

Nº 179908

**Tecnologias e metodologias no mapeamento de risco geológico:
uma visão histórica do Brasil**

Juliana Sabrina da Conceição
Karina da Silva Lima
Larissa Mozer Blaudt
André Barbosa Ribeiro Ferreira
Camila Duelis Viana

*Palestra apresentada no
CONGRESSO BRASILEIRO DE
REDUÇÃO DE RISCOS E
DESASTRES, 5., 2025,
Florianópolis. **Pôster e
Resumo...** 1 slide*

A série “Comunicação Técnica” compreende trabalhos elaborados por técnicos do IPT, apresentados em eventos, publicados em revistas especializadas ou quando seu conteúdo apresentar relevância pública. **PROIBIDO REPRODUÇÃO**

Tecnologias e metodologias no mapeamento de risco geológico: uma visão histórica do Brasil

Juliana Sabrina da Conceição Silva (Fundação de Apoio ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo – SP, julianacs@ipt.br, Karina da Silva Lima (Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, karina2.lima@alumni.usp.br), Larissa Mozer Blaudt (Fundação de Apoio ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo – SP, larimozero@ipt.br) André Barbosa Ribeiro Ferreira (Instituto de Gestão Territorial e Geotecnologias - IGTECH, Belo Horizonte – MG, andreribeirogeo@gmail.com) e Camila Duelis Viana (Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, camila.viana@usp.br)

Introdução e Objetivos



Otimização de análises: IA aplicada em mapeamentos de risco e suscetibilidade.

Deteção automatizada: Redes neurais convolucionais (CNNs) identificam cicatrizes e padrões complexos.

Alta precisão: Modelos alcançam >95% de acurácia em áreas montanhosas.

Algoritmos utilizados: Random Forest, SVM e XGBoost.

Shapley Values e Partial Dependence Plots revelam o peso das variáveis ambientais e antrópicas.

Modelos multirrisco: Integram suscetibilidade a deslizamentos, enchentes e incêndios com dados socioeconômicos.

Modelos híbridos: Combinam árvores de decisão, clusterização e Extreme Learning Machines para refinar mapas e reduzir vieses.

Aplicações específicas: Deep learning em previsão da altura de run-up de tsunamis gerados por deslizamentos.

Apesar dos avanços, episódios recentes evidenciam a vulnerabilidade ainda presente nas cidades brasileiras e a necessidade de ampliar a capacidade técnica e os instrumentos de prevenção. Este trabalho analisa a trajetória do mapeamento de risco geológico no país, destacando transformações metodológicas, incorporação de novas tecnologias e desafios para consolidar práticas preventivas alinhadas às diretrizes internacionais de redução de riscos de desastres.

Metodologia

A pesquisa consistiu em uma revisão bibliográfica e documental sobre o mapeamento de áreas de risco no Brasil. Foram analisados relatórios técnicos do IPT, SGB/CPRM, prefeituras e manuais oficiais do Ministério das Cidades e da Defesa Civil, além de produções acadêmicas. A seleção considerou a abrangência temporal (1980–atualidade), a relevância institucional e as contribuições metodológicas, especialmente aquelas que abordam o uso de geotecnologias e inovações aplicadas à gestão de risco.

Resultados e Discussões



ORGANIZAÇÃO



Referências Bibliográficas

- SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (SGB). Cartografia de Riscos Geológicos. Brasília: SGB, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/sgb/pt-br/assuntos/cartografia-de-riscos-geologicos>.
- BRASIL. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil. Brasília: Presidência da República, 2012.

APOIADORES:



**Tecnologias e metodologias no mapeamento de risco geológico: uma visão histórica do Brasil**

Juliana Sabrina da Conceição Silva^{1,2,3}, Karina da Silva Lima^{3,4}, Larissa Mozer Blaudt^{1,2}, André Barbosa Ribeiro Ferreira⁵, Camila Duelis Viana³

¹Fundação de Apoio ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas; ²Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo; ³Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo; ⁴REGA - Geologia, Engenharia e Estudos Ambientais;

⁵Instituto de Gestão Territorial e Geotecnologias - IGTECH; E-mail: julianacs@ipt.br

A gestão de riscos de desastres no Brasil passou por transformações significativas nas últimas décadas, evoluindo de uma abordagem predominantemente reativa para a busca de uma cultura preventiva. Até os anos 1980, a criação e ampliação de estruturas eram voltadas a ações de resposta imediata, com objetivo de prover assistência pós-desastre, como o caso da Serra do Mar em 1967. Na década de 1990, foi elaborada a primeira Política Nacional de Defesa Civil (PNDC), porém em um contexto em que os desastres continuavam sendo gatilhos para ajustes institucionais, com ênfase nas ações pós-impacto. É neste período que o Estado de São Paulo reorganiza seu sistema e redefine o Plano Preventivo de Defesa Civil específico para Escorregamentos nas Encostas da Serra do Mar (Decreto Estadual nº 42.565/1997). A partir da década de 2000, inicia-se um movimento de mudança de paradigma, com maior atenção às ações de prevenção e integração federativa. Nesse período, multiplicaram-se eventos em sintonia com a agenda global de redução de risco de desastres. Contudo, foi a sequência de grandes desastres no final dessa década e início da seguinte - como a tragédia de Santa Catarina em 2008, as enchentes em Alagoas e Pernambuco em 2010, e, sobretudo, o evento da Região Serrana do Rio de Janeiro em 2011 - que consolidou a urgência de fortalecer o eixo preventivo. Esse contexto culminou na promulgação da Lei nº 12.608/2012, que instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC). A lei inovou ao incorporar o termo "proteção", e reforçou a prioridade das ações de prevenção e mitigação. A partir daí, o mapeamento de áreas de risco passou a ocupar posição estratégica na gestão territorial e na formulação de políticas públicas. Apesar desses avanços, eventos recentes demonstram que a vulnerabilidade urbana e social frente a processos naturais permanece elevada. Os escorregamentos em Petrópolis (2022), São Sebastião (2023) e Rio Grande do Sul (2024), evidenciam a necessidade de fortalecer tanto a capacidade técnica dos municípios quanto os instrumentos de prevenção, monitoramento e comunicação de risco, reafirmando a relevância dos mapeamentos como ferramenta fundamental para a redução de riscos e desastres (RRD) no Brasil. O objetivo principal deste trabalho é analisar a evolução histórica do mapeamento de áreas de risco geológico no Brasil, destacando as transformações metodológicas. Busca-se compreender em que medida as novas tecnologias vêm sendo incorporadas no processo de mapeamento e discutir os limites e desafios que ainda dificultam sua adoção pelas instituições. De modo complementar, pretende-se indicar perspectivas futuras presentes na literatura para a consolidação de práticas preventivas e alinhadas às diretrizes internacionais de RRD. A pesquisa baseou-se em uma revisão bibliográfica e documental de trabalhos técnicos e acadêmicos sobre mapeamento de risco. Foram analisados documentos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), do Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM), da Prefeitura de São Paulo e de outros municípios, guias e manuais do Ministério das Cidades e da Defesa Civil. Teses, dissertações e artigos complementaram o corpus documental, permitindo a análise da evolução histórica e metodológica e avaliação da real ou potencial incorporação de novas tecnologias nas práticas de gestão de risco em escala municipal e estadual. A seleção dos materiais seguiu critérios de abrangência temporal (dos anos 1980 até a atualidade), relevância institucional (documentos de órgãos responsáveis pela execução de políticas públicas) e contribuição metodológica (trabalhos que introduziram ou discutiram inovações, como o uso de geotecnologias). A análise evidenciou uma trajetória de amadurecimento metodológico ao longo das últimas quatro décadas. Nos anos 1980 e 1990, início do mapeamento de áreas de risco, o processo era conduzido majoritariamente por vistorias de campo. Esse trabalho foi iniciado por instituições como o IPT e, também, por universidades. Para a cidade de São Paulo, por exemplo, o método nos primeiros mapeamentos foi o proposto por CERRI E CARVALHO (1990). Os riscos geológicos-geotécnicos foram avaliados considerando os processos de erosão, escorregamento e enchente, individualizando as unidades geomorfológicas de encosta e baixada. A hierarquização do risco seguiu quatro graus: imediato, I, II e sem risco. Estes foram definidos com base no estágio do desenvolvimento de processos destrutivos e a possibilidade de ocorrência de vítimas fatais. Nestes anos iniciais, os mapeamentos foram realizados por diferentes órgãos, e apesar de terem como base os melhores dados disponíveis à época, resultaram em produtos construídos sobre diferentes bases cartográficas, e consequentemente divergentes entre si, impossibilitando análises comparativas e quantitativas espacializadas. Na década de 2000, observou-se a padronização metodológica, consolidada no guia elaborado pelo Ministério das Cidades em parceria com o IPT (2007). Essa padronização apresentou a metodologia de classificação em quatro graus de risco (R1 a R4) que auxiliou na comparabilidade e tornou o método mais objetivo. O R1, risco baixo, corresponde a áreas em que os condicionantes geológico-geotécnicos apresentam baixa predisposição à instabilidade, sem evidências de processos ativos, em que mantidas as condições, não se espera a ocorrência de eventos destrutivos em um ciclo chuvoso. O R2, risco médio, apresenta sinais de instabilidade que podem evoluir para eventos destrutivos em chuvas intensas e prolongadas. No R3, risco alto, há claras evidências de instabilidade, como trincas no solo ou degraus de abatimento,

sendo possível que a área apresente eventos de escorregamentos durante os períodos de chuva. Por fim, o R4, risco muito alto, representa a condição mais crítica, marcada por evidências expressivas de instabilidade, tornando muito provável a ocorrência de eventos destrutivos em períodos chuvosos. Essa padronização tornou os produtos comparáveis entre municípios e fortaleceu o caráter preventivo da gestão de riscos. Nessa fase, também se difundiu o uso de imagens de satélite como base cartográfica para a delimitação de setores de risco, associadas a fichas descritivas e registros fotográficos de campo. Em alguns casos, fotos tomadas de helicópteros complementavam o relatório. Na década de 2010, o SGB/CPRM passou a publicar guias complementares e realizar mapeamentos em municípios prioritários, ampliando o alcance da metodologia. Surgiram iniciativas digitais, como a plataforma da Defesa Civil do Estado de São Paulo, que disponibiliza relatórios e mapas de suscetibilidade e risco para consulta pública, integrando informações antes dispersas. Atualmente, há a incorporação de tecnologias importantes, com o uso de drones para aquisição de imagens de muito alta resolução, dando maior autonomia para atualizações; integração com SIG, permitindo análises quantitativas e temporais com maior agilidade e riqueza de informações; e aplicação de análises multicritério, que permite combinar variáveis naturais e antrópicas para gerar produtos mais representativos do risco real. Essas inovações ampliam a precisão e a aplicabilidade dos produtos, mas ainda não estão plenamente incorporadas às práticas institucionais. Projetos-piloto e estudos de caso recentes evidenciam que a Inteligência Artificial (IA) está sendo amplamente utilizada como ferramenta de otimização em diversas esferas, incluindo o mapeamento de risco e suscetibilidade. Algoritmos de aprendizado de máquina, como redes neurais convolucionais (CNNs), eficazes na captura de padrões complexos, automatizam a detecção de cicatrizes e aprimoram análises de suscetibilidade, aumentando a eficiência e alcançando mais de 95% de precisão em áreas montanhosas. Pesquisas demonstram que o uso de algoritmos como *Random Forest*, SVM e XGBoost têm alcançado índices elevados de acurácia. Ainda de forma incipiente, alguns trabalhos passaram a incorporar ferramentas de interpretabilidade dos resultados. Métodos como *Shapley values* e *Partial Dependence Plots* permitem entender quais variáveis ambientais e antrópicas, pesam mais nos processos de decisão desses modelos preditivos. Modelos multirisco também utilizam a IA como ferramenta, cruzando informações de suscetibilidade a deslizamentos, enchentes e incêndios com dados socioeconômicos. Esse tipo de integração amplia o entendimento sobre o risco, ao considerar múltiplas ameaças juntamente com a vulnerabilidade social das populações. Também ganham espaço os modelos híbridos, que combinam, por exemplo, árvores de decisão com técnicas de clusterização, ou redes de aprendizado extremo (*Extreme Learning Machines*), capazes de refinar os mapas de suscetibilidade e reduzir vieses do treinamento. Aplicações recentes de *deep learning* exploram situações específicas, como a previsão da altura de *run-up* de tsunamis gerados por deslizamentos, mostrando a versatilidade das abordagens. O percurso histórico mostra que o mapeamento de áreas de risco geológico no Brasil evoluiu significativamente, passando de práticas pontuais e empíricas a metodologias padronizadas e reconhecidas em escala nacional. Esse avanço acompanhou, de forma parcial e muitas vezes desigual, os marcos internacionais da redução de riscos de desastres. Contudo, este instrumento permanece tendo grande importância no auxílio da gestão territorial e prevenção de desastres no país até os dias atuais. Apesar dos progressos, a maioria dos municípios brasileiros enfrenta limitações estruturais, e muitos ainda não dispõem de equipes técnicas capacitadas para realizar e atualizar seus mapeamentos. O financiamento efetivo de ações preventivas continua limitado, e a incorporação de novas tecnologias ocorre de forma fragmentada, restringindo-se a projetos-piloto ou a instituições de pesquisa. Tomando este cenário e as perspectivas futuras, é fundamental suprir as deficiências institucionais e avançar para uma abordagem que considere as ameaças físicas em conjunto com a construção social do risco. Dessa forma, o futuro do mapeamento de risco no Brasil dependerá não apenas da incorporação de geotecnologias, mas sobretudo da articulação entre ciência, poder público e comunidades locais.

Palavras-chave: Cartografia de risco; Geotecnologias; Inteligência artificial