

**CEETEPS - CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO
TECNOLÓGICA “PAULA SOUZA” ETEC PRESIDENTE VARGAS**

Técnico em Logística

Kaique Rodrigues Machado

Maria Eduarda Franco Rogani

Maria Eduarda Rodrigues Macedo

Nelson Oliveira Bastos

Osiris Ribeiro

OS IMPACTOS CLIMÁTICOS NA LOGÍSTICA

Mogi das Cruzes

2025

Kaique Rodrigues Machado

Maria Eduarda Franco Rogani

Maria Eduarda Rodrigues Macedo

Nelson Oliveira Bastos

Osiris Ribeiro

OS IMPACTO CLIMÁTICOS NA LOGÍSTICA

Trabalho Apresentado ao Curso Técnico em Logística da ETEC Presidente Vargas, orientado por Cristiane Brandão, como requisito parcial da disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso.

Mogi das Cruzes

2025

RESUMO

Nas últimas décadas, os impactos das mudanças climáticas tornaram-se uma realidade cada vez mais presente no cotidiano de empresas, governos e da sociedade. Eventos extremos, como tempestades, elevação do nível do mar, ondas de calor intenso e até enchentes afetam diretamente a dinâmica das cadeias de suprimento e dos sistemas logísticos em todo o mundo, alguns especialmente em países como o Brasil, que possui infraestrutura logística vulnerável e dependente, em grande parte, do transporte rodoviário.

Neste trabalho analisaremos como os fenômenos climáticos extremos impactam a logística nacional e global, afetando custos operacionais, transporte, armazenagem e a própria resiliência das cadeias de suprimento, para isso contaremos com exemplos de catástrofes, como as enchentes do Rio Grande do Sul, o furacão Irma, o tsunami de Tohoku, a erupção do vulcão *Eyjafjallajokull* e o terremoto Turco de 2023. A partir desse olhar, pautaremos a responsabilidade governamental dos países, trazendo Leis, Órgãos, e convenções aplicáveis ao tema, com destaque a COP (Acordo das partes), sendo fundamental desmistificar o negacionismo climático que vem em um crescente exponencial de desinformação, prejudicando diretamente ações ligadas a sustentabilidade.

A pesquisa discute ainda como as fragilidades estruturais e a falta de planejamento contribuem para agravar os efeitos desses eventos sobre a logística, trazendo reflexões sobre riscos, custos e necessidades de transformação no setor, sendo fundamental incluirmos propostas de intervenção, tanto em perspectiva tecnológica, infraestrutural e até legislativa.

Palavras-chave: logística; mudanças climáticas; impactos climáticos; cadeia de suprimentos; resiliência.

ABSTRACT

In recent decades, the impacts of climate change have become an increasingly present reality in the daily lives of companies, governments, and society. Extreme events, such as storms, rising sea levels, intense heat waves, and even floods, directly affect the dynamics of supply chains and logistics systems around the world, some especially in countries like Brazil, which has a vulnerable logistics infrastructure and is largely dependent on road transport.

In this work, we will analyze how extreme weather events impact national and global logistics, affecting operational costs, transportation, storage, and the very resilience of supply chains. To do this, we will use examples of catastrophes such as the floods in Rio Grande do Sul, Hurricane Irma, the Tohoku tsunami, the eruption of the Eyjafjallajökull volcano, and the 2023 Turkish earthquake. From this perspective, we will address the governmental responsibility of countries, highlighting laws, bodies, and conventions applicable to the topic, with emphasis on the COP (Agreement of the Parties). It is essential to demystify climate change denialism, which is growing exponentially with misinformation, directly harming actions related to sustainability.

The research also discusses how structural weaknesses and lack of planning contribute to exacerbating the effects of these events on logistics, reflecting on risks, costs, and the need for transformation in the sector. It is essential to include intervention proposals from a technological, infrastructural, and even legislative perspective.

Keywords: *logistics; climate change; climate impacts; supply chain; resilience.*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	Problematização.....	9
1.2	Objetivo Geral	10
1.3	Objetivo Específico.....	11
1.4	Hipótese	12
1.5	Justificativa.....	13
1.6	Metodologia.....	14
2	A LOGÍSTICA.....	15
3	OS MODAIS LOGÍSTICOS	16
3.1	O Modal Rodoviário.....	17
3.2	O Modal Ferroviário.....	18
3.3	O Modal Aquaviário	19
3.4	O Modal Aéreo	20
3.5	O Modal Dutoviário.....	21
4	A DIFERENÇA DO IMPACTO CLIMÁTICO E AMBIENTAL.....	22
5	A CATÁSTROFE NO RIO GRANDE DO SUL.....	24
5.1	O Fenômeno: Enchentes	27
6	A CATÁSTROFE DO FURACÃO IRMA	29
6.1	O Fenômeno: Furacões	32
6.1.1	As Categorias de Furacões	33
7	A CATÁSTROFE DO VULCÃO EYJAFJALLAJOKULL.....	35
7.1	O Fenômeno: Vulcões.....	37
7.1.1	Tipologia dos Vulcões.....	38
8	A CATÁSTROFE DO TERREMOTO TURCO	39
8.1	O Fenômeno: Terremotos	41
8.1.1	As escalas de medição dos terremotos	42

9	A CATÁSTROFE DO TSUNAMI DE TOHOKU	43
9.1	O Fenômeno: Tsunamis	45
10	CONVENÇÕES E ACORDOS APLICÁVEIS	46
11	POLITICAS E LEGISLAÇÃO APLICÁVEIS	49
12	ORGÃOS REGULADORES APLICADOS	56
13	O ACORDO DE PARIS.....	57
14	CONFERÊNCIA DAS PARTES (COP).....	59
14.1	A Trigésima Edição da COP em Belém do Pará.....	59
14.1.1	Expectativa Nacional na COP30.....	60
14.1.2	Gráfico de Emissões: Efeito Estufa	62
15	O NEGACIONISMO CLIMÁTICO	63
16	GRÁFICO DE ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA	65
17	A LOGÍSTICA VERDE	66
18	PAÍSES EXEMPLARES.....	68
19	PROPOSTA DE INTERVENÇÃO: Infraestrutura	70
19.1	O Conceito de Cidade Esponja	71
19.2	Asfalto Permeável (Poroso).....	73
19.3	Bacias de Infiltração e Retenção.....	75
19.4	Infraestrutura Verde	76
19.4.1	Parques Lineares em São Paulo	77
19.5	Isolamento Sísmico	78
19.6	Muralhas de Contenção	80
19.7	A Desativação de Vulcões.....	82
20	PROPOSTA DE INTERVENÇÃO: Tecnologia.....	83
21	PROPOSTA DE INTERVENÇÃO: Legislação	86
21.1	Leis Apontadas Para Maior Efetividade	89
22	CONCLUSÃO	91

23	CRONOGRAMA APLICADO	92
----	---------------------------	----

1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da humanidade nós estamos degradando o meio ambiente, quando o ser humano descobriu o fogo ele notou o seu potencial de transformar o mundo a seu favor, porém não percebeu o potencial de destruição do mesmo, a agricultura e a mineração foi só o estopim, civilizações antigas como a Roma e o Egito já utilizavam recursos naturais como a água e a madeira de forma intensiva, e foi apenas durante a revolução industrial que acendeu-se um alerta global em relação aos impactos humanos na terra devido a queima excessiva de combustíveis fósseis nos processos industriais, hoje as mudanças climáticas deixaram de ser um assunto distante para se tornarem parte do nosso dia a dia. Notamos cada vez mais incidentes sobre enchentes, ondas de calor, tempestades e furacões que paralisam cidades inteiras. Quando isso acontece, não é apenas as pessoas que sofrem, todo o sistema logístico, que movimenta mercadoria, alimentos e produtos ao redor do mundo também sentem esse impacto, de maneira leve ou severa.

Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2023), as alterações no clima global intensificam desastres naturais e expõem a vulnerabilidade das cadeias logísticas, especialmente em países emergentes.

Na logística global, qualquer atraso, rota bloqueada ou infraestrutura danificada pode gerar prejuízos enormes. Portos alagados, estradas destruídas ou a falta de planejamento diante desses eventos climáticos são obstáculos que afetam diretamente o transporte e a entrega de mercadorias.

1.1 Problematização

Os fenômenos decorrentes das mudanças climáticas, como o aumento do nível do mar, furacões, tempestades e inundações, têm causado interrupções significativas nas operações logísticas ao redor do mundo. Esses eventos frequentemente danificam infraestruturas a nível crítico, como portos, estradas e armazéns, além de alterar rotas comerciais e encarecer o transporte de mercadorias. Vale ressaltar também que certos fenômenos tem uma capacidade destrutiva muito alta em relação as cargas, um calor excessivo prejudicando a carga refrigerada, tempestades intensas que derrubam aviões de cargas, navios que naufragam com seus contêineres, enchentes que danificam produtos e veículos.

Esses impactos podem ser traduzidos como diretos, indiretos e estruturais, impactos esses que vão desde a destruição de infraestrutura, quebra de contratos à retração do PIB (Produto Interno Bruto), acumulando gastos bilionários para a reconstrução.

É fundamental encontrar maneiras viáveis de direcionar o recurso financeiro para a logística global, onde a adaptação a essas mudanças é essencial para evitar gastos financeiros desnecessários quanto a ações emergenciais geradas pelas catástrofes, mitigando ou até extinguindo os prejuízos associados a esses fenômenos climáticos extremos.

1.2 Objetivo Geral

Possuímos como objetivo geral investigar os efeitos dos fenômenos climáticos nas operações logísticas a nível global e nacional, identificando os desafios principais e avaliando formas viáveis de adaptação para garantir o funcionamento seguro e eficiente das cadeias de suprimentos, sendo uma resolução em definitivo ou até paliativo.

1.3 Objetivos Específicos

Analisar como tais fenômenos climáticos impactam diretamente a logística;

Identificar as regiões e setores mais vulneráveis às mudanças climáticas nacionalmente e internacionalmente;

Investigar os custos gerados pelas interrupções logísticas causadas por desastres climáticos, seja economicamente ou estrutural;

Destacar os países que sofrem ou sofreram recentemente impactos significativos;

Apontar medidas de adaptação que podem mitigar os impactos desses fenômenos na logística a nível global;

Trabalhar tanto a nível internacional quanto a nacional, a fim de trazer uma compressão mais profunda e resolutiva quanto aos fenômenos climáticos no qual também estamos sujeitos;

Focar também nos impactos ambientais que estão correlacionados com os fatores climáticos, com ou sem intervenção humana, trazendo sempre ênfase na logística;

Apontar os países com resultados insatisfatórios em convenções internacionais de meio ambiente, seja partindo do princípio de poluição atmosférica ou da redução de gases de efeito estufa, pontuando também as melhorias implementadas para atingir as respectivas metas;

Destacar a importância do apoio global em incentivo a redução dos impactos climáticos, principalmente pontuando as superpotências mundiais e como o negacionismo climático possui o poder negativo de influenciar a desinformação em massa.

1.4 Hipóteses

As hipóteses levantadas nesta monografia consistem nos resultados negativos e positivos, se houver, diante de diferentes aspectos econômicos, regionais, modais, dentre outras relevâncias, onde a ausência de políticas específicas bem como o investimento de tecnologias influenciam diretamente na escala dos impactos a serem citados.

Determinados eventos climáticos, inclusive os mais extremos tendem a afetar as empresas e países que não investem em práticas sustentáveis e infraestrutura resiliente, tal fator como as tecnologias de monitoramento que podem definir uma estratégia preventiva, podendo extinguir ou mitigar certos fenômenos, conforme citaremos neste trabalho.

A ausência de conscientização e educação ambiental é um fator crucial que corrobora para o favorecimento dos impactos ambientais, pois quando não há incentivo e leis que implementam práticas sustentáveis na população a poluição e degradação do meio ambiente é deliberada, afetando diretamente não só uma região específica, mas sim todo o globo.

Os países mais desenvolvidos e ou superpotências devem exercer um papel mais relevante e assíduo em relação ao direcionamento de subsídios e recursos humanitários aos países sub desenvolvidos que estão sujeitos a um impacto excessivamente referente as catástrofes, onde o apoio não é somente pautado em uma questão empática mas também por questões de sobrevivência e resiliência global, tornando esses países mais reativos e participativos em ações sustentáveis.

Em perspectiva nacional, nota-se a dependência do modal rodoviário, onde em torno de 65% da carga no Brasil é realizada através do modal rodoviário, segundo dados recentes da Confederação Nacional do Transporte (CNT), modal este que possui um alto índice de emissão de gases poluentes na atmosfera, como por exemplo o CO₂(Dióxido de Carbono) e NO_x(óxidos de Nitrogênio), o que culminam na chuva ácida e no aquecimento global, este fator e outros relacionados tendem a agravar os impactos climáticos/ambientais bem como tornar nossas operações logísticas mais vulneráveis.

1.5 Justificativa

O aumento da frequência e intensidade de fenômenos climáticos representa uma ameaça real e crescente para a logística global. Portos inundados, estradas destruídas e alterações em rotas comerciais são apenas alguns exemplos de problemas cada vez mais presentes que comprometem o transporte e a distribuição de bens, tanto essenciais como de alto custo. Nosso trabalho é relevante para compreender os impactos de longo e curto prazo desses eventos e propor soluções viáveis que garantam a continuidade das operações logísticas em um cenário de mudanças climáticas, agindo de maneira a mitigar ou prevenir, através da implementação de um plano de ação caso venha ocorrer algum fenômeno básico ou extremo.

1.6 Metodologia

Este trabalho adota uma abordagem qualitativa, exploratória e descritiva, que segundo Gil (2019) a pesquisa qualitativa permite interpretar fenômenos complexos, enquanto a exploratória é adequada quando o tema ainda carece de maior aprofundamento teórico e prático. Uma vez que busca compreender, por meio de análises teóricas e estudos de caso, como as mudanças climáticas impactam o funcionamento das cadeias logísticas no Brasil e no mundo. A pesquisa foi desenvolvida a partir de levantamento bibliográfico e documental, utilizando artigos científicos, livros, relatórios técnicos de instituições como IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico), Ministério dos Transportes e Defesa Civil, além de estudos publicados por organizações internacionais e entidades do setor logístico.

A metodologia inclui ainda a análise de dados secundários, como registros de eventos climáticos, impactos operacionais, custos e prejuízos logísticos associados a fenômenos como enchentes, secas, queimadas e outros desastres naturais. O foco nas transformações recentes associadas ao aumento da frequência e intensidade de eventos climáticos extremos. O recorte geográfico é o território brasileiro, sem deixar de considerar, quando pertinente, a influência de contextos globais sobre a logística nacional.

Dessa forma, a pesquisa se propõe não apenas a descrever os impactos, mas também a refletir sobre os caminhos possíveis para uma logística mais resiliente e preparada para os desafios climáticos do presente.

2 A LOGÍSTICA

Segundo Bovet e Thiagarajan (2000), a logística é a administração, estratégia e controle que gerencia o fluxo de matéria-prima até o produto acabado, com o objetivo de otimizar o atendimento ao cliente, reduzir custos e o volume de estoque. Na área da gestão responsável por planejar, implementar e controlar o fluxo de bens, serviços e informações de uma empresa ou organização, isso vai desde o ponto de origem até o ponto de consumo para atender às necessidades do cliente de forma eficiente e eficaz.

A logística é uma área que envolve uma série de etapas e processos para garantir que os produtos e serviços sejam entregues de forma eficiente e eficaz. O objetivo principal da logística é garantir que os produtos sejam entregues aos clientes no momento certo, na quantidade certa e no local certo, ao menor custo possível.

O processo de logística começa com a demanda do cliente, transformada em um plano de produção ou compra de produtos. Em seguida, os produtos são transportados para armazéns ou centros de distribuição, onde são armazenados, gerenciados e preparados para o envio. Durante o transporte, os produtos podem ser embalados, etiquetados e inspecionados para garantir a qualidade e a integridade deles.

Uma boa gestão logística pode trazer diversos benefícios para uma empresa, como redução de custos, melhoria na qualidade do serviço, maior eficiência operacional, aumento da satisfação do cliente e vantagem competitiva no mercado.

Importante ressaltar que a logística tem um papel fundamental em diversos setores da economia, como indústria, comércio, serviços e governo. É por meio da logística que se garante a disponibilidade dos produtos e serviços nos locais e momentos em que são necessários.

Para se ter ideia, segundo a pesquisa “Panorama do Transporte de Cargas no Brasil”, elaborada pelo (ILOS) Instituto de Logística e *Supply Chain*, estima-se que os custos logísticos representam 13,7% do Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil.

3 OS MODAIS LOGÍSTICOS

Os modais logísticos são os diferentes meios pelos quais produtos, mercadorias e até pessoas são transportados de um ponto a outro seja interurbano, intermunicipal, interestadual, rural e internacional, onde cada modal possui características próprias que influenciam diretamente o custo, o tempo, a segurança e a eficiência da operação logística.

O deslocamento de produtos ao longo da cadeia de suprimentos é um dos elementos mais estratégicos da logística moderna, pois trata-se de um processo que envolve decisões complexas sobre como, quando e por onde movimentar mercadorias, considerando variáveis como distância, tipos de carga, urgência, custo e infraestrutura disponível.

Cada alternativa de deslocamento possui atributos específicos que afetam o desempenho logístico, algumas são mais ágeis e indicadas para entregas urgentes, enquanto outras se destacam pela capacidade de movimentar grandes volumes com menor custo. Há também opções que exigem integração com outras formas de transporte, formando redes interligadas que ampliam o alcance e a eficiência das operações.

Além disso, fatores como sustentabilidade, segurança da carga, riscos operacionais e regulamentações locais devem ser considerados. A compreensão profunda das alternativas disponíveis e de suas implicações permite às organizações tomar decisões mais inteligentes, alinhadas aos objetivos comerciais e às expectativas dos clientes. Em um cenário cada vez mais dinâmico e competitivo, investir em soluções logísticas bem estruturadas é um diferencial que pode determinar o sucesso de uma operação.

3.1 O Modal Rodoviário

O modal rodoviário é o transporte realizado por estradas e rodovias, utilizando veículos como caminhões, carretas, furgões e utilitários, sendo o mais utilizado no Brasil, responsável por cerca de 60% da matriz de transporte de cargas do país, devido à sua flexibilidade de acesso, capilaridade e presença em praticamente todo o território nacional.

No cenário internacional, o modal rodoviário também é vital para a integração econômica e social, onde redes modernas de rodovias interligam países e regiões, facilitando o comércio internacional e permitindo o transporte rápido e direto entre pontos de origem e destino, sem a necessidade de transferência de carga entre diferentes meios. Nos Estados Unidos, por exemplo, o Sistema Interestadual de Rodovias conecta praticamente todo o território, enquanto na Europa as autoestradas e corredores transnacionais possibilitam a livre circulação de mercadorias e pessoas entre países.

É o modal mais indicado para cargas de pequeno e médio porte, produtos perecíveis e entregas porta a porta, sendo o elo principal entre outros modais, já que garante a distribuição até o destino final. No entanto, apresenta custo mais elevado em razão do preço do combustível, pedágios, manutenção e elevado índice de avarias, também é considerado um dos modais com maior impacto ambiental, devido à emissão de gases poluentes.

3.2 O Modal Ferroviário

O transporte ferroviário é a transferência de pessoas ou bens, entre dois locais geograficamente separados, efetuada por um comboio, automotora ou outro veículo semelhante. O comboio ou seu equivalente circula numa via férrea composta por carris dispostos ao longo de um percurso. Paralelamente, existe um sistema de sinalização e, por vezes, um sistema de eletrificação. A operação é realizada por uma empresa ferroviária, que se compromete a fazer o transporte entre as estações ferroviárias. A potência para o movimento é fornecida por um motor a vapor, diesel ou motor eléctrico de transmissão. O transporte ferroviário é o mais seguro dos transportes terrestres.

Apesar de o mundo estar passando por uma revolução técnica, científica e informacional, o transporte ferroviário continua a ser de grande valia no sistema de transportes. Para além de ser capaz de transportar uma quantidade muito grande de carga de uma só vez, o custo por tonelada transportada é muito baixo. Ainda assim, o custo para construção e conservação das vias-férreas é bastante elevado.

A utilização deste meio de transporte varia entre os países do mundo, nos Estados Unidos e na Rússia, por exemplo, a maioria dos fluxos de carga ocorre por meio ferroviário, já parte ocidental da Europa, as ferrovias têm o seu uso bastante difundido, tanto para o transporte de cargas como de passageiros.

3.3 O Modal Aquaviário

O modal aquaviário, também chamado de hidroviário, é o transporte de cargas e passageiros realizado através de mares, rios, lagos e canais. Ele pode ocorrer em diferentes modalidades, como o transporte marítimo (inclusive de cabotagem, entre portos de um mesmo país), fluvial (em rios), lacustre (em lagos) e até submarino.

Esse modal é reconhecido pela sua grande versatilidade, já que possibilita o transporte de cargas em qualquer estado físico, sólido, líquido ou gasoso, como grãos, carvão, petróleo, gás natural, minério de ferro, bauxita, entre outros. Além disso, possui alta capacidade de carga, sendo considerado mais econômico quando comparado a outros meios de transporte.

Apesar de sua relevância e do vasto potencial brasileiro, o modal ainda é pouco explorado em comparação a outros países que segundo dados da *International Chamber of Shipping* (ICS), cerca de 90% do comércio mundial é movimentado pela indústria marítima, embora o Brasil disponha de cerca de 63 mil quilômetros de rios navegáveis, apenas aproximadamente 19,5 mil quilômetros são realmente utilizados para a navegação e transporte de cargas. A maior parte desse potencial está concentrada na região Norte, onde o transporte fluvial tem importância vital para a mobilidade de pessoas e para o escoamento de produtos.

O transporte fluvial se destaca dentro do modal aquaviário por ser amplamente utilizado em regiões com poucos acessos terrestres. Ele é bastante eficiente para o transporte de cargas volumosas e de baixo valor agregado, como commodities agrícolas e minerais. Além disso, é considerado um dos modais menos poluentes, com impacto ambiental reduzido.

Por outro lado, esse tipo de transporte apresenta limitações, pois é mais lento, depende das condições naturais dos rios (profundidade, regime de cheias, obstáculos) e geralmente é mais indicado para distâncias curtas e médias. Outro ponto é a necessidade de integração com outros modais para garantir que as cargas cheguem ao destino final.

Os baixos custos que este transporte oferece, ajuda na melhoria do valor comercial dos produtos, fazendo com que se tornem mais competitivos no mercado, uma vez que o custo de transporte influencia no custo final do produto.

3.4 O Modal Aéreo

O transporte aéreo compreende todos os deslocamentos espaciais realizados através do ar, onde os meios de transporte aéreos são utilizados para movimentações de passageiros e cargas diversas entre as diferentes partes do mundo, como por exemplo os aviões e os helicópteros como meio de transporte.

O transporte aéreo é considerado um dos modais mais modernos e estratégicos, apresenta vantagens que o tornam essencial em determinados contextos de mobilidade e comércio internacional. Entre os principais aspectos positivos, destaca-se a rapidez, característica que o diferencia dos demais meios de transporte. A elevada velocidade das aeronaves possibilita o deslocamento de passageiros e mercadorias em curtos intervalos de tempo, tornando-o a alternativa mais eficiente para demandas que exigem urgência e pontualidade.

O transporte aéreo conecta países e continentes de forma ágil, ampliando as possibilidades de intercâmbio econômico, cultural e turístico, tal abrangência é favorecida pela rede de aeroportos internacionais, que funciona como elo de circulação contínua de pessoas, mercadorias e informações.

Apesar de eventuais acidentes chamarem atenção, as estatísticas demonstram que o transporte aéreo é um dos mais seguros do mundo, graças ao rigoroso controle de manutenção das aeronaves, à constante atualização tecnológica e às normas internacionais que regulamentam o setor.

Um dos principais entraves refere-se ao elevado custo das passagens e do frete, consequência direta dos altos preços de combustível, da necessidade de mão de obra altamente qualificada e das taxas aeroportuárias. Esse fator faz com que o modal seja mais recorrente para cargas de alto valor agregado ou em situações nas quais a urgência é determinante.

Além disso, a infraestrutura necessária para sua operação exige investimentos significativos em tecnologia, segurança e logística, o que restringe sua presença a regiões de maior desenvolvimento econômico.

3.5 O Modal Dutoviário

O transporte dutoviário, também conhecido como transporte tubular, é um sistema de movimentação de fluidos que utiliza tubulações, chamadas de dutos, para transporte de substâncias como óleos, gases, produtos químicos e água. Este método de transporte é caracterizado pela sua operação contínua, onde os fluidos são deslocados de um ponto a outro utilizando a gravidade ou pressão. Os dutos são projetados para suportar as características específicas dos materiais que transportam, garantindo segurança e eficiência, oferecem vantagens em termos de eficiência, segurança e menor impacto ambiental.

O modal dutoviário é essencial na logística de mercadorias, inclusive em líquidos e gases como petróleo e gás natural, afinal, ele permite o transporte contínuo e seguro de grandes volumes ao longo de longas distâncias, reduzindo custos operacionais e minimizando riscos ambientais, além disso, oferece confiabilidade, já que é menos afetado por condições climáticas adversas e outros imprevistos.

Os subterrâneos são dutos instalados abaixo do solo, não visíveis na superfície, onde essa configuração protege a infraestrutura de interferências externas, reduz riscos de vandalismo e furto, e contribui para a segurança operacional, principalmente em áreas urbanas ou de tráfego intenso.

Já os aparentes são dutos visíveis, geralmente encontrados em estações de abastecimento ou pontos estratégicos de conexão. Embora estejam expostos, sua instalação facilita a manutenção e inspeção, permitindo acesso rápido em caso de intervenções técnicas.

Os chamados aéreos são construídos suspensos no ar, esses dutos são utilizados em terrenos com relevo acidentado, vales, rios ou outras barreiras naturais que dificultam a instalação subterrânea. A construção aérea exige estrutura de suporte robusta e planejamento técnico detalhado para garantir estabilidade e segurança.

Pouco visíveis temos os submersos dutos instalados no fundo do mar, geralmente empregados no transporte de petróleo e derivados a partir de plataformas marítimas. Estes sistemas demandam tecnologias avançadas para resistir à pressão, corrosão e movimentações marítimas, garantindo a integridade do transporte em ambientes complexos.

4 A DIFERENÇA DO IMPACTO CLIMÁTICO E AMBIENTAL

Antes de iniciarmos o ponto focal do nosso trabalho, vamos compreender claramente os conceitos que, embora muito próximos, não são sinônimos, impacto ambiental e impacto climático. Entender essa diferença é essencial para que possamos interpretar corretamente os problemas, suas causas e principalmente, pensar nas soluções. De acordo com Oliveira e Santos (2022), o impacto ambiental está relacionado à degradação dos recursos naturais, enquanto o impacto climático representa a resposta do planeta a essas agressões. Assim, compreender essa diferença é essencial para entender os desafios logísticos atuais e propor estratégias de mitigação.

O impacto ambiental pode ser entendido como qualquer alteração no meio ambiente, seja ela causada por ações humanas ou por fenômenos naturais. É algo que afeta diretamente os recursos naturais, os ecossistemas e a qualidade de vida de plantas, animais, pessoas e é claro a logística.

Quando falamos de impacto ambiental, estamos olhando para situações como o desmatamento, a poluição dos rios, a contaminação do solo, o aumento das queimadas e até a ocupação desordenada de áreas urbanas. São situações que degradam diretamente a natureza e que, muitas vezes, acontecem como resultado do modelo de desenvolvimento que prioriza o crescimento econômico sem considerar os limites do planeta.

O impacto climático, por sua vez, está relacionado às consequências das alterações no clima, ou seja, mudanças nos padrões de temperatura, umidade, regime de chuvas, ventos e fenômenos naturais, como furacões a exemplo.

O impacto climático se manifesta, por exemplo, quando eventos como enchentes, secas severas, ondas de calor, ciclones e elevação do nível do mar começam a se tornar mais frequentes e intensos, afetando diretamente as atividades logísticas.

No desenvolvimento deste trabalho, é impossível falar sobre os impactos climáticos na logística sem, antes, reconhecer que esses impactos são, em grande parte, consequência dos impactos ambientais acumulados ao longo das décadas, portanto, entender essa conexão não só amplia nossa visão sobre a gravidade do problema, como também reforça que qualquer solução que busque tornar a logística

mais resiliente precisa considerar tanto as adaptações ao clima quanto a redução dos impactos ambientais que alimentam esse ciclo.

Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2023), a atividade humana é a principal responsável pelo aquecimento global, e seus efeitos se manifestam em todos os continentes, afetando ecossistemas, economias e setores produtivos. Na logística, esses impactos se traduzem em atrasos, aumento de custos e interrupções nas cadeias de suprimentos.

5 A CATÁSTROFE NO RIO GRANDE DO SUL

Para exemplificarmos melhor os fenômenos climáticos/ambientais e seus impactos, vamos começar por uma catástrofe nacional no Rio Grande do Sul, onde as águas levaram vidas, histórias e moldaram destinos. Trata-se das enchentes que ocorreram recentemente em abril e maio de 2024, quando o Rio Grande do Sul foi atingido por um volume de chuvas excepcionalmente intenso, desencadeando enchentes que alcançaram quase todos os municípios do estado. De acordo com o Departamento de Economia e Estatística (DEE), 478 dos 497 municípios gaúchos sofreram algum tipo de impacto, demonstrando a dimensão territorial do desastre e sua gravidade. Esse episódio se consolidou como uma das maiores catástrofes climáticas da história recente do estado, tanto pelo alcance geográfico quanto pela profundidade dos danos humanos, sociais, econômicos e logísticos.

As consequências humanas foram severas, dados da Agência Nacional de Águas (ANA) indicam que aproximadamente 183 pessoas perderam a vida, enquanto cerca de 537 mil endereços foram diretamente afetados. O grande número de famílias desabrigadas e desalojadas revela a intensidade da destruição, que deixou milhares de pessoas sem moradia, documentos, bens essenciais e condições mínimas de segurança.

A indústria de transformação registrou uma queda de 26,3% na produção apenas entre abril e maio de 2024, a maior retração já registrada pelo IBGE na série histórica do estado. No setor rural, mais de 206 mil propriedades foram afetadas, número que, por si só, evidencia um colapso produtivo, essa quantidade representa desde pequenas propriedades familiares até grandes empreendimentos agroindustriais que perderam plantações inteiras, animais, galpões, equipamentos, silos e infraestrutura básica. Isso significa que a cadeia produtiva primária foi interrompida em larga escala, reduzindo a oferta de alimentos, dificultando o abastecimento interno e comprometendo as exportações, especialmente porque muitos municípios rurais ficaram isolados devido à destruição de acessos.

A logística foi um dos setores mais prejudicados pelas enchentes, desencadeando efeitos diretos e indiretos em toda a economia gaúcha e conseqüentemente, em outros estados. Mais de uma centena de rodovias estaduais e federais apresentaram bloqueios simultâneos, alguns deles completos, devido a deslizamentos, quedas de barreira, rachaduras de pista, erosões e pontes destruídas.

Em determinados momentos, mais de 170 trechos estavam interrompidos, isolando cidades inteiras e impossibilitando o transporte de cargas essenciais como alimentos, medicamentos, combustíveis e insumos industriais. Corredores logísticos estratégicos, que conectam o interior ao Porto de Rio Grande e às regiões metropolitanas, ficaram inutilizáveis, comprometendo o fluxo de mercadorias e atrasando a circulação de produtos por semanas.

O Aeroporto Internacional Salgado Filho, em Porto Alegre, precisou suspender suas operações após ficar completamente inundado, interrompendo voos comerciais e cargas aéreas, o que agravou ainda mais a crise logística. Com o principal aeroporto fora de operação, empresas passaram a depender de terminais mais distantes, como Caxias do Sul e Canoas, sobrecarregando a infraestrutura já comprometida. Essa interrupção dificultou a entrada de suprimentos, elevou custos e aumentou o tempo de resposta emergencial.

Esses colapsos logísticos afetaram não apenas o Rio Grande do Sul, mas também o abastecimento e a circulação de mercadorias para outros estados, pois parte significativa do transporte rodoviário que liga o sul ao restante do país depende de rotas gaúchas. Produtos como carnes, grãos e itens industrializados não chegaram aos centros consumidores no ritmo esperado. O Porto de Rio Grande, embora não tenha sido totalmente paralisado, operou com grandes dificuldades devido à impossibilidade de acesso terrestre de caminhões, o que repercutiu na exportação nacional, atrasando envios e gerando perdas contratuais para produtores.

Estimativas federais e estaduais apontam que as perdas diretas e indiretas para o PIB gaúcho variaram entre R\$ 50 bilhões e R\$ 80 bilhões apenas em 2024. Se considerado o efeito total do desastre, incluindo danos à infraestrutura, perdas produtivas e impacto prolongado nas atividades econômicas, estudos apontam para um prejuízo entre R\$ 60 bilhões e R\$ 87 bilhões. Para um estado que possui forte participação no agronegócio, na indústria Metalmeccânica e na produção de energia, a interrupção da logística e da mobilidade agravou ainda mais a queda econômica, afetando cadeias de suprimento estaduais, interestaduais e internacionais.

Além dos danos imediatos, o desastre expôs a vulnerabilidade estrutural da infraestrutura gaúcha frente a eventos extremos, que tendem a se tornar mais frequentes segundo relatórios técnicos recentes. A destruição de pontes, a falha de sistemas de drenagem, a inundação de áreas urbanas e rurais e a paralisação de trechos essenciais da malha logística evidenciaram a necessidade urgente de

adaptação climática, reconstrução resiliente e planejamento permanente voltado à prevenção de desastres. A resposta institucional envolveu ações emergenciais, decretos de calamidade, envio de recursos federais e formulação de programas de reconstrução, mas os desafios permanecem extensos, especialmente no restabelecimento de vias estratégicas e no reposicionamento da economia gaúcha no cenário nacional.

Área metropolitana, via e ponte *Freeway* (BR-290) de Porto Alegre. Foto: Ricardo *Stuckert*/PR



Essa estrada foi fortemente impactada pelas enchentes recentes causadas pela cheia do Lago Guaíba, que atingiu níveis históricos em maio de 2024. A Freeway conecta Porto Alegre ao litoral norte do Rio Grande do Sul e à região metropolitana, sendo uma rota estratégica para o transporte de cargas e deslocamento urbano.

A imagem aérea evidencia como a infraestrutura viária da cidade ficou submersa, com trechos da rodovia e pontes encobertos pelas águas. Esse tipo de evento reforça a importância de planejamento urbano resiliente e de sistemas de alerta e contenção para minimizar os impactos de desastres naturais.

5.1 O Fenômeno: Enchentes

As enchentes são fenômenos naturais, mas podem ser intensificadas pelas práticas humanas no espaço das cidades. O problema das enchentes passou a ser algo comum na vida das populações de algumas cidades brasileiras. Infelizmente, todo o ano é a mesma coisa, entre os meses de dezembro e fevereiro, os noticiários são tomados por problemas relacionados com a elevação dos cursos d'água e a inundação de casas e ruas, desencadeando uma série de tragédias, que, quase sempre, poderiam ser evitadas.

Para fins didáticos, dividimos a ocorrência das enchentes em dois tipos de causas principais, os naturais e as antrópicas, pois estamos falando de um fenômeno comum na natureza, mas que é intensificado pela ação humana.

Em geral, os rios perenes, isto é, aqueles que nunca secam durante o ano, costumam ter dois tipos de leito, um menor e principal, por onde a água corre durante a maior parte do tempo, e um maior e complementar, que é inundado apenas em períodos de cheias.

Um corte transversal do curso de um rio em que estão representados os seus leitos maior e menor, eventualmente, dependendo do curso d'água e das condições meteorológicas e locais, o leito maior é inundado, provocando as cheias em sua área.

A interferência humana sobre os cursos d'água, provocando enchentes e inundações, ocorre das mais diversas formas. Em casos extremos, porém menos comuns, tais situações podem estar relacionadas com rompimentos de diques e barragens, o que pode causar sérios danos à sociedade, porém quase sempre, essa questão está ligada ao mau uso do espaço urbano.

Um problema que parece não ter uma solução rápida é o elevado índice de poluição, causado tanto pela ausência de consciência por parte da população quanto por sistemas ineficientes de coleta de lixo ou de distribuição de lixeiras pela cidade. Além do mais, há problemas causados pela poluição gerada por empresas e outros órgãos. Com isso, ocorre o entupimento dos bueiros, que seriam responsáveis por conter parte da água que eleva o nível dos rios, além disso, o lixo gerado é levado pelas enxurradas e contribui ainda mais para elevar o volume das águas.

A ocorrência de enchentes nas cidades também pode estar relacionada com problemas nos sistemas de drenagem. Às vezes, não há bueiros ou outras construções que seriam responsáveis pela contenção ou desvio da água que corre

para os rios, provocando a cheia deles. Além disso, somente a construção de bueiros e sistemas de drenagem pode não ser suficiente, isso porque as demais ações antrópicas podem elevar gradualmente a vazão das enxurradas ao longo dos anos, fazendo com que as drenagens existentes não consigam atender toda a demanda.

Apesar de todos os problemas acima mencionados, a causa considerada principal para as enchentes é, sem dúvida, a impermeabilização do solo. Com a pavimentação das ruas e a cimentação de quintais e calçadas, a maior parte da água, que deveria infiltrar no solo, escorre na superfície, provocando o aumento das enxurradas e a elevação dos rios. Além disso, a impermeabilização contribui para a elevação da velocidade desse escoamento, provocando erosões e causando outros tipos de desastres ambientais urbanos.

6 A CATÁSTROFE DO FURACÃO IRMA

Agora um fenômeno extremamente agressivo que ocorreu internacionalmente, o furacão Irma atuou entre 30 de agosto e 13 de setembro de 2017, sendo amplamente reconhecido como um dos mais intensos já registrados no Oceano Atlântico. Sua formação e rápida intensificação colocaram diversos países caribenhos e estados norte-americanos em estado de alerta devido ao potencial destrutivo do fenômeno.

Segundo informações do Centro Nacional de Furacões dos Estados Unidos (NHC), o Irma alcançou ventos sustentados de aproximadamente 295 km/h, com rajadas que chegaram a 360 km/h, caracterizando-o como um furacão de comportamento “potencialmente catastrófico”. Durante seu deslocamento, impactou severamente territórios como Antígua e Barbuda, Bahamas, Saint-Martin e Saint-Barthélemy, Anguilla, Ilhas Virgens Britânicas, Ilhas Virgens Americanas, Porto Rico, República Dominicana, Haiti, além de áreas de Cuba e dos estados da Flórida e Geórgia, nos Estados Unidos.

Na Flórida, onde tocou o solo em 10 de setembro como um furacão de categoria 4, os danos foram estimados em US\$ 19,4 bilhões, conforme divulgado pela *Florida International University* (FIU), liderado pelo professor Shahid Hamid. Nas ilhas de Saint-Martin e São Bartolomeu, uma seguradora francesa calculou prejuízos superiores a 1,2 bilhão de euros, refletindo a elevada destruição da infraestrutura local. Em todo o estado da Flórida, mais de 4 milhões de pessoas ficaram sem fornecimento de energia elétrica, e cerca de 6,3 milhões de residentes, aproximadamente um terço da população estadual, receberam ordens de evacuação, provocando congestionamentos expressivos e superlotação em abrigos.

A agência Reuters registrou ao menos 11 mortes e milhares de desabrigados, embora os números oficiais tenham demorado a ser consolidados devido à dificuldade de comunicação em algumas regiões. Em Barbuda, aproximadamente 95% das edificações sofreram danos estruturais, e as projeções iniciais da ONU indicaram custos de reconstrução superiores a US\$ 225 milhões, valor que representa cerca de 16% do PIB de Antígua e Barbuda.

O ciclo de vida do Irma durou pouco mais de dez dias, desde sua formação até sua dissipação. O sistema evoluiu rapidamente, iniciou-se como uma onda tropical e, em 5 de setembro, já havia atingido a categoria 5 na Escala Saffir-Simpson, com

ventos muito acima de 252 km/h. O furacão também estabeleceu um recorde global ao manter ventos de 295 km/h por 37 horas consecutivas, superando o recorde anterior de 24 horas pertencente ao tufão Haiyan. Após atravessar o Caribe e atingir os Estados Unidos, o furacão perdeu força, rebaixando-se para tempestade tropical em 11 de setembro, até dissipar-se completamente sobre o estado do Tennessee em 13 de setembro de 2017.

A passagem do furacão Irma provocou impactos logísticos expressivos em diversas regiões da Flórida, afetando diretamente a mobilidade, a infraestrutura e a distribuição de suprimentos essenciais. Por atingir quase toda a extensão do estado, seus efeitos foram observados desde áreas densamente povoadas, como Miami, *Fort Lauderdale*, Orlando e Tampa, até regiões altamente vulneráveis, como Naples, *Marco Island*, *Jacksonville* e os *Florida Keys*, incluindo *Key West*.

Durante o período de evacuação obrigatória, mais de seis milhões de residentes deixaram suas casas, resultando em um colapso temporário do sistema rodoviário. Estradas fundamentais, como as que conectam Miami ao interior do estado e a rodovia US-1, única via de acesso aos *Florida Keys*, apresentaram congestionamentos extensos. Cidades como Naples, *Marco Island* e *Jacksonville* sofreram alagamentos e bloqueios por destroços, impossibilitando o tráfego de veículos de carga e atrasando a retomada das operações logísticas após a tempestade.

Em centros urbanos como Miami, *Fort Lauderdale* e *West Palm Beach*, inúmeros postos de gasolina ficaram sem energia elétrica, impossibilitando o bombeamento de combustível. Já em cidades do interior, como *Lakeland* e *Ocala*, a demanda elevada gerou longas filas e desabastecimento temporário. Como a Flórida depende fortemente do transporte marítimo para receber combustíveis, o fechamento preventivo de portos estratégicos, incluindo *PortMiami*, *Port Everglades* (*Fort Lauderdale*), *Port Tampa Bay*, *Port of Jacksonville* e o porto de *Key West*, ampliou os atrasos no reabastecimento.

Aeroportos importantes, como os de Miami, Orlando, Tampa, *Fort Lauderdale*, *Key West* e *Fort Myers*, suspenderam temporariamente seus voos devido aos riscos meteorológicos e aos danos estruturais. Essa paralisação afetou tanto a mobilidade de passageiros quanto a chegada de cargas urgentes, especialmente insumos médicos, gêneros alimentícios e equipamentos para restabelecimento de serviços essenciais.

A distribuição de produtos essenciais enfrentou desafios adicionais em áreas mais atingidas, como Naples, Marco *Island* e os Florida *Keys*, onde a devastação da infraestrutura física dificultou a entrada de caminhões e a reposição de estoques. Trabalhadores do setor logístico e do comércio local também foram afetados pelos impactos da tempestade, reduzindo a disponibilidade de mão de obra durante a fase crítica de recuperação.

Cidades como Miami, Orlando, Tampa, Sarasota, *Fort Myers*, St. Petersburg e *Jacksonville* registraram falhas elétricas que deixaram milhões de pessoas sem energia. A falta de eletricidade comprometeu o funcionamento de supermercados, hospitais, postos de gasolina e centros de distribuição, além de impedir a conservação de alimentos e medicamentos sensíveis. Em locais como os Florida *Keys*, a destruição de torres de comunicação resultou em falhas nos sistemas telefônicos e na *internet*, dificultando a coordenação entre equipes de emergência, transportadoras e autoridades públicas.

Ilha de *Saint Martin*, no Caribe — Foto: *Netherlands Ministry of Defence/Handout via REUTERS*



A ilha franco-holandesa foi praticamente arrasada, casas perderam os telhados, ruas ficaram intransitáveis, e o sistema de energia foi comprometido. A paisagem verde da ilha ficou marrom, devido à destruição da vegetação, cerca de 95% da infraestrutura ficou comprometida (wibbitz).

6.1 O Fenômeno: Furacões

Ciclones são tempestades tropicais formadas em centros de baixa pressão, áreas associadas à formação de nuvens, à umidade e a tempestades. A instabilidade nessas áreas provoca uma intensa movimentação do ar convergente no seu centro, concentrando umidade e calor, esse cenário favorece a evaporação das águas oceânicas e aumenta a presença de umidade na atmosfera, o que possibilita a movimentação das massas de ar de forma intensa. Esses grandes corpos de ar que se deslocam por meio de movimentos giratórios de velocidade e intensidade altas dão origem a grandes ventos e tempestades.

Segundo a Administração Oceânica e Atmosférica dos Estados Unidos, um ciclone é um fenômeno que representa um sistema rotativo de nuvens e tempestades formado em águas tropicais ou subtropicais.

O termo ciclone é uma definição genérica para os meteorologistas, portanto, tornados, tufões e furacões são exemplos de ciclones, sendo, portanto, todos esses fenômenos são tempestades tropicais. As diferentes denominações variam conforme o local de origem e a intensidade. Furacão e tufão são tipos de ciclones tropicais, entretanto, o que difere esses dois fenômenos é a sua distribuição geográfica, onde os furacões são formados nas águas do Oceano Atlântico e no leste do Oceano Pacífico, já os tufões são registrados nas águas da porção oeste do Oceano Pacífico.

O furacão é um fenômeno atmosférico constituído por ventos giratórios que se deslocam em alta velocidade, sendo constituídas por elevados níveis de umidade. Os furacões são caracterizados pelo registro de ventos superiores a 120 km/h com elevado poder de destruição.

Os furacões que ocorrem no Hemisfério Sul giram no sentido horário e os que ocorrem no Hemisfério Norte giram no sentido anti-horário. Esses ventos giratórios que se deslocam com relativa velocidade na superfície terrestre possuem, no geral, ventos superiores a 120 km/h, como dito anteriormente, por isso eles têm um grande poder de destruição.

6.1.1 As Categorias de Furacões

O poder destrutivo de um furacão é medido por meio da escala Saffir-Simpson, criada pelos estudiosos americanos Herbert Saffir e Robert Simpson, que possibilita a classificação desse fenômeno climático em categorias de 1 a 5, classificação essa baseada na velocidade de vento sustentado próximo ao centro do furacão.

- Categoria 1 - Ventos sustentados: 119–153 km/h

Danos típicos: danos mínimos a moderados em estruturas expostas; alguns danos a árvores, galhos, telhados soltos; interrupção de energia em áreas isoladas.

Riscos adicionais: maré de tempestade pode causar inundações rasas em áreas costeiras; queda de galhos e danos a árvore pode obstruir vias.

- Categoria 2 - Ventos sustentados: 154–177 km/h

Danos típicos: danos moderados a significativos; telhados de amianto/metal, fachadas, árvores derrubadas, postes de energia podem cair; danos a casas móveis.

Riscos adicionais: inundações costeiras mais amplas; interrupção de energia mais extensa; estradas bloqueadas por destroços.

- Categoria 3 - Ventos sustentados: 178–208 km/h

Danos típicos: danos locais severos; destruição de estruturas não bem ancoradas, particularmente em áreas litorâneas; danos a telhados de casas bem construídas; erosão costeira significativa; aumentos de ondas e maré de tempestade intensos.

Riscos adicionais: alto potencial de interrupção de serviços; necessidade de evacuação de áreas vulneráveis; maior ameaça a vidas em áreas expulsas.

- Categoria 4 - Ventos sustentados: 209–252 km/h

Danos típicos: danos generalizados; estruturas bem construídas podem resistir parcialmente, mas muitas casas e edifícios podem sofrer danos severos; falha de telhados, pequenas rachaduras em paredes, danos graves à infraestrutura; erosão costeira severa.

Riscos adicionais: interrupção prolongada de energia e água; danos significativos a vias de comunicação; alto risco para pessoas movendo-se em áreas atingidas.

- Categoria 5 - Ventos sustentados: 252 km/h ou mais

Danos típicos: destruição extensa; quase todas as estruturas não bem construídas são destruídas; danos catastróficos a infraestrutura; quedas de árvores e destroços generalizados; desabamento de pontes, ruptura de redes elétricas.

Riscos adicionais: inundações graves e maré de tempestade; necessidade de evacuação abrangente; recuperação longa e cara.

7 A CATÁSTROFE DO VULCÃO EYJAFJALLAJOKULL

O vulcanismo islandês, situado na dorsal mesoatlântica, representa um dos ambientes geológicos mais ativos e estudados do planeta. Entre os diversos centros vulcânicos, o Eyjafjallajökull, um estratovulcão ativo no sul da Islândia, ganhou notoriedade global após sua erupção em 2010. Este evento, embora de magnitude moderada, desencadeou uma crise logística sem precedentes na aviação europeia, expondo a vulnerabilidade da infraestrutura global a fenômenos naturais.

O Eyjafjallajökull é um estratovulcão cônico, composto por camadas de lava, cinzas e rochas piroclásticas. Sua estrutura está coberta pela geleira homônima, que atinge 1.666 metros de altura. A erupção de 2010 foi precedida por uma fase efusiva inicial em *Fimmvörðuháls*, seguida por uma fase explosiva no cume, sob a calota de gelo, a partir de 14 de abril de 2010.

O fator determinante para o impacto logístico da erupção foi a interação magma-gelo (freatomagmática). O contato do magma quente com a água de degelo da geleira resultou em uma fragmentação extremamente eficiente do material vulcânico, produzindo uma grande quantidade de cinzas de granulometria excepcionalmente fina.

A natureza excepcionalmente fina das cinzas iniciais foi um resultado direto de sua origem explosiva. A água de degelo glacial resfriou o magma, promovendo a desintegração por tensão. Ondas de choque de explosões de vapor causaram fragmentação mecânica e a oxidação pelo vapor aumentou a temperatura líquida do magma, causando a expulsão de voláteis dissolvidos durante o resfriamento, fraturando ainda mais as partículas.

A composição das cinzas, dominada por vidro andesítico e cristais de plagioclásio, piroxênio e olivina, conferiu-lhes uma dureza elevada (escala de Mohs de 5.5 a 7) e uma forma angular e abrasiva. Essas características tornaram as cinzas um risco severo para as aeronaves, pois poderiam causar a abrasão de superfícies, opacificação de para-brisas e, criticamente, o derretimento e vitrificação dentro dos motores a jato, que operam em temperaturas superiores ao ponto de fusão do material vulcânico.

A nuvem de cinzas de 2010 levou ao fechamento progressivo de grande parte do espaço aéreo europeu por cerca de sete dias, resultando no cancelamento de mais de 100.000 voos.

Os custos logísticos não se limitaram às perdas de receita das companhias aéreas, a interrupção causou um caos generalizado na cadeia de suprimentos global, afetando o transporte de cargas perecíveis, peças de alto valor e o fluxo de negócios internacionais. Os custos indiretos incluíram despesas com passageiros retidos (hospedagem, alimentação), realocação de tripulações e aeronaves, e o impacto no turismo e no comércio.

A crise de 2010 expôs a necessidade de aprimoramento nos protocolos de gerenciamento de tráfego aéreo em caso de nuvens de cinzas, levando à criação de novas zonas de voo com diferentes níveis de risco e à melhoria dos sistemas de monitoramento e previsão de dispersão de cinzas vulcânicas.

A erupção do Eyjafjallajökull em 2010 demonstrou que um evento vulcânico de escala relativamente modesta pode ter consequências globais desproporcionais, especialmente em um sistema de transporte aéreo altamente integrado. A combinação da geologia (vulcão sob geleira) com a física da erupção (interação magma-gelo) produziu o agente de risco (cinzas finas e abrasivas) que paralisou a logística europeia. Finalmente, os custos logísticos e econômicos, estimados em bilhões de dólares, sublinham a importância de políticas de mitigação de risco e a necessidade de investimento contínuo em monitoramento vulcânico e em modelos de dispersão de cinzas para garantir a segurança e a resiliência da aviação global.

A Associação Internacional de Transporte Aéreo (IATA) forneceu estimativas detalhadas do impacto financeiro e logístico, conforme a seguir:

Impacto Logístico e Econômico da Erupção do Eyjafjallajökull (Abril de 2010)		
Métrica	Valor Estimado	Fonte
Total de Voos Cancelados	Mais de 100.000	IATA 8
Passageiros Afetados	Mais de 7 milhões	IATA 9
Perda de Receita Diária (Companhias)	US\$ 200 milhões	IATA 10
Perda Total de Receita (Companhias)	US\$ 1,7 bilhão	IATA 10
Custo Total para a Economia Global	US\$ 5 bilhões	G1/Estadão 9
Perdas Líquidas (Setor de Aviação)	US\$ 2,2 bilhões	G1/Estadão 9

7.1 O Fenômeno: Vulcões

Vulcões são estruturas geológicas constituídas de massa de rocha fundida, devido às altas temperaturas em seu interior, basicamente representam uma abertura na superfície terrestre capaz de expelir material magmático e gases vindos do interior do planeta.

As erupções vulcânicas podem causar bastante destruição, especialmente quando sua área é habitada. Nem toda região do planeta há vulcões, e sua formação e distribuição estão relacionadas à existência das placas tectônicas.

Os vulcões podem ser localizados tanto nos continentes quanto nos oceanos, e o estudo dessas estruturas é bastante relevante para compreender os eventos ocorridos no interior da Terra.

A Terra é formada por grandes blocos semirrígidos que se movimentam sobre o manto, de maneira lenta ou contínua. Essa movimentação pode fazer com que as placas tectônicas se aproximem-se ou afastem-se uma das outras.

Essa movimentação acontece devido às altas temperaturas no interior do planeta, onde o calor desencadeia uma movimentação circular do manto (movimento convectivo), fazendo com que o calor existente no núcleo terrestre seja transferido para as outras camadas da Terra.

Quando as placas tectônicas se chocam, ocorrendo o chamado movimento convergente, a placa mais densa afunda-se retornando ao manto e sofrendo fusão, enquanto a outra placa, ao sofrer pressão no sentido oposto, origina então dobras na crosta terrestre. Essas dobras dão origem a pequenas ilhas vulcânicas na chamada zona de subducção. Assim, é possível afirmar que a ocorrência dos vulcões está associada às regiões de limite entre as placas tectônicas.

A Placa do Pacífico que se desloca para o norte choca-se com a Placa Norte-Americana, e nessa região localizam-se, segundo a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), aproximadamente, 60% dos vulcões ativos do planeta (Anel de Fogo do Pacífico). Já a Placa de Nazca choca-se contra a placa Sul-Americana, e nessa região formaram-se vulcões e cordilheiras. A Placa Africana choca-se com a Placa Eurasiana.

O afastamento das placas tectônicas também provoca a formação de vulcanismo submarino à medida que o fundo oceânico se expande, de acordo com o CPRM.

Outro ponto importante a ser abordado é que não há ocorrência de vulcões apenas nos limites entre as placas. Podem encontrar-se em pontos quentes, nas regiões no interior da placa. Esses pontos são chamados e conhecidos, em inglês, de hot spot, havendo possibilidade de ascensão do magma. Um exemplo disso são os vulcões localizados no Havai.

Os vulcões, formados principalmente por silicatos que se misturam com vapor d'água e gás, possuem uma estrutura que se liga a uma câmara subterrânea profunda.

7.1.1 Tipologia dos Vulcões

Os vulcões diferem-se em sua forma e também quanto ao tipo de erupção (que pode ser explosiva, efusiva, mista ou catastrófica) e quanto ao material expelido (como as erupções havaiana, estromboliana, vulcaniana, pliniana, entre outras).

O vulcão-escudo é capaz de expelir enormes quantidades de material magmático que percorrem longas distâncias, formando uma larga montanha remetente a um escudo.

O tipo cone de escória é o mais comum, apresenta menores dimensões, e o magma expelido é de baixa viscosidade.

Estratovulcões possuem o formato de um cone, sendo, portanto, íngreme. Mantém-se em longa atividade, sua lava expelida é de alta viscosidade e, por vezes, ascende-se ao exterior do vulcão de forma violenta.

O tipo caldeira possui um grande diâmetro, entre 15 km e 100 km, podendo ser formado em horas ou dias, sendo caracterizado pela saída violenta de gases do interior do planeta.

Os de tipo submarino, encontram-se no fundo oceânico e é responsável pela formação de um novo assoalho.

Segundo o CPRM, nos últimos 250 anos, houve cerca de 90 tsunamis provocados por erupções vulcânicas.

8 A CATÁSTROFE DO TERREMOTO TURCO

Os terremotos que atingiram o sudeste da Turquia em fevereiro de 2023 tornaram-se um dos eventos sísmicos mais devastadores da história recente do país. A sequência de tremores, incluindo abalos de grande magnitude, provocou impactos humanitários, ambientais e econômicos expressivos, além de revelar a vulnerabilidade da infraestrutura logística turca diante de desastres geofísicos.

De acordo com análises divulgadas pelo mercado financeiro, as ondas sísmicas destruíram estradas, instalações industriais, gasodutos e oleodutos, comprometendo de forma significativa o fluxo logístico nacional. Segundo o InfoMoney, os danos às rodovias e aos portos resultaram na paralisação de embarques e desembarques, enquanto as falhas no sistema energético afetaram tanto operações industriais quanto a movimentação de cargas. Os impactos foram sentidos em diferentes setores, evidenciando que um único desastre natural pode desencadear rupturas profundas em cadeias de suprimento interconectadas.

O Bradesco BBI destacou que a BRF, responsável por operações exportadoras relevantes para o mercado turco, pode sofrer perdas financeiras, uma vez que o país representa cerca de 6% de sua receita. Já o Itaú BBA avaliou que as dificuldades enfrentadas pelos portos e pela infraestrutura energética da Turquia podem gerar efeitos indiretos no setor siderúrgico global. A Gerdau, por exemplo, poderia se beneficiar levemente caso as exportações turcas de vergalhões fossem interrompidas ou atrasadas, ilustrando como desastres geofísicos podem alterar a dinâmica competitiva internacional.

O JPMorgan calculou que os danos físicos dos terremotos podem ultrapassar US\$ 25 bilhões, valor que corresponde a uma proporção significativa do PIB turco. A Moody's RMS também projetou que as indenizações seguradas superem US\$ 5 bilhões, considerando a destruição de imóveis, as interrupções das atividades empresariais e as falhas de infraestrutura. Tais cifras revelam que os custos da reconstrução ultrapassam aspectos tangíveis, envolvendo ainda perdas de produtividade, atrasos logísticos e interrupções no comércio exterior.

O ciclo do desastre evoluiu rapidamente, onde sucessivos tremores de alta magnitude provocaram colapsos em áreas urbanas, danos aos sistemas energéticos e paralisação de atividades portuárias e industriais.

A necessidade de intervir imediatamente em regiões afetadas, muitas delas estrategicamente importantes para transporte terrestre e armazenamento, dificultou a retomada das operações logísticas. A recuperação tornou-se ainda mais desafiadora diante da instabilidade política, do aumento dos custos internos e da pressão inflacionária, apontados pela Coface como riscos adicionais.

Os impactos logísticos foram amplos e afetaram diversos modais, rodovias essenciais que conectam centros industriais à fronteira síria e a regiões portuárias ficaram destruídas ou bloqueadas por escombros, impedindo o tráfego de caminhões e atrasando a chegada de suprimentos emergenciais. Portos estratégicos reduziram suas operações devido a danos estruturais e interrupções no fornecimento de energia, atrasando o fluxo de importações e exportações. A infraestrutura energética, especialmente gasodutos e oleodutos, também foi severamente afetada, comprometendo a capacidade produtiva de setores industriais fundamentais. Além disso, a escassez de mão de obra, resultado da crise humanitária, dificultou ainda mais a retomada das rotinas logísticas e do comércio regional.

A destruição de estruturas urbanas gerou grande volume de resíduos, muitos deles com potencial de contaminação, a interrupção dos sistemas energéticos incentivou o uso emergencial de fontes alternativas e mais poluentes, e a instabilidade prolongada afetou a qualidade do ar e da água em áreas densamente povoadas.

A crise reafirmou a importância de fortalecer cadeias de suprimento contra riscos geofísicos e climáticos. Entre as lições destacam-se, a necessidade de investir em infraestrutura resiliente, diversificar rotas, mercados e fornecedores, implementar estratégias de seguro e mitigação financeira, e aprimorar a cooperação entre governos, empresas e instituições financeiras para acelerar processos de reconstrução.

Os terremotos na Turquia evidenciam, portanto, como eventos geofísicos podem desencadear impactos ambientais, humanitários e logísticos de largo alcance. A destruição da infraestrutura crítica, a interrupção de rotas terrestres e marítimas e os efeitos sobre empresas como BRF e Gerdau demonstram que cadeias de suprimento globais dependem de sistemas robustos e preparados para adversidades. Em um cenário de mudanças climáticas e de instabilidade internacional, fortalecer a resiliência logística deixa de ser uma alternativa e torna-se requisito essencial para o desenvolvimento sustentável e competitivo.

8.1 O Fenômeno: Terremotos

Os terremotos são fenômenos naturais oriundos das pressões internas do planeta, que fazem as placas tectônicas se movimentarem, liberando tais pressões, com isso, a superfície sente essa liberação em forma de tremor, o que pode acarretar sérios prejuízos.

Os abalos sísmicos ou tremores de terra geralmente ocorrem quando as rochas estão sob grande pressão, vinda do interior do planeta. Essa pressão exerce uma força nas rochas (placas tectônicas) e procura alguma maneira de se exaurir. As falhas geológicas presentes nas zonas de contato entre as placas são altamente favoráveis para a ocorrência dessa dissipação.

A maioria dos abalos sísmicos ocorre nas zonas de contato entre as placas, pois são áreas de movimentação rochosa e com grandes falhas geológicas. Entretanto, também pode haver falhas no interior das placas, o que permite a ocorrência de abalos em áreas no interior, e não só nas bordas tectônicas.

Essa pressão vinda do interior do planeta e o movimento tectônico provocam vibrações sísmicas destrutivas, bastante comuns nos limites das placas. Quando um bloco rochoso se choca com outro, há o tremor, seja no oceano, seja em terra firme.

O ponto onde começa esse tremor é chamado de epicentro, isto é, trata-se do ponto geológico na superfície diretamente sobre o foco, ou seja, se um epicentro está localizado a 50 quilômetros de uma região, significa que o foco do tremor está a uma distância de 50 quilômetros e a uma profundidade que pode variar entre 2 e 20 quilômetros, dependendo da intensidade do tremor.

Essa profundidade de até 20 quilômetros ocorre em áreas continentais, pois abaixo disso há uma temperatura muito alta, o que dificulta o choque rochoso. Já as placas tectônicas oceânicas têm uma composição mais resistente, podendo ter epicentros de até 690 quilômetros.

O fenômeno em si não necessariamente causa algum dano na superfície, pois muitos terremotos podem ocorrer em áreas de baixa densidade demográfica, alterando a paisagem de forma pouco significativa.

Os grandes impactos na logística estão ligadas ao colapso das construções civis em decorrência de deslizamento de terras, incêndios a partir da fiação, inundações em áreas urbanas e rurais, rompimento de represas e também a destruição de pontes.

8.1.1 As escalas de medição dos terremotos

A intensidade de um terremoto é medida a partir de duas escalas, a Richter e a Mercalli. A primeira foi elaborada por Charles Richter em 1935. Essa escala mede quão forte é o tremor, que apresenta variação na escala de 1º a 10º. Quanto mais alto o valor do abalo, mais danos ele causa na superfície.

Segundo Richter, os abalos variam em um fator de 10, o terremoto com escala 2 é 10 vezes mais intenso do que o terremoto com escala 1. Um terremoto com escala 6 é 100 vezes mais forte do que um com escala 4, e assim sucessivamente.

O cálculo da escala Richter leva em consideração a localização do sismógrafo (aparelho que registra a amplitude das ondas sísmicas) em relação à área onde aconteceu o terremoto, baseando-se na amplitude das ondas sísmicas geradas pelo tremor de terra. A escala Richter é, ademais, uma escala logarítmica.

Assim sendo, o cálculo dessa grandeza é feito com base no logaritmo da amplitude das ondas sísmicas produzidas durante um terremoto e registradas pelo sismógrafo. O resultado desse cálculo é um valor que não apresenta unidade determinada, motivo pelo qual dizemos apenas que um terremoto marcou um valor “x” na escala Richter.

Já a escala Mercalli mede o poder de destruição dos abalos na sociedade, variando de I a XII. Quanto mais próximo de XII, mais destrutivo, escala de Mercalli, é uma escala qualitativa usada para determinar a intensidade de um sismo a partir dos seus efeitos sobre as pessoas e sobre as estruturas construídas e naturais. Foi elaborada pelo vulcanólogo e sismólogo italiano Giuseppe Mercalli, em 1902, os efeitos de um sismo são classificados em graus, denotados pelos numerais romanos.

Associando uma escala com a outra, podemos ter abalos sísmicos de 7º na Escala Richter, porém II na Escala Mercalli. Isso porque esses abalos podem ocorrer em áreas desérticas, por exemplo, causando poucos ou nenhum dano às sociedades e estruturas humanas.

Além disso, são capazes de medir a intensidade do tremor a fim de aperfeiçoar os estudos sobre tais áreas. Entretanto, ainda não chegamos à capacidade de prever terremotos, mas sim de estudar quais áreas (falhas geológicas) estão mais sujeitas à ocorrência de abalos a longo prazo.

9 A CATÁSTROFE DO TSUNAMI DE TOHOKU

O tsunami que atingiu a região nordeste do Japão em 11 de março de 2011, desencadeado por um terremoto de magnitude 9,0 Mw, permanece como um dos eventos naturais mais devastadores da história recente. Sua combinação de força destrutiva, impacto ambiental e efeitos prolongados sobre cadeias produtivas internacionais evidenciou profundas vulnerabilidades logísticas em um país altamente industrializado e integrado ao comércio global.

Segundo análises publicadas na época, a onda gigante devastou comunidades costeiras, destruiu portos, instalações industriais e redes de energia, provocando um colapso operacional em diversos setores estratégicos. A crise foi amplificada pelo acidente nuclear de Fukushima, que levou ao desligamento de reatores, cortes de energia e apagões generalizados, interrompendo atividades industriais e logísticas. De acordo com relatos do CEPR (2011), a combinação entre tsunami, destruição ambiental e falhas energéticas comprometeu o funcionamento de centros de distribuição, sistemas de transporte e unidades produtivas em escala nacional.

Estradas, ferrovias, pontes e redes de telecomunicações foram destruídas ou bloqueadas, impossibilitando o fluxo de insumos e atrasando ações emergenciais. Essa ruptura, além de ambiental, repercutiu diretamente na cadeia de suprimentos global, pois a reconstrução exigiu grande volume de materiais importados, ampliando a pressão sobre fornecedores estrangeiros e aumentando a demanda por matérias-primas em mercados internacionais.

No campo econômico e logístico, pesquisas conduzidas por Escaith, Keck, Nee e Teh (2011) indicam que o desastre reduziu as exportações japonesas entre 0,5% e 1,6%, ao mesmo tempo em que elevou suas importações entre 0,4% e 1,3%, impulsionadas pelo processo de reconstrução. Mais decisivo, porém, foi o impacto sobre setores altamente dependentes de componentes japoneses. A indústria automobilística global, por exemplo, sofreu paralisações em diversos países devido à escassez de peças essenciais. Estudos posteriores (Boehm et al., 2014) confirmam que fábricas nos Estados Unidos tiveram queda de produção porque não conseguiram substituir rapidamente fornecedores japoneses interrompidos pelo desastre.

Esses efeitos se propagaram pela natureza profundamente interconectada das redes de produção. Pesquisas do CEPR e de Kashiwagi et al. (2018) mostram que empresas estrangeiras dependiam de insumos intermediários fornecidos por afiliadas

japonesas, sem alternativas imediatas. Assim, quando unidades críticas no Japão pararam, o choque reverberou de forma quase instantânea em plantas industriais de outros continentes, demonstrando a fragilidade de cadeias *just-in-time* diante de eventos extremos.

O episódio também reacendeu debates sobre riscos climáticos e a crescente frequência de desastres naturais. Pesquisadores como Milly et al. (2002) e Beroza (2012) já alertavam que mudanças climáticas poderiam intensificar a ocorrência de fenômenos extremos, aumentando os riscos sistêmicos para cadeias logísticas globais.

Os impactos logísticos observados no Japão em 2011 mostram que o colapso de um único nó central da produção global pode desencadear paralisações em múltiplas economias. Portos inundados, indústrias paralisadas, falhas energéticas e destruição de infraestrutura de transporte criaram gargalos que exigiram meses de reorganização. Em setores de alta especialização, como eletrônicos e automotivo, a dependência de poucos fornecedores resultou em atrasos globais que expuseram a vulnerabilidade de sistemas logísticos altamente eficientes, porém pouco redundantes.

A cooperação internacional e a diversificação geográfica são consideradas estratégias essenciais para aumentar a resiliência sistêmica. Estudos como os de Fujita (2013) sugerem que *clusters* produtivos interligados, mas distribuídos em diferentes regiões, podem oferecer suporte mútuo em situações de crise.

Planejar para riscos ambientais extremos deixou de ser uma opção e tornou-se uma necessidade estratégica. Infraestrutura resiliente, políticas de mitigação de risco, avaliação contínua de ameaças geográficas e mecanismos alternativos de fornecimento são fundamentais para proteger fluxos logísticos globais diante de eventos como terremotos, tsunamis e colapsos energéticos.

O tsunami de 2011 no Japão demonstrou, portanto, que cadeias logísticas globais operam dentro de um ecossistema ambiental frágil e sujeito a choques repentinos. As rupturas causadas pela destruição da infraestrutura, pela crise nuclear e pela interrupção da produção industrial mostraram que, em um mundo cada vez mais conectado, a resiliência logística não é apenas uma questão de eficiência, é um elemento essencial para a segurança econômica global.

9.1 O Fenômeno: Tsunamis

Os tsunamis são ondas gigantes que se formam nos oceanos em decorrência de abalos sísmicos, e outros fatores associados ao tectonismo, bem como por causas externas, como queda de meteoritos. Essas ondas se deslocam em alta velocidade e têm comprimento entre 100 km e 500 km. À medida que se aproximam da costa, perdem velocidade e ganham altura, que fica de 30 m a 40 m. Os tsunamis possuem elevado potencial de destruição, como observado na Indonésia, em 2004, e no Japão, em 2011.

Tsunami, palavra de origem japonesa que significa “onda de porto” (tsu = porto; nami = onda), os tsunamis têm elevado potencial destrutivo e podem trazer consequências avassaladoras para as áreas atingidas.

Os tsunamis se formam por meio de distúrbios causados nos oceanos (ou no fundo dos oceanos), que liberam grande quantidade de energia, suscitando o deslocamento de grandes volumes de água.

Os fenômenos de ordem tectônicas são as principais causas das ondas gigantes características dos tsunamis, principalmente abalos sísmicos que se originam no assoalho oceânico. Sua ocorrência é mais comum em áreas de instabilidade tectônica, em que há o encontro de diferentes placas, o que caracteriza, assim, uma zona de falha.

O vulcanismo é também outro fator gerador de tsunamis, embora ocorra com menor frequência, a atividade vulcânica nesse caso pode se dar tanto no fundo dos oceanos quanto nas zonas costeiras, como a destruição da caldeira vulcânica durante o processo de erupção e o consequente deslizamento de grandes quantidades de detritos para o mar, ou, ainda, o fluxo propriamente dito de lava e outros materiais.

Outra característica importante dos tsunamis é a sua elevada velocidade em mar aberto, nessas áreas, as ondas se deslocam em até 890 km/h. À medida que se aproximam da costa, isto é, avançam sobre áreas mais rasas, os tsunamis perdem velocidade e ganham altitude, atingindo de 30 m a 40 m. Há, no entanto, registros de ondas que chegaram a 50 metros de altura.

Esse fenômeno possui altíssimo poder de destruição, uma vez que as ondas se quebram violentamente quando chegam no litoral e suas águas conseguem avançar, ainda, centenas de quilômetros sobre as áreas atingidas.

10 CONVENÇÕES E ACORDOS APLICÁVEIS

Convenção-Quadro da ONU (1992), estabeleceu os fundamentos da cooperação internacional sobre o clima. Ela introduziu o princípio das “responsabilidades comuns, porém diferenciadas”, reconhecendo que os países industrializados têm maior responsabilidade histórica pela emissão de gases de efeito estufa. A partir dela, surgiram os instrumentos mais importantes de governança climática, como o Protocolo de Quioto e o Acordo de Paris.

Protocolo de Quioto (1997) representou o primeiro tratado vinculante para reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Ele obrigou países desenvolvidos a cumprir metas de redução entre 2008 e 2012, com uma diminuição global de 5% em relação aos níveis de 1990. Posteriormente, a Emenda de Doha estendeu o protocolo até 2020, com a meta de 18% de redução. Quioto também criou mecanismos de mercado, como o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), que permitiu que países desenvolvidos investissem em projetos sustentáveis em países em desenvolvimento, obtendo créditos de carbono em troca.

As COP's (Conferências das Partes da UNFCCC) são reuniões anuais fundamentais para atualizar os compromissos climáticos. Algumas marcaram a história:

COP15 (Copenhague, 2009): reconheceu a meta de 2 °C de limite de aquecimento.

COP16 (Cancún, 2010): criação do Fundo Verde para o Clima.

COP21 (Paris, 2015): aprovação do Acordo de Paris.

COP27 (Egito, 2022): avanço na criação do fundo de “perdas e danos”, para compensar países mais afetados.

COP28 (Dubai, 2023): primeira vez que se mencionou o abandono dos combustíveis fósseis.

COP29 (Azerbaijão, 2024): definição de um fundo de 1,3 trilhão de dólares até 2035 para ações climáticas.

Convenção sobre Zonas Úmidas de Importância Internacional (Convenção de Ramsar) - Estabelecida em 1971, visa a conservação de áreas úmidas e habitats de aves aquáticas. O Brasil ratificou a convenção em 1996 e incluiu 27 Sítios Ramsar em seu território.

Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios (MARPOL) - Criada em 1973, busca reduzir a poluição marítima causada por navios. O Brasil ratificou a convenção em 1998.

Convenção sobre Comércio Internacional das Espécies da Flora e Fauna Selvagens em Perigo de Extinção (CITES) - Assinada em 1975, regulamenta o comércio internacional de espécies ameaçadas, garantindo sua proteção.

A Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (CNUDM) - Aprovada em 1982, estabelece direitos e responsabilidades dos países em relação ao uso dos oceanos e seus recursos, além de diretrizes para a prevenção da poluição marinha.

Convenção de Viena para a Proteção da Camada de Ozônio - Criada em 1985, e complementada pelo Protocolo de Montreal em 1987, visa proteger a camada de ozônio, reduzindo a produção e o uso de substâncias que a destroem.

Convenção da Basiléia - Ratificada pelo Brasil em 1993, estabelece mecanismos de controle sobre o movimento transfronteiriço de resíduos perigosos, mudando a proteção da saúde humana e do meio ambiente.

Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB) - Criada em 1992, busca a conservação da biodiversidade, o uso sustentável de seus componentes e a repartição justa dos benefícios decorrentes de recursos genéticos.

Convenção Internacional de Combate à Desertificação (CCD) - Ratificada em 1994, visa combater a desertificação e mitigar os efeitos da seca, especialmente em regiões vulneráveis.

Convenção de Estocolmo sobre Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs) - Adotada em 2001, busca eliminar a produção e o uso de substâncias químicas altamente tóxicas que causam danos ao meio ambiente e à saúde humana.

Convenção CMR (1956) Regula o contrato de transporte internacional de mercadorias por estrada entre países signatários. Define direitos e deveres do transportador, remetente e destinatário, além de prever indenizações em caso de avarias ou perdas.

Convenção TIR (1975) Sistema de trânsito aduaneiro internacional que simplifica o transporte de cargas entre fronteiras. O carnê TIR permite que caminhões passem por vários países com menos burocracia, agilizando a logística internacional.

Convenção de Viena sobre Trânsito Rodoviário (1968) Padroniza regras de circulação, documentos obrigatórios e normas de segurança viária em nível

internacional. Facilita a circulação de veículos entre países e fortalece a integração viária.

SOLAS (*Safety of Life at Sea*, 1974 – IMO): Define padrões de segurança para embarcações, equipamentos e procedimentos de emergência.

STCW (*Standards of Training, Certification and Watchkeeping*, 1978 – IMO): Regulamenta formação, certificação e funções da tripulação marítima.

UNCLOS (*United Nations Convention on the Law of the Sea*, 1982 – ONU): Define direitos e deveres dos países sobre uso dos oceanos, comércio e recursos marítimos.

MLC (*Maritime Labour Convention*, 2006 – OIT): Normas de saúde, segurança e condições de trabalho para tripulantes de navios.

FAL (*Facilitation of International Maritime Traffic*, 1965 – IMO): Padroniza documentação e procedimentos portuários internacionais.

UNCTAD *Port Guidelines*: Diretrizes para gestão portuária e facilitação do comércio internacional.

Acordos da OMC (OMC/GATS, 1995): Regulam práticas de comércio internacional impactando transporte aquaviário e logística global.

No plano internacional, a Organização da Aviação Civil Internacional (ICAO), criada pela Convenção de Chicago em 1944, exerce papel central na harmonização das normas globais da aviação civil. Suas diretrizes estão sistematizadas em 19 anexos, que tratam de temas como operação de aeronaves, requisitos de segurança e processos de licenciamento. A Associação Internacional de Transporte Aéreo (IATA), por sua vez, regula aspectos de natureza comercial, incluindo a padronização de tarifas e procedimentos de bilhetagem, além de editar o *Dangerous Goods Regulations* (DGR), que estabelece normas específicas para o transporte de cargas perigosas.

Entre os tratados internacionais que consolidam a governança do setor, destacam-se a Convenção de Varsóvia (1929), que introduziu a responsabilidade civil das companhias aéreas em casos de danos a passageiros e cargas, e a Convenção de Montreal (1999), que modernizou e ampliou esse regime, estabelecendo regras mais abrangentes para compensações em situações de atrasos, acidentes e extravios.

11 POLITICAS E LEGISLAÇÃO APLICÁVEIS

Política Nacional do Meio Ambiente – Lei nº 6.938/1981, estabelece princípios e diretrizes para a preservação e melhoria da qualidade ambiental, cria o Sistema Nacional de Meio Ambiente (Sisnama) e determina a responsabilidade objetiva do poluidor.

Lei da Ação Civil Pública – Lei nº 7.347/1985, permite ao Ministério Público e a entidades legitimadas propor ações para reparar danos ao meio ambiente, ao consumidor e ao patrimônio cultural.

Lei da Exploração Mineral – Lei nº 7.805/1989, regulamenta as atividades minerárias e garimpeiras, definindo critérios e responsabilidades ambientais para o setor.

Lei de Recursos Hídricos – Lei nº 9.433/1997, institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, reconhecendo a água como recurso limitado e de valor econômico, com gestão participativa e uso múltiplo.

Lei de Crimes Ambientais – Lei nº 9.605/1998, define sanções administrativas, civis e penais para condutas lesivas ao meio ambiente, incluindo a responsabilização de pessoas jurídicas.

Estatuto da Cidade – Lei nº 10.257/2001, estabelece diretrizes para o desenvolvimento urbano sustentável, integrando preservação ambiental e planejamento territorial.

Política Nacional de Resíduos Sólidos – Lei nº 12.305/2010, define princípios e instrumentos para a gestão integrada e o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos.

Novo Código Florestal – Lei nº 12.651/2012, regula a proteção da vegetação nativa, as Áreas de Preservação Permanente e as Reservas Legais, conciliando conservação e produção agropecuária.

Política Nacional sobre Mudança do Clima – Lei nº 12.187/2009, estabelece diretrizes para redução de emissões de gases de efeito estufa e integração de políticas de adaptação e mitigação.

Política Nacional de Qualidade do Ar – Lei nº 14.850/2024, dispõe sobre princípios, objetivos e instrumentos para a gestão da qualidade do ar em todo o território nacional.

Programa Mobilidade Verde e Inovação – Lei nº 14.902/2024, promove a descarbonização e a inovação tecnológica no setor automotivo e de transporte, alinhando-se à economia de baixo carbono.

Planos de Adaptação à Mudança do Clima – Lei nº 14.904/2024, define diretrizes para a elaboração de planos que reduzam a vulnerabilidade de sistemas ambientais, sociais e econômicos.

Produção de Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono – Lei nº 14.948/2024, regulamenta a produção de hidrogênio verde e de outras formas de baixa emissão, com certificação voluntária e incentivos fiscais.

Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa – Lei nº 15.042/2024, implementa um mercado regulado de carbono no modelo *cap-and-trade*, estabelecendo limites de emissões e cotas negociáveis.

Lei Geral do Licenciamento Ambiental – Lei nº 15.190/2025, esta lei institui um marco legal unificado para o licenciamento ambiental no Brasil, regulamentando o inciso IV do § 1º do art. 225 da Constituição Federal, além de alterar leis como a dos Crimes Ambientais e da Política Nacional do Meio Ambiente, revogando dispositivos obsoletos e estabelecendo diretrizes claras para procedimentos de licenciamento em âmbito federal, estadual e municipal.

Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE) – Número 15.042/2024, instituiu o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE), criando um mercado regulado de carbono no modelo *cap-and-trade*, no qual o governo define limites máximos de emissões e distribui cotas (Cotas Brasileiras de Emissão – CBEs) que podem ser comercializadas entre empresas.

Política Nacional sobre Mudança do Clima – Número 12.187/2009, define diretrizes para enfrentar as mudanças climáticas no Brasil, oficializando o compromisso do país de reduzir as emissões de gases de efeito estufa. A lei promove a integração de políticas de desenvolvimento sustentável e a adaptação aos impactos das mudanças climáticas, visando a proteção do sistema climático global.

Política Nacional de Qualidade do Ar – Número 14.850/2024, institui a Política Nacional de Qualidade do Ar e dispõe sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão da qualidade do ar no território nacional.

Programa Mobilidade Verde e Inovação Lei nº 14.902/2024, o programa mover tem a finalidade de apoiar o desenvolvimento tecnológico, a competitividade global, a integração nas cadeias globais de valor, a descarbonização, o alinhamento a uma economia de baixo carbono no ecossistema produtivo e inovador de automóveis, de caminhões e de seus implementos rodoviários, de ônibus, de chassis com motor, de máquinas autopropulsadas e de autopeças.

Planos de Adaptação à Mudança do Clima Lei nº14.904/2024, estabelece diretrizes para a elaboração de planos de adaptação à mudança do clima, com o objetivo de implementar medidas para reduzir a vulnerabilidade e a exposição a riscos dos sistemas ambiental, social, econômico e de infraestrutura diante dos efeitos adversos atuais e esperados da mudança do clima.

Produção de Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono Lei nº14.948/2024, regulamenta a produção de hidrogênio considerado de baixa emissão de carbono e institui uma certificação voluntária. O texto traz, ainda, incentivos tributários ao setor e definições como hidrogênio renovável, hidrogênio verde, dentre outras.

Transporte rodoviário de cargas por conta de terceiros Lei nº 11.442/2007, regula a atividade do Transporte Rodoviário de Cargas, define quem pode atuar (empresas, cooperativas, autônomos) e as condições para o exercício da atividade.

RNTRC (Registro Nacional de Transportadores Rodoviários de Cargas), cadastro mantido pela ANTT, obrigatório para todas as empresas e autônomos que atuam no TRC.

Lei do Motorista (Lei nº 13.103/2015), define regras para jornada, tempo de direção, pausas e descanso dos motoristas profissionais.

PNL (Plano Nacional de Logística), diretrizes para reduzir a dependência do modal rodoviário e integrar outros modais.

O Mercosul assinado entre Brasil, Argentina, Paraguai, Uruguai, Chile, Bolívia e Peru. Estabelece regras unificadas para o transporte internacional rodoviário de cargas e passageiros na região. Define padrões de documentação, seguros e requisitos técnicos.

Política Europeia de Transporte Rodoviário (União Europeia), a União Europeia possui uma política integrada de transporte que regula o mercado rodoviário, estabelece tempo máximo de direção e descanso dos motoristas (Regulamento CE 561/2006), uso de tacógrafos digitais, normas de segurança viária e direitos dos transportadores e passageiros.

Lei nº 10.233/2001 - Estabelece a organização da estrutura federal de transportes, incluindo a regulação do setor ferroviário. Define competências da ANTT e diretrizes para concessões.

Lei nº 14.273/2021 – Marco Legal das Ferrovias, introduz o modelo de autorização ferroviária, permitindo que empresas privadas proponham projetos sem depender de licitação. Estimula investimentos e desburocratiza o setor.

Medida Provisória nº 1.065/2021 - Antecedeu a Lei 14.273 e foi responsável por iniciar a transição para o modelo de autorizações. Facilitou o surgimento de ferrovias privadas e o conceito de “*short lines*”.

Decreto nº 11.150/2022 - Regulamenta a Lei 14.273, detalhando os procedimentos para autorizações, chamamentos públicos e regras de operação.

Staggers Rail Act (1980) - Foi um divisor de águas na regulação ferroviária americana. Desregulamentou o setor, permitindo que empresas ferroviárias negociassem tarifas diretamente com os clientes, sem intervenção governamental. Isso aumentou a eficiência, reduziu tarifas e impulsionou investimentos privados.

Interstate Commerce Act (1887) (revogada parcialmente) - Foi a primeira legislação federal a regular ferrovias nos EUA, criando a *Interstate Commerce Commission* (ICC), substituída posteriormente pelo STB.

Pacotes Ferroviários Europeus (*Railway Packages*) - Conjunto de diretivas e regulamentos adotados desde os anos 1990.

Canada Transportation Act (1996) - Regula todos os modos de transporte, incluindo ferrovias. Estabelece princípios de eficiência, acessibilidade e livre mercado. Permite que operadores negociem livremente com clientes e estimula investimentos privados.

Railway Safety Act (1985) - Foca na segurança das operações ferroviárias, exigindo auditorias, inspeções e planos de mitigação de riscos.

A Lei nº 10.233, de 5 de julho de 2001, que trata da reestruturação dos transportes aquaviários e terrestres, estabelece a criação de entidades importantes, como o Conselho Nacional de Integração de Políticas de Transporte, a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), a Agência Nacional de Transportes Aquaviários e o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. A lei menciona o dutoviário de transporte nas seguintes situações:

•Art. 21º § 3º: A ANTT articula-se com as entidades operadoras de transporte dutoviário para a resolução de interfaces intermodais e a organização de um cadastro do sistema de dutovias do Brasil.

•Art. 24º: Cabe à ANTT, em sua esfera de atuação, as seguintes atribuições gerais:

•XIII – Promover levantamentos e organizar cadastro relativo ao sistema de dutovias do Brasil e às empresas proprietárias de equipamentos e instalações de transporte dutoviário.

Complementarmente, a Resolução nº 3000, de 28 de janeiro de 2009, que aprova o Regimento Interno e a Estrutura Organizacional da ANTT, estabelece:

•Art. 59: À Superintendência Executiva compete:

•XII - Organizar e manter o cadastro de dutovias e empresas de proprietários de equipamentos e instalações de transporte dutoviário, articulando-se junto a outros órgãos, realizando uma análise sistêmica e multimodal do transporte dutoviário.

Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997 – Lei do Petróleo, define oleodutos e gasodutos, seus usos, distinções.

Regulamento Técnico de Dutos Terrestres (RTDT) – ANP, Resolução nº 6/2011, estabelece requisitos essenciais mínimos de segurança operacional para dutos terrestres (oleodutos/gasodutos), operação, construção, manutenção, proteção ambiental

Normas ABNT

•ABNT NBR 17.505 – Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis.

•ABNT NBR 15.216 – Armazenamento de combustíveis — controle de qualidade no armazenamento, transporte, etc.

•ABNT NBR 15.280-1 e 15.280-2 – Dutos terrestres, partes do projeto, construção e montagem.

Lei nº 10.932, de 3 de agosto de 2004, acrescenta ao art. 4º da Lei nº 6.766/1979 a exigência de “reserva de faixa não-edificável vinculada a dutovias”, no licenciamento ambiental, com critérios de segurança para população e meio ambiente.

Lei nº 9.432/1997 (Lei da Navegação), ordena o transporte aquaviário, definindo modalidades como cabotagem, navegação de longo curso e navegação interior.

Lei nº 12.815/2013 (Lei dos Portos), regula a exploração direta e indireta de portos e instalações portuárias, ampliando a participação da iniciativa privada.

Lei nº 14.301/2022 (Programa BR do Mar), política pública de incentivo à cabotagem, visando reduzir custos logísticos e desafogar o transporte rodoviário.

Política Nacional de Portos e Hidrovias, estabelece diretrizes para expansão, modernização e integração da infraestrutura aquaviária e portuária.

Portaria DG 62/2005, cria o Sistema Permanente de acompanhamento de preços e de desempenho operacional dos serviços portuários (SDP).

Resolução Normativa nº 13/2016, aprova a norma sobre o Registro de instalações de apoio ao transporte aquaviário.

Portaria DG 170/2016, estabelece a infraestrutura básica para instalação dos Portos Avançados de Fiscalização (PA).

ANTAQ nº 7.992/2020, define a classificação de riscos das atividades econômicas e prazos para decisão administrativa sobre atos públicos de liberação.

ANTAQ nº 43/2021, resolução estabelece critérios para a reversibilidade de bens nos portos organizados.

ANTAQ nº 49/2021, institui a contabilidade regulatória e societária das administrações portuárias e arrendatárias.

ANTAQ nº 61/2021, estabelece a estrutura tarifária padronizada das administrações portuárias e procedimentos de reajuste.

Resolução ANTAQ nº 71/2022, define procedimentos para autorização de construção e exploração de terminais de uso privado e instalações portuárias.

ANTAQ nº 85/2022, estabelece procedimentos para elaboração e análise de estudos de diretrizes técnicas, econômicas e ambientais.

Resolução ANTAQ nº 94/2023, institui a Comissão Permanente de Licitação de Concessões e Arrendamentos Portuários.

Resolução ANTAQ nº 99/2023, regulamenta a prestação de serviços de retirada de resíduos de embarque em águas sob jurisdição nacional.

Resolução ANTAQ nº 126/2025, altera normas para regulamentos a revisão extraordinária dos contratos e concessões nos portos organizados.

A aviação civil, por sua complexidade operacional e elevado grau de risco, está entre os setores mais regulamentados do mundo. No Brasil, o marco jurídico fundamental é o Código Brasileiro de Aeronáutica (Lei nº 7.565/1986), que estabelece os direitos e deveres dos agentes envolvidos no transporte aéreo, bem como as diretrizes de segurança e responsabilidade aplicáveis às operações.

Complementando esse arcabouço legal, os Regulamentos Brasileiros da Aviação Civil (RBAC), editados pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), detalham normas técnicas que abrangem desde a condução de aeronaves em diferentes modalidades de voo (RBAC 91, 121 e 135) até requisitos médicos e de aptidão física para a tripulação (RBAC 67).

Por fim, normas regionais de grande influência, como as emitidas pela *Federal Aviation Administration* (FAA), nos Estados Unidos, e pela *European Union Aviation Safety Agency* (EASA), na União Europeia, têm estabelecido padrões técnicos e de certificação que ultrapassam fronteiras, servindo de referência global para a segurança e a eficiência da aviação civil.

12 ORGÃOS REGULADORES APLICADOS

ANTT (Agência Nacional de Transportes Terrestres), regula e fiscaliza as concessões ferroviárias, garantindo segurança, eficiência e cumprimento contratual.

Ministério dos Transportes, formula políticas públicas, coordena projetos estratégicos e supervisiona o desenvolvimento da infraestrutura ferroviária.

PPI (Programa de Parcerias de Investimentos), responsável por estruturar concessões e autorizações ferroviárias, promovendo a participação privada.

Staggers Rail Act (1980), foi um divisor de águas na regulação ferroviária americana. Desregulamentou o setor, permitindo que empresas ferroviárias negociassem tarifas diretamente com os clientes, sem intervenção governamental. Isso aumentou a eficiência, reduziu tarifas e impulsionou investimentos privados.

Interstate Commerce Act (1887) (revogada parcialmente), foi a primeira legislação federal a regular ferrovias nos EUA, criando a *Interstate Commerce Commission* (ICC), substituída posteriormente pelo STB.

Surface Transportation Board (STB), agência independente que regula tarifas, fusões, acesso à infraestrutura e práticas comerciais das ferrovias. Atua como mediadora em disputas entre operadores e clientes.

Pacotes Ferroviários Europeus (*Railway Packages*), conjunto de diretivas e regulamentos adotados desde os anos 1990.

Agência Ferroviária da União Europeia (ERA), responsável por desenvolver normas técnicas comuns, garantir interoperabilidade entre países membros e supervisionar a segurança ferroviária.

Direção-Geral da Mobilidade e dos Transportes (DG MOVE), departamento da Comissão Europeia que formula políticas de transporte, incluindo o setor ferroviário.

Canada Transportation Act (1996), regula todos os modos de transporte, incluindo ferrovias. Estabelece princípios de eficiência, acessibilidade e livre mercado. Permite que operadores negociem livremente com clientes e estimula investimentos privados.

Railway Safety Act (1985), foca na segurança das operações ferroviárias, exigindo auditorias, inspeções e planos de mitigação de riscos

Transport Canada, responsável pela segurança ferroviária, inspeções, certificações e políticas públicas relacionadas ao transporte.

13 O ACORDO DE PARIS

O Acordo de Paris constitui-se como um tratado internacional juridicamente vinculante voltado ao enfrentamento das mudanças climáticas, adotado em 2015 durante a 21ª Conferência das Partes (COP21), em Paris, e em vigor desde 2016. Representa um marco do multilateralismo climático, na medida em que, pela primeira vez, todas as nações se comprometeram conjuntamente a reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e a adotar medidas de adaptação aos impactos ambientais já em curso (UNFCCC, 2015).

O objetivo central do Acordo é limitar o aumento da temperatura média global a níveis bem abaixo de 2°C em relação aos períodos pré-industriais, buscando esforços adicionais para conter o aquecimento em 1,5°C. A meta mais ambiciosa se deve às evidências apresentadas pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), segundo as quais a superação desse limite intensificaria de forma significativa os riscos de secas, ondas de calor, chuvas extremas e elevação do nível do mar (IPCC, 2018). Para que isso seja alcançado, as emissões globais devem atingir o pico até 2025 e sofrer uma redução de cerca de 43% até 2030.

A implementação do Acordo de Paris ocorre por meio de um ciclo quinquenal, no qual os países apresentam e revisam suas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC), que devem refletir níveis crescentes de ambição em mitigação e adaptação. Esse processo é acompanhado de um quadro de transparência reforçado (ETF), que, a partir de 2024, prevê relatórios padronizados de cada país sobre suas ações e avanços, possibilitando uma avaliação coletiva conhecida como balanço global (UNFCCC, 2022).

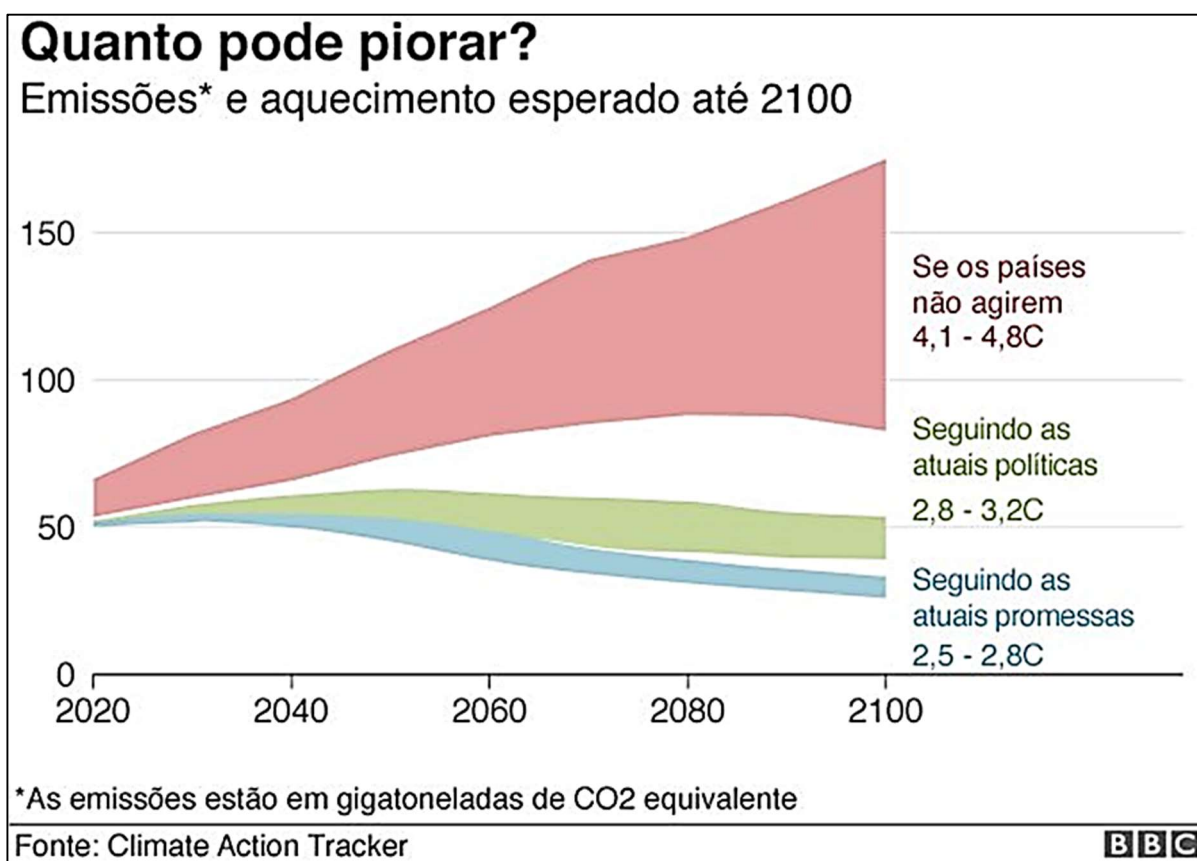
Além das NDCs, os países são convidados a elaborar Estratégias de Longo Prazo (LT-LEDS), que, embora não obrigatórias, fornecem diretrizes para um desenvolvimento de baixo carbono, articulando as metas climáticas com políticas nacionais de planejamento econômico e social (OECD, 2020).

Outro aspecto fundamental do Acordo é a previsão de apoio financeiro, técnico e de capacitação. Os países desenvolvidos, reconhecidos como historicamente mais responsáveis pelas emissões, devem liderar os esforços de financiamento climático, sobretudo voltados aos países em desenvolvimento, mais vulneráveis aos impactos ambientais. O mecanismo prevê, ainda, a promoção de transferência tecnológica e a ampliação das capacidades institucionais desses países (UNFCCC, 2015).

Nos últimos anos, o Acordo tem fomentado a difusão de soluções de baixo carbono e a emergência de novos mercados sustentáveis. Estima-se que setores responsáveis por 25% das emissões globais já apresentem competitividade em tecnologias de carbono zero, com previsão de expansão para até 70% até 2030 (IEA, 2021).

No caso do Brasil, a NDC submetida prevê a redução das emissões em 37% até 2025 e 43% até 2030, em relação aos níveis de 2005. Entre as principais medidas, destacam-se o aumento da participação da bioenergia sustentável na matriz energética, a recuperação de 12 milhões de hectares de florestas e a meta de 45% de energias renováveis na matriz até 2030 (MMA, 2016). Em termos de intensidade de emissões por unidade do PIB, a redução estimada corresponde a 66% até 2025 e 75% até 2030, configurando metas expressivas diante do crescimento econômico e demográfico projetado para o país.

Portanto, o Acordo de Paris se consolida como um instrumento político e jurídico central no combate às mudanças climáticas, articulando compromissos nacionais e mecanismos de cooperação internacional. Contudo, os relatórios mais recentes indicam que será necessário intensificar os esforços coletivos para que as metas de 1,5°C sejam atingidas ainda neste século.



14 CONFERÊNCIA DAS PARTES (COP)

A Conferência das Partes (COP) é o órgão decisório da Convenção das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC ou UNFCCC). Sua função é implementar os compromissos globais de combate às mudanças climáticas, assumidos pelos países signatários e ratificadores da Convenção. Atualmente, 198 nações participam da UNFCCC esse número corresponde à 193 estados membros da ONU, 2 observadores (Vaticano e Palestina) e 3 entidades especiais (Niue, Ilhas Cook e a União Europeia), tornando-a um dos maiores organismos multilaterais da Organização das Nações Unidas (ONU).

A COP representa a cúpula global do clima, que é realizada anualmente em um país diferente. Ela também funciona como Reunião das Partes para o Protocolo de Quioto (CMP) e o Acordo de Paris, cujo objetivo principal é mitigar o aquecimento global e manter o aumento da temperatura global abaixo de 2° C, com esforços para limitá-lo a 1,5° C.

Na dinâmica da COP, que ocorre ao longo de duas semanas, a primeira semana é dedicada a discussões técnicas, enquanto a segunda é voltada para encontros políticos e assinatura dos acordos. Os resultados devem ser alcançados por consenso, garantindo que todos os países tenham direito a voto.

A conferência é dividida em Zona Azul e Zona Verde, onde a Zona Azul, que é gerenciada diretamente pela ONU, é onde acontecem as negociações políticas e os encontros diplomáticos, já a Zona Verde sedia painéis para o público geral, apresentação de ONGs e outras atividades, inclusive as culturais.

14.1 A Trigésima Edição da COP em Belém do Pará

A 30ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (Conferência das Partes – COP30), acontecerá entre os dias 10 e 21 de novembro na cidade de Belém, capital do Pará. O evento, que ocorre anualmente, reúne líderes mundiais, cientistas, organizações não governamentais e representantes da sociedade civil para discutir o futuro do planeta, por meio de ações para combater as mudanças climáticas. Na edição anterior, realizada em Baku, Azerbaijão, a conferência enfrentou críticas por não estabelecer metas suficientemente ambiciosas para mitigar os efeitos das mudanças climáticas.

Durante o evento, o país terá a responsabilidade de apresentar seus esforços em áreas como energias renováveis, biocombustíveis e agricultura de baixo carbono.

Os temas centrais da COP30 (Conferência das Partes) abrangerão a redução de emissões de gases de efeito estufa, a adaptação às mudanças climáticas, o financiamento climático para países em desenvolvimento, tecnologias de energia renovável e soluções de baixo carbono, além da preservação de florestas e biodiversidade.

Segundo estimativas da Fundação Getúlio Vargas (FGV), espera-se que a COP30 (Conferência das Partes) atraia cerca de 40 mil visitantes. Dentre eles, pelo menos 7 mil serão integrantes da ONU (Organização das Nações Unidas) e delegações de países-membros. A escolha de Belém como sede da COP30 (Conferência das Partes) transcende uma celebração simbólica dos 10 anos do Acordo de Paris, prometendo marcar um momento de ação concreta e compromissos efetivos.

Conforme afirmou o embaixador André Corrêa do Lago, presidente da conferência, este é um momento que exige ação concreta e a implementação de compromissos já firmados. Em entrevista à Jovem Pan, Lago deixou claro que o evento será um marco de transição entre a diplomacia climática e a execução de políticas sustentáveis. Mais de 30 anos após sediar a Rio-92, evento tido como a pedra fundamental para o estabelecimento das COPs (Conferência das Partes), o Brasil recebe novamente uma conferência de tal magnitude.

14.1.1 Expectativa Nacional na COP30

Para o governo brasileiro, a COP30 (Conferência das Partes) é uma oportunidade singular de reforçar o papel do Brasil como líder nas discussões globais sobre mudanças climáticas e sustentabilidade.

A capital paraense tem a missão de recuperar a posição de “capital da Amazônia”. Neste sentido, a prefeitura da cidade e o governo do estado estão trabalhando junto ao governo federal e à iniciativa privada para impulsionar o desenvolvimento e deixar a cidade pronta para receber os milhares de visitantes previsto

Entre as obras estão a modernização do Aeroporto Internacional de Belém, a revitalização de rodovias e o BRT Metropolitano e o famoso Parque da Cidade. As

obras estão organizadas em quatro categorias: hospedagem, infraestrutura, mobilidade e saneamento.

Apesar de impulsionar o desenvolvimento, a escolha da capital paraense como sede da COP (Conferência das Partes) carrega implicações ambientais e geopolíticas. No entanto, o desafio logístico é considerável.

A escolha de Belém é estratégica para o Brasil, pois destaca o bioma e oferece ao país uma plataforma para mostrar suas iniciativas de preservação e transição energética. Entre os desafios do Brasil na COP30 (Conferência das Partes) está a mediação das discussões, o que pode demonstrar que o país pode assumir um papel central no combate às mudanças climáticas.

Com uma das matrizes energéticas mais limpas do mundo, um histórico no uso de biocombustíveis e investimentos crescentes em tecnologias sustentáveis, o país pretende apresentar um novo modelo de crescimento verde.

A Amazônia corresponde a um terço das florestas tropicais do mundo e desempenha um papel determinante na absorção global de carbono, ajudando a reduzir (naturalmente) os níveis de gases de efeito estufa na atmosfera.

Segundo a CNN Brasil, o país tem chances de ser o grande protagonista da edição, mas ainda precisa mostrar ao mundo que isso não se deve apenas ao fato de abrigar parte da maior floresta do planeta, o que, por si só, já justificaria o título. A expectativa da COP30 (Conferência das Partes) é que o Brasil demonstre aos líderes globais como está combatendo as mudanças climáticas, uma vez que é referência mundial na utilização de energia limpa, com mais de 90% da eletricidade proveniente de fontes renováveis.

Em sua última NDC (Revisão das Contribuições Nacionalmente Determinadas), o país assumiu o compromisso de reduzir as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) em 59% a 67% até 2035, em comparação a 2005. Apesar de ter demonstrado uma progressão na ambição de sua contribuição para o Acordo de Paris, esse comportamento pode colocar o Brasil no caminho para a neutralidade climática até 2050, ou seja, uma ação a longo prazo.

As últimas atualizações das NDCs antes da COP30 (Conferência das Partes) é que das 197 nações signatárias do Acordo de Paris, apenas 22 países apresentaram o documento antes do prazo: Andorra, Brasil, Canadá, Cuba, Equador, Emirados Árabes Unidos, Estados Unidos, Ilhas Marshall, Japão, Maldivas, Montenegro, Nova Zelândia, Reino Unido, Santa Lúcia, Singapura, Suíça, Uruguai e Zimbábue.

14.1.2 Gráfico de Emissões: Efeito Estufa



**política
por Intelro**

**TÁ LÁ NO GRÁFICO
A COP30 EM 10 GRÁFICOS**

QUEM MAIS EMITE HOJE

Os 15 maiores emissores respondem por mais de dois terços das emissões globais de gases de efeito estufa⁽¹⁾



	Países	Emissões em MtCO _{2e}	Em %
1	China	15.943,99	30,1
2	Estados Unidos	5.960,80	11,3
3	Índia	4.133,55	7,8
4	União Europeia	3.221,79	6,1
5	Rússia	2.672,04	5,1
6	BRASIL	1.300,17	2,5
7	Indonésia	1.200,20	2,3
8	Japão	1.041,01	2,0
9	Irã	996,75	1,9
10	Arábia Saudita	805,16	1,5
11	Canadá	747,68	1,4
12	México	712,10	1,3
13	Alemanha	681,81	1,3
14	Coreia do Sul	653,85	1,2
15	Turquia	606,43	1,2

(1) Dados de 2023

Fonte: EDGAR 2024 – Banco Global de Emissões de Gases de Efeito Estufa

15 O NEGACIONISMO CLIMÁTICO

O negacionismo climático representa hoje uma das maiores ameaças não apenas ao avanço científico, mas também ao Direito e ao futuro socioambiental. Como apontam Talden Farias, José Irivaldo Alves de Oliveira Silva e Marcelo Bedoni, quando figuras de grande poder institucional, como o então presidente dos Estados Unidos, Donald Trump, classificam as mudanças climáticas como “fraude”, esse discurso ganha força política e simbólica, disseminando desinformação e enfraquecendo ações necessárias para enfrentar a crise climática (Farias; Silva; Bedoni, 2025).

Embora o aquecimento global seja um fenômeno amplamente documentado e respaldado por consenso científico, com evidências claras de que atividades humanas intensificam o aquecimento da atmosfera, dos oceanos e da superfície terrestre, o negacionismo climático atua para minar esse conhecimento consolidado (Farias; Silva; Bedoni, 2025). A recusa em aceitar evidências científicas alimenta a desconfiança pública e coloca em risco a formulação de políticas de mitigação e adaptação, principalmente quando discursos negacionistas questionam a necessidade de medidas urgentes (Farias; Silva; Bedoni, 2025).

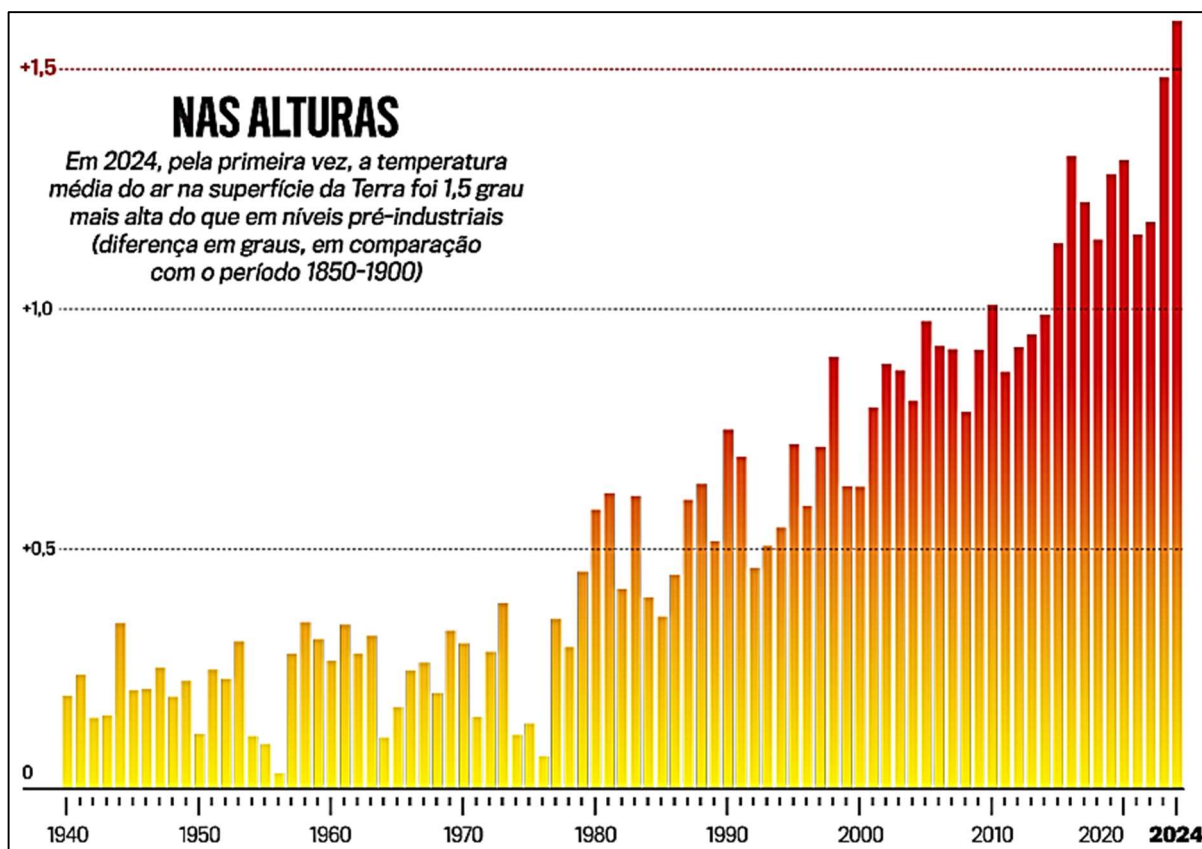
A desinformação climática dificulta o financiamento de políticas públicas, prejudica a responsabilização de emissores de gases de efeito estufa e retarda a implementação de estratégias governamentais, prejudicando a proteção do meio ambiente e das populações vulneráveis (Farias; Silva; Bedoni, 2025). Além disso, a retórica negacionista tenta legitimar a falsa premissa de que, diante de suposta incerteza, não seriam necessárias medidas preventivas, postura que enfraquece decisões sustentáveis e ignora o princípio da precaução (Farias; Silva; Bedoni, 2025).

Diversos julgados internacionais reforçam a relevância do Direito climático. Casos como *Held v. Montana* nos Estados Unidos reconhecem que Estados têm obrigações constitucionais de limitar emissões para proteger o meio ambiente; na Alemanha, tribunais consideraram insuficientes leis climáticas por violarem direitos fundamentais das futuras gerações; e no Brasil, o Supremo Tribunal Federal apontou omissão estatal quanto à política climática, exigindo a efetivação de instrumentos como o Fundo Clima (Farias; Silva; Bedoni, 2025). Esses precedentes demonstram que o Judiciário tem desempenhado papel essencial na garantia de políticas alinhadas à ciência e ao bem-estar coletivo.

O negacionismo climático não se limita a opiniões individuais, trata-se de um movimento estruturado, marcado por desinformação, ataques à credibilidade científica e estratégias coordenadas para desacelerar a transição ecológica. Esse ecossistema envolve agentes diversos, desde setores políticos e econômicos até *think tanks* - grupos organizados que produzem conhecimento (ou pseudoconhecimento) para influenciar decisões na sociedade e redes sociais, que promovem narrativas contrárias à adoção de metas climáticas mais ambiciosas (Farias; Silva; Bedoni, 2025).

Nesse cenário, destaca-se o papel das grandes potências, especialmente os Estados Unidos, pois quando um país com grande influência econômica, política e geopolítica deixa de apoiar acordos climáticos, recua em compromissos ambientais ou sustenta discursos negacionistas, seus impactos reverberam globalmente. A postura norte-americana pode desestimular a cooperação internacional, fragilizar instituições multilaterais e fortalecer grupos negacionistas ao redor do mundo, prejudicando o avanço de políticas climáticas responsáveis e urgentes (Farias; Silva; Bedoni, 2025).

16 GRÁFICO DE ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA



O gráfico é baseado em dados do serviço europeu Copérnicos e da Organização Meteorológica Mundial (OMM), que confirmaram que 2024 foi o primeiro ano em que a temperatura média global ultrapassou 1,5 °C acima dos níveis pré-industriais. Ultrapassar 1,5 °C representa um alerta crítico dentro do Acordo de Paris, que busca limitar o aquecimento global abaixo desse patamar para evitar impactos climáticos extremos. Embora 2024 tenha sido o primeiro ano a ultrapassar esse limite, os cientistas alertam que a meta de longo prazo ainda não foi perdida, mas está sob sério risco.

Os dados são altamente consistentes e foram obtidos a partir de seis conjuntos de dados internacionais, incluindo observações de estações meteorológicas, satélites e modelos climáticos. Atualmente são utilizados por governos, cientistas e organizações multilaterais para orientar políticas climáticas. Estão alinhados com os alertas do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), que já previa a aproximação desse limite.

17 A LOGÍSTICA VERDE

A logística verde é uma vertente moderna da logística que busca integrar práticas sustentáveis em todas as etapas da cadeia de suprimentos, desde o planejamento da produção até a entrega final ao consumidor, com o objetivo de reduzir os impactos ambientais das atividades empresariais. De acordo com Leite (2009), a logística verde “visa minimizar os impactos ecológicos das operações logísticas, por meio da racionalização dos fluxos de materiais e da utilização de tecnologias menos poluentes”. Dessa forma, ela envolve a gestão eficiente dos recursos, o uso de energias renováveis, o controle da emissão de poluentes, a escolha de rotas otimizadas de transporte e a adoção de embalagens recicláveis, sempre priorizando o equilíbrio entre eficiência operacional e responsabilidade ambiental.

A importância da logística verde está diretamente relacionada à necessidade de adaptação das empresas a um cenário global cada vez mais pautado pela sustentabilidade. Segundo Lacerda (2012), “as organizações que adotam práticas de logística verde não apenas reduzem custos operacionais, como também fortalecem sua imagem institucional e aumentam sua competitividade no mercado global”. Além de representar uma vantagem competitiva, a logística verde colabora com a mitigação das mudanças climáticas, uma vez que reduz a emissão de gases de efeito estufa e estimula o uso racional dos recursos naturais. Essa abordagem torna-se ainda mais relevante diante da crescente conscientização dos consumidores, que tendem a valorizar marcas comprometidas com a preservação ambiental e o desenvolvimento sustentável.

Entretanto, é necessário reconhecer que, muitas vezes, a adoção de práticas sustentáveis e de logística verde pelas empresas também está associada a estratégias de *marketing* corporativo e valorização de mercado, e não apenas a um compromisso genuíno com o meio ambiente. Diversas organizações utilizam o discurso ambiental como forma de fortalecer sua imagem pública e atrair investidores e consumidores preocupados com a sustentabilidade, fenômeno conhecido como *green marketing*. Segundo Porter e Kramer (2011), as empresas buscam criar valor compartilhado ao associar suas práticas de negócios à responsabilidade ambiental e social, o que gera diferenciação competitiva e melhora sua reputação.

A *BlackRock*, maior gestora de ativos do mundo, vem direcionando seus investimentos para empresas que adotam critérios ESG (*Environmental, Social and Governance*), ou seja, práticas ambientais, sociais e de governança sustentáveis. Essa mudança de paradigma força companhias de diversos setores a incorporar políticas de sustentabilidade em seus processos logísticos e operacionais para continuarem atraentes ao mercado financeiro. Assim, muitas iniciativas de logística verde nascem tanto da preocupação ambiental quanto da necessidade de adequação às exigências de investidores e consumidores globalmente conscientes.

A logística verde também está diretamente relacionada à busca por um modelo de crescimento que unifique eficiência econômica e responsabilidade ecológica. Conforme Srivastava (2007), “a logística verde é fundamental para o equilíbrio entre crescimento econômico e preservação ambiental, sendo um instrumento estratégico para alcançar a sustentabilidade nas cadeias de suprimento”. Assim, sua aplicação permite que empresas modernizem suas operações, adotando práticas como o transporte com menor emissão de carbono, o reaproveitamento de materiais e o gerenciamento adequado de resíduos, o que contribui tanto para a proteção ambiental quanto para o desempenho financeiro das organizações.

É importante destacar, entretanto, a diferença entre logística verde e logística reversa, embora estejam interligadas, tratam de enfoques distintos dentro da gestão sustentável. A logística verde é um conceito mais amplo, voltado à prevenção e à redução de impactos ambientais em todas as etapas do processo logístico, abrangendo desde a origem até o destino dos produtos. Já a logística reversa, segundo Leite (2009), “é a área da logística empresarial que planeja, opera e controla o fluxo e as informações logísticas do retorno dos bens de pós-venda e pós-consumo ao ciclo produtivo, agregando-lhes valor de diversas naturezas”. Em outras palavras, a logística reversa foca nas etapas posteriores ao consumo, buscando o retorno de materiais e produtos para reuso, reciclagem ou descarte adequado, enquanto a logística verde atua de forma preventiva, buscando reduzir os danos ambientais antes mesmo que eles ocorram, portanto, a logística verde e a logística reversa se complementam dentro da perspectiva da sustentabilidade empresarial.

18 PAÍSES EXEMPLARES

A presença de países que assumem liderança em práticas ambientais é essencial no cenário global atual, marcado pela intensificação da crise climática, pela poluição crescente e pela pressão sobre os recursos naturais. Nações que investem em energia limpa, saneamento, preservação da biodiversidade e gestão eficiente de resíduos acabam se tornando referências internacionais. Esse papel de destaque não beneficia apenas suas populações, gera impactos positivos para todo o mundo, seja ao impulsionar o desenvolvimento de tecnologias mais sustentáveis, ao influenciar acordos e metas climáticas ou ao inspirar outros países a adotarem políticas públicas mais responsáveis.

Esses países exemplares também reforçam uma mensagem fundamental, é possível conciliar desenvolvimento econômico com proteção ambiental. Ao manter qualidade de vida elevada, economia ativa e ainda assim preservar o meio ambiente, essas nações demonstram que o crescimento não precisa estar associado à exploração descontrolada dos recursos naturais. Essa postura contribui para fortalecer uma visão de desenvolvimento sustentável, baseada no equilíbrio entre progresso humano e cuidado com o planeta.

Além disso, *rankings* internacionais, como o Environmental Performance Index (EPI), ajudam a estabelecer metas e critérios de comparação entre os países. Esses indicadores promovem transparência e permitem que governos, empresas e sociedade civil compreendam onde estão avançando e onde precisam melhorar. Em muitos casos, os países mais bem colocados funcionam como verdadeiros “laboratórios” de políticas ambientais, oferecendo exemplos que podem ser adaptados para diferentes realidades.

De acordo com o *ranking* de 2025 divulgado pelo NTICs (Novas Tecnologias da Informação e Comunicação Projetos), baseado no EPI (Environmental Performance Index), os países mais bem avaliados em sustentabilidade ambiental incluem:

Estônia (EPI 75,3) – líder do *ranking*, destacou-se pela redução significativa das emissões de gases de efeito estufa e pelo investimento em fontes renováveis como eólica, solar e biomassa.

Luxemburgo (EPI 75,0) – apresenta sistemas eficientes de reciclagem, transporte verde e mais da metade do território protegido.

Alemanha (EPI 74,6) – mantém políticas rigorosas de controle de emissões, forte regulação ambiental e ampla estrutura de reciclagem.

Finlândia (EPI 73,7) – combina ar limpo, conservação florestal e políticas que fortalecem a silvicultura sustentável.

Reino Unido (EPI 72,7) – destaca-se por avanços em energias renováveis, gestão de resíduos e proteção de áreas marinhas que ultrapassam 30% dos seus territórios oceânicos.

As ações ambientais adotadas por esses países produzem efeitos que ultrapassam suas fronteiras. A principal contribuição global está na mitigação das mudanças climáticas: ao reduzir emissões, ampliar o uso de energias renováveis e promover meios de transporte menos poluentes, essas nações ajudam a desacelerar o aquecimento global. Esse impacto é especialmente importante para regiões mais vulneráveis, como países tropicais e em desenvolvimento, que costumam sofrer com eventos extremos mais intensos e frequentes.

A presença de países exemplares demonstra, portanto, que é possível integrar desenvolvimento humano, economia forte e responsabilidade ambiental. Nações como Estônia, Luxemburgo, Alemanha, Finlândia, Reino Unido, Suécia, Noruega, Áustria, Suíça e Dinamarca evidenciam que políticas ambientais bem planejadas, apoiadas por tecnologia, regulação eficiente e participação social, geram benefícios concretos, como melhoria da qualidade do ar e da água, proteção da biodiversidade, mobilidade sustentável e maior bem-estar para a população.

19 PROPOSTA DE INTERVENÇÃO: INFRAESTRUTURA

A adaptação de uma Infraestrutura resiliente é essencial para proteger vidas, reduzir prejuízos e garantir continuidade diante dos eventos climáticos extremos. Ela representa a capacidade de resistir, adaptar-se e se recuperar com eficiência frente às mudanças climáticas/ambientais.

Em um cenário global marcado por chuvas intensas, secas prolongadas, deslizamentos e elevação do nível do mar, tsunamis, terremotos e enchentes a infraestrutura tradicional já não é suficiente. Infraestruturas resilientes são projetadas para suportar esses impactos, minimizando e até extinguindo danos, acelerando a recuperação das comunidades afetadas e proporcionando alterações logísticas mais viáveis.

A resiliência começa no planejamento, onde incorporar critérios climáticos desde a concepção de projetos permite antecipar riscos e evitar colapsos. Isso significa pensar em longo prazo, considerando cenários futuros e integrando soluções adaptativas. Infraestruturas resilientes não apenas resistem aos eventos extremos, mas também promovem sustentabilidade, elas são pensadas para durar mais, consumir menos recursos e gerar menos impacto ambiental.

Quando uma infraestrutura falha diante de um desastre climático, os prejuízos vão além do material, pois há perdas humanas, interrupção de serviços essenciais, impacto direto na logística e seus respectivos modais e a desestruturação econômica, seja a partir do bloqueio de fornecimento ou até o resultando no PIB (Produto Interno Bruto).

Estudos apresentados na COP30 (Acordo das Partes) mostram que o Brasil precisa adaptar seus projetos logísticos e urbanos para enfrentar os riscos climáticos, onde a adoção de soluções resilientes permite que o país avance com mais segurança e eficiência, reduzindo vulnerabilidades e promovendo desenvolvimento sustentável.

19.1 O Conceito de Cidade Esponja

Cidade Esponja é uma área urbana estrategicamente projetada para absorver, armazenar e reutilizar a água da chuva de maneira eficiente. Este conceito busca mimetizar o ciclo hidrológico natural, integrando infraestruturas verdes e azuis na paisagem urbana para aumentar a permeabilidade do solo e a capacidade de retenção hídrica, aliviando a sobrecarga dos sistemas de drenagem convencionais e mitigando os riscos de enchentes.

O conceito foi pioneiramente desenvolvido na China, que, em 2013, lançou um ambicioso programa piloto com o objetivo de que, até 2030, 80% de suas áreas urbanas pudessem absorver e reutilizar no mínimo 70% da água pluvial.

A criação ou adaptação de uma cidade a este modelo envolve um processo integrado que se inicia no planejamento urbano e se estende à implementação de infraestruturas específicas. Os passos fundamentais incluem a análise e mapeamento das vulnerabilidades do terreno à inundação, o planejamento integrado que harmoniza o desenvolvimento urbano com a incorporação de soluções de infraestrutura verde e azul, a implementação de infraestruturas específicas (como parques, pequenas ilhas, jardins de chuva, a agricultura das regiões rurais e pavimentos permeáveis), e o monitoramento e manutenção contínua para assegurar sua eficácia a longo prazo.

A funcionalidade do modelo Esponja reside na atuação integrada de diversos componentes da infraestrutura verde e azul, que são o cerne da estratégia de manejo sustentável da água.

Os Parques e Áreas Verdes desempenham um papel crucial na absorção e retenção de grandes volumes de água, auxiliando na infiltração no solo e reduzindo o escoamento superficial. Da mesma forma, os Jardins de Chuva são pequenas depressões ajardinadas que coletam, infiltram e filtram a água pluvial, promovendo a recarga dos aquíferos. Lagos e Pântanos Artificiais são criados para armazenar grandes volumes, ajudando a regular o fluxo hídrico e melhorando a qualidade da água por meio da sedimentação de partículas.

No âmbito da construção civil, os Telhados Verdes são essenciais por reterem a água da chuva, melhorarem o isolamento térmico e contribuir para a biodiversidade. O uso de Pavimentos Permeáveis em calçadas e estacionamentos aumenta a infiltração da água no solo, mitigando a impermeabilização. Complementarmente, Canais de Drenagem Natural (*Swales*) e Sistemas de

Biorretenção canalizam, infiltram e tratam a água por meio de filtragem (solo, areia e vegetação), removendo poluentes e sedimentos.

As Cidades-Esponja oferecem um vasto leque de benefícios que transcendem a gestão hídrica, promovendo a sustentabilidade ambiental, a qualidade de vida e a resiliência climática. A principal vantagem é a redução significativa do risco de enchentes urbanas devido à maior capacidade de retenção e infiltração da água. Paralelamente, os sistemas de filtragem contribuem para a melhoria da qualidade da água, protegendo os recursos hídricos.

A presença de vegetação em parques e telhados verdes contribui para a regulação do microclima ao aumentar a evapotranspiração, combatendo o efeito de ilhas de calor e melhorando a qualidade do ar. Por fim, estas áreas verdes oferecem benefícios sociais e recreativos, melhorando o bem-estar e fortalecendo o senso de comunidade.

O conceito tem sido implementado com sucesso em diversas cidades globais, que servem de referência na resiliência urbana. Segundo o *Global Sponge Cities Snapshot*, da ARUP, Auckland (Nova Zelândia) foi classificada como a cidade mais "esponjosa" do mundo. Singapura, apesar de sua elevada densidade populacional, possui o centro urbano mais resiliente devido à sua infraestrutura verde e grande quantidade de árvores. Outros exemplos notáveis incluem Wuhan (China), pioneira do programa piloto chinês, que implementou centenas de projetos de infraestrutura verde, e Copenhague (Dinamarca), que se destaca por sua abordagem abrangente na adaptação a eventos climáticos extremos.

Empresas especializadas demonstram como soluções tecnológicas podem potencializar o efeito esponja. Sistemas como os Telhados Verdes possuem alta capacidade de retenção hídrica, chegando a 150 litros/m², o que reduz significativamente o escoamento para a drenagem pública e permite o reaproveitamento da água.

Outras tecnologias essenciais incluem os Jardins de Chuva Eficientes e Cisternas Subterrâneas que utilizam módulos drenantes (Ecodreno) para reter, infiltrar e armazenar água sem impacto visual, mesmo sob áreas verdes. Por fim, o Ecopavimento, um piso permeável, é fundamental para mitigar a impermeabilização do solo em áreas de tráfego lento e calçadas.

19.2 Asfalto Permeável (Poroso)

O asfalto permeável possui uma composição parecida com a do convencional, também sendo derivado do petróleo, a grande diferença entre ele é que o permeável (também chamado de asfalto poroso) possui espaços vazios em sua estrutura, esses espaços vazios permitem que a água o atravesse.

O sistema consiste basicamente de uma camada desse revestimento asfáltico poroso, abaixo dele uma grossa camada de um material que possui uma alta porosidade como brita fina. Também é colocado um tipo de cano perfurado para que a água que infiltra pelas camadas entre nesse duto e seja direcionada para o local desejado, que pode ser um curso de água natural (o mais comum) ou mesmo para centrais de armazenamento.

O asfalto permeável desenvolvido na USP possui esse sistema que é semelhante ao utilizado em diversos outros países como Japão, Bélgica, Alemanha e EUA. O experimento foi realizado em um estacionamento da escola politécnica da universidade, foram colocados dois tipos de pavimento um com placas de concreto e outro com o asfalto comum misturado com aditivos que geram os espaços vazios. Abaixo do pavimento foi colocada uma camada de 35 cm de brita, responsável por reter a água por mais tempo. Além disso, foi adicionado ao lado do asfalto poroso um espaço semelhante a uma caixa d'água que armazena toda a água absorvida pelo pavimento, com isso é possível relacionar a quantidade de chuva e a quantidade de água que foi absorvida e, futuramente, realizar experimentos futuros para testar a qualidade da água absorvida e a possibilidade de reutilização.

Esse experimento constatou que o asfalto poroso conseguiu absorver quase 100% da água da chuva nos meses analisados e que ele é uma ótima opção para ser utilizados em estacionamentos, calçadas e outros locais em que não tenha grande tráfego. Os próximos passos é buscar possibilidades de utilizar essa tecnologia em ruas ou locais com um tráfego maior e reutilização da água que é absorvida.

A quantidade de asfalto comum nas grandes cidades brasileiras é muito grande e isso faz com que o solo perca a sua capacidade de retenção de água, nesses casos, quando o sistema de drenagem funciona perfeitamente a água é rapidamente direcionada aos rios e córregos causando enchentes, pois um grande volume de água é transportado em pouco tempo.

Mas o caso mais comum é que os sistemas de drenagem estejam congestionados ou entupidos, impedindo que a água vá para esses rios e córregos causando alagamentos nas ruas. O asfalto permeável consegue absorver grande parte da água fazendo com que ela fique retida por mais tempo possibilitando um fluxo menor nos cursos hídricos que recebem a água da chuva evitando enchentes e diminuindo os alagamentos por conseguir absorver boa parte da água. O problema com esse tipo de pavimento é que ele ainda não pode ser utilizado em regiões com um tráfego elevado pois a sua resistência é baixa e possui um custo mais elevado (cerca de 25%) que o convencional.

19.3 Bacias de Infiltração e Retenção

A gestão das águas pluviais urbanas é um desafio crescente, impulsionado pela urbanização e consequente impermeabilização do solo, que resultam no aumento do escoamento superficial e na frequência de inundações. Nesse contexto, as Medidas Estruturais de Controle (MEC), como as bacias de retenção e infiltração, emergem como soluções fundamentais para mitigar os impactos negativos no ciclo hidrológico urbano.

As bacias de infiltração, popularmente conhecidas como barraginhas, são utilizadas para armazenar a água da chuva, auxiliar na infiltração da água no solo, contribuem para o fluxo de base do rio em períodos de vazões mínimas e reter sedimentos, entre outros benefícios.

São áreas propícias ao acúmulo controlado de água, fazendo um recebimento temporário de uma grande vazão que chega naquele ponto a tempo de proporcionar uma saída de água numa vazão controlada, que não proporcionará danos à região de jusante.

As bacias de retenção, também conhecidas como *wet ponds*, são estruturas projetadas para o controle de cheias e a melhoria da qualidade da água pluvial.

Os reservatórios de retenção são caracterizados por possuírem uma lâmina de água permanente, assemelhando-se a lagos artificiais. Sua principal função é amortecer os picos de cheias, elevando o nível da água durante ou imediatamente após eventos de precipitação e liberando o excesso de água lentamente por meio de um vertedouro.

Além do controle de vazão, as bacias de retenção desempenham um papel crucial na melhoria da qualidade da água. Elas facilitam a remoção de material flutuante e reduzem a carga de poluentes, principalmente por meio do processo de decantação das partículas sólidas, que são removidas após o período de assentamento

Toda a água da bacia hidrográfica acaba se concentrando nas regiões mais baixas, em forma de maior volume e menor tempo, o que provoca maior frequência e uma maior área de inundação, essa estratégia permite um menor investimento em obras de drenagem urbana, pois podem ser exigidas ferramentas reguladoras para aproveitar obras já existentes. As bacias de detenção e retenção devem ser projetadas para um tempo de recorrência acima de 100 anos normalmente.

19.4 Infraestrutura Verde

Infraestrutura verde refere-se à integração de espaços naturais ou seminaturais em ambientes urbanos, como telhados verdes, corredores ecológicos, pavimentos permeáveis e sistemas de gestão de água da chuva.

Essas soluções não apenas combatem problemas como enchentes e ilhas de calor, mas também promovem a biodiversidade, melhoram a qualidade do ar e oferecem espaços recreativos para as comunidades.

Espaços verdes bem planejados aumentam o valor imobiliário, reduzem os custos de saúde associados à poluição e incentivam atividades ao ar livre, contribuindo para o bem-estar da população.

O conceito de infraestrutura verde refere-se a uma rede planejada de áreas verdes e soluções naturais que oferecem benefícios ecológicos, econômicos e sociais, integrando a natureza no planejamento urbano.

A infraestrutura verde não se limita a parques e jardins, mas também inclui elementos como telhados verdes, paredes vivas, corredores ecológicos, sistemas de drenagem natural e a preservação de áreas naturais periurbanas.

Sistemas como jardins de chuva e pavimentos permeáveis ajudam a reduzir alagamentos e a recarregar os lençóis freáticos. Além disso, telhados verdes contribuem para a regulação da temperatura local, diminuindo o efeito de ilha de calor e reduzindo a demanda por energia em edifícios.

Corredores ecológicos, que conectam fragmentos de vegetação, promovem a biodiversidade ao permitir o deslocamento seguro de espécies. Ao mesmo tempo, espaços verdes acessíveis incentivam a recreação, a interação social e o bem-estar físico e mental da população.

A vegetação urbana atua como filtro natural, absorvendo poluentes e liberando oxigênio, isso é especialmente importante em centros urbanos com altos índices de poluição.

Esse conceito representa uma estratégia integrada que equilibra desenvolvimento urbano e conservação ambiental, oferecendo soluções sustentáveis para o futuro das cidades. Investir em infraestrutura verde não é apenas uma escolha estética, mas uma necessidade para construir ambientes urbanos mais saudáveis e funcionais.

19.4.1 Parques Lineares em São Paulo

Os parques lineares em São Paulo representam um marco significativo no avanço da infraestrutura verde, promovendo soluções sustentáveis para os desafios urbanos contemporâneos.

Esses espaços são projetados para acompanhar o curso de rios e córregos, criando áreas de lazer, preservação ambiental e drenagem urbana, combinando a revitalização do ambiente natural com benefícios sociais e ecológicos.

Um exemplo de destaque é o Parque Linear do Rio Verde, localizado na Zona Leste da cidade. Esse projeto transformou uma área degradada em um espaço multifuncional que inclui trilhas para caminhada, ciclovias e áreas de convivência. Além de proporcionar qualidade de vida para os moradores, o parque contribui para a redução de enchentes ao facilitar a infiltração de água no solo e controlar o escoamento superficial.

Outro exemplo importante é o Parque Linear Várzeas do Tietê, um dos maiores do mundo. Este projeto abrange uma extensa área ao longo do rio Tietê, promovendo a recuperação de áreas verdes, a criação de espaços recreativos e a proteção contra inundações. Além disso, contribui para a conservação da biodiversidade e a educação ambiental, envolvendo a comunidade local.

A combinação de funções ambientais, sociais e recreativas reflete o potencial da infraestrutura verde em transformar cidades em espaços mais resilientes e sustentáveis.

Outro aspecto importante é a utilização de dados e ferramentas tecnológicas para analisar as condições do território e propor soluções personalizadas. A Modelagem 3D, sistemas de informação geográfica (SIG) e análises de impacto ambiental são exemplos de ferramentas utilizadas para tornar os projetos mais precisos e eficazes. Sensores de umidade e temperatura podem ser instalados em telhados verdes e jardins urbanos para otimizar o uso de água e monitorar a saúde das plantas.

Além disso, sistemas baseados em Internet das Coisas (IoT) permitem o controle remoto e a automação desses processos, reduzindo desperdícios e promovendo a eficiência.

19.5 Isolamento Sísmico

O isolamento sísmico é uma tecnologia comprovada que permite a uma estrutura “dançar” de maneira segura com a terra em vez de lutar contra ela. Isolar uma estrutura qualquer do movimento sísmico é a forma mais efetiva de proteger, além de seus conteúdos e funcionalidades, acima de tudo, a vida de seus ocupantes, o que minimiza as perdas associadas à suspensão de operações e aos eventos geradores de responsabilidade.

Está claro que a realidade do isolamento sísmico não é tão ideal se levarmos em consideração os limites legais da propriedade que cada edificação ou estrutura pode ocupar, o que implica tanto restrições de quanto a estrutura isolada pode mover-se durante o evento sísmico de projeto quanto um mecanismo para que a estrutura recupere sua posição original depois do sismo.

O engenheiro Ivan Skinner foi o pioneiro do isolamento sísmico. Esse eminente engenheiro dizia: “queremos dar um suave passeio à estrutura”. Ele propôs a ideia do isolamento sísmico no final dos anos 70 e tudo o que era necessário para iniciar o projeto tornou-se realidade na década seguinte. O primeiro projeto de obra com isolamento sísmico foi o edifício William Clayton, em Wellington, na Nova Zelândia.

O isolamento sísmico consiste em substituir a conexão direta e rígida da estrutura com o terreno de apoio por um conjunto de apoios flexíveis em sentido horizontal, que permitem que o prédio se mantenha sem maior perturbação, ainda que o terreno de apoio se mova violentamente.

Os apoios responsáveis por separar a estrutura do terreno são chamados “isoladores”, os quais são projetados para os requisitos de resistência, flexibilidade e dissipação de energia específicos de cada projeto.

Esse plano de isolamento possibilita um deslocamento horizontal relativo entre a estrutura e o terreno, o que muda as condições de dinâmica horizontal da estrutura em relação às condições que teria se fosse construída de maneira convencional.

O desenvolvimento dos tipos de isoladores que viabilizam essa tecnologia de ouro evoluiu drasticamente desde sua ideia inicial. Hoje compreende-se muito melhor suas propriedades mecânicas, sua aplicação prática e suas características de desempenho real. Além disso, os tamanhos, capacidades de deslocamento e dissipação de energia dos isoladores aumentaram consideravelmente.

Os sistemas de isolamento sísmico demonstraram sua eficácia durante o sismo de 11 de março de 2011, em Tohoku, com uma magnitude de 9,0 (Mw), considerado o quinto maior sismo registrado mundialmente e o de maior duração registrado na história do Japão.

Durante esse evento, as edificações construídas com isolamento sísmico tiveram um excelente desempenho, como é o caso de um edifício comercial de nove andares construído em concreto reforçado, em Sendai, no ano de 1981, e reabilitado em 2009 mediante a implementação de isoladores sísmicos.

19.6 Muralhas de Contenção

O sistema demonstrou ser viável em áreas propensas a tsunamis causados pelo terremoto Nankai *Trough*. Além disso, pode gerar energia excedente para fornecer energia de emergência aos portos durante cortes de energia comuns em desastres naturais. Este sistema inovador integra a prevenção de desastres com o uso de energia renovável.

Com mais de 2.780 portos pesqueiros e 993 portos comerciais e industriais, o Japão enfrenta o desafio de proteger esses importantes ativos costeiros das forças destrutivas dos tsunamis. Uma solução promissora reside na criação de um sistema de barreiras móveis, em que comportas que se erguem do fundo do mar atuam como barreiras, protegendo os portos contra tsunamis, tempestades e ondas altas. No entanto, durante desastres naturais, cortes de energia podem interromper o fornecimento de energia elétrica para o funcionamento da comporta.

Para resolver esse problema, pesquisadores liderados pelo Professor Hiroshi Takagi, do Instituto de Tecnologia de Tóquio, propuseram um sistema de dique móvel autoalimentado (SMS) que utiliza energia micromareal para operar as comportas. O sistema proposto, cujos detalhes foram publicados online na revista *Renewable Energy* (site externo) em 6 de novembro de 2023, consiste em comportas instaladas na entrada do porto, projetadas para fechar durante períodos de inatividade, como à noite ou em feriados. Quando elevadas, as diferenças nos níveis de água entre o interior e o exterior do porto são usadas para gerar eletricidade, que é então armazenada e utilizada para as operações subsequentes das comportas.

Apesar da extensa costa japonesa, as amplitudes das marés, que representam a diferença de altura entre as marés alta e baixa, são consideradas muito pequenas para a geração de energia maremotriz em larga escala. Em contraste, o sistema SMS aproveita as amplitudes micromareais no nível do mar, que variam de 10 cm a 150 cm durante as marés vivas. O sistema consiste em uma série de comportas com uma abertura de 30 cm, que visa operar as comportas adjacentes suavemente, sem interação, e pequenas turbinas para geração de energia alojadas dentro da abertura. Turbinas, com uma hélice a cada 50 cm de intervalo vertical, são colocadas nas aberturas entre as comportas.

Os pesquisadores testaram a viabilidade do sistema em portos japoneses, onde opera oito horas por dia, para determinar se ele pode gerar eletricidade suficiente para restaurar as comportas sob o fundo do mar após o alerta de tsunami ser suspenso, considerando a força de empuxo da comporta flutuante. Dos 56 portos avaliados em todo o Japão, nove locais eram altamente viáveis, 14 viáveis e 33 inviáveis devido ao pequeno potencial de geração de energia. No entanto, 20 locais viáveis foram identificados ao longo da costa oeste do Japão, de frente para o Nankai Trough, uma zona de subducção conhecida como a fonte de terremotos de *megathrust* que ocorrem a cada um ou dois séculos. Esses eventos sísmicos têm o potencial de desencadear tsunamis, tornando o sistema SMS proposto uma medida de proteção promissora para portos vulneráveis e suas áreas periféricas.

Além disso, os pesquisadores identificaram portos específicos, incluindo Himeji e Fukuyama, como exemplos de locais favoráveis para a geração de energia excedente, que pode ser armazenada para uso posterior. Essas áreas, localizadas no Mar Interior de Seto, servem como importantes polos industriais, com indústrias siderúrgicas, construção naval, indústrias químicas e diversas fábricas. Além de proteger essas infraestruturas críticas contra tsunamis, o sistema proposto também pode fornecer energia de emergência para aumentar a resiliência dessas indústrias em caso de desastres. Ele integra a prevenção de desastres com a utilização de energia renovável.

Embora reconheçam desafios como obstáculos técnicos e restrições de leis e regulamentações relacionadas, os pesquisadores vislumbram o sistema SMS como uma salvaguarda global para portos contra desastres naturais, elevação do nível do mar e condições climáticas extremas, incluindo inundações costeiras.

O Prof. Takagi conclui: "Se a tecnologia da barreira móvel contra tsunamis proposta, sob as duras condições do desastre no Japão, puder ser firmemente estabelecida por meio desta pesquisa, não há dúvida de que chegará o dia em que esta tecnologia poderá ser exportada e implantada no exterior como uma tecnologia inovadora de prevenção de desastres."

19.7A Desativação de Vulcões

A erupção do Eyjafjallajökull, e o risco potencial de uma erupção do Katla, levantam a questão da viabilidade de se "desativar" ou controlar vulcões ativos. A vulcanologia moderna é unânime em afirmar que, até o momento, não existe um método cientificamente comprovado e seguro para iniciar, parar ou reduzir uma erupção vulcânica.

A ideia de controlar um vulcão, frequentemente explorada na ficção científica, envolve propostas específicas conforme a seguir.

Resfriamento: Injetar grandes volumes de água no sistema magmático para solidificar o magma e bloquear a ascensão. O desafio reside na escala da câmara magmática, que pode ter quilômetros de diâmetro, e na impossibilidade de resfriar o volume colossal de magma de forma eficaz. A injeção de água em pequena escala poderia, ironicamente, levar a uma explosão freatomagmática, similar à ocorrida no Eyjafjallajökull.

Despressurização: Perfurar o vulcão para liberar a pressão do magma de forma controlada. Isso é extremamente arriscado, pois a perfuração pode, inadvertidamente, criar uma via de ascensão e desencadear uma erupção explosiva em vez de aliviá-la.

A abordagem científica atual foca na previsão e mitigação de riscos, através do monitoramento contínuo de sismicidade, deformação do solo e emissão de gases, em vez de tentar o controle direto do fenômeno.

Quanto à questão sobre o magma do Eyjafjallajökull ter "estourado" localmente, é importante distinguir as fases da erupção de 2010:

Fase Efusiva (20 de março a 12 de abril): Magma (lava) fluiu de fissuras no flanco leste, causando inundações glaciais (*jökulhlaups*), mas sem grande explosão de cinzas.

Fase Explosiva (a partir de 14 de abril): O magma ascendeu para a cratera do cume, onde interagiu com a geleira. Foi essa interação magma-gelo que causou a fragmentação violenta do magma, produzindo a nuvem de cinzas finas que se dispersou pela Europa, e não um "estouro" de lava na superfície. O perigo não foi o magma em si, mas sim a cinza fina resultante da interação com o gelo.

20 PROPOSTA DE INTERVENÇÃO: TECNOLOGIA

A Logística 4.0 representa a convergência entre a automação, a digitalização e a conectividade, permitindo uma gestão mais eficiente e inteligente das operações. O uso de sensores, dispositivos de Internet das Coisas (IoT) e plataformas de análise em tempo real possibilita monitorar variáveis ambientais, como temperatura, umidade, pressão e riscos estruturais, em armazéns, rodovias, portos e centros de distribuição.

De acordo com relatórios técnicos da DHL, o uso de sensores inteligentes na cadeia logística reduz perdas de carga e otimiza rotas em situações de emergência, além de fornecer dados estratégicos para o gerenciamento de riscos climáticos (DHL, 2022, apud Almeida, 2024). Um caso emblemático é o Porto de Rotterdam, na Holanda, que implementou uma rede integrada de sensores e um modelo de digital *twin* (gêmeo digital) para prever impactos de tempestades e variações no nível da água, adaptando suas operações portuárias em tempo real (Autoridade Portuária de Rotterdam, 2023, apud Silva, 2024).

Essas tecnologias exigem investimentos que variam conforme a escala: soluções de pequeno porte, como sensores de monitoramento básico, custam entre US\$ 10 e US\$ 50 por unidade, enquanto plataformas completas de gestão e integração podem demandar entre US\$ 50 mil e US\$ 500 mil, segundo estimativas de mercado (McKinsey, 2023, apud Pereira, 2024).

As tecnologias de monitoramento climático, hidrológico e sísmico englobam redes de sensores e sistemas de observação capazes de coletar dados sobre temperatura, precipitação, ventos, vazão de rios e vibrações do solo. Essas informações, integradas a plataformas digitais, permitem emitir alertas antecipados e planejar respostas rápidas a riscos que impactam diretamente as cadeias logísticas.

De acordo com a Organização Meteorológica Mundial (WMO, 2020), sistemas de observação baseados em satélite têm permitido monitorar, em tempo real, eventos extremos como inundações e secas, reduzindo os danos à infraestrutura de transporte. Estudos recentes também apontam o uso de estações meteorológicas de IoT de baixo custo, com investimento médio de US\$ 100 a US\$ 500 por unidade, como alternativa eficiente para regiões carentes de infraestrutura (AL KALAANY et al., 2025).

A integração de dados meteorológicos e hidrológicos a *softwares* logísticos possibilita a antecipação de bloqueios de rotas, o redirecionamento de cargas e o ajuste de cronogramas de entrega, evitando prejuízos.

Um exemplo prático é o sistema de monitoramento climático do Sudeste Asiático, coordenado pela WMO, que combina dados de satélite e sensores de superfície para alertar sobre riscos de inundação em áreas portuárias e rodoviárias (WMO, 2020). De modo semelhante, a NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) mantém sistemas hidrometeorológicos nos Estados Unidos que auxiliam empresas de transporte e energia a redimensionar suas operações com antecedência.

A Inteligência Artificial (IA) tem se destacado como uma ferramenta estratégica na prevenção e mitigação de riscos logísticos. Sistemas baseados em algoritmos de aprendizado de máquina conseguem analisar grandes volumes de dados meteorológicos, geográficos e operacionais para prever interrupções, otimizar rotas e automatizar respostas emergenciais.

A empresa UPS, por exemplo, implementou o sistema ORION (*On-Road Integrated Optimization and Navigation*), que reorganiza as rotas de entrega com base em variáveis ambientais e climáticas. Segundo dados da companhia, o sistema economiza cerca de 40 milhões de litros de combustível por ano, reduzindo custos e emissões de carbono (UPS, 2023, apud Santos, 2024).

Além do setor privado, estudos indicam que a adoção de IA em operações logísticas pode reduzir em até 30% o tempo de resposta a eventos extremos, especialmente em cadeias de suprimento sensíveis, como as de alimentos e medicamentos (*World Economic Forum*, 2023, apud Costa, 2024).

Projetos pilotos com IA em previsão climática e roteirização têm custos estimados entre US\$ 25 mil e US\$ 100 mil, podendo chegar a US\$ 1 milhão em sistemas corporativos integrados, dependendo do volume de dados e infraestrutura tecnológica envolvida (*Gartner*, 2023, apud Oliveira, 2024).

A digitalização das cadeias de suprimentos por meio de *blockchain* e computação em nuvem garante transparência, rastreabilidade e integridade das informações logísticas, fatores cruciais em situações de crise climática. O *blockchain* permite registrar dados de transporte, armazenagem e certificações ambientais de maneira descentralizada, aumentando a confiança entre os agentes da cadeia.

O projeto *TradeLens*, desenvolvido pela *Maersk* e *IBM*, exemplificou essa inovação ao criar uma plataforma global para o registro de transações logísticas e documentos alfandegários. Apesar de ter sido descontinuado em 2022, o projeto demonstrou o potencial da tecnologia para reduzir fraudes e agilizar o comércio internacional, especialmente em contextos de instabilidade climática (IBM, 2022, apud Rezende, 2024).

Outro exemplo é o *IBM Food Trust*, utilizado pelo *Walmart* para rastrear alimentos desde a origem até o ponto de venda, garantindo segurança alimentar e controle de qualidade em condições adversas (*Walmart*, 2023, apud Mendes, 2024).

Os custos de implementação variam de US\$ 15 mil a US\$ 150 mil para projetos piloto, podendo ultrapassar US\$ 1 milhão em sistemas consorciados de grande escala (PwC, 2023, apud Carvalho, 2024). Apesar dos desafios de governança e adoção, a tecnologia de *blockchain* se mostra promissora para fortalecer a confiabilidade e a continuidade operacional das cadeias logísticas globais.

21 PROPOSTA DE INTERVENÇÃO: LEGISLAÇÃO

Das políticas que realmente podem gerar resultados positivos, destaca-se a importância de propor medidas de melhoria prática e maior rigor nas legislações ambientais, tanto em nível nacional quanto internacional. Uma proposta de intervenção eficaz consiste no fortalecimento da fiscalização ambiental e na integração das normas internacionais de sustentabilidade às práticas logísticas brasileiras, assegurando que o país adote padrões globais de responsabilidade climática.

Entre os principais referenciais internacionais que podem ser aplicados no Brasil, destacam-se o Acordo de Paris (2015), que estabelece metas de redução de gases de efeito estufa, e as normas ISO 14001, voltadas à gestão ambiental e ao controle de impactos em cadeias produtivas e logísticas. Soma-se a isso a Diretiva Europeia 2024/1203, que amplia o rol de crimes ambientais e impõe sanções severas a empresas poluidoras, e o Regulamento Europeu de Desmatamento (EUDR – 2023/2024), que exige rastreabilidade completa de produtos exportados à União Europeia.

Por outro lado, algumas leis brasileiras também possuem potencial de aplicação internacional, reforçando a responsabilidade compartilhada entre países e corporações. A Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/1981), a Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei nº 12.187/2009) e o recente Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (Lei nº 15.042/2024), que institui o mercado regulado de carbono, representam exemplos de legislações que podem inspirar acordos multilaterais e servir como modelo de governança ambiental.

A proposta de intervenção prática, portanto, deve incluir o aumento do rigor na aplicação das leis existentes, o reforço das estruturas fiscalizatórias do IBAMA e do ICMBio, e a cooperação internacional para harmonização das normas ambientais. O Estado deve priorizar a modernização de seus órgãos de controle, garantindo recursos tecnológicos, transparência e punições efetivas a empresas e agentes públicos envolvidos em danos ambientais.

Essas ações visam não apenas conter o impacto climático, mas também evitar prejuízos econômicos decorrentes de perda de certificações ambientais, como a revogação da ISO 14001, do Selo Verde, ou de autorizações de exportação para a União Europeia. Empresas que descumprem padrões ambientais podem sofrer

bloqueio de contratos internacionais, perda de credibilidade e redução da competitividade global.

Exemplos práticos ilustram essas consequências: em 2019, a Vale S.A. perdeu certificações e licenças ambientais após o rompimento da barragem de Brumadinho, o que gerou restrições em contratos logísticos e minerários internacionais, além de suspensão temporária de exportações. Da mesma forma, empresas do agronegócio brasileiro vêm enfrentando barreiras comerciais na União Europeia por não atenderem aos critérios do Regulamento Europeu de Desmatamento (EUDR). Já companhias que deixam de cumprir as exigências da ISO 14001 correm o risco de perder acesso a programas de fornecimento global, sendo substituídas por concorrentes certificados ambientalmente.

Portanto, reforçar o cumprimento das legislações ambientais, promover cooperação jurídica internacional e estabelecer mecanismos de certificação e responsabilização mais rigorosos são caminhos indispensáveis para reduzir danos ambientais, evitar prejuízos econômicos e assegurar uma logística global sustentável, segura e competitiva.

O Estado deve, em primeiro plano, enrijecer a musculatura institucional de seus órgãos fiscalizatórios ambientais, garantindo não apenas maior contingente técnico, mas sobretudo uma estrutura administrativa moderna, dotada de autonomia, transparência e capacidade operacional. Tal aprimoramento pressupõe desde a disponibilização de equipamentos atualizados e logística de campo competente, frequentemente carentes, segundo relatórios da Controladoria-Geral da União, até a instauração de mecanismos eficazes de controle interno para coibir irregularidades e desvios éticos, como agentes negligentes, incapazes ou coniventes com redes criminosas. Práticas como o recebimento de propina por parte de servidores em conluio com garimpeiros ilegais, madeireiras clandestinas ou empresas envolvidas em pesca predatória fragilizam dramaticamente a eficiência das instituições e comprometem a preservação da fauna e flora nacionais.

Sob um ponto de vista favorável, o fortalecimento fiscalizatório possui eficácia comprovada. Entre 2005 e 2012, por exemplo, o aumento das operações do IBAMA e do ICMBio coincidiu com uma redução de cerca de 80% no desmatamento da Amazônia, conforme dados do INPE. Evidencia-se que, quando o aparato estatal funciona adequadamente, o impacto é imediato e mensurável.

Em simultâneo, torna-se necessário consolidar leis rigorosas e um judiciário diligente, capaz de aplicar sanções rápidas e efetivas, não apenas às bases operacionais do extrativismo ilícito, mas principalmente às lideranças estruturais, os verdadeiros engenheiros intelectuais dos crimes ambientais. Investigações do Ministério Público Federal já demonstraram que uma pequena parcela de organizações altamente profissionalizadas é responsável por grande parte do dano ecológico no país, movimentando logística interestadual, financiamento internacional e, por vezes, conexões com agentes públicos corruptos.

Reduções tributárias, incentivos creditícios e a agilização da emissão de concessões ambientais podem tornar a legalidade mais atrativa que os caminhos clandestinos. Enquanto no Brasil o processo de licenciamento para exploração de recursos pode levar até 18 meses, em países como Canadá e Chile esse prazo usualmente varia entre 3 e 6 meses, segundo a Confederação Nacional da Indústria. Isso gera, para pequenos e médios empreendedores, uma tentação considerável de migrar para atividades ilegais, que oferecem retorno imediato e menos entraves.

O ponto de vista favorável defende que a simplificação desses processos reduziria significativamente a migração para o crime ambiental, aumentaria a formalização e ampliaria a competitividade. Contudo, uma posição contrária alerta que flexibilizações excessivas podem abrir portas para abusos, fragilizando salvaguardas ecológicas e permitindo que agentes inescrupulosos se aproveitem de brechas legais para degradar o meio ambiente sob a aparência de legalidade.

21.1 Leis Apontadas Para Maior Efetividade

- Lei nº 6.938/1981 – Política Nacional do Meio Ambiente

Define princípios e diretrizes da política ambiental, cria o Sisnama e introduz o princípio do poluidor-pagador, responsabilizando civilmente quem causar danos ambientais, inclusive com efeitos sobre cadeias logísticas e transporte de cargas perigosas.

- Lei nº 9.605/1998 – Lei de Crimes Ambientais

Estabelece sanções penais e administrativas a pessoas físicas e jurídicas que causem danos ao meio ambiente. A multa pode chegar a R\$ 50 milhões, além de prisão e suspensão de atividades.

- Lei nº 12.334/2010 – Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB)

Regula a segurança de barragens, obrigando o empreendedor a elaborar Plano de Segurança e Plano de Ação de Emergência (PAE). A fiscalização cabe à Agência Nacional de Mineração (ANM).

- Lei nº 14.066/2020 – Atualização da PNSB (pós-Brumadinho)

Proíbe barragens construídas pelo método “a montante”, obriga descaracterização das existentes e aumenta sanções administrativas: multas, embargo, demolição e suspensão de atividades.

- Lei nº 14.850/2024 – Política Nacional de Qualidade do Ar

Cria instrumentos de monitoramento e controle de emissões atmosféricas, afetando diretamente o setor logístico e o transporte de cargas. Empresas devem cumprir limites de emissão sob pena de multas e interdições administrativas.

- Lei nº 15.042/2024 – Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE)

Implementa o mercado regulado de carbono no Brasil (*cap and trade*). Empresas com alta emissão, incluindo transportadoras e indústrias, deverão compensar ou reduzir emissões sob pena de multas e restrições de operação.

- Lei nº 15.190/2025 – Lei Geral do Licenciamento Ambiental

Estabelece prazos uniformes e procedimentos simplificados de licenciamento. Visa reduzir a burocracia e o tempo de aprovação de obras logísticas (como portos, estradas e ferrovias), mantendo padrões de segurança ambiental.

- SBCE (Sistema de Comércio de Emissões)

O não cumprimento das metas de redução de carbono pode gerar multas diárias, cancelamento de autorizações de emissão e inclusão da empresa em cadastros de infratores ambientais. O sistema atinge diretamente empresas de transporte e logística, que são grandes emissores de CO₂.

- Lei de Crimes Ambientais

Prevê prisão de 1 a 5 anos e multa para quem causar poluição que resulte em danos à saúde humana ou morte de animais. Empresas podem ter suspensão parcial ou total das atividades.

- Diretiva Europeia 2024/1203 – Crimes Ambientais

Aprovada pela União Europeia em 2024, amplia o rol de crimes ambientais e prevê multas proporcionais ao faturamento da empresa, além de penas de prisão para executivos responsáveis. Afeta exportadores brasileiros e operadores logísticos que atuam com o mercado europeu, exigindo *compliance* ambiental e rastreabilidade nas cadeias de suprimentos.

- Convenção do Conselho da Europa (CETS n.º 172)

Propõe a criminalização universal de crimes ambientais graves, promovendo cooperação internacional e sanções penais equivalentes. Impacta a logística internacional ao obrigar transportadoras a cumprir normas ambientais uniforme.

- Regulamento Europeu de Desmatamento (EUDR – 2023/2024)

Obriga empresas a garantir que produtos importados pela UE não estejam ligados a desmatamento. Isso exige rastreabilidade logística, certificações e controle de origem.

22 CONCLUSÃO

Concluimos ao longo deste trabalho que as mudanças climáticas impactam diretamente o setor logístico global, interrompendo transportes de insumos, mercadorias, medicamentos, destruindo portos, ferrovias, rodovias, aeroportos e até dutos. Meios de transportes também são afetados, navios são naufragados, aviões caem e perdem toda a carga, enchentes levam e destroem carros e caminhões, onde este aspecto não traz apenas preocupações com as cargas, mas também com o valor humano.

Esses danos prejudicam a economia global, afetando o PIB (Produto Interno Bruto), bloqueando rotas logísticas, favorecendo e também prejudicando fornecedores, infraestruturas são devastadas, tornando evidente a necessidade de agirmos de imediato aos impactos ambientais que possuem influência direta na gravidade dos impactos climáticos.

Para combater a degradação do meio ambiente e os fenômenos climáticos exige-se a conscientização individual, que não vem sozinha, partindo do governo ao implementar medidas de educação ambiental e punições mais severas, seja em pessoa jurídica ou física, bem como a conscientização coletiva que deve parte dos países super potencias ou mais desenvolvidos, de devem fornecer apoio aos países sub desenvolvidos por meio de subsídios, assim utilizando o recurso financeiro de maneira inteligente, onde ao promover tecnologias e infraestruturas resiliente, resulta em um direcionamento correto para o gasto já previsto em catástrofes, permitindo que esses países menos favorecidos possam se superar e promover práticas sustentáveis corretas visando o meio ambiente.

REFERÊNCIAS

123ECOS. Expansão urbana desordenada. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://123ecos.com.br/docs/expansao-urbana-desordenada/>. Acesso em: 2 dez. 2025.

ACAAATINGA. O que é assoreamento. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.acaatinga.org.br/o-que-e-assoreamento/>. Acesso em: 2 dez. 2025.

ACOCELLA, Valerio. Como os cientistas preveem as erupções vulcânicas. Para Jovens - UNESP, [s.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://parajovens.unesp.br/como-os-cientistas-preveem-as-erupcoes-vulcanicas/>. Acesso em: 2 dez. 2025.

AGÊNCIA BRASIL. "Em 2024, alertas chegaram a toda a população em 42,9% do RS". Agência Brasil, 31 out. 2025. [S.l.]: [s.n.]. Disponível em: <https://cnnportugal.iol.pt/desaparecimento/praias-19/corpo-encontrado-na-fonte-da-telha-sera-de-homem-de-32-anos-desaparecido-ha-uma-semana/20250705/68697bd5d34e3f0baea02e10>. Acesso em: 2 dez. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: Informe 2022. Brasília: ANA, 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Relatórios técnicos sobre impactos humanos e hidráulicos das enchentes de 2024 no Rio Grande do Sul. Brasília, 2024.

ALBINO, F.; SIGMUNDSSON, F. Stress transfer between magma bodies: Influence of intrusions prior to 2010 eruptions at Eyjafjallajökull volcano, Iceland. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, v. 119, n. 4, p. 2964-2975, 2014. DOI: 10.1002/2013JB010510. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2013JB010510>. Acesso em: 2 dez. 2025.

ALVES PENA, Rodolfo F. Maremoto. *Mundo Educação*, [s.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://cnnportugal.iol.pt/desaparecimento/praias-19/corpo-encontrado-na-fonte-da-telha-sera-de-homem-de-32-anos-desaparecido-ha-uma-semana/20250705/68697bd5d34e3f0baea02e10>. Acesso em: 2 dez. 2025.

AMBSCIENCE. Dragagem: o que é, como funciona. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://ambscience.com/dragagem-o-que-e-como-funciona/>. Acesso em: 2 dez. 2025.

AMBSIS. Poluição ambiental. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://ambsis.com.br/blog/meio-ambiente/poluicao-ambiental/>. Acesso em: 2 dez. 2025.

BBC BRASIL. Veja avanço de nuvem de cinzas sobre a Europa. BBC, 16 abr. 2010. Disponível em: https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2010/04/100416_cinzas_mapa_np.shtml. Acesso em: 2 dez. 2025.

BOEHM, C. E. et al. The role of global supply chains in the transmission of shocks: firm-level evidence from the 2011 Tohoku earthquake. CEPR, 2014. Disponível em: <https://cepr.org/voxeu/columns/role-global-supply-chains-transmission-shocks-firm-level-evidence-2011-tohoku>. Acesso em: 2 dez. 2025.

BRASIL. Decreto nº 57.603, de maio de 2024. Amplia número de municípios atingidos pelas cheias dos rios. Publicado por Defesa Civil do Rio Grande do Sul. Diário Oficial do Estado, Rio Grande do Sul, maio 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Acordo de Paris. Brasília, [s.d.]. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris.html>. Acesso em: 2 dez. 2025.

BRASIL ESCOLA. Acordos climáticos e aquecimento global. [S.l.]: UOL, [s.d.]. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/acordos-climaticos-aquecimento-global.htm>. Acesso em: 2 dez. 2025.

BRASIL ESCOLA. Enchentes no Rio Grande do Sul: causas, efeitos. [S.l.]: UOL, [s.d.]. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/brasil/enchentes-no-rio-grande-do-sul.htm#Impactos+das+enchentes+no+Rio+Grande+do+Sul>. Acesso em: 2 dez. 2025.

BRASIL ESCOLA. Formas de degradação do solo. [S.l.]: UOL, [s.d.]. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/formas-degradacao-solo.htm>. Acesso em: 2 dez. 2025.

BRASIL ESCOLA. O desmatamento no Brasil: uma questão histórica. [S.l.]: UOL, [s.d.]. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/brasil/o-desmatamento-no-brasil-uma-questao-historica.htm>. Acesso em: 2 dez. 2025.

BRASIL ESCOLA. Poluição. [S.l.]: UOL, [s.d.]. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/biologia/poluicao.htm>. Acesso em: 2 dez. 2025.

BRASIL ESCOLA. Resumo: poluição industrial e qualidade de vida. [S.l.]: UOL, [s.d.]. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/tire-duvidas/resumo-poluicao-industrial-e-qualidade-de-vida/318027.html>. Acesso em: 2 dez. 2025.

BRASIL ESCOLA. Terremotos: causas, intensidade, consequências. [S.l.]: UOL, [s.d.]. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/terremotos.htm>. Acesso em: 2 dez. 2025.

BRASIL ESCOLA. Tópico: Desastres Ambientais. [S.l.]: UOL, [s.d.]. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/desastres-ambientais.htm>. Acesso em: 2 dez. 2025.

BRASIL ESCOLA. Tsunami: o que é, causas, características, resumo. [S.l.]: UOL, [s.d.]. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/tsunami.htm>. Acesso em: 2 dez. 2025.

BRASIL ESCOLA. Vulcões: formação, tipos, ocorrência no Brasil. [S.l.]: UOL, [s.d.]. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/vulcoes.htm>. Acesso em: 2 dez. 2025.

CAMPOS, Mateus. Furacão: o que é, como se forma, características. Mundo Educação, UOL, 2025. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/furacao.htm>. Acesso em: 2 dez. 2025.

CEPR. Japan's earthquake and tsunami: International trade and global supply chain impacts. VoxEU, 2011. Disponível em: <https://cepr.org/voxeu/columns/japans-earthquake-and-tsunami-international-trade-and-global-supply-chain-impacts>. Acesso em: 2 dez. 2025.

CICLOVIVO. 99% das queimadas são provocadas pelo homem, diz pesquisadora. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: https://ciclovivo.com.br/planeta/meio-ambiente/99_das_queimadas_sao_provocadas_pelo_homem_diz_pesquisadora/. Acesso em: 2 dez. 2025.

CNN BRASIL. Aumento do nível do mar no Brasil: como as cidades costeiras são afetadas? CNN Brasil, 2025. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/tecnologia/aumento-do-nivel-do-mar-no-brasil-como-as-cidades-costeiras-sao-afetadas>. Acesso em: 2 dez. 2025.

CNN BRASIL. Desmatamento no Brasil. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/desmatamento-no-brasil/>. Acesso em: 2 dez. 2025.

CNN BRASIL. Reflorestamento pode gerar R\$ 776 bilhões para o Brasil, diz estudo. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/economia/macroeconomia/reflorestamento-pode-gerar-r-776-bilhoes-para-o-brasil-diz-estudo/>. Acesso em: 2 dez. 2025.

CNT - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. Pesquisa CNT de Rodovias 2023: principais resultados. Brasília: CNT, 2023.

COFACE. Turquia: terremotos aumentam o risco de inflação e incerteza política. Coface Notícias, 23 fev. 2023. Disponível em: <https://www.coface.com.br/noticias-economy-e-insights/turquia-terremotos-aumentam-o-risco-de-inflacao-e-incerteza-politica>. Acesso em: 2 dez. 2025.

CONJUR. O negacionismo climático como ameaça à ciência, ao Direito e ao futuro. ConJur, 04 out. 2025. [S.l.]: [s.n.]. Disponível em: <https://cnnportugal.iol.pt/desaparecimento/praias-19/corpo-encontrado-na-fonte-da-telha-sera-de-homem-de-32-anos-desaparecido-ha-uma-semana/20250705/68697bd5d34e3f0baea02e10>. Acesso em: 2 dez. 2025.

CORECON-AM. Artigo: Mineração predatória, qual a solução? [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://corecon-am50anos.com.br/artigo-mineracao-predatoria-qual-a-solucao/>. Acesso em: 2 dez. 2025.

DATAMAR NEWS. Floods hamper industry and slash Rio Grande do Sul exports. Datamar, 2024. [S.l.]: [s.n.]. Disponível em: <https://cnnportugal.iol.pt/desaparecimento/praias-19/corpo-encontrado-na-fonte-da-telha-sera-de-homem-de-32-anos-desaparecido-ha-uma-semana/20250705/68697bd5d34e3f0baea02e10>. Acesso em: 2 dez. 2025.

DEPARTAMENTO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA (DEE) / RS. Impactos socioeconômicos dos eventos climáticos extremos de 2024 no Rio Grande do Sul: uma análise após um ano do desastre. Porto Alegre: SPGG/DEE, 2025.

DHL. The real value of IoT in supply chains. Delivered – Global, maio de 2022. Disponível em: <https://www.dhl.com/global-en/delivered/digitalization/the-value-of-iot-in-supply-chains.html>. Acesso em: 2 dez. 2025.

ECOTELHADO. Cidade-esponja: conheça essa inovação sustentável. [S.l.], 24 jul. 2024. Disponível em: <https://ecotelhado.com/blog/tudo-sobre-as-cidades-esponja/>. Acesso em: 2 dez. 2025.

EL PAÍS. Desastre causado pelo Furacão Irma em 2017. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: https://brasil.elpais.com/brasil/2017/09/08/internacional/1504859766_354022.html. Acesso em: 2 dez. 2025.

EMATER/RS - ASCAR. Relatórios de danos agrícolas e perdas produtivas decorrentes das enchentes de 2024. Porto Alegre, 2024.

ENEL GREEN POWER. Poluição ambiental. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.enelgreenpower.com/pt/learning-hub/poluicao-ambiental>. Acesso em: 2 dez. 2025.

ENGIE. COP30 no Brasil: por que é tão importante para o futuro do clima? [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.alemdaenergia.engie.com.br/cop30-no-brasil-por-que-e-tao-importante-para-o-futuro-do-clima/>. Acesso em: 2 dez. 2025.

EOS. Degradação do solo. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://eos.com/pt/blog/degradacao-do-solo/>. Acesso em: 2 dez. 2025.

ESTADÃO. Interrupção de voos por vulcão islandês custa US\$ 5 bi ao PIB global. 2010. Disponível em: <https://www.estadao.com.br/economia/interruptao-de-voos-por-vulcao-islandes-custa-us-5-bi-ao-pib-global/?srsId=AfmBOoo-23cnRBPE3frEwynM9ozjM2k-qRG>. Acesso em: 2 dez. 2025.

ÉTICA AMBIENTAL. Poluição industrial. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://etica-ambiental.com.br/poluicao-industrial/>. Acesso em: 2 dez. 2025.

EXAME. Prejuízo por furacão Irma na Flórida chega a US\$ 194 bilhões. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://exame.com/economia/prejuizo-por-furacao-irma-na-florida-chega-a-us-194-bilhoes/>. Acesso em: 2 dez. 2025.

FERREIRA, Pedro Cavalcanti G. et al. Uma estimativa da população atingida pelas enchentes do Rio Grande do Sul em 2024. Nota Técnica. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2024.

FUJITA, M. The lessons from the Great East Japan Earthquake and the Great Floods in Thailand. RIETI, 2013. Disponível em: https://www.rieti.go.jp/en/columns/v01_0007.html. Acesso em: 2 dez. 2025.

G1. Empresas aéreas perderam US\$ 1,7 bilhão com cinzas de vulcão, diz IATA. 2010. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia-e-negocios/noticia/2010/04/empresas-aereas-perderam-us-17-bilhao-com-cinzas-de-vulcao-diz-iata.html>. Acesso em: 2 dez. 2025.

G1. Estudo alerta para crescimento urbano desordenado e risco de deslizamentos. Jornal Nacional, 16 nov. 2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2024/11/16/estudo-alerta-para-crescimento-urbano-desordenado-e-risco-de-deslizamentos.ghtml>. Acesso em: 2 dez. 2025.

G1. Furacão Irma deixa mortos e causa destruição no Caribe. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://g1.globo.com/mundo/noticia/furacao-irma-deixa-mortos-e-causa-destruicao-no-caribe.ghtml>. Acesso em: 2 dez. 2025.

GISLASON, S. R. et al. Characterization of Eyjafjallajökull volcanic ash particles and a protocol for rapid risk assessment. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 108, n. 18, p. 7307-7312, 2011. DOI: 10.1073/pnas.1015053108. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3088604/>. Acesso em: 2 dez. 2025.

GLOBAL VOLCANISM PROGRAM, Smithsonian Institution. Eyjafjallajökull (vulcão nº 372020). [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=372020>. Acesso em: 2 dez. 2025.

GOVERNO FEDERAL - MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO E DESENVOLVIMENTO REGIONAL. Avaliação preliminar das perdas econômicas associadas às enchentes do Rio Grande do Sul. Brasília, 2024.

GOVERNO FEDERAL - MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. Ações de restabelecimento da malha rodoviária e logística do RS após as enchentes de 2024. Brasília: Ministério dos Transportes, 2024-2025.

GOV.BR/MMA. Controle ao desmatamento, queimadas e ordenamento ambiental territorial. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/controle-ao-desmatamento-queimadas-e-ordenamento-ambiental-territorial>. Acesso em: 2 dez. 2025.

GREENPEACE. Saiba como amenizar o impacto da fumaça das queimadas na saúde. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.greenpeace.org/brasil/blog/saiba-como-amenizar-o-impacto-da-fumaca-das-queimadas-na-saude>. Acesso em: 2 dez. 2025.

GUITARRARA, Paloma. Escala Richter. Brasil Escola, [s.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/escala-richter.htm>. Acesso em: 2 dez. 2025.

GUITARRARA, Paloma. Onda de calor: o que é, causas, consequências. Brasil Escola, 2025. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/onda-de-calor.htm>. Acesso em: 2 dez. 2025.

GUITARRARA, Paloma. Tornado. Brasil Escola, [s.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/tornado.htm>. Acesso em: 2 dez. 2025.

IBERDROLA. Acidificação dos oceanos. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/acidificacao-oceanos>. Acesso em: 2 dez. 2025.

IBERDROLA. Acordos climáticos internacionais. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/acordos-climaticos-internacionais>. Acesso em: 2 dez. 2025.

IBERDROLA. Aumento do nível do mar - A subida do nível do mar, um perigo real para o nosso futuro? [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/aumento-do-nivel-do-mar>. Acesso em: 2 dez. 2025.

IBERDROLA. Chuva ácida. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/chuva-acida>. Acesso em: 2 dez. 2025.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Indicadores de desenvolvimento sustentável: Brasil 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

IDUGEL. Soluções para poluição industrial e aspiração. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://idugel.com.br/solucoes-para-poluicao-industrial-e-aspiracao/>. Acesso em: 2 dez. 2025.

IHU UNISINOS. A expansão urbana desordenada e o risco de gerar uma escassez hídrica: entrevista especial com Pedro Roberto Jacobi. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.ihu.unisinos.br/categorias/159-entrevistas/590062-a-expansao-urbana-desordenada-e-o-risco-de-gerar-uma-escassez-hidrica-entrevista-especial-com-pedro-roberto-jacobi>. Acesso em: 2 dez. 2025.

INFO MONEY. Analistas apontam impactos de terremotos na Turquia para operações de BRF (BRFS3) e Gerdau (GGBR4). InfoMoney, 08 fev. 2023. Disponível em: <https://www.infomoney.com.br/mercados/analistas-apontam-impactos-de-terremotos-na-turquia-para-operacoes-de-brf-brfs3-e-gerdau-ggbr4/>. Acesso em: 2 dez. 2025.

INFOESCOLA. Nevasca. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.infoescola.com/fenomenos-naturais/nevasca/>. Acesso em: 2 dez. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE SUSTENTABILIDADE (Brasil). 9 principais leis ambientais brasileiras. Blog ESG e Sustentabilidade, 25 dez. 2020. Disponível em: inbs.com.br/9-principais-leis-ambientais-brasileiras/. Acesso em: 2 dez. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE SUSTENTABILIDADE (Brasil). O Termo de Ajustamento de Conduta Ambiental. Blog ESG e Sustentabilidade, 28 nov. 2019. Disponível em: inbs.com.br/_trashed/. Acesso em: 2 dez. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE SUSTENTABILIDADE (Brasil). Principais leis climáticas do Brasil. Blog ESG e Sustentabilidade, [s.d.]. Disponível em: inbs.com.br/principais-leis-climaticas-do-brasil/. Acesso em: 2 dez. 2025.

INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION (IATA). The impact of Eyjafjallajökull's volcanic ash plume. IATA Economic Briefing. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/impact-of-ash-plume/>. Acesso em: 2 dez. 2025.

INTERNATIONAL GEOGRAPHY. Eyjafjallajökull Case Study. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.internetgeography.net/topics/eyjafjallajokull-case-study/>. Acesso em: 2 dez. 2025.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Summary for Policymakers. Cambridge: Cambridge University Press, 2022.

IS THERE ANY SCIENTIFIC WAY TO STOP A VOLCANO FROM ERUPTING? Quora, [s.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.quora.com>. Acesso em: 2 dez. 2025.

KASHIWAGI, T. et al. International production networks and disaster resilience. CEPR, 2018. Disponível em: <https://cepr.org/voxeu/columns/international-production-networks-and-disaster-resilience>. Acesso em: 2 dez. 2025.

KELLER, Laurent de Lima. As enchentes de maio de 2024 no Rio Grande do Sul como acontecimento midiático. In: SIMPÓSIO NACIONAL DA ABCIBER, XVII, 2024. [S.l.: s.n.], 2024.

MAGNÚSSON, E. et al. Ice-volcano interactions during the 2010 Eyjafjallajökull eruption, as revealed by airborne imaging radar. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, v. 117, n. 7, p. B07405, 2012. DOI: 10.1029/2012JB009250. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2012JB009250>. Acesso em: 2 dez. 2025.

MILLY, P. C. D. et al. Increasing risk of great floods in a changing climate. *Nature*, v. 415, p. 514-517, 2002.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA (Brasil). Conheça o SISNAMA Sistema Nacional do Meio Ambiente. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: gov.br/mma/pt-br/composicao/secex/dsisnama/conheca_o_sisnama>. Acesso em: 2 dez. 2025.

MODAL CONNECTION. Importância da dragagem na manutenção de portos. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://modalconnection.com.br/artigos/importancia-da-dragagem-na-manutencao-de-portos/>. Acesso em: 2 dez. 2025.

MUNDO EDUCAÇÃO. Assoreamento. [S.l.]: UOL, [s.d.]. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/assoreamento.htm>. Acesso em: 2 dez. 2025.

MUNDO EDUCAÇÃO. Desmatamento. [S.l.]: UOL, [s.d.]. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/desmatamento.htm>. Acesso em: 2 dez. 2025.

MUNDO EDUCAÇÃO. Queimadas. [S.l.]: UOL, [s.d.]. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/queimadas.htm>. Acesso em: 2 dez. 2025.

MUNDO EDUCAÇÃO. Temporada de areia: causas e consequências. [S.l.]: UOL, [s.d.]. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/tempestade-de-areia.htm>. Acesso em: 2 dez. 2025.

NATIONAL GEOGRAPHIC BRASIL. O que é chuva ácida e o que ela faz. [S.l.], 2022. Disponível em: <https://www.nationalgeographicbrasil.com/meio-ambiente/2022/12/o-que-e-chuva-acida-e-o-que-ela-faz>. Acesso em: 2 dez. 2025.

NCBI. Tópico: Disaster Planning. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK556352/>. Acesso em: 2 dez. 2025.

NEOENERGIA. Reflorestamento: o que é, como funciona e qual a importância. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.neoenergia.com/w/reflorestamento-o-que-e-como-funciona-e-qual-a-importancia>. Acesso em: 2 dez. 2025.

NEGÓCIO SEGURO AIG. O que são desastres ambientais? [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.negocioseguroaig.com.br/agronegocio/o-que-sao-desastres-ambientais/>. Acesso em: 2 dez. 2025.

NOAA. Ocean Acidification. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.noaa.gov/education/resource-collections/ocean-coasts/ocean-acidification>. Acesso em: 2 dez. 2025.

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Volcanic Ash and Ashfall. Silver Spring: National Weather Service (NWS), 2023. Disponível em: <https://www.weather.gov/safety/airquality-volcanic-ash>. Acesso em: 2 dez. 2025.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Relatório de Desenvolvimento Sustentável 2022. Nova York: ONU, 2022.

OPPENHEIMER, Clive. Climatic, environmental and human consequences of the largest known historic eruption: Tambora volcano (Indonésia) 1815. *Progress in Physical Geography*, Thousand Oaks, v. 27, n. 2, p. 230-259, 2003.

OUTRAS PALAVRAS. Mineração predatória: ameaça global. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://outraspalavras.net/outrasmidias/mineracao-predatoria-ameaca-global/>. Acesso em: 2 dez. 2025.

PENA, Rodolfo F. Alves. Enchentes: causas, consequências, como prevenir. *Brasil Escola*, [s.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/enchentes.htm>. Acesso em: 2 dez. 2025.

PENA, Rodolfo F. Alves. Neblina: como se forma a neblina? *Mundo Educação*, UOL, [s.d.]. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/neblina.htm>. Acesso em: 2 dez. 2025.

PLANO RIO GRANDE (Governo do RS). Estimativas de reconstrução, danos em infraestrutura e impactos econômicos das enchentes de 2024. Governo do Estado do Rio Grande do Sul, 2024.

PODER360. Enchentes fazem vendas da indústria caírem no Rio Grande do Sul em maio de 2024. Brasília, 2024. [S.l.]: [s.n.]. Disponível em: <https://cnnportugal.iol.pt/desaparecimento/praias-19/corpo-encontrado-na-fonte-da-telha-sera-de-homem-de-32-anos-desaparecido-ha-uma-semana/20250705/68697bd5d34e3f0baea02e10>. Acesso em: 2 dez. 2025.

PODER360. Terremotos podem custar US\$ 25 bi à Turquia, diz JPMorgan. Poder360, 18 fev. 2023. Disponível em: <https://www.poder360.com.br/internacional/terremotos-podem-custar-us-25-bi-a-turquia-diz-jpmorgan/>. Acesso em: 2 dez. 2025.

PORT OF ROTTERDAM AUTHORITY. Adaptation Strategy for Flood Risk Management Port of Rotterdam. Abril de 2023. Disponível em: <https://www.portofrotterdam.com/sites/default/files/202....> Acesso em: 2 dez. 2025.

PORTAL DE MEMÓRIA DA JUSTIÇA FEDERAL DO RS. Cronologia - desastre climático de maio de 2024. Porto Alegre: JFRS, 2024.

PORTAL DRAGEM PORTO DE SANTOS. Notícia de dragagem. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://dragagem.portodesantos.com.br/portal/noticia?noticia=MjY5>. Acesso em: 2 dez. 2025.

PORTAL PORTO DE SANTOS. Dragagem. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.portodesantos.com.br/informacoes-operacionais/dragagem/>. Acesso em: 2 dez. 2025.

RAIZEN. Reflorestamento. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.raizen.com.br/blog/reflorestamento>. Acesso em: 2 dez. 2025.

REEF RESILIENCE. Acidificação oceânica. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://reefresilience.org/pt/ocean-acidification/>. Acesso em: 2 dez. 2025.

RIBEIRO, Milton. O vulcão Eyjafjallajökull aqui em casa. Milton Ribeiro ARS Blog, 19 abr. 2010. Disponível em: <https://miltonribeiro.ars.blog.br/2010/04/19/o-vulcao-eyjafjallajokull-aqui-em-casa/>. Acesso em: 2 dez. 2025.

RIBEIRO, Wagner Costa. Geografia, meio ambiente e desenvolvimento sustentável. 2. ed. São Paulo: Contexto, 2019.

ROBOCK, Alan. Volcanic eruptions and climate. Reviews of Geophysics, Washington, D.C., v. 38, n. 2, p. 191-219, 2000.

SACHS, Jeffrey D. The Age of Sustainable Development. New York: Columbia University Press, 2015.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DE SÃO PAULO (SEMIL-SP). Acidificação oceânica. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://semil.sp.gov.br/educacaoambiental/prateleira-ambiental/acidificacao-oceanica-3/>. Acesso em: 2 dez. 2025.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DE SÃO PAULO (SEMIL-SP). Conheça algumas das principais convenções internacionais ambientais. São Paulo: SEMIL-SP, [s.d.]. Disponível em: <https://semil.sp.gov.br/educacaoambiental/prateleira-ambiental/conheca-algumas-das-principais-convencoes-internacionais-ambientais/>. Acesso em: 2 dez. 2025.

SETCESP. Onda de calor: transporte de produtos perigosos requer atenção. Estradão, 19 dez. 2023. Disponível em: <https://setcesp.org.br/noticias/onda-de-calor-transporte-de-produtos-perigosos-requer-atencao>. Acesso em: 2 dez. 2025.

SGB/CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Análise técnica dos impactos em infraestrutura e vias afetadas durante as enchentes de 2024 no RS. Brasília, 2025.

SIAGRI. Degradação do solo. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.siagri.com.br/degradacao-do-solo/>. Acesso em: 2 dez. 2025.

SONHO SEGURO. Indenizações de seguros pelo terremoto na Turquia podem ultrapassar US\$ 5 bilhões, avalia Moody's RMS. Sonho Seguro, 01 mar. 2023. Disponível em: <https://www.sonhoseguro.com.br/2023/03/indenizacoes-de-seguros-pelo-terremoto-na-turquia-podem-ultrapassar-us-5-bilhoes-avalia-moodys-rms/>.

Acesso em: 2 dez. 2025.

SOS MA. Lei do Mar. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/politicas/lei-do-mar>. Acesso em: 2 dez. 2025.

SOUSA, Rafaela. Ciclone: o que é, tipos, como se formam, casos no Brasil. Brasil Escola, [s.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/ciclone.htm>. Acesso em: 2 dez. 2025.

SOUSA, Rafaela. Efeito estufa. Brasil Escola, [s.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/efeito-estufa.htm>. Acesso em: 2 dez. 2025.

STUDIO TV. Geada provoca acidentes e deixa rodovias escorregadias em SC. Redação Studio TV, 3 jul. 2025. Disponível em: <https://www.studio.tv.br/2025/07/geada-provoca-acidentes-e-deixa-rodovias-escorregadias-em-sc>. Acesso em: 2 dez. 2025.

SYNERGIA CONSULTORIA. Avanço da poluição industrial. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.synergiaconsultoria.com.br/fique-por-dentro/avanco-da-poluicao-industrial/>. Acesso em: 2 dez. 2025.

SYNGENTA DIGITAL. Degradação do solo. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://blog.syngentadigital.ag/degradacao-do-solo/>. Acesso em: 2 dez. 2025.

TAKAGI, Hiroshi. Self powered movable seawall for tsunami protection and emergency power generation. Prevention Web, 29 jan. 2024. Disponível em: <https://www.preventionweb.net/news/self-powered-movable-seawall-tsunami-protection-and-emergency-power-generation>. Acesso em: 2 dez. 2025.

TERRAMAGNA. Geada: tudo o que você precisa saber sobre esse fenômeno. Blog TerraMagna, [s.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://terramagna.com.br/blog/geada>. Acesso em: 2 dez. 2025.

TODA MATÉRIA. Chuva ácida. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/chuva-acida/>. Acesso em: 2 dez. 2025.

TODA MATÉRIA. Poluição. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/poluicao/>. Acesso em: 2 dez. 2025.

TO.GOV.BR. Queimadas podem prejudicar o meio ambiente e a saúde humana. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.to.gov.br/secom/noticias/queimadas-podem-prejudicar-o-meio-ambiente-e-a-saude-humana/2wcipzt7u22>. Acesso em: 2 dez. 2025.

TRIAL. Poluição industrial. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://trial.com.br/poluicao-industrial/>. Acesso em: 2 dez. 2025.

UPS. “UPS Accelerates Use of Routing Optimization Software to Reduce 100 Million Miles Driven”. Globe Newswire, 2 mar. 2015. Disponível em: <https://www.globenewswire.com/de/newsrelease/2015/03/02/711508/10122723/en/UPS-Accelerates-Use-of-RoutingOptimization-Software-to-Reduce-100-Million-Miles-Driven.html>. Acesso em: 2 dez. 2025.

USGS (United States Geological Survey). Volcanic Ash & Gas Impacts & Mitigation. Reston, VA: USGS, 2023. Disponível em: https://volcanoes.usgs.gov/volcanic_ash/. Acesso em: 2 dez. 2025.

VEJA. Furacão Irma já causou prejuízos de R\$ 45 bi, diz seguradora. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://veja.abril.com.br/mundo/furacao-irma-ja-causou-prejuizos-de-r-45-bi-diz-seguradora/>. Acesso em: 2 dez. 2025.

VEJA. Guia do Caribe pós-furacão: o que já está funcionando. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://veja.abril.com.br/mundo/guia-do-caribe-pos-furacao-o-que-ja-esta-funcionando/>. Acesso em: 2 dez. 2025.

WIKIPÉDIA. Air travel disruption after the 2010 Eyjafjallajökull eruption. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Air_travel_disruption_after_the_2010_Eyjafjallaj%C3%B6kull_eruption. Acesso em: 2 dez. 2025.

WIKIPÉDIA: a enciclopédia livre. Acidificação oceânica. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Acidifica%C3%A7%C3%A3o_oce%C3%A2nica. Acesso em: 2 dez. 2025.

WIKIPÉDIA: a enciclopédia livre. Assoreamento. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Assoreamento>. Acesso em: 2 dez. 2025.

WIKIPÉDIA: a enciclopédia livre. Chuva ácida. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Chuva_%C3%A1cida. Acesso em: 2 dez. 2025.

WIKIPÉDIA: a enciclopédia livre. Escala de Mercalli. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Escala_de_Mercalli. Acesso em: 2 dez. 2025.

WIKIPÉDIA: a enciclopédia livre. Erupções do Eyjafjallajökull em 2010. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Erup%C3%A7%C3%B5es_do_Eyjafjallaj%C3%B6kull_em_2010. Acesso em: 2 dez. 2025.

WIKIPÉDIA: a enciclopédia livre. Reflorestamento. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Reflorestamento>. Acesso em: 2 dez. 2025.

WWF & IPBES. Relatórios globais de biodiversidade. [S.l.], [s.d.]. [S.l.]: [s.n.]. Disponível em: <https://cnnportugal.iol.pt/desaparecimento/praias-19/corpo-encontrado-na-fonte-da-telha-sera-de-homem-de-32-anos-desaparecido-ha-uma-semana/20250705/68697bd5d34e3f0baea02e10>. Acesso em: 2 dez. 2025.