

MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA E INUNDAÇÕES NA REGIÃO DA MACROMETRÓPOLE PAULISTA

MAPPING OF AREAS SUSCEPTIBLE TO GRAVITATIONAL MASS MOVEMENTS AND
FLOODS IN THE "MACROMETRÓPOLE PAULISTA" REGION

OMAR YAZBEK BITAR

*Geólogo, Dr., Pesquisador do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do
Estado de São Paulo – IPT, 11 3767.4489/4938, omar@ipt.br;*

SOFIA JÚLIA ALVES MACEDO CAMPOS

Enga. Civil, Ma., Pesquisadora do IPT, scampos@ipt.br;

ANA CÂNDIDA MELO CAVANI MONTEIRO

Matemática, Ma., Pesquisadora do IPT, anacandi@ipt.br;

PRISCILLA MOREIRA ARGENTIN

Geógrafa, Pesquisadora do IPT, priscillam@ipt.br;

ALESSANDRA CRISTINA CORSI

Geóloga, Dra., Pesquisadora do IPT, accorsi@ipt.br;

NIVALDO PAULON

Tecnólogo, Pesquisador do IPT, nivaipt@ipt.br.

RESUMO ABSTRACT

Este artigo sintetiza os resultados finais dos trabalhos de mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa e inundações efetuados na região da Macrometrópole Paulista, que compreende 174 municípios do Estado de São Paulo. Os trabalhos de mapeamento foram realizados entre 2013 e 2020, por meio de parceria entre o Serviço Geológico do Brasil e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, em vista da implantação da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil e da execução do Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais, bem como do Programa Estadual de Prevenção de Desastres Naturais e de Redução de Riscos do Estado de São Paulo. O objetivo geral do mapeamento realizado é o de elaborar o zoneamento cartográfico das distintas susceptibilidades a processos geológicos e hidrológicos que ocorrem na Macrometrópole Paulista. Os métodos empregados na elaboração das cartas de suscetibilidade geradas consideraram os principais

This article summarizes the final results of the mapping of areas susceptible to gravitational mass movements and floods in the "Macrometrópole Paulista" region, which comprises 174 municipalities in the São Paulo State. The mapping work was carried out between 2014 and 2020, through a partnership between the Geological Service of Brazil and the Institute for Technological Research of the São Paulo State, in view of the implementation of the National Policy for Protection and Civil Defense and the execution of the National Plan for Risk Management and Response to Natural Disasters, as well as the State Program for Natural Disaster Prevention and Risk Reduction of the São Paulo State. The main goal of the mapping is to elaborate the cartographic zoning of the distinct susceptibilities to geological and hydrological processes that occur in the "Macrometrópole of São Paulo". The methods employed in the elaboration of the susceptibility maps consider the main physical environment processes occurring in the

processos do meio físico incidentes na região, analisados a partir da compilação, tratamento e integração de dados geológicos, geomorfológicos, hidrológicos e outros materiais previamente disponíveis ou obtidos durante os trabalhos, utilizando-se modelagens computacionais e verificação de campo. Os resultados obtidos compreendem a classificação do território de cada município da região em zonas de alta, média e baixa suscetibilidade, segundo dois conjuntos básicos de processos: deslizamento, rastejo e queda de bloco; e inundação e/ou alagamento. Apontam-se também as bacias de drenagem suscetíveis à geração de corrida de massa e enxurrada. A carta síntese de suscetibilidade elaborada contém, ainda, feições correlatas aos processos mapeados, bem como indicadores que propiciam estimar a incidência em área referente a cada classe no município. Ao final, apresentam-se conclusões sobre os trabalhos realizados e recomendações gerais para utilização das cartas de suscetibilidade produzidas, tanto por parte das administrações municipais quanto no planejamento regional.

Palavras-chave: Carta de suscetibilidade; Carta geotécnica; Macrometrópole Paulista.

INTRODUÇÃO

O mapeamento de áreas suscetíveis a processos geológicos e hidrológicos que podem gerar desastres no País é um dos requisitos estabelecidos pela Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC - Lei Federal 12.608/2012; BRASIL, 2012). O conhecimento prévio sobre a distribuição espacial das distintas classes de suscetibilidade incidentes em cada município tende a auxiliar as prefeituras e a sociedade de modo geral a evitar a ocupação das áreas mais suscetíveis e a consequente geração de novas áreas de risco no futuro, orientando as demandas associadas às dinâmicas territoriais urbanas para zonas onde ocorrem baixas suscetibilidades aos processos do meio físico.

A PNPDEC estabelece que a execução do mapeamento de áreas suscetíveis no País seja integrada às demais políticas setoriais, incluindo as de ordenamento territorial, desenvolvimento urbano e meio ambiente, de modo a subsidiar as ações locais e regionais de planejamento territorial e de prevenção de desastres. A carta de sus-

ceptibilidade gerada por esse tipo de mapeamento se constitui, ainda, como um dos requisitos a ser cumpridos previamente pelos municípios para pleitear o acesso a recursos financeiros da União, destinados a apoiar medidas e obras de redução de riscos (Lei Federal 12.340/2010). A carta de suscetibilidade representa também um insumo básico para a elaboração da carta geotécnica de aptidão à urbanização, a ser realizada em escala de detalhe e prevista também na denominada Lei Lehmann (Lei Federal 6.766/1979), que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e na qual a PNPDEC introduziu dispositivo que vincula a aprovação de novos projetos de parcelamento do solo urbano ao atendimento dos requisitos constantes da CGAU. Além disso, o Estatuto da Cidade (Lei Federal 10.257/2001) explicita que, no plano diretor municipal, instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana, a identificação e o mapeamento de áreas de risco devem levar em conta as cartas geotécnicas, as quais dependem também do mapeamento prévio das áreas suscetíveis.

Keywords: susceptibility map; geotechnical map; Macro metropolitan region of Sao Paulo.

O Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais (PNGRRDN – BRASIL, 2013) deflagrou a elaboração de cartas de suscetibilidade em diferentes regiões do País, sob a coordenação do Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Para o desenvolvimento das cartas, a CPRM estabeleceu parceria com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). As premissas para a elaboração das cartas de suscetibilidade compreenderam a formulação de um modelo de mapeamento que propiciasse a aplicabilidade nacional, com as adaptações necessárias a cada região, bem como a comparabilidade entre os municípios mapeados, com padronização dos produtos elaborados e, ainda, objetividade no atendimento às diretrizes da PNPDEC e ações do PNGRRDN, disponibilizando quanto antes os resultados aos municípios. Desde 2013, mais de 600 municípios foram mapeados no País, cujos dados completos têm sido progressivamente incluídos no acervo digital da CPRM (2021) para acesso público.

No caso do Estado de São Paulo (ESP), após a execução dos primeiros mapeamentos, estabeleceu-se a meta de completar os municípios da região da Macrometrópole Paulista, no âmbito do Programa Estadual de Prevenção de Desastres Naturais e de Redução de Riscos (PDN – criado inicialmente pelo Decreto Estadual 57.512/2011 e reorganizado posteriormente pelo Decreto Estadual 64.673/2019). A Macrometrópole Paulista compreende a região do ESP onde os problemas associados a deslizamentos e inundações tendem a afetar de maneira o desenvolvimento econômico, social e ambiental de maneira significativa, especialmente quanto à urbanização, infraestrutura e industrialização, sendo importante o conhecimento das áreas suscetíveis para auxiliar as administrações locais e regionais em suas ações preventivas referentes ao uso e ocupação do solo.

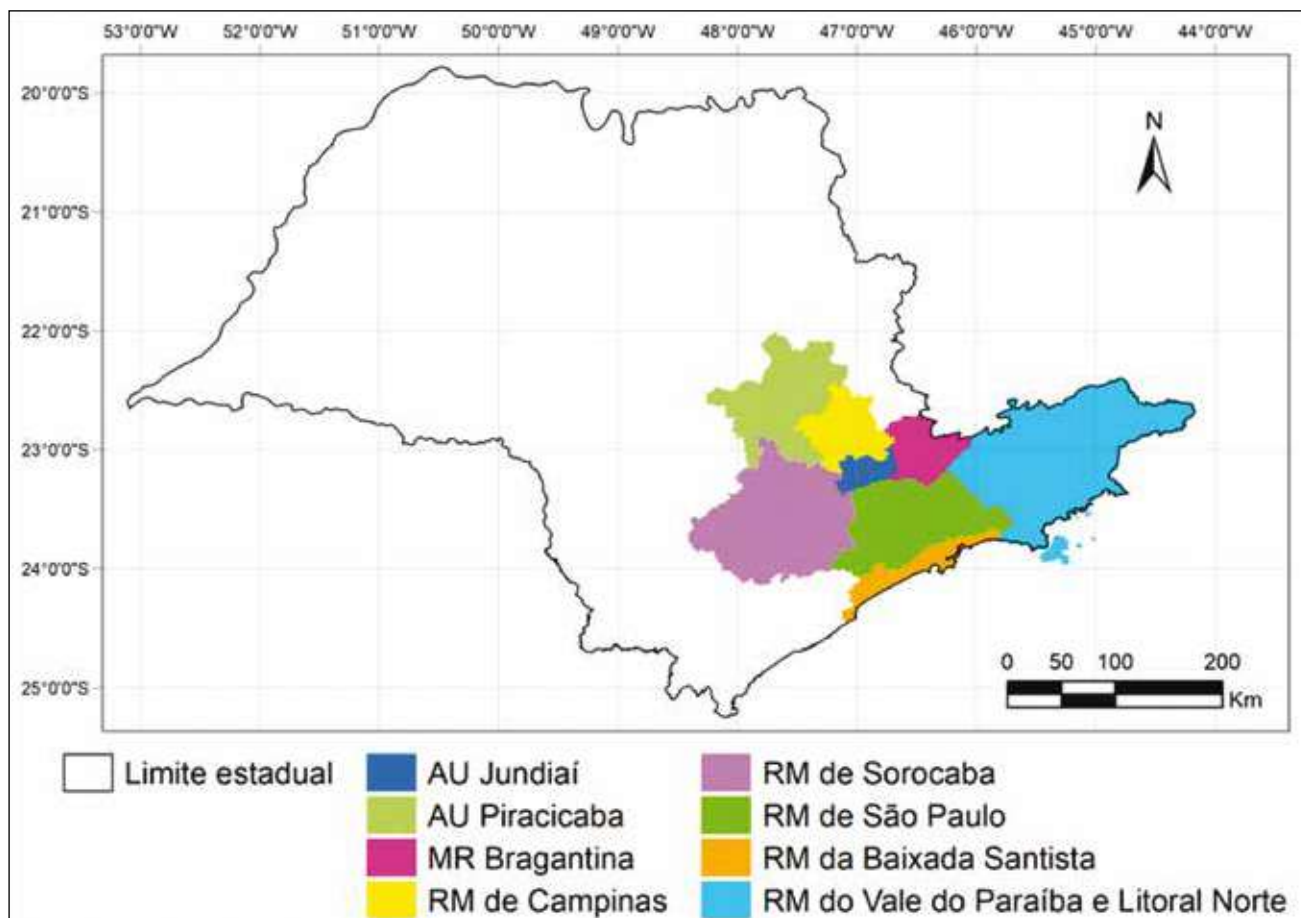
Este artigo apresenta breve síntese dos resultados finais obtidos acerca do mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa e inundações realizados na totalidade dos 174 municípios que compõem a Macrometrópole Paulista, entre 2013 e 2020. Resultados parciais sobre a evolução dos mapeamentos realizados nessa região, bem como em outras do ESP e do País, foram apresentados e discutidos em Silva e

Bitar (2014), Bitar e Silva (2015), Bitar et al. (2018) e Bitar (2019). Os dados aqui sintetizados incluem ajustes pontuais em relação aos mapeamentos parciais citados e que contemplam municípios da Macrometrópole Paulista, efetuados durante a consolidação dos resultados gerais. Os trabalhos de mapeamento de áreas suscetíveis na Macrometrópole Paulista foram executados pelo IPT (144 municípios) e CPRM (30 municípios), com apoio da Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil (CEPDEC/SP) e das prefeituras dos municípios mapeados.

2 A REGIÃO DA MACROMETRÓPOLE PAULISTA

A região da Macrometrópole Paulista foi proposta originalmente em 2014 pela Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano, em seu Plano de Ação da Macrometrópole Paulista voltado ao ano de 2040, como ferramenta de planejamento de longo prazo para dar suporte à formulação e implementação de políticas públicas integradas e às ações de governo no conjunto das regiões metropolitanas e aglomerações urbanas contíguas e instituídas legalmente no ESP. Abrange um território com 53 mil km² (21,5 % do total do ESP), compreendendo 50 % da área urbanizada, 74,6 % da população residente, 82,8 % do Produto Interno Bruto (PIB) e, ainda, um contingente populacional com aproximadamente 2,68 milhões de habitantes vivendo em assentamentos habitacionais considerados precários ou subnormais (EMPLASA, 2018).

A Macrometrópole Paulista considerada nos trabalhos de mapeamento de áreas suscetíveis reportados neste artigo contempla 174 municípios, distribuídos em oito sub-regiões nucleadas por cidades que apresentam dimensões populacionais e de urbanização de médio a grande porte: Aglomeração Urbana de Jundiaí; Aglomeração Urbana de Piracicaba; Micro Região Bragantina; Região Metropolitana de Campinas; Região Metropolitana de Sorocaba; Região Metropolitana de São Paulo; Região Metropolitana da Baixada Santista; e Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte (Figura 1 e Tabela 1).



Siglas: AU-Aglomeraco Urbana; MR-Micro Região; e RM- Região Metropolitana.
Figura 1. Localizaco das sub-regiões da Macrometrópole Paulista no Estado de São Paulo. Fonte: Emplasa (2018).

Tabela 1. Sub-regiões e quantidade de municípios da Macrometrópole Paulista.

Sub-região	Quantidade de municípios
Aglomeraco Urbana de Jundiaí (AUJ)	7
Aglomeraco Urbana de Piracicaba (AUP)	23
Micro Região Bragantina (MRB)	10
Região Metropolitana da Baixada Santista (RMBS)	9
Região Metropolitana de Campinas (RMC)	20
Região Metropolitana de São Paulo (RMSP)	39
Região Metropolitana de Sorocaba (RMS)	27
Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte (RMVPLN)	39
Total	174

Fonte: Emplasa (2018).

Convém salientar que, durante o ano de 2021, a configuracão geral das regiões metropolitanas e aglomeraes urbanas do ESP se encontrava em processo de discussão e mudanças no âmbito do legislativo estadual, com prováveis reflexos  composio da Macrometrópole Paulista. Não obstante, dado que os mapeamentos reportados neste estudo se referem ao período 2013 a 2020, as sub-regiões contempladas pelos mapeamentos realizados se referem  composio expressa na Figura 1.

3 OBJETIVOS

O objetivo geral dos trabalhos realizados é o de elaborar o zoneamento das suscetibilidades aos principais processos geológicos e hidrológicos que ocorrem na Macrometrópole Paulista, estabelecendo as bases tecnológicas para o desenvolvimento contínuo do conhecimento acerca das características do meio físico inerentes ao território da região.

Os objetivos específicos compreendem: efetuar a análise, classificação e zoneamento das suscetibilidades a movimentos gravitacionais de massa e inundações em áreas ocupadas e não ocupadas dos territórios municipais, na escala geográfica de referência 1:25.000; e disponibilizar os dados gerados na internet, por meio dos portais da CPRM, CEPDEC/SP, Plataforma IPT Pró-Municípios e, ainda, nas infraestruturas de dados espaciais (IDEs) do Datageo da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente (SIMA/SP) e do Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC).

4 MÉTODOS E MATERIAIS UTILIZADOS

O conceito de *suscetibilidade* adotado para as finalidades dos trabalhos de mapeamento realizados, tendo em conta as diretrizes da PNPDEC e a literatura técnico-científica do campo das geociências aplicadas, relaciona-se com a predisposição ou propensão dos terrenos à geração e desenvolvimento de um fenômeno ou processo do meio físico em uma dada área (FELL et al., 2008; JULIÃO et al., 2009; SOBREIRA e SOUZA, 2012; DINIZ, 2012; COUTINHO, 2013; BRESSANI e COSTA, 2013; MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2013).

Para o desenvolvimento do modelo de mapeamento empregado foram considerados diversos estudos como base de orientação, podendo-se salientar o Guia para Zoneamento de Suscetibilidade, Perigo e Risco a Deslizamentos (FELL et al., 2008), elaborado pelo *Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes (JTC-1)*, órgão ligado a *International Association for Engineering Geology and The Environment (IAEG)*, conforme apresentado em Macedo e Bressani (2013). De acordo com o Guia, o mapeamento de suscetibilidade não deve ser confundido com o de perigo e tampouco com o de risco, os quais constituem tipos dis-

tintos de mapeamento, estes necessariamente em escalas de maior detalhe. Sobreira e Souza (2012) distinguem as cartas geotécnicas de planejamento, segundo as escalas geográficas e os processos identificáveis: cartas de suscetibilidade (em escala 1:25.000 ou maior); cartas de aptidão à urbanização (em escala 1:10.000, 1:5.000 ou maior); e cartas de riscos geológicos (em escala 1:2.000 ou maior). Essa diferenciação é apontada e discutida também em Diniz (2012) e IPT (2015).

Os métodos e técnicas utilizados no mapeamento de áreas suscetíveis, bem como a tipologia dos diversos materiais cartográficos reunidos e empregados nos trabalhos, como os diversos mapas temáticos necessários (relevo, geologia, hidrologia, modelo digital de elevação, declividade, altimetria, hipsometria, ocorrência registradas e outros), foram definidos em conjunto pelo IPT e CPRM e estão resumidos em Bitar et al. (2014). Os procedimentos metodológicos foram aplicados de modo similar a cada município, envolvendo basicamente: compilação bibliográfica, elaboração de mapas temáticos e estruturação da base de dados digitais; análise, classificação e zoneamento das suscetibilidades aos processos do meio físico considerados no mapeamento; fotointerpretação de feições associadas aos processos analisados, efetuada sobre imagens aéreas e de satélites; composição do pré-mapa de áreas suscetíveis mediante utilização de técnicas, equipamentos e *softwares* de geoprocessamento, em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG); confecção do quadro-legenda correspondente aos zoneamentos de suscetibilidade gerados, contendo as características predominantes em cada classe de suscetibilidade; verificação e validação do pré-mapa de áreas suscetíveis em atividades de campo; revisão do pré-mapa; e consolidação da carta de suscetibilidade e da base de dados digitais referentes ao município mapeado.

4.1 Procedimentos metodológicos no zoneamento das suscetibilidades

Para análise, classificação e zoneamento das suscetibilidades em cada município, integraram-se, em especial, dados e materiais cartográficos referentes a fatores predisponentes de natureza

geológica, geomorfológica e hidrológica, previamente disponíveis ou gerados durante os trabalhos, resultando em uma classificação relativa de suscetibilidade a cada processo considerado. Os terrenos foram analisados para as finalidades de zoneamento de acordo com dois conjuntos básicos de processos: deslizamento, envolvendo também rastejo e queda de bloco; e inundação, envolvendo também alagamento. Delimitaram-se, ainda, as bacias de drenagem suscetíveis à geração de corrida de massa e/ou enxurrada, mediante critérios específicos e apropriados a esses dois processos.

Dessa forma, os procedimentos específicos a cada conjunto de processos compreenderam, no caso de deslizamento: mapeamento dos fatores predisponentes; construção do modelo digital de elevação; fotointerpretação de imagens e ortofotos e tratamento de dados em sistemas de geoprocessamento; mapeamento de cicatrizes de deslizamento em área-piloto; validação da área-piloto a cada município, de acordo com a similaridade local em relação ao contexto geológico-geomorfológico da área-piloto considerada; cálculo do índice de suscetibilidade, a partir dos parâmetros mapeados (declividade, curvatura de encosta e lineamentos estruturais); testes de aferição do índice, efetuados em diferentes municípios; classificação da suscetibilidade em relação à área-piloto; e zoneamento da suscetibilidade no município correspondente. Suscetibilidades a rastejo e queda de rocha foram apontadas localmente, tendo-se em conta a presença de feições correspondentes, como depósitos de acumulação em sopé de encosta (no caso de rastejo) e campos de blocos rochosos e paredões rochosos (no caso de queda de rocha), entre outras associadas a ocorrências registradas e/ou a condições potenciais identificadas em fotointerpretação e verificadas em atividades de campo.

No caso de inundação, três etapas de trabalho foram desenvolvidas para análise, classificação e zoneamento das suscetibilidades: a) abordagem em nível regional, com a caracterização da morfologia das bacias hidrográficas abrangentes para identificação daquelas que tendem a favorecer o transbordamento do nível do curso d'água principal por ocasião de chuvas intensas, mediante obtenção do modelo digital de elevação, definição de direção de fluxos, cálculo da área de acu-

mulação, extração de drenagens e delimitação de bacias e sub-bacias hidrográficas, seleção e extração de parâmetros morfométricos das sub-bacias hidrográficas contribuintes (área de contribuição, relação de relevo, densidade de drenagem, índice de circularidade e índice de sinuosidade) e classificação e zoneamento das suscetibilidades a inundação (classes: alta, média e baixa); b) abordagem em nível local, mediante aplicação do modelo denominado HAND (*Height Above Nearest Drainage*), conforme Rennó et al. (2008), para classificação e zoneamento de suscetibilidades a inundações (classes: alta, média e baixa); e c) integração dos zoneamentos anteriores (regional e local), mediante cruzamento das duas classificações obtidas por matriz de correlação, com recorte nas áreas de padrões de relevo referentes a planícies aluviais e/ou marinhas atuais e a terraços fluviais e/ou marinhos antigos, resultando no zoneamento geral igualmente classificado em zonas de alta, média e baixa suscetibilidade. Suscetibilidades a alagamento foram apontadas localmente, tendo-se em conta a presença de feições correspondentes, como áreas úmidas, áreas alagadas e outras associadas a ocorrências registradas e/ou a condições potenciais identificadas em fotointerpretação e verificadas em atividades de campo.

Para a delimitação de bacias de drenagem suscetíveis a corrida de massa, consideraram-se os seguintes parâmetros: a delimitação de unidade ou padrão de relevo serrano; incidência de suscetibilidade alta a deslizamento; amplitude de relevo; área de bacias de drenagem; e Índice de Melton, conforme Wilford (2004), definido pela razão entre amplitude de relevo e a raiz quadrada da área da bacia de drenagem. Para enxurrada, consideraram-se a presença de padrão de relevo serrano e/ou de morros altos, bem como amplitude de relevo e área da bacia de drenagem. As suscetibilidades a esses processos nas bacias de drenagem puderam ser verificadas em atividades de campo, mediante identificação de feições associadas a eventos pretéritos, como a presença de blocos e depósitos correlatos a jusante. De acordo com a abordagem empregada, as bacias de drenagem suscetíveis a corrida de massa são consideradas suscetíveis também em relação à ocorrência de enxurrada, enquanto que o inverso nem sempre se verifica.

Os fatores e parâmetros utilizados na abordagem dos processos do meio físico considerados no mapeamento de áreas suscetíveis na Macrometrópole Paulista encontram-se sintetizados no Quadro 1. Feições adicionais referentes a outros processos não contemplados nas análises podem

estar apontadas nas cartas de suscetibilidade, a depender do município, como ravinas erosivas e subsidências e colapsos associados a processos cársticos, porém sem resultar no zoneamento correspondente.

Quadro 1. Fatores predisponentes e parâmetros considerados no mapeamento de áreas suscetíveis na Macrometrópole Paulista, de acordo com o tipo de processo do meio físico.

Conjunto de processos considerados	Fatores predisponentes e parâmetros, de acordo com o tipo de processo	Classes de suscetibilidade geradas
Movimentos gravitacionais de massa (exceto corrida de massa)	<ul style="list-style-type: none"> • Deslizamento: declividade, curvatura de encosta e densidade de lineamentos (falhas, fraturas, juntas e outras descontinuidades estruturais) 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta, média ou baixa
	<ul style="list-style-type: none"> • Rastejo: presença de feições locais correspondentes (depósitos de acumulação em sopé de encosta, depósitos de tálus, depósitos coluvionares e outras), indicativas de suscetibilidade ao processo 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta, média ou baixa, conforme a classe a deslizamento
	<ul style="list-style-type: none"> • Queda de rocha: presença de feições locais correspondentes (campo de blocos rochosos, paredão rochoso e outras), indicativas de suscetibilidade ao processo 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta, média ou baixa, conforme a classe a deslizamento
Inundações e/ou alagamentos (expresso em planícies e terraços)	<ul style="list-style-type: none"> • Inundação: características morfológicas das bacias hidrográficas, regionais (área de contribuição, relação de relevo, densidade de drenagem, índice de circularidade e índice de sinuosidade) e locais (aplicação do modelo HAND), com integração e recorte em padrão de relevo de planícies e terraços 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta, média ou baixa
	<ul style="list-style-type: none"> • Alagamento: presença de feições locais correspondentes (áreas úmidas, áreas alagadas e outras), indicativas de suscetibilidade ao processo 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta, média ou baixa, conforme a classe a inundação
Corrida de massa e/ou enxurrada (bacias de drenagem com alta suscetibilidade)	<ul style="list-style-type: none"> • Corrida de massa: padrão de relevo serrano; incidência de suscetibilidade alta a deslizamento; amplitude de relevo > 500m; bacias de drenagem com Área < 10km²; e Índice de Melton "M" > 0,3, onde M=amplitude/raiz quadrada da Área 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta
	<ul style="list-style-type: none"> • Enxurrada: padrão de relevo serrano e/ou de morros altos; amplitude de relevo > 300m; e bacia de drenagem com Área < 10km². 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta

Fonte: IPT e CPRM.

4.2 Abrangência e limitações das classificações e zoneamentos gerados

As cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações elaboradas representam um primeiro estágio de conhecimento acerca de características do meio físico inerentes aos terrenos na região da Macrometrópole Paulista, mostrando as áreas suscetíveis à geração dos processos considerados em vista de eventuais fatores deflagradores que possam atuar no meio

físico, como a precipitação pluviométrica e o uso e ocupação do solo. Não se indicam o alcance territorial dos materiais potencialmente mobilizáveis (solos, rochas, vegetação e outros), como em deslizamento e corrida de massa, e tampouco a cumulatividade e sinergia entre os processos considerados, que devem ser objeto de análises de maior detalhe. O modelo de mapeamento desenvolvido é fundamentado em fatores predisponentes espacializáveis e validação em campo. Fatores não incluídos acerca dos processos considerados, ou

mesmo de outros processos não abordados num dado município, podem ser agregados à medida que haja disponibilidade das informações correspondentes, uma vez que a base de dados digitais produzida encontra-se em SIG.

A utilização dos métodos e técnicas em diferentes regiões do País foi discutida em Silva e Bitar (2015), que ressaltam a compatibilidade relativamente maior entre as cartas elaboradas nas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste do Brasil, sobretudo em relação aos dados e informações observados durante a realização dos trabalhos de verificação e validação de campo. Dificuldades específicas foram encontradas em relação às aplicações dos métodos e técnicas em municípios da região Norte, denotadas particularmente pela ausência de dados básicos compatíveis com a escala de trabalho adotada e pelos tipos de modelos digitais de elevação disponíveis, requerendo adaptações e complementações para geração de produtos que se aproximassem mais da realidade observada durante os trabalhos de campo.

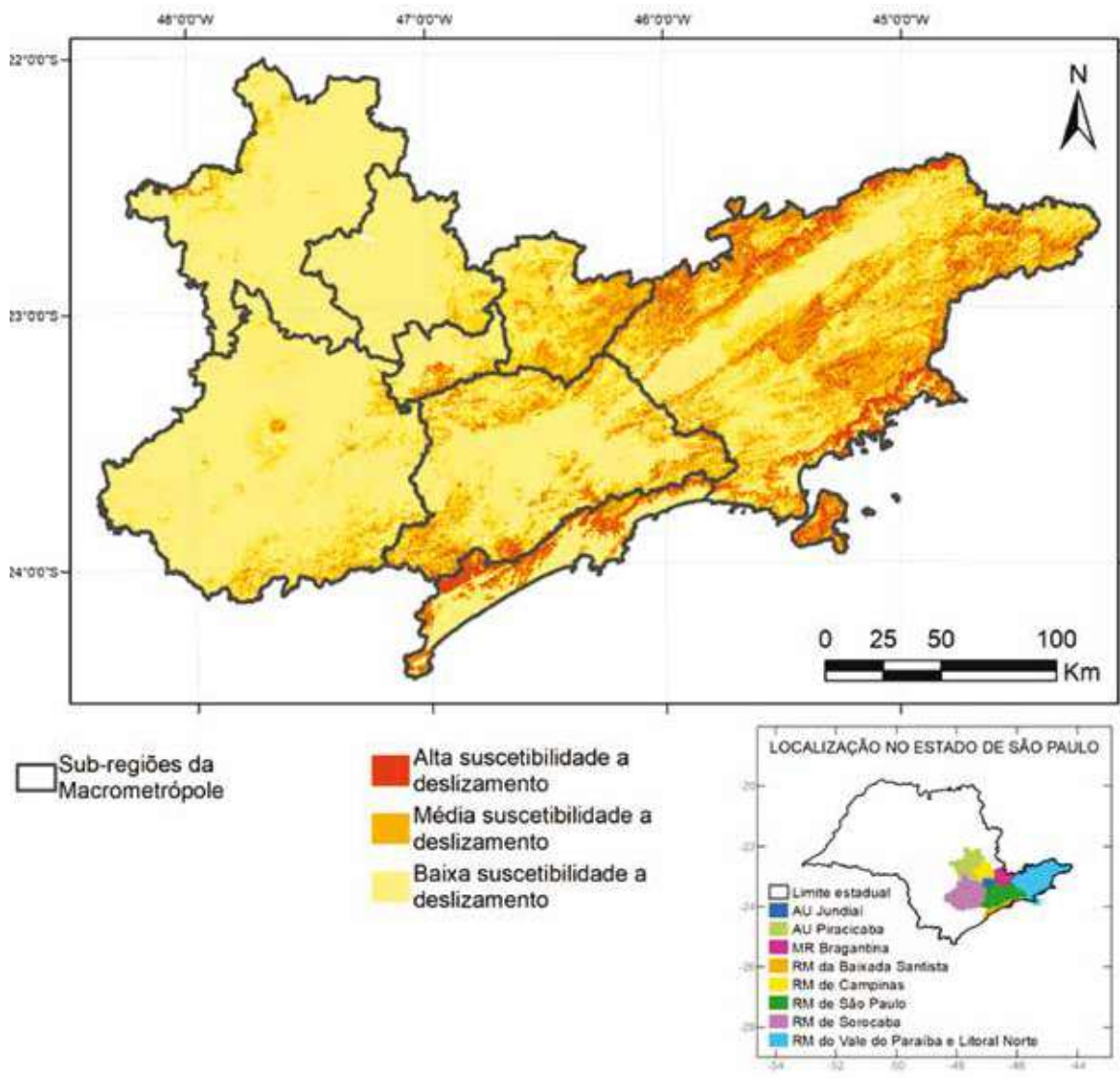
5 RESULTADOS GERAIS OBTIDOS E DISCUSSÃO

Os principais produtos gerados para cada município da Macrometrópole Paulista compreendem uma carta síntese de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações e uma base de dados digitais, organizadas em SIG. Essa base de dados contém todos os mapas temáticos e intermediários utilizados nos trabalhos de mapeamento, bem como informações referentes ao regime local de chuvas obtidas pela equipe de hidrologia da CPRM (PINTO, 2013). O formato geral e o conteúdo das cartas de suscetibilidade foram gerados em padrão similar para cada um dos 174 municípios da Macrometrópole Paulista. As cartas de suscetibilidade foram produzidas com base na escala geográfica 1:25.000 e sua apresentação final (em formato de impressão A0 ou A1) pode estar nessa mesma escala ou mesmo em outras escalas menores (1:50.000 ou 1:75.000, por exemplo), a depender da dimensão territorial de cada município em vista de seu enquadramento para fins de composição do chamado *layout* de saída da carta síntese em formato PDF.

Nesse contexto, ressalta-se a incidência de áreas suscetíveis a deslizamento, a inundação e/ou alagamento e a corrida de massa e/ou enxurrada, discutindo-se a seguir, de maneira breve e comparativa, os resultados obtidos em relação às oito sub-regiões mapeadas. No caso de corrida de massa e/ou enxurrada, a incidência é destacada em relação às bacias de drenagem suscetíveis à geração dos dois processos conjuntamente ou apenas a enxurrada. As abrangências territoriais consideradas se referem à área municipal total e à área urbanizada e/ou edificada, a qual engloba também as ocupações situadas além da zona urbana central (onde geralmente se localiza a sede municipal), ou seja, distritos, bairros e povoados mais afastados, além de pequenas aglomerações de edificações localizadas em zonas rurais. Cada classe de suscetibilidade é acompanhada de indicadores que apresentam uma estimativa acerca da incidência dos processos no território municipal. A composição das cartas municipais em cada sub-região possibilita a comparação dessa incidência no âmbito regional da Macrometrópole Paulista, bem como entre as sub-regiões mapeadas.

5.1 Áreas suscetíveis a deslizamento

Tendo em vista o mapeamento das áreas suscetíveis a deslizamento realizado (que pode incluir, a depender de cada município, a suscetibilidade a processos de rastejo e de queda de rocha mencionados), nota-se que a Região Metropolitana da Baixada Santista e a Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte correspondem às sub-regiões que abrigam a incidência maior de zonas com alta suscetibilidade, em comparação às demais sub-regiões mapeadas. Por outro lado, a Aglomeração Urbana de Piracicaba, Região Metropolitana de Campinas e Região Metropolitana de Sorocaba se destacam por apresentar maior incidência de zonas com baixa suscetibilidade a deslizamento. A Figura 2 apresenta um panorama ilustrativo da distribuição das três classes de suscetibilidade a deslizamento, conforme identificadas no território da Macrometrópole Paulista.



Siglas: AU-Aglomeração Urbana; MR-Micro Região; e RM- Região Metropolitana.

Figura 2. Ilustração geral da incidência de áreas suscetíveis a deslizamento na Macrometrópole Paulista. A depender do município, essa incidência pode incluir a suscetibilidade local a processos de rastejo e de queda de rocha. Fonte: IPT e CPRM.

Nesse aspecto, a Região Metropolitana da Baixada Santista se destaca por abrigar 30,67 % de seu território em zonas com alta suscetibilidade a deslizamento. A Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte apresenta também um valor significativo (22,65 %), enquanto a Região Metropolitana de São Paulo mostra uma incidência proporcionalmente menor em seu território

(10,33 %). Quanto à incidência específica de área urbanizada e/ou edificada situada em zona de alta suscetibilidade a deslizamento, a Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte se destaca novamente (2,53 %), seguida pela Região Metropolitana de São Paulo (1,80 %), Micro Região Bragançana (1,25%) e Região Metropolitana da Baixada Santista (1,20 %) (Tabela 2).

Tabela 2. Incidência específica de classes de suscetibilidade a deslizamento na Macrometrópole Paulista, segundo a abrangência territorial e a sub-região. Fonte: IPT e CPRM.

Abrangência territorial	Sub-região (número de municípios)	Alta		Média		Baixa		Total *
		km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²
Área municipal	AUJ (7)	86,41	6,81	177,92	14,02	1.005,03	79,18	1.269,36
	AUP (23)	43,10	0,58	290,68	3,94	7.045,48	95,48	7.379,26
	MRB (10)	262,84	9,50	1.115,75	40,32	1.388,34	50,18	2.766,93
	RMBS (9)	741,54	30,67	333,85	13,81	1.342,12	55,52	2.417,51
	RMC (20)	23,63	0,62	213,21	5,62	3.556,13	93,76	3.792,97
	RMSP (39)	821,10	10,33	1.631,18	20,53	5.494,65	69,14	7.946,93
	RMS (27)	167,58	1,44	1.017,48	8,75	10.438,70	89,80	11.623,79
	RMVPLN (39)	3.661,01	22,65	4.525,36	28,00	7.976,78	49,35	16.163,15
	Área municipal urbanizada e/ou edificada	AUJ (7)	2,85	0,95	15,00	5,00	282,11	94,05
AUP (23)		0,07	0,01	5,19	0,95	539,67	99,03	544,93
MRB (10)		3,48	1,25	77,24	27,69	198,24	71,06	278,96
RMBS (9)		3,72	1,20	1,94	0,63	303,63	98,17	309,29
RMC (20)		0,75	0,09	21,67	2,54	831,51	97,37	853,93
RMSP (39)		41,94	1,80	174,49	7,48	2.117,54	90,73	2.333,97
RMS (27)		1,76	0,17	30,36	2,85	1.032,81	96,98	1.064,93
RMVPLN (39)		21,28	2,53	94,98	11,30	724,48	86,17	840,74

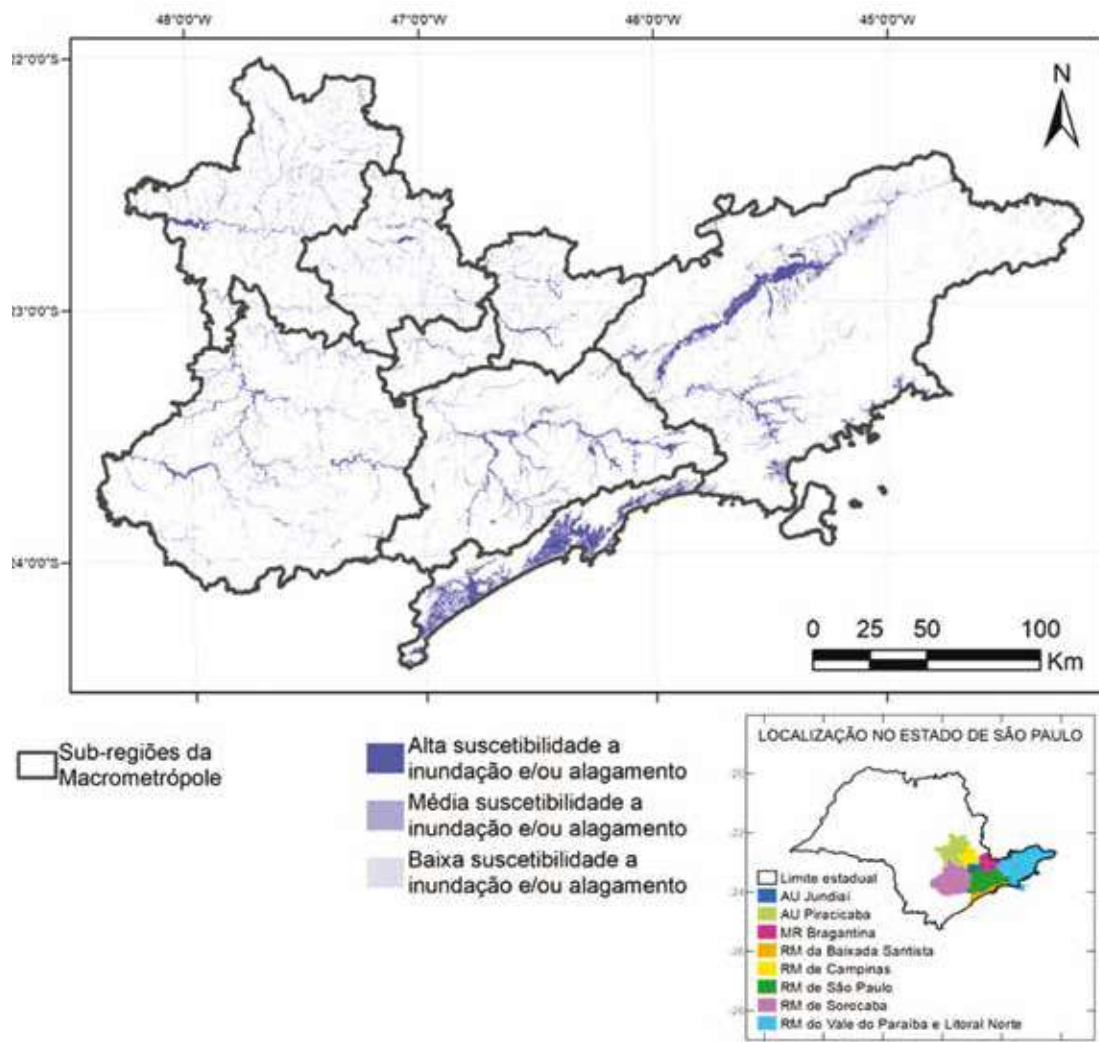
* refere-se ao total da área da sub-região correspondente, dado que as áreas em padrão de relevo representado por planícies aluviais e/ou marinhas atuais e terraços fluviais e/ou marinhas antigos estão contabilizadas como áreas de baixa ou nula suscetibilidade a deslizamento.

Siglas: AUJ-Aglomeración Urbana de Jundiá; AUP-Aglomeración Urbana de Piracicaba; MRB-Micro Região Bragantina; RMC-Região Metropolitana de Campinas; RMS-Região Metropolitana de Sorocaba; RMSP-Região Metropolitana de São Paulo; RMBS-Região Metropolitana da Baixada Santista; e RMVPLN-Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte.

5.2 Áreas suscetíveis a inundações e/ou alagamentos

No que diz respeito a inundação e/ou alagamento, tendo em conta exclusivamente o domínio de padrões de relevo de planícies aluviais e/ou marinhas e terraços fluviais e/ou marinhas suscetíveis a esses processos (isoladamente ou em conjunto), observa-se a incidência maior de alta suscetibilidade ao longo da Região Metropolitana da Baixada Santista (acompanhando a orla costeira) e em porção territorial também em formato alongado na Região Metropolitana do Vale do Paraíba

e Litoral Norte, posicionada mais ao centro-norte da sub-região com direção aproximada NE-SW, correspondente ao contexto do curso do rio Paraíba do Sul. Nas demais sub-regiões se podem notar ocorrências desse mesmo domínio suscetível a inundações e/ou alagamentos, porém em áreas mais restritas, excetuando-se o contexto dos principais rios presentes em cada uma delas, cuja expressão em área tende a ser maior. A Figura 3 ilustra a distribuição territorial das classes de suscetibilidade a inundação e/ou alagamento identificadas no território da Macrometrópole Paulista.



Siglas: AU-Aglomeração Urbana; MR-Micro Região; e RM- Região Metropolitana.

Figura 3. Ilustração geral da incidência de áreas suscetíveis a inundações e/ou alagamentos na Macrometrópole Paulista. Fonte: IPT e CPRM.

Quanto à incidência específica das distintas classes de suscetibilidade (baixa, média e alta) a inundações e/ou alagamentos, em relação à área municipal, a Região Metropolitana da Baixada Santista (45,96 %) se destaca das demais sub-regiões, considerando-se apenas o domínio de relevo de planícies e terraços. No que diz respeito à porção de área urbanizada e/ou edificada situada

em zonas de suscetibilidade baixa, média e alta, a Região Metropolitana da Baixada Santista mostra 94,77 % dessa porção do seu território ocupado nessa condição, seguida à distância pela Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte e Região Metropolitana de São Paulo, respectivamente com 32,71 % e 17,53 % (Tabela 3).

Tabela 3. Incidência específica das classes de suscetibilidade a inundação e/ou alagamento no território da Macrometrópole Paulista, de acordo com a abrangência territorial e a sub-região. Fonte: IPT e CPRM.

Abrangência territorial	Sub-região (número de municípios)	Área total da sub-região (km ²)	Alta		Média		Baixa		Total	
			km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ² *	% **
Área municipal	AUJ (7)	1.269,36	32,22	19,74	50,50	30,94	80,50	49,32	163,22	12,86
	AUP (23)	7.379,26	449,66	65,85	173,85	25,46	59,36	8,69	682,87	9,25
	MRB (10)	2.766,93	170,58	67,47	54,24	21,45	28,00	11,08	252,82	9,14
	RMBS (9)	2.417,51	505,00	45,45	299,33	26,94	306,86	27,62	1.111,19	45,96
	RMC (20)	3.792,97	160,95	33,92	119,44	25,17	194,06	40,90	474,45	12,51
	RMSP (39)	7.946,93	331,78	29,33	302,72	26,76	496,57	43,90	1.131,07	14,23
	RMS (27)	11.623,79	430,20	31,16	430,97	31,22	519,33	37,62	1.380,50	11,88
	RMVPLN (39)	16.163,15	796,09	33,88	589,27	25,08	964,53	41,05	2.349,89	14,54
	Área municipal urbanizada e/ou edificada	AUJ (7)	299,96	8,91	18,79	14,94	31,51	23,57	49,70	47,42
AUP (23)		544,93	14,19	65,72	6,12	28,35	1,28	5,93	21,59	3,96
MRB (10)		278,96	20,85	60,56	8,97	26,05	4,61	13,39	34,43	12,34
RMBS (9)		309,29	100,36	34,24	102,34	34,92	90,40	30,84	293,10	94,77
RMC (20)		853,93	17,96	27,28	16,39	24,90	31,48	47,82	65,83	7,71
RMSP (39)		2.333,97	101,47	24,79	116,87	28,56	190,90	46,65	409,24	17,53
RMS (27)		1.064,93	16,57	18,19	33,96	37,29	40,55	44,52	91,08	8,55
RMVPLN (39)		840,74	51,23	18,63	85,00	30,91	138,77	50,46	275,00	32,71

* Refere-se à soma das áreas em padrões de relevo de planícies aluviais e/ou marinhas e terraços fluviais e/ou marinhas.

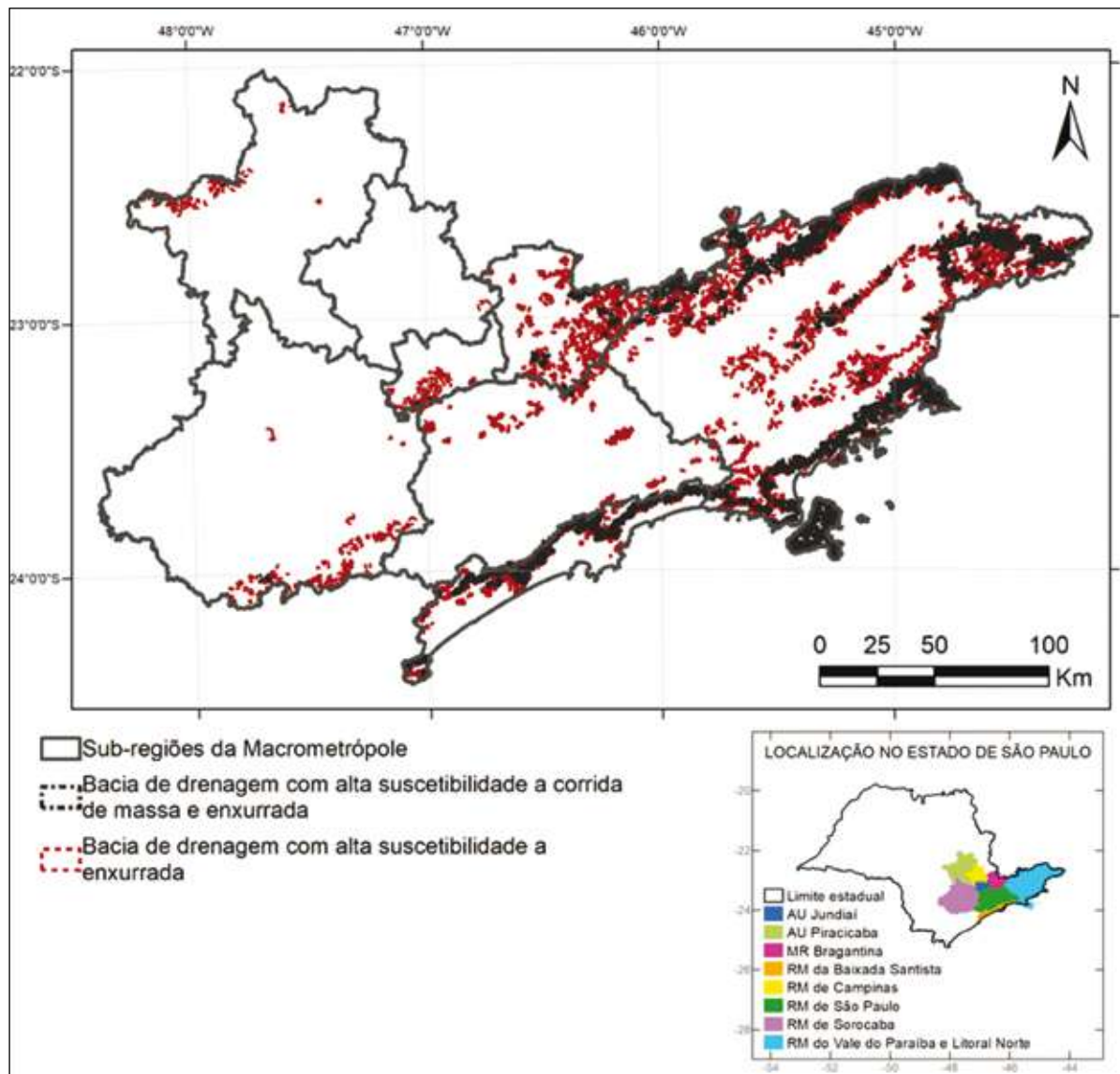
** Refere-se à proporção de ocorrência desses mesmos padrões de relevo em relação à área total da sub-região.

Siglas: AUJ-Aglomeración Urbana de Jundiaí; AUP-Aglomeración Urbana de Piracicaba; MRB-Micro Região Bragançana; RMC-Região Metropolitana de Campinas; RMS-Região Metropolitana de Sorocaba; RMSP-Região Metropolitana de São Paulo; RMBS-Região Metropolitana da Baixada Santista; e RMVPLN-Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte.

5.3 Áreas suscetíveis a corrida de massa e/ou enxurrada

Em relação ao panorama de bacias de drenagem com alta suscetibilidade a corrida de massa e/ou enxurrada, observa-se incidência maior em áreas de serras e adjacências situadas ao longo da faixa norte da Região Metropolitana da Baixada Santista (serra do Mar) e nas porções também alongadas da Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte situadas ao sul (serras do Mar e da Bocaina) e norte (serra da Mantiqueira), que alcança a parte leste da Micro Região Bragançana. As porções sul da Aglomeração Urbana de

Jundiaí (interface com as serras da Cantareira e do Japi) e sul da Região Metropolitana de Sorocaba (interface com a serra de Paranapiacaba) denotam a incidência de bacias de drenagem particularmente suscetíveis a enxurrada, assim como no oeste da Aglomeração Urbana de Piracicaba (serra do Itaqueri, onde se observam também porções localizadas do território abrigando bacias suscetíveis a corrida de massa e/ou enxurrada) e no norte da Região Metropolitana de São Paulo (serra da Cantareira). A Figura 4 ilustra a distribuição territorial das bacias de drenagem com alta suscetibilidade a corrida de massa e/ou enxurrada identificadas no território da Macrometrópole Paulista.



Siglas: AU-Aglomeração Urbana; MR-Micro Região; e RM- Região Metropolitana.

Figura 4. Ilustração da incidência de áreas suscetíveis a corrida de massa e/ou enxurrada na Macrometrópole Paulista. Fonte: IPT e CPRM.

Nesse contexto, a Região Metropolitana da Baixada Santista e a Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte se destacam em relação à incidência específica de bacias de drenagem com alta suscetibilidade a esses dois processos nas áreas totais municipais, respectivamente com 12,16 % e 10,01 %. No que se refere exclusivamente a bacias suscetíveis apenas a enxurrada, a Micro

Região Bragantina se sobressai, com incidência específica de 19,72 %. Quanto à presença de área urbanizada e/ou edificada em bacias de drenagem com alta suscetibilidade à geração de corrida de massa e/ou enxurrada, a Micro Região Bragantina apresenta 10,59 %, seguida pela Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte com 5,38 %. (Tabela 4).

Tabela 4. Incidência específica de classes de suscetibilidade a corrida de massa e/ou enxurrada na Macrometrópole Paulista, segundo a abrangência territorial e a sub-região. Fonte: IPT e CPRM.

Abrangência territorial	Sub-região (número de municípios)	Área total da sub-região (km ²)	Corrida de massa e enxurrada (a)		Enxurrada (b)		Total (a + b)	
			km ²	%	km ²	%	km ²	%
Área municipal	AUJ (7)	1.269,36	3,55	0,28	112,64	8,87	116,19	9,15
	AUP (23)	7.379,26	1,79	0,02	134,01	1,82	135,80	1,84
	MRB (10)	2.766,93	54,76	1,98	545,67	19,72	600,43	21,70
	RMBS (9)	2.417,51	293,86	12,16	264,67	10,95	558,53	23,10
	RMC (20)	3.792,97	0,00	0,00	7,48	0,20	7,48	0,20
	RMSP (39)	7.946,93	21,91	0,28	214,64	2,70	236,55	2,98
	RMS (27)	11.623,79	6,14	0,05	189,27	1,63	195,41	1,68
	RMVPLN (39)	16.163,15	1.617,46	10,01	2.076,32	12,85	3.693,78	22,85
Área municipal urbanizada e/ou edificada	AUJ (7)	299,96	0,05	0,02	3,30	1,10	3,35	1,12
	AUP (23)	544,93	0,00	0,00	1,65	0,30	1,65	0,30
	MRB (10)	278,96	1,79	0,64	27,75	9,95	29,54	10,59
	RMBS (9)	309,29	0,42	0,14	0,90	0,29	1,32	0,43
	RMC (20)	853,93	0,00	0,00	1,51	0,18	1,51	0,18
	RMSP (39)	2.333,97	0,18	0,01	9,68	0,41	9,86	0,42
	RMS (27)	1.064,93	0,00	0,00	2,71	0,25	2,71	0,25
	RMVPLN (39)	840,74	16,75	1,99	28,48	3,39	45,23	5,38

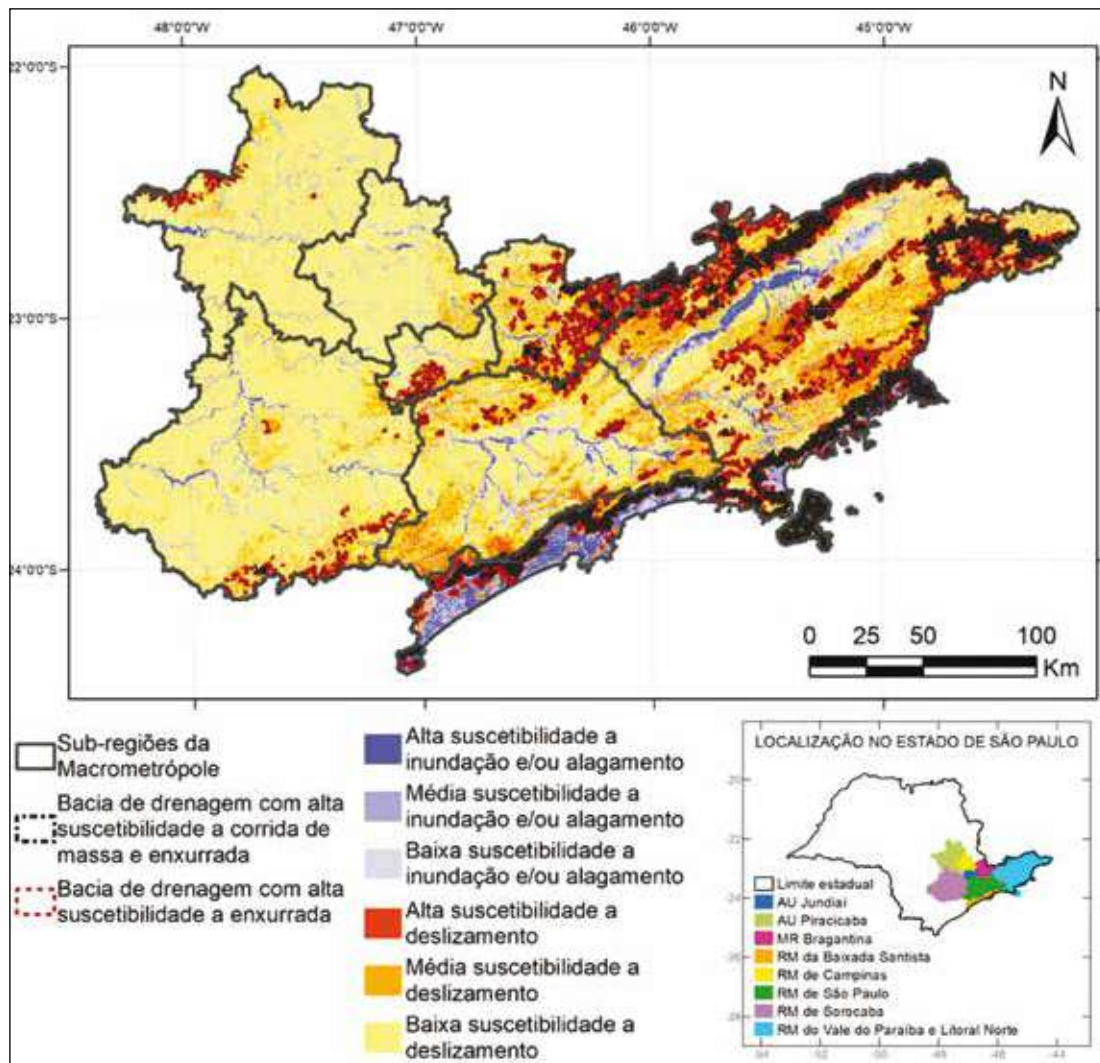
Siglas: AUJ-Aglomeracoo Urbana de Jundia; AUP-Aglomeracoo Urbana de Piracicaba; MRB-Micro Regioo Bragantina; RMC-Regioo Metropolitana de Campinas; RMS-Regioo Metropolitana de Sorocaba; RMSP-Regioo Metropolitana de São Paulo; RMBS-Regioo Metropolitana da Baixada Santista; e RMVPLN-Regioo Metropolitana do Vale do Paraiba e Litoral Norte.

Não obstante, convm mencionar que o valor atribudo a Micro Regioo Bragantina encontra-se bastante influenciado pela incidncia maior referente ao processo de enxurrada, considerado de forma isolada, enquanto o da Regioo Metropolitana do Vale do Paraiba e Litoral Norte se deve tambm  significativa extensão das áreas de bacias de drenagem que abrangem corrida de massa. Entretanto, deve-se alertar que esses dados não contemplam as áreas passveis de atingimento em um cenário de um possvel evento de corrida de massa e/ou de enxurrada deflagrado por chuvas intensas e/ou extremas, refletindo apenas as áreas onde esses processos tendem a ser gerados nessas ocasiões.

5.4 reas suscetveis ao conjunto de processos considerados

A sobreposioo da incidncia de áreas suscetveis a deslizamento, inundaoo e/ou alagamen-

to e a corrida de massa e/ou enxurrada, nas oito sub-regiões mapeadas na Macrometrópole Paulista, encontra-se na Figura 5. Entre outros aspectos, observa-se que a Regioo Metropolitana da Baixada Santista  a sub-regioo com incidncia maior de áreas municipais em zonas com alta suscetibilidade aos processos considerados, em proporoo ao seu território, seguida da Regioo Metropolitana do Vale do Paraiba e Litoral Norte, Regioo Metropolitana de São Paulo e Micro Regioo Bragantina. Por sua vez, a Regioo Metropolitana de Sorocaba e a Regioo Metropolitana de Campinas se apresentam como as de incidncia menor de áreas municipais em zonas com alta suscetibilidade aos processos considerados, enquanto a Aglomeracoo Urbana de Jundia e a Aglomeracoo Urbana de Piracicaba se mostram em posies intermediárias.

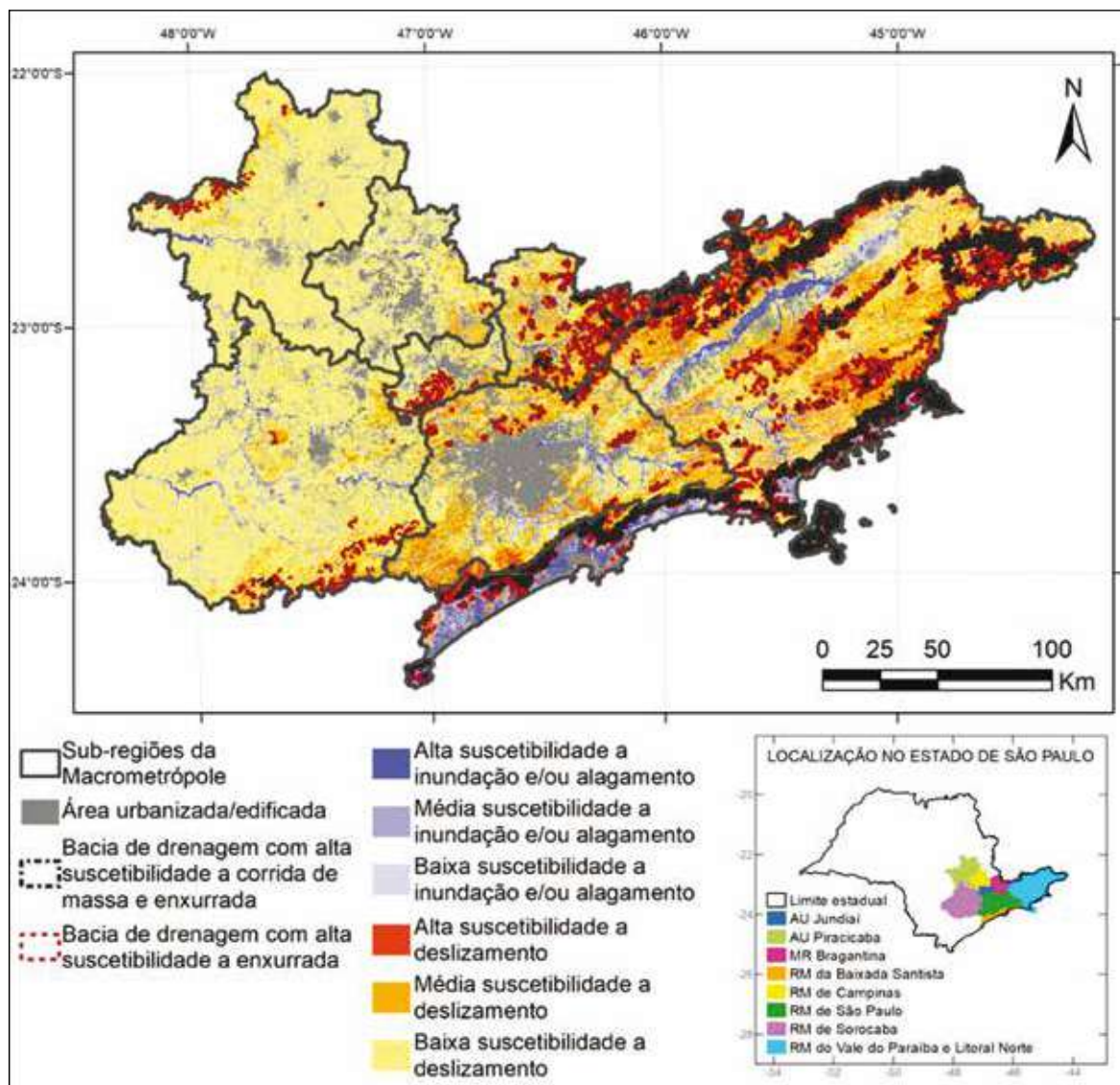


Siglas: AU-Aglomeração Urbana; MR-Micro Região; e RM- Região Metropolitana.

Figura 5. Ilustração da incidência geral de áreas suscetíveis a deslizamento, inundação e/ou alagamento e corrida de massa e/ou enxurrada na Macrometrópole Paulista. Fonte: IPT e CPRM.

Ao se abordar essa incidência em áreas urbanizadas e/ou edificadas (**Figura 6**) e compará-la em relação à Figura 5 anterior, na qual essa incidência não está representada, nota-se que grande parte delas se assenta sobre zonas com baixa suscetibilidade a deslizamento, pressupondo-se considerar que poucos problemas venham a ocorrer em relação ao uso e ocupação do solo. Entretanto, convém atentar para o fato de que, a depender

do modo pelo qual essa ocupação venha a se desenvolver, como se observa hoje em muitos casos onde se pode constatar o desacordo de obras em relação a boas práticas de engenharia, bem como desprovidas do conhecimento prévio acerca das suscetibilidades inerentes aos terrenos, podem ser geradas situações de perigo e risco em nível local, requerendo análises detalhadas visando gerir os prováveis problemas ocasionados.



Siglas: AU-Aglomeración Urbana; MR-Micro Região; e RM- Região Metropolitana.

Figura 6. Ilustração da incidência geral de áreas suscetíveis a deslizamento, inundação e/ou alagamento e corrida de massa e/ou enxurrada na Macrometrópole Paulista, incluindo-se as áreas urbanizadas e/ou edificadas. Fonte: IPT e CPRM.

De modo geral, considerando-se as sub-regiões mapeadas, observa-se na Figura 5 que o processo que apresenta incidência maior de áreas em zonas com alta suscetibilidade, em relação à soma das áreas municipais (urbanas e rurais), corresponde a deslizamento. No entanto, considerando-se apenas a área urbanizada e/ou edificada (Figura 6), ou seja, onde há populações residentes e variadas atividades sociais e econômicas em andamento, a incidência maior é de inundação e/ou alagamento. Somam-se a esse panorama as diferentes vulnerabilidades inerentes aos elementos expostos aos processos mapeados, que deverão

ser consideradas em eventuais análises de perigo e risco que venham a ser requeridas e que tendem a salientar os assentamentos humanos precários.

5.5 Considerações sobre a utilização das cartas de suscetibilidade

As cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações se destinam ao planejamento territorial e à prevenção de desastres, aplicáveis a planos diretores municipais e zoneamentos ecológico-econômicos, visando orientar a expansão urbana e evitar a edificação

em áreas mais suscetíveis, bem como subsidiar o licenciamento ambiental e a avaliação de impactos de empreendimentos de infraestrutura em âmbito local e regional. Ressalta-se que as cartas geradas não devem ser utilizadas para tomada de decisão em escala de projeto de engenharia, bem como para delimitação exata de zonas para fins de formulação de normas de uso e ocupação do solo em cada município, devido a sua escala de elaboração. Considera-se que as cartas devem ser revistas periodicamente, à medida que surjam novos conhecimentos acerca dos processos analisados e mapas temáticos correspondentes, em escalas compatíveis e/ou em bases cartográficas em escalas maiores para o município em questão.

A leitura da carta de suscetibilidade executada em escala 1:25.000, em vista de sua potencial aplicação ao planejamento territorial e urbano de um determinado município, deve inicialmente distinguir a incidência de áreas suscetíveis de acordo com a classe (alta, média ou baixa) e com o fato de haver áreas não ocupadas ou áreas ocupadas pela urbanização (que correspondem a áreas urbanizadas e/ou edificadas), uma vez que nestas últimas as suscetibilidades podem estar alteradas, para mais ou para menos, a depender das condições locais, particularmente em razão de prováveis efeitos geológico-geotécnicos e hidrológico-hidráulicos introduzidos pelas construções e sistemas de drenagem urbana instalados.

Desse modo, espera-se uma aplicação relativamente maior das cartas de suscetibilidade nas análises relacionadas a áreas não ocupadas pela urbanização, projetando-se, por um lado, a expansão urbana das cidades para zonas de baixas suscetibilidades e, por outro lado, a definição de áreas a proteger sob o ponto de vista ambiental e de atividades rurais em zonas de altas suscetibilidades aos processos considerados. No parcelamento do solo urbano (loteamento, desmembramento, conjunto habitacional e outros tipos), caso não se disponha de uma carta geotécnica de aptidão à urbanização, podem-se desenvolver diretrizes específicas a partir das cartas de suscetibilidade, de acordo com a classe incidente na área de interesse, explicitando-se o correspondente detalhamento dos estudos específicos de engenharia e ambientais a realizar em nível de projeto.

Não obstante, à medida que se identifiquem áreas de alta ou média suscetibilidade em coincidência com áreas urbanizadas e/ou edificadas, ou seja, em áreas ocupadas pela urbanização, há que se considerar, nessas situações, eventual necessidade de análises sistemáticas de perigo e risco a realizar em escala local e em nível de detalhe. Essas análises podem resultar na elaboração de cartas de setorização e classificação de risco, em escala 1:2.000 ou maior, assim como em planos de redução de risco, particularmente quando amparadas em evidências de instabilidades de terrenos ou mesmo em registros de ocorrências pretéritas acerca dos processos considerados no mapeamento, o que por si só pode representar uma contribuição relevante para fins de gestão municipal de riscos e prevenção de desastres. A construção de plataformas digitais para monitoramento contínuo do avanço da urbanização sobre áreas de altas suscetibilidades encontra-se nesse mesmo contexto de estudos mais detalhados que poderiam ser realizados.

Ainda, em vista da edição do Estatuto da Metrópole (Lei Federal 13.089/2015) e a obrigatoriedade de elaboração, pelos estados, do Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado (PDUI) das regiões metropolitanas e aglomerações urbanas do Brasil, tem-se que as cartas de suscetibilidade foram utilizadas na formulação do PDUI da Região Metropolitana de São Paulo, em 2017. Diante dessa experiência, bem como do subsequente compartilhamento de dados realizado durante os trabalhos de mapeamento com as equipes encarregadas do PDUI da Região Metropolitana da Baixada Santista, no mesmo ano, denota-se o potencial de aplicação das cartas de suscetibilidade ao contexto de planejamento regional das regiões metropolitanas e aglomerações urbanas do Brasil, bem como na elaboração da carta geotécnica de aptidão à urbanização, a ser realizada em escala de detalhe e em nível municipal.

As informações e os dados completos a respeito dos mapeamentos realizados na Macrometrópole Paulista estão disponíveis ao público e podem ser acessados nos portais e infraestruturas de bases espaciais da CPRM, CEPDEC/SP, Plataforma IPT Pró-Municípios e, ainda, nas infraestruturas de dados espaciais (IDEs) do Datageo da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente

(SIMA/SP) e do Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC)

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados gerais obtidos no mapeamento efetuado nos municípios e sub-regiões da Macrometrópole Paulista revelam um panorama geral sobre a distribuição territorial das zonas mais suscetíveis aos diferentes processos analisados, as quais devem merecer atenção especial nas atividades de planejamento territorial e de prevenção de desastres.

Em vista das áreas suscetíveis a deslizamento, a Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte e a Região Metropolitana da Baixada Santista se mostram como as sub-regiões que abrigam incidência relativamente maior de zonas com alta suscetibilidade, em proporção a seu território. Por outro lado, a Aglomeração Urbana de Piracicaba, Região Metropolitana de Campinas e Região Metropolitana de Sorocaba se destacam por apresentar incidência relativamente maior de zonas com baixa suscetibilidade a esse mesmo processo. A depender do município, os processos de rastejo e queda de rocha podem estar associados às classes de suscetibilidades a deslizamento.

No que diz respeito a inundações e/ou alagamentos, tendo em conta exclusivamente o domínio de relevo de planícies aluviais e/ou marinhas e terraços fluviais e/ou marinhos suscetíveis a ambos, observa-se a incidência maior de zonas com alta suscetibilidade ao longo da Região Metropolitana da Baixada Santista e da Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte. Nas demais sub-regiões se podem notar ocorrências mais restritas, excetuando-se o contexto dos principais rios presentes em cada uma delas. De maneira geral, o processo de alagamento mostra correspondência com as classes de suscetibilidade a inundação, uma vez que tendem a se salientar nas mesmas unidades de padrão de relevo consideradas no zoneamento.

Quanto a bacias de drenagem com alta suscetibilidade a corrida de massa e/ou enxurrada e apenas a enxurrada, observa-se incidência maior desse conjunto de processos em áreas de serras e adjacências situadas ao longo da faixa norte da

Região Metropolitana da Baixada Santista e nas porções alongadas situadas no sul e norte da Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte, que alcança a parte leste da Micro Região Bragantina. As porções sul da Aglomeração Urbana de Jundiá e sul da Região Metropolitana de Sorocaba denotam a incidência de bacias de drenagem particularmente suscetíveis apenas a enxurradas, assim como no oeste da Aglomeração Urbana de Piracicaba e norte da Região Metropolitana de São Paulo.

Nos dois primeiros contextos (áreas suscetíveis a deslizamento e eventualmente a rastejo e queda de rocha; e áreas suscetíveis a inundações e/ou alagamentos), considerando-se as especificidades das sub-regiões mapeadas, observa-se que o processo que apresenta incidência maior de zonas com alta suscetibilidade, em relação à soma das áreas municipais (urbanas e rurais) na Macrometrópole Paulista, corresponde a deslizamento. No entanto, considerando-se apenas a área urbanizada e/ou edificada, ou seja, terrenos onde há populações residentes e variadas atividades socioeconômicas em andamento, a incidência maior de zonas com alta suscetibilidade se refere a processos de inundação e/ou alagamento.

Sobre o conjunto de processos considerados, a Região Metropolitana da Baixada Santista se destaca como a que apresenta incidência relativamente maior de zonas com altas suscetibilidades em seu território, seguida da Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte, Região Metropolitana de São Paulo e Micro Região Bragantina. Por outro lado, a Região Metropolitana de Sorocaba e a Região Metropolitana de Campinas se apresentam com incidência relativamente menor de zonas com alta suscetibilidade a esse mesmo conjunto de processos, enquanto a Aglomeração Urbana de Jundiá e a Aglomeração Urbana de Piracicaba se mostram em posições intermediárias. Ao se analisar as áreas urbanizadas e/ou edificadas, observa-se que grande parte delas se assenta sobre zonas com baixa suscetibilidade a deslizamento. No entanto, a depender do modo de ocupação local, como em casos onde esta se realize em desacordo com as boas práticas de engenharia e, ainda, desprovida do necessário conhecimento prévio acerca das suscetibilidades inerentes aos terrenos em que as intervenções

venham a ser executadas, podem ser geradas situações de perigo e risco, requerendo abordagens detalhadas para gerir os problemas ocasionados.

Com a utilização das cartas de suscetibilidade no planejamento territorial e na prevenção de desastres, recomenda-se que as demandas e pressões acerca de expansão urbana nos municípios das sub-regiões da Macrometrópole Paulista mapeadas sejam dirigidas preferencialmente para zonas de baixa suscetibilidade, impondo-se aos municípios a gestão controlada das áreas situadas em zonas de média e de alta suscetibilidade, de modo a reduzir a possibilidade de geração de novas áreas de risco e a eventual ocorrência de desastres no futuro, bem como a definição de áreas a proteger sob o ponto de vista ambiental, sobretudo em zonas de altas suscetibilidades aos processos considerados. Por sua vez, as bacias de drenagem suscetíveis a corridas de massa e/ou enxurrada, que tendem a abrigar dinâmicas de grande energia e potencialmente mais destrutivas, devem ser objeto de estudos específicos e detalhados, focalizando as áreas ocupadas situadas em seu interior e também a jusante, analisando-se a probabilidade de atingimento em caso de ocorrência de um evento chuvoso intenso e/ou extremo. A construção de plataformas digitais para monitoramento contínuo do avanço da urbanização sobre áreas de altas suscetibilidades encontra-se nesse contexto de estudos mais detalhados a realizar.

Deve-se recomendar, ainda, conforme efetuado na Região Metropolitana de São Paulo, a utilização das cartas de suscetibilidade na elaboração do PDUI das demais sub-regiões da Macrometrópole Paulista e, nos casos em que haja disponibilidade prévia dessas cartas a todos os municípios envolvidos, também em outras regiões metropolitanas e aglomerações do ESP e do País.

AGRADECIMENTOS

Registram-se os agradecimentos a todos os colegas do IPT que colaboraram, direta ou indiretamente, na realização dos trabalhos de mapeamento sintetizados neste artigo, bem como às equipes da CPRM e da CEPDEC/SP, pela cooperação e apoio permanentes à execução das cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais

de massa e inundações. Ao IPT e à CPRM, também pelo apoio financeiro à realização contínua dos mapeamentos na Macrometrópole Paulista.

REFERÊNCIAS

BITAR, O. Y. (Coord.). Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações-1:25.000: Nota Técnica Explicativa. São Paulo: IPT; Brasília, DF: CPRM, 2014 (Publicação IPT 3016).

BITAR, O. Y.; SILVA, S. F. da. Breve panorama sobre a incidência de áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa e inundações em municípios das regiões Sul e Sudeste do Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, 9., 2015, Cuiabá. Anais ... Cuiabá: ABGE, 2015. 1 CD-ROM. 5p.

BITAR, O.Y.; CAMPOS, S.J.A.M.; MONTEIRO, A.C.M.C; ARGENTIN, P.M.; CORSI, A.C.; PAULON, N. Áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa e inundações nas regiões metropolitanas de São Paulo, Baixada Santista e Litoral Norte do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 16, 2018, São Paulo. Anais ... São Paulo: ABGE, 2018.

BITAR, O.Y. Desenvolvimento de cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações na Macrometrópole Paulista. In: FÓRUM DE GOVERNANÇA AMBIENTAL DA MACROMETRÓPOLE PAULISTA CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 1, 2019, São Paulo. Anais ... São Paulo: IEE/USP, 2019.

BRASIL. 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; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nos 12.340, de 1º de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de

1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 11 abr. 2012.

BRASIL. Governo Federal. Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais - PNGRRDN. [S.l.]. Disponível em: <<http://www.pac.gov.br/pub/up/relatorio/d0d2a5b-6f24df2fea75e7f5401c70e0d.pdf>>. Acesso em: set. 2013.

BRESSANI, L. A.; COSTA, E. A da. Mapeamento geotécnico: suscetibilidade, perigo, vulnerabilidade técnica, risco e risco instalado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 14, 2013, Rio de Janeiro. Anais ... Rio de Janeiro: ABGE, 2013. 1 CD-ROM.

CPRM. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Cartas de suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Prevencao-de-Desastres/Produtos-por-Estado---Cartas-de-Suscetibilidade-a-Movimentos-Gravitacionais-de-Massa-e-Inundacoes-5384.html>. Acesso em: jul. 2021.

COUTINHO, R. Q. (Coord. e Org.). Parâmetros para a cartografia geotécnica e diretrizes para medidas de intervenção de áreas sujeitas a desastres naturais. Recife: Ministério das Cidades; Universidade Federal de Pernambuco; Grupo de Engenharia Geotécnica de Encostas e Planícies - GE-GEP; DECivil, 2013. 376 p. (Documento Técnico).

DINIZ, N. C. Cartografia geotécnica por classificação de unidades de terreno e avaliação de suscetibilidade e aptidão. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, v. 2, n. 1, 2012. p.29-77.

EMPLASA - EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO. Macrometrópole Paulista. Disponível em: <https://www.emplasa.sp.gov.br/MMP>. Acesso em: 8/1/2018.

FELL, R. et al. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. Engineering Geology, v. 102, p. 83-111, 2008.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Guia Cartas geotécnicas [livro eletrônico] :orientações básicas aos municípios / autores e organizadores Omar Yazbek Bitar, Carlos Geraldo Luz de Freitas, Eduardo Soares de Macedo. -- São Paulo : IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2015. 28p. (IPT Publicação 3022).

JULIÃO, R. P. (Coord.) et al. Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de base municipal. Lisboa: Autoridade Nacional de Protecção Civil; Direcção-Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano; Instituto Geográfico Português, 2009. Disponível em: <<http://www.dgotdu.pt/detail.aspx?channelID=85E8AD30-00F8-417E-9F12-EBFAFE6A5B4&contentId=3B54E44B-603C-4445-8C8A-ECC879127CEE>>. Acesso em: 17 set. 2013.

MACEDO, E. S.; BRESSANI, L. A. (Org.). Diretrizes para o zoneamento da suscetibilidade, perigo e risco de deslizamentos para planejamento do uso do solo. São Paulo: ABGE; ABMS, 2013. 88 p.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Capacitação em mapeamento e gerenciamento de risco. [S.l.]. Disponível em: <<http://www.defesacivil.mg.gov.br/conteudo/arquivos/manuais/Mapeamento/mapeamento-grafica.pdf>>. Acesso em: 9 set. 2013.

PINTO, E. J. de A. Metodologia para definição das equações Intensidade-Duração-Frequência do Projeto Atlas Pluviométrico. Belo Horizonte: CPRM, 2013.

RENNÓ, C. D. et al. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM; Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. Remote Sensing of Environment, v. 112, p. 3469-3481, 2008.

SILVA, S. F. da; BITAR, O. Y. Incidência de áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa e inundações em municípios abrangidos pelo Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental. V.4, n.2, 2014, p.95-108.

SILVA, S. F. da; BITAR, O. Y. Aplicabilidade dos métodos de mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa e inundações em distintas regiões do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 15, 2015, Bento Gonçalves. Anais ... Bento Gonçalves: ABGE, 2015. 1 CD-ROM.

SOBREIRA, F. G.; SOUZA, L. A. de. Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, V.2, n.1, 2012, p.79-97.

WILFORD, D. J. et al. Recognition of debris flow, debris flood and flood hazard through watershed morphometrics. Landslides, v. 1, p. 61-66, 2004.