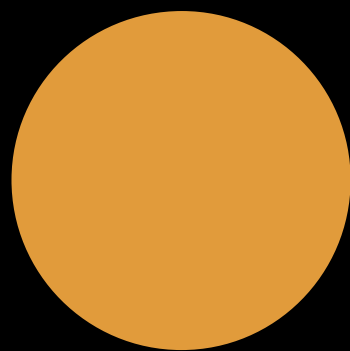


Tecnologias para Respostas Rápidas a Incidentes e Desastres Climáticos - Tridecs

Infraestruturas de Comunicação Resiliente para
Resposta a Desastres: resultados, testes e
aprendizados da primeira etapa



SUMÁRIO

1. Sobre o Nupef	1
2. Sobre o Tridecs	2
3. Introdução	3
4. Metodologia	5
5. Ameaças climáticas e infraestrutura crítica de comunicação	8
6. Como as comunidades são impactadas	11
7. Desafios e fluxos de resposta rápida	13
8. Tecnologias testadas e achados da fase de teste	17
8.1. Três níveis funcionais da arquitetura sociotécnica da resposta	18
8.2. Critérios técnicos para escolha e combinação de tecnologias	21
8.3. Achados da fase de testes	23
8.3.1. Wi-Fi (redes estruturadas e mesh)	24
8.3.2. Radiocomunicação (rádios HT)	25
8.3.3. LoRa e protocolo Meshtastic	26
8.3.4. TV White Spaces (TVWS)	27
9. Considerações finais e próximos passos	28
10. Referências Bibliográficas	30

SOBRE O NUPEF

Fundado em 2005, o Instituto Nupef é uma organização brasileira da sociedade civil sediada no Rio de Janeiro, dedicada à promoção do uso seguro das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) e à defesa dos direitos fundamentais em ambientes digitais. Sua atuação articula pesquisa aplicada, infraestrutura técnica e incidência política, com foco em organizações da sociedade civil, movimentos sociais e povos e comunidades tradicionais.

A organização estrutura sua atuação em duas áreas programáticas: **Direito à Conectividade e à Proteção Territorial**, que reúne ações de pesquisa, escuta e implementação de tecnologias junto a povos indígenas, comunidades quilombolas e outros territórios tradicionais e **Infraestrutura Resiliente e Segurança da Informação**, voltada à construção e manutenção de infraestruturas autônomas para organizações da sociedade civil e movimentos sociais no Brasil e na América Latina. As duas frentes se encontram na luta por uma conectividade construída a partir dos territórios, em diálogo com as comunidades.

O trabalho do Nupef articula saberes técnicos com saberes políticos, comunicacionais, educacionais e jurídicos. Dessa combinação se desdobram suas frentes de ação: 1) implementação de redes comunitárias em parceria com povos indígenas, comunidades quilombolas e de quebradeiras de coco babaçu, com mais de quarenta redes implementadas; 2) manutenção de uma infraestrutura digital segura que hoje abriga organizações de quatro países; 3) a produção de conhecimento crítico por meio da Revista PoliTICs e de pesquisas aplicadas; 4) a defesa de direitos digitais e ambientais junto ao Movimento Escazú Brasil, à Coalizão Direitos na Rede e à Câmara de Conteúdos e Bens Culturais do CGI.br, entre outros espaços de incidência política; 5) participação em fóruns internacionais de governança da Internet e de justiça climática, como a Association for Progressive Communications (APC); Conferência das Partes (COP) e a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC)

É neste contexto que se insere o projeto Tecnologias para Respostas Rápidas em Desastres e Incidentes Climáticos (Tridecs), do qual este relatório é um dos resultados. A pesquisa desenvolvida parte da convicção de que a conectividade é um direito, de que as soluções precisam ser pensadas desde os territórios e de que produzir e difundir conhecimento técnico nesse campo é também gerar autonomia, matriz que orienta o conjunto do trabalho do Nupef.



SOBRE O TRIDECS

Como manter a comunicação em situações de emergência provocadas por desastres climáticos? Essa é a pergunta que impulsionou a elaboração do projeto **Tecnologias para Respostas Rápidas a Incidentes e Desastres Climáticos - Tridecs**. Dividido em três etapas, o projeto tem como objetivo pesquisar e desenvolver mapas de soluções tecnológicas para cenários em que os sistemas e usos convencionais de comunicação falham. A proposta é mapear, testar e adotar as alternativas viáveis para que a comunicação não seja interrompida, mesmo nas piores circunstâncias.

A primeira etapa do projeto foi conduzida pelo Instituto Nupef entre fevereiro de 2025 e abril de 2026, com financiamento do Digital Access Program (DAP) do Foreign, Commonwealth & Development Office (FCDO) por meio da Embaixada Britânica no Brasil.

Seu objetivo é **mapear, analisar e testar tecnologias de comunicação que possam apoiar movimentos sociais, organizações da sociedade civil e equipes de resposta rápida em cenários de desastre climático**, com atenção especial às chamadas zonas de exclusão, que são territórios que escapam ao alcance dos serviços convencionais.

Nas próximas etapas, as tecnologias com potencial de uso serão testadas em bancada e, após validação, seus resultados serão apresentados pelo Nupef a instituições de resposta rápida, organizações da sociedade civil, comunidades e lideranças com experiência em incidentes e desastres climáticos. Em diálogo com esses atores, o Nupef vai validar as soluções em campo e fortalecer a preparação de grupos para atuação em situações de emergência.

O projeto é implementado, em caráter piloto, no Rio Grande do Sul e no Maranhão, contemplando diferentes contextos regionais e tipos de desastres. Como resultado de longo prazo, pretende-se elaborar recomendações de kits tecnológicos com orientações específicas para diferentes cenários de desastres.



INTRODUÇÃO

As enchentes que devastaram o Rio Grande do Sul em maio de 2024 e os incêndios e chuvas que avançam ano a ano sobre o Maranhão (estado pertencente ao território da Amazônia Legal¹) integram um quadro nacional atravessado por eventos climáticos extremos cuja frequência e intensidade ultrapassam a capacidade de resposta das estruturas atuais. Entre 1991 e 2020, o Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MIDR) registrou 63.643 ocorrências validadas em todo o país (Brasil, 2022); somente entre 2020 e 2023, foram mais de 7,5 mil desastres relacionados à chuva (Prizibiszki, 2025) e entre 2019 e 2024 foram emitidos mais de 15 mil decretos de emergência (TV Cultura, 2024). A literatura científica reforça que eventos climáticos extremos vêm se tornando mais intensos e frequentes, sinalizando que o Brasil já vivencia efeitos materiais do agravamento climático (Pivetta, 2016).



Rio Grande do Sul, 2024. Foto: Ricardo Stuckert



Incêndio na Terra Indígena Xerente região nordeste do território. Foto: Pedro Paulo Xerente

A vulnerabilidade, lida aqui como a combinação entre exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa (ABER, s. d.), se concentra em comunidades historicamente marcadas pela desigualdade racial e territorial, e o racismo ambiental opera como vetor de distribuição desigual dos riscos (Muniz; Santino, 2024; Anistia Internacional, 2025). Para as comunidades atingidas, o desastre desorganiza a vida produtiva, destrói o que foi construído e cultivado ao longo de anos, expõe a fragilidade dos serviços públicos e, quase sempre, afeta primeiro e fortemente a infraestrutura de comunicação.

Este é o ponto de partida do Tridecs. **Em desastres climáticos, a infraestrutura de comunicação costuma ser a primeira a falhar e falha justamente quando coordenar evacuação, distribuir socorro e manter contato com pessoas em risco depende dela.** As respostas rápidas dependem hoje de tecnologias que, em sua maior parte, não foram pensadas para operar em situações de colapso de infraestrutura. O projeto parte dessa constatação para perguntar **quais tecnologias de comunicação são adequadas e acessíveis para a sociedade civil para sustentar a resposta rápida quando a infraestrutura convencional é derrubada.** A pergunta é importante para o Tridecs porque, como demonstram tanto a literatura quanto o trabalho de campo do projeto, a falha comunicacional em desastres é também expressão acumulada de assimetrias territoriais e desigualdades socioeconômicas e raciais que antecedem o evento extremo, manifestando-se de forma distinta conforme a situação de vulnerabilidade do território, podendo ser o colapso abrupto, como no Rio Grande do Sul, ou precariedade estrutural crônica, como em muitas regiões do Maranhão.

¹ A Amazônia Legal é uma região político-administrativa brasileira que reúne nove estados, criada pelo governo brasileiro para orientar políticas de desenvolvimento e planejamento territorial na região amazônica.

O recorte geográfico abrangeu dois estados de naturezas distintas e complementares: o Rio Grande do Sul, marcado pela tragédia das enchentes de maio de 2024, evento que produziu colapso multissistêmico simultâneo de energia, telecomunicações, transporte e coordenação institucional; e o Maranhão, atingido por incêndios florestais recorrentes e por uma sobreposição complexa de desastres climáticos e ameaças territoriais em comunidades quilombolas, em um contexto em que o fogo se configura também como instrumento de disputa territorial associado a grilagem, supressão de babaquais e estratégias de expulsão.

Este relatório apresenta os principais resultados desta primeira etapa, a partir da análise das relações entre mudanças climáticas, infraestrutura crítica de comunicação e dinâmicas territoriais de resposta a emergências. O documento reúne a sistematização dos processos de experimentação e avaliação de diferentes tecnologias de comunicação resiliente, incluindo redes Wi-Fi estruturadas e *mesh*², radiocomunicação, LoRa/Meshtastic³ e TV White Spaces. A partir dos testes realizados, são apresentados critérios técnicos para seleção e combinação dessas tecnologias, além de achados, aprendizados e recomendações voltados à construção de arquiteturas sociotécnicas mais resilientes, capazes de fortalecer respostas comunitárias diante de desastres e eventos climáticos extremos.

Além deste relatório, elaborado para sistematizar e divulgar os principais resultados da pesquisa, o Nupef desenvolveu um hotsite do projeto com o objetivo de documentar o processo, preservar sua memória e compartilhar conhecimentos produzidos ao longo da iniciativa. A plataforma, disponível em <https://tridecs.nupef.org.br/>, começou a ser desenvolvida na primeira fase do Tridecs e será oficialmente lançada na etapa seguinte do projeto.

Além de reunir um diário da pesquisa, o hotsite disponibilizará os dados primários produzidos durante o estudo, reforçando o compromisso do Nupef com a democratização do acesso à informação, a transparência da pesquisa e a construção coletiva do conhecimento.



Testes com Meshtastic

² Mesh é a rede em malha onde cada ponto retransmite o sinal.

³ Sistema que usa LoRa para mensagens em rede mesh. Exemplo: Comunicação sem Internet.

METODOLOGIA

O trabalho se organizou em quatro frentes articuladas:



Em cada frente, a interlocução com parceiros institucionais e organizações da sociedade civil constituiu parte central do método. Esse processo dialogou com os achados da literatura e foi reforçado pelas entrevistas, que evidenciaram que a resposta rápida a desastres climáticos opera como um ecossistema interdependente, no qual poder público, setor privado, organizações comunitárias, movimentos populares, mecanismos regulatórios e financiamento humanitário se entrelaçam. Compreender quais tecnologias são adequadas a esse cenário exigiu escutar e articular todos esses diferentes planos.

A primeira frente consistiu em revisão documental e na delimitação do problema. A equipe conduziu leitura sistemática de artigos acadêmicos, relatórios técnicos e cobertura jornalística sobre os desastres de referência. A literatura acadêmica revelou-se profusa em prevenção e monitoramento, mas escassa quanto às necessidades comunicacionais no momento do colapso da infraestrutura. Tal lacuna orientou a decisão de incorporar a cobertura jornalística como fonte complementar, por ser mais rica em detalhe operacional sobre os cenários reais - restrições de acesso, dinâmicas comunitárias, respostas institucionais - e mais aderente ao recorte de pós-colapso que o projeto adotou. Ao todo, **31 fontes técnicas, científicas e jornalísticas foram sistematizadas** como base analítica das demais frentes.

A segunda frente foi a de entrevistas semiestruturadas, conduzidas com amostragem em bola de neve⁴ a partir de um núcleo inicial de organizações mapeadas na revisão documental. **Foram realizadas 23 entrevistas no total, 21 distribuídas entre os dois estados e 2 de escopo transversal.** O recorte contemplou **cinco categorias de agentes**: a) sociedade civil e organizações comunitárias; b) setor privado de telecomunicações e infraestrutura; c) poder público responsável por resposta e proteção civil; d) instâncias de regulação e monitoramento ambiental e e) agentes filantrópicos e humanitários envolvidos em financiamento e coordenação emergencial.

⁴ O método bola de neve (*snowballing*) consiste na identificação progressiva de referências ou participantes por meio de indicações sucessivas.

QUADRO DE ORGANIZAÇÕES ENTREVISTADAS NO RIO GRANDE DO SUL

Defesa Civil de Erechim

Gerência Regional da Anatel

Associação InternetSul de Provedores de Internet e Serviços de Internet

Movimento dos Trabalhadores Sem Teto (MTST/RS)

Central Única das Favelas (CUFA/RS)

Ação da Cidadania/RS

Associação Quilombola Ibicuí da Armada

Movimento dos Atingidos por Barragens (MAB)

Alto Comissariado das Nações Unidas para os Direitos Humanos (ACNUDH)

Instituto Alok

QUADRO DE ORGANIZAÇÕES ENTREVISTADAS NO MARANHÃO

Defesa Civil do Estado do Maranhão

Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SEMA-MA), mais especificamente o Centro de Desastres Ambientais e sua Sala de Situação

Coordenação Nacional de Articulação das Comunidades Negras Rurais de Quilombolas (CONAQ)

Movimento Interestadual das Quebradeiras de Coco Babaçu (MIQCB)

Rede de Agroecologia do Maranhão (RAMA)

Articulação Agro é Fogo

Lideranças comunitárias do Território Quilombola de Cocalinho

ENTREVISTAS DE ESCOPO TRANSVERSAL

Vitor Marchezini, especialista em desastres socioambientais e pesquisador do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden)

Beatriz Roseiro, coordenadora do Programa de apoio a ações de prevenção e combate a incêndios florestais do Fundo Casa Socioambiental

Vários desses interlocutores reuniam simultaneamente atuação institucional e experiência como pessoas atingidas por desastres climáticos nos dois anos anteriores à pesquisa. Toda a abordagem foi norteada por um princípio de cuidado, com roteiros ajustados a cada pessoa entrevistada e expectativas comunicadas com franqueza. Importante ressaltar que o estudo só foi possível porque o Nupef contou com o apoio de organizações, coletivos e pessoas que compartilharam tempo, trajetórias e experiências, mesmo muitas vezes esse processo significar revisitar perdas ainda sentidas e retomar histórias já contadas em diferentes momentos.

A terceira frente da pesquisa foi a de mapeamento e avaliação das tecnologias. **Foram identificadas cinco macrocategorias relevantes para comunicação em desastres**, totalizando **mais de trinta subtecnologias**, que serão detalhadas mais a frente. Para tornar comparável esse universo, foi construída uma **matriz com nove critérios analíticos**:



Descrição da tecnologia



O que cada uma mede ou faz



Relação com cenários de desastre



Infraestrutura mínima requerida



Exemplos de implementação documentados⁵



Agentes envolvidos no uso e na operação



Localização e fluxo dos dados



Aspectos regulatórios



Acessibilidade para a sociedade civil

A análise inicial trabalhou com categorias amplas, mas mostrou-se insuficiente para informar escolhas operacionais, por isso foi necessário refinar o quadro para perfis de tecnologia baseados em condições de uso, restrições de implantação e topologia de comunicação. A partir desse refinamento, **quatro tecnologias foram selecionadas para a fase de testes, das quais três foram validadas para prosseguir para a fase de campo**, por reunirem critérios de **modularidade, sustentabilidade energética e acessibilidade**.

A quarta frente foi a de preparo para testes em campo, com visita técnica ao Rio Grande do Sul em novembro de 2025, incluindo ensaios em áreas de relevo acidentado na Serra Gaúcha, e atividades subsequentes no Maranhão. Em ambos os estados, a equipe combinou ensaios das tecnologias selecionadas em ambientes que reproduzem condições reais de operação pós-desastre, conversas com equipes de resposta e observação dos arranjos comunicacionais efetivamente mobilizados em situações de emergência. As avaliações foram orientadas por **três pilares**, sendo eles a **acessibilidade**, compreendida como a facilidade de acesso e aquisição; a **implementabilidade**, a partir de variáveis como peso, tamanho, consumo energético e **usabilidade**, a partir da complexidade técnica e curva de aprendizado.

⁵ Incluindo experiências em Haiti, Nepal, Filipinas, Japão, Estados Unidos e casos brasileiros do Rio Grande do Sul, Pantanal e Amazônia

AMEAÇAS CLIMÁTICAS E INFRAESTRUTURA

CRÍTICA DE COMUNICAÇÃO

A revisão documental que orientou esta seção partiu de um princípio analítico de que **eventos extremos precisam ser tratados como processos socioambientais produzidos pela interação entre ameaça, exposição e vulnerabilidade**, conforme a Estratégia de Gestão de Risco de Desastres do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (Brasil, s. d.). A chave desloca o foco do evento em si para as condições que determinam quem será afetado, com quais danos e por quanto tempo, sobretudo quando infraestruturas essenciais são atingidas. Sob essa lente, **o panorama nacional pode ser lido a partir de tipologias de eventos cuja distribuição territorial é profundamente desigual**.

A seca e a estiagem aparecem como o tipo mais recorrente em registros nacionais, com 36.060 ocorrências entre 1991 e 2020, concentradas majoritariamente no Nordeste, que responde por 69% dos casos (Brasil, 2022). Entre 2013 e 2023, esse tipo de evento representou 41% dos decretos municipais (CNM, 2024). Para além do semiárido, secas severas têm atingido a Amazônia com efeitos sobre níveis fluviais historicamente baixos, paralisando navegação, comprometendo abastecimento e afetando a saúde pública (Agência Pública, 2024a). Apesar da frequência relativa mais baixa, a região Norte concentra 56% da morbidade nacional associada a esse tipo de desastre (Freitas et al., 2014), combinação crítica de exposição, barreiras de acesso a serviços e baixa capacidade de resposta.

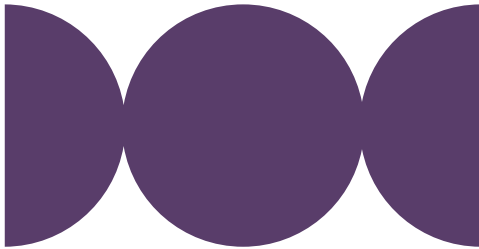
Chuvas intensas, enchentes e inundações se consolidaram como ameaça significativa nas regiões Sudeste e Sul (Brasil, 2022; CNM, 2024). Corresponderam a 29% das decretações municipais entre 2013 e 2023 e, em 2024, até maio, passaram a representar 55,6% dos decretos (CNM, 2024), indicando uma virada recente no padrão de emergência municipal. **Eventos hidrológicos apresentam as maiores médias de morbidade e de pessoas expostas no país** (Freitas et. al., 2014), e desde 2019 aproximadamente 40% das cidades brasileiras decretaram estado de emergência por tempestades ou inundações (Tavares; Buono, s. d.). Esses eventos tendem a produzir colapsos em série, interrompendo vias de acesso, dificultando o deslocamento de equipes técnicas e restringindo a manutenção emergencial de redes e serviços essenciais. Também se articulam, de forma recorrente, com movimentos de massa, como deslizamentos e corridas de lama (Brasil, 2022). **Estes fenômenos incidem de forma aguda sobre populações em áreas de risco frequentemente associadas à ausência de planejamento urbano e a processos de ocupação desigual do território** (O Tempo, s. d.). Do ponto de vista da infraestrutura, esses eventos combinam **destruição e impedimento**, visto que podem soterrar dutos, interromper rotas de cabos ópticos e inviabilizar o acesso a torres e instalações críticas, prolongando indisponibilidades pela dificuldade material de chegada e reparo.

Vendavais, ciclones extratropicais e episódios de granizo completam o quadro pela via energética, com recorrência concentrada no Sul (Brasil, 2022). Eventos severos como o ciclone ocorrido no Rio Grande do Sul em junho de 2023 produziram vítimas fatais e danos estruturais importantes (G1; RBS TV, 2023). Aqui, o efeito mais sensível para as dinâmicas comunicacionais ocorre indiretamente, via infraestrutura energética, uma vez que a queda prolongada de energia compromete estações rádio base, roteadores, pontos de concentração de rede e centros de dados, ampliando a vulnerabilidade dos sistemas de telecomunicações sobretudo quando inexistem alternativas energéticas autônomas ou redundância operacional⁶.

Incêndios florestais e de vegetação, por sua vez, correspondem a 5% dos decretos municipais entre 2013 e 2023 (Pivetta, 2016) e estão associados tanto a períodos de seca severa na Amazônia (Agência Pública, 2024a) quanto a queimadas no Cerrado e no Pantanal (BBC News Brasil, 2021).



⁶ Em infraestruturas de telecomunicações, redundância operacional diz respeito à presença de fontes alternativas de energia, equipamentos sobressalentes ou múltiplos caminhos de rede que permitem a continuidade dos serviços em situações de falha ou interrupção.



Em contextos de fragilidade institucional, comunidades indígenas, como a do povo Ka'apor no Maranhão, enfrentam incêndios com recursos extremamente precários (The Intercept Brasil, 2024a). No campo digital, os incêndios podem danificar cabos, torres e equipamentos expostos, especialmente em áreas rurais e de interface urbano-rural, onde a rede já opera com baixa redundância e longas distâncias de manutenção. Por fim, ondas de calor emergem como ameaça crescente (Pivetta, 2016), ainda que menos associadas a colapsos súbitos de infraestrutura, seus impactos indiretos são relevantes, pois ampliam a probabilidade e a severidade de incêndios, aumentam a pressão sobre sistemas energéticos e podem comprometer equipamentos sensíveis a altas temperaturas.

O traço comum a esses tipos distintos de evento é que, quando atingem energia, transporte e telecomunicações, reorganizam imediatamente a capacidade de resposta e coordenação (Valporto, 2024). A comunicação se torna, nesses momentos, uma camada operacional de proteção e cuidado e sua indisponibilidade fragmenta fluxos de informação e inviabiliza acionamentos emergenciais. **A capacidade de manter conectividade mínima passa a ser, portanto, uma condição essencial para resposta institucional e comunitária em contextos de crise.** As entrevistas conduzidas pela equipe do Tridecs detalham como esses encadeamentos operam na prática.

No caso das enchentes gaúchas de 2024, “a interdependência entre infraestrutura energética e de telecomunicações” aparece como mecanismo operacional do colapso. Na formulação trazida pela Associação InternetSul, a falha combina ruptura de rotas físicas de fibra, danos a dutos e postes, impossibilidade de deslocamento para manutenção e, sobretudo, interrupção prolongada de energia. Quando a energia cai, as estações rádio base deixam de operar; quando o *backhaul*⁷ é rompido, mesmo estruturas ainda energizadas permanecem “de pé e sem voz”, na palavra de um dos interlocutores da Associação, incapazes de escoar tráfego por estarem desconectadas do núcleo da rede.

O rompimento físico, o apagão elétrico e o bloqueio logístico se sobrepõem e produzem falha simultânea das camadas que sustentam a conectividade. A Gerência Regional da Anatel reforçou o diagnóstico ao destacar que o que permanece de pé não é necessariamente o que permanece funcional. Redes com redundância geográfica de rotas e alternativas energéticas mantiveram operação degradada; onde havia rota de fibra única ou corredor físico único, a interrupção foi total. Destacaram ainda que, no auge da crise, entre 10 e 15 municípios chegaram a ficar completamente incomunicáveis. Medidas emergenciais como a abertura de *roaming*⁸ contribuíram para reduzir o número de localidades isoladas, mas não resolveram a situação onde energia e transporte haviam desaparecido por completo. A própria rede de cobre responsável por números de emergência colapsou, exigindo redirecionamento para centrais ainda operacionais, exemplo de como falhas em estruturas legadas tendem a aparecer em crise justamente quando o uso de serviços críticos se intensifica.

⁷ *Backhaul* é o nome dado aos canais de ligação entre a espinha dorsal (*backbone*) da Internet e as redes periféricas ou usuários finais.

⁸ Nome dado à função que permite o uso do celular fora da área de cobertura da sua operadora contratada. Ou seja, as operadoras cujas torres não haviam sido destruídas foram orientadas a liberar o sinal para clientes de outras operadoras.

No Maranhão, a fragilidade comunicacional assume contornos distintos. A Defesa Civil estadual apontou que falhas extensas de cobertura de telefonia e Internet em áreas rurais dificultam o acionamento de emergência pela população e a comunicação entre bases operacionais e equipes em campo. Embora a corporação utilize rádios e celulares e contrate operadoras conforme melhor cobertura local, a limitação territorial produz "zonas de silêncio" que atrasam deslocamentos e restringem a coordenação. Incêndios associados à estiagem geram consequências em série: a Defesa Civil do Maranhão relatou, por exemplo, o caso de um incêndio que ocorreu em Campos de Perizes (MA), onde não foi possível enviar equipes rapidamente e resultou no excesso de fumaça contribuindo para um acidente grave na BR-135 envolvendo 14 veículos. O exemplo mostra como eventos ambientais produzem riscos que extrapolam o evento em si, afetando circulação e logística de resposta.

A Sala de Situação da SEMA opera com capacidade técnica de monitoramento e alerta rápido para fogo e eventos hídricos, com detecção por satélite e acionamento direto de órgãos responsáveis, além de triagem de risco com base em sensoriamento remoto e registros como o Cadastro Ambiental Rural (CAR). No entanto, o sistema de alerta funciona no modelo "instituição-instituição", ou seja, não atende diretamente a população, de modo que as populações dependem das autoridades e instituições locais e municipais. **Tecnologia de detecção, como evidencia o caso, antecede e não supre a necessidade de canais acessíveis de alerta e resposta em campo.**

Essa abordagem de resiliência sistêmica considera simultaneamente a interdependência entre energia, transporte e telecomunicações, as assimetrias regionais de cobertura e redundância e a capacidade institucional de transformar informação técnica em ação territorial. Por isso, as soluções devem dialogar com as práticas comunicacionais já existentes nos territórios, reconhecendo que, em muitos contextos, a comunicação comunitária funciona como organização local, como alternativa ou somando-se à coordenação estatal e que qualquer arranjo tecnológico que se proponha a apoiar respostas rápidas precisa compreender essa realidade.



COMO AS COMUNIDADES SÃO IMPACTADAS

Na seção anterior, a infraestrutura de comunicação foi analisada como infraestrutura crítica, com foco nas dimensões técnica, energética e regulatória de seus processos de colapso. Nesta seção, **o olhar se volta para os fluxos comunicacionais nos territórios e sua influência sobre a capacidade de resposta rápida**. As interlocuções realizadas pela equipe Tridecs ajudam a compreender essas dinâmicas.

Nas entrevistas realizadas no Maranhão e no Rio Grande do Sul, a comunicação aparece como uma das primeiras condições de sobrevivência, partindo da compreensão de que é ela que permite acionar ajuda, organizar cuidado, reduzir danos e sustentar a resposta coletiva. Quando ela falha, o desastre se agrava e o que se coloca em questão é a **capacidade de preservar um nível mínimo de coordenação do cuidado e do socorro**.

No Rio Grande do Sul, esse colapso aparece com força nos relatos da Central Única das Favelas (CUFA) e do Movimento dos Trabalhadores Sem-Teto (MTST), segundo os quais bairros inteiros perderam simultaneamente acesso à Internet e à telefonia, fazendo com que pedidos de resgate deixassem de circular e que a comunidade passasse a depender de deslocamentos físicos até pontos com sinal, deslocamentos realizados justamente quando o território estava alagado, com aumento direto da exposição ao risco. No Maranhão, a Defesa Civil estadual relata que a possibilidade de acionar 193 ou 199 depende de ter sinal e onde não há cobertura restam alternativas como deslocamento físico até quartéis. Em ambos os contextos, a comunicação volta a depender de presença física justamente quando isso é inseguro ou inviável.

A comunicação cumpre, além disso, funções que vão muito além do alerta sobre o evento extremo. Nos territórios quilombolas do Maranhão, **grupos de WhatsApp operam como rede informal de vigilância territorial e mobilização, espaço onde se compartilham evidências, se sinalizam riscos e se constroem estratégias coletivas**. Mas o mesmo uso revela seus limites: muitas denúncias não geram retorno e a comunidade não consegue acompanhar o que acontece depois que o alerta é emitido. Em outras palavras, **a informação circula, mas não necessariamente produz resposta**. Em entrevista, o Movimento Interestadual das Quebradeiras de Coco Babaçu (MIQCB) explicita a dimensão adicional de que comunidades se sentem mais à vontade para notificar fogo, porque é um pedido de ajuda, do que para denunciar desmatamento, que exige atribuição direta de responsabilidade e pode aumentar o risco pessoal de lideranças. Sem mediação organizacional, muitas comunidades não conseguem registrar denúncias, acompanhar o que foi feito diante delas ou obter retorno da Secretaria Estadual. **A comunicação se torna, assim, campo de disputa por legitimidade e reconhecimento, definindo quem consegue ser ouvido e, simultaneamente, mecanismo de proteção política e pessoal, já que comunicar é também expor-se**.

A literatura confirma que essas **assimetrias comunicacionais se inscrevem em dinâmicas estruturais mais amplas, ligadas à distribuição desigual de riscos**. Em 2024, comunidades quilombolas e povos de terreiro no Rio Grande do Sul e na Região Metropolitana de Porto Alegre enfrentaram perdas totais de moradias, isolamento e ausência de infraestrutura, com danos manifestos de forma aguda em áreas de alta concentração de pessoas negras e de baixa renda (Anistia Internacional, 2025). Bairros periféricos de São Paulo registram mais ocorrências de alagamentos e deslizamentos do que áreas mais bem servidas pela infraestrutura urbana (Muniz; Santino, 2024). Entre 2000 e 2018, cerca de 6,4 milhões de brasileiros ficaram desabrigados ou desalojados em função de desastres climáticos (Estarque, 2018). Na Amazônia, comunidades indígenas como a do povo Ka'apor, no Maranhão, combatem incêndios com recursos improvisados, sem equipamentos de segurança adequados (Guimarães; Dias, 2024). O aumento da temperatura e o fenômeno das "ilhas de calor" são mais intensos em periferias, com efeitos significativos sobre crianças e idosos (Bezerra, 2023).

Comunidades localizadas em áreas de risco, com infraestrutura precária e baixa presença estatal, tendem a enfrentar, dessa forma, maior exposição ao evento climático e menor capacidade de acessar informação, acionar ajuda e acompanhar respostas institucionais.

A tabela abaixo organiza os principais tipos de impacto identificados, suas manifestações e as consequências comunitárias correspondentes.

TIPO DE IMPACTO	MANIFESTAÇÃO RELATADA	DETALHE NAS ENTREVISTAS	CONSEQUÊNCIAS PARA A COMUNIDADE
Impacto operacional	Impossibilidade de acionar socorro (193/100), perda de contato com equipes de resgate, interrupção de chamadas emergenciais	Defesa Civil do Maranhão relatou que o acionamento depende de cobertura; Anatel-RS mencionou localidades totalmente incomunicáveis; CUFA e MTST relataram perda simultânea de internet e telefonia	Atraso no resgate, aumento da exposição ao risco, maior probabilidade de agravamento de danos
Impacto logístico e de coordenação	Dificuldade de mapear necessidades, organizar distribuição de insumos e articular voluntários	CUFA e MTST relataram necessidade de deslocamento físico para retransmitir informações; RAMA/Agro é Fogo destacou mobilização via grupos locais	Desorganização da resposta, duplicidade ou ausência de ajuda, aumento da vulnerabilidade de grupos isolados
Impacto territorial	Áreas inteiras sem sinal ou cobertura crônica insuficiente	Defesa Civil do Maranhão descreveu “zonas sem cobertura”; Anatel-RS relatou municípios totalmente incomunicáveis	Isolamento informacional, invisibilidade institucional, maior tempo de resposta
Impacto informacional-institucional	Ausência de retorno sobre denúncias, opacidade de encaminhamentos, dificuldade de rastrear providências	CONAQ relatou circulação de denúncias sem resposta; MIQCB apontou necessidade de mediação organizacional para obter retorno da Secretaria	Sensação de abandono, descrédito institucional, fragilização do controle social
Impacto político e de proteção	Medo de denunciar desmatamento ou conflitos fundiários, exposição de lideranças	CONAQ e MIQCB relataram riscos associados à atribuição de responsabilidade; denúncias podem aumentar vulnerabilidade pessoal	Autocensura, subnotificação de ilícitos ambientais, ampliação de conflitos
Impacto estrutural pré-existente	Cobertura limitada como condição permanente, dependência de deslocamento físico para comunicação	Defesa Civil do Maranhão apontou limitações territoriais crônicas	Capacidade de resposta já rebaixada antes mesmo do evento
Impacto psicossocial	Sensação de isolamento, incerteza, insegurança informacional	Relatos de isolamento no RS e ausência de retorno no MA	Aumento da ansiedade coletiva, erosão de confiança nas instituições

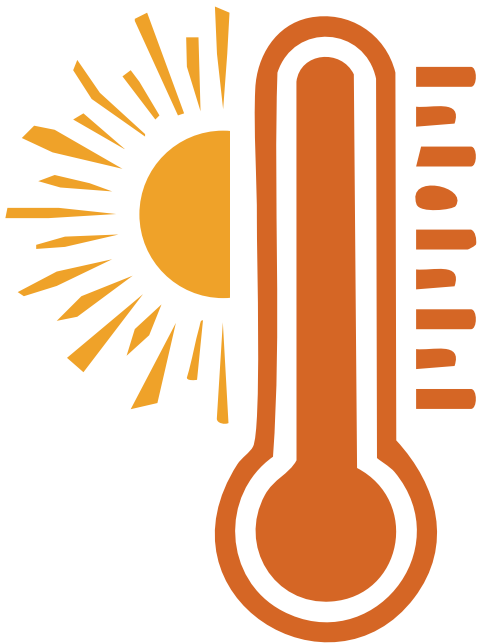
Fonte: Elaboração própria a partir da sistematização dos dados produzidos no âmbito do projeto.

A leitura conjunta da tipologia evidencia que **a comunicação, em desastres climáticos, funciona como condição operacional de socorro, como instrumento de coordenação comunitária, como mecanismo de denúncia e controle social, e como dispositivo de proteção política**. Cada uma dessas funções pode falhar de forma distinta, e cada falha produz consequências específicas para a comunidade afetada. Distinguir as categorias de falhas e impactos listadas acima nos permite combiná-las para avaliar quais tecnologias melhor se aplicam a cada situação - levando em consideração aspectos técnicos, de preço, de facilidade de adoção e também incorporando os fluxos institucionais (formais ou informais) já existentes, além das capacidades de certas tecnologias para operar sob diferentes regimes de vulnerabilidade.

DESAFIOS E FLUXOS DE RESPOSTA RÁPIDA

Mapeados os impactos comunicacionais, o passo seguinte foi examinar o que acontece entre o momento em que o evento extremo é detectado e o momento em que alguma forma de apoio chega ao território. Para isso, interessa destacar aqui os **fluxos de resposta rápida**, em outras palavras, os **caminhos pelos quais o alerta se converte em ação**, sob a pergunta de como a resposta efetivamente acontece quando os sistemas que deveriam sustentá-la entram em degradação simultânea. As entrevistas no Maranhão e no Rio Grande do Sul mostram que esses fluxos raramente funcionam de forma linear e que sua eficácia depende menos da sofisticação técnica de cada componente isolado e mais da **capacidade do conjunto de permanecer acoplado sob condições de degradação**.

Os dois territórios expressam configurações distintas do mesmo problema. No Maranhão, a arquitetura formal se estrutura na articulação entre Defesa Civil, Corpo de Bombeiros e Secretaria do Meio Ambiente (SEMA), tendo como núcleo técnico a Sala de Situação do Centro de Prevenção de Desastres Ambientais. Criada em 2012 com foco restrito ao monitoramento hidrológico, a Sala passou desde 2019 por um processo de fortalecimento que ampliou sua equipe, meteorologistas, geógrafos, engenheiros ambientais, agrônomos, oceanógrafos e engenheiros civis e a transformou em núcleo de inteligência geográfica voltado à prevenção de desastres. O monitoramento é contínuo e cobre vazões de rios, segurança hídrica, focos de calor, desmatamento e condições meteorológicas.



A capacidade técnica no que se refere ao fogo é significativa, visto que o sistema identifica focos em até dez minutos após o surgimento e os qualifica a partir de temperatura da superfície (a partir de 47 °C), padrão geométrico da queima, sobreposição com dados do Cadastro Ambiental Rural (CAR) e eventual autorização de queima controlada, buscando distinguir manejo tradicional do fogo, como roça de toco e coivara controlada, de incêndios descontrolados ou eventos ligados a desmatamento irregular. Após qualificação, o acionamento dos órgãos competentes segue um fluxo formal definido, com possibilidade de escalonamento administrativo até o gabinete do governador. Paralelamente, a Defesa Civil executa anualmente a Operação Maranhão Sem Queimadas (entre 1º de julho a 15 de novembro), combinando ações educativas, formação de brigadistas e doação de equipamentos básicos de combate ao fogo.

O alerta é imediato. A conversão em apoio esbarra, porém, na extensão geográfica do estado, na precariedade da cobertura de telefonia e Internet em áreas rurais, na ausência de sedes fixas do Corpo de Bombeiros em muitas localidades e na **opacidade pública sobre encaminhamento de denúncias**. O caso de Poção de Pedras — onde o Corpo de Bombeiros mais próximo estava atendendo outra ocorrência enquanto o fogo destruía metade de uma reserva preservada por trinta anos por um agricultor — e o relato da comunidade de Cocalinho, onde incêndios que duraram vários dias foram combatidos pela própria população enquanto os bombeiros chegaram quando “já tinha devastado tudo”, segundo um entrevistado, ilustram os descompassos entre a intensidade dos eventos e a capacidade de resposta institucional.

O alerta é imediato. A conversão em apoio esbarra, porém, na extensão geográfica do estado, na precariedade da cobertura de telefonia e Internet em áreas rurais, na ausência de sedes fixas do Corpo de Bombeiros em muitas localidades e na **opacidade pública sobre encaminhamento de denúncias**. O caso de Poção de Pedras — onde o Corpo de Bombeiros mais próximo estava atendendo outra ocorrência enquanto o fogo destruía metade de uma reserva preservada por trinta anos por um agricultor — e o relato da comunidade de Cocalinho, onde incêndios que duraram vários dias foram combatidos pela própria população enquanto os bombeiros chegaram quando “já tinha devastado tudo”, segundo um entrevistado, ilustram os descompassos entre a intensidade dos eventos e a capacidade de resposta institucional.

As entrevistas também apontam dificuldades relacionadas à transparência e à responsabilização das queimadas autorizadas. Enquanto o poder público argumenta que grandes proprietários são mais facilmente responsabilizados por solicitarem autorizações formais, organizações como Conaq e MIQCB questionam os critérios de concessão e relatam ausência de fiscalização adequada. Os entrevistados também mencionam dificuldades para acessar informações junto à Secretaria Estadual de Meio Ambiente sobre autorizações emitidas e responsabilizações aplicadas, inclusive por meio de solicitações apoiadas por assessorias jurídicas dos movimentos sociais.

A **dimensão fundiária do fogo é um elemento que tensiona ainda mais o cenário**. Em muitos territórios tradicionais, o **incêndio é instrumento de disputa territorial**, ligado a grilagem, supressão de vegetação em áreas sensíveis ou situações em que as legislações como as Leis do Babaçu Livre⁹ não são aplicadas com efetividade nos licenciamentos provocam falta de confiança nos fluxos formais existentes. A inteligência técnica do monitoramento avança e se fortalece, mas a territorialização da resposta permanece desigual.

No Rio Grande do Sul, a dinâmica é outra. As enchentes de setembro de 2023 e, sobretudo de maio de 2024, configuraram um **colapso multissistêmico em que infraestrutura, coordenação, logística e capacidade comunicacional foram tensionadas ao mesmo tempo**. A entrevista com o pesquisador Victor Marchezini oferece uma chave conceitual para ler o caso: não se trata de “desastres climáticos”, mas de **desastres socioambientais, produzidos historicamente por modelos de desenvolvimento que acumulam vulnerabilidades no território**. A chuva intensa é, desta forma, o gatilho que expõe fragilidades pré-existentes, como ocupações em áreas suscetíveis, supressão de vegetação ciliar, impermeabilização urbana, ausência de planejamento de risco. Deslizamentos na Serra Gaúcha aceleraram o assoreamento dos rios e, conseqüentemente, destruíram corredores físicos de fibra óptica que utilizavam trilhos ferroviários e pontes, comprometendo os traçados de backhaul historicamente seguros. Energia, fibra e logística colapsaram em camadas quase simultâneas, e entre 10 e 15 municípios chegaram a ficar completamente incomunicáveis no pico da crise, em situações classificadas como “terra arrasada”.



⁹ A Lei Babaçu Livre, construída a partir da mobilização das quebradeiras de coco babaçu, busca proteger os babaçuais e garantir direitos de acesso, uso sustentável e reconhecimento territorial das comunidades tradicionais. Atualmente existem 3 leis estaduais (Piauí, Tocantins e Maranhão, este último a lei se aplica apenas em terras públicas), e 18 municipais, sendo 04 no Tocantins, 02 no Pará e 12 no Maranhão. Disponível em: <https://miqcb.org.br/babacu-livre/>

Partindo deste cenário, como citado brevemente anteriormente, a Anatel determinou a abertura de *roaming* entre operadoras, e estações satelitais da Telebrás e da Starlink foram deslocadas para restabelecer conectividade institucional das Defesas Civas. A solução permitiu o restabelecimento da conectividade, mas produziu uma assimetria importante: o acesso institucional foi retomado antes do acesso da população. Enquanto órgãos públicos conseguiram voltar a operar por meio de conexões via satélite, populações rurais e periféricas permaneciam desconectadas, sem acesso à comunicação e à Internet, devido aos altos custos e à ausência de infraestrutura disponível em suas residências e territórios.

Foi nesse vácuo que os radioamadores emergiram como última instância, com mais de quatro mil pedidos de socorro retransmitidos por radiofrequência nos primeiros dias da crise, em uma mobilização que surgiu inicialmente de forma espontânea, a partir da ação voluntária dos operadores, e que posteriormente passou a ser considerada como uma camada formal de contingência nas respostas a emergências.

Em municípios como Muçum, rádios HT conectados a repetidoras foram o único meio plenamente funcional, coordenando frentes de limpeza, comboios de voluntários e distribuição de insumos. Há divergência interna entre os interlocutores entrevistados sobre o alcance do rádio, na qual parte defende sua integração formal ao Sistema de Comando de Incidentes, enquanto outros relativizam seu papel para comunicação massiva, dado que rádios VHF/UHF não escalam para centenas de milhares de usuários simultâneos.

A tabela a seguir sistematiza os principais arranjos observados nas entrevistas e suas condições de ativação:

TIPO DE FLUXO	COMO SE ORGANIZA	VELOCIDADE TÍPICA	DEPENDÊNCIA INSTITUCIONAL	CONDIÇÕES DE ATIVAÇÃO	RESULTADO TÍPICO
Fluxo institucional formal	Deteção/alerta técnico -> acionamento (193/299/Defesa Civil) -> mobilização de equipes -> atendimento	Média e instável	Alta	Funciona melhor quando há energia, conectividade mínima e capacidade operacional local	Resposta técnica mais segura, mais sujeita a atrasos e à priorização
Fluxo de comando institucional sob contingência	Colapso de redes -> medidas excepcionais (ex.: <i>roaming</i>) + conectividade institucional -> retomada parcial de coordenação	Média - ganha tração após estabilização	Alta	Depende de decisões regulatórias, logística de equipamentos e pontos de conexão para órgãos	Reativa a governança, mas tende a restabelecer primeiro a conectividade dos órgãos, deixando a população em “zona de sombra”
Fluxo comunitário autônomo de contenção	Identificação local (visual/rumor) -> registro (foto/vídeo) -> WhatsApp/rede de vizinhança -> mobilização -> ação direta (balde/abafador /ferramentas	Alta	Baixa	Surge onde o Estado não chega a tempo ou não há comunicação para acionar serviços	Contenção parcial e salvamento local, com alto risco físico, desgaste e respostas desiguais
Fluxo comunitário de socorro mediado por rádio	Colapso total (sem energia/Internet) -> rádio (HT/repetidoras/ radioamadores) -> retransmissão de pedidos -> coordenação emergencial	Alta	Média - precisa acoplamento com Defesa Civil/estrutura de comando	Ativa-se quando redes digitais falham; depende de operadores e protocolos (muitas vezes improvisados)	Recria um “mínimo comunicacional” e viabiliza resgates, mas tem limitações de escala para comunicação massiva

TIPO DE FLUXO	COMO SE ORGANIZA	VELOCIDADE TÍPICA	DEPENDÊNCIA INSTITUCIONAL	CONDIÇÕES DE ATIVAÇÃO	RESULTADO TÍPICO
Fluxo mediado por organizações (ponte Estado - território)	Comunidade -> liderança/ONG/ movimento -> consolidação de demandas -> articulação com Estado/orgãos/ empresas	Lenta a média	Alta	Cresce quando há confiança nas organizações e quando o canal público é opaco ou inacessível	Ajuda a “fazer a demanda existir” institucionalmente, mas enfrente baixo retorno, burocracia e assimetrias de poder
Fluxo logístico-operacional paralelo (sociedade civil organizada)	Colapso/insuficiência estatal -> estruturação própria (cozinhas, triagens, hubs) -> coordenação por WhatsApp + presença física -> distribuição	Alta a média	Baixa a média	Ativa-se em eventos de larga escala; depende de redes, voluntariado e capacidade de gestão	Expande alcance e velocidade no território, mas sofre com bloqueios burocráticos, falta de informação oficial e limites de coordenação
Fluxo de responsabilidade e controle social	Denúncia -> tentativa de rastreio administrativo -> (quadro avança) MP/procedimentos -> investigação	Lenta	Alta	Fortemente condicionado por transparência de dados, registro público e vontade institucional	Responsabilização rara e tardia; útil para disputa política e evidência, pouco efetivo como resposta imediata
Fluxo híbrido adaptativo (arranjo emergente desejável)	Monitoramento técnico + comunicação resiliente (rádio/satélite/alternativas) + brigadas comunitárias + protocolos de acoplamento do Estado	Alta a média	Média - compartilhada	Depende de preparação prévia, treinamento, governança clara e infraestrutura mínima distribuída	Maior efetividade territorial: transforma alerta em ação, reduz risco comunitário e evita “conectividade só para instituições”

Fonte: Elaboração própria a partir da sistematização dos dados produzidos no âmbito do projeto.

A tipologia explicita que **o cenário de desastre é marcado por fluxos com racionalidades distintas. O fluxo institucional formal tende a ser mais seguro, porém sensível a falhas de infraestrutura. Os fluxos comunitários são, na prática, os primeiros a produzir ação sob colapso, mas operam com custo humano alto, risco físico elevado e resultados desiguais** conforme a consistência organizativa local. O **fluxo híbrido adaptativo** aparece como **horizonte desejável**, mas exige preparação prévia, protocolos definidos e reconhecimento das redes comunitárias e dos radioamadores como infraestrutura crítica. Isso reforça que o desenho de tecnologias e protocolos precisa antecipar o cenário em que ele já falhou e oferecer aos atores de apoio, resposta rápida e instrumentos que permitam sustentar a coordenação sob colapso.

TECNOLOGIAS ANALISADAS E ACHADOS DA FASE DE PREPAROS DE TESTES

Esta seção consolida os resultados do trabalho técnico de seleção, comparação e teste empírico de tecnologias de comunicação para resposta rápida a desastres climáticos. O ponto de partida é o argumento já desenvolvido nas seções anteriores de que a **resposta rápida só funciona quando seus elos críticos permanecem acoplados sob degradação** e de que a **comunicação opera como infraestrutura crítica nesse arranjo**. A pergunta operativa que orienta este tópico é, portanto: **quais tecnologias permitem sustentar coordenação mínima quando energia, *backhaul* e logística falham simultaneamente e como elas podem ser combinadas em uma arquitetura que dialogue com as práticas comunicacionais já existentes nos territórios?**

Isso implicou selecionar tecnologias que possam ser implementadas com rapidez independentemente da infraestrutura danificada, que sejam modulares para atender diferentes tipos de incidentes e que tenham sinergia para operarem de forma complementar a tecnologias já utilizadas por equipes de respostas. Três movimentos analíticos estruturam a seção. O primeiro descreve a arquitetura tecnológica concebida pelo projeto a partir de um *benchmarking*¹⁰ sistemático de mais de trinta soluções. O segundo apresenta os critérios técnicos que orientaram a seleção das tecnologias prioritárias. O terceiro consolida os achados da fase de testes propriamente dita, Wi-Fi, *mesh*, rádios HT e LoRa, e aponta o desenho previsto para a continuidade do trabalho no próximo ano do projeto.



¹⁰ Processo de comparação entre tecnologias ou práticas para identificar as mais adequadas. Exemplo: Avaliar soluções internacionais antes de aplicar no Brasil

TRÊS NÍVEIS FUNCIONAIS DA ARQUITETURA SOCIOTÉCNICA DA RESPOSTA

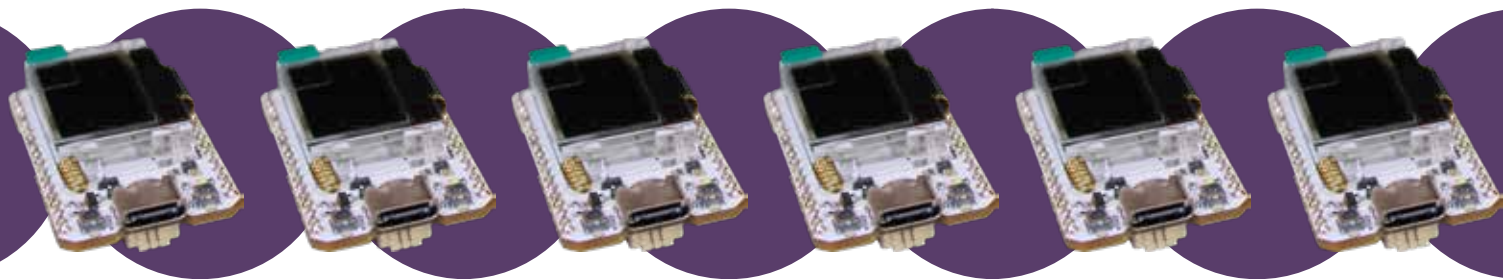
O *benchmarking* conduzido pelo Tridecs organizou em fichas técnicas padronizadas **mais de trinta tecnologias de comunicação aplicáveis a contextos de desastre**, distribuídas em cinco macrocategorias, sendo elas:

- wireless (em suas variantes WMN, MANET, FANET, VANET, SANET);
- rádio comunicadores portáteis;
- TV White Spaces;
- LoRa/LoRaWAN; e
- vsistemas satelitais.

A análise foi conduzida a partir dos nove critérios já descritos na metodologia, com incorporação de referências acadêmicas, relatórios técnicos, experiências documentadas em desastres internacionais (Haiti, Nepal, Filipinas, Japão, Estados Unidos) e casos brasileiros (Rio Grande do Sul, Pantanal, Amazônia), bem como análise das normas regulatórias vigentes em telecomunicações e proteção civil.

O exercício analítico permitiu reorganizar esse universo em três níveis funcionais que serão abordados na sequência: I) acesso local resiliente; II) redes distribuídas e reconstrução; III) *backbone* emergencial¹¹ e reconexão externa. Juntos, esse níveis compõem o que o projeto passou a tratar como uma **arquitetura sociotécnica estratificada de resposta**. As tecnologias descritas a seguir em cada um dos níveis configuram arranjos técnicos capazes de operar de forma autônoma em relação à infraestrutura tradicional, constituindo alternativas funcionais para cada um desses níveis. Em cenários de normalidade, esses níveis operam de forma integrada e muitas vezes invisível. Em cenários de crise, a falha em um desses níveis expõe a dependência dos demais e reorganiza a capacidade de coordenação territorial.

O nível de acesso local resiliente corresponde à capacidade de restabelecer uma estrutura de comunicação local. Foram observados um conjunto de tecnologias capazes de operar de forma independente de infraestrutura externa, garantindo coordenação mínima imediata em escala territorial mesmo sob ausência de energia comercial, indisponibilidade de operadoras e isolamento físico. Seu objetivo é preservar funções básicas, como alertas, compartilhamento de localização, confirmação de status, acionamento de equipes, organização inicial da resposta. **As tecnologias foram estruturadas em torno de dois princípios: baixo consumo energético e descentralização.**



¹¹ *Backbone* é uma rede principal de alta capacidade que conecta diferentes redes menores e transporta grandes volumes de dados. Ele funciona como uma espécie de “espinha dorsal” da infraestrutura de telecomunicações, conectando longas distâncias, podendo ligar continentes e/ou países. Em casos emergenciais funcionam como redes principais de transporte de dados durante crises, apoiando a recuperação da conectividade em áreas afetadas.

Aqui se encaixam dispositivos LoRa, como os que operam sob o sistema Meshtastic, rádios VHF/UHF, redes Wireless Mesh em configuração local. Cada nó funciona como dispositivo ativo e a ausência de um nó central reduz o risco de falha sistêmica, permitindo que a comunicação persista mesmo com perdas parciais de dispositivos na rede. A experiência gaúcha de 2024, já descrita em seções anteriores, evidenciou como rádios VHF/UHF sustentaram parte significativa da coordenação quando as redes digitais colapsaram.

O nível de redes distribuídas e reconstrução de zonas de conectividade refere-se à capacidade de restabelecer a comunicação em médias e longas distâncias, ampliando o alcance para além do núcleo local imediato. Trata-se de uma camada voltada à reconstrução da conectividade em áreas mais extensas, permitindo a interligação entre diferentes pontos, comunidades ou territórios que não poderiam ser atendidos por um único dispositivo ou tecnologia isolada.

Entre as alternativas para essa estruturação estão tecnologias como TV White Spaces (TVWS), que utiliza frequências ociosas do espectro televisivo e apresenta boa capacidade de propagação em áreas não urbanas, inclusive atravessando obstáculos mesmo sem linha direta de visada, embora dependa de regulamentação específica e envolva custos mais elevados de implementação. Também se incluem redes LoRaWAN, que permitem a comunicação entre dispositivos utilizando o protocolo LoRa em longas distâncias e baixo consumo energético, além de redes Wi-Fi com topologias híbridas, combinando enlaces ponto a ponto para conexões de longa distância e redes *mesh* para ampliar a cobertura em áreas mais densas, estratégia frequentemente utilizada em redes comunitárias estruturadas.

As **redes comunitárias** ocupam aqui uma **posição estratégica**. Quando já existem antes da ocorrência de um desastre e se sustentadas por processos de organização coletiva, podem funcionar como uma base para a reativação mais rápida da conectividade local, articulando soluções como redes mesh, rádio e diferentes pontos de acesso à Internet ou a outras infraestruturas já presentes no território — sejam elas comunitárias, públicas ou institucionais. Dessa forma, não operam apenas como infraestrutura técnica, mas também como estruturas de coordenação social e governança local. Além disso, tanto os equipamentos como as técnicas utilizadas para implementar redes comunitárias, com mobilização de atores locais, podem ser utilizados e empregados para a **implementação de alternativas de conectividade temporárias**.

O nível de *backbone* emergencial é responsável por reconectar territórios afetados a redes nacionais e globais, como, por exemplo, a outras pessoas com acesso ou diretamente à Internet. As tecnologias mapeadas incluem: i) satélites de órbita baixa (LEO), com menor latência¹², maior capacidade de dados e rápida implementação; ii) satélites geoestacionários (GEO), com ampla cobertura geográfica e amplamente utilizados em soluções VSAT e de uso doméstico e público, mas que normalmente tem maior consumo energético e maior complexidade de ativação; iii) soluções de Rádio sobre IP (RoIP) e iv) a tecnologia emergente *Direct-to-Cell* via satélite, ainda em consolidação, que permite que celulares convencionais se conectem diretamente a satélites, reduzindo potencialmente a necessidade de equipamentos intermediários.

A inclusão do satélite no escopo do projeto se justifica por três fatores: a independência da infraestrutura terrestre danificada, a capacidade de restabelecer comunicação externa rapidamente e a possibilidade de integração como *backhaul* para redes locais descentralizadas. O caso gaúcho, já documentado também em seções anteriores, mostrou que esse nível tende a produzir uma assimetria importante na sua mobilização, restabelecendo primeiro a conectividade institucional e deixando populações cidadãos em zona de sombra.

¹² Latência é o tempo que uma informação leva para sair de um ponto e chegar a outro em uma rede, funcionando como um indicador do atraso na comunicação.

Esses três níveis se estruturam sobre a infraestrutura de telecomunicações, entendida aqui em sentido amplo, incluindo não apenas a infraestrutura física de transporte de dados — como fibra óptica, cabos, torres, centrais de comutação e rotas de *backhaul* — mas também componentes essenciais para o funcionamento dos sistemas de comunicação, como redes móveis, espectro radioelétrico, sistemas de sinalização, equipamentos ativos e plataformas de controle e gerenciamento. O funcionamento dessa estrutura em cenários de desastre depende da operação simultânea de múltiplos elementos, entre eles o fornecimento contínuo de energia, a integridade físicos equipamentos e enlaces, a disponibilidade das rotas de interconexão e a manutenção dos sistemas de coordenação da rede.

Em contextos de eventos extremos, fatores como a concentração da infraestrutura em pontos específicos, a dependência energética e a exposição física a enchentes, incêndios e deslizamentos tornam essa base estruturalmente vulnerável. A análise apresentada nesta seção aponta que depender exclusivamente dessa infraestrutura centralizada, sem mecanismos de redundância ou alternativas às falhas, limita a capacidade de resposta rápida diante de cenários de degradação severa. **A resiliência passa, portanto, pela articulação entre a infraestrutura convencional e camadas complementares capazes de manter fluxos mínimos de comunicação quando os sistemas principais falham.**



CRITÉRIOS TÉCNICOS PARA ESCOLHA E COMBINAÇÃO DE TECNOLOGIAS

A definição de quais tecnologias o projeto efetivamente testaria foi orientada por um conjunto de critérios estruturais, derivados do *benchmarking*, estudos técnicos e refinados em diálogo com os achados das entrevistas.

O primeiro critério é a **robustez sob falha elétrica**. Em grande parte dos eventos extremos analisados, a interrupção do fornecimento de energia precede ou acompanha a falha de conectividade. Tecnologias que exigem alimentação contínua, sistemas de resfriamento ou infraestrutura elétrica complexa ficam rapidamente inoperantes em cenários de colapso abrupto. Soluções de baixo consumo, com possibilidade de operação via baterias, painéis solares ou sistemas portáteis, operação em regime *off-grid*¹³, passam a constituir um requisito crítico.

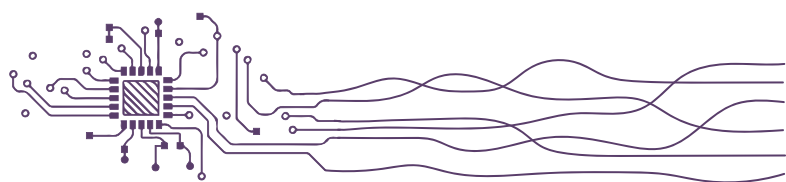
O segundo critério é a **independência de infraestrutura centralizada**. Tecnologias cuja operação depende de torres, data centers ou estações de comutação¹⁴ concentram risco em poucos pontos. Em contextos de enchentes, incêndios ou deslizamentos, a destruição física de um único nó pode interromper vastas áreas. Soluções descentralizadas, com topologia distribuída ou capacidade de auto-organização, apresentam maior tolerância a falhas.

O terceiro critério é o **alcance geográfico**. Desastres como incêndios florestais e secas prolongadas atingem áreas extensas de baixa densidade populacional, onde a cobertura convencional já é limitada, tecnologias como LoRa, TVWS ou satélites são mais adequadas a esses contextos. Em áreas urbanas densas, a prioridade pode recair sobre redes *mesh* capazes de redistribuir conectividade localmente mesmo com danos parciais.

O quarto critério é a **relação entre latência, capacidade de transmissão e criticidade da informação**. Operações que envolvem apenas alertas curtos, coordenadas geográficas ou confirmações de status podem operar com baixa largura de banda, enquanto transmissão de imagens, vídeos de avaliação de danos ou acesso remoto a bases de dados exige maior capacidade.

O quinto critério é a **complexidade operacional**. Tecnologias que exigem instalação sofisticada, alinhamento técnico especializado ou manutenção constante podem ser inviáveis em territórios com baixa disponibilidade de pessoal técnico. O *benchmarking* mostrou que muitas soluções altamente robustas em termos técnicos falham quando analisadas sob a perspectiva de governança local. A curva de aprendizado, a necessidade de certificações específicas e a disponibilidade de suporte técnico fazem parte da equação.

O sexto critério é o **custo inicial e de manutenção**. Soluções satelitais oferecem independência de infraestrutura terrestre, mas apresentam custos recorrentes elevados e dependência de contratos com provedores privados; tecnologias de rádio ou LoRa apresentam menor custo unitário, mas podem exigir investimento em treinamento e organização comunitária.



¹³ Sistema que funciona sem rede elétrica convencional. Exemplo: Equipamentos alimentados por energia solar.

¹⁴ Estações de comutação são estruturas responsáveis por encaminhar e gerenciar o tráfego de voz e dados entre diferentes partes de uma rede de telecomunicações.

O sétimo critério é o **enquadramento regulatório**. Tecnologias que utilizam espectro licenciado ou demandam autorização formal de órgãos reguladores podem enfrentar barreiras institucionais que atrasam sua implementação em situações emergenciais. Soluções que operam em faixas de frequência do espectro de uso livre ou que possuem enquadramento regulatório consolidado tendem a ser mais rapidamente mobilizáveis.

O oitavo critério - talvez o mais significativo para o Tridecs - é a **interoperabilidade entre níveis**. Como entendido até aqui, **a resiliência decorre da capacidade de integrar diferentes tecnologias de comunicação em regime híbrido**. Combinar dispositivos com LoRa para alertas locais, rádios HT para coordenação de campo e satélite para comunicação externa ou diretamente como a Internet exemplifica essa lógica modular que um arranjo de tecnologias pode ter. Nesse sentido, tecnologias que operam em ecossistemas proprietários fechados limitam a flexibilidade da arquitetura.

O nono e último critério é a **capacidade de operação em regime híbrido dessas tecnologias**, atuando de forma integrada para viabilizar a consciência situacional sobre as áreas e comunidades afetadas por um desastre climático. O *benchmarking* confirmou o que as entrevistas já apontavam: **não existe solução única capaz de responder, com robustez, a todos os cenários de desastre**. Incêndios em áreas rurais, enchentes urbanas e deslizamentos impõem restrições operacionais distintas e **a escolha tecnológica é atravessada pelos dois regimes estruturais de vulnerabilidade já identificados ao longo deste relatório, ou seja, o colapso abrupto e a precariedade estrutural**. Em contextos de colapso abrupto, a prioridade é redundância e restabelecimento rápido da comunicação externa; em contextos de precariedade estrutural, o foco recai sobre ampliação de cobertura básica e fortalecimento de infraestruturas comunitárias.

A **aplicação sistemática desses nove critérios** conduziu o projeto à decisão de organizar a **resposta tecnológica em formato de kit modular**, capaz de combinar diferentes tecnologias conforme as características do cenário e o regime de falha observado, e à seleção de **quatro tecnologias para a fase de análise de viabilidade técnica**: Wi-Fi (em topologias estruturada e *mesh*), rádios HT, LoRa e TV White Spaces. Das quatro, três foram validadas para prosseguir para a fase de testes de implementação em campo. A quarta, TVWS, foi excluída por razões detalhadas adiante.



ACHADOS DA FASE DE AVALIAÇÃO E PRÉ-TESTES

Como já dito, a fase de avaliação do Ano I do projeto, realizada entre 2025 e 2026, teve como objetivo principal o contato técnico inicial com as tecnologias selecionadas, analisadas a partir dos três pilares mencionados na metodologia: acessibilidade, implementabilidade e usabilidade. A partir dessa seleção, foi analisada a **viabilidade técnica sob a ótica da resiliência**, priorizando equipamentos que operem de forma independente de infraestruturas preexistentes, possuam baixo consumo energético e apresentem mobilidade para transporte manual. Um detalhe operativo importante orientou a leitura dos possíveis resultados: a priorização de equipamentos operáveis em corrente contínua, com possibilidade de uso de controladores de tensão *step-up* e *step-down* para alimentação via baterias automotivas, *powerbanks* ou painéis solares em locais sem rede elétrica, princípio que se aplicou de forma transversal às três tecnologias validadas¹⁵.



¹⁵. Controladores de tensão *step-up* e *step-down* são dispositivos eletrônicos utilizados para ajustar a tensão elétrica fornecida por uma fonte de energia. O *step-up* aumenta a tensão de entrada, enquanto o *step-down* a reduz, permitindo compatibilizar baterias e outras fontes de energia com diferentes equipamentos. *Powerbanks* são baterias portáteis recarregáveis utilizadas para armazenar energia e alimentar ou recarregar dispositivos eletrônicos.

WI-FI (REDES ESTRUTURADAS E EM MALHA)

Neste estudo, foi considerado o **uso externo de dispositivos Wi-Fi como infraestrutura temporária de resposta tática, ampliando seu uso para além da conectividade doméstica e permitindo a criação rápida de “bolhas de conectividade” em áreas afetadas**. Para os testes, foram selecionados dispositivos profissionais de entrada da linha TP-Link EAP, disponíveis no mercado a custos relativamente acessíveis, com peso inferior a 500 g e suporte a alimentação via Power over Ethernet (PoE), características que favorecem sua mobilidade e implantação em campo.

Um fator técnico decisivo é a **adaptabilidade elétrica**. Embora normalmente sejam utilizados com fontes conectadas à rede elétrica convencional, esses equipamentos operam nativamente em corrente contínua, o que permite sua alimentação por diferentes fontes alternativas, como baterias de 5V, 9V, 12V ou 24V. Essa característica amplia sua autonomia operacional em cenários de interrupção elétrica, reduzindo a dependência de geradores em corrente alternada (AC).

Os equipamentos possuem proteção e resistência à entrada de poeira e a jatos de água de baixa pressão, antenas à prova d'água e operam de forma estável em temperaturas entre -30°C e 70°C, com capacidade de armazenamento em faixas ainda mais amplas (-40°C a 70°C). A instalação pode ser realizada de forma não convencional, utilizando lançadeiras, cordas ou sacos plásticos para posicionar os pontos de acesso em árvores, escombros ou estruturas improvisadas, uma abordagem adequada a cenários com mudanças rápidas na paisagem, em que a perda de *hardware* deve ser considerada parte do planejamento operacional. O impacto operacional mais relevante é a compatibilidade quase universal com dispositivos civis¹⁶, tendo por certo que qualquer computador portátil, *smartphone* ou *tablet* com rede Wi-Fi pode se conectar sem necessidade de *hardware* adicional, integrando rapidamente voluntários, profissionais e sistemas de apoio.



¹⁶. Dispositivos civis são equipamentos desenvolvidos para uso comercial, institucional ou cotidiano, distintos de tecnologias militares ou sistemas especializados de uso restrito.

RADIOCOMUNICAÇÃO (RÁDIOS HT)

A radiocomunicação representa a matriz de alta confiabilidade do projeto. Em zonas de silêncio tecnológico absoluto e em topografias acidentadas, onde não há cobertura de redes móveis ou Wi-Fi, o rádio HT¹⁷ permanece como camada primária de comunicação por voz, com propagação dependente de linha de visada, potência do transceptor e condições ambientais (relevo, vegetação, obstáculos físicos).

A análise organizou a tecnologia em três categorias que equilibram complexidade operacional, alcance e enquadramento regulatório: i) ISM/Walkie-talkie: equipamentos de baixa complexidade, com canais pré-definidos e pareamento simplificado, ideais para uso civil imediato em frequências não licenciadas, as mesmas utilizadas por Wi-Fi e Bluetooth; ii) PX, Faixa do Cidadão: maior complexidade, com função de scanner e seleção manual de frequências, permitindo interoperabilidade entre grupos de resposta distintos); e III) PY, Radioamadorismo: requer autorização específica para operação, mas oferece maior alcance, robustez e flexibilidade técnica, sendo adequado para operações estratégicas ou zonas de difícil cobertura.

A avaliação comparativa entre gerações de equipamentos, incluindo a transição da série ICOM 5U para a ICOM 9UV, revelou avanços relevantes para cenários de desastre, como certificação IP68 garantindo proteção contra imersão e poeira; funções como VOX (*hands-free*¹⁸) e lanternas integradas, que permitem comunicação durante salvamentos ou em condições adversas, incluindo ferimentos ou restrições físicas e baterias de troca rápida e recarga via USB. Testes de campo realizados em áreas de relevo acidentado na Serra do Rio Grande do Sul confirmaram alcances práticos em duas faixas, dado que rádios *walkie-talkie* operaram entre 50 e 700 metros, e rádios PX entre 500 metros e 1,5 km, dependendo das condições do terreno e da densidade da vegetação. Os resultados confirmaram **o rádio HT como camada de voz fundamental para operações de emergência, garantindo comunicação direta entre equipes e centros de comando mesmo em locais isolados ou inacessíveis a outras tecnologias.**

¹⁷ Rádio portátil usado para comunicação direta.

¹⁸ *Hands-free* é um acessório que permite operar equipamentos de comunicação, como rádios, utilizando fones e microfones acoplados, mantendo as mãos livres para outras atividades.

PROTOCOLO LORA E SISTEMA MESHTASTIC

O **LoRa (Long Range)** representa a matriz de inovação do **Tridecs**, aplicando protocolos de Internet das Coisas (IoT)¹⁹ para transmissão de mensagens de texto e telemetria²⁰ em cenários que exigem baixo consumo energético e operação *off-grid*. Foram avaliados módulos de diferentes fabricantes, como LilyGo (T-Echo, T-Beam, T-Deck), Seeed Studio (SenseCAP T1000) e Heltec. Enquanto os dois primeiros oferecem produtos finalizados e voltados ao usuário final, o terceiro é utilizado principalmente em configurações de prototipagem, com portas GPIO (*General-Purpose Input/Output*) e interfaces seriais expostas, permitindo observação direta do funcionamento do hardware e integração com sensores externos de temperatura, água e GPS.

Todos os equipamentos são compatíveis com o sistema *Meshtastic*, que possibilita a criação de redes *mesh* de comunicação por texto entre dispositivos, garantindo redundância e alcance estendido mesmo em ambientes complexos ou obstruídos. Os testes revelaram ainda o paradoxo de que, embora o LoRa permita que o usuário final se conecte de forma praticamente automática, após a implementação sua gestão operacional exige especialização técnica, configuração inicial de *firmware*²¹, parametrização da malha, manutenção das unidades em campo. Apesar da complexidade, o baixo custo de entrada e o alcance robusto, validado em testes com estações móveis T-Beam que atingiram até 1 km, tornam a **tecnologia altamente promissora para operações de emergência**.

A possibilidade de integração com sensores amplia significativamente as possibilidades de uso dessas tecnologias. Os testes realizados com transmissão automática de telemetria — incluindo dados de GPS e sensores ambientais, como temperatura, umidade, dióxido de carbono e luminosidade — indicaram potencial para aplicações de rastreamento de ativos e monitoramento ambiental em larga escala. Sua capacidade de operar de forma contínua, mesmo com restrições energéticas, amplia seu uso em contextos de resposta rápida, permitindo acompanhar movimentos, monitorar condições ambientais e identificar áreas críticas em territórios afetados.



¹⁹ Internet das Coisas (IoT) é a rede de objetos físicos incorporados a sensores e softwares, capazes de coletar, transmitir e trocar dados pela Internet de forma autônoma.

²⁰ Telemetria é o envio automático de dados de um equipamento ou sensor para outro sistema, permitindo monitoramento remoto.

²¹ *Firmware* é o *software* embarcado em equipamentos como roteadores, rádios ou sensores, responsável por gerenciar suas funções e operações essenciais.

TV WHITE SPACES (TVWS)

O TVWS apresenta características avançadas de comunicação, destacando-se pela capacidade de propagação de sinal sem visada, ao atravessar obstáculos físicos e vegetação densa (Non-Line of Sight - NLOS). Esse recurso oferece potencial significativo para cobrir áreas remotas ou de difícil acesso, mantendo conectividade mesmo em terrenos obstruídos. No entanto, **três limitações inviabilizaram sua inclusão na próxima fase do projeto.**

A primeira é mobilidade e transportabilidade, tendo visto que a geração atual de equipamentos TVWS apresenta peso elevado e dimensões volumosas, inadequados para transporte manual em ambientes de desastre, onde equipes precisam se deslocar rapidamente por terrenos acidentados, cobertos por vegetação ou escombros.

A segunda limitação está relacionada à complexidade da implantação em campo. A configuração e o alinhamento dos equipamentos exigem especialização técnica e tempo de implementação, incluindo ajustes de antenas e calibração de frequências. Essas características reduzem sua adequação para situações de “primeira resposta”, em que velocidade e simplicidade operacional são essenciais.

A terceira limitação está relacionada às demandas logísticas associadas ao transporte, à instalação e à manutenção dos equipamentos. Esses fatores fazem com que o TVWS represente uma solução operacionalmente mais complexa, exigindo maior mobilização de recursos humanos e materiais em comparação com outras tecnologias capazes de oferecer cobertura semelhante. Assim, sua exclusão não decorre da ausência de potencial tecnológico, mas do entendimento de que sua aplicação imediata em contextos de emergência ainda é limitada pelas características dos equipamentos atualmente disponíveis.



CONSIDERAÇÕES FINAIS E PRÓXIMOS PASSOS

A primeira consideração consolidada a partir deste primeiro ano do projeto Tridecs é de que **a falha comunicacional em desastres climáticos vai além de fatores técnicos**. As entrevistas no Rio Grande do Sul e no Maranhão evidenciam que a comunicação se rompe de modo distinto conforme o tipo de vulnerabilidade do território. Essa distinção é decisiva para o desenho de qualquer arranjo tecnológico, pois permite compreender que **as soluções precisam dialogar com as práticas comunicacionais já existentes nos territórios, reconhecendo que, em muitos contextos, a comunicação comunitária funciona como aliado funcional e fundamental da coordenação estatal**.

A segunda consideração é que **a resiliência comunicacional decorre da capacidade de articular tecnologias complementares em uma arquitetura modular**, autônoma do ponto de vista energético, descentralizada do ponto de vista topológico, e socialmente apropriável do ponto de vista operacional. As tecnologias validadas atendem simultaneamente a esses três pontos, e sua integração em formato de kit de resposta rápida constitui a base sobre a qual o projeto pretende avançar no ciclo seguinte.

A terceira conclusão é que **o desenho de tecnologias e protocolos para resposta rápida não pode partir do pressuposto de que o fluxo institucional formal vai operar de forma satisfatória**. A tipologia de fluxos de resposta sistematizada neste estudo mostra que o cenário de desastre é marcado por fluxos com racionalidades distintas. **Os fluxos comunitários são, na realidade vivida, os primeiros a produzir ação sob colapso, operando, porém, com custo humano alto, risco físico elevado e resultados desiguais conforme a densidade organizativa local. O horizonte desejável é o fluxo híbrido adaptativo, que articula monitoramento técnico, comunicação resiliente, brigadas comunitárias e protocolos de acoplamento com o poder público**, mas que exige preparação prévia, governança compreensível e o reconhecimento das redes comunitárias e dos radioamadores como parte do sistema base.

A partir dessas conclusões, foi formulado um conjunto de diretrizes que dialogam com diferentes públicos e serão fundamentais para estruturar o próximo ciclo do projeto Tridecs. São elas:

O desenvolvimento de sistemas de energia off-grid é frente prioritária, com kits com painéis solares flexíveis, baterias de alta capacidade e geradores manuais (dínamos) que garantam autonomia total para Wi-Fi, rádios HT e LoRa em operação contínua, mesmo na ausência de rede elétrica ou combustível disponível. A frente exploratória dará atenção a duas tecnologias com potencial de evolução: o Wi-Fi HaLow em frequências sub-GHz, com possibilidade de oferecer maior alcance em ambientes complexos como florestas e regiões montanhosas e a integração híbrida com a infraestrutura Wi-Fi existente; e o aprimoramento de protocolos de rede *mesh* para LoRa, com testes comparativos entre Meshtastic, MeshCore e protocolos emergentes, avaliando latência, estabilidade de enlace, recomposição de nós e eficiência energética.

A maturidade técnica alcançada no Ano I permitirá avançar para uma **Prova de Conceito (POC) em ambiente operacional, priorizando cenários de resistência extrema, recomposição rápida e interoperabilidade sistêmica entre as três matrizes**.



Para a integração com fluxos institucionais, o **trabalho de conformidade regulatória e treinamento ganha centralidade**. A operação legal nas bandas ISM, PX e PY exige protocolos simplificados, manuais de operação e fluxos de configuração rápida que possibilitem o uso seguro por equipes não especializadas em situação de crise. A integração formal dos radioamadores ao Sistema de Comando de Incidentes, com protocolos previamente definidos e operadores capacitados em cada município, aparece como recomendação direta a partir da experiência gaúcha de 2024. A redução de fricções burocráticas em situações de emergência, como liberação de comboios técnicos, circulação de equipamentos doados, articulação interinstitucional sob Decreto de Calamidade, também é frente que extrapola o desenho técnico, mas condiciona sua efetividade no território.

Para a relação com os territórios, o projeto reafirma o reconhecimento das redes comunitárias estruturadas e suas técnicas e métodos de implementação como ativo estratégico de resposta, tendo por certo que, quando existentes antes do desastre e sustentadas por organização coletiva, elas ampliam a capacidade de integrar soluções locais com backbones emergenciais e fluxos institucionais. A continuidade do diálogo com lideranças quilombolas, movimentos populares, brigadas comunitárias e provedores locais e regionais é condição para que as soluções desenvolvidas mantenham aderência territorial. A escuta sobre canais seguros de denúncia, fluxos rastreáveis de informação e mecanismos de retorno institucional, particularmente sensíveis em contextos de conflito fundiário, como nos territórios quilombolas do Maranhão, deve continuar orientando o desenho dos protocolos.

Para o ecossistema mais amplo de apoio e defesa civil, o relatório apresenta evidências que apontam para a necessidade de reconhecer a comunicação como uma infraestrutura crítica de proteção civil, em nível equivalente a setores como energia, transporte e saúde. Esse entendimento implica investir em infraestruturas de energia e telecomunicações com mecanismos de redundância e arquiteturas capazes de reduzir vulnerabilidades a falhas pontuais, além de fortalecer sistemas de transparência e rastreabilidade de denúncias e acionamentos. Também exige ampliar a transferência de capacidades técnicas para atores comunitários e governos municipais, considerando que, sem estruturas locais fortalecidas, ações de prevenção, monitoramento e emissão de alertas podem não se traduzir, necessariamente, em respostas efetivas nos territórios afetados.

Em resumo, pode-se afirmar, portanto, que a primeira etapa do projeto permitiu consolidar que **o ecossistema de comunicação resiliente proposto pelo projeto se estrutura em torno de uma tríade estratégica, composta pelas tecnologias Wi-Fi, rádios HT e LoRa, combinando cobertura de voz, transmissão de dados de alta velocidade e telemetria de longo alcance**. Cada matriz cumpre funções complementares. O Wi-Fi oferece comunicação rápida e integração com terminais de uso quase universal, como telefones e computadores de amplo uso civil; os rádios HT garantem voz confiável em áreas sem infraestrutura e já são utilizados pelas forças de defesas organizadas militares e civis; o LoRa fornece transmissão de dados e telemetria de baixo consumo em regiões remotas já bastante adotado entre entusiastas de tecnologia, vida ao ar livre e jogos de simulação. A combinação responde aos critérios estabelecidos no *benchmarking*, pois cobre os três níveis funcionais da arquitetura proposta: i) opera majoritariamente em regime *off-grid*; ii) evita pontos únicos de falha e iii) mantém interoperabilidade com dispositivos disponíveis na ponta.

O objetivo do projeto, que orientou esta primeira etapa e continuará orientando o trabalho seguinte, que é **compor uma infraestrutura de comunicação resiliente, modular, autônoma e socialmente apropriável**, capaz de operar de forma confiável, contínua e adaptável em territórios sob risco climático crescente, contribuindo de forma concreta para o **fortalecimento da resposta humanitária e para a redução das desigualdades comunicacionais que o desastre apenas aprofunda**.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABER. **Elaboração de um índice de vulnerabilidade às mudanças climáticas para os municípios brasileiros.** [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://brsa.org.br/wp-content/uploads/wpcf7-submissions/32267/VULNERABILIDADE-AS-MUDANCAS-CLIMATICAS-DOS-MUNICIPIOS-BRASILEIROS.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2025.
- AGÊNCIA PÚBLICA. **Os planos nada climáticos de uma Amazônia seca.** [S. l.], 2024a. Disponível em: <https://apublica.org/2024/10/os-planos-nada-climaticos-de-uma-amazonia-seca/>. Acesso em: 13 nov. 2025.
- AGÊNCIA PÚBLICA. **Racismo ambiental: bairros periféricos e de maioria negra são os mais afetados por desastres em São Paulo.** [S. l.], 2024b. Disponível em: <https://apublica.org/2024/02/bairros-perifericos-e-de-maioria-negra-sao-os-mais-afetados-por-desastres-em-sao-paulo/>. Acesso em: 13 nov. 2025.
- ANISTIA INTERNACIONAL. **Quando a água toma tudo – Impactos das cheias no Rio Grande do Sul.** [S. l.], 2025. Disponível em: https://anistia.org.br/wp-content/uploads/2025/05/RELATORIO_RS-1.pdf. Acesso em: 13 nov. 2025.
- BBC NEWS BRASIL. **Mudanças climáticas: a luta para salvar a Terra.** [S. l.], 14 dez. 2021. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/internacional-55973854>. Acesso em: 13 nov. 2025.
- BEZERRA, Antônio Luiz Moreira. **Especialistas alertam para impactos dos desastres climáticos.** TV Assembleia (Assembleia Legislativa do Estado do Piauí), 2023. Disponível em: <https://www.al.pi.leg.br/comunicacao/tv-assembleia/noticias-tv/especialistas-alertam-para-impactos-dos-desastres-climaticos>. Acesso em: 13 nov. 2025.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. **A Proteção e Defesa Civil e os 30 anos de desastres no Brasil (1991-2020).** Brasília: SEDEC/MDR, 2022.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Estratégia de gestão de risco de desastres: Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima.** [S. l.]: Ministério do Meio Ambiente, [s. d.]. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/mudanca-do-clima/clima/repositorio/pna_estrategia_de_gestao_de_risco_de_desastres.pdf. Acesso em: 13 nov. 2025.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS (CNM). **Panorama dos desastres no Brasil: 2013 a 2023.** Brasília: CNM, maio 2024.
- ESTARQUE, Marina. **Desastres naturais deslocam 6,4 milhões de brasileiros desde 2000.** Folha de S.Paulo [online], São Paulo, 2018. Disponível em: <https://temas.folha.uol.com.br/natureza-do-desastre/introducao/desastres-naturais-deslocam-6-4-milhoes-de-brasileiros-desde-2000.shtml>. Acesso em: 13 nov. 2025.
- FREITAS, Carlos Machado de et al. **Desastres naturais e saúde: uma análise da situação do Brasil.** Ciência & Saúde Coletiva, Rio de Janeiro, v. 19, n. 9, p. 3645-3656, 2014.
- G1; RBS TV. **Ciclone no RS: temporais causam alagamentos, bloqueio de estradas, cancelamento de voos e falta de luz.** g1 Rio Grande do Sul, 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2023/06/16/ciclone-no-rio-grande-do-sul.ghtml>. Acesso em: 13 nov. 2025.

GUIMARÃES, João Paulo; DIAS, Tatiana. **Sem apoio, indígenas usam regador de jardim para tentar conter queimadas no Maranhão (A brigada do desespero).** The Intercept Brasil, 2024. Disponível em: <https://www.intercept.com.br/2024/11/13/sem-apoio-indigenas-usam-regador-de-jardim-para-tentar-conter-queimadas-no-maranhao/>. Acesso em: 13 nov. 2025.

MUNIZ, Bianca; SANTINO, Matheus. **Bairros periféricos e de maioria negra são os mais afetados por desastres em São Paulo.** Agência Pública, 19 fev. 2024. Disponível em: <https://apublica.org/2024/02/bairros-perifericos-e-de-maioria-negra-sao-os-mais-afetados-por-desastres-em-sao-paulo/>. Acesso em: 13 nov. 2025.

O TEMPO. **Tragédias climáticas no Brasil exigem reformulação de políticas públicas urbanas (transcrição de vídeo).** [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.otempo.com.br/canal-o-tempo/tragedias-climaticas-no-brasil-exigem-reformulacao-de-politicas-publicas-urbanas-1.2819101>. Acesso em: 13 nov. 2025.

PIVETTA, Marcos. **Um Brasil mais vulnerável no século XXI.** Revista Pesquisa FAPESP, São Paulo, nov. 2016. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/um-brasil-mais-vulneravel-no-seculo-xxi/>. Acesso em: 13 nov. 2025.

PRIZIBISCZKI, Cristiane. **Brasil sofreu mais de 7,5 mil desastres climáticos relacionados à chuva entre 2020 e 2023.** ((o))eco, 1 jul. 2025. Disponível em: <https://oeco.org.br/noticias/brasil-sofreu-mais-de-75-mil-desastres-climaticos-relacionados-a-chuva-entre-2020-e-2023/>. Acesso em: 14 nov. 2025.

TAVARES, Pedro; BUONO, Renan. **Sete sinais da crise climática no Brasil.** Revista piauí, [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://piaui.folha.uol.com.br/sete-sinais-da-crise-climatica-no-brasil/>. Acesso em: 13 nov. 2025.

THE INTERCEPT BRASIL. **A brigada do desespero: sem apoio, indígenas usam regador de jardim para tentar conter queimadas no Maranhão.** [S. l.], 2024a. Disponível em: <https://www.intercept.com.br/2024/11/13/sem-apoio-indigenas-usam-regador-de-jardim-para-tentar-conter-queimadas-no-maranhao/>. Acesso em: 13 nov. 2025.

THE INTERCEPT BRASIL. **Enchentes no RS: leia o relatório de 2015 que projetou o desastre e os governos escolheram engavetar.** [S. l.], 6 maio 2024b. Disponível em: <https://www.intercept.com.br/2024/05/06/enchentes-no-rs-leia-o-relatorio-de-2015-que-projetou-o-desastre-e-os-governos-escolheram-engavetar/>. Acesso em: 13 nov. 2025.

TV CULTURA. **O Brasil em guerra contra o clima: desastres extremos exigem ação urgente.** YouTube, 2024. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=iPNVPhXeRvA>. Acesso em: 13 nov. 2025.

VALPORTO, Oscar. **Retrospectiva 2024: a crise climática mostra suas garras ao Brasil.** Projeto Colabora, [S. l.], 2024. Disponível em: <https://projetcollabora.com.br/ods13/retrospectiva-2024-a-crise-climatica-mostra-suas-garras-ao-brasil/>. Acesso em: 13 nov. 2025.

EQUIPE NUPEF

DIRETORIA

Diretor Executivo - Carlos Afonso
Diretora de Desenvolvimento Institucional - Oona Castro
Diretor de Operações - Mauro Campos
Diretor de Tecnologia - Rodrigo Troian

ÁREA DE TECNOLOGIA

Coordenador de Tecnologia - Moacir Neto
Coordenadora de Projetos - Zeilane Conceição
Suporte - Vitor Figueira, Renato Racin e Flávio Hernan

ÁREA DE PROJETOS

Coordenadora de Projetos - Joara Marchezini
Assessora de Articulação de Redes - Carol Magalhães
Assessora de Pesquisa e Incidência - Vitória Santos

ÁREA DE COMUNICAÇÃO

Coordenadora de Comunicação - Bruna Hercog
Designer e Gestora de Redes Sociais - Isabella Selaimen

ÁREA ADMINISTRATIVA FINANCEIRA

Assessora Administrativo-Financeira - Ellen Candido
Assessora de Mobilização de Recursos - María Suárez
Auxiliar de Operações - Ilda Malta

CONSELHO CONSULTIVO DO NUPEF

Suzy dos Santos, Flávia Lefèvre, Silvana Bahia, Marília Maciel, Rafael Zanatta e Rodolfo Avelino

CONSELHO FISCAL

Presidente - João Guerra Castro
Conselheiro Fiscal - Caio Márcio Lock Prates Silveira
Conselheiro - Roberto Carlos Vianna

EQUIPE TRIDECS

Núcleo de Coordenação: Joara Marchezini, Moacir Neto e Zeilane Fernandes

Coordenação de Comunicação: Bruna Hercog

Supervisão: Oona Castro e Rodrigo Troian

Equipe de Pesquisa: Joara Marchezini, Carol Magalhães, Vitória Santos, Zeilane Fernandes, Moacir Neto, Flávio Hernan, Rodrigo Troian

Design e gestão de redes sociais: Isabella Selaimen

Desenvolvimento do hotsite: Zeilane Fernandes



PRODUÇÃO DO RELATÓRIO

Pesquisa: Joara Marchezini, Carol Magalhães, Vitória Santos, Zeilane Fernandes, Moacir Neto, Flávio Hernan e Rodrigo Troian.

Redação: Vitória Santos, Zeilane Fernandes, Moacir Neto e Oona Castro

Supervisão: Oona Castro e Rodrigo Troian

Edição Final: Bruna Hercog

Design: Isabella Selaimen

COMO CITAR ESSE RELATÓRIO

INSTITUTO NUPEF. “Tecnologias para Respostas Rápidas a Incidentes e Desastres Climáticos – Tridecs: Infraestruturas de Comunicação Resiliente para Resposta a Desastres: resultados, testes e aprendizados, 2026.

Este estudo está licenciado sob uma licença Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0. Essa licença permite copiar e redistribuir o material em qualquer suporte ou formato, remixar, transformar e criar a partir do material para qualquer fim, mesmo que comercial. Para ver uma cópia desta licença, acesse:
<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



TECNOLOGIAS PARA
 RESPOSTAS
RÁPIDAS A
 INCIDENTES E
DESASTRES
CLIMÁTICOS