. By articulating consistent methodologies, clear prioritization criteria, and impact metrics, decision-makers will be able to prioritize more rational and efficient investments, reducing future costs and expanding collective benefits.

REFERENCES

Aberra, F., Harrod, C., Mays, M., & Stevenson, H. (2024, May). **The Ethics of Disaster Resilient Infrastructure Maintenance and Social Equity**. In 2024 Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS) (pp. 466-471). IEEE.

Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), African Development Bank, Asian Development Bank, Asian Infrastructure Investment Bank, European Bank for Reconstruction and Development, European Investment Bank, International Development Finance Club, & Islamic Development Bank (2019). **A Framework and Principles for Climate Resilience Metrics in Financing Operations**. Disponível em: https://doi.org/10.18235/0002040

Benevenuto, R., & Caulfield, B. (2019). **Poverty and transport in the global south: An overview. Transport Policy**, 79, 115-124.

Bhargava, R., & Bhargava, M. (2023). **The climate crisis disproportionately hits the poor**. How can we protect them. In World Economic Forum

Blanc-Brude, F., A. Gupta., J.Lee, F. Nugier & T. Whittaker, "**The cost of international sanctions to investors in Russia's airports**" (March 2022). Disponível em: https://edhecinfraprivateassets.com/paper/the-cost-of-international-sanctions-to-investors-in-russias-airports/

Brandon, C., Kratzer, B., Aggarwal, A. and Heubaum, H. (2025). World Resources Institute. **Working paper: Strengthening the investment case for climate adaptation: A triple dividend approach**. DOI https://doi.org/10.46830/wriwp.25.00019

Brazil, 2022a. **Structuring infrastructure investment proposals: a five-dimensional model. Brasilia**. Available at: https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/choque-de-investimento-privado/modelo-de-cinco-dimensoes/guia-modelo-de-cinco-dimensoes.pdf

Brazil, 2022b. **Annex II – Climate Risks**. Annex to the General Guide for Socioeconomic Cost-Benefit Analysis of Infrastructure Investment Projects - ACB Guide. Available at: https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/choque-de-investimento-privado/avaliacao-socioeconomica-de-custo-beneficio-1/anexo-riscos-climaticos-1.pdf

Climate Policy Initiative – CPI. (2024). **Tracking and Mobilizing Private Sector Climate Adaptation Finance**. Disponível em: https://www.climatepolicyinitiative.org/wp-content/uploads/2024/09/Tracking-and-Mobilizing-Private-Sector-Climate-Adaptation-Finance-2024.pdf

Climate Policy Initiative. (2023). **Global landscape of climate finance 2023**. Disponível em: https://www.climatepolicyinitiative.org/pt-br/publication/global-landscape-of-climate-finance-2023/

Climate Policy Initiative. (2023). **State and trends in climate adaptation finance**. Disponível em: https://gca.org/wp-content/uploads/2023/12/State-and-Trends-in-Climate-Adaptation-Finance-2023_WEB.pdf

Climate Policy Initiative (2015). **Emerging solutions to drive private investment in climate resilience**. Disponível em: https://climatepolicyinitiative.org/wp-content/uploads/2015/06/Finance-for-Climate-Resilience.pdf

National Confederation of Municipalities. 2025. **Panorama of Disasters in Brazil Study – 2013 to 2024**. Available at: https://cnm.org.br/storage/biblioteca/2025/Estudos_Tecnicos/ET_DEFCIVIVL_05-2025_Panorama_dos_Desastres_no_Brasil_2013_a_2024.pdf

Francis, R., & Bekera, B. (2014). **A metric and frameworks for resilience analysis of engineered and infrastructure systems**. Reliability engineering & system safety, 121, 90-103.

Fundo Monetário Internacional (2024). **Working paper: Public Investment Management Bottlenecks in Low-income Countries**. Disponível em: https://www.imf.org/-/media/Files/Publications/WP/2024/English/wpiea-2024232-print-pdf.ashx

Linkov, I., Bridges, T., Creutzig, F., Decker, J., Fox-Lent, C., Kröger, W., Lambert, J. H., Levermann, A., Montreuil, B., Nathwani, J., Nyer, R., Renn, O., Scharte, B., Scheffler, A., Schreurs, M., & Thiel-Clemen, T. (2014). **Changing the resilience paradigm**. Nature Climate Change, 4(6), 407-409. https://doi.org/10.1038/nclimate2227

Marcelo, Darwin and Frederic Blanc-Brude, "**It's Getting Physical**" SSRN (2023). http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4784951

Moraes, R., Peci, A. Pompermayer, F. M, Lucas, L. F. C., Rech, T., Marinho, S. (2024). **Quantitative indicators of the OECD and Brazil: public governance**. Rio de Janeiro: Ipea: ECLAC, 2024. v. 3. ISBN: 978-65-5635-079-0. DOI: http://dx.doi.org/10.38116/9786556350790

G20 (2017). **G20 Principles for the Infrastructure Project Preparation Phase Prepared by the Infrastructure Working Group**. Disponível em: https://cdn.gihub.org/umbraco/media/2570/g20-principles-for-the-project-prep-phase.pdf

HM Trasury, 2023. **Infrastructure and Projects Authority – Infrastructure Busines Case: International Guidance**. Disponível em: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/623b24e6e90e07799f0c7c3e/Infrastructure_Business_Case_International_Guidance.pdf

OECD (2024), **Infrastructure for a Climate-Resilient Future**, OECD Publishing, Paris. Disponível em: https://doi.org/10.1787/a74a45b0-en

OECD (2023a). **Green Finance and Investment Scaling Up Adaptation Finance in Developing Countries** CHALLENGES AND OPPORTUNITIES FOR INTERNATIONAL PROVIDERS. Disponível em: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2023/11/scaling-up-adaptation-finance-in-developing-countries_4f4b0a0a/b0878862-en.pdf

OECD (2023b). Economic **Surveys: Brazil 2023**. Disponível em: https://www.oecd.org/en/publications/oecd-economic-surveys-brazil-2023_a2d6acac-en.html

Sathurshan, M., Saja, A., Thamboo, J., Haraguchi, M., & Navaratnam, S. (2022). **Resilience of critical infrastructure systems: a systematic literature review of measurement frameworks. Infrastructures**, 7(5), 67. Disponível em: https://www.mdpi.com/2412-3811/7/5/67

Shaffer, Gary P., John W. Day, Sarah Mack, G. Paul Kemp, Ivor van Heerden, Michael A. Poirrier, Karen A. Westphal, *et al.* "**The MRGO Navigation Project: A Massive Human-Induced Environmental, Economic, and Storm Disaster**." Journal of Coastal Research, 2009, 206–24. http://www.jstor.org/stable/25737481

Turolla, F., Benevenuto, R., Botassio, D, Igrejas, R. (2023) **Working paper: New protocols in the structuring of infrastructure projects in Brazil**. PSP Hub Infrastructure and Urbanism Studies. Available at: https://psphub.org/wp-content/uploads/2023/12/2023_12_02-PSP_Hub-WP004-Estruturacao_projetos_Brasil.pdf

United Nations Office for Disaster Risk Reduction - UNDRR (2022). **Principles for resilient infrastructure**. Disponível em: https://www.undrr.org/quick/70250

Verschuur, Jasper, Elco E. Koks, and Jim W. Hall, "**Systemic risks from climate-related disruptions at ports**," Nature Climate Change, 13, no. 8 (2023): 804-806. https://doi.org/10.1038/s41558-023-01754-w

UNEP (2023). Underfinanced. Underprepared. **Adaptation Finance Gap Update 2023 Inadequate investment and planning on climate adaptation leaves world exposed**. Disponível em: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Finance_Gap_Update.pdf

Wignarajah, D., Richmond, M., Stout, S., Martinez, G., Schell-Smith, K., & Padmanabhi, R. (2023). State and Trends in Climate Adaptation Finance 2023. **Climate Policy Initiative, Global Center on Adaptation Report**. Disponível em https://www.climatepolicyinitiative.org/wp-content/uploads/2023/12/State-and-Trends-in-Climate-Adaptation-Finance-2023_.pdf

World Bank, 2019. **Joint methodology for tracking climate change adaptation finance**. Disponível em: https://thedocs.worldbank.org/en/doc/20cd787e947dbf44598741469538a4ab-0020012022/original/20220242-mdbs-joint-methodology-climate-change-adaptation-finance-en.pdf

World Bank, 2025. **Financing Climate Adaptation Nature-based Infrastructure**. Disponível em: https://documents1.worldbank.org/curated/en/099050725135521570/pdf/P501013-299da78d-86cc-4f74-a095-cde17655875a.pdf

World Resources Institue – WRI (2025). **Working paper: Strengthening the Investment Case for Climate Adaptation:**

A Triple Dividend Approach. Disponível em: https://doi.org/10.46830/wriwp.25.00019