

CARTOGRAFIA DE RISCOS ASSOCIADOS A PROCESSOS GEODINÂMICOS
PERIGOSOS EM ESCALA 1:10.000: UMA ABORDAGEM VOLTADA PARA ÁREAS DE USO
RESIDENCIAL, COMERCIAL E SERVIÇOS EM MOGI MIRIM, SP

Cláudio José FERREIRA
Denise Rossini PENTEADO
Ricardo VEDOVELLO
Cristina Boggi da Silva RAFAELLI
Rogério Rodrigues RIBEIRO

RESUMO

Neste trabalho é apresentada a cartografia de riscos associados a processos de escorregamentos, inundações e erosão para áreas de uso urbano do tipo residencial/comercial/serviços, na escala 1:10.000. O método aplicado no município de Mogi Mirim (SP) envolveu as seguintes etapas: 1) compartimentação do território municipal com base em princípios e técnicas de análise integrada dos elementos componentes dos terrenos e dos tipos e formas de uso e ocupação do solo com a obtenção das Unidades Territoriais Básicas (UTB); 2) seleção e obtenção de atributos qualificadores dos perigos e das vulnerabilidades; 3) cálculo e obtenção de cartas sínteses de perigo, vulnerabilidade e riscos para cada um dos fenômenos geodinâmicos perigosos avaliados. Os resultados mostram que os riscos associados a escorregamentos são pouco significativos, no entanto, os riscos associados a erosão e, de forma mais expressiva, aqueles associados a inundações, devem ser considerados com maior atenção, visando a definição de medidas preventivas e mitigatórias. O conjunto das informações subsidiam as ações de planejamento urbano e de gestão ambiental em esfera municipal, sendo ainda utilizados para a definição de áreas alvo para mapeamento de risco em escala local.

Palavras-chaves: Cartas de risco; Análise de terrenos; Análise de perigo; Análise de vulnerabilidade; Gestão de riscos.

ABSTRACT

RISK MAPPING RELATED TO GEODYNAMIC PROCESSES AT A SCALE OF 1:10,000: AN APPROACH FOCUSED ON RESIDENTIAL, COMMERCIAL AND SERVICE AREAS IN MOGI MIRIM, SP. This work presents the risk maps related with landslides, floods, and erosion processes for residential, commercial, and service-use areas on a scale of 1:10,000. The method applied in the municipality of Mogi Mirim (SP) included the phases: 1) Compartmentalization of the municipal territory based on principles and techniques of integrated analysis related to the terrain elements and the types and forms of land use and occupation, resulting in the Basic Territorial Units (UTB); 2) Selection and acquisition of attributes for hazards and vulnerability calculation; 3) Hazards, vulnerability, and risk calculation and maps production for each of the hazards geodynamic phenomena assessed. The results show that landslides risk is not significant in the studied area, whereas erosive and foremost flood risk are important and should be considered with greater attention, aiming at the definition of preventive and mitigation measures. The results can support urban planning and environmental management actions at the municipal level, as well as to defining target areas for risk mapping at the local level.

Keywords: Risk maps; Terrain analysis; Hazard analysis; Vulnerability analysis; Risk management.

RESUMEN

MAPEO DE RIESGOS ASOCIADOS CON PROCESOS GEODINÁMICOS PELIGROSOS A ESCALA 1:10.000: UN ENFOQUE CENTRADO EN ÁREAS RESIDENCIALES, COMERCIALES Y DE SERVICIOS EN MOGI MIRIM, SP. En este trabajo se presenta la cartografía de riesgos asociados a deslizamientos, inundaciones y procesos erosivos para zonas urbanas residenciales, comerciales y de servicios, a escala 1:10 000. El método aplicado en el municipio de Mogi Mirim (SP) consta de las siguientes etapas: 1) compartimentación del territorio municipal basada en principios y técnicas de análisis integrado de los elementos componentes del terreno y de los tipos y formas de uso y ocupación de la tierra, con la obtención de las Unidades Territoriales Básicas (UTB); 2) selección y obtención de atributos calificativos de amenazas y vulnerabilidades; y 3) cálculo y obtención de mapas de amenaza, vulnerabilidad y riesgos para cada uno de los fenómenos geodinámicos peligrosos evaluados. Los resultados muestran que los riesgos asociados a los deslizamientos no son significativos, pero los asociados a la erosión y, más concretamente, los asociados a las inundaciones deben ser tenidos en cuenta, ya que apuntan a la definición de medidas preventivas y de mitigación. El conjunto de informaciones subsidia las acciones de planificación urbana y gestión ambiental a nivel municipal y también se utiliza para definir áreas de interés para el mapeo de riesgos a escala local.

Palabras clave: Cartas de riesgo; Análisis del terreno; Análisis de amenazas; Análisis de vulnerabilidades; Gestión de riesgos.

1 INTRODUÇÃO

A Gestão de Riscos e Desastres (GRD) constitui ação essencial para o desenvolvimento socioeconômico e segurança das comunidades. Em consonância com as recomendações e marcos estabelecidos, nas esferas nacional e internacional, a comunidade técnica tem desenvolvido diversos tipos de produtos cartográficos destinados a subsidiar a definição e a aplicação de políticas globais e setoriais que possuem interface com a GRD.

As cartografias de riscos de eventos geodinâmicos desenvolvidas a partir de cartografias geotécnica e ambiental constituem instrumentos para planejamento, gerenciamento e ordenamento territorial municipal.

Nesse contexto, as metodologias adotadas têm sido definidas com base nos preceitos estabelecidos em uma série de legislações, incluindo a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC (Lei Federal nº 12.608/2012, BRASIL 2012); o Estatuto das Cidades (Lei Federal nº 10.257/2001, BRASIL 2001), que definem a obrigatoriedade de elaboração de plano diretor nos municípios que possuem áreas suscetíveis a processos geológicos ou hidrológicos; a Lei Lehmann (Lei Federal nº 6.766/1979, BRASIL

1979), que vincula a aprovação de novos projetos de parcelamento do solo ao atendimento das diretrizes da carta de aptidão à urbanização; e a Lei Federal nº 12.340/2010 (BRASIL 2010), que dispõe sobre a transferência de recursos da União para que os estados e municípios possam atuar na prevenção de desastres naturais.

De forma geral, no Brasil as cartas de risco têm sido elaboradas com base na metodologia proposta pelo Ministério das Cidades (BRASIL 2007), baseada em procedimentos que resultam na determinação de áreas específicas dos municípios, divididas em diferentes setores, cada qual com determinado grau de risco e que, em sua grande maioria, refletem o estágio de instabilidade e a iminência da ocorrência de um acidente ou desastre em escala local (1:3.000 ou maiores). Tal produto é de grande importância para subsidiar ações de gerenciamento e de mitigação dos riscos em escala local, em particular, considerando sua utilização para a operação de planos preventivos e de contingência de defesa civil, para a elaboração de planos municipais de redução de riscos e para a emissão de alertas e avisos meteorológicos.

A aplicação de um modelo de cartografia de riscos que contemple a análise, a espacialização e a classificação de uma área considerando todos os fatores da equação de risco, que incluem os

diferentes tipos de perigos e vulnerabilidades, em escalas regional ou semirregional, torna-se fundamental para incorporação da análise de riscos em ações de planejamento urbano, bem como para a definição e estruturação de políticas públicas intersetoriais que necessitam tratar o tema de forma específica ou integrada.

2 OBJETIVO E MOTIVAÇÃO

Este trabalho tem como objetivo apresentar a metodologia proposta para a obtenção de uma cartografia de riscos associados a processos geodinâmicos perigosos, baseada na análise integrada do território em escala 1:10.000. A metodologia foi aplicada no município de Mogi Mirim, SP (Figura 1), sendo desenvolvida a partir de demanda da prefeitura para subsidiar ações de planejamento urbano e de gestão ambiental local.

Os resultados foram aplicados na definição de áreas alvo para mapeamento e setorizações de risco em escala local (1: 2.000), destinadas às ações de monitoramento, prevenção e mitigação dos riscos do ponto de vista de gestão urbana, meio ambiente e de proteção e defesa civil. Tais

ações têm sido integradas ao processo de revisão e aplicação do Plano Diretor Municipal, conforme determinação da Lei Complementar n° 363, de 1° de junho de 2022 (MOGI MIRIM 2022), compreendendo a delimitação dos trechos com restrições à urbanização e dos trechos sujeitos ao controle especial, em função da ameaça de desastres naturais ou induzidos por ações antrópicas.

Com base nas informações geradas a partir da cartografia de riscos, também foi obtida a carta de aptidão à urbanização do município, a qual representa um dos produtos de síntese elaborados para subsidiar a gestão municipal.

Destaca-se que, ao longo de todo o estudo, houve um empenho em possibilitar a participação dos gestores municipais e viabilizar o entendimento e uso dos produtos elaborados. A disponibilização das informações e produtos das diversas etapas de trabalho ocorreu através de apresentações e explicações quanto ao uso. Também foi realizado curso de *software* livre de geoprocessamento de forma a incentivar o uso dos produtos na rotina dos trabalhos.

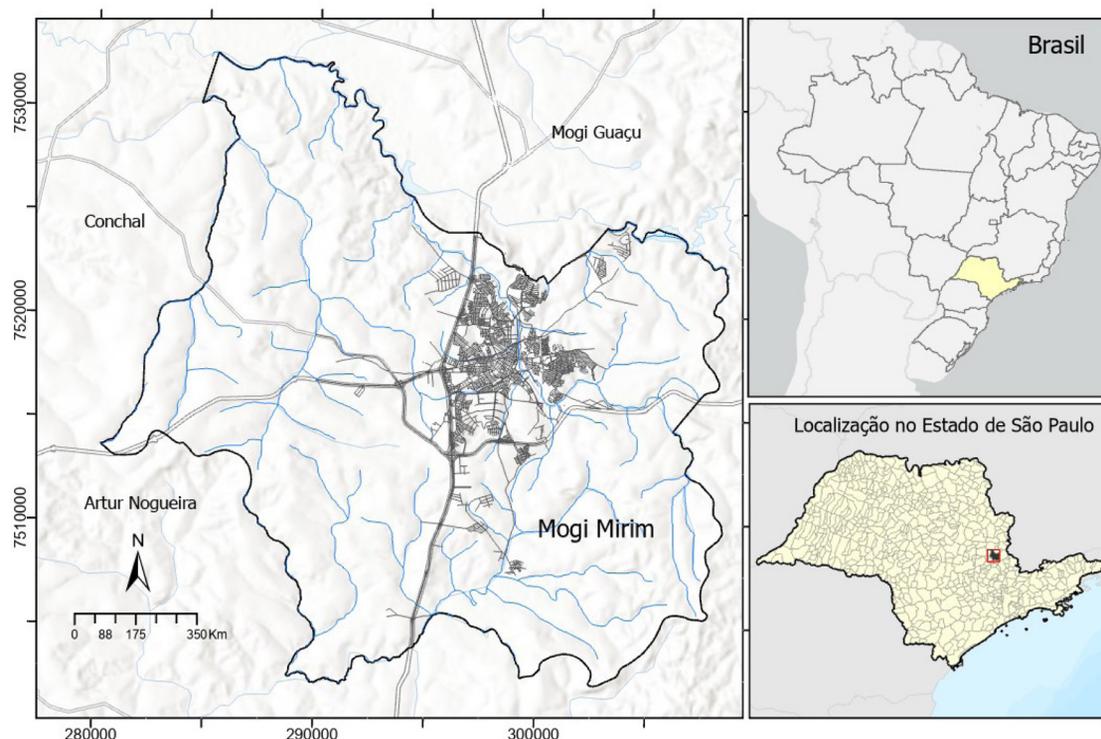


FIGURA 1 – Localização do município de Mogi Mirim – SP.

FIGURE 1 – Location of Mogi Mirim Municipality, State of São Paulo.

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento da cartografia de riscos foi adotado, como embasamento teórico-metodológico, a abordagem de paisagem, con-substanciada no método das Unidades Territoriais Básicas - UTB (FERREIRA & ROSSINIPENTEADO 2011, FERREIRA et al. 2013, SÃO PAULO 2017). Segundo MONTEIRO (2001), a abordagem de paisagem implica em um sistema integrador, estruturado como uma entidade espacial delimitada segundo um nível de resolução definido a partir dos objetivos da análise, sendo resultante da combinação dinâmica de componentes relativamente homogêneos do substrato e da cobertura, incluindo elementos físicos, biológicos e antrópicos, expressa em partes delimitáveis e individualizadas através das relações entre elas, organizando um todo complexo (sistema). A figura 2 mostra a estrutura metodológica geral do trabalho.

3.1. Princípios e conceitos de risco

A cartografia de riscos associados a processos geodinâmicos perigosos pressupõe a realização de estudos e análises relacionados à identificação e caracterização dos perigos, da vulnerabilidade e do dano potencial a que um determinado elemento ou área está submetido, em função do grau de exposição, dado pela sua posição em relação à localização de terrenos suscetíveis a fenômenos ou processos perigosos, e de sua capacidade de enfrentamento aos perigos analisados. Assim, o processo cartográfico atende ao princípio geral estabelecido pelo conceito de risco adotado pela *United Nations Disaster Risk Reduction* (UNDRR 2016), que considera:

- Risco de Desastre: perda potencial de vidas, ferimentos, ou danos ou destruição de bens, que pode impactar um sistema, sociedade ou comunidade em um período específico, sendo de-

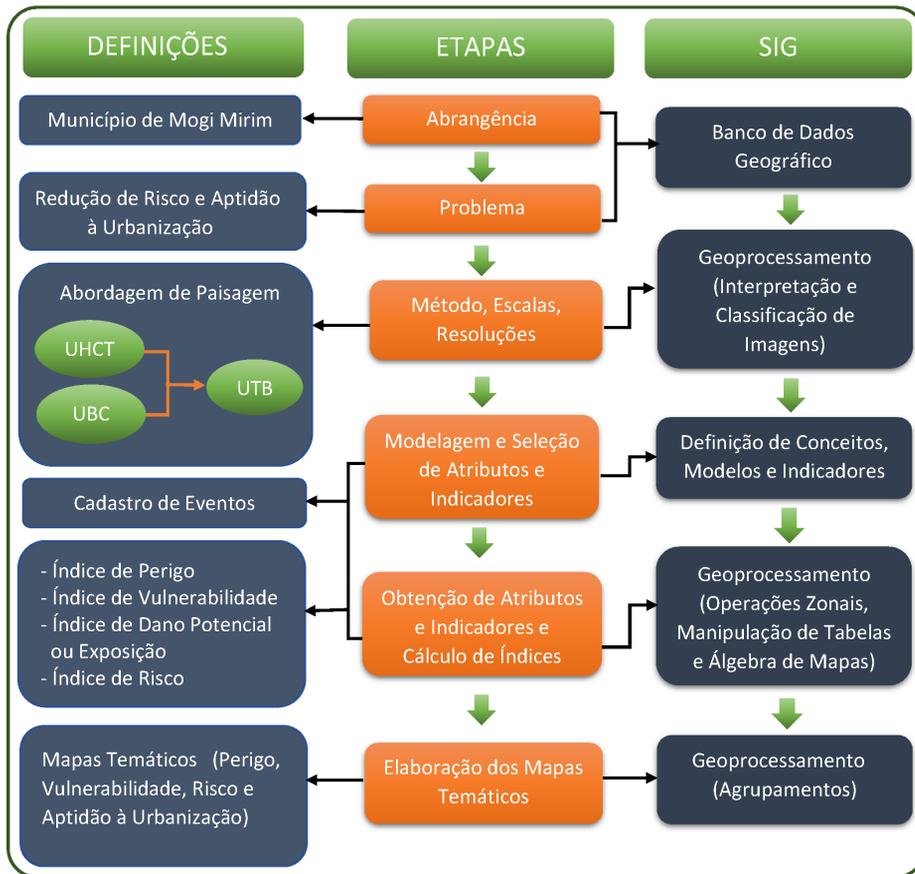


FIGURA 2 – Estrutura metodológica do trabalho.

FIGURE 2 – Methodological framework of the study.

terminado, probabilisticamente, como função do perigo, da exposição, da vulnerabilidade e da “capacidade” de gestão dos riscos;

- Perigo: processo, fenômeno ou atividade humana que pode causar perda de vida, ferimentos ou outros impactos na saúde, danos a propriedade, rupturas sociais ou econômicas e degradação ambiental;

- Vulnerabilidade: conjunto de condições físicas, sociais, econômicas e ambientais que aumentam a predisposição do elemento exposto ser afetado pelo impacto de um perigo;

- Capacidade: combinação de todos os pontos fortes, atributos e recursos disponíveis dentro de uma comunidade para gerir e reduzir os riscos e fortalecer a resiliência;

- Exposição: pessoas, infraestrutura, moradias, capacidades produtivas e outros bens humanos tangíveis localizados em áreas sujeitas a perigos;

- Dano Potencial: medida ou valoração das perdas estimadas, incluindo número de pessoas ou valor de propriedades e bens expostos.

Com base nestes conceitos, foi considerado para o cálculo, o Risco (R) como uma função do Perigo (P), da Vulnerabilidade (incluindo a capacidade) (V) e do Dano Potencial (DP). Os perigos analisados incluem processos geodinâmicos do tipo escorregamento ou deslizamento (em especial do tipo planar), erosão e inundação.

Considerando as particularidades de cada processo perigoso, a análise de risco foi feita de forma específica para cada tipo de processo analisado.

As etapas, procedimentos e produtos definidos envolvem a avaliação sistemática dos fatores relacionados aos perigos, às vulnerabilidades e aos danos potenciais que compõem a equação do risco.

3.2 Etapas e procedimentos

Os dados e informações de diversas fontes foram estruturados, integrados e analisados em bancos de dados georreferenciados, utilizando sistemas de informação geográfica (SIG) e produtos de sensoriamento remoto. As cartas de risco em escala 1:10.000 foram obtidas em três etapas principais.

A primeira etapa consistiu na obtenção e definição de unidades de análise do território. A segunda etapa compreendeu a caracterização das unidades de análise a partir da seleção e obtenção de atributos; e a terceira etapa consistiu no cálculo de índices relacionados aos fatores da equação de risco (perigos, vulnerabilidade, dano potencial, riscos) e obtenção da cartografia final com a classificação das unidades de análise em diferentes graus. O procedimento segue os princípios para a obtenção de cartas geológico-geotécnicas, no formato de zoneamentos geoambientais, conforme sugerido por VEDOVELLO (2000) e ilustrado na figura 3.

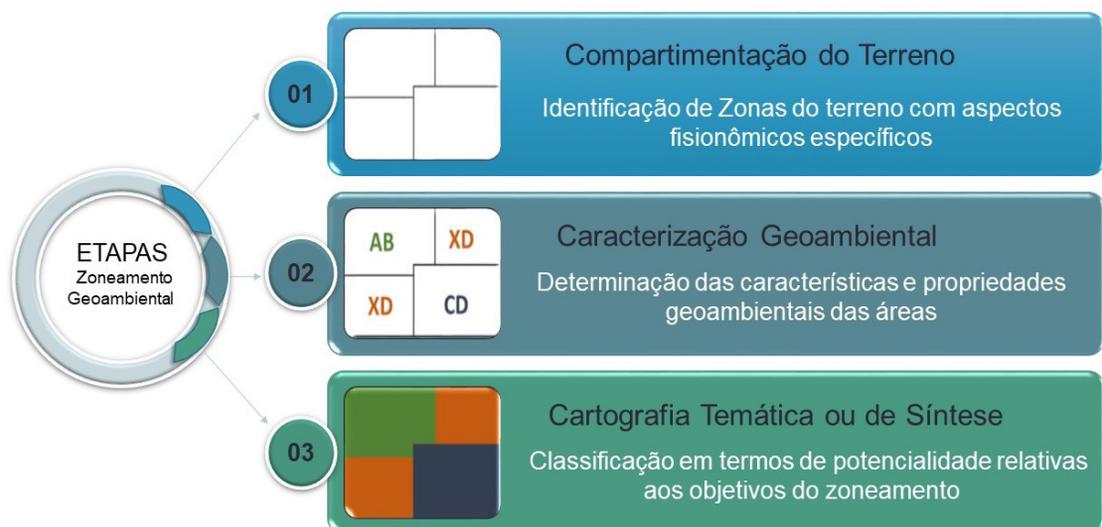


FIGURA 3 – Etapas para a obtenção de zoneamentos geoambientais em abordagens fisiográficas e/ou de paisagem (adaptada de VEDOVELLO 2000).

FIGURE 3 – Steps to obtain environmental zoning in physiographic or landscape approach (Adapted from VEDOVELLO 2000).

3.2.1 Definição das unidades de análise para avaliação integrada do território

Neste trabalho, as UTB – Unidades Territoriais Básicas foram definidas como as unidades territoriais de análise. Tais unidades resultam da intersecção entre dois planos de informação: as Unidades Básicas de Compartimentação (UBC) associadas ao substrato geológico-geomorfológico-pedológico, que refletem as características e propriedades dos elementos componentes dos terrenos – solos, rochas, relevo, processos naturais (VEDOVELLO 2000) e as Unidades da Cobertura da Terra, Uso do Solo e Padrão da Ocupação Urbana (UHCT), que refletem as características, formas e processos antrópicos de uso e ocupação do território (ROSSINI-PENTEADO *et al.* 2007, FERREIRA *et al.* 2013, SÃO PAULO 2016).

O método Unidades Territoriais Básicas – UTB compreende um sistema de classificação hierarquizado e multinível, cujas unidades podem ser facilmente associadas a um banco de dados relacional, o que favorece seu uso em procedimentos de obtenção automatizada de cartografia digital, e para o estabelecimento de bases de dados customizadas, gerenciáveis e atualizáveis para diferentes finalidades, favorecendo a análise integrada dos sistemas ambientais, socioeconômicos e culturais. Além disso, permite a identificação das limitações, vulnerabilidades e fragilidades naturais, bem como dos riscos e potencialidades de uso de uma determinada área.

3.2.1.1 Unidades Básicas de Compartimentação – UBC

O primeiro procedimento para a determinação das unidades de análise consistiu na obtenção do produto correspondente às Unidades Básicas de Compartimentação (UBC), as quais refletem associações específicas do substrato geológico-geomorfológico-pedológico. As unidades resultantes nesta etapa determinam áreas com condições geológico-geotécnicas semelhantes para as quais um comportamento geotécnico ou uma aptidão de uso podem ser indicados frente às diferentes atividades antrópicas (VEDOVELLO 2000, VEDOVELLO *et al.* 2020) e, sendo as menores unidades geográficas delimitadas, representam o módulo físico básico de coleta, armazenamento

e análise de informações do substrato geológico-geomorfológico-pedológico.

As UBCs são definidas e estruturadas em vários níveis, cada qual associado à uma determinada escala de análise, o que possibilita a avaliação e a associação de dados em níveis mais ou menos generalizados. O sistema UBC, definido para o presente estudo, apresenta quatro níveis de compartimentação do terreno, cujos elementos de análise e caracterização possuem correlação com as unidades adotadas nos mapas geomorfológico (ROSS & MOROZ 1997) e geológico do estado de São Paulo (PERROTTA *et al.* 2005). O Nível I reflete unidades morfoestruturais e geotectônicas de caráter mais regional. O Nível II, relativo às unidades morfoesculturais, reflete diferentes formas de modelagem do relevo, subdivididas no Nível III a partir da identificação de diferentes tipos de unidades de relevo e associações específicas de litotipos. O Nível IV, que é a unidade básica de compartimentação propriamente dita, reflete as menores associações e variações dos elementos componentes do terreno para a escala de análise. A tabela 1 apresenta o detalhamento dos quatro níveis hierárquicos definidos para a área de estudo e suas respectivas unidades.

Destaca-se que, de forma específica e complementar ao método das UBC, foi realizada a delimitação das sub-bacias hidrográficas, na escala 1:10.000, com o objetivo de subsidiar a análise do processo de inundação.

Para a obtenção das UBC foram analisados e interpretados os seguintes produtos: a) modelo digital de superfície (MDS); b) modelo sombreado de terreno e declividades, gerados a partir do MDS; c) carta topográfica 1:10.000; d) imagens de satélite de alta resolução; e) rede de drenagem e dados secundários de levantamentos geológicos-geotécnicos.

A identificação dos compartimentos fisiográficos foi feita com base na análise de elementos texturais e tonais das imagens de satélite, com apoio dos mapas de relevo sombreado, de declividade e da carta topográfica 1:10.000. No caso das UBC relativas aos ambientes fluviais, a delimitação foi feita considerando o intervalo de 5 m das cotas altimétricas ao longo dos cursos de drenagem e a carta de declividade obtida a partir do modelo digital de terreno (Figura 4).

Para a posterior caracterização desses ambientes fluviais foi realizada a delimitação das sub-bacias hidrográficas, de maneira a sub-

TABELA 1 – Níveis hierárquicos definidos para a Compartimentação Fisiográfica do Terreno e obtenção das UBC, com base em ROSS & MOROZ (1997), PERROTTA *et al.* (2005) e VEDOVELLO *et al.* (2020).

TABLE 1 – Hierarchical levels of the Terrain Physiographic Compartmentalization to obtain the UBC. Based on ROSS & MOROZ (1997), PERROTTA *et al.* (2005), and VEDOVELLO *et al.* (2020).

NÍVEIS DE COMPARTIMENTAÇÃO DO TERRENO PARA A OBTENÇÃO DAS UBC E RESPECTIVAS UNIDADES			
Nível I – Unidades morfoestruturais e geotectônicas	Nível II – Unidades morfoesculturais e litoestratigráficas	Nível III – Unidades de relevo e litotipos	Nível IV – Unidades Básicas de Compartimentação
Coberturas Sedimentares do Pleistoceno e Holoceno	Planícies Fluviais. Depósitos aluvionares associados à drenagem atual	1 Paraná, 2 Paraíba do Sul, Ribeira, 3 Tietê, outros.	UBC1, UBC2 etc.
	Planícies Litorâneas. Depósitos marinhos, fluviais e mistos	1 Iguape-Cananéia, 2 Praia Grande-Peruíbe, 3 Baixada Santista, 4 Bertioga, 5 Litoral Norte, outros.	UBC1, UBC2 etc.
	Depósitos coluvionares e de tálus; depósitos colúvio-eluvionares; e coberturas detriticas indiferenciadas	Planaltos, Serras etc. com depósitos coluvionares associados e com referência a localização geográfica.	UBC1, UBC2 etc.
Bacias Sedimentares do Terciário (Mioceno e Paleógeno)	Bacias Sedimentares do Terciário (Mioceno e Paleógeno)	1 Planalto de São Paulo, 2 Depressão Médio Paraíba, 3 Depressão do Baixo Ribeira, 4 Formação Rio Claro, outros	UBC1, UBC2 etc.
Bacia Vulcano-Sedimentar do Paraná - Planalto Ocidental Paulista (Jurássico-Cretáceo)	Planalto Centro Ocidental indiferenciado, Planaltos, serras/escarpas, morros isolados	1 Planalto Centro Ocidental, 2 Planalto em Patamares Estruturais de Ribeirão Preto, 3 Planaltos Residuais de Franca/Batatais, 4 Planalto Residual de São Carlos, outros	UBC1, UBC2 etc.
Bacia Vulcano-Sedimentar do Paraná - Depressão Periférica (Paleozóico-Triássico)	Depressão indiferenciada, Planaltos, serras/escarpas, morros isolados	1 Depressão Moji-Guaçu, 2 Depressão Médio Tietê, 3 Depressão Paranapanema, outros	UBC1, UBC2 etc.
Cinturão Orogênico do Atlântico (Proterozóico)	Planaltos, serras/escarpas, morros isolados	1 Planalto da Mantiqueira, 2 Planalto da Bocaina, 3 Planalto de Paraitinga/Paraibuna, outros	UBC1, UBC2 etc.
Corpos d'água			

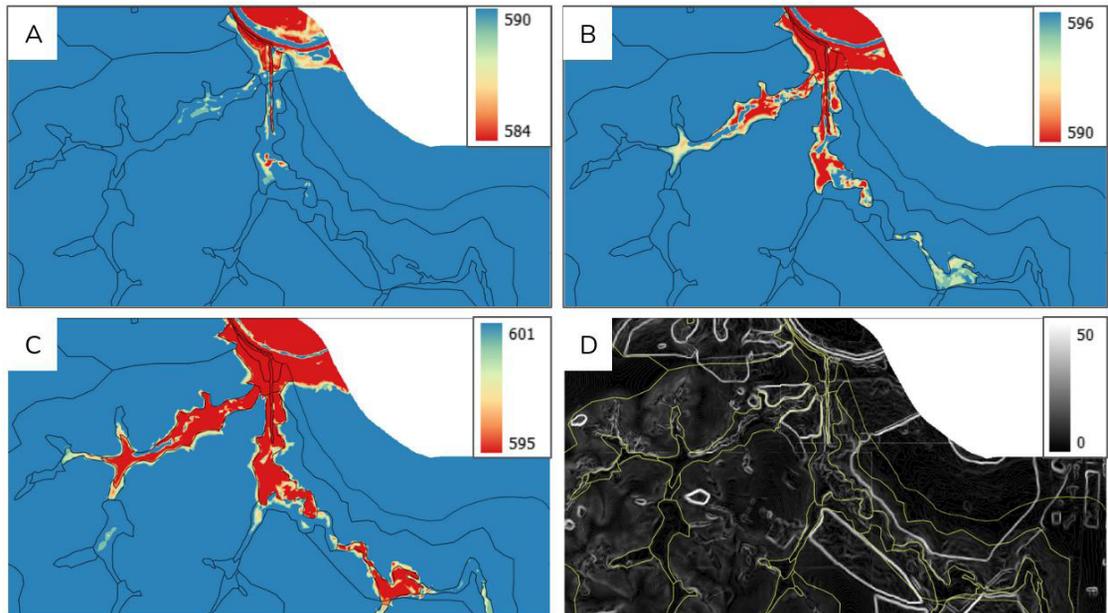


FIGURA 4 – Delimitação das UBC relativas aos ambientes fluviais considerando intervalos altimétricos de 5 m. (A) 584–590 m; (B) 590–596 m; (C) 596–601 m; (D) carta de declividade.

FIGURE 4 – Definition of the UBCs relative to fluvial environments taking in account altimetric intervals of 5 m. (A) 584–590 m; (B) 590–596 m; (C) 596–601 m; (D) declivity chart.

subsidiar a avaliação da suscetibilidade e do perigo de inundação em cada unidade. Observa-se que a análise dos processos de inundação associados às características das UBC que favorecem à ocorrência de escorregamentos, também subsidiou a avaliação da suscetibilidade ao desenvolvimento dos processos de corridas de massa.

Como resultado deste procedimento, foram obtidas as UBC, as quais, posteriormente, foram caracterizadas em relação aos atributos e variáveis considerados na avaliação dos processos perigosos na área de estudo.

3.2.1.2 Unidades Homogêneas de Cobertura da Terra, Uso do Solo e Padrão da Ocupação Urbana – UHCT

O segundo procedimento para a definição das unidades de análise consistiu na obtenção de Unidades Homogêneas de Cobertura da Terra, uso do solo e padrão da ocupação urbana – UHCT, conforme princípios e procedimentos estabelecidos em ROSSINI-PENTEADO *et al.* (2007), FERREIRA & ROSSINI-PENTEADO (2011), FERREIRA *et al.* (2013), ROSSINI-PENTEADO & FERREIRA (2015) e SÃO PAULO (2016). As unidades resultantes representam as menores unidades geográficas delimitadas em diferentes escalas de abordagem, correspondendo ao módulo físico básico de coleta, armazenamento e análise de informações de cobertura da terra e do padrão de ocupação urbana.

As UHCT são definidas e estruturadas em vários níveis, cada qual associado à uma determinada escala de análise, o que possibilita a análise e a associação de dados em níveis mais generalizados ou a agregação de dados em classes já existentes. O sistema UHCT apresenta três níveis de informação sobre o território, sendo o Nível I, mais generalista, composto por seis classes temáticas de cobertura da terra; o Nível II, composto por cinco classes relativas à tipologia de uso do solo urbano, e o Nível III, mais detalhado, composto por quatro critérios de setorização relativos ao padrão da ocupação urbana: padrão da edificação, densidade de ocupação; estágio da ocupação e ordenamento urbano, conforme detalhado na tabela 2.

As classes de cobertura da terra, representadas no Nível I, compatível com a escala 1:50.000, foram inicialmente obtidas a partir do método de classificação semiautomática de

imagem orientada a objeto (*Object-Based Image Analysis* - OBIA). Este método baseia-se em objetos oriundos de segmentação da imagem em regiões homogêneas que figuram como objetos (polígonos) diferenciados por suas características espectrais médias, geométricas, posicionais e de textura. Para cada objeto é calculado um conjunto de atributos (valores médios de propriedades espectrais dos pixels, relações geométricas e de textura). No método OBIA, a classificação de imagens pressupõe conhecimento prévio do intérprete sobre a área que, seguindo uma árvore de processos, decide sobre cada passo na diferenciação das classes (FRANCISCO & ALMEIDA 2012).

O método OBIA foi executado no software QGIS (versão 3.20) com segmentação utilizando quatro bandas espectrais do satélite CBERS 4A. O algoritmo de classificação supervisionada utilizado foi *Random Forest* (RF), que tem como finalidade originar várias árvores de decisão por meio de conjuntos de atributos escolhidos de forma aleatória em relação ao conjunto original. Estes atributos finais são denominados como uma amostragem de *bootstrap*, amostragem essa que há reposição, melhorando a interpretação dos dados (NETO 2014).

A etapa seguinte de classificação e mapeamento da UHCT, envolvendo os Níveis II e III - Tipologia de uso e padrão da ocupação urbana, compatíveis com as escalas 1:10.000 e 1:3.000 respectivamente, foi realizada a partir do processo de interpretação visual de imagens de alta resolução. Os polígonos interpretados, relativos às áreas urbanas ou edificadas foram, posteriormente, sobrepostos ao plano de informação obtido pela classificação semiautomática - OBIA (ROSSINI-PENTEADO *et al.* 2007, FERREIRA & ROSSINI-PENTEADO 2011).

Como resultado deste procedimento foram obtidas as UHCT, as quais, posteriormente, foram caracterizadas em relação aos atributos e variáveis considerados na avaliação da vulnerabilidade aos processos perigosos da área de estudo.

3.2.1.3 Unidades Territoriais Básicas - UTB

O terceiro procedimento está relacionado à obtenção das Unidades Territoriais Básicas (UTB) propriamente, realizada a partir da intersecção e associação dos planos de informação e seus atri-

TABELA 2 – Níveis hierárquicos e atributos utilizados para a obtenção e caracterização das UHCT.

TABLE 2 – Hierarchical levels for getting and attributing the UHCT.

ATRIBUTOS FÍSICOS		ATRIBUTOS SOCIOECONÔMICOS DA UHCT (Atributos Caracterizadores - Dados Secundários)											
NÍVEL I (Definem níveis de compartimentação / Atributos caracterizadores - Dados de Imagens)	NÍVEL II	NÍVEL III											
COBERTURA DA TERRA	TIPOLOGIA DE USO URBANO	PADRÃO DA OCUPAÇÃO URBANA (3 critérios de caracterização – Áreas de uso RCS)											
		<i>Densidade de Ocupação</i>	<i>Padrão da Edificação</i>										
Área Urbana ou Edificada	Residencial/ Comercial/ Serviços (RCS)	Muito Alta	Muito Alto	Esgotamento Sanitário									
		Alta			Alto	Abastecimento de Água							
		Média	Médio		Destinação do Lixo								
		Baixa	Consolidado			Distribuição de Energia							
	Muito Baixa	Em Consolidação	Muito Baixo	Nível de Instrução									
		Rarefeito			Vertical	Renda							
	Grande Equipamento	Loteamento em Implantação	Área Terraplanada (Desocupada)	Espaço Verde Urbano			Idade da População						
					Cobertura Arbórea	Cobertura Arbustiva-Herbácea		Solo Exposto	Corpos d'Água				
										Imagens Orbitais de média resolução espacial – compatível com escala 1:50.000	Fonte: Ortofotos ou Imagens orbitais de alta resolução espacial – compatível com escala 1:10.000	Fonte: Ortofotos ou Imagens orbitais de alta resolução espacial – compatível com escala 1:3.000	Dados Setores Censitários do IBGE

butos das Unidades Básicas de Compartimentação (UBC) e das Unidades da Cobertura da Terra, Uso do Solo e Padrão da Ocupação Urbana (UHCT). A integração dos respectivos planos de informação, UBC e UHCT, foi efetuada por meio uso de ferramentas de geoprocessamento em SIG.

A Unidade Territorial Básica (UTB), conforme FERREIRA & ROSSINI-PENTEADO (2011) e SÃO PAULO (2017), possibilita a espacialização de diferentes atributos do território, favorecendo a análise das interrelações espaciais entre os sistemas ambientais, socioeconômicos e culturais.

Por suas características intrínsecas, as UTB (Figura 5) permitem a estruturação das informações em um ambiente de banco de dados, a partir do qual as informações do substrato geológico-geomorfológico-pedológico, da cobertura da terra, do uso do solo e do padrão da ocupação urbana podem ser consultadas, analisadas, correlacionadas e derivadas para a obtenção de fatores, índices e classes necessários para a avaliação de perigos, de vulnerabilidades, de dano potencial e de riscos.

3.2.2 Caracterização das UTB e obtenção de índices de risco

Conforme já destacado, a análise de riscos é resultante de três fatores principais (perigo, vulnerabilidade e dano potencial), os quais são determinados em função de propriedades e características do terreno, bem como das características dos tipos e formas de uso e ocupação expostos a um determinado perigo em uma determinada área.

Cada um desses fatores é determinado e influenciado por diferentes variáveis e atributos relacionados ao substrato geológico-geomorfológico-pedológico, tais como: tipo de rocha, estruturas geológicas, tipos e formas de relevo, perfil de encosta, declividade, propriedades geotécnicas; bem como das características das atividades e ações antrópicas, incluindo padrões de ocupação, formas de construção, entre outras.

Com o intuito de simplificar a análise e os procedimentos operacionais para a obtenção de cartas derivadas dos fatores de análise de risco, as variáveis e atributos foram associados e sintetizados na forma de índices, os quais podem ser correlacionados com base em critérios qualitativos ou semiquantitativos e resultar em diferentes classes de risco.

No presente trabalho foram definidos e calculados índices de perigo (P), vulnerabilidade (V) e dano potencial (DP) para cada um dos tipos de processos perigosos analisados (escorregamento,

inundação e erosão). Cada um desses índices foi diretamente calculado na tabela de atributos associada ao plano de informação das UTB, destacando-se, inicialmente, como atributos caracterizadores dessas unidades de análise, e posteriormente, foram utilizados como fatores de análise dos riscos. Para a definição de cada um dos índices considerados, os atributos de análise/indicadores, que representam propriedades e características do terreno e das formas de uso e ocupação, foram hierarquizados por meio da atribuição de notas correspondentes a magnitude de sua influência no estabelecimento da situação de perigo, vulnerabilidade e dano potencial, e pela aplicação de fórmulas (algoritmos). Estas notas foram estabelecidas por processo de ponderação, no caso dos indicadores qualitativos, e por processo de normalização dos valores, no caso dos indicadores quantitativos, em uma escala numérica variando entre 0 e 1, onde 0 (zero) corresponde à mínima influência e 1 (um) à máxima influência no processo considerado.

3.2.2.1 Índices de Perigo (P)

Em relação ao fator Perigo (P) da equação de risco, foram obtidos três índices: Índice de Perigo de Escorregamento (P_{esc}); Índice de Perigo de Erosão (P_{ero}); Índice de Perigo de Inundação (P_{inu}), os quais foram calculados considerando-se tanto atributos do meio físico que interferem na suscetibilidade natural do terreno, como atributos relacionados ao padrão de uso e cobertura da terra que potencializam a ocorrência do processo perigoso (Figuras 6, 7 e 8).

Para o cálculo dos índices de perigo na UTB, inicialmente foi determinado o Potencial de Indução (PoI) das formas de uso e cobertura da terra, o qual representa o grau de influência dos diferentes padrões da ocupação e da infraestrutura sanitária no desencadeamento dos processos perigosos. Os índices de $PoI_{(esc,inu,ero)}$ foram calculados por meio da ponderação direta dos valores dos atributos considerados, exceto para a classe de uso do tipo Residencial/Comercial/Serviços, cujos valores do PoI foram obtidos a partir da definição inicial de um Índice de Infraestrutura (IF), conforme tabela 3, seguido da normalização dos valores obtidos no intervalo entre 0,5 e 1, onde, quanto maior o valor maior o potencial de indução do uso do solo aos processos perigosos considerados.

Os atributos do meio físico considerados no cálculo do índice de Perigo de Escorregamento e Mapa de Perigo são apresentados na figura 6. A estes atributos foram atribuídos valores ponderados (notas) conforme tabela 4, observando-se que, quanto

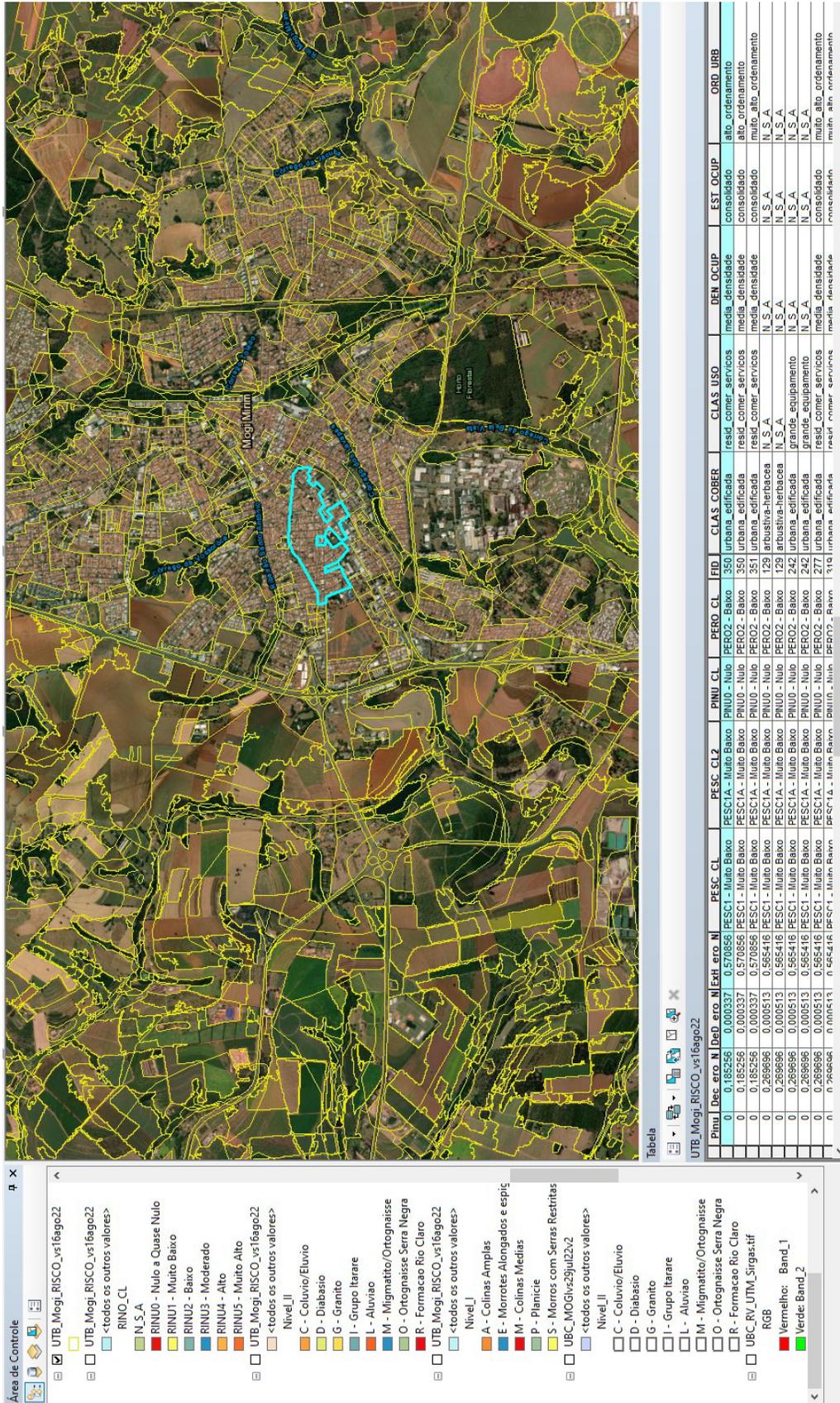


FIGURA 5 – Unidades Territoriais Básicas (UTB) para o município de Mogi Mirim.

FIGURE 5 – Territorial Basic Units (UTB) of the Municipality of Mogi Mirim.

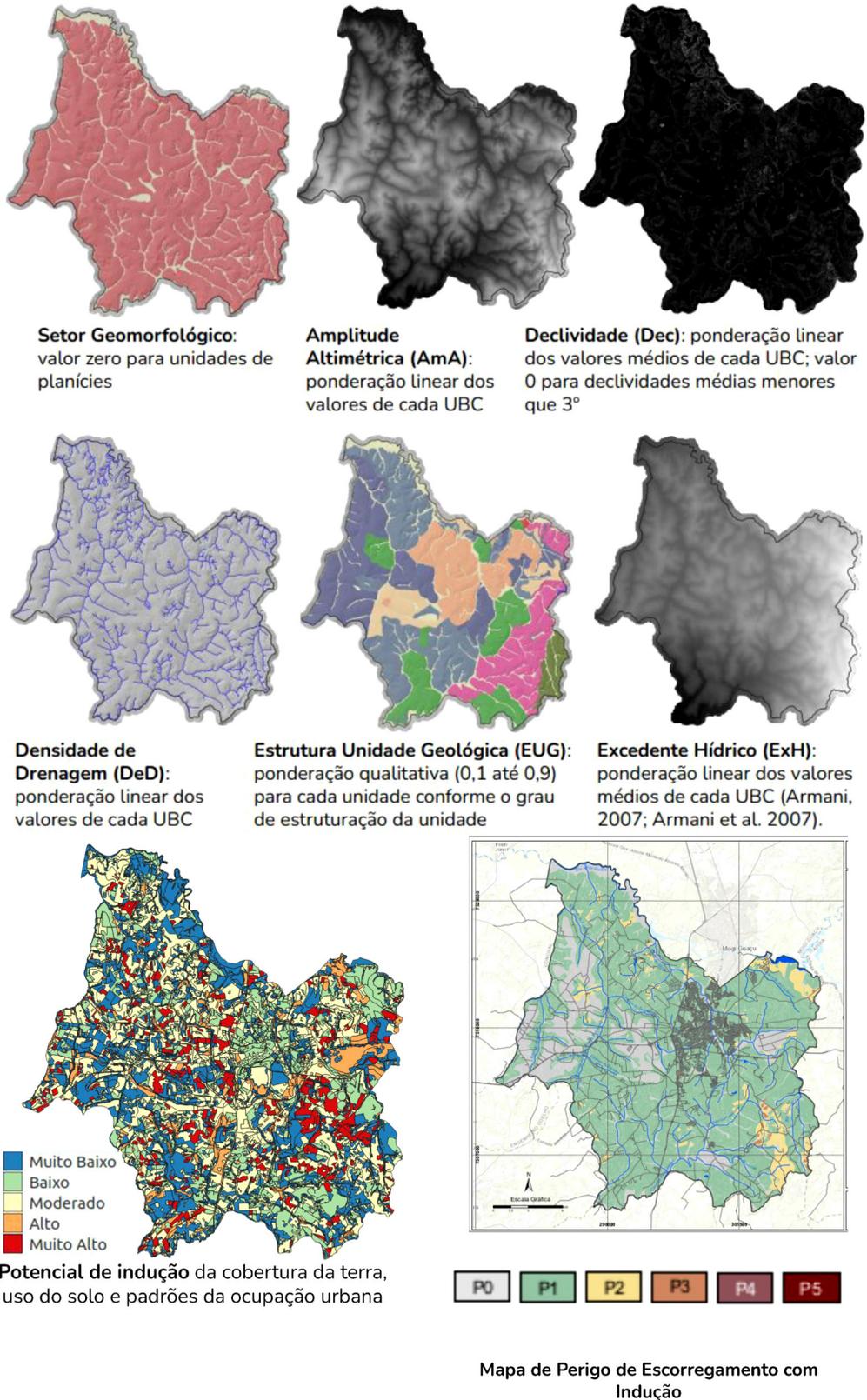


FIGURA 6 – Espacialização dos atributos considerados no cálculo do Índice de Perigo de Escorregamento (P_{esc}).

FIGURE 6 – Spatial distribution of the attributes used to calculate the Landslide Hazard Index (P_{esc}).

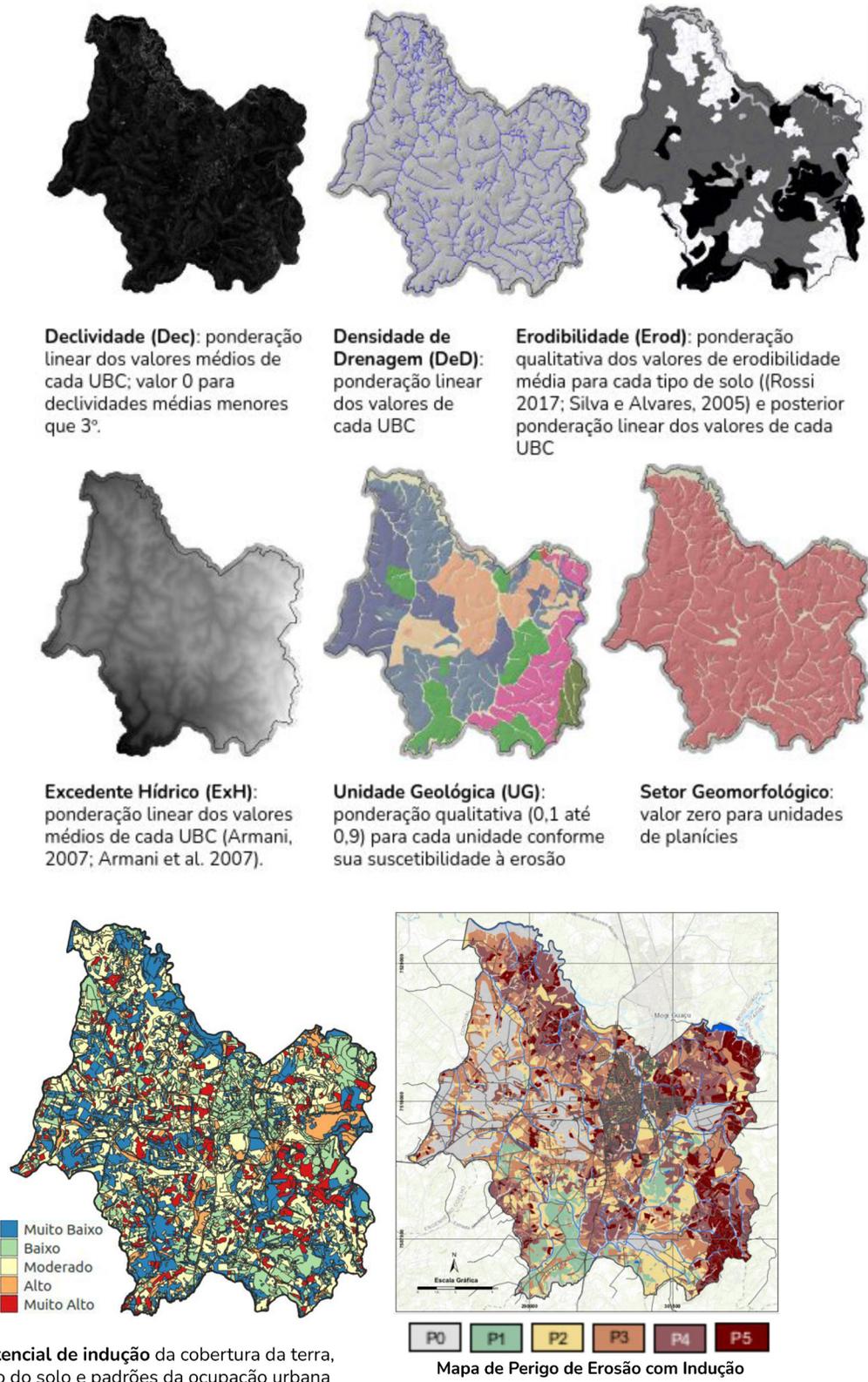


FIGURA 7 – Espacialização dos atributos considerados no cálculo do Índice de Perigo de Erosão (P_{ero}).

FIGURE 7 - Spatial distribution of the attributes used to calculate the Erosion Hazard Index (P_{ero}).

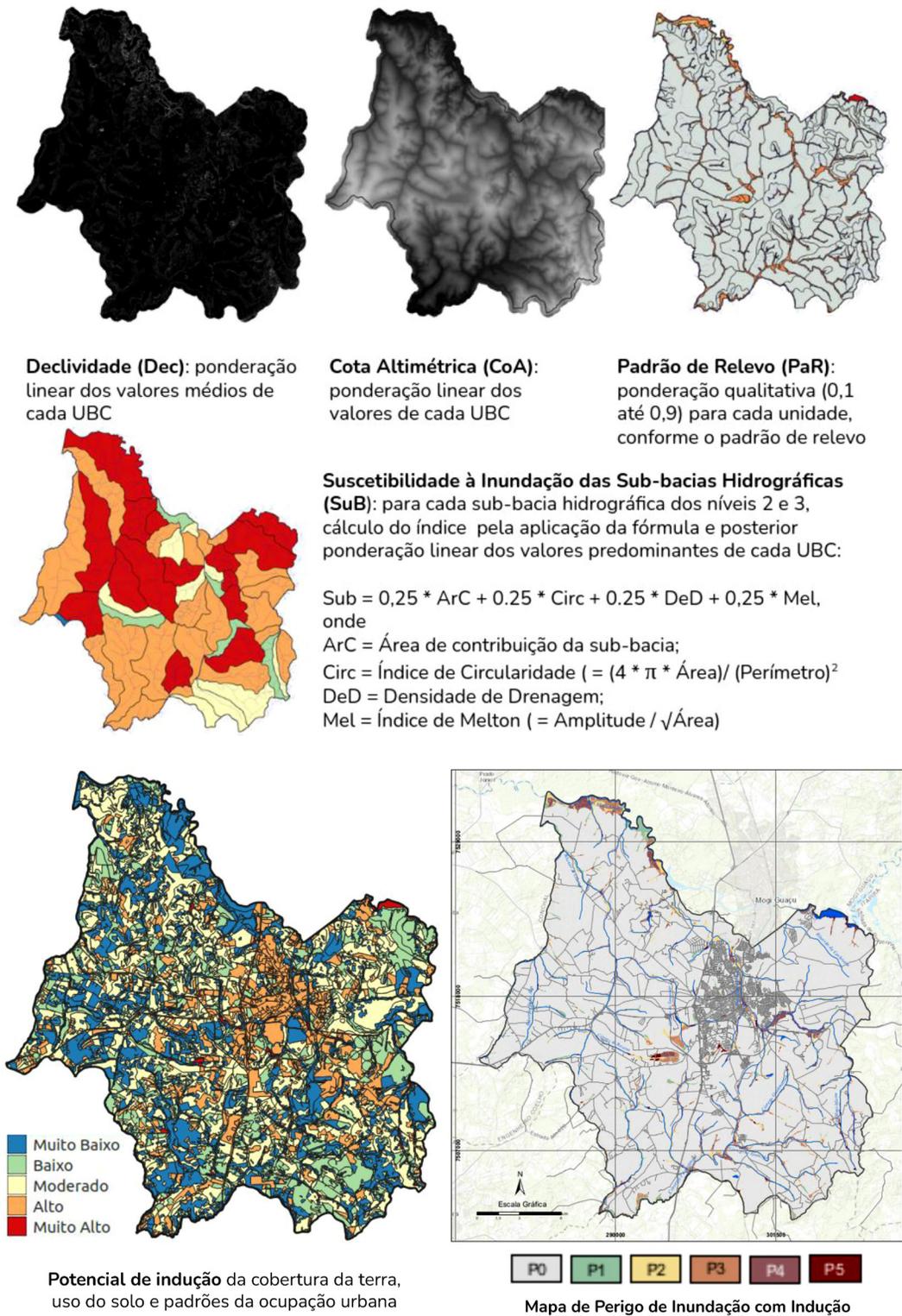


FIGURA 8 – Espacialização dos atributos considerados no cálculo do Índice de Perigo de Inundação (P_{inu}).

FIGURE 8 – Spatial distribution of the attributes used to calculate the Flooding Hazard Index (P_{inu}).

TABELA 3 – Notas ponderadas das classes de uso e cobertura da terra para obtenção do índice de infraestrutura (IF) e do fator Potencial de Indução (PoI).

TABLE 3 – Scores attributed to the land use classes used to obtain the Infrastructure and Induction Potencial Indexes.

Classes de Uso do Solo e Cobertura da Terra	POTENCIAL DE INDUÇÃO (PoI) - VALOR		
	Escorregamento	Inundação	Erosão
Vegetação Arbórea	0,1	0,1	0,1
Espaço Verde Urbano	0,2	0,2	0,2
Vegetação Arbustiva-Herbácea	0,3	0,3	0,3
Vegetação Rasteira	0,4	0,4	0,4
Solo Exposto/ Área Desocupada	0,9	0,5	0,9
Corpos d'Água	0,1	0,9	0,1
Loteamento	0,7	0,3	0,7
Grande Equipamento	0,5	0,5	0,5
Residencial/ Comercial/ Serviços	0,5 a 1 $IF_{esc} = (\text{ÁGUA} + \text{ESG} + \text{LIXO} + \text{EsO} + \text{OrU})/5$	0,5 a 1 $IF_{inu} = (\text{ESG} + \text{LIXO} + \text{DOEO} + \text{PAV})/4$	0,5 a 1 $IF_{ero} = (\text{ESG} + \text{ÁGUA} + \text{DOEO} + \text{PAV})/4$

onde: $IF_{(esc, inu, ero)}$ = Índice de Infraestrutura para os processos de escorregamento, inundação e erosão; atributos de infraestrutura sanitária: ÁGUA, LIXO, ESG = esgoto; atributos do padrão da ocupação: EsO = Estágio de ocupação, OrU = ordenamento urbano, DOES = relação entre densidade e estágio de ocupação, PAV = existência de pavimentação nas ruas.

TABELA 4 – Valor ponderado atribuído ao atributo estrutura unidade geológica (EUG) para o cálculo do perigo de escorregamento (P_{esc}) (compilado de FREITAS 1998, PERROTTA *et al.* 2005).TABLE 4 – Scores attributed to the attribute Structural Geology Unity (EUG) to calculate the landslide hazard. Based on FREITAS (1998), PERROTTA *et al.* (2005).

UNIDADE GEOLÓGICA (EUG)	VALOR
Basalto/Diabásio Formação Serra Geral	0,1
Sedimentos Colúvio-Eluvionares	0,3
Granito, Ortognaisses, Gnaisses Migmatíticos, Fácies Argilosa Grupo Itararé	0,5
Fácies Arenosa Grupo Itararé	0,7
Associação de Sedimentos Colúvio-Eluvionares e Rochas Sedimentares do Grupo Itararé, Depósitos Aluvionares	0,9

maior o valor atribuído maior a contribuição do atributo para o aumento relativo do perigo.

Para o estabelecimento do Índice de Perigo de Erosão (P_{ero}) foram considerados os atributos declividade, densidade de drenagem, erodibilidade, excedente hídrico, unidade geológica e setor geomorfológico, conforme ilustrado na figura 7.

Quanto ao Índice de Perigo de Inundação (P_{inu}), os atributos considerados incluem: declividade, cota altimétrica, padrão de relevo e suscetibilidade à inundação das sub-bacias hidro-

gráficas, conforme ilustrado na figura 8. A estes atributos foram atribuídos valores ponderados (notas) de forma similar ao que foi realizado para o Índice de Perigo de Escorregamento (P_{esc}).

A determinação das sub-bacias para a área de estudo levou em consideração o princípio de que a bacia hidrográfica corresponde a um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem que conflui até resultar em um leito único no seu exutório (TUCCI 1997). O exutório reflete todos os processos que fazem parte do sistema, ou seja, é uma consequência das for-

mas de ocupação do território e da utilização das águas que para ali convergem (PORTO & PORTO 2008). Para a delimitação das bacias foram realizados os seguintes passos:

- estabelecimento de três níveis hierárquicos a partir da interpretação da carta topográfica, sendo o primeiro nível relacionado aos dois rios principais que cortam o município (Mogi Guaçu e Pirapitingui), o segundo referente às sub-bacias de drenagem que convergem para os dois rios principais, e o terceiro com a divisão dessas sub-bacias em bacias de nível 2 (Figura 9);
- adoção do rio principal da sub-bacia como referência para a definição das sub-bacias de ambos os lados do canal principal;
- reunião, em uma mesma sub-bacia, de pequenas drenagens que afluem para a mesma margem da drenagem de referência;

- utilização do modelo digital de superfície (MDS), do relevo sombreado e da carta topográfica 1:10.000 para delimitação das sub-bacias.

Os índices de perigo para os processos analisados foram obtidos a partir da aplicação de regras e fórmulas, conforme apresentado na tabela 5. Os valores obtidos foram agrupados pelo método quebras naturais nas seguintes classes de perigo: Nulo a Quase Nulo (P0); Muito Baixo (P1); Baixo (P2); Moderado (P3); Alto (P4); Muito Alto (P5). As figuras 6, 7 e 8 apresentam a espacialização dos atributos considerados no cálculo dos índices de perigos de escorregamento (P_{esc}); Erosão (P_{ero}); e inundação (P_{inu}).

Detalhes dos cálculos efetuados podem ser consultados no relatório do projeto “Cartas de suscetibilidade/perigo, vulnerabilidade, risco e aptidão à urbanização do município de Mogi Mirim, SP” (FERREIRA *et al.* 2023).

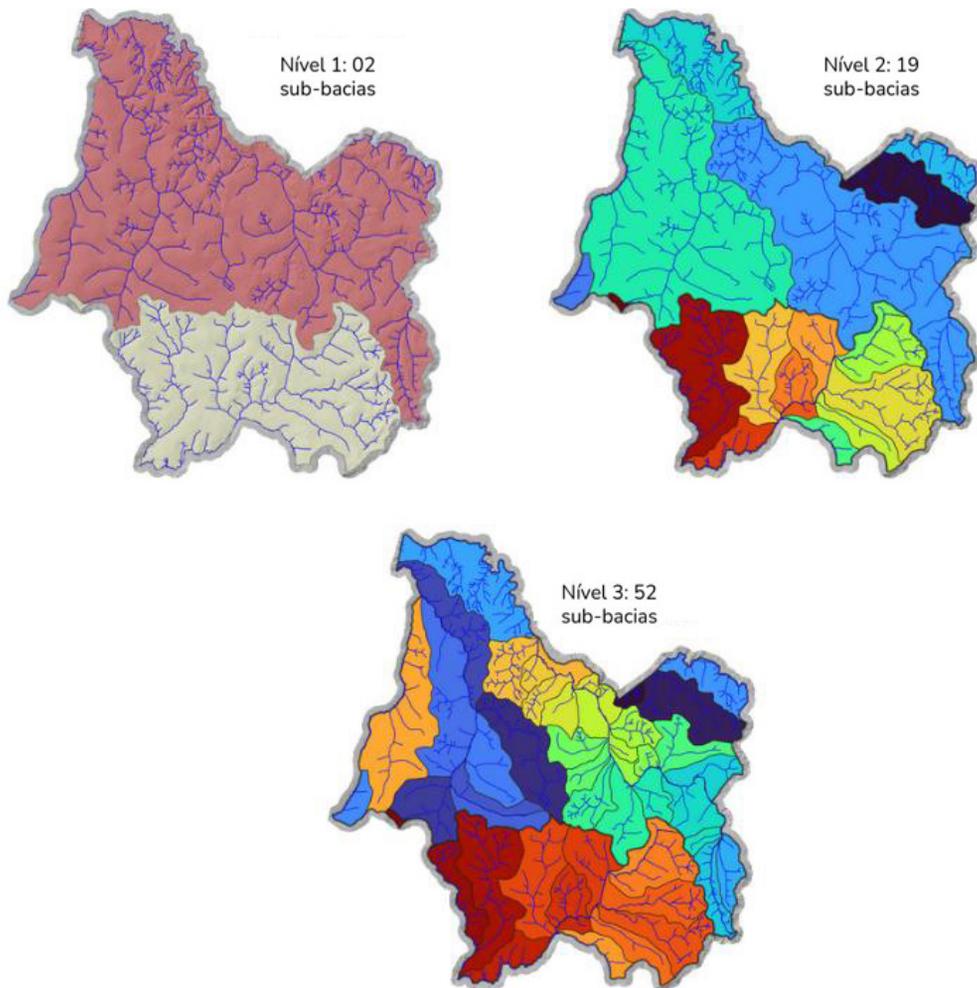


FIGURA 9 – Delimitação das sub bacias nos três níveis hierárquicos considerados.

FIGURE 9 – Sub watershed delimitation on the three hierarchical levels considered.

TABELA 5 – Fórmulas de cálculo dos índices de perigo.

TABLE 5 – Hazard Indexes formulae.

PROCESSO	ÍNDICE DE PERIGO (P)
Escorregamento	$P_{esc} = 0$, se setor geomorfológico = planície fluvial ou se $DEC \leq 3^\circ$
	$P_{esc} = 0,9 * ((AmA) + (DEC) + (DeD) + (EUG) + (ExH)) + 0,1 * (Pol)$, se $3^\circ > DEC \leq 6^\circ$ ou $DEC > 24^\circ$
	$P_{esc} = 0,8 * ((AmA) + (DEC) + (DeD) + (EUG) + (ExH)) + 0,2 * (Pol)$, se $6^\circ > DEC \leq 12^\circ$ ou $18^\circ > DEC < 24^\circ$
	$P_{esc} = 0,7 * ((AmA) + (DEC) + (DeD) + (EUG) + (ExH)) + 0,3 * (Pol)$, se $12^\circ > DEC \leq 18^\circ$
Erosão	$P_{ero} = 0$, se setor geomorfológico = planície fluvial
	$P_{ero} = 0,7 * ((DeE) + (Pol) + (EUG) + (ExH) + (DL) + (DDc)) + 0,3 * (Pol)$
Inundação	$P_{inu} = 0$, se setor geomorfológico = encosta
	$P_{inu} = 0,7 * ((DEC) + (DeD) + (ExH)) + 0,3 * (Pol)$

onde: (P_{esc}) (P_{em}) (P_{inu}) = perigos de escorregamento, erosão e inundação; DEC= declividade; AmA = amplitude altimétrica; DeD= densidade de drenagem; EUG = estrutura unidade geológica; ExH= excedente hídrico; Pol = potencial de indução.

3.2.2.2 Índice de Vulnerabilidade (V)

O fator Vulnerabilidade (V), que integra a equação de risco, foi obtido para as áreas de uso Residencial/Comercial/Serviços a partir do cálculo do respectivo índice considerando os atributos/indicadores apresentados na tabela 6. A estes indicadores foram atribuídas notas correspondentes a magnitude de sua influência na determinação das condições de vulnerabilidade.

O Índice de Vulnerabilidade das áreas de uso Residencial/Comercial/Serviços (V) foi obtido a partir da equação 1:

$$V = (0,2 * ((ESG1 + AGUA2 + LIXO3 + NERG4) / 4)) + (0,4 * ((ORDENA_N) + (0,2 * (ALFAB5 + RENDA6) / 2)) + (0,2 * IDADE7) \tag{Eq. 1}$$

onde: V = vulnerabilidade; ESG1 = índice esgotamento sanitário; AGUA2 = índice abastecimento de água; LIXO3 = índice destinação do lixo; ENERG4 = índice distribuição de energia elétrica; ORDENA_N = nota do ordenamento urbano; ALFAB5 = índice alfabetização; RENDA6 = índice renda; IDADE7 = índice idade da população.

Os valores obtidos foram agrupados pelo método quebras naturais nas seguintes classes de vulnerabilidade: Muito Baixa (V1); Baixa (V2); Moderada (V3); Alta (V4); Muito Alta (V5). A espacialização dos atributos considerados no cálculo do índice de vulnerabilidade (V) é apresentada na figura 10, enquanto a carta de vulnerabilidade das áreas de uso Residencial/Comercial/Serviços é apresentada na figura 11.

TABELA 6 – Atributos utilizados no estabelecimento do índice de Vulnerabilidade (V).

TABLE 6 – Attributes of the Vulnerability Index (V).

ATRIBUTO	DESCRIÇÃO
Ordenamento Urbano (ORDENA_N)	Expressa o padrão da ocupação ou qualidade da infraestrutura urbana. Infraestrutura deficiente ou precária aumenta a exposição e agrava a situação de vulnerabilidade e de risco. Atribuição de notas ponderadas de acordo com sua influência no processo.
Índice Esgotamento Sanitário (ESG1)	Expressa as condições do esgotamento sanitário. Infraestrutura deficiente, com vazamentos e rompimentos de tubulação, aumenta a exposição e agrava a situação de vulnerabilidade e de risco.
Índice Abastecimento de Água (ÁGUA2)	Expressa as condições do abastecimento de água. Infraestrutura deficiente, caracterizada pela ausência ou inadequação do sistema, aumenta a exposição e agrava a situação de vulnerabilidade e de risco.
Índice Destinação do Lixo (LIXO3)	Expressa as condições de coleta e disposição de lixo. Infraestrutura deficiente, caracterizada pelo acúmulo de lixo e entulho em propriedades, aumenta a exposição e agrava a situação de vulnerabilidade e de risco.
Índice Distribuição de Energia (ENERG4)	Expressa as condições da distribuição de energia elétrica. Infraestrutura deficiente, baseada na ausência ou inadequação do sistema, amplia a exposição e agrava a situação de vulnerabilidade, podendo determinar menor capacidade de enfrentamento do risco.
Índice Alfabetização (ALFAB5)	Expressa o número de pessoas não alfabetizadas em relação ao total de pessoas (alfabetizadas e não alfabetizadas). Maior índice de pessoas não alfabetizadas aumenta a situação de vulnerabilidade, podendo determinar menor capacidade de enfrentamento do risco.
Índice Renda (RENDA6)	Expressa o nível de renda da população. Condições econômicas precárias podem levar à ocupação inadequada de locais impróprios, podendo aumentar a situação de vulnerabilidade e determinar menor capacidade de enfrentamento do risco.
Índice Idade da População (IDADE7)	Expressa o número de pessoas menores de 10 anos e maiores de 60 anos em relação ao número total de pessoas residentes no setor. Maior índice de pessoas nesta faixa etária aumenta a situação de vulnerabilidade, podendo determinar menor capacidade de enfrentamento do risco.

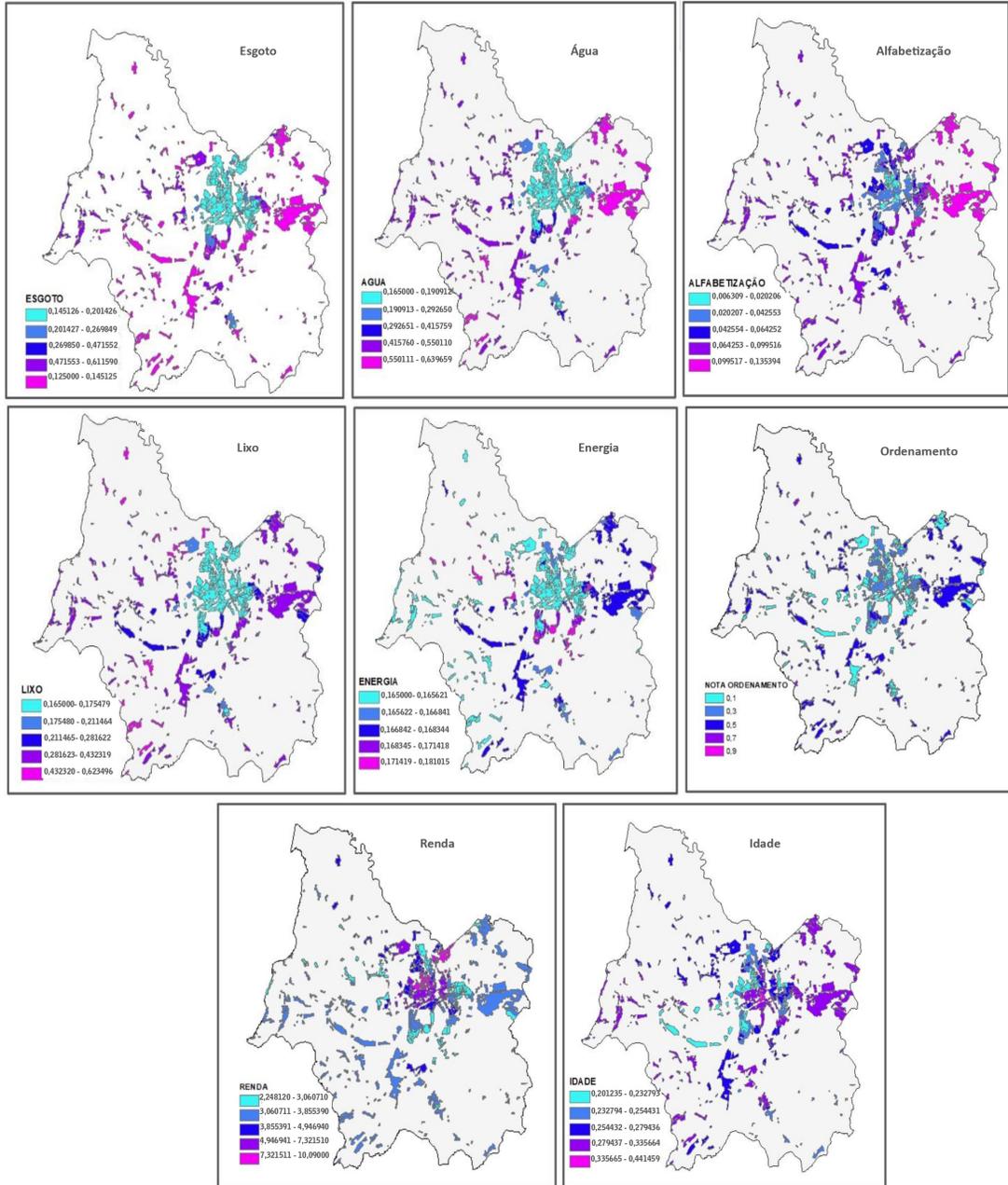


FIGURA 10 – Espacialização dos atributos considerados no cálculo do Índice de Vulnerabilidade das áreas de uso Residencial/Comercial/Serviços (V).

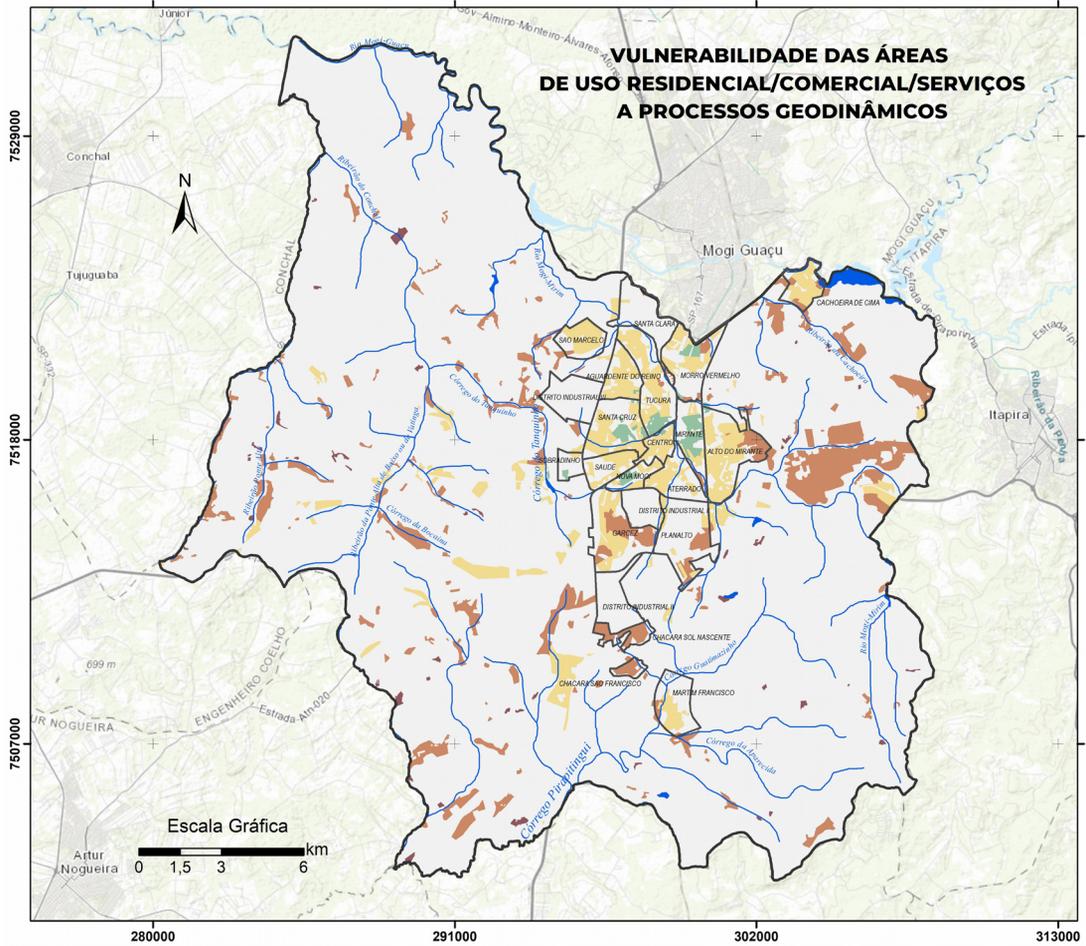
FIGURE 10 – Spatial distribution of the attributes used to calculate the Vulnerability Index for residential, commercial and services areas.

3.2.2.3 Índice de Dano Potencial

Para o estabelecimento do fator Dano Potencial (DP) da equação de risco, foi considerado o número de pessoas que potencialmente podem ser afetadas ou impactadas no caso de ocorrência de um perigo geodinâmico. O cálculo foi realizado com base no

plano de informação de lotes disponibilizado pelo município de Mogi Mirim, sobre o qual foi possível realizar uma estimativa do número de pessoas a partir de uma média projetada para cada lote.

Com apoio de ferramentas de geoprocessamento, o procedimento de cálculo envolveu, inicialmente, a criação de “feições de ponto” no centro



Classes de Vulnerabilidade - Mogi Mirim

- Áreas não Classificadas.
- V1 - Muito Baixa – Setores residenciais predominantemente de alto a muito alto ordenamento urbano; de baixa a muito baixa criticidade quanto à infraestrutura sanitária e energia, de alta renda e intervalos de idades críticas com pouca variação entre as classes de vulnerabilidade.
- V2 - Baixa – Setores residenciais predominantemente de médio a muito alto ordenamento urbano; de média a baixa criticidade quanto à infraestrutura sanitária e energia, de média a alta renda e intervalos de idades críticas com pouca variação entre as classes de vulnerabilidade.
- V3 - Moderada – Setores residenciais predominantemente de médio a muito alto ordenamento urbano; de média a alta criticidade quanto à infraestrutura sanitária e energia, de média a alta renda e intervalos de idades críticas com pouca variação entre as classes de vulnerabilidade.
- V4 - Alta – Setores residenciais predominantemente de médio a baixo ordenamento urbano; de alta a média criticidade quanto à infraestrutura sanitária e energia, de baixa a média renda e intervalos de idades críticas com pouca variação entre as classes de vulnerabilidade.
- V5 - Muito Alta – Setores residenciais predominantemente de baixo a médio ordenamento urbano; de muito alta a alta criticidade quanto à infraestrutura sanitária e energia, de baixa renda e intervalos de idades críticas com pouca variação entre as classes de vulnerabilidade.

Base Cartográfica

- Rede de Drenagem (IBGE)
- Limite Bairros Mogi Mirim



Sistema de Referência
 Coordenadas UTM - Fuso 23S
 Datum SIRGAS 2000

FIGURA 11 – Carta de Vulnerabilidade das Áreas de Uso Residencial/Comercial/Serviços (V).

FIGURE 11 – Vulnerability chart for residential, commercial and services áreas (V).

de cada polígono da UTB. Com base no plano de pontos obtido associado a imagens de satélite de alta resolução, foi realizada a contagem do número de lotes efetivamente edificados nas áreas de uso urbano do tipo Residencial/Comercial/Serviços. Posteriormente, para estimar o número de pessoas, o número de moradia existente em cada polígono

foi multiplicado por quatro, considerando uma média de quatro pessoas por edificação (Equação 2):

$$NPessoas = NEdifica * 4 \quad \text{Eq. 2}$$

onde: NPessoas = número de pessoas; NEdifica = número de edificações.

A mesma regra foi aplicada para as unidades com padrão de edificação vertical, o que representou uma subestimativa do número de moradores nestas unidades. O indicador Número de Pessoas foi normalizado, conforme equação 3:

$$DP = NPessoas/8216 \quad \text{Eq. 3}$$

onde: DP = Dano Potencial; 8216 = maior valor da amostragem de número de pessoas para o município de Mogi Mirim.

A figura 12 apresenta a espacialização do dano potencial (DP).

3.2.3 Índices de risco

Tendo sido concluída a etapa de caracterização e cartografia dos fatores necessários para o cálculo e análise dos riscos de escorregamento, inundação e erosão, foi realizada a etapa final do método, que consiste no estabelecimento dos índices de risco realizado a partir da associação dos fatores de análise segundo os índices obtidos e na definição das classes de risco.

Destaca-se que, para o cálculo do índice de risco, os fatores perigo, vulnerabilidade e dano potencial, foram, inicialmente, normalizados

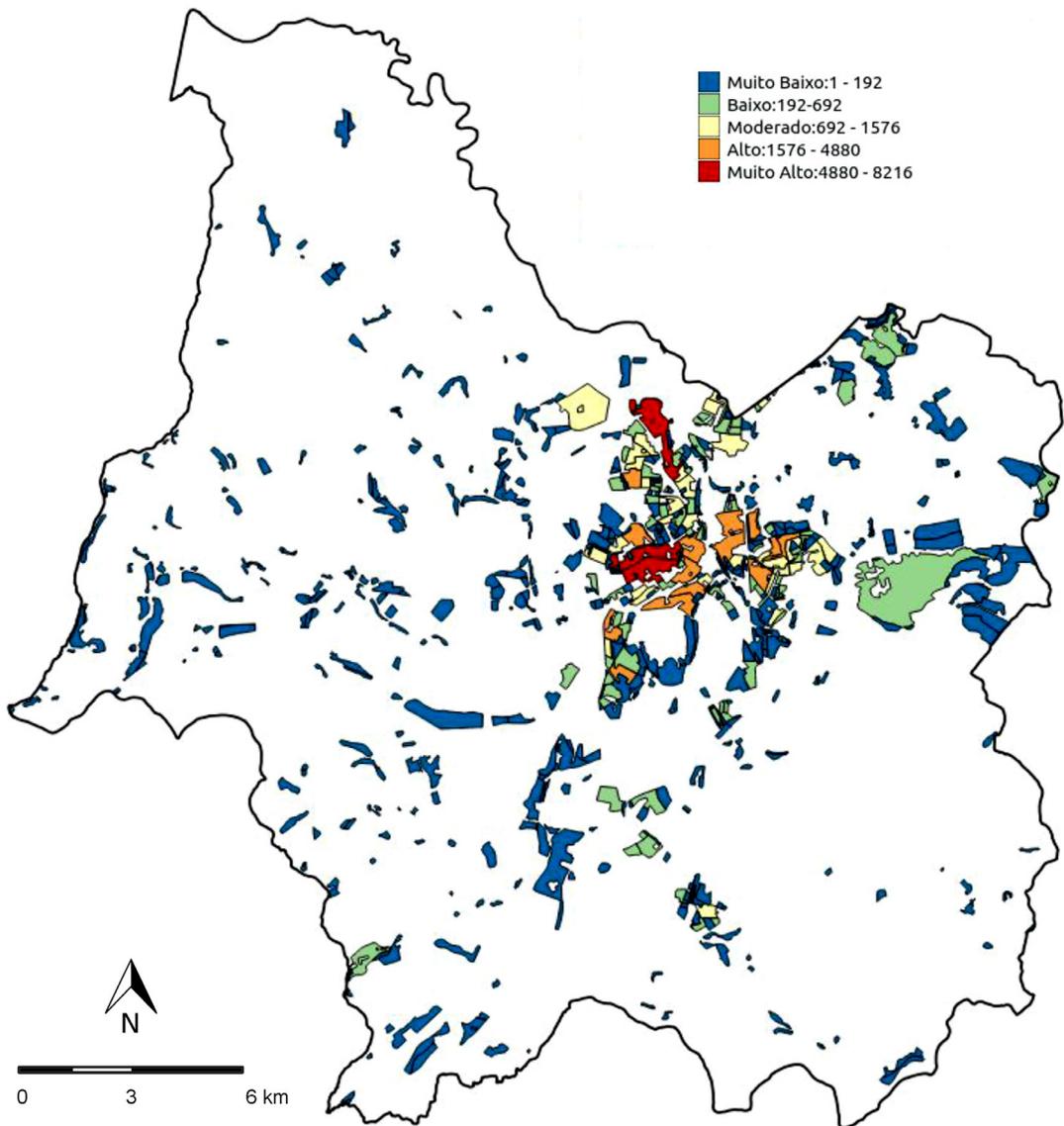


FIGURA 12 – Espacialização do Dano Potencial (DP).

FIGURE 12 – Spatial distribution of the Potential Damage Index (DP).

em uma escala numérica variando entre 0 e 1, conforme equação 4, onde 0 (zero) corresponde à mínima influência e 1 (um) à máxima influência no processo considerado.

$$V_n = (V_x - V_{\min}) / (V_{\max} - V_{\min}) \quad \text{Eq. 4}$$

onde: V_n = valor normalizado; V_x = valor a ser normalizado; V_{\min} = valor mínimo da amostragem; V_{\max} = valor máximo da amostragem.

Os índices de risco dos três processos perigosos considerados (escorregamento, inundação e erosão) foram calculados apenas nas áreas de uso Residencial/Comercial/Serviços, sendo obtidos em duas etapas. Na primeira etapa, o risco foi definido como uma função do perigo (P) e da vulnerabilidade (V), conforme equação 5, considerando o mesmo peso para cada um dos fatores.

$$R_{(esc, inu, ero)} = P_{(esc, inu, ero)} \times V \quad \text{Eq. 5}$$

onde: $R_{(esc, inu, ero)}$ = Risco de escorregamento, inundação, erosão; $P_{(esc, inu, ero)}$ = Perigo de escorregamento, inundação, erosão; V = Vulnerabilidade.

Na segunda etapa, os resultados obtidos foram multiplicados pelo Dano Potencial (DP). Posteriormente, os valores obtidos foram agrupados pelo método quebras naturais nas seguintes classes de risco: Nulo ou Quase Nulo (R0); Muito Baixo (R1); Baixo (R2); Moderado (R3); Alto (R4); Muito Alto (R5).

Destaca-se que para o cálculo do índice de risco de escorregamento, os valores foram normalizados, considerando como amostras os limites máximos e mínimos do universo obtido em todos os municípios do estado de São Paulo anteriormente mapeados (SÃO PAULO 2016, 2017). Para o cálculo do índice de risco de inundação e de erosão os valores foram normalizados considerando apenas as amostras obtidas no município de Mogi Mirim, pois a forma de cálculo utilizada difere da utilizada para o Estado de São Paulo.

4 RESULTADOS

Com base no método geral apresentado, e respectivos procedimentos, foram obtidas três cartas síntese de riscos, cada uma associada a um dos tipos de processos geodinâmicos considerados (Figuras 13, 14 e 15; Tabelas 7, 8 e 9).

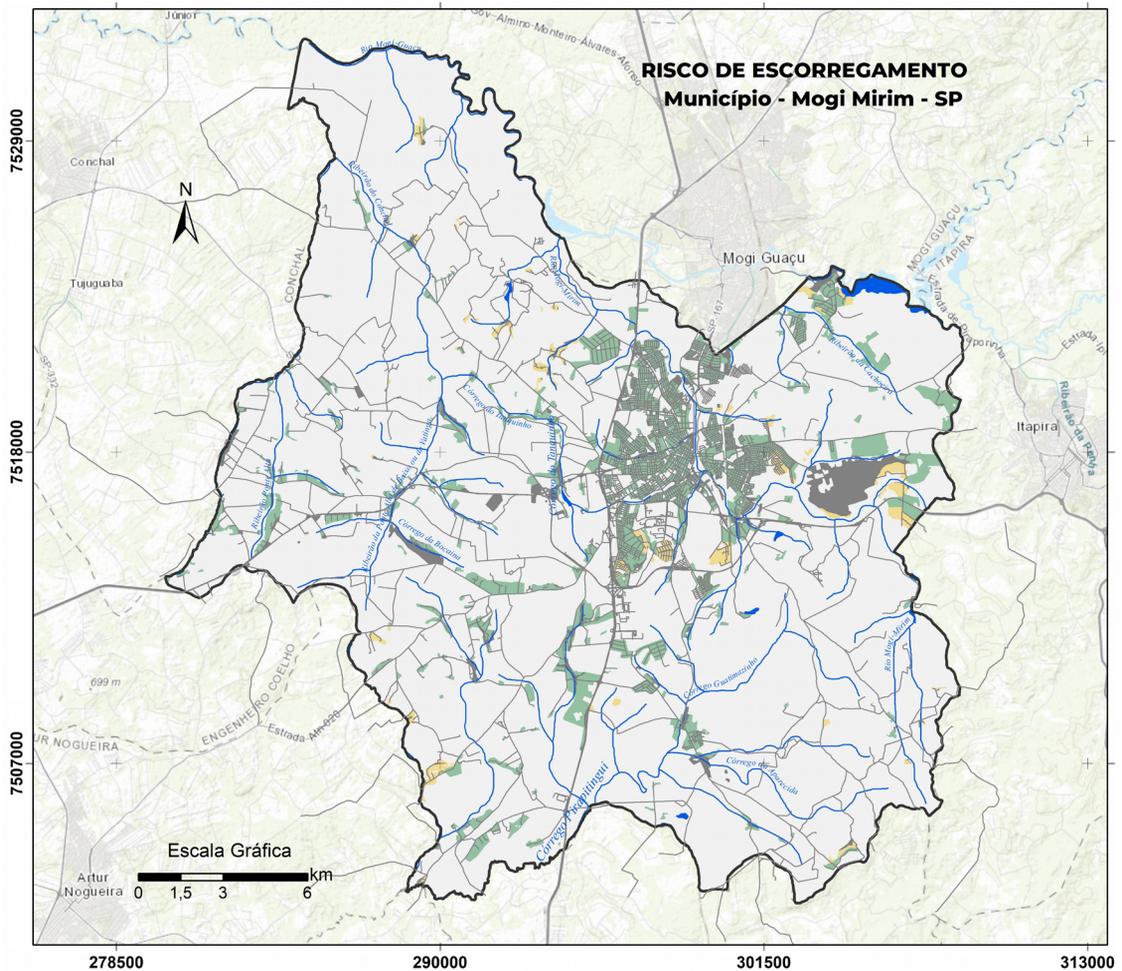
4.1 Carta de Risco de Escorregamento

A Carta de Risco de Escorregamento de áreas urbanas de uso residencial/comercial/serviços de Mogi Mirim foi produzida considerando-se as 6 classes de risco utilizadas; sendo os resultados padronizados para o conjunto do território paulista (SÃO PAULO 2017). Tal procedimento foi realizado visando a comparação e avaliação de ações na esfera municipal e em instâncias de governança regional, tanto em termos de UGRHi do estado, como em termos de políticas estaduais de gestão de risco de desastres (GRD) mais amplas.

Como resultado, para o município de Mogi Mirim, foram obtidas e mapeadas três classes de risco, variando de nulo a quase nulo, muito baixo e baixo risco. A figura 13 apresenta a carta de risco de escorregamento e a tabela 7 apresenta o total de área e número de edificações presentes em cada classe de risco mapeada.

Ressalta-se que a cartografia de riscos elaborada com base em ferramentas e técnicas de análise em SIG facilita a avaliação global das classes de risco obtidas, e mesmo a análise do fator/indicador que apresenta maior influência na determinação do grau de risco em cada local, ampliando muito as possibilidades de análise. Tal aspecto permite aos gestores públicos a definição embasada de políticas e ações mitigadoras focadas tanto no conjunto dos fatores que determinam o risco como em cada um deles, de forma específica.

Com base nos resultados da carta de risco de escorregamento, verifica-se que o risco nulo a quase nulo representa 17% das áreas de uso residencial/comercial/serviços do município. A existência da classe de risco nulo deve-se, em parte, à não ocorrência de perigo (perigo nulo). A classe de risco muito baixo é predominante, representando cerca de 73% em área. O risco baixo distribui-se em 10% da área, ocorrendo, principalmente, em ocupações rurais. As principais ocorrências de risco próximas da malha urbana central estão associadas aos loteamentos, Condomínio Fazenda Paineiras e ao bairro Chácara Santa Rita. De forma geral, o risco de escorregamentos em Mogi Mirim não é muito significativo principalmente quando se considera os resultados obtidos em outros municípios do estado de São Paulo.



Classes de Risco de Escorregamento

(Em áreas de uso Residencial/Comercial/Serviços)

- Áreas não Classificadas.
- R0 Nulo a Quase Nulo - Áreas de uso Residencial/Comercial/ Serviço em terrenos planos com probabilidade nula a quase nula de ocorrência de escorregamentos.
- R1 Muito Baixo - Áreas de uso Residencial/Comercial/Serviço em áreas de encosta, com vulnerabilidade variando de muita baixa a alta; probabilidade muito baixa a baixa de ocorrer eventos perigosos; índices de dano potencial à população variando de muito baixo a muito alto, podendo resultar em danos e prejuízos de muito baixo impacto.
- R2 Baixo - Áreas de uso Residencial/Comercial/Serviço em áreas de encosta, com vulnerabilidade variando de moderada a alta; probabilidade baixa a muito baixa de ocorrer eventos perigosos; e índices de dano potencial à população variando de muito baixo a baixo, podendo resultar em danos e prejuízos de muito baixo a baixo impacto.
- R3 Moderado - Não ocorre.
- R4 Alto - Não ocorre.
- R5 Muito Alto - Não ocorre.

Base Cartográfica

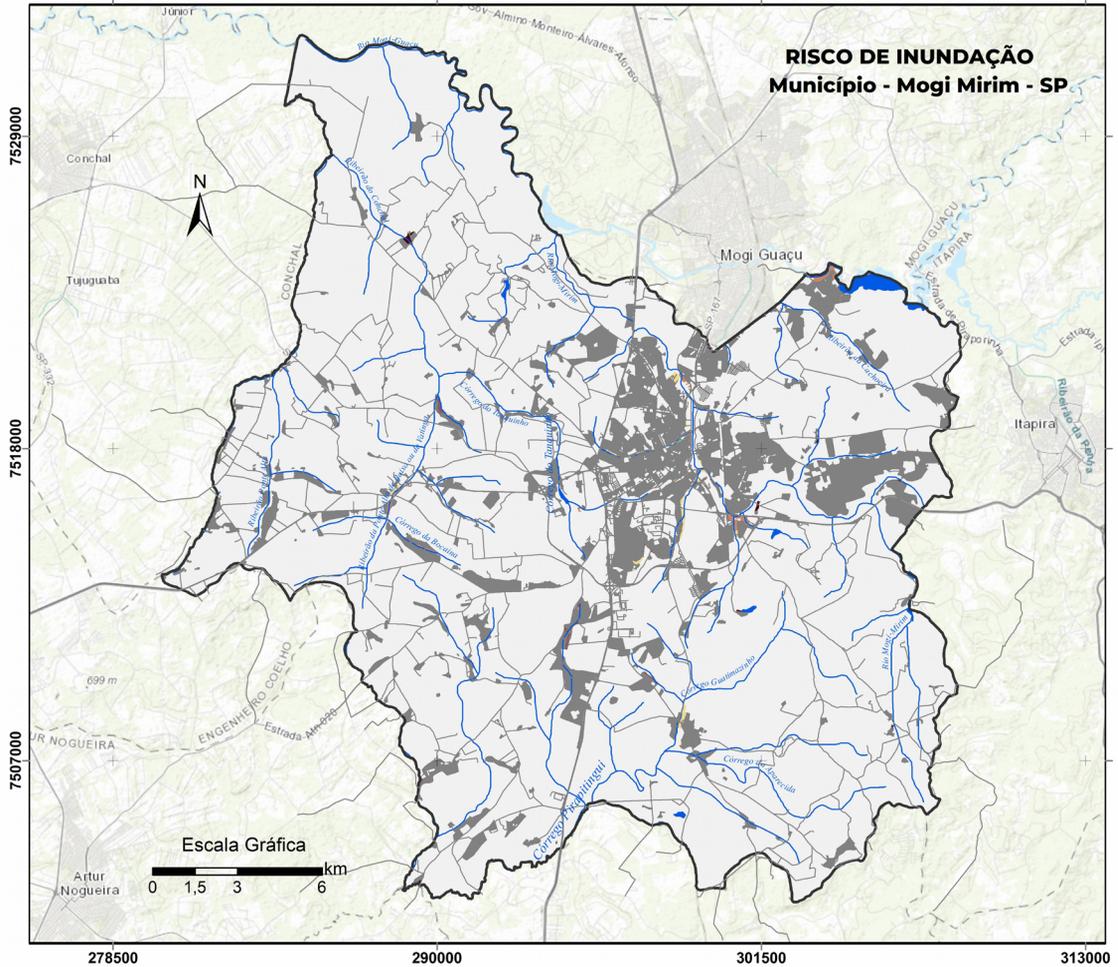
- Rede de Drenagem (IBGE)
- Base de Vias OpenStreetMap



Sistema de Referência
 Coordenadas UTM - Fuso 23S
 Datum SIRGAS 2000

FIGURA 13 – Carta de Risco de Escorregamento (R_{esc}).

FIGURE 13 – Landslide Risk chart (R_{esc}).



Classes de Risco de Inundação

(Em áreas de uso residencial/comercial/serviços)

- Áreas não Classificadas.
- R0** Nulo a Quase Nulo - Áreas de uso Residencial/Comercial/Serviço em terrenos de encosta com probabilidade nula a quase nula de ocorrência de inundação.
- R1** Muito Baixo - Áreas de uso Residencial/Comercial/Serviço em planícies fluviais, com vulnerabilidade muito baixa; probabilidade muito baixa a baixa de ocorrer eventos perigosos; índices de dano potencial à população muito baixo a baixo, podendo resultar em danos e prejuízos de muito baixo impacto.
- R2** Baixo - Áreas de uso Residencial/Comercial/Serviço em planícies fluviais, com vulnerabilidade predominantemente baixa; probabilidade predominantemente alta de ocorrer eventos perigosos; índices muito baixos de dano potencial à população, podendo resultar em danos
- R3** Moderado - Áreas de uso Residencial/Comercial/Serviço em planícies fluviais, com vulnerabilidade variando de baixa a moderada; probabilidade de ocorrer eventos perigosos variando de baixa a alta; índices muito baixos de dano potencial à população, podendo resultar em danos e prejuízos de muito baixo a baixo impacto.
- R4** Alto - Áreas de uso Residencial/Comercial/Serviço em planícies fluviais, com vulnerabilidade moderada; probabilidade de ocorrer eventos perigosos variando de moderada a alta; índices muito baixos de dano potencial à população, podendo resultar em danos e prejuízos de muito baixo impacto.
- R5** Muito Alto - Áreas de uso Residencial/Comercial/Serviço em planícies fluviais, com vulnerabilidade moderada; probabilidade de ocorrer eventos perigosos variando de alta a moderada; índices muito baixos de dano potencial à população, podendo resultar em danos e prejuízos de muito baixo impacto.

Base Cartográfica

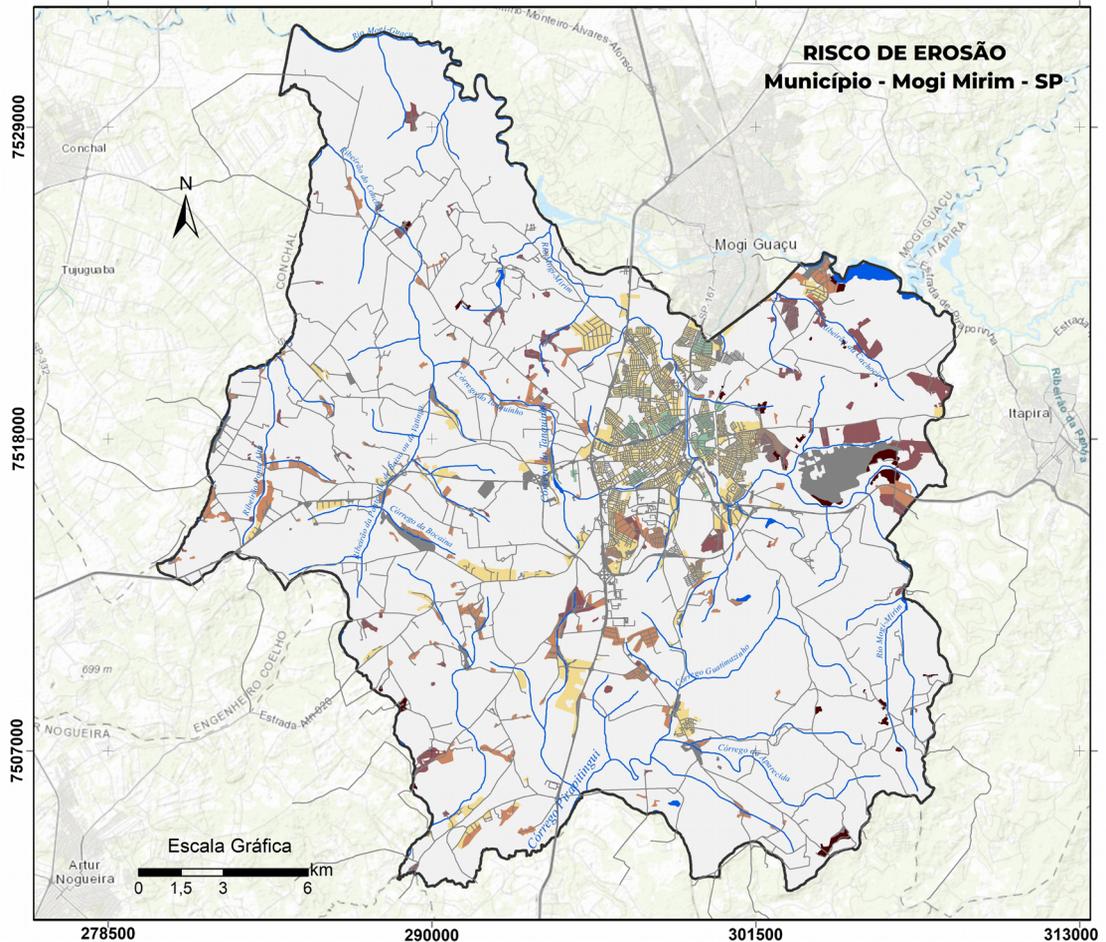
- Rede de Drenagem (IBGE)
- Base de Vias OpenStreetMap



Sistema de Referência
 Coordenadas UTM - Fuso 23S
 Datum SIRGAS 2000

FIGURA 14 – Carta de Risco de Inundação (R_{inu}).

FIGURE 14 – Flooding Risk chart (R_{inu}).



Classes de Risco de Erosão

(Em áreas de uso residencial/comercial/serviços)

- Áreas não Classificadas.
- R0** Nulo a Quase Nulo - Áreas de uso Residencial/Comercial/Serviço em terrenos planos com probabilidade nula a quase nula de ocorrência de erosão.
- R1** Muito Baixo - Áreas de uso Residencial/Comercial/Serviço em setores de encosta, com vulnerabilidade predominantemente muito baixa; probabilidade muito baixa a alta de desenvolvimento de processos erosivos; índices de dano potencial à população variando de muito baixo a alto, podendo resultar em danos e prejuízos variando de muito baixo a alto impacto.
- R2** Baixo - Áreas de uso Residencial/Comercial/Serviço em setores de encosta, com vulnerabilidade variando de baixa a moderada; probabilidade predominantemente moderada a alta de desenvolvimento de processos erosivos; índices de dano potencial à população variando de de muito baixo a muito alto, podendo resultar em danos e prejuízos de muito baixo a muito alto impacto.
- R3** Moderado - Áreas de uso Residencial/Comercial/Serviço em setor de encosta, com vulnerabilidade predominantemente moderada; probabilidade predominantemente alta a moderada de desenvolvimento de processos erosivos; índices de dano potencial à população variando de muito baixo a baixo, podendo resultar em danos e prejuízos de muito baixo a baixo impacto.
- R4** Alto - Áreas de uso Residencial/Comercial/Serviço em setores de encosta, com vulnerabilidade variando de moderada a alta; probabilidade predominantemente muito alta a alta de desenvolvimento de processos erosivos; índices de dano potencial à população variando de muito baixo a baixo, podendo resultar em danos e prejuízos de muito baixo a baixo impacto.
- R5** Muito Alto - Áreas de uso Residencial/Comercial/Serviço em áreas de encosta, com vulnerabilidade predominantemente alta a moderada; probabilidade muito alta de desenvolvimento de processos erosivos; com índices muito baixos de dano potencial à população, podendo resultar em danos e prejuízos de muito baixo impacto.

Base Cartográfica

- Rede de Drenagem (IBGE)
- Base de Vias OpenStreetMap



Sistema de Referência
 Coordenadas UTM - Fuso 23S
 Datum SIRGAS 2000

FIGURA 15 – Carta de Risco de Erosão (R_{ero}).

FIGURE 15 – Erosion Risk chart (R_{ero}).

TABELA 7 – Total de área e de edificações em cada classe de risco de escorregamento.

TABLE 7 – Sum of area and dwellings for each landslide risk class.

<i>CLASSE DE RISCO DE ESCORREGAMENTO</i>	ÁREA (km ²)	ÁREA (%)	<i>Nº DE EDIFICAÇÕES</i>	<i>EDIFICAÇÕES (%)</i>
RO _{esc} – Nulo a Quase Nulo	10,0	17,2	1086	3
R1 _{esc} – Muito Baixo	42,4	73,1	33672	94
R2 _{esc} – Baixo	5,6	9,7	1043	3
TOTAL	58,0	100	35801	100

TABELA 8 – Total de área e de edificações em cada classe de risco de inundação.

TABLE 8 – Sum of area and dwellings for each flooding risk class.

<i>CLASSE DE RISCO DE INUNDAÇÃO</i>	ÁREA (km ²)	ÁREA (%)	<i>Nº DE EDIFICAÇÕES</i>	<i>EDIFICAÇÕES (%)</i>
RO _{inu} . Nulo a Quase Nulo	56,10	96,7	34.988	97,7
R1 _{inu} . Muito Baixo	0,05	0,1	83	0,2
R2 _{inu} . Baixo	0,64	1,1	311	0,9
R3 _{inu} . Moderado	0,74	1,3	353	1,0
R4 _{inu} . Alto	0,28	0,5	35	0,1
R5 _{inu} . Muito Alto	0,22	0,4	31	0,1
TOTAL	58,00	100,0	35.801	100,0

TABELA 9 – Total de área e de edificações em cada classe de risco de erosão.

TABLE 9 – Sum of area and dwellings for each erosion risk class.

<i>CLASSE DE RISCO DE EROSÃO</i>	ÁREA (km ²)	ÁREA (%)	<i>Nº DE EDIFICAÇÕES</i>	<i>EDIFICAÇÕES (%)</i>
RO _{ero} - Nulo a Quase Nulo	9,93	17,12	1.087	3,0
R1 _{ero} - Muito Baixo	2,47	4,26	3.397	9,5
R2 _{ero} - Baixo	23,13	39,90	26.853	75,0
R3 _{ero} - Moderado	11,60	20,00	2.633	7,4
R4 _{ero} - Alto	8,83	15,22	1.604	4,5
R5 _{ero} - Muito Alto	2,04	3,50	227	0,6
TOTAL	58,00	100,00	35.801	100,0

4.2 Carta de Risco de Inundação

Assim como a carta de risco de escorregamentos, a Carta de Risco de Inundação de áreas urbanas de uso residencial/comercial/serviços foi produzida considerando-se as 6 classes de riscos utilizadas e padronizada para os dados do município de Mogi Mirim. A carta de risco de inundação obtida é apresentada na figura 14. A tabela 8 apresenta o total de área e número de edificações presentes em cada classe de risco.

Pela análise dos resultados é possível observar o amplo predomínio da classe de ris-

co nulo a quase nulo relacionada ao domínio de encostas, representando 96,7% da área do município. Nos terrenos associados às redes de drenagem do município e aos ambientes de planícies fluviais predominam as classes: moderada, com cerca de 1,3% em área e 353 edificações; e baixa, com 1,1% em área e 311 edificações. As classes de risco muito baixo, alto e muito alto juntas representam 1% da área do município. As principais bacias atingidas são as do rio Moji Mirim e seus afluentes, Bela Vista, Lavapés e Santo Antônio, e do rio Moji Guaçu, no bairro da Cachoeira.

4.3 Carta de Risco de Erosão

A Carta de Risco de Erosão de áreas urbanas de uso residencial/comercial/serviços (Figura 15) foi gerada com a padronização das classes adotadas para os dados obtidos para o município de Mogi Mirim, da mesma forma e com a mesma intenção indicada para as outras duas cartas já apresentadas. O total de área e de edificações em cada classe de risco são apresentados na tabela 9.

Verifica-se que no município de Mogi Mirim a classe de risco de erosão predominante é a baixa, com 75% em área e 26.853 edificações. As classes de risco alta e muito alta, juntas, somam cerca de 9% das áreas de risco mapeadas, envolvendo 1831 edificações, sendo predominantemente caracterizadas por uma densidade de ocupação muito baixa (chácaras).

5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cartografia de riscos associados a processos geodinâmicos perigosos para áreas urbanas de uso residencial/comercial/serviços do município de Mogi Mirim (SP) constitui um instrumento essencial para subsidiar a gestão do território local, fornecendo informações para as políticas gerais de ordenamento urbano, meio ambiente e de proteção e defesa civil, bem como para as demais políticas setoriais com interface em gestão de risco de desastres (GRD).

A escala semirregional adotada (1:10.000) é compatível com os usos destinados à elaboração, acompanhamento e revisão de planos diretores municipais, como preconizado em instrumentos técnicos e jurídicos que tratam sobre planejamento urbano e gestão de riscos e desastres, e com a elaboração subsequente de cartas de aptidão à urbanização, conforme indicado na Lei Federal 12.608/2012 que instituiu a Política Nacional de proteção e Defesa Civil, com reflexos, inclusive, nas leis que condicionam o desenvolvimento e gerenciamento dos municípios e das cidades. Além disso, fornece informações que permitem o estabelecimento de critérios sistemáticos para a identificação de áreas alvo para avaliações de riscos locais (escala 1: 2.000 ou maiores), mesmo em áreas que ainda não foram atingidas por eventos críticos ou danosos, ou que não sejam do conhecimento prévio dos gestores locais.

A abordagem proposta no trabalho, apoiada em uma cartografia de síntese em escala semirregional e baseada na definição de unidades territoriais de análise (UTB), permite a manutenção de uma base de dados, com unidades que podem ser visualizadas com facilidade no terreno e classificadas para obtenção de produtos geoambientais diversos associados às potencialidades e fragilidades da cobertura da terra e uso do solo.

A utilização e representação de fatores e outros atributos do terreno de forma semiquantitativa permitiu definir e representar melhor a variação dos fenômenos e indicadores de risco, de forma contínua no espaço geográfico. Tal fato é favorecido pela utilização dos polígonos das UTB como unidades de análise e de armazenamento de dados para o cálculo dos fatores que condicionam e determinam os riscos.

O resultado da análise espacial realizada permite a reunião e síntese de dados e informações básicas, intermediárias e finais em um único plano de informação, de formato simples, aberto e flexível para uso em diversas ferramentas de geoprocessamento.

A cartografia obtida indicou que, em Mogi Mirim, o perigo de escorregamento é, predominantemente, muito baixo. Os perigos de erosão e de inundação distribuem-se pelo território, variando de nulo a quase nulo até a classe de perigo muito alto. A vulnerabilidade de áreas de uso residencial/comercial/serviços é, predominantemente, muito baixa e baixa nos bairros urbanos centrais, havendo um predomínio de vulnerabilidade alta nos bairros rurais. Ainda que os riscos identificados possuam pequena expressão espacial em termos percentuais para o total da área do município, a cartografia obtida permite identificar os setores de maior risco nas áreas urbanas que merecem atenção na gestão do território. Neste sentido, os resultados mostram que os riscos associados a escorregamentos são pouco significativos, no entanto, os riscos associados a erosão e, de forma mais expressiva, aqueles associados a inundações, devem ser consideradas com maior atenção, visando a definição de medidas preventivas e mitigatórias.

Finalmente, destaca-se que o formato, a metodologia e os procedimentos utilizados para a obtenção das cartas de riscos associados a processos geodinâmicos perigosos para áreas de uso residencial/comercial/serviços do município de Mogi Mirim (SP), em escala 1:10.000, podem ser reproduzidos de forma sistemática para outros tipos de fenômenos geodinâmicos perigosos, bem como

para outros tipos de uso e cobertura da terra, específicos e característicos de outras áreas. Portanto, apresenta potencial para aplicação em outros municípios do estado e do país em atendimento às legislações relacionadas à gestão de riscos e desastres, planejamento territorial, e de proteção e defesa civil, inclusive diante dos cenários decorrentes de alterações climáticas.

6 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as equipes das secretarias de planejamento, meio ambiente e de proteção e defesa civil do município de Mogi Mirim, por todo apoio, engajamento e viabilização do projeto. Aos pareceristas da revista pelas sugestões apresentadas que enriqueceram o manuscrito.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARMANI, G. 2007. *Mapeamento digital do balanço hídrico climatológico do Estado de São Paulo*. Instituto Geológico, mapas (inédito).
- ARMANI G.; TAVARES R.; SILVA M.G. 2007. Mapeamento digital do balanço hídrico climatológico do Município de Ubatuba - SP. In: Departamento de Geografia/ CCHLA/ UFRN, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 12, Natal, *Anais*, CD-ROM, p. 747–764.
- BRASIL. 1979. *Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências*. Brasília: D.O.U de 20/12/1979, pág. nº 19457. Disponível em https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/16766.htm. Acessado em 01 fev. 2024.
- BRASIL. 2001. *Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências*. D.O.U de 11/07/2001, pág. nº 1. Disponível em https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/LEIS_2001/L10257.htm neste endereço. Acessado em 01 fev. 2024.
- BRASIL. 2007. *Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios*. C.S. Carvalho, E.s. Macedo, A.T. Ogura (Orgs.) Ministério das Cidades, Instituto de Pesquisa Tecnológicas-IPT, Brasília. Disponível em <https://www.capacidades.gov.br/capaciteca/mapeamento-de-riscos-em-encostas-e-margens-de-rios/> neste endereço. Acessado em 01 fev. 2024.
- BRASIL. 2010. *Lei nº 12.340, de 1º de dezembro de 2010. Dispõe sobre as transferências de recursos da União aos órgãos e entidades dos Estados, Distrito Federal e Municípios para a execução de ações de prevenção em áreas de risco de desastres e de resposta e de recuperação em áreas atingidas por desastres e sobre o Fundo Nacional para Calamidades Públicas, Proteção e Defesa Civil; e dá outras providências* (Redação dada pela Lei nº 12.983, de 2014). D.O.U de 02/12/2010, pág. nº 1. Disponível EM https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12340.htm. Acessado em 01 fev. 2024.
- BRASIL. 2012. *Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC*. D.O.U de 11/04/2012, pág. nº 1. Disponível em https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112608.htm. Acessado em 6 jun. 2022.
- FERREIRA, C.J.; ROSSINI-PENTEADO, D. 2011. Mapeamento de risco a escorregamento e inundação por meio da abordagem quantitativa da paisagem em escala regional. In: ABGE, CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 11, São Paulo, *Anais*, CD-ROM.
- FERREIRA, C.J.; ROSSINI-PENTEADO, D.; GUEDES, A.C.M. 2013. O uso de sistemas de informações geográficas na análise e mapeamento de risco a eventos geodinâmicos. In: M.A. Lombardo & M.I.C. Freitas (Orgs.) *Riscos e Vulnerabilidades: Teoria e prática no contexto Luso-Brasileiro*. São Paulo, Cultura Acadêmica, p. 155-188. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/282811934_O_uso_de_sistemas_de_informacoes_geograficas_na_analise_e_mapeamento_de_risco_a

- eventos_geodinamicos. Acessado em 03 dez. 2024.
- FERREIRA, C.J.; ROSSINI-PENTEADO, D.; VEDOVELLO, R.; RAFAELLI, C.B.S.; RIBEIRO, R.R. 2023. Cartas de Suscetibilidade / Perigo e Aptidão à Urbanização e Revisão, Complementação e Atualização do Mapeamento de Áreas de Risco a Deslizamento, Erosão e Inundação do Município de Mogi Mirim, SP - Relatório Síntese. In: C.J. Ferreira (Coord.) *Cartas de suscetibilidade / perigo e aptidão à urbanização e revisão, complementação e atualização do mapeamento de áreas de risco a deslizamento, erosão e inundação do município de Mogi Mirim, SP*. IPA-Prefeitura de Mogi Mirim. Disponível em <https://docs.google.com/presentation/d/1G2XKx9v1jb aSCjhhTbusJu7GohBcFVv-zbfx4KOHxjc/edit?usp=sharing>. Acessado em 03 dez. 2024.
- FRANCISCO, C.N.; ALMEIDA, C.M. 2012. Orbital images interpretation by means of an expert system for land cover mapping in highlands. *Sociedade & Natureza*, 24(2): 283–302. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/13733>
- FREITAS, C.G.L. (coord). 1998. *Carta Geotécnica de Mogi Mirim, SP*. São Paulo: Digeo/AGAMA/IPT, 47 p. (Relatório n. 38.555).
- MOGI MIRIM. 2022. *Lei complementar nº 363, de 1º de junho de 2022. Dispõe sobre o Plano Diretor do Município de Mogi Mirim*. Mogi Mirim, Legislação Digital. Disponível em <https://www.legislacaodigital.com.br/MogiMirim-SP/LeisComplementares/363-2022>. Acessado em 01 fev. 2024.
- MONTEIRO, C.A. 2001. *Geossistema: a história de uma procura*. Contexto, São Paulo, 127 p.
- NETO, C.D.G. 2014. *Potencial de técnicas de mineração de dados para o mapeamento de áreas cafeeiras*. INPE, São José dos Campos, Monografia 130338. Disponível em http://wiki.dpi.inpe.br/lib/exe/fetch.php?media=ser300:alunos2014:cesare_monografia.pdf. Acessado em 03 dez. 2024.
- PERROTTA, M.M.; SALVADOR, E.D.; LOPES, R.C.; D'AGOSTINO, L.Z.; CHIEREGATI, L.A.; PERUFFO, N.; GOMES, S.D.; SACHS, L.L.B.; MEIRA, V.T.; GARCIA, M.G.M., LACERDA FILHO, J.V. 2005. *Mapa geológico do Estado de São Paulo, escala 1: 750.000*. CPRM, São Paulo, Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil.
- PORTO, M.F.A.; PORTO, R.L.L. 2008. Gestão de bacias hidrográficas. *Estudos Avançados*, 22(63): 43–60. <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10292>
- ROSS, J.L.S.; MOROZ, I.C. 1997. *Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo*. DG-FFLCH-USP, IPT, FAPESP, São Paulo.
- ROSSINI-PENTEADO, D.; FERREIRA, C.J. 2015. Mapeamento da vulnerabilidade para análise de riscos associados a processos geodinâmicos. In: M.I.C. Freitas, M.A. Lombardo, A.A. Zacharias (Orgs.) *Vulnerabilidades e Riscos: Reflexões e Aplicações na Análise do Território*. São Paulo, Cultura Acadêmica, p. 77–94. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/299505939_Mapeamento_da_vulnerabilidade_para_analise_de_riscos_associados_a_processos_geodinamicos. Acessado em 6 jun. 2022.
- ROSSINI-PENTEADO, D.; FERREIRA, C.J.; GIBERTI, P.P.C. 2007. Quantificação da vulnerabilidade e dano aplicados ao mapeamento e análise de risco, escala 1:10.000, Ubatuba - SP. In: ABGE, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS E TECNOLÓGICOS, 2, Santos, *Anais*. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/278016742_Quantificacao_da_vulnerabilidade_e_dano_aplicados_ao_mapeamento_de_risco_escala_110000_Ubatuba_SP. Acessado em 3 dez. 2024.
- SÃO PAULO. Estado. 2016. *Sistema de classificação Unidades Homogêneas de Cobertura da Terra e do Uso e Padrão da Ocupação Urbana (UHCT) e Mapeamento da Vulnerabilidade de Áreas Urbanas de Uso Residencial/comercial/serviços a Eventos Geodinâmicos do Estado de São Paulo*. Instituto Geológico; Coordenadoria de

- Planejamento Ambiental/Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Disponível em <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutogeologico/2016/06/secretaria-do-meio-ambiente-lanca-mapa-de-vulnerabilidade-das-areas-urbanas-de-uso-residencialcomercialservicos-a-eventos-geodinamicos-do-estado-de-sao-paulo-no-dia-mundial-do-meio-ambiente/>. Acessado em 6 jun. 2022.
- SÃO PAULO. Estado. 2017. *Sistema de classificação “Unidades Territoriais Básicas” (UTB) e mapeamento de risco de áreas urbanas de uso residencial/comercial/serviços à eventos geodinâmicos do estado de São Paulo*. Instituto Geológico. Disponível em https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutogeologico/wp-content/uploads/sites/233/2017/12/Ficha_Tecnica_UTB_SP_IG.pdf. Acessado em 6 jun. 2022.
- TUCCI, C.E.M. 1997. *Hidrologia: ciência e aplicação*. ABRH/Editora da UFRGS, Porto Alegre, 2ª.ed., 943 p. (Col. ABRH de Recursos Hídricos, 4).
- UNDRR – UNITED NATIONS DISASTER RISK REDUCTION 2016. *Terminology on Disaster Risk Reduction*. PreventionWEB. Disponível em <https://www.preventionweb.net/publication/report-open-ended-intergovernmental-expert-working-group-indicators-and-terminology>. Acessado em 1 fev. 2024.
- VEDOVELLO, R. 2000. *Zoneamentos geotécnicos aplicados à gestão ambiental, a partir de unidades básicas de compartimentação – UBCs*. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro, Tese de Doutorado, 154 p.
- VEDOVELLO, R.; FERREIRA, C.J.; SALIN, A.; COSTA, J.A.; MATSUZAKI, K.; ROSSINI-PENTEADO, D.; OHATA, A.T. 2020. Unidades Básicas de Compartimentação (UBC) do estado de São Paulo e seu uso para avaliações geoambientais e planejamento territorial. *Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (RBGEA)*, 10: 73–87. https://www.abge.org.br/downloads/6_UNIDADES%20BASICAS%20DE%20COMPARTIMENTA%C3%87%C3%83O.pdf

Endereço dos autores:

Cláudio José Ferreira* (ORCID: 0000-0003-0184-4945), Denise Rossini Penteado (ORCID: 0009-0004-3498-7293), Ricardo Vedovello (ORCID: 0000-0003-2002-0650), Cristina Boggi da Silva Rafaelli (ORCID: 0000-0003-1300-6455) e Rogério Rodrigues Ribeiro (ORCID: 0000-0003-1279-4015) – Núcleo de Geociências, Gestão de Riscos e Monitoramento Ambiental, Instituto de Pesquisas Ambientais, Secretaria do Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística do Estado de São Paulo, Rua Joaquim Távora, 822, Vila Mariana, CEP 04015-011, São Paulo, SP, Brasil. *E-mails:* cferreira@sp.gov.br, dpenteado@sp.gov.br, rvedovello@sp.gov.br, cristina@sp.gov.br, rrribeiro@sp.gov.br

* Autor correspondente

Artigo recebido em 3 de setembro de 2024, aceito em 9 de dezembro de 2024.

