

# Relatório de Enchentes e Inundações no Brasil e no Mundo e como Combater

## Introdução

Este documento trata do desafio crescente das enchentes e inundações, fenômenos climáticos extremos que causam devastação socioeconômica e ambiental em escala global. Este trabalho analisa os impactos desses eventos com uma perspectiva comparativa entre o Brasil e outras regiões do mundo com meta prioritária de propor ações preventivas e corretivas inovadoras, com ênfase na aplicação de tecnologias de energia renovável e sistemas de monitoramento avançados para aumentar a resiliência e mitigar os danos causados por cheias.

A frequência e a intensidade com que as inundações ocorrem têm aumentado em diversas partes do globo, impulsionadas pelas mudanças climáticas, urbanização desordenada e alterações no uso do solo. O Brasil, com sua diversidade climática e hidrográfica, enfrenta recorrentemente eventos severos, desde inundações graduais em grandes bacias até enxurradas rápidas em áreas urbanas e serranas, como evidenciado pela recente tragédia no Rio Grande do Sul e pelos registros de desastres hidrológicos registrados pelo CEMADEN nos últimos anos.

A metodologia adotada envolveu a coleta e análise de dados hidrológicos, climáticos e de impacto de fontes nacionais (CEMADEN, ANA, SGB) e internacionais (Global Flood Database, WMO, EM-DAT), a revisão de literatura científica e técnica sobre causas e consequências das inundações, e a pesquisa de soluções tecnológicas emergentes. As propostas apresentadas buscam integrar sistemas de monitoramento inteligentes (sensores IoT, IA, satélites), fontes de energia renovável (principalmente solar, para autonomia e resiliência) e, soluções visando a natureza, assim tentando construir uma abordagem mais holística e sustentável para a mitigação do problema.

## Análise de Impactos Ambientais e Sociais (Brasil e Global)

Esta seção fala sobre os principais impactos ambientais e sociais causados pelas enchentes e inundações, considerando diferentes contextos no Brasil e em outras partes do mundo, com base nos dados coletados de fontes como CEMADEN, SGB, ANA, Global Flood Database e WMO.

## Causas e Fatores Contribuintes

As enchentes e inundações são complexas, resultado tanto de ações naturais ou humanas:

Fatores Climáticos e Hidrológicos como as chuvas intensas e/ou prolongadas, transbordamento de rios, derretimento acelerado de neve ou de gelo, rompimento de barragens, marés de tempestade, fenômenos climáticos extremos como o El Niño, La Niña e ciclones.

Também causado por fatores antrópicos um deles é a urbanização desordenada, que traz consigo o aumento de superfícies impermeáveis, que não absorvem a água, reduzindo assim a infiltração além de acelerar o escoamento superficial, além de canalizar rios e ocupação em áreas de risco.

Também podem ser desmatamento, práticas agrícolas inadequadas e alteração em bacias hidrográficas.

Problemas de infraestrutura também são presentes, com sistemas de drenagem insuficientes ou nulos e falhas em estruturas de contenção também.

Mudanças climáticas tem a tendência de intensificação de eventos de chuva extrema em muitas regiões, aumentando a frequência e a magnitude das inundações.

## Impactos Socioeconômicos

Os impactos sobre as populações e a economia são vastos e frequentemente devastadores:

A perda de vidas e feridos é o impacto mais trágico, resultante de afogamentos, soterramentos ou acidentes durante o evento.

Milhares ou milhões de pessoas ficam desabrigadas e desalojadas e são forçadas a deixar suas casas temporária ou permanentemente (ex: 800.000 deslocados no evento de 2010 no Brasil, segundo Global Flood Database; milhões afetados no RS em 2024).

Causam impactos diretos na saúde doenças transmitidas pela Água como Leptospirose, cólera e hepatite A, doenças vetoriais como dengue, Zika, além do impacto à saúde mental causado pelo estresse pós-traumático.

No fim de tudo, prejudica também o acesso à saúde, já que causa danos à hospitais, postos de saúde.

Danos são causados à infraestrutura como destruição ou danos a residências, edifícios comerciais e industriais, estradas, pontes, redes de energia elétrica, sistemas de água e esgoto, telecomunicações. Os custos de reconstrução são altíssimos.

São visíveis também impactos econômicos como perdas agrícolas, de gado e danos à infraestrutura, paralisação da indústria, comércio e afins, como também, causa gastos de emergência, com a limpeza, reconstrução e assistências às vítimas, sem contar com o prejuízo causado nas áreas afetados com a desvalorização imobiliária.

Os impactos são desproporcionalmente maiores em populações de baixa renda, que frequentemente vivem em áreas de maior risco e têm menor capacidade de recuperação.

## Impactos Ambientais

As enchentes causam danos significativos aos ecossistemas e ao meio ambiente:

Como espalhamento de esgoto, lixo, produtos químicos, combustíveis e outros poluentes, contaminando rios, lençóis freáticos e solos.

E a força da água causa erosão nas margens dos rios e no solo desprotegido, transportando sedimentos que assoreiam rios e reservatórios, prejudicando a qualidade da água e a capacidade de armazenamento.

Acabam destruindo habitats aquáticos e terrestres, afogamento de fauna terrestre, danos a recifes de coral.

Morte direta de animais e plantas, destruição de habitats essenciais para espécies endêmicas ou ameaçadas.

Modificações permanentes no curso de rios, deposição de detritos, destruição de vegetação.

## Contextos Diferenciados (Brasil e Global)

Embora os tipos de impacto sejam semelhantes, a intensidade e as características variam:

No Brasil é muito comum nas grandes cidades, graças à impermeabilização do solo e a falta de drenagem adequada, que ocorram enchentes, especialmente em periferias e áreas vulneráveis.

Grandes bacias são sujeitas a grandes cheias, as mesmas que impactam diretamente a economia e população local.

Também são observados um grande aumento na frequência dos eventos extremos, conforme dados do CEMADEM foram registrados recordes de desastres hidrológicos em 2023 e 2024.

No resto do mundo tem se observado igualmente grandes inundações em regiões da Ásia, mais especificamente no Leste, devido ao clima de monções, se observa também, muitas inundações e flash floods urbanas na Europa e na América do Norte,

além da vulnerabilidade a secas e inundações gigantescas causadas principalmente pela pobreza e falta de estrutura na África.

A comparação deixa evidente a universalidade do problema, não é um foco apenas regional, o mundo inteiro sofre com enchentes, porém, se torna claro que a forma de combater e as abordagens necessárias para cada região também são diferentes.

## Propostas de Ações Preventivas e Corretivas Inovadoras

Com base na análise de riscos e impactos, e nas tecnologias disponíveis, propõem-se as seguintes ações inovadoras, integrando energia renovável e sistemas de monitoramento inteligente, aplicáveis tanto no Brasil quanto globalmente, com adaptações locais:

### Sistemas de Alerta Antecipado (EWS) Inteligentes e Autônomos

A tecnologia é um dos pilares para se alertar a população no caso de enchentes, como sensores IoT, que tem baixo custo e alta efetividade na verificação do nível de rio, chuva, umidade e entre outros.

Já olhando para o abastecimento de energia pode se citar energia solar autônoma com painéis solares à bateria, como Solar Lighting Intl., OTT Hydromet, AWARE Monitoring Systems.

Já para comunicação a rede 4g e 5g, satélites de transmissão e redes LoRaWAN são imprescindíveis

E a inovação nos possibilita salvar cada vez mais vidas, com a inserção de plataformas de análise e de alerta usando inteligência artificial (IA), se tem previsões mais específicas que alertam de diversas maneiras, e que ajudam na previsão meteorológica como no CEMADEN e WMO.

No Brasil o foco é expandir e modernizar redes como o CEMADEN, ANA, SGB com sensores IoT autônomos em bacias críticas e áreas urbanas; integrar dados em plataforma nacional. E com uma visão mais global é fomentar padrões abertos e tecnologias de baixo custo em países em desenvolvimento como apoio WMO e GFFG.

### Microgrids Resilientes para Infraestrutura Crítica

A geração de energia renovável distribuída, com armazenamento autônomo e com gestão inteligente, EMS, é essencial para que as infraestruturas de prioridade máxima mantenham o seu uso.

A melhor forma de implementar no Brasil seria mapear infraestruturas críticas em áreas de risco e implementar projetos piloto de microgrids solares resilientes. De forma global, a melhoria da gestão seria fundamental para que a eficiência das infraestruturas essenciais fosse mantida.

## Monitoramento e Avaliação de Danos Pós-Evento com Drones e Satélites

Na área de monitoramento a adição de drones autônomos para auxílio de mapeamento da extensão da inundação, para localização de vítimas, avaliação de danos e de guia de fuga, seria fundamental para a mitigação dos danos, fazendo um trabalho mais rápido e seguro para as equipes de ajuda. E juntamente se poderia utilizar de imagens de satélites com análises feitas por IA, acelerando a classificação e análise de danos.

## Soluções Baseadas na Natureza (SbN) Integradas com Monitoramento

Existem diversas formas de tratar esses eventos extremos de forma simples e economicamente viável, e essa forma é trabalhando em conjunto com a natureza, como por exemplo, na restauração de matas ciliares, várzeas, manguezais, monitoramento eficaz destas áreas que poderiam ser alimentados por pequenas sistemas de energia renovável, chamada de infraestrutura verde.

A integração de sensores e de geradores de energia, na aplicação da infraestrutura verde, seria um investimento relativamente caro, porém que traria bons frutos, e com o passar do tempo diminuiriam os gastos com reconstruções, assistência etc.

## Recursos Tecnológicos Chave e Fatores Habilitadores

Recursos fundamentais seriam sensores IoT, energia solar fotovoltaica, sistemas de armazenamento, como baterias, redes de comunicação, plataforma de dados e IA, drones, satélites e infraestrutura verde.

Com utilização contínua de dados históricos e atuais que são encontrados por exemplo no INMET, CEMADEN, ANA, SGB, WMO, Global Flood Database e entre outros que podem alimentar os modelos, para que assim possam monitorar as condições físico-químicas e avaliar sua eficácia.

Utilizariam ferramentas computacionais como softwares de modelagem climática, plataformas Big Data, SIG e algoritmos de IA.

Certos fatores seriam essenciais para habilitar e fazer com que esse plano se torne funcional, esses fatores são, políticas públicas de incentivo e integração, uma clara e

objetiva regulamentação, investimento de capital em pesquisa e desenvolvimento e inovação (P&D+I), capacitação técnica, incentivo da comunidade e colaboração internacional.

## Conclusão

As enchentes e inundações representam um dos maiores desafios globais relacionados a desastres naturais, com impactos econômicos, sociais e ambientais sem prescindíveis, que são cada vez mais intensificados pela ação humana. A comparação entre o Brasil e o resto do mundo revela padrões de vulnerabilidade, mas junto com isso a necessidade de soluções adaptadas a cada contexto.

A integração de tecnologias novas, como o monitoramento inteligente alimentado por fontes renováveis, oferece um caminho otimista para o aumento das resiliências de comunidades e infraestruturas. As propostas presentes no relatório, desde o sistema de alerta mais eficaz quanto o uso de drones, denota o potencial de salvar vidas, reduzir gastos e mitigar danos que essas tecnologias têm.

Mas para que sejam implementadas não dependem apenas da tecnologia, mas necessitam também, de um compromisso político firme, investimento consistente e um profundo planejamento, o engajamento das comunidades beneficiadas se for adotada uma abordagem multifacetada que combine tecnologia, planejamento, políticas públicas e participação social, o Brasil e a comunidade internacional podem avançar significativamente na redução da vulnerabilidade às enchentes e na construção de um futuro mais seguro e resiliente.

## Referências

- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). (Dados de monitoramento e estudos).
- Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN). (Alertas, dados históricos, boletins, estudos).
- Serviço Geológico do Brasil (SGB). Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE). Recuperado de <https://www.sgb.gov.br/sace/>
- Global Flood Database. Recuperado de <https://global-flood-database.cloudtostreet.ai/>
- World Meteorological Organization (WMO). (Dados, padrões, iniciativas como GFFG).
- EM-DAT: The International Disaster Database. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters – CRED.