

Interface dos riscos urbanos: fundamentos, métodos e análises aplicadas a interdependências em infraestruturas

Renata Moreira*

Resumo O artigo sistematiza pesquisa que analisou o panorama nacional e internacional da gestão de riscos; conceitos e instrumentos de gestão de riscos e potencial integração com instrumentos de planejamento e gestão urbanas; desenvolveu análises quantitativas de dados de ocorrência de desastres e qualitativas de casos estratégicos na RMSP e identificou que, quando há implicação de funções infra estruturais em contexto do desastre, os impactos são consideravelmente maiores e exigem produção de novo conhecimento. Nesta sistematização são apresentados: contexto de casos internacionais, conceitos e procedimentos em gestão de riscos, formulações metodológicas para as noções de efeitos de interdependências entre sistemas e susceptibilidades em cascata, consideradas promissoras para o campo do urbanista contribuir com o campo da gestão de riscos. Por fim, o artigo apresenta a aplicação metodológica por ação de extensão para o contexto da Região Norte Metropolitana de São Paulo.

Palavras-chave: infraestrutura, mudanças climáticas, metodologias, planejamento urbano e regional.

Interfaz de riesgo urbano: fundamentos, métodos y análisis aplicados a las interdependencias en infraestructuras

Resumen El artículo sistematiza investigaciones que analizaron el panorama nacional e internacional de la gestión de riesgos; conceptos e instrumentos de gestión de riesgos y posible integración con instrumentos de planificación y gestión urbana; desarrolló análisis cuantitativos de datos de ocurrencia de desastres y análisis cualitativos de casos estratégicos en el RMSP y identificó que, cuando hay una implicación de funciones infraestructurales en el contexto del desastre, los impactos son considerablemente mayores y requieren la producción de nuevos conocimientos. Esta sistematización presenta: contexto de casos, conceptos y procedimientos internacionales en gestión de riesgos, formulaciones metodológicas para las nociones de efectos de interdependencias entre sistemas y susceptibilidades en cascada, consideradas promisoras para el campo de la planificación urbana para contribuir al campo de la gestión de riesgos. Finalmente, el artículo presenta la aplicación metodológica a través de la acción de extensión para el contexto de la Región Metropolitana Norte de São Paulo.

Palabras clave: infraestructura, cambio climático, metodologías, planificación urbana y regional.

Urban risk interface: rationale, methods and analyzes applied to interdependencies in infrastructure

Abstract The article synthesizes research that analyzed national and international panorama of risk management, developed quantitative analyzes of disaster occurrence data, qualitative analyzes for strategic cases in the RMSP; and identified that, when infrastructure functions are involved in the disaster context, the impacts are greater and require new knowledge to deal with its management. This systematization contains the following topics: context of international cases, concepts and procedures in risk management, and their limits; methodological formulations for the notions of effects of interdependencies between systems and cascading susceptibilities as promising for contributions from the urban planning field to the risk management field. Finally, the article presents methodology and diagnostic application of complex risk mapping in the Northern portion of São Paulo Metropolitan Area.

Keywords: infrastructure, climate change, methodologies, urban and regional planning.

O artigo sistematiza parte de pesquisa¹ (Moreira, 2018) que buscou compreender o panorama da gestão de riscos nas cidades brasileiras e como os princípios de gestão de riscos são incorporados aos instrumentos de planejamento e gestão urbanas. Por meio de análises quantitativas e qualitativas de 10 anos de ocorrências na Região Metropolitana de São Paulo e aprofundamento de casos em nós estratégicos da estrutura metropolitana, a pesquisa identificou que, quando há implicação de funções infraestruturais no contexto do desastre, os impactos são consideravelmente maiores e exigem organizações preventivas de grande escala. Saber reconhecer, identificar e prever a implicação de redes e dispositivos de infraestruturas nos desastres se torna especialmente importante no cenário de Emergência Climática.

O artigo aborda também resultados de experiência de extensão² (Moreira *et al.*, 2021), desdobrada de um dos nós estratégicos da pesquisa, que buscou exercitar análises cruzadas sobre a implicação de infraestruturas em situações críticas. Para fundamentar este exercício, foram reunidos conceitos do campo da gestão de riscos, a fim de alcançar possíveis inovações metodológicas e aplicações em diálogo com as áreas de conhecimento que já se dedicam ao tema.

Alguns casos internacionais ilustram o contexto recente destas implicações. Em outubro de 2012, Nova Iorque viveu os impactos do Furacão Sandy principalmente com panes e interrupções elétricas, deixando diversos setores da cidade sem energia: mais de um milhão de ligações por pelo menos 2 dias, e, em distritos mais distantes, mais de 8 mil economias sem energia 60 dias após o evento. Na decretação de emergência, todo o transporte da cidade foi paralisado (ônibus, metrô, pontes e túneis), além diversos serviços. Com as águas 4 metros acima do nível, alagamento de túneis, linhas de metrô e danos a equipamentos elétricos mantiveram todo o sistema de metrô fechado por ao menos 4 dias. Alguns túneis e pontes foram reabertos após 15 dias, e, ainda em junho do ano seguinte, o serviço de metrô não foi reestabelecido em zonas mais afetadas da cidade - justamente as mais dependentes e com menor redundância de conexões de transporte. Danos mais severos a residências e mortes (53 em todo o estado) ocorreram principalmente nessas áreas que permaneceram desconectadas, as frentes aquáticas de Rockaway Beach e Red Hook, em zonas baixas de Staten Island, em Breezy Point, no Queens, e a região de Long Island. Locais de zonas demarcadas como sujeitas a inundações e com casas mais vulneráveis, construídas com sistemas menos robustos (estruturas e vedações de madeira). Além de efeitos graves prolongados em distritos distantes do centro financeiro, por ao menos quatro dias Manhattan parou completamente. Mais do que revelar vulnerabilidades frente às ameaças naturais, o caso revela dependência e fragilidade urbana em relação aos dispositivos não naturais (Moreira, 2018).

Outros exemplos de ameaças que desencadeiam impactos amplos e efeitos de sistemas interdependentes parecem recorrentes. O furacão Harvey, que atingiu Houston em 2017, causou danos diretamente relacionados às inundações e danos

* Renata Moreira é Arquiteta e Urbanista, Professora da Universidade Federal do ABC, ORCID <<https://orcid.org/0000-0002-0723-7954>>.

¹ Pesquisa de doutorado financiada com bolsa capes-Cnpq.

² Ação com apoio da Pró Reitoria de Extensão da Universidade Federal do ABC – PROEC-UFABC.

indiretos de amplo alcance: a capacidade da indústria de refino de petróleo e gás na região e no Golfo do México foi reduzida, gerando escassez de combustível e subida de preços mundial. Barragens e mananciais de água tiveram que ser operados para acomodar o volume da tempestade, obrigando à evacuação e, mesmo assim, levando ao transbordamento de um dos reservatórios, o que fez com que o Centro Espacial da NASA fosse fechado. A subida da água interrompeu o fornecimento de água em algumas cidades; e a desativação do sistema de refrigeração em uma indústria química causou explosão e incêndio da planta industrial (Moreira, 2018). Em 2011, o sismo e tsunami de Sendai, além do grande número de mortes e danos, causou efeitos de falhas nos refrigeradores das usinas nucleares de Fukushima, obrigando à evacuação de toda a cidade (Moreira, 2018). O furacão Katrina, em 2005, também resultou em efeitos de redução na produção de petróleo, mas o mais marcante nesse evento foi a inundação de 80% da superfície da cidade de Nova Orleans, resultante da combinação da passagem do furacão com a sequência de falhas no conjunto de barragens e diques que protegem a cidade da subida de nível do rio Mississipi e Lago Pontchartrain. Em investigação posterior, as falhas nas barragens foram relacionadas como causa de 2/3 dos efeitos desse desastre (Little, 2010 e Sims, 2010).

Detalhar estes processos cria repertório para compreender a relação entre encadeamento e cruzamento de causas, e a ordem de grandeza dos impactos. No caso do Katrina, tão logo o olho do furacão tocou o continente na cidade de Nova Orleans, os sistemas elétricos, de telefonia e conexão com internet foram danificados. Torres usadas na comunicação de emergência também foram danificadas. Na mesma manhã, as barragens começaram a falhar e a cidade passou a ficar submersa. Com a inundação, as vias ficaram interditadas, a rede de esgotos parou de funcionar, e, também o abastecimento de água. Equipamentos públicos que poderiam prestar socorro – escolas, hospitais e instalações policiais – estavam submersos. Com a subida da água, geradores de energia de segurança foram inundados, deixando de servir as poucas torres de comunicação de rádio que ainda funcionavam, e as equipes que trabalhavam na resposta ficaram sem comunicação, sem suprimentos e com pouca mobilidade. No Estado da Louisiana foram mais de 1500 mortes. Cerca de 25 mil pessoas ficaram por dias abrigadas no estádio *Superdome*, que posteriormente também alagou. Aproximadamente 200 mil casas ficaram alagadas por semanas, e a falta de solução posterior levou à migração de pessoas pelo país por anos (Sims, 2010).

Estas situações mostram impactos de maior amplitude não só pelo caráter extremo das ameaças meteorológicas, mas pela decorrência de efeitos das ameaças sobre infraestruturas, que se cruzam, somam, amplificam e irradiam consequências.

Na Região Metropolitana de São Paulo, o histórico de perfil de riscos não apresenta situações de danos e mortes dessas proporções (Moreira, 2018). Se compararmos o total de mortes entre 2007 e 2017 na RMSP (205 óbitos) com eventos como o da Região Serrana no Rio de Janeiro em 2011 (918 óbitos), ou aos casos mencionados, São Paulo tem um perfil de riscos de baixo impacto, em região não suscetível (até o momento) a fenômenos de expressiva magnitude. Os riscos altos são pontuais e localizados, e poderiam ser gerenciados por gestão e controle urbanos efetivos. No entanto, eventos recentes fora do padrão, como a crise hídrica de 2014-15, ou chuvas que levam à necessidade de manobras em represas do sistema Cantareira nos anos de 2011 e 2016, já mostram situações em que o gerenciamento de riscos precisa lidar

com a probabilidade de impactos de grande escala em virtude da complexidade das funções envolvidas. Os casos analisados na RMSP referem-se a 3 pontos estratégicos do complexo hidroenergético metropolitano (Silva et al., 2012), em nós de ligação entre a Bacia do Alto Tietê e bacias vizinhas:

1. inundações recorrentes e duradouras na região Leste da metrópole e Jardim Pantanal, relacionado a falhas no sistema de bombeamento do Rio Pinheiros na confluência com o Rio Tietê;
2. inundações no município de Franco da Rocha, agravadas por manobras necessárias no reservatório Paiva Castro, Sistema Cantareira, que serão apresentadas na parte final deste artigo;
3. efeitos da crise hídrica na RMSP pelo rio Tietê no município de Salto, com grande mortalidade de peixes, e a relação com estruturas metropolitanas para de controle de inundações e geração de energia a oeste da bacia.

Dado o contexto e a formulação do problema, o artigo propõe organizar questões metodológicas como contribuições úteis do campo do planejamento urbano e regional para que se alcance estas complexidades. Um novo entendimento de método pode promover avanço significativo na execução da ação prioritária 1 do Marco de Sendai - “Compreender o risco de desastres”, alinhado à meta D do mesmo documento – “reduzir danos a infraestruturas e interrupções de seus serviços em contextos de desastres”, dimensões enfatizadas também no último relatório IPCC (IPCC, 2023).

Para organizar estes aspectos metodológicos, a segunda parte do artigo apresenta os conceitos básicos riscos e da norma ISO 31000. Ao fim desta parte, são apresentados os fundamentos teórico-metodológicos que definem interdependências ente infraestruturas críticas e suscetibilidades encadeadas (Little, 2010, Dueñas-Osorio e Vermuru, 2009).

Na terceira parte, é proposta uma agenda para o campo do planejamento frente aos contextos de riscos complexos, que tendem a aumentar diante das novas ameaças climáticas. Esta agenda – tanto de pesquisas como da gestão urbana –pode conferir relevância específica à contribuição dos urbanistas no tema da gestão de riscos.

Na última parte, os fundamentos teóricos que definem riscos cruzados, encadeamento de falhas e falhas em cascata são apresentados aplicados a um diagnóstico da Bacia Juqueri-Cantareira, na franja Metropolitana Norte da RMSP.

Aspectos metodológicos

Terminologias, conceitos e classificações da gestão de riscos e seus limites

Os conceitos na gestão de riscos provêm dos campos da ciência natural e ciência natural aplicada. Estas áreas são dedicadas a caracterizar processos baseados em histórico de registros, estatísticas e estimativas, ou situações materiais isoladas e ensaiadas; a analisar comportamentos físicos e situações limite de elementos e comportamento de materiais-foco de cada disciplina separadamente; a definir,

classificar e quantificar os processos em análise, instrumentalizar medidas de respostas a cada processo ou conjunto de processos identificado individualmente. Neste conjunto de práticas, alguns termos e definições são necessários para comunicar com clareza entre as diferentes áreas temáticas que atuam no campo da gestão de riscos e nas diversas fases.

Há manuais e glossários de definições na literatura de riscos. Atualmente, no Brasil, as definições são uniformizadas de acordo com a Estratégia Internacional das Nações Unidas para Redução de Desastres (UNISDR, 2000). Para esta síntese, as definições foram cotejadas com fontes do IPT e do Instituto Geológico, as duas instituições mais ativas em São Paulo relacionadas com produção de instrumentos de identificação de riscos e gestão de riscos e desastres.

Suscetibilidade, vulnerabilidade, ameaças, perigos e risco são termos com significados distintos e precisos. Sempre referenciados a um tipo de evento ou processo ou ameaça (sismológico, geológico, hidrológico, meteorológico, tecnológico), criam correspondências específicas com diferentes instrumentos de identificação de riscos (mapeamentos), de prevenção, decisões de contingência e preparação da resposta (Macedo, 2013 E Tominaga, 2015).

Suscetibilidade trata de características inerentes ao meio físico face à probabilidade de ocorrência de determinados processos, à sua distribuição espacial e à potencial intensidade (magnitude). Não considera a frequência. Por exemplo, existem solos mais ou menos suscetíveis a movimentos de massa, terrenos mais ou menos suscetíveis (pela topografia) a alagamentos, zonas mais ou menos suscetíveis a enxurradas em função da combinação de processos meteorológicas e declividade, e isso independe da ocupação e uso que se faça do espaço (UNISDR 2009; Macedo, 2013).

O termo perigo [*hazard*], atribui determinada frequência às condições de suscetibilidade de um lugar. Portanto, exige definir uma probabilidade de ocorrência considerando certo período de tempo a um lugar com certa suscetibilidade (Tominaga, 2015).

A vulnerabilidade diz respeito à condição de dano potencial de elementos expostos. A transformação espacial pode exacerbar ou minimizar suscetibilidades inerentes ao meio físico. Isso é especialmente importante na arquitetura e urbanismo, pois a forma e localização espacial escolhida podem expor ou preservar vidas e bens. O termo vulnerabilidade identifica necessariamente um grau de perdas e danos potenciais.

A noção de risco, finalmente, exige mensurar, quantificar, a possibilidade de consequências prejudiciais de um evento. Para definir risco é preciso saber a probabilidade de ocorrência de uma ameaça (ou seja, perigo) com seu potencial efeito (quantificação de danos e provável intensidade das consequências, a partir da estimação da condição vulnerável – alta, média, baixa - dos elementos expostos). É composto como produto dos fatores probabilidade de ameaça (A) (relativa à suscetibilidade e perigo) e categorização da vulnerabilidade (V) (relativo ao dano potencial):

$$R = A \times V$$

A composição dos fatores A e V podem variar nas diversas áreas, sobretudo para a vulnerabilidade. A equação do risco também pode ter fator de minoração, ao considerar a capacidade de gerenciamento dos riscos no contexto. Porém, em regra, todas as metodologias são funções do produto entre probabilidade da ameaça e grau de dano potencial.

É possível classificar cada um dos fatores da equação do risco em categorias em função da frequência (alta, média e baixa probabilidade) e do impacto (alta, média e baixa intensidade do processo e/ou do dano), e definir perfis de risco por tipo de ameaça e categoria da provável magnitude.

Por envolver mensuração, esses fatores podem ser expressos em intervalos numéricos e gerar classes espacialmente distribuídas, ou seja, mapas, que variam com a complexidade da informação e escala. Por exemplo, as informações espaciais sobre suscetibilidade são mais apropriadas ao planejamento da ocupação inicial de um território, em escalas mais distantes; sobre vulnerabilidades, auxiliam na definição de áreas prioritárias para ações de controle e gestão de riscos, em escala mais próxima; e informações de risco (setorizações), são úteis para orientar ações para controle de riscos já instalados, em escala de detalhes (Macedo, 2013).

Além das definições para análise e avaliação do risco, há definições de controle do risco, como fases classificadas em: preventiva (que identifica riscos e planeja ações antes dos eventos); de resposta, ações e atendimento emergencial durante a crise (aspectos de organização transitória e logística); e a fase pós-desastre, como quantificação e reparação de danos, indenizações e reconstrução, que acumula e organiza a experiência da situação crítica vivida para não repeti-la.

Para o tipo de processo, há a classificação oficial Cobrade (Brasil, 2012), uma árvore de categorias a partir de dois termos principais: desastres naturais – processos do meio físico que independem da ação humana (uma consideração que necessariamente deve ser relativizada pelos estudos do território), e desastres tecnológicos - processos resultantes de atividades de transformação, produtivas.

A classificação Cobrade reforça a segmentação setorial da gestão urbana. Sistemas grandes e complexos compõem a cidade como segunda natureza, com múltiplas interfaces: sistema habitacional, controle urbano, proteção ambiental, saneamento, resíduos sólidos, mobilidade, sistemas elétricos, sistemas de informações. Tanto falhas em cada um deles, como efeitos de eventos externos a eles são informações ausentes nos grandes campos de classificação de desastres.

As falhas da cidade também são riscos, mas estão invisibilizadas nas interfaces da classificação e nos resíduos não classificados. Fenômenos dessa segunda natureza não podem ser expressos por eventos classificados como 'tecnológicos' na codificação Cobrade. Dito de outra forma, existem riscos cuja natureza da ameaça é urbana: não aconteceriam na natureza, e não podem ser explicados por categorias segregadas de ameaças tecnológicas. Prescindem do entendimento de processos urbanos, e dos funcionamentos de normalidade e falha de sistemas. A natureza segunda também configura suscetibilidades, não apenas vulnerabilidades, ou seja, pode gerar e amplificar ameaças, não apenas ser vulnerável a elas.

Procedimentos propostos pela ISO 31000

A Norma ABNT-ISO 31000 propõe um método para gerenciar riscos independentemente do tipo de organização interessada, setor de atividade, ou tipo de risco envolvido. Seu estudo é válido pois, além de ser utilizada em planos de gestão de risco das empresas de infraestrutura e organizações setoriais, traz abordagem de identificação de risco que atravessa categorias.

Os Procedimentos propostos na ISO 31000 partem da premissa de que a gestão de riscos deve ser aplicada a sistemas bem definidos e fechados. Uma organização que busca gerenciar seus riscos, alcançar seus objetivos e desempenhe suas atividades-fim está sujeita à incidência de fatores de incertezas internos e externos. Assim, nesta norma, risco é definido como 'efeito de incertezas no objetivo'.

Todas as atividades de uma organização ou sistema envolvem riscos, mas apenas alguns riscos interferem nas atividades a ponto de valerem à pena serem gerenciados. Assim, a primeira medida a se tomar na elaboração de uma proposta de gestão de risco é definir o contexto, baseado nos objetivos organizacionais, estrutura e condições internas, e nas condicionantes do contexto externo: o que define o sistema a ser gerenciado? Que parâmetros internos e externos devem ser levados em consideração? Quais os critérios de significância para definir riscos que importam ao contexto?

Estabelecido contexto e critérios, deve-se proceder à avaliação dos riscos. Inicialmente, identificando as incertezas (ou ameaças); posteriormente, apreciando as causas, fontes, interações e complexidades. Após identificados e analisados, são finalmente avaliados - quantificados em probabilidade e impacto.

Após avaliar os riscos, é possível definir o tratamento que será dado: quais serão gerenciados ou residuais no processo. Investir em mitigação deve compensar o custo do risco à atividade fim. É possível decidir não realizar uma atividade que dá origem ao risco, ou assumir e aumentar um risco para aproveitar uma oportunidade de mudança estrutural que seria custosa econômica ou politicamente sem sua ocorrência. É possível assumir um risco propondo medidas que atenuem prováveis impactos: ao atuar na fonte de risco, ou nas probabilidades, ou nas consequências (elementos expostos), ou compartilhando o risco com contextos externos.

O que não é tratado é considerado residual, mas pode ser também um risco não analisado e ou não avaliado por estar fora do contexto de interesse; ou mesmo ser desconhecido. Fica retido no sistema por desconhecimento ou decisão da organização de quão tolerável é assumi-lo. Pode ser transferido, exigindo governança e comunicação.

A atividade de comunicação e consulta deve ser contínua e alimentar todas as fases do processo de gerenciamento de riscos. Trabalha interfaces entre sistemas e entre o que é interno e externo à organização. No caso de riscos residuais, e sobretudo transferidos, é ainda mais necessária. Na situação problematizada pela pesquisa, o trabalho de interface é imprescindível.

A noção de risco residual traz questões importantes para a gestão metropolitana de riscos, sobretudo na consideração da governança. Por exemplo, que organização ou agente gerencia o conjunto de riscos residuais dos diversos sistemas setoriais de

infraestrutura, e possíveis efeitos combinados tanto de riscos residuais como da relação entre sistemas? A metrópole pode ser entendida como um sistema ou organização composta por diversos subsistemas setoriais, ou por diversos subsistemas de delimitações espaciais – municípios, sub-bacias. E é composta por ambos.

Falhas e interdependências dos sistemas de infraestrutura

Em relação a situações de maior complexidade, Little (2010) analisa a literatura técnica das falhas e sinistros em infraestruturas, em que são definidas categorias de processos para tipos de interdependências entre sistemas, como:

- falhas em cascata: anormalidade em uma infraestrutura que pode causar anormalidades em um segundo sistema de infraestrutura, e um terceiro sucessivamente.
- escalonamento de falhas: a anormalidade em uma infraestrutura pode exacerbar anormalidades independentes em outra infraestrutura (ex., o tempo para recuperar as linhas de metrô afetadas se estende porque as linhas de energia não foram restabelecidas de outra ameaça);
- falhas por causas comuns: anormalidades simultâneas em duas ou mais infraestruturas em virtude de causas comuns aos diferentes sistemas.

Little simplifica definindo que efeitos de interdependências entre sistemas ocorrem quando a falha em uma das partes aciona a falha de outras partes sucessivamente, e que quando esse processo se aplica a infraestruturas, efeitos de interdependências criam situações em que a perturbação em um sistema espalha, por capilaridade e conectividade características, impactos consideráveis a outros sistemas ou dispositivos, gerando ampliação considerável de impactos. A valoração do fenômeno depende de quão vitais são as consequências, da amplitude de propagação e magnitude dos impactos. Estas dependem do grau de interdependência, do quanto as conexões entre os componentes desses sistemas são singulares ou se existem capacidades redundantes, de segurança. Os efeitos da interrupção podem tanto desaparecer à medida que cessa a ameaça, como podem somar força em ondas sucessivas mais fortes, até que parte ou toda a rede sofra perturbações. Neste caso, o dano em uma componente chave pode criar uma falha muito mais ampla e desproporcional em relação à falha original (Little, 2010: 29).

Na perspectiva aplicada à análise de redes de sistemas elétricos, Dueñas-Osorio e Vermuru (2009) desenvolvem métodos para mensurar fragilidades e interdependências a partir de métrica para 'susceptibilidade em cascata', ou seja, uma simulação que captura o efeito potencial de falhas em cascata nos sistemas. Tais simulações partem da quantificação de interrupções potencialmente críticas aos sistemas comparadas às interrupções do funcionamento convencional (normal). Estas análises de desempenho são baseadas em caminhos (topologias) da rede. Quando uma ameaça dispara redistribuição de fluxos dentro das redes, é possível analisar a propensão do sistema para tornar-se tão instável que potencialmente desencadeie falhas em cascata.

Tais formulações metodológicas foram consideradas na aplicação que será descrita na parte final do artigo.

Proposição de agenda de gestão de riscos aos estudos urbanos

A ideia de integração de escopos é própria da prática de arquitetos e urbanistas, que compatibilizam disciplinas em projetos de variadas escalas. Também a gestão de risco já está presente na atividade de planejar, embora não seja definida com este nome. A ruína de um edifício, os perigos do meio e a transformação dos perigos a uma forma segura são pressupostos para estabelecer limites à ocupação, coeficientes de segurança, cálculos e desígnios de um projeto. Simplificando, pode-se dizer que qualquer desastre com dano que ocorra em meio urbano (ou meio transformado pela dinâmica urbana) é uma falha na previsão de como melhor usar, controlar e ocupar o território. É um desastre do urbanista.

Os estudos urbanos, portanto, já contribuem em seus próprios pressupostos à gestão de riscos de desastres, mas podem ser aprimorados ao explicitar seu potencial de leitura de situações integradas, para integrar ações e na comunicação das interfaces.

Três linhas de investigação podem ser considerados como elementos de uma agenda de estudos que permita organizar e fundamentar a contribuição deste campo:

I. Reconhecimento e aprimoramento dos processos de planejamento urbano

É importante evidenciar que o planejamento já trabalha com pressupostos da gestão de riscos, sendo importante reconhecer quais são eles e como podem ser aprimorados. Algumas atividades já são orientadas pelo controle de riscos:

- a) ao orientar a ocupação (coletiva ou individualmente) para evitar a interação com fragilidades naturais (ex. zoneamentos);
- b) ao estabelecer diretrizes para distribuir recursos espaciais de maneira a equilibrar o conflito entre déficits urbanos e escassez ambiental e fundiária (ex. parâmetros urbanísticos que distribuem densidades no espaço);
- c) ao ordenar fluxos e funções de forma racional e eficiente, a fim de evitar desperdício de recursos naturais (ex. planejamento setorial);
- d) ao orientar construído e não construído (ex. zoneamentos ambientais e códigos de obras),
- e) ao ordenar todos estes elementos com sentido estético, evitando desastres tanto de forma como de significados.

Essas mesmas atividades podem acrescentar noções de controle de riscos, que envolve noção de tempo e ações de planejamento nos três momentos:

- na fase de prevenção, ao identificar situações problema e definir contingências;
- na fase de socorro e emergência, considerando a logística, planos de emergência para níveis de alerta, e na reorganização momentânea do cotidiano sob condições extremas;
- na fase de reconstrução, em que eventos anteriores devem servir de referência para uma reconstrução consciente do passado traumático.

As situações problema são recortes privilegiados de análise. As técnicas e instrumentos de planejamento podem operar algum tipo de supressão:

- a) subtração de áreas-problema da dinâmica espacial, como áreas protegidas (evitar a ocupação na margem de um rio);
- b) transformação estrutural da fonte geradora de problema (ex., altera-se o curso de um rio e a situação problema desaparece - ou é transferida);
- c) redução da margem de segurança frente a situações problema (ex. zonas de convívio com o risco como dado de planejamento e organização, com planos para situações de emergência, sistemas de monitoramento e alarme, e sistemas de informação compartilhada com o usuário).

A Emergência climática pode renovar a investigação dos processos de planejamento, pois exige atualização de parâmetros e fatores de segurança pré-estabelecidos, além de maior flexibilidade para conviver com situações extremas, e o desenvolvimento de repertórios de experiências de planejamento para o convívio seguro com novos riscos.

II. Contextos geradores de risco

Mais relacionada aos estudos urbanos e territoriais, esta linha contempla estudos espaciais que permitam abordar processos indiretos geradores de risco, e considerem a dimensão social do espaço e do risco. Ou seja, análise de processos que produzem vulnerabilidades e exacerbam riscos, o que implica em introduzir cenários tendenciais técnicos e dinâmicos (modelos) a instrumentos de análise que, em geral incorporam a dimensão temporal em perspectiva historiográfica.

É uma linha de investigação que deve associar necessariamente análises pragmáticas dos riscos urbanos, de um lado, indicadores de planejamento urbano, de outro, e fundamentação teórica sobre território, produção do espaço e análises sociais dos riscos.

III. Estudos de coordenação de interfaces complexas

Existem conteúdos naturais organizados e disciplinados para reproduzir a vida nas cidades - como água, energia, resíduos - e os fluxos de matérias e pessoas. Em contextos urbanos adensados, essas funções e fluxos resultam e dependem de expressivos impactos sobre o meio físico natural, e nem sempre é possível estabelecer separação nítida entre riscos por causas naturais, antrópicas e falhas.

Dada a magnitude das consequências que as falhas em funções de sistemas regionais podem proporcionar, preparar cidades para enfrentar contextos de ameaças cada vez mais extremas exige abordar funções regionais, interdependências de funções setoriais, e o agravo que seu mau funcionamento pode desencadear em processos de risco já instalados localmente. É imperativo que as discussões sobre riscos cruzados sejam incorporadas à pauta dos sistemas regionais, e que os sistemas regionais sejam incorporados às discussões multinível sobre gestão de riscos.

A vulnerabilidade urbana não é um fator a ser analisado apenas do ponto de vista do uso e da ocupação do solo, com predominância das funções residenciais e serviços.

Existem fragilidades dos sistemas urbanos de infraestrutura, sobretudo da articulação entre eles, que precisam ser incorporadas às análises de riscos nomeadas como urbanas. Existem riscos inerentes a essas atividades que deveriam ser considerados como elemento de suscetibilidade de um local, mais do que vulnerabilidade.

A gestão de riscos que opera em escala local, ou agrupamentos de bacias menores, deve compreender as escalas regionais que atravessam seu território. Além disso, deve haver um nível de decisão que compreenda a integração, os multiníveis, e não a mera soma de territórios.

Assim, uma agenda de pesquisa urbana nesta terceira linha de ação identificada, deve:

- conhecer as capacidades de infraestrutura instalada, seus funcionamentos e topologia;
- rever parâmetros de cálculo e adequações de redundâncias da rede, que podem ser tanto de reforço de estruturas centrais como de composição com sistemas paralelos alternativos;
- identificar complexidades de escala e interdependências entre escopo dos sistemas de infraestrutura com visão de conjunto, procurando efeitos não identificáveis no âmbito setorial de cada sistema, e eventualmente interesses mútuos;
- identificar instrumentos de gestão urbana e setoriais que possam articular instrumentos de gestão de riscos, e vice-versa;
- desenvolver cadastros que permitam reunir informações sobre sinistros, ocorrências, emergências, reconstrução, danos e investimentos empregados, de forma a alimentar decisões de planejamento e prevenção;
- facilitar que processos de planejamento urbano inseriram em seu escopo instrumentos, métodos e princípios das 3 fases dos desastres (prevenção, planejamento e resposta);
- multiplicar estudos diagnósticos sobre a coordenação de interfaces complexas no espaço urbano.

Aplicação na Região Norte Metropolitana de São Paulo

As metodologias sobre interdependências e encadeamento de riscos em infraestruturas orientaram uma iniciativa de extensão aplicada à Região Norte da RMSP (Moreira *et al*, 2021). Focada principalmente no contexto de risco da área central do município de Franco da Rocha, exemplifica riscos complexos associados a infraestruturas.

O reservatório de abastecimento de água Paiva Castro, localizado entre os municípios de Franco da Rocha e Mairiporã, é parte fundamental do Sistema produtor do Cantareira, pois esse é o ponto de transposição entre a bacia Piracicaba-Capivari-Jundiaí (PCJ) e a Bacia do Alto Tietê, transferência que abastece quase metade da RMSP.

Embora o reservatório amortecia efeitos da maioria dos eventos de chuvas em Franco da Rocha, nas situações de chuva crítica seu funcionamento na macrodrenagem passa a ser o oposto: a represa precisa abrir as comportas e liberar vazões, sob risco catastrófico para a barragem. A manobra das comportas amplia a vazão na calha do rio Juqueri e na confluência com o Ribeirão Eusébio. Esta confluência se dá precisamente no centro de Franco da Rocha, o que agrava inundações à jusante da barragem – Franco da Rocha e Caieiras - e prejudica o escoamento a montante da confluência, em Francisco Morato.

É importante considerar que Franco da Rocha tem um perfil de risco peculiar. A primeira condição, comum à toda a região, se relaciona à geomorfologia e forma de ocupação: ocupações mais antigas, que surgiram associadas às paradas da ferrovia, localizam-se no ponto mais baixo da cidade, e são sujeitas a alagamento. As ocupações mais recentes estão nos morros, com alta declividade suscetíveis a escorregamento. Os trechos de várzea são estreitos e entrecortados por morros, configurando uma ocupação com estrutura viária problemática, interrompida. A cidade é distribuída em porções nos dois lados da ferrovia. O eixo viário paralelo à ferrovia, ao longo do Ribeirão Eusébio, é importante conexão intra e interurbana, e a Tancredo Neves, conexão interurbana. Ao Sul, a rodovia dos Estados interliga a Rodovia Tancredo Neves ao município de Mairiporã, e acompanha a calha do rio Juqueri e uma das margens da represa Paiva Castro. Estas vias ficam interrompidas nas situações de manobra.

A represa passou por manobras emergenciais em 1987, em 2011 e em 2016. Após o evento de 2011, foi estabelecido plano de contingência - PAE Paiva Castro – que consiste basicamente em protocolo de ação que define o tempo de antecedência com que a empresa que opera o reservatório (Sabesp) deve comunicar a defesa civil e os prefeitos a cada aumento na vazão de descarga, e apresenta os níveis d'água limite para que as comportas passem a ser abertas com determinada vazão. Não há definição clara de limiares para os quais o túnel 5 (que faz a transposição de bacias) deva ser fechado, ou informações e parâmetros operacionais sobre as vazões recalçadas para a Elevatória de Santa Inês (Moreira, 2018).

Notícias de jornal do período (Moreira, 2018) relatam que, para evitar contextos críticos novos, em junho de 2016 a Sabesp aumentou a produção de água do Sistema Cantareira a fim de evitar novas manobras, aumentando a área de abrangência do Cantareira para regiões que normalmente recebem água do Alto Tietê, do Guarapiranga e do Alto e Baixo Cotia. Ou seja, é possível realizar alterações no procedimento operacional de entrega de água para tratamento e consumo em situação crítica, embora não sejam explicitadas como contingências possíveis no PAE.

Assim, os riscos a que Franco da Rocha está submetido não se restringem às ameaças características de sua geomorfologia e ocupação, mas a ameaças relativas ao convívio com elementos da infraestrutura urbana de alcance metropolitano e macrometropolitano dentro de seus limites e que podem se encadear em situações críticas.

Além destes conflitos relacionados aos Recursos Hídricos, há conflitos relacionados à estrutura urbana das cidades e limitações dos sistemas de circulação. O salvamento a habitações vulneráveis é dificultado quando há manobra da represa devido ao bloqueio da mobilidade nas ações de resposta. Além disso, a existência de unidades prisionais

no município exige bloqueio de telefonia celular, o que torna o sinal mais difícil na região, sendo mais um fator de agravamento no contexto de emergência.

A circulação de um lado a outro do município de Franco da Rocha é altamente dependente do eixo ao longo do Ribeirão Eusébio, vulnerável a inundações e extravasamento da própria calha do ribeirão (com contribuições desde Francisco Morato) e da calha do rio Juqueri, na confluência. Além desse eixo, toda a rodovia dos Estados, paralela ao rio Juqueri, desde a saída do Paiva Castro, é tomada pela água durante os procedimentos de manobra da represa, interfere no acesso aos equipamentos do sistema prisional e suas rotinas de suprimento, e deixa em alerta máximo uma subestação elétrica de abrangência importante para a região (Elektro), cuja pane pode agravar ainda mais a gestão de crise.

No evento de março de 2016, a mobilidade mal resolvida neste município tornou a logística do auxílio às emergências de escorregamento em Mairiporã mais difíceis. Nesta data, nas cidades da região, foram computadas 19 mortes: 10 em Mairiporã, 8 em Francisco Morato e 1 em Franco da Rocha (Andrade e Tominaga, 2016).

Notícias de jornal em datas críticas (Moreira, 2018) permitem compreender outros impactos da manobra na cidade, indicando que estruturas como todo o paço municipal - Prefeitura, Câmara Municipal, fórum, delegacia de polícia, duas escolas, um ginásio de esportes, uma igreja além de parte dos trilhos da CPTM, um edifício da Sabesp, carros de polícia, ambulâncias e hospitais - ficam submersos durante as manobras. Evidente o problema urbano de localizar centros para resposta a emergências em áreas passíveis de alagamento.

Assim, a ação de extensão estabeleceu como objetivo produzir mapas que cruzassem informações sobre mobilidade, riscos geológicos, equipamentos de resposta e localização de infraestruturas chave, visando articular agentes e fomentar o processo de discussão da gestão de riscos e sobre riscos complexos.

Considerando o contexto espacial sub-regional e a fundamentação de falhas em infraestruturas, consideramos como 'fator interdependente' a estrutura de mobilidade da sub-região norte da RMSP quando usada na logística de resposta a eventos críticos, que pode agravar impactos ao impedir salvamentos. A rede foi analisada em seus aspectos topológicos para cenários de 'normalidade', 'interrupção' por inundação local e pela manobra). A operação de manobra do Paiva Castro é o elemento de 'falha' que submete o sistema de mobilidade à condição de encadeamento em sua rede e na de outros sistemas. Se a análise fosse metropolitana, o Paiva Castro seria fator de interdependência metropolitana – pois perturbação nesse dispositivo do sistema acarretaria graves consequências a toda a metrópole.

Foram propostas 5 camadas de dados e informações, apresentadas no esquema a seguir (Figura 1):

1. Identificação dos pontos de origem dos percursos de resposta e salvamento – equipamentos de segurança pública, defesa civil, bombeiros, hospitais;
2. Identificação dos pontos de destino (centróides dos setores de risco);

3. Definição de trajetos em situações de emergência para cenário base sem inundação;
4. Construção de cenário 1 de inundação – extravasamento da calha do Ribeirão Eusébio em situações de chuva crítica, sem manobra do Paiva Castro;
5. Construção de cenário 2 de inundação – extravasamento da calha do Ribeirão Eusébio em situações de chuva crítica, com manobra do Paiva Castro;
6. Reavaliação de trajetos a partir dos cenários de inundação 1 e 2.

Para as camadas 1 a 3, os mapeamentos foram desenvolvidos com o software de geoprocessamento QGIS 3.16 Hannover. A primeira camada de dados foi elaborada pelo levantamento da localização dos equipamentos e geocodificação dos endereços com posterior validação pelos gestores locais.

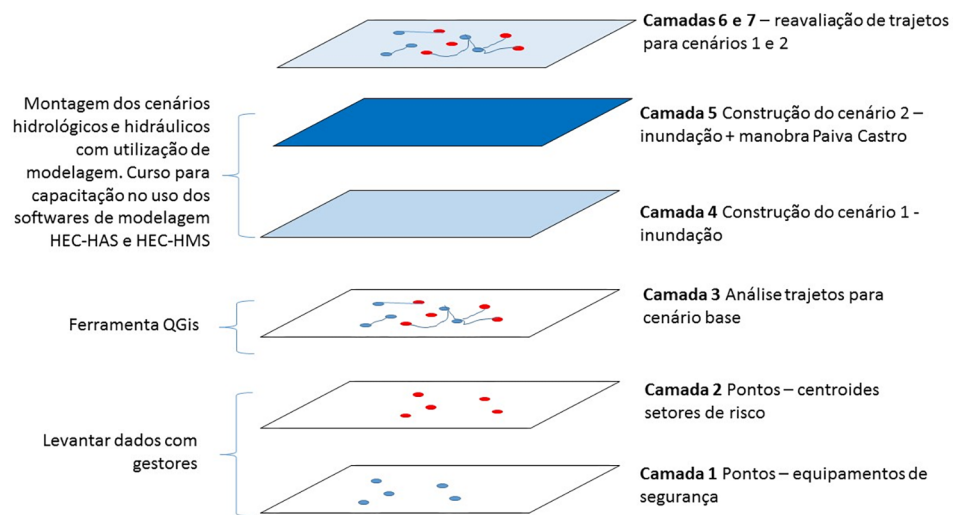
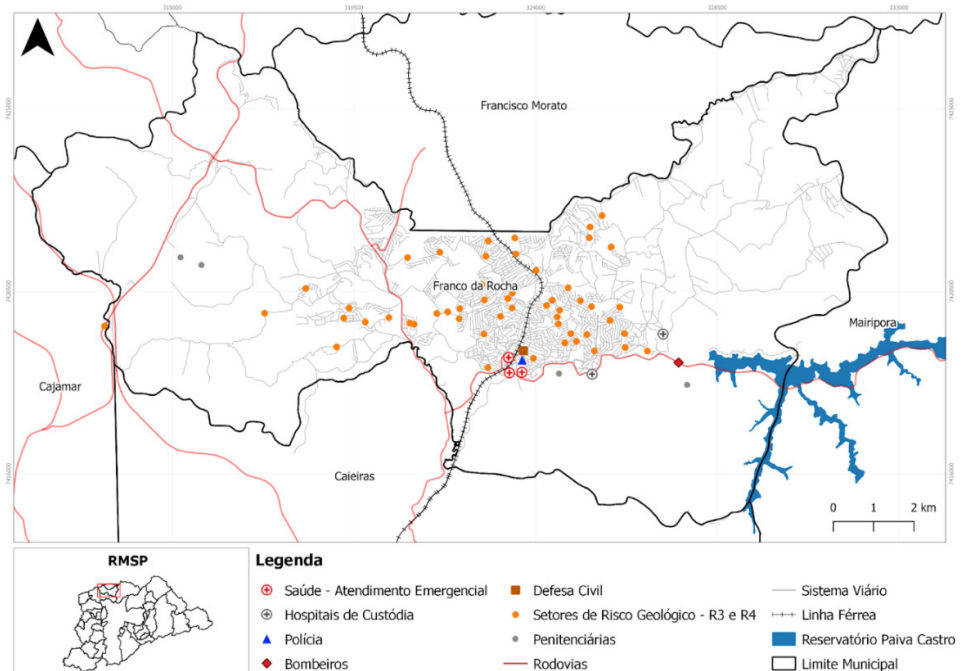


Figura 1: Camadas de mapeamento. Fonte: Moreira *et al.*, (2021).

Figura 2: Localização dos Equipamentos de resposta e setores de risco Franco da Rocha (SP). Dados: IG (2020), SAP (2021), DER (2019), SMT/CPTM (2021), CBH-AT (2018), IBGE (2010). Fonte: Moreira *et al.*, (2021).



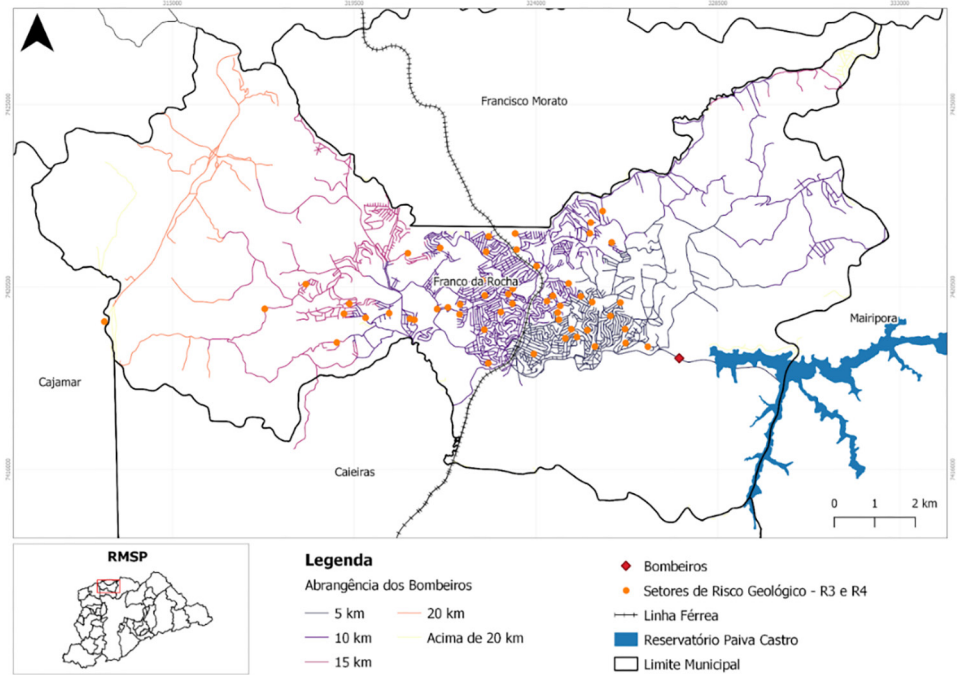
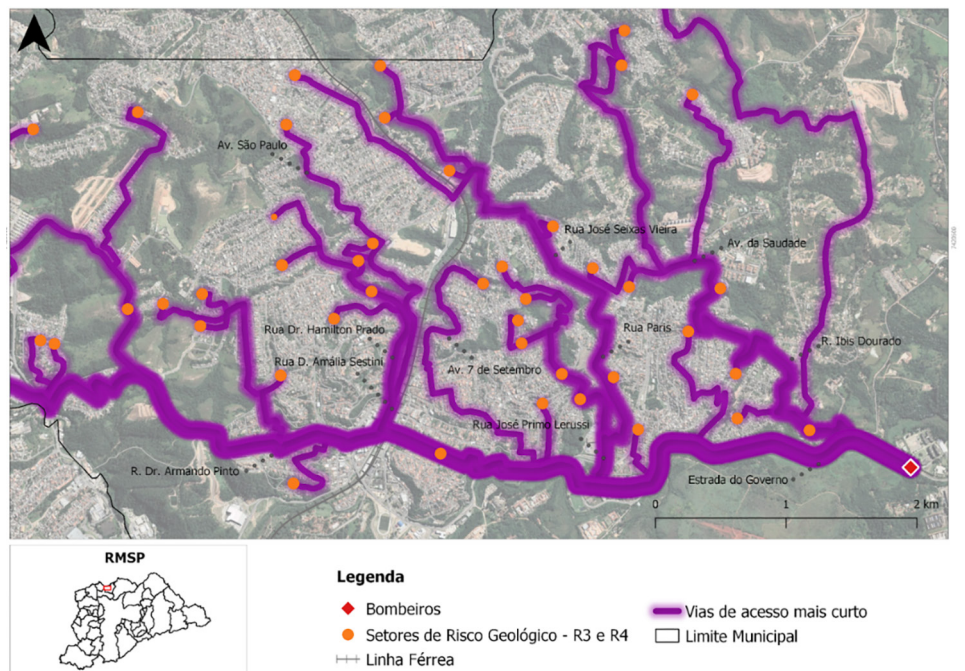


Figura 3: Abrangências Corpo de Bombeiros x Risco R3 e R4. Dados: IG (2020), SMT/CPTM (2021), CBH-AT (2018), IBGE (2010). Fonte: Moreira *et al.*, (2021).

Figura 4: Menores trajetos - Bombeiros x Setores de Risco R3 e R4. Dados: IG (2020); SMT/CPTM (2021); IBGE (2010). Fonte: Moreira *et al.*, (2021).



Na segunda camada, foram extraídos os centróides dos polígonos dos setores de risco alto - R3 e muito alto - R4 (Instituto Geológico e Plano Municipal de Riscos de Franco da Rocha) e validadas pelos gestores locais. Na terceira camada, foram definidos os trajetos de menor distância entre equipamentos de resposta e setores de risco, através da ferramenta v.net.iso sobre sistema viário disponibilizado pelo CEM (a Figura 3). A figura 4 traz um dos mapas, que foram produzidos para cada equipamento de resposta.

Para a construção das camadas 4 e 5, a estratégia foi ampliar o processo de capacitação da própria equipe em ferramentas de modelagem. Assim, foram organizados 2 módulos para capacitação em modelagem hidrológica e hidráulica voltados não só à equipe de extensão, mas à comunidade acadêmica, agentes da região e membros do Comitê de Bacia do Alto Tietê.

Para construir os mapas de inundação dos cenários 1 e 2 (camadas de análise 4 e 5 de análise), foram realizados os cursos de modelagem, situação que permitiu promover importantes trocas de experiências e estreitar vínculos entre Universidade e poder público. Porém, o tempo total da ação (1 ano) e a dificuldade de acesso a dados pluviais e fluviais não permitiram obter o resultado da mancha de inundação. A camada 5 está definida pela Sabesp, mas precisaria ser associada ao processo dinâmico das cheias da camada 4. A atividade 6, portanto, foi analisada por validação com gestores da Defesa Civil, considerando a mancha de inundação da Paiva Castro e vias frequentemente alagadas. O processo pôde chegar até este ponto.

A análise conjunta das camadas 1 a 6 permitiria apontar trajetos críticos e equipamentos de resposta com alta probabilidade a interrupção de atividades (as fragilidades do sistema de resposta), e zonas com mais baixa acessibilidade (mais suscetíveis a não obter resposta satisfatórias em caso de emergências), chegando a apontar medidas integradas para ordenamento urbano e estrutura viária de mobilidade.

Conclusões

Os exemplos nacionais e internacionais apresentados e a experiência aplicada descrita neste artigo ilustram situações de falhas em infraestruturas, interdependência e encadeamento de riscos, que tendem a ser exacerbados frente ao cenário de emergência climática. Estas situações são pouco exploradas no campo da gestão de riscos, e se considera que a formação de arquitetos, urbanistas e planejadores, por sua visão de conjunto característica, pode aportar contribuições úteis e valiosas.

Para fundamentar tal compreensão, o trabalho sistematizou os principais conceitos no campo da gestão de riscos, e apontou como o problema das falhas em infraestruturas e encadeamento de riscos ou são de difícil categorização, ou são residuais em propostas metodológicas mais integradas, voltadas a contextos de organizações.

Para as noções de falhas em infraestruturas e encadeamento de riscos, Little (2010) traz a importante formulação de 'efeitos de interdependências entre sistemas', que parte de da análise da literatura sobre sinistros, especialmente de contextos de infraestrutura. Dessa proposta, se pôde extrair para a perspectiva de aplicação a importância em definir o sistema que opera como fator interdependente em relação aos demais sistemas, e que a perturbação não necessariamente se inicia no sistema interdependente, mas sua capilaridade funcional define a interdependência. Dueñas-Osorio e Vermuru (2009), em estudo aplicado à análise de redes de sistemas elétricos, desenvolvem indicadores e métricas para 'susceptibilidade em cascata' dos sistemas, da qual se pôde extrair como método para a nossa perspectiva de aplicação, a importância de realizar análises topológicas, do desenho da rede, e que exercícios aplicados devem ser empreendidos sistematicamente para situações normais e de crise.

Com tal aporte de repertório teórico, conceitual e metodológico pudemos, inicialmente, desenhar uma agenda para aproximação entre a gestão de riscos e o planejamento e projeto urbano, para que este possa aportar contribuições e inovações ao processo frente à cenários de emergência climática.

Por fim, pudemos apresentar a aplicação para o recorte da região norte da RMSP, na sub-bacia Juqueri-Cantareira. Esta região é exemplar de problemas de encadeamento de ameaças e riscos que precisam de diagnósticos, diálogo e articulação institucional inovadores para seu equacionamento. A região de recorte do trabalho – que envolve os municípios de Caieiras, Franco da Rocha, Francisco Morato, Mairiporã e Cajamar – expressa conflitos da gestão de recursos hídricos e de riscos encadeados principalmente por conter, em seu território, um grande equipamento de infraestrutura para abastecimento de água, cujo funcionamento é de abrangência metropolitana, e cuja operação, em contextos críticos, amplifica os riscos locais da região.

Esta ação propôs metodologia de mapeamento que analisa como o contexto de logística de salvamento a situações de ocorrências geológicas na região norte metropolitana é afetado pelo contexto de inundações locais, e agravado pelas manobras do Reservatório Paiva Castro. O exercício alimentou a articulação institucional e fomentou o debate sobre abordagem integrada dos riscos na região.

Referências bibliográficas

- ABNT-ISO. ABNT-ISO 31000. *Gestão de Riscos: Princípios e Diretrizes*, 2009.
- ANDRADE, E; TOMINAGA, L. K. *Acidentes ocorridos entre 10 e 11 de março na RMSP*. Informe Técnico 04/2016. Boletim GAEE. IG-SMA. São Paulo, 2016.
- BRASIL. *Classificação e Codificação Brasileira de Desastres*. Ministério da Integração, 2012.
- DUEÑAS-OSORIO, L.; VERMURU, S. M. Cascading failures in complex infrastructure systems. *Structural Safety*, n. 31, p. 157-167, 2009. Disp. em: <<https://www.journals.elsevier.com/structural-safety>>. Acesso em: 15 set. 2021.
- IPCC. Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, 2023m Geneva, Switzerland, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001
- LITTLE, R.G. Managing the Risk of Cascading Failure in Complex Urban Infrastructure. In: Graham, S., (ed.). *Disrupted Cities: When Infrastructure Fails*. New York: Routledge. Ebook: 979-1334. 2010.
- MACEDO, L. e BRESSANI, L. *Diretrizes para o zoneamento da suscetibilidade, perigo e risco de deslizamentos para planejamento do uso do solo*. São Paulo, ABGE/ABMS, 2013.
- MOREIRA, R. *Interfaces dos riscos urbanos na Região Metropolitana de São Paulo*. 2018. Tese de doutorado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2018.
- MOREIRA, R.; URRESTARAZU, M. SOUZA, B. Visão de conjunto: governança de riscos urbanos e metropolitanos na Bacia Juqueri-Cantareira. In: *Anais do III Sustentare – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas e VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade*. Campinas, 2021.
- SABESP-HIDRO. *Estudo de cheias para avaliação dos volumes de espera dos aproveitamentos do sistema Cantareira*. Relatório Final, v. 2. Out., 2009.

SILVA, R. T.; NUCCI, N. L. R.; COSTA, J. J. *Recursos hídricos, saneamento e gestão metropolitana: os novos desafios*. Engenharia, ano 69, n. 609, p.102-110. 2012. Disp. em: <http://www.brasilengenharia.com/portal/images/stories/revistas/edicao609/609_art_recursos.pdf>. Acesso em: 12 mai. 2024.

SIMS, B. *Disoriented Cities: infrastructure, social order and the Police response to Hurricane Katrina*. In: GRAHAM, S. (ed.) *Disrupted Cities: when infrastructure fails*. NYC: Routledge, 2010.

TOMINAGA, L.; SANTORO, J. e AMARAL, R. *Desastres naturais: conhecer para prevenir*. São Paulo: Instituto Geológico, 2015.

UNISDR. *UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction*. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, 2009.

_____. *Marco de Sendai para redução de riscos de desastres 2015-2030*. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, 2015.

Recebido [Mai. 17, 2023]

Aprovado [Jun. 27, 2024]