RISCOS

territorium 31 (II), 2024, 55-71
journal homepage: https://territorium.riscos.pt/numeros-publicados/
DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_31-2_4
Artigo científico / Scientific article

ANÁLISE DA RECUPERAÇÃO DE SISTEMA NATURAL PÓS-DESASTRE: ESTUDO DE CASO EM ÁREA DE MONTANHA NO RIO DE JANEIRO, BRASIL*

ANALYSIS OF THE RECOVERY OF A NATURAL SYSTEM AFTER A DISASTER: A CASE STUDY IN A MOUNTAIN AREA IN RIO DE JANEIRO, BRAZIL

Alice Barreto Arruda Campos
Escola Nacional de Ciências Estatísticas (Brasil)
Pós-Graduação em Análise Ambiental e Gestão do Território
ORCID 0000-0002-9776-4036 alicebacampos@gmail.com

Rosangela Garrido Machado Botelho
Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Brasil)
Diretoria de Geociências/Coordenação de Meio Ambiente
ORCID 0000-0002-7436-5198 rosangela.botelho@ibge.gov.br

RESUMO

Este estudo objetiva avaliar as condições e a recuperação do sistema natural da bacia hidrográfica do rio Cuiabá, na região de montanhas do Estado do Rio de Janeiro (Brasil) após um megadesastre, datado de janeiro de 2011, em que extensos movimentos em massa associados a fortes precipitações geraram um rastro de destruição e mortes. Foram realizados pesquisa bibliográfica, campos virtuais e presencial, visando identificar elementos no sistema natural que contribuíssem para tal análise. Em 2011, verificaram-se fundo de vale assoreado, margens instáveis, nível de base elevado, construções destruídas, obras de terraplanagem e reconfiguração da calha do canal principal. Em 2019, a planície apresentava-se basicamente revegetada por gramíneas, com casas habitadas às margens. Em 2023, o sistema ainda não estava totalmente recuperado, com maior parte da planície e margens sem mata ciliar, encostas erodidas e extração de areia nas margens. Assim, é primordial que haja continuidade de obras, visando a recomposição da mata ciliar, contenção de taludes, realocação da população em área de risco e monitoramento do uso e ocupação do solo.

Palavras-chave: Desastre, movimentos em massa, respostas, campos virtuais.

ABSTRACT

This study aims to assess the conditions and recovery of the natural system of the Cuiabá river basin, in the mountainous region of the state of Rio de Janeiro (Brazil) after a mega-disaster in January 2011. The disaster involved extensive mass movements associated with heavy rainfall, and these generated a trail of destruction and deaths. A literature survey, and virtual and face-to-face fieldwork were carried out to identify elements in the natural system that could contribute to this analysis. In 2011, there was a silted valley floor, unstable banks, high base level, destroyed buildings, earthworks and reconfiguration of the main channel. In 2019, the plain was basically replanted with grasses, with houses on the banks. In 2023, the system had not yet fully recovered, with most of the plain and banks lacking riparian vegetation, eroded slopes, and sand extraction on the banks. It is therefore essential to continue working to restore the riparian forest, contain the slopes, relocate the population in the risk area, and monitor land use and occupation.

Keywords: Disaster, mass movements, responses, virtual fields.

* *O texto deste artigo corresponde a uma comunicação apresentada ao IV Simpósio Ibero-Afro-Americano de Riscos, tendo sido submetido em 22-01-2023, sujeito a revisão por pares a 18-02-2023 e aceite para publicação em 03-05-2024.*

Introdução

No Brasil e no mundo, os desastres ambientais parecem estar sendo cada vez mais recorrentes e intensos, estando muitos deles relacionados à forma como a sociedade se relaciona e ocupa o espaço geográfico. Em 2022, o total de desastres reportados mundialmente foi de 387, maior que a média registrada entre 2002 e 2021 (370); o total de mortes de 30.704, em 2022, foi três vezes maior que o registro de 2021, porém abaixo da média entre 2022 e 2021 (60.955), além do registro de 185 milhões de pessoas afetadas neste mesmo ano (CRED, 2022).

As intervenções antrópicas no espaço estão relacionadas às suas condições geológicas, geomorfológicas e bióticas e ao desencadeamento dessas sob diversas formas, sendo uma delas os desastres. Estes podem ser considerados como acontecimentos sem previsibilidade que causam grandes danos, destruição e sofrimento humano e que transpõem a capacidade local, exigindo um pedindo de assistência externa a nível nacional ou internacional (CRED, 2022).

Tendo em vista que as preocupações ambientais foram ganhando mais relevância e as sociedades modernas tornaram-se mais vulneráveis e sensíveis a desastres, foi ocorrendo uma mudança de paradigma na relação homem-natureza, o que forneceu mais frentes de produção quanto ao risco e conceitos atrelados a ele (Souza e Lourenço, 2015). Risco é a probabilidade de ocorrer consequências danosas ou perdas esperadas (mortos, feridos, edificações destruídas e danificadas), como resultado de interações entre um perigo natural e as condições de vulnerabilidade local (UNDP, 2004), sendo o perigo um evento, fenômeno ou atividade humana potencialmente danosa e a vulnerabilidade o grau de suscetibilidade da exposição ao perigo (Souza e Lourenço, 2015; Tominaga, 2015a). Além disso, o risco tem caráter dinâmico e transcende as múltiplas escalas do espaço geográfico, sendo extremamente importante ter o conhecimento sobre o recorte espacial dos aspectos observados na paisagem e suas interações (Souza, 2020).

No Brasil, os desastres estão geralmente relacionados a fenômenos como os deslizamentos de encostas e as inundações, que comumente estão associados a eventos pluviométricos intensos e prolongados, repetindo-se a cada período chuvoso mais severo (Carvalho e Galvão, 2006). Com relação à Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, sua suscetibilidade natural a deslizamentos é considerada “muito alta”, levando-se em conta seus aspectos climáticos, geológicos, de relevo, de solos e de cobertura e uso da terra (IBGE, 2019). Em janeiro de 2011, período em que ocorreu um dos desastres mais marcantes na história do país, foram deflagrados extensos movimentos de massa na região, que, associados a grandes declividades e redes de drenagem, resultaram em números trágicos de mortos, desabrigados e desalojados nos municípios de Petrópolis, Teresópolis e Nova Friburgo (Botelho, 2011).

Os movimentos de massa são processos que envolvem a mobilização de materiais que recobrem as vertentes ou encostas, tais como solos, rochas e vegetação, sofrendo ação direta da gravidade (Tominaga, 2015b). No Brasil, apesar de serem um importante processo natural de parte da evolução geomorfológica em regiões montanhosas (Tominaga, 2007), os movimentos de massa têm ocorrido com maior frequência nas áreas urbanizadas, devido, principalmente, a fatores antrópicos ligados à ocupação e ao uso do solo e da água (Rossato e Botelho, 2002).

O impacto de grandes movimentos de massa configura uma perturbação ou crise sobre um sistema, estando este impacto fortemente relacionado com a resposta do sistema em três momentos distintos: o antes, o durante e o depois, que, por sua vez, estão relacionados com a capacidade do mesmo em antecipar, reagir e se recuperar, respectivamente (Santos, 2009). Como sistema, entende-se o conjunto de unidades com relações entre si, no qual o estado de cada unidade é controlado, condicionado ou dependente do estado das outras unidades (Christofoletti, 1979). Assim, quanto aos sistemas ambientais naturais, entende-se as peças estruturantes da natureza, por onde perpassam os fluxos de matéria e energia e onde se insere o espaço geográfico, fruto do arranjo e dinâmica das organizações humanas. Estas, por sua vez, dependem diretamente dos recursos providos por esses sistemas, desenvolvendo-se em fortes interações que, quando em desequilíbrio, acarretam riscos não só para a própria natureza mas, em essência, para a humanidade (Ross, 2019).

Nesse sentido, aponta-se a relevância de entender os mecanismos que desencadeiam desastres (mais comumente estudados), assim como os ligados ao processo de recuperação. A recuperação, no que se refere ao ciclo do gerenciamento de desastres, é considerada uma das suas quatro fases, além da mitigação, do preparo e da resposta (Yu *et al.*, 2018). Segundo esses autores, a mitigação é voltada para minimizar os efeitos do desastre, o preparo se trata em planejar sobre como responder a um desastre, a resposta é voltada a fornecer serviços para salvar vidas, proteger propriedades e o ambiente, enquanto a recuperação é o processo de retorno de sistemas a níveis normais depois de um desastre.

Este é o primeiro estudo que busca reunir e discutir resultados gerados pelo monitoramento e investigação do processo de recuperação da bacia do rio Cuiabá após o desastre de 2011, visto que estudos pretéritos na mesma área de estudo estiveram focados na caracterização do sistema, relacionando-o aos fatores deflagradores do desastre, ou no próprio evento em si e seus impactos imediatos (Guerra *et al.*, 2007; Botelho, 2011; Dantas *et al.*, 2022).

Assim, o objetivo deste estudo é avaliar as condições e a recuperação do sistema natural ao longo do curso principal de uma bacia hidrográfica fortemente atingida pelo megadesastre ocorrido em janeiro de 2011, na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro (Brasil). Para isto, foram consideradas informações da área em períodos anterior e posterior ao desastre, por meio de levantamento bibliográfico; trabalhos de campo virtual, por meio das ferramentas do *Street View* e *Google Earth*; e campo presencial, criando cenários multitemporais para análise das condições do sistema natural em questão. Vale ressaltar que a metodologia dos campos virtuais foi estruturada e aplicada entre o final de 2021 e início de 2022, ainda durante a pandemia de COVID-19, quando o megadesastre havia completado 10 anos. Assim, além da impossibilidade de realização do campo presencial devido às medidas restritivas à época, era necessário acessar cenários passados que permitiriam a comparabilidade entre as condições do sistema e as considerações sobre sua recuperação. Com a atenuação dos níveis de contaminação pela COVID-19 e o avanço da vacinação no país, foi possível realizar campo presencial em 2023, com o intuito de obter um cenário mais recente da área de estudo e da sua recuperação.

Este artigo está estruturado em Introdução, Área de Estudo, Metodologia, Resultados e Discussão e Conclusão. Os Resultados e Discussão estão subdivididos em: Bacia do rio Cuiabá: condições pré-desastre e o megadesastre; Medidas de mitigação e recuperação do desastre e Recuperação do sistema natural.

Área de Estudo

A escolha da bacia do rio Cuiabá para este trabalho baseou-se em dois fatores: foi o principal palco do megadesastre de 2011 no município de Petrópolis (Rio de Janeiro, Brasil) e corresponde à área de estudo de uma pesquisa (Botelho, 1996), cujos resultados trazem informações sobre geologia, relevo, drenagem, solo e cobertura e uso da terra em escala local, essenciais para a caracterização de um cenário pré-desastre. Assim, as infomações apresentadas a seguir reproduzem as condições levantadas por Botelho (1996) para ára de estudos 15 anos antes do desastre.

A bacia hidrográfica abrange uma área de 37,19 km² e localiza-se em Itaipava, o terceiro dos cinco distritos de Petrópolis, entre as coordenadas 22°19'24" e 22°24'27" de latitude sul e 43°01'13" e 43°05'55" de longitude oeste, no coração das montanhas situadas na porção central do Estado do Rio de Janeiro.

Com 10,4 km de extensão, o rio Cuiabá corre no sentido NE-SO, na direção principal dos falhamentos

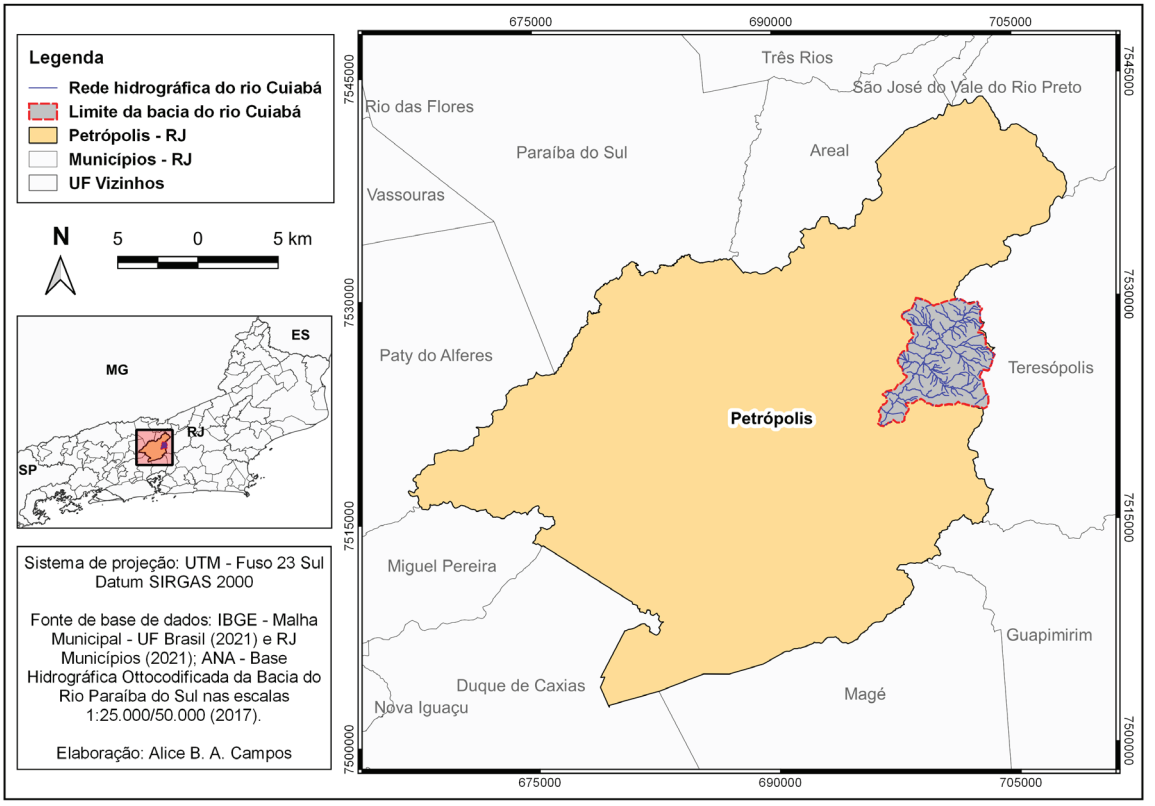


Fig. 1 - Bacia do rio Cuiabá no município de Petrópolis (Rio de Janeiro, Brasil) (Fonte: ANA, 2017 e IBGE, 2021).

***Fig. 1** - Cuiabá River basin in the municipality of Petrópolis (Rio de Janeiro, Brazil) (Source: ANA, 2017 and IBGE, 2021).*

e/ou fraturamentos regionais e deságua no rio Santo Antônio, afluente direto do rio Piabanha, pertencente à bacia do rio Paraíba do Sul. A bacia apresenta cristas e encostas íngremes, referentes à formação da Serra do Mar, conhecida na região como Serra dos Órgãos e, localmente, como Serra das Araras, com paredões escarpados e de formas arredondadas e vales estreitos e alongados (fig. 2), com planícies aluvionares pouco expressivas. Também apresenta forte variação altimétrica (1.100 metros), com altitudes que variam de 1.860 metros, no pico Maria Antônia, a 760 metros, na foz do rio Cuiabá.

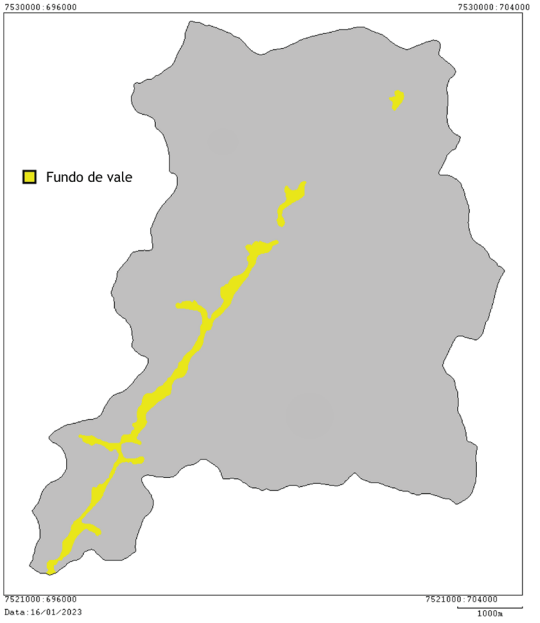


Fig. 2 - Fundo de vale da Bacia do rio Cuiabá (Petrópolis – RJ) (Fonte: Adaptado de Botelho, 1996).

Fig. 2 - *Cuiabá River basin valley floor (Petrópolis - RJ) (Source: Adapted from Botelho, 1996).*

Os solos, em sua maioria, apresentam textura média, podendo ocorrer solos argilosos (alguns Latossolos Vermelho-Amarelos) e solos arenosos (Neossolos Flúvicos), ambos sem grandes descontinuidades e impedimentos à infiltração da água verticalmente. Em termos de estabilidade, pode-se afirmar que os minerais que compõem a fração argila são, predominantemente, caulinitas e gibsitas, ou seja, argilo-minerais não expansíveis e mais estáveis quanto à ocorrência de deslizamentos.

O clima na área de estudo é o mesotérmico brando superúmido a úmido, com temperatura média anual oscilando de 18 a 19ºC e precipitação média anual entre 1.500 e 1.700 mm, com chuvas concentradas nos meses de verão, com destaque para o mês de janeiro.

Percebe-se, assim, que o relevo e o regime de precipitação em Petrópolis são dois fatores importantes no desencadeamento de processos gravitacionais nas encostas, mas não são os únicos. A retirada da vegetação original, representada pela Floresta Ombrófila Densa, também constitui fator relevante. Na bacia do rio Cuiabá, essa vegetação está restrita a alguns fragmentos por conta das intervenções antrópicas ao longo dos anos, principalmente pela atividade agrícola - a área foi palco do cultivo do café no século XX (Bartholomeu, 2019) -, além da intensa ocupação urbana ao longo dos fundos de vale e das encostas íngremes (fot. 1) (Botelho, 1996).

Fot. 1 - Pastagem em trecho da planície do rio Cuiabá, em meados da década de 1990 (Fonte: Botelho, 1996).

Photo 1 - *Pastureland in a stretch of the Cuiabá River plain in the mid-1990s (Source: Botelho, 1996).*

Metodologia

A primeira etapa do estudo foi realizada por meio de um levantamento de textos científicos e jornalísticos, fotos e vídeos disponíveis na internet sobre a caracterização do Vale Cuiabá e o megadesastre de 2011. Como mencionado anteriormente, o trabalho de pesquisa de Botelho (1996) foi fundamental para um panorama sobre a bacia do rio Cuiabá antes do evento e como ponto de referência para as análises sobre sua recuperação, após o evento. Além disso, informações sobre ações de mitigação e recuperação no período pós-desastre também foram levantadas nesta etapa, visto que elementos de intervenção antrópica como medidas de resposta ao desastre são importantes para compreender a continuidade do processo de recuperação.

A segunda etapa compreendeu os trabalhos de campo virtual, que foram realizados utilizando o site *Google Street View* e o programa *Google Earth Pro*, de acordo com a metodologia proposta por Campos e Botelho (2022). O *Street View* é uma ferramenta do *Google Maps* que trata de representações virtuais do ambiente elaboradas por imagens panorâmicas (Google, 2022). Essas imagens são registradas por todo o mundo pela frota do *Street View*, e em seguida são alinhadas para se tornarem imagens de 360º e ganharem a dimensão 3D (Google, 2022). Desta forma, essa ferramenta tem o potencial de gerar uma condição análoga ao campo presencial, produzindo uma simulação de ambiente 3D próxima à realidade.

O *software Google Earth*™ apresenta uma variedade de recursos como mapeamento, importação e exportação de dados de SIG (Sistema de Informação Geográfica) e visualização em 3D da superfície terrestre por imagens de satélite e fotos históricas, o que permite avaliar inúmeros processos em escala de tempo humana, como processos costeiros, movimentos de massa, entre outros (Google, 2021; Lima, 2012). Assim, essas imagens podem ser analisadas quanto ao uso da terra, por exemplo, considerando a verificação em campo (Boardman, 2016).

As imagens panorâmicas coletadas durante os campos virtuais dataram de 2011 (julho, setembro e outubro) e de 2019 (abril, maio e outrubro); a primeira data está relacionada ao ano do desastre e a segunda ao período mais recente do *Street View* disponível em janeiro de 2022. Quando os registros de 2019 do *Street View* não estavam disponíveis para todos os pontos, as imagens foram substituídas pelas do *Google Earth*. O campo presencial, como a última etapa, gerou registros do ano de 2023, tendo como referência os pontos selecionados nos campos virtuais. Com isso, foi possível, para um mesmo ponto, obter registros de três cenários distintos para comparação das alterações no ambiente (fig. 3).

O campo presencial foi realizado em 23 de janeiro de 2023, para observação *in situ* e registro das condições da bacia hidrográfica, com destaque para a área de fundo de vale, onde ocorreram as maiores transformações. Acompanhou-se o curso do rio de jusante para montante, até o início do alto curso. A partir das imagens e coordenadas capturadas nos campos virtuais, procurou-se realizar os registros fotográficos do mesmo ângulo de visão das imagens panorâmicas do *Street View*, quando possível.

Para uma análise qualitativa das alterações no sistema natural, foi elaborado um quadro, que contém: (a) variáveis e (b) recuperação (Quadro I). As variáveis referem-se aos elementos do sistema natural e a recuperação refere-se ao processo de retorno ao estado anterior ou a um novo estado de equilíbrio, sob os aspectos da origem e do tempo.

Além disso, coletou-se informação sobre as condições do tempo no dia do campo presencial e também nos dois dias anteriores, pois essas condições poderiam ter influência sobre as observações realizadas, notadamente, sobre o estado das águas do rio. Durante o campo, realizado

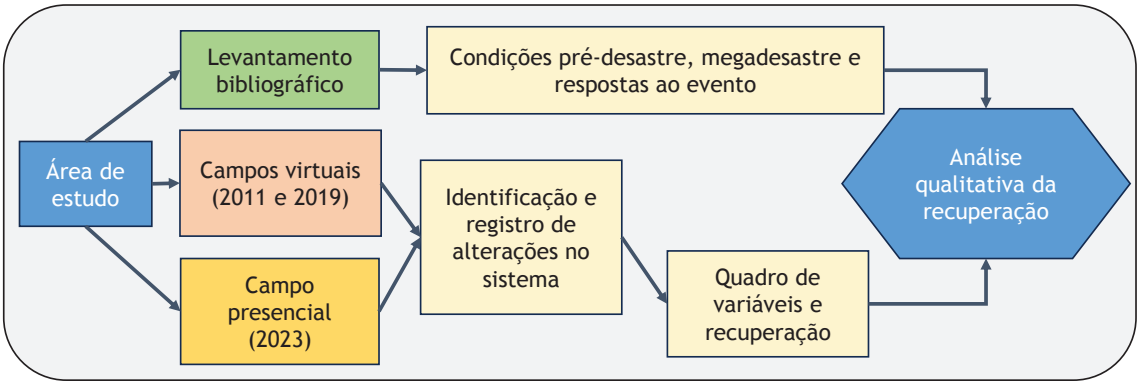


Fig. 3 - Fluxograma esquemático das etapas de desenvolvimento da pesquisa.

***Fig. 3** - Schematic flowchart of the research development stages.*

Quadro I - Elementos do sistema natural e características dos processos de recuperação identificados.

Board I - Parameters for assessing the impacts and recovery of the natural system.

VARIÁVEIS	***Tipo*** (elemento do sistema envolvido ou sistema como um todo)	**Fluvial**	posição da calha, ocupação da calha pela lâmina d'água, padrão do canal, coloração da água, estado das margens e planície
		Encosta	afloramentos rochosos, cicatrizes de movimentos de massa, sinais de instabilidade
		Solo	sinais erosivos e de deposição e desorganização
		Vegetação	supressão, soterramento parcial, recomposição
		Bacia hidrográfica	rede de drenagem, nível de base local
RECUPERAÇÃO	***Origem***	**Natural**	espontânea
		Antrópica (induzida pela sociedade, por adoção de medidas)	reconstrução de acessos, terraplanagem, dragagem, retificação, contenção, revegetação, demolição
	Tempo	**Prazo**	curto
			médio
			longo

no alto verão, marcado por forte calor e índices pluviométricos elevados na área de estudo, verificou-se períodos nublados, com eventuais ocorrências de chuva fraca, intercalados com períodos ensolarados. Ao final do dia, ocorreu uma forte precipitação na porção média-alta do Vale, típica dessa estação do ano.

Resultados e Discussão

Bacia do rio Cuiabá: condições pré-desastre e o megadesastre

Até a década de 1970, o distrito de Itaipava era basicamente rural e a partir do ano 2000 começou a apresentar uma crescente expansão imobiliária para fora do perímetro urbano, ligada ao setor turístico (Botelho, 2011). Assim, o aumento da população rural em Itaipava nas décadas de 1990 e 2000 foi reflexo de construções aceleradas, principalmente, de condomínios de lazer, hotéis e pousadas (Botelho, 2011). Inserido no distrito de Itaipava, a situação não foi diferente no bairro do Vale do Cuiabá. Este era caracterizado pela pequena agricultura, criação de gado bovino e equino, produção de adubo orgânico e exploração madeireira, e passou, notadamente a partir de meados da década de 1990, a constituir uma das áreas de transformação de atividades e de uso e ocupação do território (Botelho e Pereira, 1996).

Na literatura científica brasileira, existem trabalhos que avaliaram as condições físicas e de uso da terra e a relação com a suscetibilidade a movimentos massa na região. Segundo Guerra *et al*. (2007), por meio da análise dos movimentos de massa, a caracterização do relevo, o histórico de planejamento urbano e a ocupação do solo no município de Petrópolis, revelou-se uma correspondência direta dos movimentos de massa com a ocupação, pluviosidade e relevo, com algumas variações entre as décadas no período entre 1960 a 1990. Apesar das limitações pelas características físicas, ressaltou-se a ocupação como a variável mais expressiva para a fragilização da área urbana, exemplificando a enchente de fevereiro de 1988 e a catástrofe de 2001, esta com 50 vítimas fatais (Guerra *et al.*, 2007). Além disso, a imprensa havia noticiado que levantamentos parciais entre 2008 e 2009, realizados nas três maiores cidades da Região Serrana, indicaram que aproximadamente 42 mil pessoas viviam em 230 áreas vulneráveis, onde foram construídas 10 mil casas (Busch e Amorim, 2011).

Sendo assim, considera-se Petrópolis como o município da Região Serrana com maior número de movimentos de massa do Estado, com características topográficas e ocupação de encostas, em grande parte, por população de baixa renda que, a cada período de grande volume de chuvas (novembro a março), sofre com novos eventos, que provocam mais mortes e grandes prejuízos materiais (Silva e Botelho, 2014). Os autores também relataram que, novamente, em abril de 2010, houve fortes precipitações de mais de 36 horas que deflagraram vários deslizamentos em alguns municípios do Estado do Rio de Janeiro, entre eles, Petrópolis.

Os eventos de forte precipitação que ocorreram entre os dias 11 e 12 de janeiro de 2011 na Região Serrana fluminense geraram uma série de movimentos de massa, majoritariamente do tipo corrida, que removeu blocos de rocha e solo das encostas e, por consequência, provocou o entulhamento e transbordamento de rios, atingindo várias construções e culminando na maior tragédia já registrada no país, num total de 918 mortos (Botelho, 2011; Canejo, 2015). As corridas, ou fluxos de lama e detritos, são uma das principais formas de movimentos de massa, caracterizadas por mobilizações de grande volume de material em velocidade média a alta em um movimento semelhante ao de um líquido viscoso, em conexão com a rede de drenagem e com extenso raio de alcance (Botelho, 2011; Corrêa, 2020).

Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), havia registro de um índice de 130 mm de chuva por dia, quando o esperado seria de 60 mm (Botelho, 2011). Esses fenômenos levaram a enchentes e deslizamentos em diversos locais, atingindo infraestruturas públicas, residências, comunidades de alto e baixo poder aquisitivo, estabelecimentos de saúde e escolas, comprometendo os serviços básicos e a economia regional (Freitas *et al.*, 2012). As fortes precipitações provocaram marcas (cicatrizes) dos movimentos de massa nas encostas (fot. 2), que mobilizaram materiais para os fundos de vale e seguiram ao longo da rede de drenagem.

Fot. 2 - Múltiplas cicatrizes de movimentos de massa nas encostas da região do Brejal (Petrópolis - RJ) (Fonte: G1, 2021).

***Photo 2 -** Multiple mass movement scars on the slopes of the Brejal region (Petrópolis - RJ) (Source: G1, 2021).*

No caso da bacia do rio Cuiabá, onde os movimentos de massa também foram do tipo corrida de lama, houve grandes mudanças em relação ao seu regime hidrossedimentológico (Cavalcante Filho *et al.*, 2011). Por conta da magnitude da onda de cheia, várias pontes e edificações foram destruídas (fot. 3) e, após a passagem desta, a rede de macrodrenagem foi intensamente modificada, sendo possível perceber uma nova conformação dos principais corpos hídricos (fot. 4).

Fot. 3 - Planície do rio Cuiabá com construções destruídas e soterradas pelas corridas de lama (Fonte: G1, 2021).

***Photo 3 -** Cuiabá River plain with buildings destroyed and buried by mudflows (Source: G1, 2021).*

Fot. 4 - Planície do rio Cuiabá com entulhamento por sedimentos, restos de vegetação e habitações parcialmente soterradas pelas corridas de lama (Fonte: G1, 2021).

***Photo 4 -** Cuiabá River plain, clogged with sediment, remains of vegetation, and houses partially buried by the mudflow (Source: G1, 2021).*

Segundo o relatório de inspeção do Ministério do Meio Ambiente (MMA), a bacia do rio Cuiabá contabilizou oficialmente 74 mortos e 80 desaparecidos (MMA, 2011). Devido aos deslizamentos, as galerias de águas pluviais ficaram obstruídas por sedimentos e outros materiais trazidos das encostas, entulho e lixo, elevando a intensidade das inundações. Além disso, estradas e pontes foram destruídas, fazendo com que o bairro do Vale do Cuiabá ficasse isolado (Fernandes, 2021). No ano de sua ocorrência, o desastre foi classificado pela ONU como o 8º maior deslizamento ocorrido no mundo nos últimos 100 anos, sendo comparado, por sua dimensão e danos, a outras grandes catástrofes, como a de Blumenau-Itajaí, Santa Catarina, em 2008, e a de Nova Orleans, Estados Unidos, em 2005 (Busch e Amorim, 2011).

Mais recentemente, em 15 de fevereiro de 2022, outro desastre afetou o centro de Petrópolis de forma trágica, após movimentos de massa serem deflagrados pela maior chuva em Petrópolis desde, pelo menos, 1932, quando o INMET começou a fazer as medições (um dos bairros registrou 259,8 mm em 24 horas de chuva, quando a média histórica esperada para todo o mês era de 202,2 mm) (Ninno, 2022), provocando mais de 240 mortes e centenas de desabrigados (Puente *et al.*, 2022).

Medidas de mitigação e recuperação do desastre

Logo após o evento, foram realizados os pronto-atendimentos de apoio à resposta e à reabilitação ao desastre pelo Núcleo de Análise e Diagnóstico de Escorregamentos (DRM-RJ), promovidos pelas defesas civis municipais e Secretaria de Defesa Civil Estadual, além de uma parceria entre instituições acadêmicas para analisar os fenômenos ocorridos (Brasil, 2012). Depois das primeiras providências, o Instituto Estadual do Ambiente (Inea) promoveu ações emergenciais nas calhas de drenagem dos principais corpos hídricos afetados, como a vistoria de pontes danificadas e serviços de dragagem. Outros projetos englobaram recuperação ambiental e mitigação de inundação, ampliação do Sistema de Alerta de Cheias da Região Serrana e assistência às famílias localizadas às margens dos rios (Cavalcante Filho *et al.*, 2011).

Houve continuidade às ações do Inea por empresas que formaram o Consórcio Vale do Cuiabá, utilizando recursos do Fundo Estadual de Conservação Ambiental e Desenvolvimento Urbano (Fecam) e com o intuito de realizar obras para controle de inundações e recuperação ambiental na bacia do rio Santo Antônio, do qual o rio Cuiabá é afluente (Berna, 2013). O mesmo autor destaca que o projeto, denominado Rios da Serra, teve como intervenções para os rios Santos Antônio e seus afluentes, os rios Cuiabá e Carvão, os seguintes pontos: limpeza e desassoreamento, adequação da calha de escoamento, proteção e contenção das margens, implantação de parques fluviais e reflorestamento de Áreas de Preservação Permanente (APP).

Ainda sobre o Rios da Serra, o autor relata que, devido ao grande volume de sedimentos depositados nas calhas dos rios mencionados, instabilidade e falta de proteção das margens ligados à característica do solo local e perda de mata ciliar, as ações de intervenção foram mais difíceis e complexas. Apesar da contenção e proteção das margens ser condição fundamental para o processo de recuperação dos rios em questão, nas áreas afastadas do centro urbano havia dificuldade de fixação de espécies e/ou de promover contenções, por conta das características do solo e das irregularidades dos taludes, como apontado para o rio Cuiabá (Berna, 2013). Este rio também apresentou fortes alterações na calha, que tornou-se bastante larga e rasa.

Outro tipo de intervenção do projeto se tratou da implantação de parques fluviais e de ciclovias no rio Cuiabá, na tentativa de mudar a concepção de ocupação do local e melhorar o deslocamento de moradores e visitantes. A ideia seria também construir equipamentos de lazer e infraestrutura de acesso e ciclovias nas áreas rurais, conectando locais e pontos de potencial atrativo turístico, alguns deles isolados após o megadesastre.

Aliando essas medidas ao uso de trilhas ecológicas e áreas de contemplação, a ideia foi melhorar a qualidade de vida local e incentivar o ecoturismo no município. Por fim, a recuperação das matas ciliares também foi ressaltada como fundamental para controle da erosão e da melhoria da qualidade das águas, além de colaborar para a recuperação da flora e da fauna e reordenamento dos espaços urbanos e rurais do município (Berna, 2013).

No entanto, tais obras, que iniciaram no ano seguinte ao megadesastre, foram paralisadas em 2014 e retomadas somente em 2021, fazendo com que apenas alguns trechos do curso dos rios fossem desassociados e tivessem seus leitos refeitos (Torquato, 2021). Segundo este autor, as obras foram orçadas em mais de 28 milhões de reais e ainda pretende-se intervir no desassoreamento, conformação das calhas e taludes. A coordenadora do Núcleo de Defesa Civil (Nudec) do Vale do Cuiabá e adjacências afirmou que o projeto de reflorestamento, com mudas de árvores nativas, será iniciado após a conclusão das obras (Torquato, 2021). Além disso, o Movimento do Aluguel Social e Moradia de Petrópolis e o Nudec participaram de uma reunião com o Inea para tratarem a retomada das intervenções. Nesse mesmo documento, a coordenadora do Nudec também informou que moradores de algumas localidades vêm percebendo que não tem havido inundações, mesmo quando há fortes chuvas, em que há aumento importante do volume do rio.

Recuperação do sistema natural

De um total de 31 pontos selecionados na bacia do rio Cuiabá após o megadesastre de 2011 (fig. 4), foram apresentados oito pontos para atestar os diferentes tipos de alterações, principalmente em termos tipológicos, de origem, e/ou de tempo, no sistema estudado. Em alguns casos, houve a retirada do registro de 2019, caso nele não fossem detectados elementos significativos e com o intuito de realizar uma análise mais direta para o registro de 2023. Todos os pontos estão distribuídos ao longo do canal principal e a distância entre o primeiro (ao sul) e último (ao norte) pontos é de 5,79 km (fig. 4).

Fig. 4 - Pontos do campo virtual ao longo do rio Cuiabá (Petrópolis – RJ) (Fonte: *Google Maps*, 2022).

Fig. 4 - *Virtual field points along the Cuiabá River (Petrópolis - RJ) (Source: Google Maps, 2022).*

No Ponto 3, em 2011, identificam-se construções e indivíduos arbóreos parcialmente soterrados pelo entulhamento de sedimentos na planície, atingindo o primeiro pavimento da residência em primeiro plano e as bases das árvores próximas (fig. 5). Utilizando-se a marca da altura atingida pela lama da enxurrada na parede externa, foi estimada uma elevação de aproximadamente 4,5 metros de material mobilizado. Após o recuo das águas e realizadas as obras de terraplanagem, a espessura do pacote de sedimentos no local passou a ser cerca de um metro a mais, comparado ao momento anterior ao megadesastre. Nesse cenário de meses após o desastre, os solos se encontravam descaracterizados (por mobilização), não sendo mais possível identificá-los como unidades pedológicas. Em 2019 (fig. 6), nota-se que houve uma revegetação da planície, tanto natural como artificial, principalmente por gramíneas. Além disso, devido aos sinais de reforma, como pintura externa, e a presença de veículo na garagem, pode-se afirmar que a residência em destaque encontrava-se habitada. Assim, um novo nível de base local, mais elevado, já pôde ser percebido em 2019 (fig. 6). Em 2023 (fot. 5.a), notam-se margens mormente revegetadas e parcialmente desprotegidas e porções de vegetação avançando pelo leito do rio, o que sinaliza processos de assoreamento. A casa observada nos anos anteriores, à direita (fot. 5.b), continua habitada. Também é possível notar a elevação do nível de base na planície em comparação ao nível do rio.

Fig. 5 - Planície do rio Cuiabá no Ponto 3, em 2011, entulhada por sedimentos, resposta percebida pelo soterramento parcial do primeiro pavimento da casa e da base da árvore (Fonte: *Street View*, 2011).

Fig. 5 - *Cuiabá River plain at Point 3, in 2011, clogged by sediment, response perceived by the partial burial of the first floor of the house and the base of the tree (Source: Street View, 2011).*

Fig. 6 - Planície do rio Cuiabá no Ponto 3, em 2019, revegetada em boa parte por gramíneas, com nível de base elevado e casa reformada e habitada (Fonte: *Street View*, 2019).

Fig. 6 - *Cuiabá River plain at Point 3, in 2019, revegetated to a large extent by grasses, with a high base level and a restored and inhabited house (Source: Street View, 2019).*

Fot. 5 - Rio Cuiabá no Ponto 3, em 2023, sentido montante (a) e jusante (b), com margens mormente revegetadas e parcialmente desprotegidas e com habitações na planície (Fotografia de Rosangela Botelho, *tirada a* 23/01/23).

Photo 5 - *Cuiabá River at Point 3, in 2023, upstream (a) and downstream (b), with mostly revegetated and partially unprotected banks, and housing on the plain (Photograph by Rosangela Botelho, taken on 23/01/23).*

As imagens do Ponto 4 foram capturadas em uma ponte sobre o rio Cuiabá em 2011 (fig. 7) e 2023 (fot. 6), mostrando as condições do canal, das suas margens e a ocupação do solo. Antes do desastre, este trecho da planície do rio Cuiabá estava totalmente ocupado com construções até as margens. Na primeira imagem de 2011 (fig. 7.a), sentido montante, observam-se margens expostas, praticamente sem cobertura vegetal, desestabilizadas, com sinais de erosão e acúmulo de sedimentos no leito do rio. Além disso, é possível notar uma operação de dragagem do leito do rio ao fundo e que houve um nivelamento (ou terraplanagem) da planície. Na segunda imagem de 2011 (fig. 7.b), sentido jusante, também são identificadas as margens desconfiguradas, com escombros de construções, pilastras e vigas, que foram arrastados pela força das corridas de lama. Em 2023 (fot. 6), observam-se margens mormente revegetadas por gramíneas, com partes de contenção por britas e elevada turbidez da água do canal. Ainda, foram identificadas construções remanescentes ao desastre que não foram retiradas (fot. 6.b) e um foco de exploração de areia, retirada da margem à direita (fot. 6.a) para fabricação de tijolos. Uma dessas fábricas foi detectada no ponto anterior.

Em 2011, no Ponto 7 (fig. 8), notam-se vários indivíduos arbóreos com bases soterradas pelos movimentos de massa, além de alguns desprovidos de copa, tendo perdido

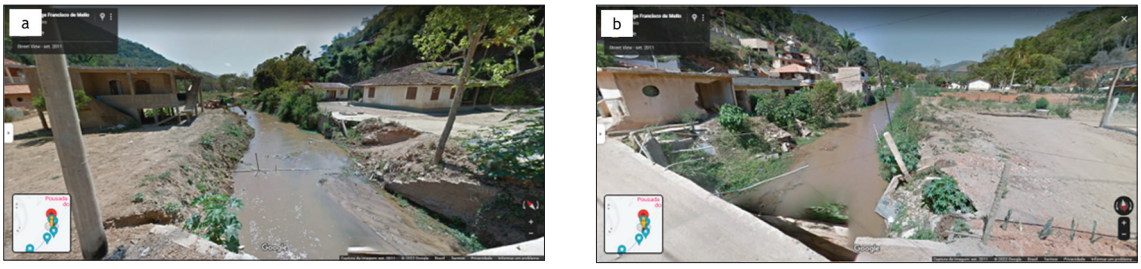
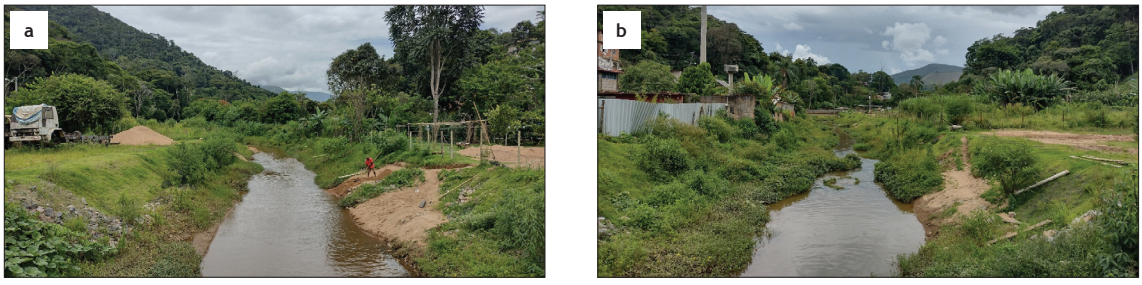


Fig. 7 - Rio Cuiabá no Ponto 4, em 2011, sentido montante (a) e jusante (b), com margens expostas, sinais de erosão, leito assoreado e escombros e residências destruídas (Fonte: Street View, 2011).

Fig. 7 - *Cuiabá River at Point 4, in 2011, upstream (a) and downstream (b), with exposed banks, signs of erosion, silted bed and rubble, and destroyed houses (Source: Street View, 2011).*



Fot. 6 - Rio Cuiabá no Ponto 4, em 2023, sentido montante (a) e jusante (b), margens mormente revegetadas, com vestígios de contenção e exploração de areia (Fotografia de Rosangela Botelho, tirada a 23/01/23).

Photo 6 - *Cuiabá River at Point 4, in 2023, upstream (a) and downstream (b), partially revegetated banks, with traces of containment and sand mining (Photograph by Rosangela Botelho, taken on 23/01/23).*

suas folhas e flores. Em primeiro plano, encontra-se uma delimitação de propriedade com estacas, portão e sinais de terraplanagem. Observam-se também a marca de mais um deslizamento na encosta ao fundo. Em 2019 (fig. 9), espécies gramíneas e arbustivas voltaram a colonizar a planície. Além do mesmo portão da imagem anterior (fig. 9), encontram-se outro, novo e aberto, com estátuas ao lado, sendo um indicativo de propriedade importante na região. Em 2023 (fot. 7), verificaram-se que esta área era uma grande pousada que foi soterrada pelos movimentos de massa e que recentemente foi ocupada por um projeto que realiza trabalhos com reciclagem em escolas. Esta porção da planície encontra-se com maior adensamento vegetativo, com espécies de médio e grande porte, por colonização e de forma artificial.

Fig. 8 - Planície do rio Cuiabá no Ponto 7, em 2011, nivelada, com bases das árvores soterradas (Fonte: *Street View*, 2011).

***Fig. 8** - Cuiabá River plain at Point 7, in 2011, levelled, with tree bases buried (Source: Street View, 2011).*

Fig. 9 - Planície do rio Cuiabá no Ponto 7, em 2019, revegetada (Fonte: *Street View*, 2019).

***Fig. 9** - Cuiabá River plain at Point 7, in 2019, revegetated (Source: Street View, 2019).*

Fot. 7 - Planície do rio Cuiabá no Ponto 7, em 2023, onde localizava-se a pousada que foi soterrada (Fotografia de Rosangela Botelho, tirada a 23/01/23).

***Photo 7** - Cuiabá River plain at Point 7, in 2023, where the inn that was buried used to be (Photograph by Rosangela Botelho, taken on 23/01/23).*

No Ponto 9, encontram-se diversas construções às margens do rio Cuiabá (fig. 10 e 11). Na imagem de 2011 (fig. 10), registram-se construções destruídas parcialmente ou totalmente pelas corridas de lama, enquanto outras já foram demolidas ou reformadas. Uma delas apresenta parte de sua estrutura sobre uma das margens, avançando para dentro do rio, demonstrando uma ocupação de grande risco. É possível também atestar a presença de materiais de construção. Em 2019 (fig. 11), já não encontram-se boa parte das residências afetadas pelo desastre; as que estavam à beira do canal foram removidas. A área da planície foi colonizada por gramíneas e a margem mais próxima apresenta uma vegetação mais adensada, porém não foi possível afirmar que tratou-se de recuperação da mata ciliar. Em 2023 (fot. 8), o registro foi feito da margem esquerda do rio, de onde é possível observar encostas muito erodidas, com plásticos sobre partes delas e obras de contenção por revegetação, telas e britas. Estas obras de contenção aparentam ser pouco eficientes, pois a margem direita não foi recuperada e partes das telas foram avistadas dentro do rio. Há também uma construção que permanece ocupada às margens do rio, que continua com aspecto de alta suspensão de sedimento.

Fig. 10 - Planície do rio Cuiabá no Ponto 9, em 2011, com construções destruídas pela corrida de lama, demolidas ou em reforma (Fonte: *Street View*, 2011).

***Fig. 10** - Cuiabá River plain at Point 9, in 2011, with houses destroyed by the disaster, demolished or being restored (Source: Street View, 2011).*

Fig. 11 - Planície do rio Cuiabá no Ponto 9, em 2019, com parte da área recolonizada por gramíneas na margem esquerda (Fonte: *Street View*, 2019).

***Fig. 11** - Cuiabá River plain at Point 9, in 2019, with part of the area revegetated by grasses on the left bank (Source: Street View, 2019).*

Fot. 8 - Planície do rio Cuiabá no Ponto 9, em 2023, na margem esquerda, com construção ocupada, encostas erodidas e obras de contenção (Fotografia de Rosangela Botelho, tirada a 23/01/2023).

***Photo 8** – Cuiabá River plain at Point 9, in 2023, on the left bank, with an occupied building, eroded slopes and containment works (Photograph by Rosangela Botelho, taken on 23/01/2023).*

No Ponto 12, em 2011 (fig. 12), notam-se uma encosta desprovida de vegetação e com sinais de erosão e, em sua base, obras com muros de contenção. Além disso, há outra construção no topo desta encosta erodida, sendo mais um fator de risco para um cenário de grande vulnerabilidade. A imagem de 2019 (fig. 13) não revela grandes mudanças em relação às construções, mas aponta para uma encosta parcialmente revegetada em relação a de 8 anos atrás. No entanto, a construção em seu topo ainda estava presente. Em 2023 (fot. 9), observam-se que a encosta anteriormente exposta agora encontra-se revegetada naturalmente, porém com um estabelecimento erguido à sua frente. As construções à esquerda da estrada continuam no mesmo local e uma delas aumentou mais um pavimento.

Fig. 12 - Planície do rio Cuiabá no Ponto 12, em 2011, com encosta com sinais de erosão e obras com muros de contenção (Fonte: *Street View*, 2011).

***Fig. 12** – Cuiabá river plain at Point 12, in 2011, with slope with signs of erosion and retaining wall works (Source: Street View, 2011).*

Fig. 13 - Planície do rio Cuiabá no Ponto 12, em 2019, com encosta parcialmente revegetada (Fonte: Google Earth, 2019).

***Fig. 13 -** Cuiabá River plain at Point 12, in 2019, with partially revegetated slope (Source: Google Earth, 2019).*

Fot. 9 - Planície do rio Cuiabá no Ponto 12, em 2023, com encosta revegetada à direita e novas construções erguidas (Fotografia de Rosangela Botelho, tirada a 23/01/23).

***Photo 9** – Cuiabá River plain at Point 12, in 2023, with revegetated hillside on the right and new buildings erected (Photograph by Rosangela Botelho, taken on 23/01/23).*

No ponto 20, está situada uma grande propriedade local (fig. 14 e 15). Na primeira imagem (fig. 14), em 2011, a margem direita do rio encontra-se muita exposta e desestabilizada, onde formou-se um meandro. Também foram identificadas obras de contenção da margem, tentativa de revegetação (replantio) por gramíneas e reconfiguração artificial da calha. No entanto, houve pouca aderência das placas de gramíneas ao pacote de sedimento, de aspecto arenoso. Ainda nesta imagem (fig. 14), notam-se parte de uma pousada ao fundo, pólo turístico de destaque, e um campo de golfe nesse trecho da planície, construído após o desastre. Oito anos depois, em 2019 (fig. 15), a planície encontra-se revegetada mormente por gramíneas, além de porções com espécies arbustivas, porém, a mata ciliar não foi recuperada nas margens e o meandro assumiu um traçado diferente. Em 2023 (fot. 10), notam-se um meandro com uma calha mais estreitada, margens revegetadas por gramíneas, contudo, ainda sem a mata ciliar. Há somente uma árvore beirando a margem direita, dentro da área da pousada.

Fig. 14 – Rio Cuiabá no Ponto 20, em 2011, com obras de contenção e revegetação por gramíneas nas margens, calha do rio reconfigurada artificialmente e campo de golfe construído (Fonte: Street View, 2011).

***Fig. 14** – Cuiabá River at Point 20, in 2011, with containment works and revegetation with grass on the banks, artificially reconfigured river channel and a built golf course (Source: Street View, 2011).*

Fig. 15 - Planície e margens do rio Cuiabá no Ponto 20 (marcador amarelo), em 2019, revegetadas, porém sem recuperação da mata ciliar (Fonte: Google Earth, 2019).

***Fig. 15** – Cuiabá River plain and banks at Point 20 (yellow marker), in 2019, revegetated, but without riparian forest recovery (Source: Google Earth, 2019).*

Fot. 10 - Planície do rio Cuiabá no Ponto 20, em 2023, revegetada, com calha estreitada e sem mata ciliar. Está no mesmo ângulo de visão da fig. 14 (Fotografia de Rosangela Botelho, tirada a 23/01/23).

***Photo 10** – Cuiabá River plain at Point 20, in 2023, revegetated, with a narrowed channel and no riparian forest. The view angle is the same as Fig. 14 (Photograph by Rosangela Botelho, taken on 23/01/23).*

As imagens do Ponto 23 (fig. 16 e 17) mostram um dos estábulos da região parcialmente destruído pelas corridas de lama. Muitos cavalos morreram com o megadesastre, além de um de seus tratadores (G1, 2011; Hipismo & Co, 2011). Na primeira imagem, em 2011 (fig. 16), é possível observar a quantidade de sedimento que foi depositada na planície e a elevação do nível de base, soterrando parte da construção. Em 2019 (fig. 17), identificam-se o estábulo reformado e seu entorno e as margens do rio Cuiabá revegetados. Na imagem de 2023 (fot. 11), observam-se a planície revegetada de forma natural ao redor do estábulo, que está reformado, e às margens do rio Cuiabá. Também é perceptível o nível de base local que permaneceu elevado em relação ao nível original da planície, devido à deposição de sedimento.

Fig. 16 – Estábulo na planície do rio Cuiabá no Ponto 23, em 2011, parcialmente destruído e soterrado pela quantidade de sedimento que foi depositada na planície (Fonte: Street View, 2011).

***Fig. 16** – Stable on the Cuiabá River plain at Point 23, in 2011, partially destroyed and buried by all the amount of sediment that was deposited on the plain (Source: Street View, 2011).*

Fig. 17 - Planície do rio Cuiabá no Ponto 23 (marcador amarelo), em 2019, com estábulo reformado e entorno e margens revegetados (Fonte: Google Earth, 2019).

***Fig. 17** – Cuiabá River plain at Point 23 (yellow marker), in 2019, with refurbished stable and revegetated surroundings and banks (Source: Google Earth, 2019).*

Por fim, no Ponto 30, em 2011 (fig. 18), notam-se uma planície nivelada e sem vegetação, a calha do rio Cuiabá reconfigurada artificialmente, leito assoreado, margens desestabilizadas, construções destruídas parcialmente soterradas por sedimentos e cicatrizes dos movimentos de massa nas encostas ao fundo. A imagem seguinte é do Ponto 31, também de 2011 (fig. 19), que mostrou o mesmo trecho de planície, porém da vista sobre uma das pontes que atravessa o rio Cuiabá. A partir desse ponto, marca-se o início da planície estreita e alongada do rio Cuiabá (sentido montante a jusante) (fig. 4). A mesma

Fot. 11 - Planície do rio Cuiabá no Ponto 23, em 2023, revegetada, com estábulo reformado e novo nível de base local (Fotografia de Rosangela Botelho, tirada a 23/01/23).

***Photo 11** - Cuiabá River plain at Point 23, in 2023, revegetated, with renovated stable and new local base level (Photograph by Rosangela Botelho, taken on 23/01/23).*

recebeu um grande volume de material, carreado das encostas íngremes do alto e alto-médio cursos da bacia do Cuiabá, que seguiu acumulando e devastando seu fundo de vale até a foz. Por conta disso, o cenário de 2011 nesses pontos iguala-se à devastação de um tornado em grande escala. Mesmo após operações de terraplanagem, também atestam-se o aumento do nível de base da planície em até um metro, como observado nos Pontos 3 e 23, devido à altura do soterramento de algumas construções. Além disso, no Ponto 31, foi identificada uma obra de contenção das margens para auxiliar na sustentação da ponte (fig. 19).

Nas últimas imagens, datadas de 2023 (fot. 12 e 13), notam-se a planície e as margens revegetadas, com uma construção destruída remanescente ao fundo, representando o Ponto 30. Logo abaixo, representando o Ponto 31 (fot. 13), a imagem mostra o rio Cuiabá com calha mais profunda e margens revegetadas, com sinais de recuperação da mata ciliar e ponte reformada. Ao final do campo, iniciou-se uma chuva forte que elevou a quantidade de sedimentos em suspensão no rio e tornou sua coloração rapidamente amarronzada.

Fig. 18 - Rio Cuiabá no Ponto 30, em 2011, com acúmulo de sedimentos na planície, nivelamento do terreno, cicatrizes de deslizamentos das altas encostas e calha reconfigurada artificialmente (Fonte: *Street View*, 2011).

***Fig. 18** - Cuiabá River at Point 30, in 2011, with accumulation of sediment in the plain, levelling of the land, scars from landslides on the upper slopes and artificially reconfigured channel (Source: Street View, 2011).*

Fot. 12 - Planície do rio Cuiabá no Ponto 30, em 2023, e margens revegetadas (Fotografia de Rosangela Botelho, tirada a 23/01/23).

***Photo 12** - Cuiabá River plain at Point 30, in 2023, with revegetated banks (Photograph by Rosangela Botelho, taken on 23/01/2023).*

Fig. 19 - Rio Cuiabá no Ponto 31, em 2011 (sentido jusante), com a calha do rio reconfigurada artificialmente, leito assoreado, margens desprotegidas e com obras de contenção próximas à ponte (Fonte: *Street View*, 2011).

***Fig. 19** - Cuiabá River at Point 31, in 2011 (downstream), with the river channel artificially reconfigured, silted bed, unprotected banks, and containment works close to the bridge (Source: Street View, 2011).*

Fot. 13 - Rio Cuiabá no Ponto 31, em 2023, sentido jusante, com calha e margens revegetadas e ponte reformada (Fotografia de Rosangela Botelho, tirada a 23/01/23).

***Photo 13** - Cuiabá River at Point 31, in 2023, downstream direction, with revegetated channel and banks and a renovated bridge (Photograph by Rosangela Botelho, taken on 23/01/2023).*

Por conta da alta cobertura de nuvens próximas à planície, não foi possível atestar o grau de recuperação das cicatrizes nas encostas a partir destes pontos.

De forma geral, é possível afirmar que os movimentos de massa deixaram marcas de destruição pela planície da bacia do rio Cuiabá. Os elementos do sistema natural mais preponderantes em 2011 foram: calha desconfigurada, margens do rio expostas e instáveis, leito assoreado, afloramento de substrato rochoso nas encostas, solo descaracterizado, supressão e soterramento parcial de vegetação, elevação do nível de base e construções destruídas e/ou parcialmente soterradas. As ações antrópicas observadas, em termos de recuperação, foram reformas e remoções de construções de pequeno porte, obras de revegetação, reconstrução de acessos, contenção, dragagem e terraplanagem, realizadas principalmente em curto e médio prazo. Em 2019, de forma geral, foi observada uma colonização espontânea por gramíneas sobre a planície, margens e encostas, porém com parcial ou nenhuma recuperação da mata ciliar, além de algumas construções reformadas. Em relação a 2023, foram notados poucos ou nenhum avanço no processo de recuperação da bacia do rio Cuiabá, considerando a situação da planície e das margens que permaneceram revegetadas, porém, mais uma vez, quase sem nenhum desenvolvimento da mata ciliar. Além disso, a detecção de pontos de retirada de material das margens e a situação das encostas erodidas próximas ao rio, além da própria interrupção das obras, podem ter colaborado para o comprometimento do processo de recuperação.

Conclusão

As respostas a grandes desastres são marcadas desde seus impactos sobre um sistema e reverberam-se ao longo do tempo de diferentes formas. Essas reações podem demandar intervenções para contribuir com os processos de recuperação ou podem não necessariamente ser passíveis de recuperação. Tais intervenções na bacia do rio Cuiabá, em forma de ações mais emergenciais, como deslocamento da população para fora de áreas de risco e desobstrução de acessos e vias, foram mais frequentes no cenário de 2011, assim como as de recuperação, que estiveram mais ligadas às ações estruturais, como obras de dragagem e terraplanagem, reconfiguração da calha e contenção de margens e pontes.

O solo e a calha foram os componentes que mais sofreram alterações e interferências, transformando-se ao longo do tempo, tanto pelas descaracterizações quanto pelas ações pontuais de contenção e reconfiguração artificial. No entanto, somente a calha apontou alguma recuperação, assim como as margens, que foram revegetadas parcialmente em alguns pontos, sendo de forma muito incipiente pela mata ciliar. Outros componentes não foram capazes de ser recuperados, como os solos característicos e o nível de base, que faziam parte da planície no estágio anterior ao megadesastre. Assim, parte do sistema vai entrando em um novo estágio de acomodação e adaptação, que podem vir a ser investigadas e monitoradas por outros tipos de resposta a médio-longo prazo.

Com relação aos elementos em 2019, ainda que houvesse interferência humana por obras de revegetação, as mudanças naturais mais sensíveis estiveram, até então, mais associadas à capacidade de recuperação do sistema natural em encostas e áreas menos antropizadas, por meio da colonização natural por espécies da região. Enquanto isso, os processos de recuperação artificial (principalmente por gramíneas) eram mais evidenciados ao longo das margens e planície.

A interrupção das obras por sete anos gerou processos de recuperação inacabados, o que pode vir a comprometer a capacidade da bacia do Cuiabá de responder a futuros eventos de grande magnitude, tanto do aspecto natural quanto do antrópico. O campo presencial, em 2023, demonstrou pouco ou nenhum avanço do processo de recuperação da bacia do rio Cuiabá em relação a 2019, visto que as obras haviam retornado há dois anos. Ou seja, em um período de 12 anos, do megadesastre ao campo presencial, houve obras de recuperação somente entre 4 e 5 anos.

Além disso, a situação das construções e residências de pequeno porte e a de grandes propriedades apresenta mais uma faceta complexa dos desastres. Apesar de respostas positivas em relação ao não alagamento de casas em algumas localidades, a permanência das pessoas nas áreas de risco gera grande preocupação, pois demonstra como condições de vulnerabilidade são muitas vezes negligenciadas e retroalimentadas, podendo desencadear novas tragédias, somados ainda à falta de gestão pública e comunicação efetivas (Freitas *et al.*, 2012).

Ainda que haja limitações metodológicas no estudo em questão, visto que não foi possível obter os mesmos ângulos de análise para todas as imagens de satélite, aéreas e/ou registros presenciais, entende-se que os resultados trouxeram uma grande colaboração a nível de processos de recuperação de sistemas naturais em um contexto de pós-desastre.

Mesmo que as medidas emergenciais de resposta e reabilitação a desastres sejam essenciais e estratégicas para mitigar condições de vulnerabilidade extrema, é fundamental trabalhar a recuperação ambiental como um projeto de vigilância e prevenção constante. Logo, pensar e planejar neste contexto de turbulência implica em conseguir aliar soluções, atuações e recursos, em função de múltiplas escalas espaciais e temporais, e focar a recuperação em políticas que promovam adaptação a

longo prazo (Santos, 2009). Sistemas ambientais mais adaptados e resilientes tendem a se recuperar melhor em cenários de crise como os gerados por eventos extremos.

Dadas as evidências de transformações do sistema natural estudado, ainda não houve uma recuperação total da bacia do rio Cuiabá em um período de 12 anos, mas em alguns trechos da planície e encostas. Desta forma, sugerem-se uma aceleração no processo de reflorestamento e contenção de taludes, fiscalização do uso e ocupação do solo na planície, remoção de construção às margens e suporte aos moradores de maior vulnerabilidade e realocação para fora de áreas de risco, com foco no potencial ecoturístico da região.

Referências bibliográficas

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2017). Base Hidrográfica Ottocodificada da Bacia do Rio Paraíba do Sul nas escalas 1:25.000/50.000. *In: Catálogo de Metadados da ANA*. Disponível em: https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/97100ae2-f173-4be7-a827-6252d3ce0718. Acesso em 13 out. 2022.

Bartholomeu, M. C. (2019). A cafeicultura e a Estrada União e Indústria: Transformações espaciais e desenvolvimento desigual em meados do século XIX. *Terra Brasilis* [Online], 11. DOI: https://doi.org/10.4000/terrabrasilis.3852

Berna, V. (2013). Petrópolis recebe obras contra enchentes. Revista do Meio Ambiente, ano VIII, ed. 62, 10-13. *Rebia - Rede Brasileira de Informação Ambienta*l. Disponível em: https://issuu.com/portal-do-meio-ambiente/docs/revista-do-meio-ambiente-062. Acesso em: 17 ago. 2023.

Boardman, J. (2016). The value of Google Earth™ for erosion mapping. *Catena*, 143, 123–127.

Botelho, R. G. M. (1996). *Identificação de unidades ambientais na bacia do rio Cuiabá (Petrópolis - RJ) visando ao planejamento do uso do solo (Dissertação de Mestrado em Geografia)*. Rio de Janeiro, PPGG, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 114 p.

Botelho, R. G. M. (2011). O planejamento ambiental e a ocorrência de desastres: o caso da bacia do rio Cuiabá (Petrópolis - Rio de Janeiro). *In*: *III Workshop Internacional sobre Planejamento e Desenvolvimento Sustentável em Bacias Hidrográficas*.

Botelho, R. G. M., Pereira, A. (1996). Transformação do Espaço Geográfico e seus Riscos Ambientais: o caso da bacia do rio Cuiabá (Itaipava - Petrópolis/RJ). *In*: *Encontro Nacional de Geógrafos*. Recife – PE, v. 2, 381-383.

Brasil (2011). Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. *Anuário brasileiro de desastres naturais: 2011*. Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. Brasília: CENAD, 2012. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosDefesaCivil/ArquivosPDF/publicacoes/Anuario-de-Desastres-Naturais-2011.pdf. Acesso em: 16 out. 2021.

Busch, A. e Amorim, S. (2011). *A tragédia da região serrana do Rio de Janeiro em 2011: procurando respostas*. Escola Nacional de Administração Pública (ENAP) – Casoteca de Gestão Pública.

Campos, A. B. A. e Botelho, R. G. M. (2022). *Street View* e *Google Earth* como ferramentas investigativas de alterações na paisagem: os campos virtuais. *William Morris Davis - Revista de Geomorfologia*, v. 3, n. 2, 1-19. DOI: https://doi.org/10.48025/ISSN2675-6900.v3n2.2022.168

Canejo, A. (2015). *N.º de vítimas em tragédia no RJ pode ser 10 vezes maior, dizem entidades*. G1 Região Serrana, Rio de Janeiro. Disponível em: https://g1.globo.com/rj/regiao-serrana/noticia/2015/08/entidades-apontam-subnotificacao-de-vitimas-da-tragedia-de-2011-na-serra.html. Acesso em: 5 nov. 2021.

Carvalho, C. S. e Galvão, T. (Org.). (2006). *Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais*. Brasília: Ministério das Cidades; Cities Alliance, 111 p.

Cavalcante Filho, E. C. C., Vidal, D. H. de F., Farias Júnior, J. E. F. de, Gonçalves, V. S. do A. P., Ferreira, M. A. da S., Viana, L. V., Santos, M. de O. R. M. dos, Johnsson, R. M. F. (2011). Tragédia Climática E Ambiental Na Região Serrana/RJ 2011: Diagnóstico, Desafios E Ações. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. *In*: *XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Maceió.

Christofoletti, A. (1979). *Análise de sistemas em Geografia*. São Paulo: Editora Hucitec, Editora da Universidade de São Paulo, 106 p.

Corrêa, C. V. S. (2020). A geotecnologia no monitoramento, alerta e prevenção de desastres - os desastres naturais e tecnológicos no cenário brasileiro e estudos de caso do emprego de geotecnologias como subsídio a sua mitigação. *Redução do risco de desastres e a resiliência no meio rural e urbano*, 390-417.

CRED - CENTRE FOR RESEARCH ON THE EPIDEMIOLOGY OF DISASTERS (2022). Disasters in numbers. *Brussels: CRED*; 2023. Disponível em: https://cred.be/sites/default/files/2022_EMDAT_report.pdf. Acesso em: 15 abr. 2024.

Dantas, M. E., Motta, M., Botelho, R. G. M. (2022). Contexto geológico e geomorfológico dos eventos em Petrópolis 2022. *União da Geomorfologia Brasileira*. Disponível em: https://drive.google.com/file/d/128-e3qVbdcmDVe9o4T2HCU895WK_awGd/view. Acesso em: 10 abr. 2024.

Fernandes, M. C., Oliveira, L. F. B., Colares, I. V. V., Araújo, R. S., Lima, P. H. M. (2017). Comportamento de análises em superfície planimétrica e modelada frente a representações cartográficas e índices geomorfológicos - Bacia do rio Cuiabá - Petrópolis (RJ). *Revista Brasileira de Geomorfologia,* 18(4). DOI: https://doi.org/10.20502/rbg.v18i4.1210

Fernandes, W. (2021). Tragédia do Vale do Cuiabá completa 10 anos hoje. *Diário de Petrópolis,* Rio de Janeiro. Disponível em: https://www.diariodepetropolis.com.br/integra/tragedia-do-vale-do-cuiaba-completa-10-anos-amanha-189339. Acesso em: 10 out. 2021.

Freitas, C. M. D., Carvalho, M. L. D., Ximenes, E. F., Arraes, E. F., & Gomes, J. O. (2012). Vulnerabilidade socioambiental, redução de riscos de desastres e construção da resiliência – lições do terremoto no Haiti e das chuvas fortes na Região Serrana, Brasil. *Ciência e Saúde Coletiva*: 17(6), 1577-1586.

G1 - Jornal Nacional (2011). *Quinze cavalos do Jockey Club Brasileiro morrem em Itaipava (RJ)*. G1, Rio de Janeiro. Disponível em: https://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2011/01/quinze-cavalos-do-jockey-club-brasileiro-morrem-em-itaipava-rj.html. Acesso em: 15 set. 2023.

G1 – Região Serrana (2021). Confira imagens marcantes da tragédia de 2011 na Região Serrana do RJ. G1, Rio de Janeiro. Disponível em: https://g1.globo.com/rj/regiao-serrana/noticia/2021/01/11/confira-imagens-marcantes-da-tragedia-de-2011-na-regiao-serrana-do-rj.ghtml. Acesso em: 10 abr. 2024.

Google. *O globo terrestre mais detalhado do mundo*. Google Earth [online]. Disponível em: https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/. Acesso em: 10 jan. 2022.

Google. *O que é o Street View?* Google Maps [online]. Disponível em: https://www.google.com/streetview/. Acesso em: 15 dez. 2021.

Google Earth. *Vale do Cuiabá. Itaipava, Petrópolis - RJ*. Google Earth Pro [*software* gratuito]. Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO. Landsat/Corpenicus. 3 imagens de satélite (2019). Disponível em: https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/. Acesso em: 13 jan. 2022.

Google Maps. *Seus lugares: Campo bacia do Cuiabá. Itaipava, Petrópolis - RJ*. Google Maps [online]. 1 fotografia aérea. Disponível em: https://www.google.com.br/maps. Acesso em: 16 dez. 2021.

Guerra, A. J. T., Gonçalves, L. F. H., & Lopes, P. B. M. (2007). Evolução Histórico-Morfológica da Ocupação Desordenada e Movimentos de Massa no Município de Petrópolis, nas últimas décadas. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 8, n.º 1, 35-43.

Hipismo & Co. (2011). *Tragédia das chuvas nos haras da região serrana do Rio*. Rio de Janeiro. Disponível: https://www.hipismoeco.com.br/blog/trajedia-das-chuvas-nos-haras-da-regiao-serrana-do-rio/. Acesso em: 15 set. 2023.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2021). Malha Municipal – Unidades Federativas do Brasil e Municípios do Rio de Janeiro. *In: Geociências, Organização do território, Malhas territoriais*. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=acesso-ao-produto. Acesso em 2 fev. 2022.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2019). Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. *Suscetibilidade a deslizamentos do Brasil: primeira aproximação*. Rio de Janeiro, 54 p.

Lima, R. N. S. (2012). Google Earth aplicado a pesquisa e ensino da Geomorfologia. *Revista de Ensino de Geografia*, Uberlândia, v. 3, n. 5, 17-30.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (2011). Relatório de Inspeção. *Área atingida pela tragédia das chuvas Região Serrana do Rio de Janeiro*. Brasília - DF.

Ninno, L. (2022). *Desastre em Petrópolis: população vulnerável acentua impacto da crise climática*. National Geographic – Meio Ambiente. Disponível em: https://www.nationalgeographicbrasil.com/meio-ambiente/2022/02/desastre-em-petropolis-populacao-vulneravel-acentua-impacto-da-crise-climatica. Acesso em dez. 2022.

Puente, B. (2022). *Tragédia em Petrópolis completa três meses neste domingo*. CNN Brasil, Rio de Janeiro. Disponível em: https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/tragedia-em-petropolis-completa-tres-meses-neste-domingo/. Acesso em dez. 2022.

Ross, J. L. S. (2019). Bacia Hidrográfica: Unidade de Análise Integrada. *In:* Morato, R. G., Kawakubo, F. S., Galvani, E., Ross, J. L. S. (Orgs.). *Análise Integrada em Bacias Hidrográficas - Estudos comparativos com distintos usos e ocupação do solo*. São Paulo: FFLCH/USP.

Rossato, M. S. e Botelho, R G. M. (2002). Erosão Urbana no Brasil. *In*: *XIII Encontro Nacional De Geógrafos* - João Pessoa - PB.

Santos, F. T. (2009). Resiliência estratégica para um desenvolvimento regional sustentável. *Revista Portuguesa de Estudos Regionais*, Associação Portuguesa para o Desenvolvimento Regional Angra do Heroísmo, Portugal. n. 20, 29-40.

Silva, A. S. e Botelho, R. G. M. (2014). Cap. 7 – Degradação dos solos no estado do Rio de Janeiro. *In*: Guerra, A. J. T., Jorge, M. C. O. (Orgs.). *Degradação dos solos no Brasil*. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro.

Souza, K R. G. (2020). Risco tecnológico como vetor de desenvolvimento do risco ambiental. O caso da região da Costa Verde- Serra do Mar (RJ). *In*: Lourenço, L; Lima, H. R. (Coords*). Resiliência ao Risco*, volume 8 da série Estudos Cindínicos. RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança, Coimbra, ISSN 2184-5727, 53-90. DOI: https://doi.org/10.34037/978-989-54942-7-9_8_3

Souza, K. R. G. e Lourenço, L. A. (2015). Evolução do conceito de risco à luz das ciências naturais e sociais. *Revista Territorium*, n.º 22 "Riscos. Territórios de Convergência", Editores: RISCOS – Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e segurança; IUC – Imprensa da Universidade de Coimbra, ISSN: 0872-8941, Coimbra, 31-44. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_22_1

Street View. *Vale do Cuiabá. Itaipava, Petrópolis – RJ*. Google Maps [online]. 14 fotografias panorâmicas (2011 e 2019). Disponível em: https://www.google.com/streetview/. Acesso em: 15 dez. 2021.

Tominaga, L. K. (2015a). Cap. 2 - Escorregamentos. *In*: Tominaga, L. K., Santoro, J., Amaral, R. (Orgs). *Desastres naturais: conhecer para prevenir* – 3a ed. - São Paulo: Instituto Geológico.

Tominaga, L. K. (2015b). Cap. 9 - Análise e Mapeamento de Risco. *In*: Tominaga, L. K., Santoro, J., Amaral, R. (Orgs). *Desastres naturais: conhecer para prevenir* – 3a ed. - São Paulo: Instituto Geológico.

Tominaga, L. K. (2007). *Avaliação de Metodologias de Análise de Risco a Escorregamentos: Aplicação de um Ensaio em Ubatuba, SP (Tese de Doutorado em Ciências - Geografia Física)*. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Torquato, P. (2021). *Obras de recuperação ambiental dos rios do Vale do Cuiabá são retomadas depois de sete anos*. Diário de Petrópolis. Petrópolis – RJ. Disponível em: https://www.diariodepetropolis.com.br/integra/obras-de-recuperacao-ambiental-dos-rios-do-vale-do-cuiaba-sao-retomadas-depois-de-sete-anos-195314. Acesso em: 20 set. 2023.

UNDP - UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME (2004). *Reducing Disaster Risk: A Challenge for Development*. United Nations Development Programme, Bureau for Crisis Prevention and Recovery, One United Nations Plaza, New York – USA.

Yu, M., Yang, C., & Li, Y. (2018). Big data in natural disaster management: a review. *Geosciences* Article, 1658 (5), 1-26.
DOI: https://doi.org/10.3390/geosciences8050165