



Artigo de Revisão

e-ISSN 2177-4560

DOI: 10.19180/2177-4560.v19n12025p29-43

Submetido em: 10 jan. 2025

Aceito em: 15 fev. 2025

Criação de proposta nacional de coordenação de respostas a eventos climáticos extremos: uma abordagem baseada em agentes autônomos e integração de instituições de pesquisa

Creation of a national proposal for coordinating responses to extreme weather events: an approach based on autonomous agents and integration of research institutions

Creación de una propuesta nacional para la coordinación de respuestas a eventos climáticos extremos: un enfoque basado en agentes autónomos e integración de instituciones de investigación

Murilo Minello  <https://orcid.org/0000-0002-3037-9221>

Instituto Federal do Rio de Janeiro.

Mestre em Ecologia (UFRJ). Professor de Ecologia do Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ) - Campus Arraial do Cabo/ RJ - Brasil

E-mail: murilo.minello@ifrj.edu.br

Resumo: As mudanças climáticas intensificam eventos extremos como tempestades e secas, exigindo soluções eficientes. Este trabalho propõe o uso de agentes autônomos na gestão desses eventos, com três objetivos: identificar fases da gestão, capacitar coordenadores de equipes auxiliadas por agentes autônomos e desenvolver um plano nacional. A estrutura inclui seis agentes: um coordenador geral e cinco para diagnóstico, preparação, monitoramento, treinamento e recuperação. Cada agente opera de forma integrada para garantir uma resposta eficaz aos desafios climáticos. Propõe-se ainda uma rede nacional de agentes municipais conectados, integrando educação, pesquisa científica e inteligência artificial para otimizar recursos e fortalecer a resiliência comunitária diante dessa questão urgente.

Palavras-chave: Mudanças climáticas. Eventos climáticos extremos. Aquecimento global. Inteligência artificial.

Abstract: Climate change intensifies extreme events such as storms and droughts, requiring efficient solutions. This study proposes the use of autonomous agents in managing these events, with three objectives: identifying management phases, training coordinators of teams supported by autonomous agents, and developing a national plan. The proposed structure includes six agents: one general coordinator and five agents responsible for diagnosis, preparation, monitoring, training, and recovery. Each agent operates in an integrated manner to ensure an effective response to climate challenges. Additionally, a national network of connected municipal agents is proposed, integrating education, scientific research, and artificial intelligence to optimize resources and strengthen community resilience against this urgent issue.

Keywords: Climate change. Extreme weather events. Global warming. Artificial intelligence.

Resumen: El cambio climático intensifica eventos extremos como tormentas y sequías, lo que requiere soluciones eficientes. Este estudio propone el uso de agentes autónomos en la gestión de estos eventos, con tres objetivos: identificar las fases de gestión, capacitar a coordinadores de equipos apoyados por agentes autónomos y desarrollar un plan nacional. La estructura propuesta incluye seis agentes: un coordinador general y cinco agentes responsables de diagnóstico, preparación, monitoreo, entrenamiento y recuperación. Cada agente opera de manera integrada para garantizar una respuesta eficaz a los desafíos climáticos. Además, se propone una red nacional de agentes municipales conectados, integrando educación, investigación científica e inteligencia artificial para optimizar recursos y fortalecer la resiliencia comunitaria ante esta cuestión urgente.

Palabras clave: Cambio climático. Eventos climáticos extremos. Calentamiento global. Inteligencia artificial.

Introdução

As mudanças climáticas têm se intensificado nos últimos anos, resultando em uma maior frequência e severidade de eventos climáticos extremos, como tempestades, enchentes, secas, ondas de calor e aumento da erosão costeira devido à elevação dos níveis do oceano (Kumar et al., 2024; Seneviratne et al., 2021; Clarke et al., 2022). A previsão é de que essa tendência continue aumentando significativamente os riscos e desafios para as comunidades ao redor do mundo (Rawat et al., 2024).

A preparação adequada para enfrentar esses eventos tornou-se fundamental para minimizar os danos e salvar vidas (Gulzar et al., 2021). A comparação entre países que investiram na preparação para eventos climáticos extremos e aqueles que não o fizeram revela uma grande disparidade no número de vítimas fatais e na extensão dos danos (Handmer et al., 2012; Strömberg, 2007). Nações que implementaram estratégias eficazes de prevenção e resposta conseguiram reduzir significativamente o número de mortos e feridos, bem como os prejuízos econômicos (Eckstein et al., 2021). Em contrapartida, países sem essas medidas sofrem perdas muito maiores, tanto em vidas humanas quanto em recursos materiais, principalmente nos países mais pobres ou em desenvolvimento (Fankhauser & McDermott, 2014; Mirza, 2003).

Um dos grandes desafios para dar respostas durante estes eventos climáticos extremos é formar equipes multidisciplinares capazes de gerenciar sua logística (Bealt et al., 2016; Chandes & Paché, 2010). A complexidade dos eventos climáticos extremos exige uma coordenação eficiente, tomada de decisões rápidas e uma compreensão abrangente das diversas áreas envolvidas, desde a meteorologia, a engenharia civil, a saúde pública e o funcionamento dos ambientes (Berglund et al., 2020; Kapucu & Özerdem, 2011). A dificuldade em reunir e integrar esses conhecimentos e habilidades de forma eficaz pode comprometer a capacidade de resposta e recuperação (Comfort et al., 2010).

Nesse contexto, a utilização de agentes autônomos surge como uma possível solução para auxiliar na gestão de eventos climáticos extremos (Ghosh & De, 2022). Agentes autônomos são sistemas ou entidades que operam de forma independente para realizar tarefas específicas, tomando decisões baseadas em algoritmos e dados, sem a necessidade de intervenção humana constante (Albrecht & Stone 2018). No contexto de gestão de decisões em um governo enfrentando eventos extremos climáticos, esses agentes podem oferecer diversos benefícios, pois eles são capazes de processar grandes volumes de dados climáticos

em tempo real para prever eventos extremos, como tempestades ou ondas de calor, com alta precisão (Ghosh & De, 2022). Além disso, podem acionar automaticamente medidas de emergência, como alertas à população, alocação de recursos e ativação de serviços de resgate (Damaševičius et al., 2023). Eles também facilitam a coordenação entre diferentes órgãos governamentais e equipes de emergência, otimizando a logística e os recursos disponíveis (Othman et al., 2017). No planejamento proativo, ajudam na modelagem de cenários futuros e na elaboração de estratégias de mitigação, com base em simulações e análises preditivas (Greeven et al., 2016). Com isso, os agentes autônomos podem contribuir para a eficiência operacional ao reduzir a carga de trabalho humano, permitindo que os profissionais se concentrem em decisões mais complexas e estratégicas, e melhoraram a comunicação com a população, fornecendo informações precisas e atualizadas sobre a situação climática e as ações recomendadas (Chen et al., 2018; van de Merwe et al., 2024).

Ao integrar agentes autônomos nas estratégias de gestão de desastres, podemos construir um sistema mais eficiente, preciso e resiliente, preparado para enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas (Khan et al., 2018). Esses agentes podem ser programados para criar planos específicos adaptados às necessidades de cada cidade, considerando suas particularidades geográficas, demográficas e infraestruturais (Bousquet & Le Page, 2004). Ou seja, esses agentes podem criar sistemas flexíveis, facilmente replicáveis e com possibilidade de grande integração e coordenação geral dos dados de uma grande quantidade de municípios ao mesmo tempo.

O objetivo deste trabalho é, portanto, idealizar e propor etapas do uso de agentes autônomos no gerenciamento de eventos climáticos extremos. Para alcançar esse objetivo pretende-se: 1) identificar e detalhar as diferentes fases a serem trabalhadas na gestão de eventos climáticos extremos, desde o levantamento inicial e análise de riscos até a recuperação pós-evento; 2) propor formação de pessoal capacitado para coordenar essas equipes com o auxílio dos agentes autônomos, garantindo que as decisões sejam bem-informadas e baseadas em dados precisos; e 3) sugerir um plano de coordenação nacional que permita que esse conjunto de agentes autônomos sirva a todos os municípios do país, com a centralização das operações em uma agência gerenciada pelo Ministério do Meio Ambiente. Este plano incluiria diretrizes para a implementação, manutenção e integração dos agentes autônomos nas políticas nacionais de gestão de desastres climáticos.

Das vantagens de uma equipe de agentes autônomos

A necessidade de separar a gestão de eventos climáticos extremos em diferentes equipes especializadas se deve à complexidade e à diversidade das tarefas envolvidas em cada fase do processo (Berglund et al., 2020). Cada uma das equipes específicas desempenharia tarefas com características

distintas que, quando integradas, garantiriam uma resposta mais eficaz e coordenada. Portanto, ao pensar na complexidade da preparação para o enfrentamento dos eventos climáticos extremos, pensou-se na criação de diferentes grupos que poderiam atuar de forma concomitante, independente, mas coordenada.

Desta forma, a criação de uma equipe de agentes autônomos poderia ajudar as diferentes equipes voltadas para ações específicas. A principal vantagem de ter agentes autônomos específicos conectados a um agente central é a centralização da informação e a coordenação das atividades. O agente coordenador atua como um concentrador de informações, recebendo e integrando dados de cada um dos agentes específicos, o que permite uma visão holística da situação (Albrecht & Stone, 2018). Isso facilita a tomada de decisões estratégicas, garantindo que todas as ações sejam alinhadas e complementares. A centralização também reduz a duplicação de esforços e evita a dispersão de informações críticas.

Neste trabalho, propõem-se a organização de seis agentes autônomos integrados: um coordenador geral que analisa e coordena ações dos demais e cinco outros específicos com funções e características distintas:

- 1) **Coordenador:** Este agente coordena as ações de todas as equipes envolvidas, analisa os dados fornecidos pelos agentes autônomos e integra as informações e auxilia na tomada de decisões estratégicas baseadas em dados e em tempo real.

Características Necessárias:

Visão Sistêmica: Capacidade de ter uma visão holística da situação e das operações de todos os agentes;

Tomada de Decisão Rápida: Habilidade de tomar decisões rápidas e informadas baseadas nos dados integrados;

Comunicação Eficaz: Competência para comunicar claramente as instruções e coordenar as ações entre diferentes agentes;

Flexibilidade: Adaptabilidade para ajustar as estratégias conforme novas informações são recebidas;

Capacidade Analítica: Habilidade de analisar dados de diversas fontes e identificar padrões e tendências.

- 2) **Diagnóstico:** Este agente realiza um mapeamento detalhado e atualizado dos riscos climáticos e das vulnerabilidades do município, proporcionando uma base para planejamento e preparação a partir de

levantamentos bibliográficos e análises contínuas de publicações. Além disso, este agente pode indicar a necessidade de estudos específicos ao identificar falhas ou necessidades de dados dos ambientes locais.

Características Necessárias:

Análise de Dados: Capacidade de realizar análises bibliométricas e interpretar grandes volumes de dados.

Atualização Contínua: Habilidade de se manter atualizado com as últimas pesquisas e informações relevantes.

Proatividade: Identificar proativamente áreas de vulnerabilidade e necessidades de estudos específicos.

Pesquisa Científica: Competência em métodos de pesquisa e análise científica.

Deteção de Padrões: Habilidade de detectar padrões e correlações em dados históricos e atuais.

- 3) **Preparação e Intervenção:** Focado em ações preventivas, este agente pode identificar e ajudar na implementação de medidas estruturais para minimizar os impactos dos eventos climáticos, como a sugestão de criação de abrigos, a gestão de abertura de poços de água doce, (...).

Características Necessárias:

Planejamento Estratégico: Capacidade de desenvolver planos de preparação e intervenção eficazes.

Conhecimento Técnico: Entendimento de engenharia e infraestrutura urbana para sugerir medidas de preparação física.

Avaliação de Riscos: Habilidade de avaliar riscos e identificar áreas prioritárias para intervenção.

Implementação de Projetos: Competência em gerenciar e implementar projetos preventivos.

Colaboração: Habilidade de trabalhar com diversas entidades (governo, ONGs, comunidade) para implementar medidas.

- 4) **Monitoramento:** Este agente apresenta um dashboard com dados em tempo real e de modelagem para monitorar continuamente os dados climáticos, proporcionando alertas precoces e permitindo respostas mais rápidas às ameaças iminentes.

Características Necessárias:

Análise em Tempo Real: Capacidade de processar e interpretar dados em tempo real.

Tecnologia de Sensores: Conhecimento em tecnologias de sensores e sistemas de monitoramento.

Alerta e Notificação: Competência em gerar e disseminar alertas precisos e oportunos.

Resiliência Operacional: Habilidade de operar de forma contínua e confiável, mesmo sob pressão.

Visualização de Dados: Habilidade de criar e interpretar dashboards e gráficos informativos.

- 5) **Treinamento e Enfrentamento:** Este agente é responsável por ajudar na educação e na preparação da população para responder aos eventos climáticos extremos, fortalecendo a resiliência comunitária.

Características Necessárias:

Educação e Treinamento: Capacidade de desenvolver e ministrar programas de treinamento eficazes.

Comunicação com a Comunidade: Habilidade de se comunicar eficazmente com a população e engajar diferentes públicos.

Gestão de Crises: Competência em coordenar ações durante crises e eventos extremos.

Planejamento de Simulações: Habilidade de planejar e executar simulações realistas de desastres.

Empatia e Suporte: Capacidade de prestar suporte emocional e prático à comunidade durante treinamentos e crises.

- 6) **Recuperação:** Após a ocorrência de um evento, este agente ajuda na avaliação dos danos e coordena as atividades de recuperação, garantindo que a reconstrução seja mais eficiente.

Características Necessárias:

Gestão de Projetos: Competência em gerenciar projetos de recuperação de curto e longo prazo.

Avaliação de Danos: Habilidade de avaliar rapidamente os danos e necessidades após um evento.

Coordenação de Recursos: Capacidade de coordenar e alocar recursos de forma eficiente para a recuperação.

Conhecimento de Políticas Públicas: Entendimento das políticas públicas e procedimentos de recuperação de desastres.

Resiliência e Sustentabilidade: Habilidade de promover práticas de recuperação que aumentem a resiliência e sustentabilidade a longo prazo.

Portanto, desta forma, a interconectividade entre os agentes específicos e o agente central garantiria uma comunicação rápida e eficiente. As informações coletadas por cada agente são imediatamente

compartilhadas com o coordenador, que pode disseminar instruções e coordenações em tempo real. Isso é crucial em situações de crise, onde a velocidade e a precisão das informações podem determinar a eficácia da resposta.

Essa abordagem integrada permitiria que as ações dos diferentes agentes fossem sinérgicas. Por exemplo, os dados de monitoramento podem ser usados pelo agente de preparação para ajustar as estratégias de intervenção. Da mesma forma, as atividades de treinamento podem ser ajustadas com base nos riscos identificados pelo agente de levantamento inicial. A sinergia entre as diferentes áreas de atuação resultaria em uma resposta mais robusta e abrangente.

A estrutura de agentes autônomos específicos conectados a um coordenador central pode ser adaptável. Cada agente pode ser atualizado e ajustado independentemente para responder a novas informações e mudanças nas condições climáticas. Essa flexibilidade permite uma gestão dinâmica e ágil, capaz de se adaptar rapidamente a novas ameaças e desafios. A atribuição de características específicas a cada agente autônomo não só garante que cada um desempenhe sua função de forma eficaz, mas também maximiza a eficiência do sistema como um todo. Ao ter um conjunto diverso de habilidades e competências, a equipe de agentes autônomos pode enfrentar de maneira abrangente e coordenada os desafios impostos por eventos climáticos extremos, promovendo uma gestão mais resiliente e eficaz.

Da formação de pessoal para coordenar agentes autônomos

A formação de pessoal capacitado para lidar com agentes autônomos é essencial para garantir a eficiência e eficácia no gerenciamento de eventos climáticos extremos. Embora os agentes autônomos possuam capacidades avançadas de análise e execução, a intervenção humana é importante em várias situações. Por exemplo, humanos podem identificar padrões e contextos que os agentes autônomos, baseados em algoritmos pré-definidos, podem não considerar. Por exemplo, dados anômalos podem ser rapidamente validados ou descartados por um analista humano, evitando falsos alarmes ou omissões críticas.

Os agentes autônomos podem sugerir ações baseadas em seus algoritmos, mas nem sempre essas sugestões são viáveis ou apropriadas no contexto real. Profissionais treinados podem avaliar a viabilidade das ações sugeridas, considerando fatores contextuais e logísticos que os agentes autônomos podem não captar. Por exemplo, um agente pode sugerir a evacuação de uma área, mas um humano pode saber que a rota de evacuação está bloqueada.

Por outro lado, eventos climáticos extremos são dinâmicos e podem mudar rapidamente, exigindo adaptações imediatas nas estratégias de resposta. Humanos podem adaptar rapidamente às estratégias de

resposta com base em mudanças no ambiente que os agentes autônomos ainda não capturaram. Por exemplo, se uma tempestade muda de direção inesperadamente, uma equipe pode redirecionar os recursos e esforços de forma mais eficaz.

A comunicação eficiente entre diferentes equipes e a coordenação centralizada são vitais para a gestão de crises. Equipes humanas podem assegurar uma comunicação clara e coordenada, essencial para uma resposta integrada. Enquanto agentes autônomos podem operar de forma isolada, humanos podem alinhar as ações de diferentes agentes para evitar redundâncias e garantir a sinergia.

Agentes autônomos operam dentro dos limites de sua programação e algoritmos, enquanto humanos podem oferecer soluções criativas e inovadoras em situações inesperadas. Ainda, decisões em situações de crise muitas vezes envolvem considerações éticas e sociais que os agentes autônomos podem não ser capazes de avaliar adequadamente. Humanos podem tomar decisões levando em conta impactos sociais e éticos. Por exemplo, a priorização de recursos de resgate pode depender de fatores como vulnerabilidade das populações afetadas, algo que requer sensibilidade humana.

Os agentes autônomos requerem manutenção e atualizações contínuas para operar eficientemente. Equipes técnicas são necessárias para garantir que os agentes autônomos estejam sempre operacionais e atualizados com as últimas informações e tecnologias. Isso inclui correção de bugs, atualizações de software e calibração de sensores.

A implementação de agentes autônomos também envolve riscos, como falhas de sistema e cibersegurança. Profissionais capacitados são necessários para identificar, avaliar e mitigar riscos associados ao uso de agentes autônomos. Isso inclui a criação de protocolos de segurança e resposta a incidentes cibernéticos.

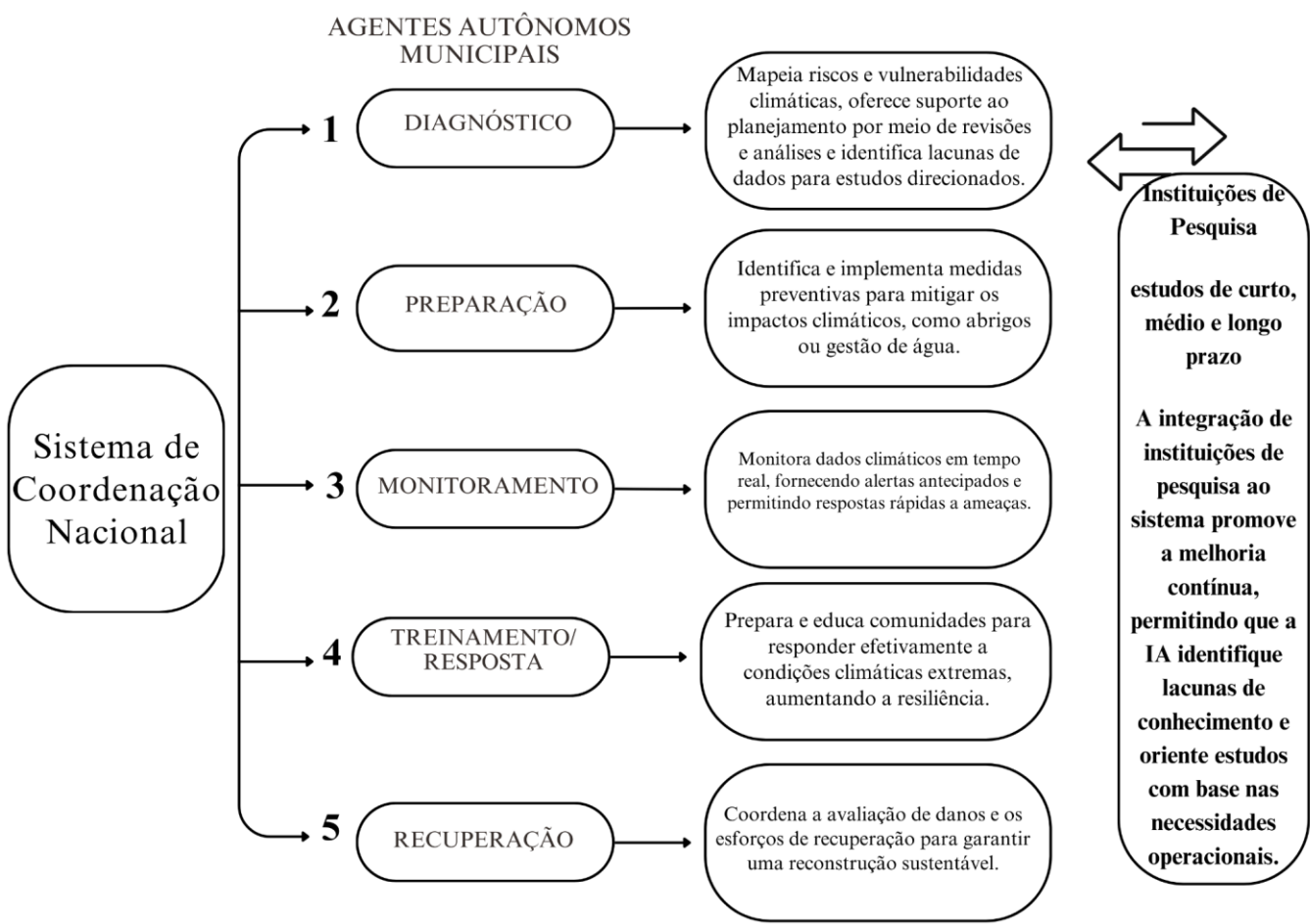
Portanto, em virtude de tudo que foi explanado, a formação de pessoal especializado torna-se imprescindível para complementar as capacidades dos agentes autônomos principalmente com relação à adaptação a condições variáveis ainda não computadas, na coordenação e comunicação mais clara e direta, na tomada de decisões considerando questões éticas e sociais, na manutenção e atualização dos sistemas e na gestão de riscos. A interação entre humanos e tecnologia aumentaria a eficácia das operações, garantindo que as decisões sejam informadas, adaptáveis e sensíveis ao contexto real. Dessa forma, pensar na formação de pessoal para possibilitar a integração de agentes autônomos com equipes humanas resultaria em uma abordagem mais robusta e eficiente para o gerenciamento de eventos climáticos extremos.

Instituições de pesquisa integradas e direcionadas

Para assegurar que o sistema proposto evolua continuamente, propõe-se a integração de instituições de pesquisa na estrutura operacional desses agentes autônomos (Abily et al., 2020). Para tanto, seria necessário promover o incentivo a linhas de pesquisa que valorizassem a colaboração entre diferentes grupos e equipes multidisciplinares, reconhecendo o papel das instituições que compõem o Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (ICT).

Essas instituições podem desempenhar um papel fundamental ao realizar pesquisas nos municípios que adotarem o sistema. Por meio de uma plataforma integrada, as descobertas dessas instituições podem ser incorporadas à inteligência artificial do sistema, que será capaz de identificar lacunas no conhecimento e sugerir áreas prioritárias para estudos de curto, médio e longo prazos (Kafi et al., 2024). Essa abordagem garantiria um ciclo contínuo de aperfeiçoamento, onde as sugestões de pesquisa emergem diretamente das necessidades operacionais e tecnológicas identificadas pelo próprio sistema (**Figura 1**). A Estrutura do Sistema de Coordenação Nacional para enfrentamento de eventos climáticos extremos é composta por agentes autônomos municipais que operam em cinco frentes: diagnóstico, preparação, monitoramento, treinamento/resposta e recuperação. O sistema é complementado pela integração com instituições de pesquisa, que fornecem suporte por meio de estudos contínuos, identificando lacunas de conhecimento e direcionando ações estratégicas para uma gestão climática eficiente e sustentável.

Figura 1: Estrutura do Sistema de Coordenação Nacional para enfrentamento de eventos climáticos extremos.



Fonte: Do autor, 2024.

A integração das descobertas das instituições de pesquisa com o sistema também permite uma autoavaliação constante, proporcionando propostas de melhoria e lançamentos de novas versões do sistema a partir dos avanços científicos. Dessa forma, o sistema funcionaria como um banco de dados científico-tecnológico em evolução contínua, fomentando a colaboração entre pesquisadores e gestores públicos. Isso contribui não apenas para a melhoria da gestão local e regional, mas também para o fortalecimento do conhecimento científico nacional, integrando comunidades acadêmicas, instituições de pesquisa e gestores públicos em um esforço coletivo de enfrentamento das mudanças climáticas (Raymond et al, 2020).

A implementação dessa ideia pode ser viabilizada por meio de editais nacionais que incentivem linhas de pesquisa voltadas para a integração entre diferentes grupos e equipes multidisciplinares. Esses editais podem fomentar projetos colaborativos que combinem expertises diversas, promovendo a criação de soluções robustas e alinhadas às demandas locais, regionais e nacionais. Ao priorizar essa abordagem

integrada, o governo pode fortalecer as conexões entre instituições de pesquisa, gestores e comunidades, garantindo que o sistema evolua de maneira ágil e adaptável.

Um olhar nacional nas ações municipais

A princípio é que essa ferramenta ajude a organização municipal, baseada e estruturada por bairros. E, seria interessante que sua aplicação concomitante em cada município pudesse ser acompanhada por um sistema central federal. Essa coordenação nacional de uma rede de agentes municipais conectados seria importante para centralizar informações e otimizar a gestão de recursos e logística em resposta a eventos climáticos extremos. Essa centralização permite uma visão abrangente das necessidades e condições de cada município, facilitando a distribuição eficiente de materiais, a coordenação logística e a busca por financiamento e obras necessárias. Com uma rede coordenada desta forma, seria possível responder rapidamente às necessidades emergentes, alocar recursos de maneira equitativa e garantir que todos os municípios, independentemente de seu tamanho ou capacidade, recebam o apoio necessário proporcional à magnitude das suas necessidades específicas. Além disso, a coordenação centralizada promove a padronização de procedimentos e a disseminação de melhores práticas, aumentando a eficácia e a eficiência das operações de resposta e recuperação em todo o país.

Por outro lado, se cada município desenvolvesse um documento próprio para enfrentar eventos climáticos extremos, a visão nacional seria fragmentada, dificultando a logística e tornando a resposta mais lenta e desconectada. Certamente, muitos desses documentos sequer teriam acesso rápido e prático. Por isso, uma rede de agentes autônomos adaptados às necessidades específicas de cada município é tão importante.

Por isso, sugere-se a criação de um plano de coordenação nacional que visa integrar agentes autônomos em uma estrutura centralizada no Ministério do Meio Ambiente, para servir a todos os municípios do país. Para atingir tal objetivo, seria necessário propor um modelo nacional, único, adaptável e compatível com todos os municípios que resolvessem adotar o sistema. A partir desta proposta, os próximos passos seriam pensar nas diretrizes para a implementação, manutenção e integração dos agentes a partir das políticas nacionais de gestão de desastres climáticos.

Considerações Finais

Cabe ressaltar que este sistema integrado necessita do maior número de documentos e informações que forem possíveis, pois quanto maior a disponibilidade dos dados de um determinado local, mais eficaz será a resposta dos agentes. A disponibilidade e atualização constante de mapas de uso e ocupação do solo, altimétrico, das unidades de conservação, hidrológico e de zoneamento ecológico-econômico são

fundamentais para compor este sistema de enfrentamento de eventos climáticos extremos, pois fornecem uma base de dados precisa e abrangente que permite identificar áreas de risco, planejar ações preventivas, coordenar respostas de emergência e promover a recuperação sustentável. Esses mapas fornecem informações cruciais sobre a topografia, os recursos naturais, a distribuição das atividades humanas e as áreas protegidas, possibilitando uma análise integrada e detalhada que é fundamental para a tomada de decisões informadas, o direcionamento de recursos e a implementação de estratégias adaptadas às características específicas de cada região, aumentando assim a resiliência e a segurança das comunidades afetadas.

Outra informação relevante é que a organização de planos municipais deve ser setorizada, estruturados por bairros, para facilitar o treinamento e o deslocamento das pessoas em caso de enfrentamento de eventos climáticos extremos. Estes planos permitem uma coordenação mais eficiente e precisa das ações de emergência, pois consideram as particularidades e necessidades específicas de cada área, melhorando a comunicação e a mobilização dos recursos. Setorizando as estratégias de resposta, as autoridades locais podem treinar as equipes de forma direcionada, assegurando que todos conheçam suas funções e rotas de evacuação específicas, reduzindo o tempo de reação e minimizando os impactos dos desastres. Além disso, essa organização facilita o envolvimento comunitário e o fortalecimento da resiliência local, pois promove a conscientização e a preparação dos moradores para emergências, garantindo uma resposta mais rápida e eficaz.

É importante ressaltar que uma das funções destes agentes autônomos será identificar lacunas de conhecimento e sugerir áreas de pesquisa prioritárias. Essa resposta direta dos agentes autônomos pode indicar a necessidade de projetos de pesquisa em cursos de graduação e pós-graduação, alinhando a formação acadêmica com as necessidades práticas do enfrentamento de eventos climáticos extremos de cada município. Dessa forma, as instituições de ensino podem desenvolver programas educacionais que capacitem futuros profissionais a utilizar e aprimorar essas tecnologias, promovendo um ciclo virtuoso de inovação e aplicação prática no campo da gestão de desastres, fortalecendo a resiliência das comunidades locais. A integração da educação e da pesquisa científica à gestão pública, com o auxílio da inteligência artificial, é de extrema importância para enfrentar eventos climáticos extremos. Essa é uma das questões mais urgentes da atualidade e demandará um esforço coletivo significativo por parte da nossa sociedade. Ao alinhar o conhecimento acadêmico com as necessidades práticas da gestão de desastres, é possível não apenas responder de forma mais eficiente aos desafios impostos pelas mudanças climáticas, mas também promover soluções inovadoras e sustentáveis que fortaleçam a resiliência das comunidades em todo o país.

Referências

- Abily, M., Gourbesville, P., De Carvalho Filho, E., Llorc, X., Rebora, N., Sanchez, A., & Sempere-Torres, D. (2020). Anywhere: enhancing emergency management and response to extreme weather and climate events. In *Advances in Hydroinformatics: SimHydro 2019-Models for Extreme Situations and Crisis Management* (pp. 29-37). Springer Singapore.
- Albrecht, S. V., & Stone, P. (2018). Autonomous agents modeling other agents: A comprehensive survey and open problems. *Artificial Intelligence*, 258, 66-95.
- Bealt, J., Fernández Barrera, J. C., & Mansouri, S. A. (2016). Collaborative relationships between logistics service providers and humanitarian organizations during disaster relief operations. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 6(2), 118-144.
- Berglund, E. Z., Monroe, J. G., Ahmed, I., Noghabaei, M., Do, J., Pesantez, J. E., Fasaee, M. A. K., Bardaka, E., Han, K., Proestos, G. T. & Levis, J. (2020). Smart infrastructure: a vision for the role of the civil engineering profession in smart cities. *Journal of Infrastructure Systems*, 26(2), 03120001.
- Bousquet, F., & Le Page, C. (2004). Multi-agent simulations and ecosystem management: a review. *Ecological modelling*, 176(3-4), 313-332.
- Chandes, J., & Paché, G. (2010). Investigating humanitarian logistics issues: from operations management to strategic action. *Journal of Manufacturing technology management*, 21(3), 320-340.
- Chen, J. Y., Lakhmani, S. G., Stowers, K., Selkowitz, A. R., Wright, J. L., & Barnes, M. (2018). Situation awareness-based agent transparency and human-autonomy teaming effectiveness. *Theoretical issues in ergonomics science*, 19(3), 259-282.
- Clarke, B., Otto, F., Stuart-Smith, R., & Harrington, L. (2022). Extreme weather impacts of climate change: an attribution perspective. *Environmental Research: Climate*, 1(1), 012001.
- Comfort, L. K., Boin, A., & Demchak, C. C. (Eds.). (2010). *Designing resilience: Preparing for extreme events*. University of Pittsburgh Pre.
- Damaševičius, R., Bacanin, N., & Misra, S. (2023). From sensors to safety: Internet of Emergency Services (IoES) for emergency response and disaster management. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 12(3), 41.

Eckstein, D., Künzel, V., & Schäfer, L. (2021). The global climate risk index 2021. Bonn: Germanwatch.

Fankhauser, S., & McDermott, T. K. (2014). Understanding the adaptation deficit: why are poor countries more vulnerable to climate events than rich countries?. *Global Environmental Change*, 27, 9-18.

Greeven, S., Kraan, O., Chappin, É. J., & Kwakkel, J. H. (2016). The emergence of climate change mitigation action by society: an agent-based scenario discovery study. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 19(3).

Ghosh, P., & De, M. (2022). A comprehensive survey of distribution system resilience to extreme weather events: concept, assessment, and enhancement strategies. *International Journal of Ambient Energy*, 43(1), 6671-6693.

Gulzar, A., Islam, T., Gulzar, R., & Hassan, T. (2021). Climate change and impacts of extreme events on human health: An overview. *Indonesian Journal of Social and Environmental Issues (IJSEI)*, 2(1), 68-77.

Handmer, J., Honda Y., Kundzewic Z. W., Arnell, N., Benito G., Hatfield J., Mohamed, I. F., Peduzzi P., Wu S., Sherstyukov, B., Takahashi, K. & Yan Z. (2012). Changes in impacts of climate extremes: human systems and ecosystems. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.). A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 231-290.

Kafi, K. M., Ponrahono, Z., & Salisu Barau, A. (2024). Addressing knowledge gaps on emerging issues in weather and climate extreme events: a systematic review. *Climatic Change*, 177(3), 56.

Khan, M. A., Peters, S., Sahinel, D., Pozo-Pardo, F. D., & Dang, X. T. (2018). Understanding autonomic network management: A look into the past, a solution for the future. *Computer Communications*, 122, 93-117.

Kapucu, N., & Özerdem, A. (2011). Managing emergencies and crises. Jones & Bartlett Publishers.

Kumar, S., Chatterjee, U., David Raj, A., & Sooryamol, K. R. (2024). Global Warming and Climate Crisis/Extreme Events. In *Climate Crisis: Adaptive Approaches and Sustainability* (pp. 3-18). Cham: Springer Nature Switzerland.

Mirza, M. M. Q. (2003). Climate change and extreme weather events: can developing countries adapt?. *Climate policy*, 3(3), 233-248.

Othman, S. B., Zgaya, H., Dotoli, M., & Hammadi, S. (2017). An agent-based decision support system for resources' scheduling in emergency supply chains. *Control Engineering Practice*, 59, 27-43.

Raymond, C., Horton, R. M., Zscheischler, J., Martius, O., AghaKouchak, A., Balch, J., Bowen, S. G., Camargo, S. J., Hess, J., Kornhuber, K., Oppenheimer, M., Ruane, A. C., Wah, T. & White, K. (2020). Understanding and managing connected extreme events. *Nature climate change*, 10(7), 611-621.

Rawat, A., Kumar, D., & Khati, B. S. (2024). A review on climate change impacts, models, and its consequences on different sectors: a systematic approach. *Journal of Water and Climate Change*, 15(1), 104-126.

Seneviratne, S. I., Zhang, X., Adnan, M., Badi, W., Dereczynski, C., Luca, A. D., Ghosh, S., Iskandar, I., Kossin, J., Lewis, S., Otto, F., Pinto, I., Satoh, M., Vicente-Serrano, S. M., Wehner, M., Zhou, B. & Allan, R. (2021) Weather and climate extreme events in a changing climate. *In: Masson-Delmotte, V. P., Zhai, A., Pirani, S. L. and Connors, C. (eds.) Climate Change 2021: The Physical Science Basis: Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 1513-1766.

Strömberg, D. (2007). Natural disasters, economic development, and humanitarian aid. *Journal of Economic perspectives*, 21(3), 199-222.

van de Merwe, K., Mallam, S., & Nazir, S. (2024). Agent transparency, situation awareness, mental workload, and operator performance: A systematic literature review. *Human Factors*, 66(1), 180-208.