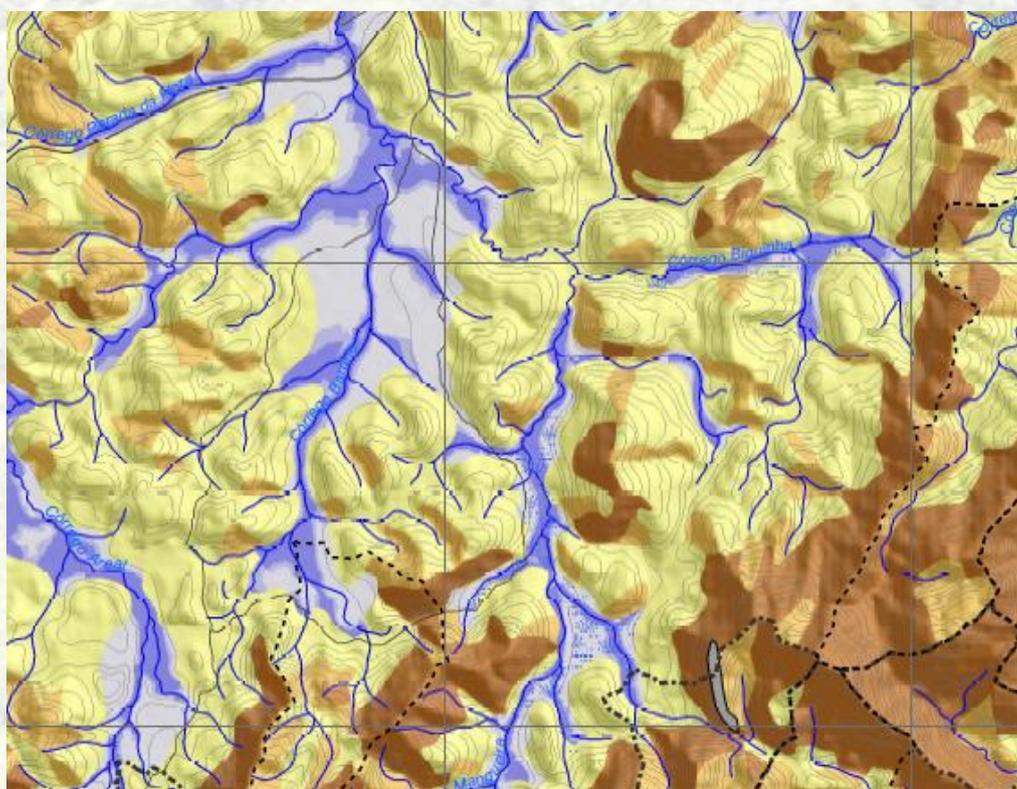


CARTAS DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA E INUNDAÇÕES - 1:25.000

NOTA TÉCNICA EXPLICATIVA



**GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO, CIÊNCIA,
TECNOLOGIA E INOVAÇÃO**

GOVERNADOR
Geraldo Alckmin

**SECRETÁRIO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO, CIÊNCIA,
TECNOLOGIA E INOVAÇÃO**
Rodrigo Garcia

**INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO
DIRETOR PRESIDENTE**
Fernando José Gomes Landgraf

DIRETOR FINANCEIRO E ADMINISTRATIVO
Altamiro Francisco da Silva

DIRETOR DE OPERAÇÕES E NEGÓCIOS
Carlos Daher Padovezi

DIRETORA DE INOVAÇÃO
Zehbour Panossian

DIRETOR DE PESSOAS E SISTEMAS
Eduardo Antunes Lemes

CENTRO DE TECNOLOGIAS GEOAMBIENTAIS
Antonio Gimenez Filho

Laboratório de Recursos Hídricos e Avaliação Geoambiental
José Luiz Albuquerque Filho

Laboratório de Riscos Ambientais
Geraldo Figueiredo Carvalho Gama Jr.

CENTRO DE TECNOLOGIA DE OBRAS DE INFRAESTRUTURA
José Maria de Camargo Barros

Seção de Geotecnia
Ronaldo Rocha

Seção de Recursos Minerais e Tecnologia Cerâmica
Edson Del Monte

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO
MINERAL**

MINISTRO DE ESTADO
Edison Lobão

SECRETARIA EXECUTIVA
Márcio Pereira Zimmermann

**SECRETÁRIO DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO
MINERAL**
Carlos Nogueira da Costa Júnior

**CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL
DIRETOR-PRESIDENTE**
Manoel Barretto da Rocha Neto

DIRETOR DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL
Thales de Queiroz Sampaio

DIRETOR DE GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS
Roberto Ventura Santos

DIRETOR DE RELAÇÕES INSTITUCIONAIS E DESENVOLVIMENTO
Antônio Carlos Bacelar Nunes

DIRETOR DE ADMINISTRAÇÃO E FINANÇAS
Eduardo Santa Helena da Silva

Departamento de Gestão Territorial
Cassio Roberto da Silva

Departamento de Hidrologia
Frederico Cláudio Peixinho

**Coordenação Nacional do Projeto de Mapeamento de Áreas
Suscetíveis**
Sandra Fernandes da Silva

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)**

Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações : 1:25.000 (livro eletrônico): nota técnica explicativa / coordenação Omar Yazbek Bitar. -- São Paulo : IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo ; Brasília, DF : CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2014. - (Publicação IPT ; 3016) 5 Mb ; PDF

Vários colaboradores.
Bibliografia.
ISBN 978-85-09-00177-3 (IPT)

1. Brasil - Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) 2. Desastres naturais - Prevenção 3. Geotecnia 4. Mapeamento geológico 5. Municípios - Mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa e inundações. I. Bitar, Omar Yazbek. II. Série.

14-02886

CDD-551

Índices para catálogo sistemático:

1. Cartas de suscetibilidade a processos do meio físico que podem gerar desastres naturais: Cartas geotécnicas : Ciências da terra 551

CARTAS DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA E INUNDAÇÕES - 1:25.000

NOTA TÉCNICA EXPLICATIVA

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO

EQUIPE TÉCNICA

Coordenação

Omar Yazbek Bitar

Elaboração

Agostinho Tadashi Ogura
Alessandra Cristina Corsi
Alessandra Gonçalves Siqueira
Álvaro Camargo Kopezynski
Ana Candida Melo Cavani Monteiro
Ana Clara Cerminaro
Ana Maciel de Carvalho
Ana Maria de Azevedo Dantas Marins
André Luiz Ferreira
Antonio José Catib Baladore
Benedito Nachbal
Caio Pompeu Cavalhieri
Carlos Geraldo Luz de Freitas
Carlos Tadeu de Carvalho Gamba
Caroline Quina dos Santos Kerestes
Deborah Terrell
Fabricio Araújo Mirandola
Fausto Luis Stefani
Fernando Fernandez
Guilherme de Paula Santos Cortez
Kátia Canil
Lauro Kazumi Dehira
Lizandra Luz Callegon
Luiz Gustavo Faccini
Marcelo Fischer Gramani
Maria Cristina Jacinto de Almeida
Nádia Franqueiro Correa
Nivaldo Paulon
Pedro de Paula Youssef
Priscila Ikematsu
Priscilla Moreira Argentin
Rodrigo Augusto Stabile
Sofia Júlia Alves Macedo Campos
Tania de Oliveira Braga
Zeno Hellmeister Junior

Colaboração

Aline Fernandes Heleno
Amarilis Lúcia Casteli Figueiredo Gallardo
Claudio Luiz Ridente Gomes
Eduardo Soares de Macedo
Gerson Salviano de Almeida
José Luiz Albuquerque Filho
Roberto Tadao Pinho Sakate
Sérgio Gouveia de Azevedo

Apoio Administrativo

Amine Mustafe Schneck Ferreira
Rosangela Aparecida Carelli Correia
Susi Ferreira

Figura da capa: trecho de uma carta síntese de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	2
3. CONCEITOS BÁSICOS	3
4. PROCESSOS ANALISADOS	5
4.1 Movimentos gravitacionais de massa	5
4.2 Processos hidrológicos	6
4.3 Fatores predisponentes	7
5. MÉTODOS E PROCEDIMENTOS	8
5.1 Compilação bibliográfica e estruturação da Base de Dados	10
5.1.1 Padrões de Relevo	12
5.1.2 Área urbanizada e sistema viário	12
5.1.3 Isoietas, hietogramas e equações IDF	13
5.2 Análise, classificação e zoneamento das suscetibilidades	14
5.2.1 Deslizamentos	15
5.2.2 Inundações	18
5.2.3 Corridas de massa e enxurradas	23
5.2.4 Elaboração dos quadros-legenda	24
5.3 Fotointerpretação de feições associadas a processos	26
5.3.1 Cicatriz de deslizamento recente	28
5.3.2 Ravina e boçoroca	28
5.3.3 Campo de blocos rochosos	28
5.3.4 Depósito de acumulação em sopé e/ou meia encosta	28
5.3.5 Paredão, lajeado e costão rochoso	29
5.3.6 Alagado e área úmida	29
5.4 Composição do pré-mapa de suscetibilidade	29
5.5 Verificação e validação de campo	30
5.5.1 Preparação das atividades de campo	30
5.5.2 Execução das atividades de campo	31
5.6 Revisão do pré-mapa e consolidação da carta síntese	32
6. LEITURA E USO DA CARTA SÍNTESE	32
6.1 Mapas temáticos	33
6.2 Dados de chuvas	33
6.3 Zoneamento das suscetibilidades e legendas	33
6.3.1 Movimentos gravitacionais de massa	34
6.3.2 Inundações	35
6.3.3 Corridas de massa e enxurradas	36
6.3.4 Feições e processos correlatos	37
6.4 Informações gerais	38
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
AGRADECIMENTOS	39
REFERÊNCIAS	39

Marca d'água: trecho da foto da Figura 4.4, ampliado e atenuado.

1. INTRODUÇÃO

Esta Nota Técnica Explicativa se refere às cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações elaboradas em atenção a diretrizes da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), estabelecida pela Lei Federal 12.608/2012 (BRASIL, 2012). As cartas indicam áreas suscetíveis a fenômenos e processos do meio físico cuja dinâmica pode gerar desastres naturais. A elaboração das cartas de suscetibilidade encontra-se sob a coordenação nacional do Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

Dirigida especialmente a municípios sujeitos a desastres naturais associados a processos como deslizamentos, corridas de massa, inundações e enxurradas, a PNPDEC contempla, entre seus princípios fundamentais, as ações de mapeamento e prevenção, bem como sua integração às demais políticas setoriais, como as de ordenamento territorial, desenvolvimento urbano e meio ambiente, entre outras, tendo em vista a promoção do desenvolvimento sustentável no País.

Um dos objetivos centrais da PNPDEC é o de promover a identificação e avaliação das ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades, de modo a evitar ou reduzir a ocorrência de desastres (Artigo 5º). A Lei determina a criação de um cadastro nacional de municípios com áreas suscetíveis a deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos (Artigo 6º) e inclui o mapeamento dessas áreas entre as ferramentas essenciais à prevenção de desastres (Artigo 22º). As outras ferramentas municipais apontadas na Lei, para as quais o mapeamento de áreas suscetíveis constitui subsídio fundamental, são: plano de contingência de proteção e defesa civil; plano de implantação de obras e serviços; mecanismos de controle e fiscalização; e carta geotécnica de aptidão à urbanização. Em particular, a Lei especifica que os mecanismos de controle e fiscalização se destinam a evitar a edificação em áreas suscetíveis, o que pressupõe conhecer previamente a localização dessas áreas.

Além disso, o plano diretor municipal deve conter as áreas suscetíveis (Artigo 26º) e a

aprovação de novos projetos de parcelamento do solo urbano fica vinculada ao atendimento dos requisitos contidos na carta geotécnica de aptidão à urbanização (Artigo 27º), cuja elaboração também requer o mapeamento prévio das suscetibilidades a processos do meio físico.

A elaboração das cartas de suscetibilidade abordadas nesta Nota está prevista no Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais (PNGRRDN), lançado em agosto de 2012 (BRASIL, 2013). O objeto do PNGRRDN compreende o conjunto de municípios incluídos no cadastro nacional estabelecido pela PNPDEC, inicialmente com 821 municípios. As ações correspondentes foram contempladas no Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) e no Plano Plurianual do Governo Federal (PPA 2012-2015), prevendo-se a execução das cartas de suscetibilidade em 286 municípios nos anos de 2013 e 2014. Na sequência, outros municípios incluídos no cadastro nacional também deverão ser objeto de mapeamento.

De fato, o conhecimento prévio das suscetibilidades dos terrenos à geração e desenvolvimento de fenômenos e processos do meio físico cuja dinâmica pode ocasionar desastres naturais é de grande importância aos municípios, contribuindo para o planejamento do uso e ocupação do solo, controle da expansão urbana, avaliação de cenários potenciais de riscos e, ainda, no âmbito regional, auxiliar na elaboração de zoneamentos ecológico-econômicos. A caracterização do grau de suscetibilidade a determinado processo do meio físico em uma área específica deve impor as correspondentes medidas de restrição à ocupação, de modo a evitar a formação de novas áreas de risco, bem como induzir o desenvolvimento de normas técnicas e práticas que possam assegurar o uso adequado do solo em áreas não ocupadas e fomentar ações voltadas à redução de riscos em áreas ocupadas, especialmente nas urbanizadas.

Para o desenvolvimento metodológico das cartas de suscetibilidade a processos do meio físico que podem gerar desastres naturais, estabeleceu-se, em maio de 2013, parceria técnica

entre a CPRM e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), inicialmente com o mapeamento de 75 municípios situados nos estados de Espírito Santo, Santa Catarina e São Paulo, na escala geográfica de referência 1:25.000. Os processos do meio físico analisados compreendem os principais tipos de movimentos gravitacionais de massa (deslizamentos; rastejos; quedas, tombamentos, deslocamentos e rolamentos de rochas; e corridas de massa) e de processos hidrológicos (inundações e enxurradas), os quais estão frequentemente associados a desastres naturais ocorridos no País.

Considerando a representatividade territorial dos processos analisados, ante a escala de referência estabelecida, adotou-se, para fins de edição final do produto cartográfico de síntese, a denominação *carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações*. Essa opção se deve ao fato de que a maior parte dos terrenos suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa analisados mostra-se compatível no que se refere a sua expressão em área, enquanto que, no caso dos processos hidrológicos, isso se verifica especialmente em relação às inundações, aspecto que motiva o destaque na denominação. Não obstante, dados e informações sobre todos os processos analisados encontram-se incluídos nos produtos finais dos trabalhos realizados.

A premissa para a realização do mapeamento de áreas suscetíveis compreende a necessidade de elaboração de um modelo básico aplicável em nível nacional, com as adaptações necessárias a cada região, bem como em condições de propiciar a comparabilidade entre os municípios mapeados, de modo a subsidiar a formulação e implantação de políticas públicas municipais, estaduais e federais voltadas à prevenção de desastres naturais.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral dos trabalhos de mapeamento de áreas suscetíveis apresentados nesta Nota é o de estabelecer bases tecnológicas para o desenvolvimento contínuo de um modelo

integrado e atualizável de produção de cartas de suscetibilidade a processos do meio físico que podem gerar desastres naturais. Visa-se, sobretudo, instrumentalizar as prefeituras municipais em suas ações de planejamento e gestão territorial e de prevenção de desastres naturais.

Entre os objetivos específicos dos trabalhos de mapeamento de áreas suscetíveis, destacam-se:

- a) Gerar cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e a processos hidrológicos para os municípios mapeados, tanto em relação às áreas não ocupadas quanto às ocupadas, em bases cartográficas similares e em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), integrando todos os dados obtidos em uma Base de Dados;
- b) Sintetizar os principais resultados do mapeamento em um documento cartográfico para cada município, denominado carta síntese, contendo o zoneamento das suscetibilidades e outras informações correlatas de interesse, apresentado em linguagem acessível a um público o mais amplo possível;
- c) Salientar as suscetibilidades incidentes nas áreas urbanizadas e/ou edificadas, que correspondem aos locais onde se concentra a maior parte das populações residentes, as quais podem estar sujeitas aos processos abordados;
- d) Estabelecer indicadores que forneçam uma estimativa da magnitude dessa incidência em relação às populações residentes e facilitem a comunicação com os tomadores de decisão e as comunidades envolvidas, acerca da priorização de ações preventivas a realizar; e
- e) Editar os produtos cartográficos gerados em formato digital, para disponibilização aos municípios, de modo a que possam ser utilizados como subsídio à revisão de planos diretores, bem como à elaboração de cartas geotécnicas de aptidão urbana e de áreas de risco, entre outros instrumentos de planejamento e gestão territorial.

3. CONCEITOS BÁSICOS

No âmbito das geociências aplicadas, a acepção do termo *suscetibilidade* (*susceptibility*, em língua inglesa) pode ser sintetizada como a predisposição ou propensão dos terrenos ao desenvolvimento de um fenômeno ou processo do meio físico (FELL *et al.*, 2008; JULIÃO *et al.*, 2009; SOBREIRA e SOUZA, 2012; DINIZ, 2012; COUTINHO, 2013; BRESSANI e COSTA, 2013; MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2013).

Uma área cujos terrenos apresentam características que tendem a favorecer, por exemplo, a ocorrência de deslizamentos, como o predomínio de declividade alta, pode ser considerada propensa a esse tipo de processo, independente de previsão acerca de quando poderá ocorrer um evento e tampouco do grau de certeza atribuível a essa possibilidade. A declividade se salienta, então, como um dos fatores predisponentes ao desenvolvimento do processo e, por essa razão, passível de inclusão entre os parâmetros necessários à análise de suscetibilidade. Evidencia-se, assim, o vínculo entre fatores predisponentes e propensão dos terrenos a processos, base para a compreensão e aplicação do conceito de suscetibilidade.

Cabe distinguir outros termos usualmente empregados na prevenção de desastres naturais, como o de *ameaça*, que corresponde ao fenômeno ou processo do meio físico cuja dinâmica pode gerar consequências negativas (perdas e danos) em relação aos elementos expostos (pessoas, edificações, infraestrutura, bens materiais, serviços, recursos naturais). A caracterização da ameaça, existente ou potencial, não inclui qualquer tipo de previsão (FELL *et al.*, 2008; MACEDO e BRESSANI, 2013).

Por sua vez, as consequências de um evento dependem da *vulnerabilidade* dos elementos expostos, representada por um fator denominado grau de perdas e danos, variável entre 0 (sem perdas e danos) e 1 (com perdas e danos totais). A capacidade do evento para geração de perdas e danos é comumente denominada *severidade*, avaliada por meio de parâmetros relativos à magnitude do evento, como volume, velocidade, trajetória e área atingida (JULIÃO *et al.*, 2009).

O termo *perigo* expressa uma condição com potencial para causar consequências negativas em um dado período ou intervalo de tempo (FELL *et al.*, 2008; MACEDO e BRESSANI, 2013). Na literatura internacional, encontra correspondência com o termo *hazard* e sua qualificação é por vezes denominada *periculosidade* ou *perigosidade* (JULIÃO *et al.*, 2009). Associa-se ao conceito de ameaça (HERMELIN, 2005; CARDONA *et al.* 2010).

Risco corresponde a uma medida da ameaça e das consequências (financeiras, bens, vidas) que esta poderá causar num dado intervalo de tempo. A estimativa de risco integra as análises de perigo/perigosidade e de consequências, incluindo nesta última a vulnerabilidade dos elementos expostos (CERRI e AMARAL, 1998; CARVALHO e GALVÃO, 2006; CARVALHO, MACEDO e OGURA, 2007; FELL *et al.*, 2008; JULIÃO *et al.*, 2009; MACEDO e BRESSANI, 2013).

A relação entre os termos pode ser ilustrada em uma dada área a partir da delimitação das zonas de suscetibilidade e de ocupação (área urbanizada, por exemplo). A intersecção define a zona de elementos expostos, a qual deve ser objeto de análises específicas em relação a perigo e risco (Figura 3.1).

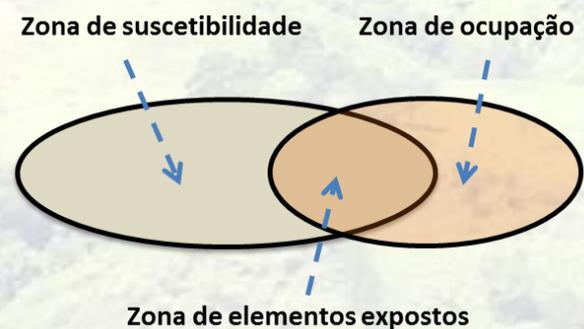


Figura 3.1 – Localização da zona de elementos expostos. Fonte: modificado de Julião *et al.* (2009).

O significado de *desastre natural* encontra-se difundido por agência da Organização das Nações Unidas (ONU), denominada Estratégia das Nações Unidas para a Redução de Desastres (*United Nations International Strategy for Disaster Reduction* - UNISDR, 2009). Aplica-se a situações de ruptura do funcionamento normal de um dado contexto socioeconômico, local ou regional, decorrentes de eventos associados a fenômenos

ou processos naturais, cujas consequências alcançam dimensões que superam a capacidade das comunidades afetadas em recuperar o ambiente impactado com recursos próprios, sendo necessário recorrer à ajuda externa.

Destaca-se, ainda, o termo *resiliência*, cada vez mais utilizado em estudos sobre desastres naturais para expressar a capacidade de uma comunidade exposta ao perigo e ao risco em resistir, absorver, adaptar-se e recuperar-se dos efeitos de um evento, em tempo adequado e de forma eficaz, o que inclui a preservação e a restauração de suas estruturas e funções básicas (UNISDR, 2009). A resiliência está diretamente associada às ações de gestão de risco executadas pela comunidade (população e setores público e privado), uma vez que essa capacidade tende a ser construída por meio do desenvolvimento de requisitos fundamentais, como: conhecimento das áreas de risco (expresso, por exemplo, em cartas de risco); existência de diretrizes organizadas em documentos oficiais, como plano diretor municipal e plano de defesa civil; organização do poder público no âmbito de uma coordenadoria municipal de defesa civil; organização da população em núcleos comunitários de defesa civil; organização conjunta população/poder público por meio de conselhos ou comitês locais de defesa civil; existência de sistemas de alerta; existência de infraestrutura de abrigo provisório; e existência de hospitais próximos às áreas de risco, preparados para contingências.

Considerando-se as referências citadas, sintetizam-se a seguir os conceitos utilizados:

- **Suscetibilidade:** propensão ao desenvolvimento de um fenômeno ou processo em uma dada área;
- **Ameaça:** fenômeno ou processo cuja dinâmica pode gerar consequências negativas (perdas e danos) em relação aos elementos expostos;
- **Vulnerabilidade:** grau de perdas e danos associados aos elementos expostos (0 a 1); quanto maior o grau, maior a vulnerabilidade;
- **Severidade:** capacidade de um evento para a geração de perdas e danos; magnitude do evento;
- **Perigo:** condição com potencial para a geração de perdas e danos num dado período de tempo; periculosidade ou perigosidade;

- **Risco:** uma medida da ameaça e das consequências (financeiras, bens, vidas) que esta poderá causar num dado intervalo de tempo;
- **Desastre natural:** ruptura da dinâmica socioeconômica decorrente de evento associado a fenômeno ou processo natural; e
- **Resiliência:** capacidade da comunidade exposta ao perigo e ao risco em recuperar-se das consequências de um desastre natural.

Para os trabalhos de mapeamento, dado o objetivo de construir bases tecnológicas para o desenvolvimento de um modelo de abordagem, considera-se que a suscetibilidade pode ser inicialmente analisada por meio de fatores predisponentes intrínsecos à natureza dos terrenos. Nesse âmbito, ainda que uma área tenha sido modificada em relação a suas características, seja pela urbanização ou por outros tipos de intervenções e, dessa forma, passe a favorecer ou desfavorecer o desenvolvimento de processos do meio físico, pressupõe-se que os fatores predisponentes podem ainda estar presentes e, portanto, devem ser considerados para fins de planejamento e gestão territorial.

Trata-se, assim, de abordagem apoiada no conhecimento de fatores predisponentes básicos e a análise correspondente procura contribuir na formulação de respostas à pergunta “onde pode ocorrer?”, que se refere às áreas em que há características relativamente mais favoráveis ao desenvolvimento de determinado processo, enquanto estudos como os de vulnerabilidade, severidade, perigo, consequências e risco, buscam atender questões acerca de “como e quando pode ocorrer?” e, ainda, sobre “quais seriam as consequências?”.

Dessa forma, as análises de suscetibilidade explicitadas nesta Nota referem-se à indicação de áreas propensas ao desenvolvimento de processos do meio físico que podem gerar desastres naturais, em face da presença de fatores predisponentes básicos em terrenos ocupados e não ocupados. Portanto, não inclui qualquer tipo de análise acerca de perigo ou risco. Nesse contexto, as áreas propensas indicadas correspondem às áreas suscetíveis, assim denominadas no âmbito da PNPDEC.

4. PROCESSOS ANALISADOS

A definição da tipologia de processos do meio físico a analisar para fins de mapeamento de áreas suscetíveis se fundamenta na potencialidade para a geração de desastres naturais, de acordo com registros históricos disponíveis no País. Para isso, utilizam-se classificações básicas encontradas em manuais técnicos e publicações de síntese, como os de Guidicini e Nieble (1976), Cunha *et al.* (1991), Augusto Filho (1992), Infanti Júnior e Fornasari Filho (1998), Carvalho, Macedo e Ogura (2007), Highland e Bobrowsky (2008), Tominaga, Santoro e Amaral (2009), Santos (2012), Bressani (2013) e Ministério das Cidades (2013), distinguindo-se, então, dois grupos principais: os movimentos gravitacionais de massa; e os processos hidrológicos.

4.1 Movimentos gravitacionais de massa

Os movimentos gravitacionais de massa analisados para fins de mapeamento de áreas suscetíveis, envolvendo solos e rochas, são:

- Deslizamento (*landslide*): movimento caracterizado por velocidade alta, que se desenvolve comumente em encostas com declividade e amplitude média a alta e segundo superfície de ruptura planar (translacional), circular (rotacional) ou em cunha (acompanhando planos de fragilidade estrutural dos maciços terrosos ou rochosos). É geralmente deflagrado por eventos de chuvas de alta intensidade ou com elevados índices pluviométricos acumulados, condicionados por fatores predisponentes intrínsecos aos terrenos. O processo é também denominado *escorregamento* (**Figura 4.1**);



Figura 4.1 - Deslizamento de solo em área não ocupada, Guaratinguetá, SP. Foto: IPT/CTGeo.

- Rastejo (*creep*): movimento relativamente lento quando comparado ao processo de deslizamento, que pode ocorrer mesmo em terrenos com baixas declividades, como colúvios ou tálus em depósitos de sopé e/ou meia encosta. O deslocamento lento da massa possibilita detectar previamente a presença de feições de instabilização, como trincas no solo, degraus de abatimento, deformações na superfície e surgências d'água na base da encosta. Pode ser deflagrado por eventos de chuvas de longa duração e altos índices pluviométricos acumulados, que acarretam a elevação progressiva do nível d'água subterrâneo e tendem a instabilizar os terrenos. Desenvolve-se segundo superfícies de ruptura irregulares e pode ser acelerado por intervenções humanas efetuadas no sopé da encosta afetada. Pode ocorrer de modo isolado ou associado a deslizamento (**Figura 4.2**);

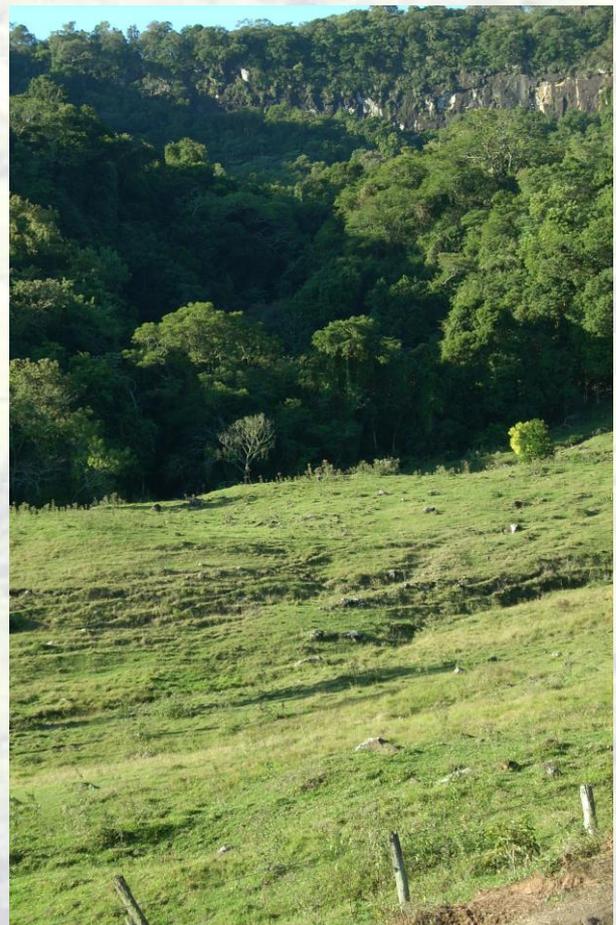


Figura 4.2 – Área afetada por rastejo em terrenos de baixa declividade (em primeiro plano), notando-se a presença de rupturas na superfície do solo - Igrejinha, RS. Foto: L. A. Bressani.

- Queda de rocha (*rock fall*): movimento geralmente abrupto de blocos e matacões rochosos, que se desprendem de encostas íngremes, paredões rochosos ou falésias. Tem como principais fatores predisponentes as descontinuidades litológico-estruturais dos maciços rochosos e a ação do intemperismo físico-químico, podendo ser deflagrado por eventos chuvosos. O material movimentado pode quebrar com o impacto e rolar pela superfície da encosta, até encontrar obstáculo ou atingir terreno plano. A velocidade, trajetória e alcance podem variar muito, pois dependem de fatores diversos, como a declividade da encosta e a forma e dimensão do material mobilizado. Envolve principalmente quedas livres, rolamentos, tombamentos e deslocamentos de rochas (**Figura 4.3**).



Figura 4.3 – Área afetada por queda de rocha em encosta – região serrana, RJ. Foto: IPT/CTGeo.

- Corrida de massa (*debris flow*): movimento de massa complexo e com alta energia de transporte, caracterizado por fluxos concentrados de blocos rochosos e troncos vegetais imersos em matriz com alta concentração de sedimentos de diferentes granulometrias, provenientes da ocorrência de deslizamentos nas encostas e do retrabalhamento de depósitos antigos situados ao longo de cursos d'água. Pode ser deflagrado por eventos de chuvas de alta intensidade, gerados nas porções superiores das encostas em bacias de drenagem serranas e restritas. Os materiais mobilizados podem alcançar áreas planas e distantes situadas a jusante. Por sua alta energia de escoamento e elevada concentração de sólidos, bem como por seu amplo raio de alcance,

configura o tipo de movimento gravitacional de massa com maior potencial de impacto destrutivo. Inclui enxurradas associadas, geralmente no início e fim do processo, na forma de “enchente suja”, assim denominada em razão de sua alta carga de sedimentos (**Figura 4.4**).



Figura 4.4 – Bacia de drenagem afetada por deslizamentos (notar cicatrizes nas encostas, ao fundo) e corrida de massa (em primeiro plano, ao longo da drenagem principal) - Itaoca, SP. Foto: IPT/CTGeo.

4.2 Processos hidrológicos

Os processos hidrológicos analisados para fins de mapeamento de áreas suscetíveis são:

- Inundação (*flooding*): atingimento e submersão da planície aluvial pelo transbordamento das águas do canal principal do rio (*river flooding*), devido à evolução do processo de enchente ou cheia (*flood*). Caracteriza-se pela elevação temporária do nível d'água relativo ao leito regular do canal em uma dada bacia de drenagem, comumente em razão do acréscimo de vazão d'água ocasionado por eventos chuvosos de longa duração e elevados índices pluviométricos acumulados. Os excessos d'água podem alcançar a planície aluvial atual (leito menor, várzea) e os terraços fluviais antigos (leito maior), topograficamente alçados em relação à cota da planície aluvial atual, bem como outros terrenos mais elevados, situados em flancos de encostas adjacentes (**Figura 4.5**). Em terrenos ligados a processos litorâneos, sob influência regular de marés, como mangues, praias, planícies costeiras e terraços marinhos, configura-se a inundação costeira (*coastal flooding*), a qual tende a atuar em conjunto com os processos de origem

continental e, assim, determinar a suscetibilidade geral a inundações nessas áreas.



Figura 4.5 – Área afetada por inundação, em primeiro plano. Notar extravasamento das águas do rio, com alta carga de sedimentos – Itajaí, SC. Foto: IPT/CTGeo.

- **Enxurrada (*flash flood*):** enchente ou inundação brusca e de curta duração, desenvolvida em bacias de drenagem restritas no contexto de relevo serrano ou morros altos, por ocasião de chuvas intensas. Caracteriza-se por alta energia de transporte e capacidade de arraste, com elevado potencial de impacto destrutivo. Pode induzir a instabilização e solapamento de taludes marginais ao longo do curso d'água (**Figura 4.6**).



Figura 4.6 - Área afetada por enxurrada ao longo do canal do rio. Notar solapamento de taludes marginais – São Luiz do Paraitinga, SP. Foto: IPT/CTGeo.

Na incidência de inundações, incluem-se, por correlação, alagamento (acúmulo momentâneo de água ante a dificuldade de escoamento superficial em terrenos com baixa declividade ou por

deficiência ou baixa capacidade de escoamento do sistema de drenagem) e assoreamento (formação de depósitos em leito regular de curso d'água ou planície de inundação, em decorrência do acúmulo concentrado de sedimentos transportados). No entanto, salienta-se que esses dois processos não são objeto de mapeamento específico e, portanto, não se encontram individualizados nos produtos cartográficos finais.

4.3 Fatores predisponentes

Ao discutir os agentes envolvidos nos movimentos gravitacionais de massa, Guidicini e Nieble (1976) distinguem: um primeiro conjunto de fatores predisponentes relacionados aos complexos geológico, geomorfológico, climático-hidrológico e à vegetação; e um segundo conjunto que compreende os fatores efetivos (responsáveis pela deflagração dos movimentos), estes subdivididos em preparatórios e imediatos, os quais abrangem as chuvas e a influência antrópica, entre outros processos naturais e induzidos associados. Prandini *et al.* (1980) utilizam essa abordagem na elaboração da Carta Geotécnica dos Morros de Santos e São Vicente, agrupando os fatores predisponentes em geológicos, geomorfológicos e climático-hidrológicos, enquanto os fatores efetivos preparatórios incluem aspectos climáticos e antrópicos e os fatores efetivos imediatos correspondem a chuvas e outras possíveis influências humanas eventuais e relevantes (mutilações de encostas, vibrações nos terrenos, entre outras).

Em contexto aplicável a um conjunto mais amplo de processos do meio físico, incluindo as inundações e outros cujas alterações por intervenções humanas podem ocasionar impactos negativos, Fornasari Filho *et al.* (1992) distinguem fatores condicionantes essenciais e reguladores, em que, no caso dos movimentos gravitacionais de massa, os primeiros se relacionam aos constituintes do terreno e aos fluxos energéticos envolvidos, enquanto os segundos compreendem aspectos relacionados ao clima, vegetação e outros componentes do ambiente. Dessa maneira, os fatores essenciais se aproximam do conceito de fatores predisponentes especialmente quanto à geologia, geomorfologia, solos e hidrologia.

Para as finalidades dos trabalhos de mapeamento de áreas suscetíveis, essa aproximação é utilizada como diretriz básica na identificação, seleção e definição de fatores a se considerar inicialmente na análise dos processos. Adicionalmente, em razão dos objetivos do mapeamento, considera-se também que os fatores predisponentes a abordar devem ser obtidos a partir de dados cartográficos disponíveis e sua variabilidade espacial expressa em relação à totalidade da área do município.

5. MÉTODOS E PROCEDIMENTOS

A diversidade de métodos e procedimentos disponíveis acerca do zoneamento de suscetibilidades a processos do meio físico, com destaque àqueles potencialmente geradores de desastres naturais, em municípios e regiões com características variadas, encontrados tanto na literatura técnico-científica nacional quanto internacional, fundamenta o desenvolvimento dos trabalhos de mapeamento descritos na presente Nota.

Entre as publicações que salientam métodos e procedimentos direta ou indiretamente relacionados ao mapeamento de áreas suscetíveis, destacam-se, para as finalidades apontadas: Prandini *et al.* (1980), Zuquette (1993), Prandini *et al.* (1995), Vedovello *et al.* (1995), Cerri (1996), Zuquette e Nakasawa (1998), Guzzetti *et al.* (1999), Freitas (2000), Zaine (2000), Fernandes *et al.* (2001), Zuquette e Gandolfi (2004), Fell *et al.* (2008), Abreu e Augusto Filho (2009), Julião *et al.* (2009), Vallejo e Ferrer (2011), Sobreira e Souza (2012), Diniz (2012), Coutinho (2013) e Nogueira e Souza (2013).

Frente ao objetivo de mapear uma quantidade significativa de municípios, parte dos quais com grandes extensões territoriais, segundo conteúdos e formatos a serem organizados e apresentados em bases espaciais comparáveis, bem como elaborados em prazos expeditos, de modo a propiciar o atendimento a outras demandas correlatas previstas no PNGRRDN, impôs-se o desafio de desenvolver um modelo apropriado, passível de aplicação à maior parte dos municípios sujeitos a desastres naturais, em todas as regiões

do País. O objetivo específico de gerar indicadores que possibilitem estimar a magnitude da incidência das suscetibilidades em relação às áreas urbanizadas, também contribui para a busca desse modelo.

Consideram-se, em particular, os princípios gerais apresentados no guia para zoneamento de suscetibilidade, perigo e risco a deslizamento (FELL *et al.*, 2008), elaborado pelo Comitê Técnico de Deslizamentos e Taludes Construídos (*Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes - JTC-1*), formado pelas associações técnico-científicas internacionais das áreas de geologia de engenharia e ambiental e de engenharia geotécnica (*International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering - ISSMGE*; *International Association for Engineering Geology and the Environment - IAEG*; e *International Society for Rock Mechanics - ISRM*). O referido guia foi traduzido para o português pela Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (ABGE) e Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (ABMS), conforme Macedo e Bressani (2013).

De acordo com esse guia, ante a variedade de tipos de mapeamento aplicáveis, a elaboração do modelo deve ser iniciada pela definição exata do tipo de zoneamento pretendido (**Tabela 5.1**). Nos trabalhos de mapeamento presentes, tendo em vista o atendimento às diretrizes da PNPDEC a respeito da identificação e avaliação de áreas suscetíveis, o tipo de zoneamento pretendido é o de *suscetibilidade*, não devendo ser confundido com o de *perigo* e tampouco com o de *risco*, os quais são objeto de outros tipos de estudos. A análise de suscetibilidade deve ser expressa por meio de zoneamento específico a cada processo ou conjunto de processos bem definidos, contendo a divisão dos terrenos em áreas ou domínios homogêneos e sua classificação dada segundo diferentes graus relativos (por exemplo: alta, média e baixa), os quais representam a maior ou menor propensão na área delimitada (definida na carta por polígonos de diferentes classes). Os resultados da análise podem ser apresentados em um mapa ou carta de suscetibilidade.

Tabela 5.1-Tipos, níveis e escalas aplicáveis na elaboração de mapas de zoneamento referentes a deslizamentos, de acordo com o objetivo (FELL *et al.*, 2008).

Objetivo	Tipo de zoneamento				Nível de zoneamento			Escalas
	Inventário	Suscetibilidade	Perigo	Risco	Básico	Intermediário	Avançado	
Zoneamento Regional								
Informativo	X	X	-	-	X	-	-	1:25.000 até
Consultivo	X	X	(X)	-	X	(X)	-	1:250.000
Legal	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	
Zoneamento Local								
Informativo	X	X	X	(X)	X	(X)	-	1:5.000 até
Consultivo	(X)	X	X	X	X	X	X	1:25.000
Legal	-	(X)	X	(X)	-	X	X	
Zoneamento pontual								
Informativo	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	1:5.000 até
Consultivo	NUC	NUC	NUC	NUC	NUC	NUC	NUC	1:1.000
Legal	-	(X)	X	X	-	X	X	
Projeto	-	(X)	(X)	X	-	(X)	X	

Nota: X = aplicável; (X) pode ser aplicável; NR = não recomendado; NUC = não utilizado comumente.

Nesse contexto, considera-se que o zoneamento pretendido se enquadra no nível básico, especialmente em razão do objetivo geral de formação de bases tecnológicas para o aprimoramento contínuo do mapeamento de áreas suscetíveis no País e da carência de dados disponíveis na escala de referência (1:25.000). Também em razão da escala, tanto para fins de elaboração quanto de apresentação, pode-se afirmar que o zoneamento situa-se na interface entre regional e local, ou seja, representativo de trabalhos efetuados em caráter semirregional ou de semidetalhe. Por vezes, a carta síntese resultante pode ser apresentada em escala menor, particularmente no caso de municípios com áreas relativamente extensas, de modo a facilitar o manuseio e a comunicação visual, mantendo-se as bases na escala de referência.

Sobre a ordem de grandeza da área abrangida recomendada em Fell *et al.* (2008), para os diferentes tipos de zoneamento (10 a 1.000 km², para escalas entre 1:5.000 e 1:25.000; e 1.000 a 10.000 km², para escalas entre 1:25.000 e 1:100.000), constata-se que as áreas dos municípios a mapear (que variam da ordem de algumas dezenas a alguns milhares de km²) se

mostram compatíveis com a escala de referência e com o tipo de zoneamento pretendido.

Julião *et al.* (2009) enfatizam que a abordagem dos processos deve considerar a relevância para o planejamento, a variabilidade espacial na escala municipal e a existência de dados. Os processos considerados nos trabalhos se coadunam com aqueles observados por Sobreira e Souza (2012) como passíveis de identificação na escala de referência, para fins de zoneamento e elaboração das cartas de suscetibilidade, tendo em conta, ainda, a relação destas com outros tipos de cartas geotécnicas aplicadas ao planejamento regional e urbano (**Tabela 5.2**). Sobreira e Souza (2012) destacam que a carta geotécnica de suscetibilidade é aquela que reflete, em forma e grau, a variação da capacidade dos terrenos em desenvolver determinado fenômeno. Sobre isso, cabe reiterar a importância da utilização das cartas de suscetibilidade como base à elaboração das cartas geotécnicas de aptidão à urbanização e de risco, igualmente previstas na PNPDEC e a produzir em escalas de detalhe (1:10.000 ou maior e 1:2.000 ou maior, respectivamente), conforme recomendação apresentada em Fell *et al.* (2008) para o caso específico de deslizamentos.

Tabela 5.2- Cartas geotécnicas de planejamento, segundo as escalas e os processos identificáveis, em que se incluem os movimentos gravitacionais de massa (inclusos as corridas) e as inundações (Fonte: SOBREIRA e SOUZA, 2012).

Produto	Escalas de mapeamento	Processos geodinâmicos passíveis de identificação
Cartas de suscetibilidade	1:25.000 ou maior	Movimentos gravitacionais de massa, inundações/enchentes, corridas, erosões, assoreamento, processos costeiros, sismos induzidos
Cartas de aptidão à urbanização	1:10.000, 1:5.000 ou maior	Movimentos gravitacionais de massa translacionais, inundações/enchentes/alagamentos, corridas, erosões lineares de grande porte (ravinas), assoreamento, subsidências e colapsos, expansão dos terrenos, queda e rolamento de blocos rochosos, processos costeiros
Cartas de riscos geológicos	1:2.000 ou maior	Movimentos gravitacionais de massa translacionais, rotacionais, em cunha inundações/enchentes/alagamentos, corridas de lama e detritos, rastejos, erosões lineares (sulcos, ravinas e voçorocas), solapamentos de margens, assoreamento, subsidências e colapsos, expansão dos terrenos, queda e rolamento de blocos rochosos, processos costeiros

Tendo em conta os princípios e aspectos mencionados, estabeleceram-se, em interação com a equipe da CPRM, a concepção geral e os procedimentos básicos para o mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa e a inundações, sintetizados na **Figura 5.1**.

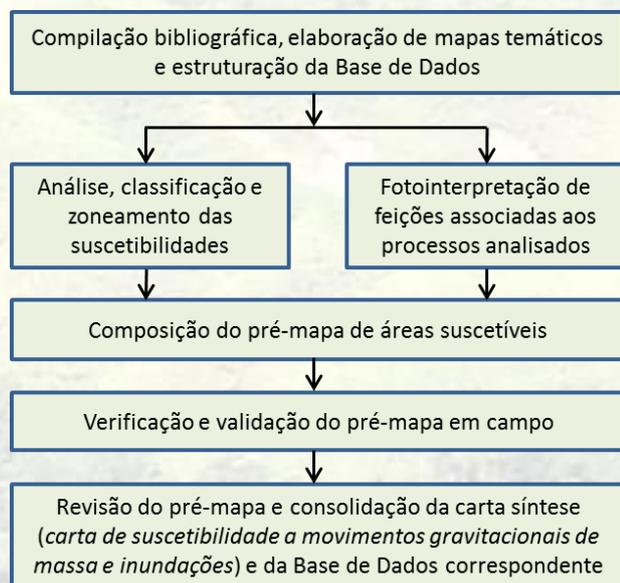


Figura 5.1 – Sequência de procedimentos básicos desenvolvidos para a elaboração das cartas de suscetibilidade.

Aplicados de modo similar a cada município, os métodos e procedimentos desenvolvidos são descritos e discutidos nos subitens a seguir, abrangendo: 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; fotointerpretação de feições associadas aos processos analisados; composição do pré-mapa de áreas suscetíveis em laboratório; verificação e validação do pré-mapa de áreas suscetíveis em atividades de campo; e revisão do pré-mapa e consolidação da carta síntese e da base de dados correspondente. Os principais produtos gerados compreendem, então, uma carta síntese de suscetibilidade e uma Base de Dados específica para cada município, contendo todos os mapas temáticos e intermediários utilizados.

Quanto à aplicabilidade das cartas e zoneamentos resultantes, ainda de acordo com Fell *et al.* (2008) e a Tabela 1 apresentada, salienta-se a perspectiva de uso preferencial para fins informativos e consultivos, tanto por órgãos públicos (municipais, estaduais, federais) quanto por associações não governamentais e pela sociedade em geral, podendo ser útil também em termos de apoio às ações de normalização técnica e de regulamentação legal. Não obstante, há que se observar cautela nesse processo, sendo recomendável tratar os resultados inicialmente em caráter informativo.

5.1 Compilação bibliográfica e estruturação da Base de Dados

A compilação bibliográfica envolve a coleta e tratamento de trabalhos disponíveis, encontrados em bancos de dados e acervos físicos de

instituições diversas, bem como métodos de mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa e a inundações, métodos de fotointerpretação de feições associadas a processos do meio físico, utilização de ferramentas de geoprocessamento, estruturação de base de dados, entre outros aspectos.

A elaboração das cartas de suscetibilidade envolve a compilação e geração de grande quantidade de dados. As principais atividades desenvolvidas referem-se à sistematização e organização de dados espaciais e não espaciais e ao cruzamento de dados e elaboração de *layouts*. O *datum* de todos os arquivos gerados é o WGS 1984 com projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), de acordo com os fusos de cada município. Conversão para o sistema Sirgas 2000 encontra-se prevista para a sequência dos trabalhos.

Os dados são divididos em dois diretórios principais: Base e Produtos. O diretório “Base” contém os dados correspondentes às bases planialtimétricas ou topográficas, compostas por curvas de nível, pontos cotados, hidrografia, limites municipal e estadual, sistema viário, área urbanizada e toponímia, e ortofotos. O diretório “Produtos” contém os grupos de dados obtidos ou desenvolvidos no âmbito dos trabalhos realizados, como Modelo Digital de Elevação (MDE; que pode ser Modelo Digital de Terreno- MDT ou Modelo Digital de Superfície- MDS), Padrões de Relevo, Feições, Geologia, Pedologia, Isoietas, Hietogramas e Equações IDF, Fotos de Campo, Suscetibilidade, Áreas de Risco Cadastradas e Pontos Seleccionados. Declividade e Relevo Sombreado são calculados a partir do modelo digital disponibilizado (MDT ou MDS, de acordo com o caso). A escala de trabalho pode variar conforme a resolução e a escala dos dados secundários disponibilizados pelas instituições de origem. Destaca-se a ausência generalizada de dados temáticos na escala de referência. A escala de apresentação da carta síntese é definida pela área de impressão. Cartas de municípios com grandes extensões, ante a dificuldade de impressão em 1:25.000 no tamanho de papel utilizado, são apresentadas em 1:50.000 ou 1:75.000. O *layout* das cartas foi elaborado com

base no modelo da Carta de Suscetibilidade a Movimentos de Massa, Enchentes e Inundações do município de Santa Maria Madalena-RJ, preliminarmente elaborada pela CPRM. As principais orientações do manual da Divisão de Cartografia – DICART (CPRM, 2012) também são consideradas. Definem-se representações mais próximas dos padrões sugeridos, com adaptações que visam facilitar a leitura e a interpretação das cartas. Os dados vetoriais gerados são produzidos em formato *shapefile* e os arquivos matriciais em formato *geotiff* e *ecw*. A estrutura geral da Base de Dados é apresentada na **Figura 5.2**.

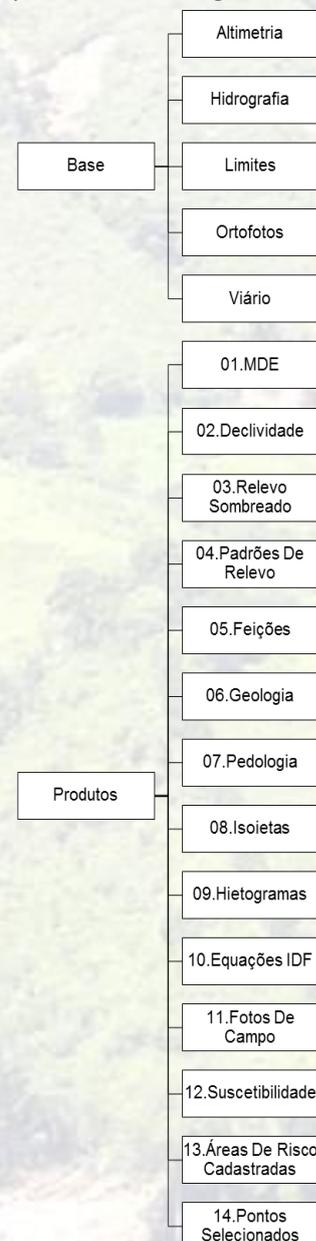


Figura 5.2 - Estrutura geral da Base de Dados.

A elaboração do mapa temático de Relevo, bem como a delimitação de área urbanizada e sistema viário e a obtenção de dados de isoietas, hietogramas e equações de chuvas, envolvem abordagens específicas, destacadas a seguir.

5.1.1 Padrões de Relevo

Para a elaboração do mapa temático de relevo, essencial ao mapeamento das suscetibilidades, adota-se, como referência inicial, visando definir os principais padrões de relevo, os critérios e parâmetros de classificação de IPT/Emplasa (1990) e, complementarmente, os de Ponçano *et al.* (1981) e Ross (1992), a partir da conjugação de fatores morfométricos básicos, como amplitude e declividade (**Tabela 5.3**).

Tabela 5.3 – Padrões de relevo e parâmetros básicos.

Padrão de relevo	Amplitude predominante (m)	Declividade predominante	
		(Graus)	(%)
Planícies e terraços fluviais	< 20	< 5	< 8
Planícies e terraços fluviais e marinhos	< 20	< 5	< 8
Planícies fluviomarinhas (mangues)	< 5	< 2	< 5
Campos de dunas	< 40	< 5	< 8
Tabuleiros costeiros	40 a 70	< 11,3	< 20
Colinas	40 a 70	< 11,3	< 20
Morrotos baixos	40 a 50	> 16,7	> 30
Morrotos	60 a 90	11,3	20
Morros baixos	90 a 110	16,7	30
Morrotos altos	60 a 90	16,7 a 21,8	30 a 40
Morros altos	140 a 200	> 16,7	> 30
Serras	> 300	> 16,7	> 30
Escarpas	100	31	60

De acordo com cada região a mapear, outros padrões de relevo podem ser reconhecidos e incluídos. Utilizam-se também informações referentes à densidade de drenagem. Para isso, as delimitações contam com utilização de MDSs ou MDTs, sobre os quais são gerados os modelos sombreados do relevo e o mapa de declividade, bem como os dados vetoriais de altimetria e hidrografia e as ortofotos de alta resolução.

As declividades são fatiadas segundo intervalos com valores em graus (que correspondem, mais exatamente, às inclinações das vertentes e/ou encostas, parte das quais previstas em normas legais), em nove classes: 0 a 2, 2 a 5, 5 a 10, 10 a 17, 17 a 20, 20 a 25, 25 a 30, 30 a 45, acima de 45. No caso das amplitudes, os MDEs são processados com intuito de se extrair a delimitação das bacias hidrográficas e, com isso, quantificar a variação altimétrica nas encostas. Esse procedimento é realizado seguindo o roteiro proposto por Salvador (2007). Uma vez delimitadas as bacias, efetuam-se cruzamentos com as informações de altitude das curvas de nível e, na sequência, calculam-se os valores médios de amplitude, ou seja, a diferença entre os valores máximos dos topos (representados pelos divisores de água) e os valores mínimos nos vales de maior expressão.

A identificação dos padrões de relevo é executada por meio de fotointerpretação, considerando basicamente as informações de declividades e amplitudes e de ortofotos. As escalas de análise estão condicionadas à resolução e à qualidade dos produtos digitais utilizados. Nos casos em que o MDE disponível apresenta resolução espacial de 1 ou 5 metros, os padrões de relevo são delimitados com base em visualização realizada em escala variável, entre 1:10.000 e 1:25.000. Na ausência de produtos digitais de melhor qualidade, como nas situações em que a resolução espacial média do MDE é de 25 metros, as escalas de visualização variam entre 1:30.000 e 1:50.000. Vale salientar que, para representação cartográfica dos padrões de relevo, deve ser utilizado o menor valor desse intervalo.

5.1.2 Área urbanizada e sistema viário

A área urbanizada e o sistema viário são interpretados com base em ortofotos de alta resolução fornecidas por órgãos estaduais ou federais oficiais, utilizando-se as ferramentas de vetorização e edição disponíveis no *software ArcGIS 9.2*. Para a área urbana são criadas poligonais e para o sistema viário a representação é efetuada na forma de linhas. Na delimitação da área urbanizada incorporam-se vários tipos de assentamentos humanos edificados, tanto aqueles consolidados (área arruada e efetivamente

ocupada por uso residencial, industrial, comercial ou de serviços, caracterizada pela presença de ruas, casas e prédios; assentamento precário; loteamento desocupado; indústria e equipamento urbano) quanto outros, como chácara, sede de propriedade rural, núcleo urbano e rural isolado. Para a representação na carta síntese, adota-se a designação genérica de área urbanizada/edificada, que compreende os vários tipos identificados.

Considerando a escala geográfica de referência (1:25.000), delimitam-se as áreas de edificações visíveis em 1:12.500 e que exibem continuidade física em todas as direções até serem interrompidas por terrenos com uso não urbano (cobertura vegetal, campo natural e antrópico, culturas e corpos d'água). Em alguns casos, efetuam-se generalizações para edificações que não estão fisicamente integradas (ocupações dispersas), mas que se mostram representativas na escala de interpretação visual (**Figura 5.3**).

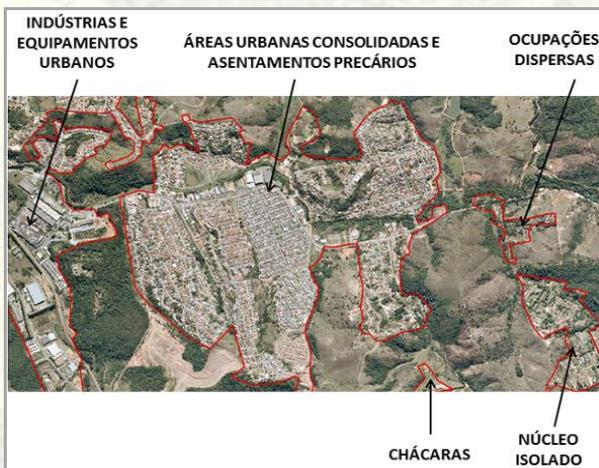


Figura 5.3 - Ilustração da delimitação da área urbanizada/edificada (em vermelho), efetuada por meio de fotointerpretação de ortofotos – Campo Limpo Paulista, SP.

Para o levantamento do sistema viário (rodovias e ferrovias), parte-se de traçados já existentes em arquivos disponíveis, priorizando-se a atualização das rodovias de grande porte, principais ramificações e ligações entre áreas urbanizadas. A atualização tem como referência as ortofotos disponibilizadas e a interpretação é feita também na escala de visualização 1:12.500. O arquivo final contém o nome das vias principais e a situação referente à pavimentação (**Figura 5.4**).



Figura 5.4 - Cena ilustrativa do sistema viário (em amarelo) obtido a partir de ortofotos – Palhoça, SC.

5.1.3 Isoietas, hietogramas e equações IDF

Os dados referentes ao regime de chuvas são tratados e apresentados por meio de isoietas, hietogramas e equações de chuvas (dadas pelas relações denominadas IDF - Intensidade-Duração-Frequência). Essas informações são incluídas na carta uma vez que podem ser úteis em estudos e projetos de engenharia realizados em nível local.

Os dados de chuva têm como fonte o projeto Atlas Pluviométrico da CPRM (Pinto *et al.* 2011), que visa reunir, consolidar e organizar as informações sobre chuvas da operação da rede hidrometeorológica nacional, destacando-se as relações IDF estabelecidas para os pontos da rede que dispõem de registros contínuos, ou seja, estações equipadas com pluviógrafos ou estações automáticas. Para localidades nas quais há somente pluviômetros e, conseqüentemente, não se dispõem de registros contínuos de chuvas, as relações IDF são estabelecidas a partir da desagregação das precipitações máximas diárias. As relações IDF são importantes na definição das intensidades de precipitação associadas a uma frequência de ocorrência, as quais serão utilizadas no dimensionamento de diversas estruturas de drenagem pluvial ou de aproveitamento de recursos hídricos. Também podem ser utilizadas de forma inversa, ou seja, para estimar a frequência de um evento de precipitação ocorrido, definindo se foi raro ou ordinário (PINTO, 2013). Com base nesses estudos, compõem-se as equações de chuvas (equações IDF) para cada município.

A **Figura 5.5** ilustra o modo pelo qual os dados de isoietas, hietogramas e equações IDF estão apresentados na carta síntese e na Base de Dados.

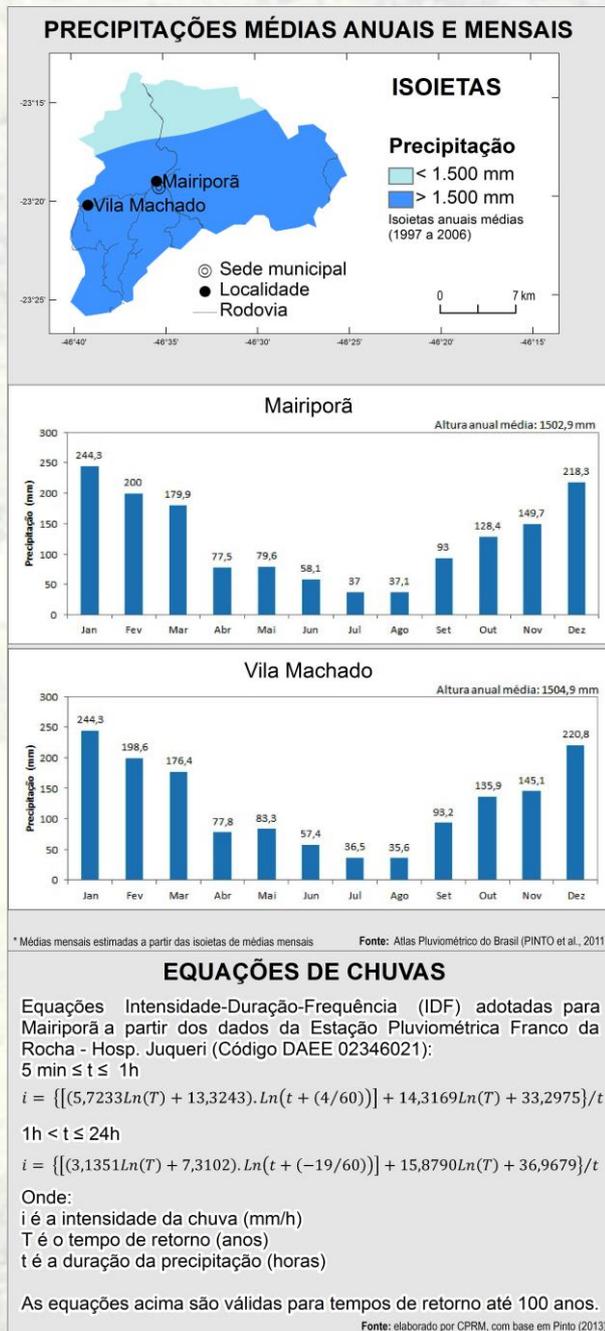


Figura 5.5 – Síntese dos dados de chuvas (isioietas, hietogramas e equações), incluídos na carta síntese e na Base de Dados - Mairiporã, SP. Fonte: CPRM.

5.2 Análise, classificação e zoneamento das suscetibilidades

Os procedimentos para caracterização das suscetibilidades seguem diretrizes contidas nos trabalhos de Fell *et al.* (2008) e Julião *et al.* (2009), bem como aspectos de outros autores citados, envolvendo: definição de fatores predisponentes

e métodos específicos de análise; estabelecimento de critérios para classificação e zoneamento segundo distintos graus e formas incidentes; definição da apresentação; e desenvolvimento de métodos para validação dos resultados.

As suscetibilidades são analisadas para cada processo individualmente, elaborando-se um mapa de áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa e outro a inundações. Reflete-se a compartimentação dos terrenos em zonas, segundo comportamentos homogêneos desses processos ante os fatores condicionantes. As zonas estão representadas por polígonos, que denotam os distintos graus de incidência espacial, denominados classes de suscetibilidade (alta, média e baixa) e indicam a propensão relativa dos terrenos ao fenômeno abordado. Na carta síntese, os dois mapas são superpostos, acrescentando-se os de bacias suscetíveis a corridas de massa e enxurradas e o de feições indicativas de processos correlatos atuantes em nível local/pontual, as quais constituem também uma das bases para validação posterior dos resultados.

Dada a premissa de obter um modelo de mapeamento que propicie aplicabilidade nacional e comparabilidade entre os municípios, os fatores predisponentes a selecionar devem ser passíveis de obtenção a partir do conjunto de dados espaciais disponíveis. Com o tempo, em vista da concepção de um modelo atualizável, outros fatores poderão ser agregados. No caso de fatores climáticos, por exemplo, uma vez disponíveis, os dados a incluir devem refletir a variabilidade na área do município. Não obstante, as condições climáticas se encontram incluídas entre os fatores analisados à medida que se utilizam inventários e dados de ocorrências (no caso de deslizamentos) ou marcas de cheias, no caso de inundações, quando disponíveis, bem como em razão da consideração de feições, utilizadas para fins de auxílio à validação dos resultados de classificação das suscetibilidades e cuja presença é associada à ocorrência de eventos chuvosos. A adoção da bacia hidrográfica como unidade de análise é considerada também para o zoneamento das suscetibilidades, de acordo com diretriz da PNPDEC (Artigo 4º, inciso IV), no caso de corridas de massa e de processos hidrológicos.

5.2.1 Deslizamentos

Os procedimentos para elaboração do mapeamento da suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa estão fundamentados no paradigma de que os registros do passado constituem um guia para a análise do futuro, assumindo-se que as áreas com características geomorfológicas e geológicas semelhantes às de locais afetados por deslizamentos são propensas a novas ocorrências (FELL *et al.*, 2008).

Considerando esse paradigma e a escala de referência adotada (1:25.000), bem como a disponibilidade restrita de dados temáticos e, também, a necessidade de mapeamento de diversos municípios sob o mesmo viés metodológico ante a perspectiva de comparação entre suscetibilidades de regiões diferentes, ainda que com processos de movimentos gravitacionais de massa geneticamente distintos, opta-se pelo mapeamento da suscetibilidade a deslizamentos baseado em modelagem estatística. As abordagens estatísticas (ou probabilísticas) se fundamentam nas relações observadas entre cada fator condicionante e a distribuição dos deslizamentos em área (GUZZETTI *et al.*, 1999), visando a uma menor subjetividade e a uma maior repetitividade no mapeamento de áreas suscetíveis (FERNANDES *et al.*, 2001).

Entre a variedade de condicionantes do meio físico possíveis de obtenção, distinguem-se três fatores predisponentes de deslizamentos, frequentemente associados à distribuição das cicatrizes referenciada em literatura técnico-científica e com possibilidades de mapeamento dentro do escopo dos trabalhos: declividade, curvatura de encosta e densidade de lineamentos estruturais (correlatos a fraturas, juntas, zonas de falhas e outras descontinuidades), que refletem, respectivamente, a influência combinada de aspectos geomorfológicos, hidrológico-pedológicos e geológicos (STABILE *et al.*, 2013). A área de contribuição também pode ser obtida, sendo inicialmente utilizada como parâmetro no modelo estatístico de suscetibilidade a deslizamentos. Todavia, dada a necessidade de independência entre os parâmetros utilizados, a área de contribuição foi descartada em favor da

curvatura de encosta, cujos testes preliminares efetuados demonstram ter maior influência na distribuição dos deslizamentos. A declividade e a curvatura de encosta são mapeadas por meio de *software* de geoprocessamento, a partir de um MDE. Os lineamentos estruturais são mapeados em ortofotos e depois tratados em *software* de geoprocessamento com um módulo de densidade *Kernel*, que propicia calcular a densidade de feições lineares a partir de um raio de busca (SILVERMAN, 1986). Para fins de análises posteriores, cada um dos parâmetros é categorizado no maior número de classes possível, com representatividade espacial e significado geológico-geomorfológico no município mapeado.

Para determinar a relação entre os fatores predisponentes e os deslizamentos, seleciona-se, para cada município a mapear, ao menos uma área piloto como matriz de modelagem, em que, além do mapeamento dos fatores, mapeiam-se também as cicatrizes de deslizamentos. Os critérios para a seleção das áreas piloto compreendem a presença de um grande número de cicatrizes de deslizamentos mapeáveis e a semelhança com as unidades morfoesculturais (ROSS, 1992) dos municípios selecionados, para a consequente extrapolação dos resultados àqueles situados no mesmo contexto. As cicatrizes de deslizamentos são mapeadas por polígonos, a partir de interpretação em ortofotos de alta resolução, delimitando-se, preferencialmente, a área correspondente à superfície de ruptura e excluindo-se, assim, as áreas de arraste e de deposição dos materiais mobilizados (Figura 5.6).



Figura 5.6 - Exemplo de cicatrizes mapeadas em áreas piloto. Fonte: análise sobre ortofotos da Emplasa (2010/2011).

De modo a avaliar a relação entre os deslizamentos e cada parâmetro analisado,

calcula-se a densidade de cicatrizes em cada uma das classes dos fatores predisponentes, conforme Equação 1:

$$D = \frac{A_d}{A_t} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde: D = densidade de cicatrizes em cada classe do fator predisponente; A_d = área afetada por deslizamentos na classe; e A_t = área total da classe.

Na sequência, para que a intensidade do evento mapeado não tenha influência nos resultados, cada valor é dividido pela densidade média de deslizamentos na área de estudo. Esse índice é denominado D_n (densidade normalizada), representado na Equação 2:

$$D_n = \frac{D}{D_t} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde: D_n = densidade normalizada; D = densidade de cicatrizes em cada classe do fator predisponente; e D_t = densidade média de deslizamentos na área de estudo.

A Densidade normalizada (D_n) determina a contribuição dos parâmetros na distribuição dos deslizamentos ocorridos. Em seguida, o Índice de Suscetibilidade a Deslizamentos (ISD) de cada parâmetro é calculado utilizando-se o método do Valor Informativo (YIN e YAN, 1988, *apud* ZÊZERE, 2002), que consiste no cálculo do logaritmo natural de D_n , conforme Equação 3:

$$ISD = \log D_n \quad (\text{Equação 3})$$

Onde: ISD = Índice de Suscetibilidade a Deslizamentos; e D_n = densidade normalizada.

Para o mapeamento da suscetibilidade em cada município, os mapas dos fatores predisponentes considerados (declividade, curvatura de encosta, densidade de lineamentos estruturais) são reclassificados segundo os respectivos valores de ISD, e posteriormente somados.

O produto gerado pelo ISD, ainda que adequado para a identificação das suscetibilidades na escala de encosta ou vertente, pode não se mostrar suficiente para a escala do mapeamento

(1:25.000). Nesses casos, como alternativas de adaptação, pode-se recorrer à aplicação de filtros de geoprocessamento (como estatística focal, eliminação de polígonos menores e outros) ou à identificação da área segundo o conceito de UHT (Unidade Homogênea de Terreno, conforme MACMILLAN, JONES e MCNABB, 2004; e CALVELLO, CASCINI e MASTROIANI, 2013), nesse caso com a generalização do ISD por meio do cálculo da média em cada UHT.

A aplicação do conceito de UHT consiste na delimitação de polígonos que representam unidades relativamente homogêneas quanto aos aspectos geomorfológicos, hidrológicos e geológicos. A área de cada UHT e o nível de homogeneidade dependem da escala do trabalho. Em escala 1:25.000, cada unidade de terreno mapeada representa aproximadamente uma unidade de encosta, com limites no talvegue (ou em uma ruptura côncava situada no terço inferior da encosta), no divisor de águas (ou em uma ruptura convexa situada no terço superior da encosta) e lateralmente nas mudanças de orientação de encosta (**Figura 5.7**).



Figura 5.7 - Exemplo de delimitação dos terrenos segundo o conceito de Unidade Homogênea de Terreno (UHT).

Para definição das classes de suscetibilidade (alta, média e baixa) a representar na carta, visando elaborar o zoneamento, busca-se incluir o maior número de deslizamentos nas classes mais altas, em uma área mínima (FELL *et al.*, 2008). Para tanto, são elaboradas curvas que relacionam a área de ocorrência de deslizamentos com cada área piloto, segundo sua suscetibilidade (**Figura 5.8**).

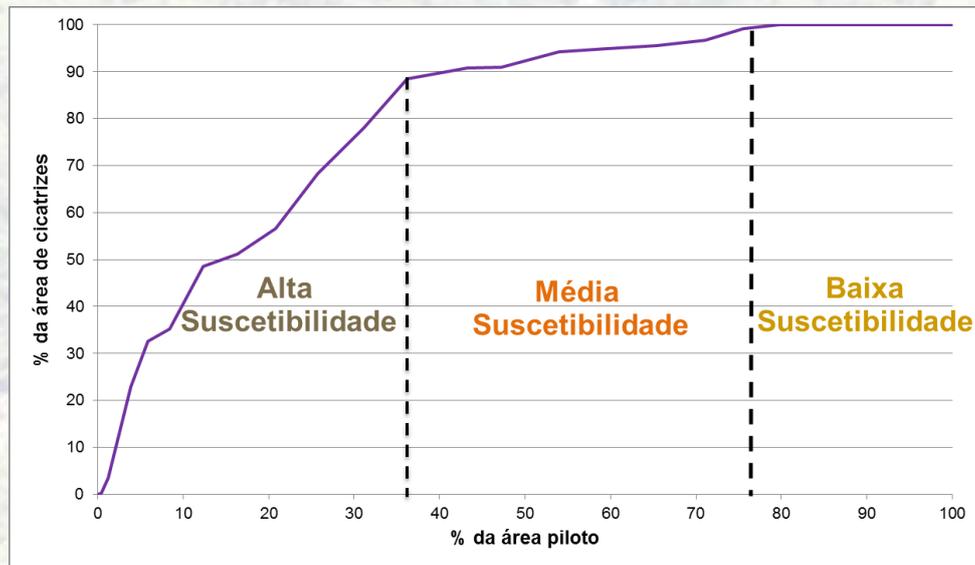


Figura 5.8 - Relação entre área de cicatrizes e área total, em área piloto.

A alta suscetibilidade é definida no limite superior da curva (em geral contemplando 90% dos deslizamentos), onde há uma ruptura a partir da qual a inclusão de novas cicatrizes demandaria a inserção de muitas áreas, enquanto a média é dada a partir da abrangência dos demais deslizamentos ocorridos na área piloto, totalizando cerca de 100% da área das cicatrizes mapeadas. Por sua vez, a baixa suscetibilidade representa as demais áreas cuja ocorrência de deslizamentos na área piloto tende a ser desprezível. Dessa forma, compõe-se o zoneamento da suscetibilidade em três classes, conforme ilustração da **Figura 5.9**.

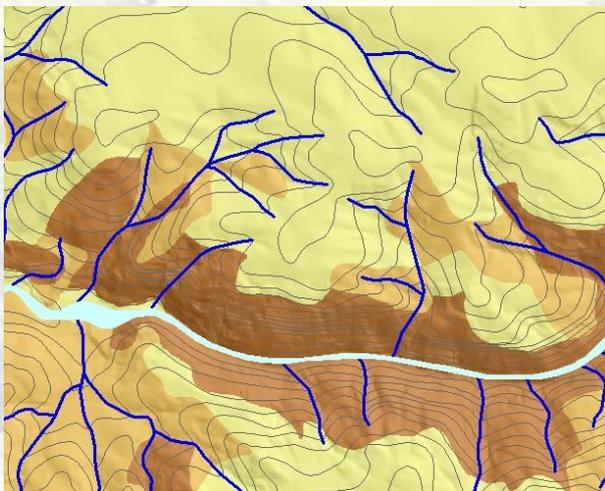


Figura 5.9 – Trecho de zoneamento de suscetibilidade de deslizamentos, distinguindo-se as três classes pela tonalidade da cor (mais escura: alta; intermediária: média; mais clara: baixa).

Nesse contexto, os processos de rastejo e de queda de rocha não são objeto de avaliação específica. Considera-se que os parâmetros de análise utilizados para deslizamentos, como a declividade e outros, permitem auxiliar na definição da suscetibilidade a esses processos e em sua associação a deslizamentos. Todavia, as suscetibilidades a rastejo e queda de rocha podem depender também de outros fatores adicionais, bem como da interação das condições locais com os respectivos fatores predisponentes, o que significa abordá-los em escala de maior detalhe.

Destaca-se que a resolução do MDE e a extrapolação dos resultados da modelagem a partir das áreas piloto podem interferir nos resultados obtidos. Quanto ao MDE, observa-se que a qualidade dos resultados de declividade e curvatura de encosta está diretamente associada à resolução dos modelos disponíveis. Além disso, os modelos disponíveis não representam, necessariamente, a superfície dos terrenos, ou seja, não constituem, de fato, MDTs, o que repercute diretamente nos atributos extraídos. Quanto à extrapolação dos resultados a partir de áreas piloto, observa-se que, entre as principais limitações da modelagem estatística da suscetibilidade, encontra-se a necessidade do mapeamento de cicatrizes de deslizamentos já ocorridos. Como são poucas as áreas onde há um histórico estatisticamente significativo de cicatrizes, cujos registros em fotografias áreas ou

ortofotos são evidentes, impõe-se a necessidade de extrapolação dos resultados obtidos em áreas piloto nas quais essas exigências são atendidas. Ocorre que a extrapolação dos resultados pressupõe uma homogeneidade dos parâmetros geológicos e geomorfológicos entre a área piloto e o município mapeado e, assim, a maior ou menor homogeneidade pode causar algumas variações na suscetibilidade, não previstas pelo modelo.

5.2.2 Inundações

O mapeamento de áreas suscetíveis a inundações envolve temática complexa, sem fórmulas definitivas, podendo-se empregar duas abordagens básicas. A primeira, associada às engenharias, envolve conceitos de hidrologia e hidráulica, com elaboração de modelos chuva-vazão para simular o comportamento dos escoamentos por meio de análise unidimensional (canal) ou em duas dimensões (acrescentando-se a planície de inundação, com emprego de métodos de elementos finitos ou de diferenças finitas), regionalização de vazões, entre outras formas. A segunda envolve análises descritivo-qualitativas dos múltiplos aspectos de um determinado ambiente, como o tipo de solo, a conformação do relevo e a influência da cobertura vegetal.

Ante a perspectiva de subsidiar a prevenção de desastres naturais, considera-se que a abordagem a adotar deve ter em conta o objetivo e a escala do trabalho. Os mapeamentos em geral referem-se a cartas de suscetibilidade, perigo ou risco e têm correspondência com os objetivos dos trabalhos presentes. Baseado nos conceitos referenciados nesta Nota, no caso particular de inundações fluviais, tem-se que a suscetibilidade estaria associada às condições naturais do terreno que favorecem a elevação do nível d'água no canal de drenagem com transbordamento, atingindo as planícies aluviais e os terraços fluviais. O perigo estaria associado ao período de retorno, ou seja, à frequência temporal em que o evento ocorre dentro de uma determinada área. Na análise de risco, incorporar-se-ia o uso e ocupação do solo nas áreas atingíveis. Nesses casos, a escala tem grande importância, pois, à medida que se aproxima de uma análise de risco,

necessita-se de maior detalhe de dados. Assim, seria inapropriado elaborar mapa de riscos em escalas regionais ou semirregionais.

A ocorrência de uma inundação é o resultado de vários fatores que interferem na formação dos escoamentos e em sua propagação ao longo da bacia hidrográfica de contribuição (PINHEIRO, 2007). Numa abordagem multidisciplinar, o fenômeno se relaciona com as características geológicas, topográficas e morfológicas das bacias. Os fatores que se interrelacionam e são responsáveis pela ocorrência de eventos de inundação podem ser divididos em: *transitórios*, associados à ocorrência de chuvas, taxas de evapotranspiração e grau de saturação do solo; *permanentes*, que correspondem às características morfométricas da bacia de drenagem e à geologia; e *mistos*, que estão relacionados ao tipo de uso e ocupação do solo (COOKE e DOORNKAMP, 1990).

A abordagem adotada para o mapeamento de áreas suscetíveis a inundações apoia-se nos fatores permanentes, ou seja, nas condições predisponentes dos terrenos, principalmente nas características geológicas, topográficas e morfológicas das bacias que tendem a favorecer o transbordamento do nível d'água, por ocasião de chuvas intensas. A rigor, a consideração dos períodos de retorno das chuvas, associados aos graus de alta, média e baixa ocorrência, seria compatível com a elaboração de mapas de perigo e não de suscetibilidade e, desse modo, não são tratados no presente mapeamento. Busca-se possibilitar a compreensão da dinâmica hidrológico-geomorfológica de forma padronizada e prática, classificando a suscetibilidade a inundações em bacias de drenagem que podem abranger vários municípios.

A suscetibilidade morfométrica de bacias de drenagem a inundações é mapeada de acordo com as seguintes atividades: abordagem qualitativa baseada em índices morfométricos; área de estudo para aplicação dos índices morfométricos segundo a bacia hidrográfica do rio principal do município; hierarquização relativizada na bacia hidrográfica quanto à suscetibilidade a inundações de cada uma das sub-bacias

contribuintes; e proposta de espacialização da inundação, que abrange o conjunto do território formado por planícies e terraços fluviais e/ou marinhos.

Assim, os procedimentos de análise e classificação consistem de três etapas básicas (Figura 5.10). Na Etapa 1, procede-se à identificação da suscetibilidade das bacias a partir

de índices morfométricos. Na Etapa 2, efetua-se a espacialização dos graus de suscetibilidade a partir da aplicação do modelo denominado HAND (*Height Above Nearest Drainage*), conforme Rennó *et al.* (2008). Finalmente, na Etapa 3, cruzam-se as classificações obtidas nas duas etapas anteriores, aplicando-se o recorte do zoneamento nas áreas de planícies e terraços.

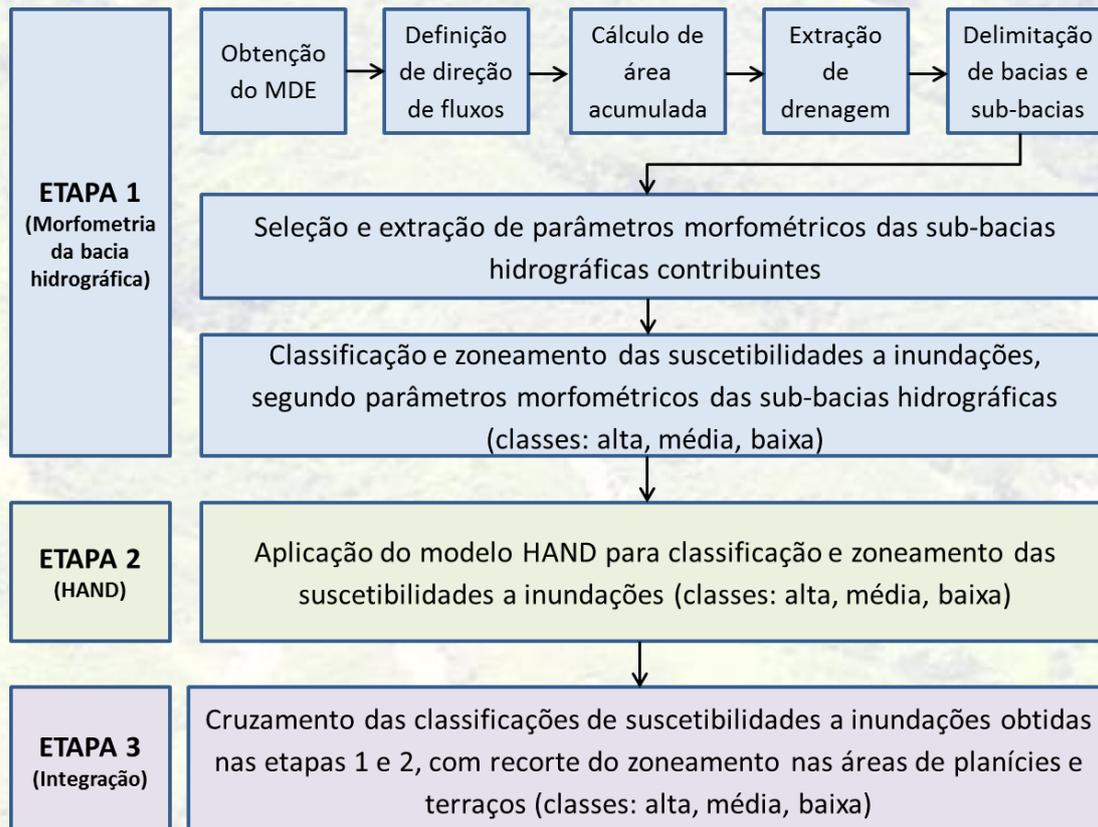


Figura 5.10 - Fluxograma das três etapas básicas executadas para fins de análise, classificação e zoneamento da suscetibilidade a inundações.

Etapa 1: Morfometria da bacia hidrográfica

A análise morfométrica de bacias hidrográficas pode ser definida como a “análise quantitativa das interações entre a fisiografia e a sua dinâmica hidrológica” que propicia um conhecimento da dinâmica fluvial, bem como das relações existentes entre essa dinâmica e os diversos componentes do meio físico e biótico de uma bacia (FARIA, ZACCHI e FERREIRA, 2009).

As características morfométricas do padrão de drenagem e do relevo refletem algumas propriedades do terreno, como infiltração e deflúvio das águas das chuvas, e expressam

estreita correlação com a litologia, estrutura geológica e formação superficial dos elementos que compõem a superfície terrestre (PISSARA *et al.*, 2004 *apud* TEODORO *et al.*, 2007).

As classes de informações morfológicas determinam diferenças essenciais entre distintas paisagens, como relatam estudos clássicos desenvolvidos por Horton (1945), Strahler (1957), Christofolletti (1978), entre outros. Lindner, Gomig e Kobiyama (2007) observam que os índices morfométricos são importantes pressupostos para estudos acerca de eventos de natureza hidrometeorológica, como enchentes e estiagens.

Diversos autores (OLIVEIRA, 2010; SOUZA, 2004; OLIVEIRA, GUASSELLI e SALDANHA, 2010; BAJABAA, MASOUD e AL-AMRI, 2013) realizaram estudos nos quais utilizam distintos parâmetros e/ou índices morfométricos para analisar a suscetibilidade a inundações em uma dada bacia ou sub-bacia hidrográfica. O procedimento é

executado de forma relativa, hierarquizando, em vista das bacias analisadas, aquelas que possuem maior ou menor grau de suscetibilidade. A **Tabela 5.4** apresenta os parâmetros e índices selecionados e extraídos para cada uma das sub-bacias que compõem a bacia hidrográfica em que o território municipal em análise se insere.

Tabela 5.4 - Parâmetros e índices morfométricos selecionados, contendo referência, modo de cálculo e influência possível acerca da suscetibilidade a inundações. Fonte: adaptado de Oliveira, Guasselli e Saldanha (2010).

Parâmetro/índice	Cálculo	Influência
Área de contribuição (Ac)	Extração automática em SIG	Associa-se ao volume de água que atinge o rio principal. Quanto maior Ac, maior tende a ser a suscetibilidade
Relação de relevo (Rr) (SCHUMM, 1956)	Relação entre amplitude (Δa) e comprimento do rio principal da sub-bacia (L); $Rr = \Delta a/L$	Indica velocidade de escoamento. Quanto maior Rr, mais rápido tende a ser o fluxo, reduzindo o acúmulo de água na sub-bacia
Densidade de drenagem (Dd) (HORTON, 1945)	Relação entre comprimento da drenagem (C) c/ área da sub-bacia (A); $Dd = C/A$	Quanto maior Dd, menor é infiltração de água no solo e maior tende a ser a velocidade com que a água atinge o rio
Índice de circularidade (Ic) (MÜLLER, 1953)	Relação entre a área da sub-bacia (A) e a de um círculo de mesmo perímetro (Ac); $Ic = A/Ac$	Quanto maior é o Ic, maior tende a ser a retenção de água na sub-bacia, reduzindo a velocidade de chegada da água no rio
Índice de sinuosidade (Is) (SCHUMM, 1963)	Relação entre o comprimento do canal principal (L) com a distância vetorial entre os extremos do canal (dv); $Is = L/dv$	Quanto maior o Is, menor tende a ser a velocidade do escoamento e chegada da água no rio

O parâmetro área de contribuição refere-se à área acumulada na bacia de drenagem até o ponto exutório selecionado. Esse valor de área é elevado a 0,9, de modo a representar o fator de redução de chuva no ponto. Ou seja, incorpora-se um fator de redução de área de contribuição, assim como na simplificação utilizada para o Método Racional, que é empregado em bacias mais complexas e/ou de grandes áreas.

A relação de relevo, conforme concebida por Schumm (1956), utiliza a amplitude altimétrica e o comprimento do canal principal da sub-bacia hidrográfica. A amplitude altimétrica é obtida pela diferença entre as altitudes máxima e mínima. A densidade de drenagem é definida por Horton (1945) e relaciona o comprimento da drenagem com a área da bacia. O índice de circularidade, proposto por Müller (1953), relaciona a área da sub-bacia com a área de um círculo de mesmo perímetro. O índice de sinuosidade, proposto por Schumm (1963), relaciona o comprimento do

canal principal com a distância vetorial entre extremos do canal.

Essas variáveis representam, em conjunto, a influência geral em relação a inundações. Os valores correspondentes são normalizados para fins de comparação de grandeza e elaboração de um índice geral que propicie avaliar a influência de cada sub-bacia na ocorrência de inundações. Bajabaa, Masoud e Al-Amri (2013) propuseram diferentes relações estatísticas para estabelecer a ordem de grandeza de cada parâmetro ou índice em uma escala variável entre 1 (menor suscetibilidade) e 5 (maior suscetibilidade).

Para os parâmetros e índices que apresentam relação diretamente proporcional ao fenômeno da inundação (Área de contribuição, Densidade de drenagem, Índice de Circularidade e Índice de Sinuosidade), a ponderação é dada pela Equação 4. Aos que denotam relação inversa à ocorrência do fenômeno (no caso, a Relação de relevo), aplica-se a Equação 5:

$$GS = \frac{4(X - X_{min})}{(X_{max} - X_{min})} + 1 \quad (\text{Equação 4})$$

$$GS = \frac{4(X - X_{max})}{(X_{min} - X_{max})} + 1 \quad (\text{Equação 5})$$

Onde: GS é o grau de suscetibilidade; X é o valor do parâmetro/índice morfométrico a ser avaliado para cada bacia; e X_{min} e X_{max} são os valores mínimo e máximo dos parâmetros/índices morfométricos de todas as sub-bacias, respectivamente.

Por fim, os parâmetros e índices padronizados são somados ($Ac + Rr + Dd + Ic + Is$) e novamente padronizados, agora em uma escala de 1 a 3, onde 1 = baixa suscetibilidade; 2 = média suscetibilidade e 3 = alta suscetibilidade a inundações, conforme Equação 6:

$$GSf = \frac{2(Y - Y_{min})}{(Y_{max} - Y_{min})} + 1 \quad (\text{Equação 6})$$

Onde: GSf é o grau de suscetibilidade final; Y é o valor do parâmetro/índice em cada sub-bacia; e Y_{min} e Y_{max} são os valores mínimo e máximo dos parâmetros/índices de todas as sub-bacias, respectivamente.

Esses dados são obtidos a partir do MDE disponível (SRTM, Aster ou outro) com a utilização do complemento (*Plugin*) TerraHidro existente no programa TerraView. Geram-se a direção de fluxo (*Flow Extraction*) e o fluxo acumulado (*Contributing Area*), etapas necessárias para a extração dos canais de drenagem (*Drainage Extraction*). Posteriormente, definem-se manualmente os exutórios das sub-bacias, e realiza-se a delimitação das sub-bacias (*Watershed Delination*) dos canais de drenagem.

Etapa 2: Aplicação do modelo HAND

Para a espacialização da inundação nas planícies e terraços, utiliza-se o modelo HAND que mede a diferença altimétrica entre qualquer ponto da grade do MDE e o respectivo ponto de escoamento na drenagem mais próxima, considerando a trajetória superficial de fluxo (*flowpath*) que liga topologicamente os pontos da superfície com a rede de drenagem. O resultado é uma grade que representa a normalização do MDE em relação à drenagem e indica a área onde uma cheia pode se desenvolver, em caso de haver água em excesso fluindo na superfície (PIRES e BORMA, 2013).

HAND é um algoritmo descritor do terreno que tem sido testado em classificação de solos, revelando forte correlação entre fatores relativos às condições de água no solo, nível do lençol freático e topografia. Utiliza um modelo numérico de terreno do tipo MDE (SRTM, Aster ou outro) para mapear a superfície, baseando-se na distância vertical à drenagem mais próxima. Desse modo, indica áreas suscetíveis a inundações pela análise dos desníveis topográficos e da proximidade relativa dos rios. Esses desníveis relativos constituem boas indicações das suscetibilidades a inundações de cada ponto na paisagem. A distância vertical à drenagem mais próxima está relacionada indiretamente com a profundidade do lençol freático que, por sua vez, indica a disponibilidade da água do solo. Valores pequenos de distância vertical (próximos a zero) indicam regiões cujo lençol está próximo à superfície e, portanto, o solo se encontra em condições próximas à saturação. Valores altos de distância vertical identificam regiões com lençol freático profundo, ou seja, áreas bem drenadas.

A **Figura 5.11** ilustra a sequência utilizada na geração do modelo HAND. Para a extração da drenagem é necessário definir o limiar. Quanto maior o limiar, menor a geração de drenagens de primeira ordem ou de drenagens intermitentes, apresentando-se as drenagens principais. Destaca-se que, para áreas com planícies extensas, a escolha de um valor de limiar mais elevado tende a apresentar melhores resultados, uma vez que se definem apenas os canais principais.



Figura 5.11 - Fluxograma para geração da suscetibilidade a inundação segundo o modelo HAND.

Após a geração do modelo HAND, procede-se ao fatiamento, ou seja, à escolha das elevações (ou alturas) acima do nível médio da drenagem para as quais serão atribuídos os patamares ou classes de suscetibilidade. Com base nas condições geomorfológicas e pedológicas dos terrenos atribuem-se as seguintes classes: Alta a partir do nível normal da drenagem até o início do baixo terraço (englobando a planície aluvial atual); Média do início do baixo terraço até o início do alto terraço; e Baixa a partir do início do alto terraço, conforme **Figura 5.12**.



Figura 5.12 - Classes de fatiamento adotadas no âmbito da aplicação do modelo HAND em planícies e terraços.

Esses valores, inicialmente atribuídos por meio de análise de seções transversais típicas ao longo das drenagens principais, são avaliados e validados com os trabalhos de campo, incluindo-se a verificação mediante levantamento de perfis topográficos e de dados a respeito de marcas e registros de inundações anteriores, quando disponíveis nos municípios mapeados e, ainda, informações de relatos de moradores locais nas áreas afetadas.

Etapa 3: Integração e recorte nas áreas de planícies e terraços

A Etapa 3 consiste na integração dos resultados obtidos nas etapas 1 e 2, finalizando-se o zoneamento da suscetibilidade a inundações no âmbito da área mapeada. Compreende o cruzamento entre o GSf calculado por sub-bacia hidrográfica (Etapa 1) e os resultados do HAND (Etapa 2). A operação é realizada por meio da lógica booleana, comumente utilizada para a identificação de relações entre distintos tipos de dados geográficos (identificadas por meio de sobreposição de temas ou de mapas temáticos), de acordo com a matriz de correlação indicada na **Tabela 5.5**, efetuando-se, nos cruzamentos, adaptação em favor de um maior equilíbrio entre as classes resultantes.

Tabela 5.5 - Matriz de correlação entre as duas classificações de suscetibilidade obtidas, segundo os índices morfométricos e o modelo HAND.

Índices Morfométricos \ Modelo HAND	Alta	Média	Baixa
	Alta	Alta	Alta
Média	Alta	Média	Baixa
Baixa	Média	Baixa	Baixa

Os resultados obtidos são representados dentro dos limites das áreas de planícies e terraços cartografados na geração dos Padrões de Relevo, para delimitação das áreas sujeitas a inundações (**Figura 5.13**).

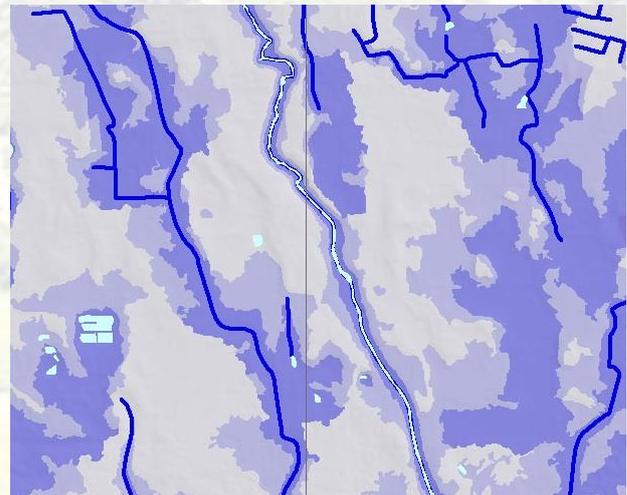


Figura 5.13 - Trecho de zoneamento de suscetibilidade a inundações, distinguindo-se as três classes estabelecidas de acordo com a variação da tonalidade em azul (mais escuro: alta; intermediário: média; mais claro: baixa).

Pressupõe-se que a suscetibilidade a inundações em áreas externas às de planícies e terraços tende a ser desprezível. Dada a escala de referência, podem ocorrer, ainda, dentro do contexto de planícies e terraços, outros tipos de relevo, como colinas e morros baixos, em áreas restritas e de menor expressão territorial, cuja suscetibilidade local ao processo tende também a ser desprezível.

Destaca-se que a definição do tamanho da bacia hidrográfica e a qualidade do MDE utilizado podem interferir nos resultados da composição da suscetibilidade a inundações, especialmente na

análise morfométrica e na aplicação do modelo HAND. Quanto ao tamanho da bacia ou da sub-bacia, observa-se que sub-bacias são consideradas áreas de drenagem dos tributários do curso d'água principal e, para Faustino (1996, *apud* TEODORO *et al.*, 2007), por exemplo, possuem áreas maiores que 100 km² e menores que 700 km², enquanto que, para Rocha (1997, *apud* MARTINS *et al.*, 2005), são áreas entre 20.000 ha e 30.000 ha (200 km² a 300 km²). Por outro lado, Santana (2004, *apud* TEODORO *et al.*, 2007) considera que bacias podem ser desmembradas em um número qualquer de sub-bacias, dependendo do ponto de saída considerado ao longo do seu eixo-tronco ou canal coletor. Cada bacia hidrográfica interliga-se com outra de ordem hierárquica superior, constituindo, em relação à última, uma sub-bacia específica.

Portanto, nota-se que os termos “bacia” e “sub-bacias” hidrográficas são relativos e dependem do local onde se define o ponto de saída ou descarga das águas fluviais (exutório). Nesse enfoque, procede-se a uma relativização entre as bacias e torna-se necessário adotar um critério para padronizar os resultados aos vários municípios em análise, ou seja, hierarquizar as bacias num mesmo contexto de referência. Em primeira tentativa, adota-se a delimitação de sub-bacias para n-2 (onde “n” é a ordem do canal, pela definição de STRAHLER, 1957), mas se os resultados indicarem sub-bacias muito grandes, os exutórios adotados são revistos. Analisando, por exemplo, o rio Tietê (SP), define-se como a do Alto Tietê, a bacia com exutório na confluência com o rio Sorocaba, nos municípios de Tietê e Laranjal Paulista e, a partir daí, efetua-se a divisão das sub-bacias com n-2 ou n-3. Avalia-se que os resultados obtidos constituem bom detalhamento para as sub-bacias. Conclui-se, então, por uma densidade de bacias média da ordem de 0,05 sub-bacia/km².

A qualidade do modelo HAND gerado é diretamente proporcional à qualidade, precisão e representatividade de dois dados de entrada: o MDE e a hidrografia de referência. Observa-se que modelos de baixa qualidade e precisão podem resultar em um modelo HAND pouco representativo, sobretudo em regiões de grande abrangência de planícies e terraços.

5.2.3 Corridas de massa e enxurradas

Considerando a escala de referência (1:25.000) e a necessidade de indicar bacias hidrográficas e/ou drenagens relativamente mais suscetíveis aos processos de corridas de massa e enxurradas, busca-se inicialmente estabelecer critérios e parâmetros físicos específicos para esse fim, por meio de cruzamento de atributos do meio físico em MDEs, de modo a compor um modelo apropriado de abordagem.

Adotam-se os seguintes pressupostos básicos para seleção e definição de critérios e parâmetros de análise em terrenos naturais suscetíveis aos processos de corridas de massa e de enxurradas: bacias hidrográficas onde ocorrem corridas de massa apresentam atributos físicos que possibilitam também a geração de enxurradas; por outro lado, nem todas as bacias hidrográficas e respectivos cursos d'água onde podem ocorrer enxurradas têm atributos que possam gerar também corridas de massa; e corridas de massa ocorrem necessariamente em bacias que compreendem terrenos de alta suscetibilidade a deslizamentos.

Para a modelagem, considerando os pressupostos citados e tendo como base estudos como os de Kanji *et al.* (1997), Vieira *et al.* (1997), Gramani e Kanji (2000), Kanji *et al.* (2000), Ogura e Gramani (2000), Gramani e Kanji (2001), Kanji e Gramani (2001), Gramani (2001), Gramani e Augusto Filho (2004), Wilford (2004), Augusto Filho, Magalhães e Gramani (2005), Magalhães *et al.* (2005) e Fernandes (2013), os critérios e parâmetros utilizados na análise de bacias de drenagem suscetíveis a corridas de massa, os quais configuram um primeiro conjunto de fatores predisponentes a esse tipo de processo, compreendem:

- Unidades de relevo serrano;
- Terrenos com alta suscetibilidade a deslizamentos;
- Amplitude > 500 metros;
- Bacias de drenagem com Área < 10 km²; e
- Relação entre amplitude e área da bacia dada pelo Índice de Melton (M), onde $M = \text{Amplitude} / \text{raiz quadrada da Área}$, que deve ser > 0,3.

O valor de 0,3 para o Índice de Melton é baseado no trabalho de Wilford (2004), no qual

são discutidos limiares para diferentes tipos de fluxos, incluindo as corridas de massa.

Para enxurradas, os critérios e parâmetros considerados são:

- Unidades de relevo serrano e/ou de morros altos;
- Amplitude > 300 metros; e
- Bacias de drenagem com Área < 10 km².

Aplicando-se esses critérios a cada região analisada, por meio de geoprocessamento, considerando-se os dados e modelos disponíveis, os resultados acerca de bacias de drenagem mais suscetíveis a corridas de massa e enxurradas e de bacias de drenagem suscetíveis a enxurradas são lançados sobre o zoneamento de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa, dada a correlação entre os processos (**Figura 5.14**).

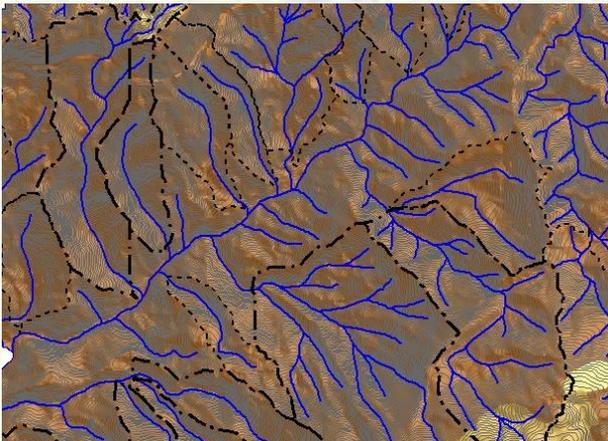


Figura 5.14 – Bacias de drenagem suscetíveis a corridas de massa e enxurradas (delimitadas por traço e ponto espessos) e a enxurradas (tracejado, espessura menor), indicadas sobre o zoneamento referente a movimentos gravitacionais de massa.

A delimitação dessas bacias configura um panorama das áreas que, relativamente às demais, apresentam alta suscetibilidade à geração dos processos de corrida de massa e de enxurrada. Não incluem os setores planos e distantes situados a jusante e que poderão ser afetados com o desenvolvimento dos processos. Contudo, em razão da escala, dentro dessas bacias pode haver áreas restritas de planícies e terraços, tanto em áreas interiores quanto costeiras.

Os limiares estabelecidos para a delimitação das bacias estão fundamentados em literatura

técnico-científica nacional e internacional, bem como no conhecimento de pesquisadores e profissionais acerca do histórico de determinadas áreas onde esses processos são recorrentes. Para aumentar a precisão dos métodos empregados nos trabalhos de mapeamento, caberia agregar um número maior de retroanálises de eventos nacionais e, ainda, por meio de detalhamento em levantamentos de campo, verificar uma quantidade maior de drenagens, possível apenas em trabalhos de longa duração. De todo modo, nos municípios mapeados em que esses processos são reconhecidos, por meio de evidências e registros de eventos passados, constata-se que os resultados obtidos se mostram coerentes e, portanto, válidos enquanto primeira aproximação.

Ressalta-se que a trajetória e o raio de alcance desses processos, em razão dos dados disponíveis e da escala de referência adotada, não são passíveis de cálculo e de representação cartográfica adequada. Para tal, seria necessária a realização de estudos em escala de maior detalhe, envolvendo o conhecimento das condições específicas da bacia de drenagem e de seus canais.

5.2.4 Elaboração dos quadros-legenda

Os quadros-legenda são elaborados para cada grupo de processos abordados, tendo em conta as peculiaridades envolvidas. De acordo com cada classe de suscetibilidade mapeada, incluem-se: registro fotográfico de um local correspondente, procurando-se ilustrar, na paisagem, os fatores predisponentes envolvidos, as características predominantes do meio físico e os indicadores da incidência espacial, em relação ao território municipal e às áreas urbanizadas, expressos em área (km² e %).

No quadro de movimentos gravitacionais de massa (Quadro-legenda A – **Figura 5.15**), os parâmetros descritos em cada classe compreendem: relevo; forma das encostas; amplitudes; declividades; litologia; densidade de lineamentos; solos; e processos (deslizamento, rastejo, queda de rocha, corrida de massa). A predominância desses parâmetros é obtida pela incidência em área, conforme ocorrência nos mapas temáticos.

Quadro-legenda A - Suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa

Classe de suscetibilidade	Foto ilustrativa	Características predominantes	Área		Área urbanizada/edificada	
			km ²	% (*)	km ²	% (**)
Alta		<ul style="list-style-type: none"> • Relevo: serras e morros altos; • Forma das encostas: retilíneas e côncavas, com anfiteatros de cabeceiras de drenagem abruptos; • Amplitudes: 50 a 500 m; • Declividades: > 25°; • Litologia: sedimentos arenosos e conglomerados, com intercalação de sedimentos silítico-argilosos; • Densidade de lineamentos/estruturas: alta; • Solos: pouco evoluídos e rasos; e • Processos: deslizamento, corrida de massa, queda de rocha e rastejo. 	94,9	37,5	0,8	7,6
Média		<ul style="list-style-type: none"> • Relevo: morros altos, morros baixos e morrotes; • Forma das encostas: convexas a retilíneas e côncavas, com anfiteatros de cabeceira de drenagem; • Amplitudes: 30 a 100 m; • Declividades: 10 a 30°; • Litologia: gnaisses granulíticos ortoderivados com porções migmatíticas; • Densidade de lineamentos/estruturas: média; • Solos: evoluídos e moderadamente profundos; e • Processos: deslizamento, queda de rocha e rastejo. 	42,1	16,7	1,3	12,2
Baixa		<ul style="list-style-type: none"> • Relevo: planícies e terraços fluviais/marinhos e colinas; • Forma das encostas: convexas suavizadas e topos amplos; • Amplitudes: < 50 m; • Declividades: < 15°; • Litologia: cascalho, areia e argila de planícies aluvionares recentes; • Densidade de lineamentos/estruturas: baixa; • Solos: aluviais/marinhos; evoluídos e profundos nas colinas; e • Processos: deslizamento, queda de rocha e rastejo. 	115,9	45,8	8,6	80,2

(*) Porcentagem em relação à área do município. (**) Porcentagem em relação à área urbanizada/edificada do município.

Figura 5.15 - Ilustração da estrutura geral adotada para apresentação do quadro-legenda de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa.

A inclusão da suscetibilidade aos processos de queda de rocha e de rastejo no quadro-legenda foi avaliada a partir da combinação com a presença de feições (campo de blocos e matacões ou paredão/lajeado/costão rochoso, no caso da queda de rocha; e depósito de acumulação em sopé e/ou meia encosta, no caso do rastejo), ainda que os métodos utilizados na definição das suscetibilidades estejam focados nos deslizamentos e nas corridas de massa. Portanto, deve-se observar que os locais com a presença dessas feições podem eventualmente apresentar suscetibilidades maiores ou menores às desses dois processos, conforme indicadas no quadro-legenda.

No quadro referente a inundações (Quadro-legenda B – **Figura 5.16**), as características predominantes apontadas são subdivididas de

acordo com a abrangência territorial, em dois níveis: locais e regionais. Sobre as características locais, os parâmetros descritos são: relevo; solos; altura de inundação (expressa em metros); e processos (inundação, alagamento e assoreamento). Quanto às características regionais, expressas no âmbito das bacias de drenagem contribuintes, destacam-se: área de contribuição (pequena, intermediária, grande); formato da bacia (tendendo a circular, circular a alongado, tendendo a alongado); densidade de drenagem na bacia (baixa, média, alta); padrão dos canais fluviais ou sinuosidade (tendendo a sinuoso, sinuoso, retilíneo, tendendo a retilíneo); e relação de relevo (amplitude baixa e canal principal longo, amplitude média e canal principal intermediário, amplitude alta e canal principal curto).

Quadro-legenda B - Suscetibilidade a inundações

Classe de suscetibilidade	Foto ilustrativa	Características predominantes		Área		Área urbanizada/edificada	
		Locais	Bacias de drenagem contribuintes	km ²	% (*)	km ²	% (**)
Alta		<ul style="list-style-type: none"> Relevo: planícies aluviais/marinhas atuais, com amplitudes e declividades muito baixas (< 2^o); Solos: hidromórficos, em terrenos situados ao longo de curso d'água, mal drenados e com nível d'água subterrâneo aflorante a raso; Altura de inundação: até 1,5 m em relação à borda da calha do leito regular do curso d'água; e Processos: inundação, alagamento e assoreamento. 	<ul style="list-style-type: none"> Área de contribuição: grande; Formato: tendendo a circular; Densidade de drenagem: alta; Padrão dos canais fluviais: tendendo a sinuoso; e Relação de relevo: amplitude baixa e canal principal longo. 	60,4	23,9	2,5	23,4
Média		<ul style="list-style-type: none"> Relevo: terraços fluviais/marinhos baixos e/ou flancos de encostas, com amplitudes e declividades baixas (< 5^o); Solos: hidromórficos e não hidromórficos, em terrenos argilo-arenosos e com nível d'água subterrâneo raso a pouco profundo; Altura de inundação: entre 1,5 e 2,5 m em relação à borda da calha do leito regular do curso d'água; e Processos: inundação, alagamento e assoreamento. 	<ul style="list-style-type: none"> Área de contribuição: intermediária; Formato: circular a alongado; Densidade de drenagem: média; Padrão dos canais fluviais: sinuoso a retilíneo; e Relação de relevo: amplitude média e canal principal intermediário. 	17,2	6,8	1,4	13,1
Baixa		<ul style="list-style-type: none"> Relevo: terraços fluviais/marinhos altos e/ou flancos de encostas, com amplitudes e declividades baixas (< 5^o); Solos: não hidromórficos, em terrenos silto-arenosos e com nível d'água subterrâneo pouco profundo; Altura de inundação: acima de 2,5 m em relação à borda da calha do leito regular do curso d'água; e Processos: inundação, alagamento e assoreamento. 	<ul style="list-style-type: none"> Área de contribuição: pequena; Formato: tendendo a alongado; Densidade de drenagem: baixa; Padrão dos canais fluviais: tendendo a retilíneo; e Relação de relevo: amplitude alta e canal principal curto. 	5,6	2,2	0,5	47

(*) Porcentagem em relação à área do município. (**) Porcentagem em relação à área urbanizada/edificada do município.

Figura 5.16 – Ilustração da estrutura geral adotada para apresentação do quadro-legenda de suscetibilidade a inundações, focalizando as áreas de planícies e terraços.

No que se refere ao relevo, vale salientar que a indicação de formas predominantes em cada classe de suscetibilidade na carta síntese não implica correspondência direta com a delimitação de áreas de ocorrência de planícies (aluviais e/ou marinhas) e terraços (fluviais e/ou marinhas). Para tal, seriam necessários estudos de campo em escala de detalhe (1:10.000, ou maior). O mesmo se verifica em relação ao solo, embora, nesse caso, a correlação possa ser mais evidente, com a classe de suscetibilidade média denotando a transição entre solos hidromórficos (predominantes na classe alta) e não hidromórficos (predominantes na classe baixa). No que se refere à altura de inundação, cabe frisar que os valores também não devem ser confundidos com cotas limites para a ocorrência das formas de relevo e tipos de solos mencionados.

5.3 Fotointerpretação de feições associadas a processos

A extração de feições associadas a processos visa subsidiar a validação dos zoneamentos preliminares, bem com obter o registro de suscetibilidades locais/pontuais. Essa atividade é executada por meio de interpretação visual direta em mosaicos georreferenciados de ortofotos de alta resolução, disponíveis na escala 1:25.000. Para tal, utiliza-se o *software ArcGIS 9.2*, com auxílio do aplicativo *ArcScene*, o qual permite a visualização 3D por meio da sobreposição das ortofotos ao MDE. Utiliza-se também o aplicativo *Google Earth* no auxílio à visualização 3D.

As feições interpretadas são verificadas posteriormente, durante os trabalhos de campo, cujas informações permitem a revisão e complementação dos dados por meio de

reinterpretação – quando necessário – e integração. Como material de apoio, utilizam-se mapas temáticos de hidrografia, padrões de relevo, geologia, hipsometria e declividade, os quais auxiliam na compreensão da geomorfologia da área (padrão do modelado, formas do relevo, graus de dissecação, declividade e formas e processos atuantes nas vertentes).

A extração das feições em ortofotos é precedida de reconhecimento preliminar dos terrenos, por meio de visualizações sucessivas e em diferentes escalas, partindo-se de uma variação entre 1:150.000 e 1:100.000, até alcançar a escala de trabalho adotada (1:25.000). Seguem-se visualizações em escala entre 1:150.000 e 1:100.000, para análise da área do município e identificação de unidades morfoestruturais. Visa-se reconhecer a distribuição geológico-estrutural na compartimentação do relevo, a natureza das rochas, feições tectônicas, pediplanos, grandes estruturas presentes (falhas, dobras), entre outros tópicos, para a compreensão do modelado atual (Figura 5.17).

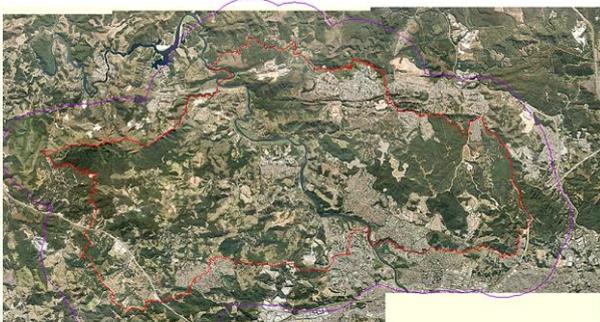


Figura 5.17 - Cena de visualização em escala variável, 1:150.000 a 1:100.000, sobre mosaico regional, para reconhecimento geral dos padrões morfoestruturais presentes na área analisada - Santana de Parnaíba, SP.

Na sequência, trabalha-se com visualizações em escala variável entre 1:60.000 e 1:50.000, para identificação dos aspectos geomorfológicos e suas características básicas, como: serras; morros; morrotes e morros alongados, em regiões com ocorrências frequentes de escorregamentos e depósitos de sopé de encosta; alinhamento de cristas, que evidenciam a dinâmica do processo de deslizamento (quando agudas indicam processo atuante e quando arredondadas denotam menor atividade ou áreas onde o processo não está

ativo); padrões de drenagem, com estruturação visível (sugerindo adaptação à estruturação do embasamento litológico e diferentes graus de dissecação), entre outras (Figura 5.18).



Figura 5.18 - Cena de visualização em escala 1:60.000 a 1:50.000, sobre mosaico regional de ortofotos, para reconhecimento dos padrões de relevo presentes na área analisada - Santana de Parnaíba, SP.

Nessa atividade é possível compartimentar o município em áreas com ocorrências de processos erosivos e áreas afetadas pelos processos, ou seja, áreas de produção de sedimentos e detritos e áreas de deposição ou acumulação (agradiação).

A atividade final de visualização compreende a observação das feições de relevo na escala 1:25.000, onde é possível identificar aspectos geomorfológicos de interesse aos trabalhos. Em virtude da representatividade da escala de referência adotada, o zoom máximo utilizado para extração das feições é limitado a 1:12.500, de modo que a feição extraída possa ser notável na carta síntese. Após a identificação da feição de interesse, utiliza-se a escala de 1:10.000 para sua delimitação, com emprego do *ArcScene* e do aplicativo *Google Earth*, como ferramentas de apoio à visualização 3D do terreno.

Dessa forma, as principais feições extraídas por meio de fotointerpretação são: cicatriz de deslizamento recente; ravina/boçoroca; campo de blocos rochosos; depósitos de acumulação de sopé e/ou meia encosta; paredão/lajeado/costão rochoso; e alagado/área úmida. Cada uma dessas feições é associada a um processo, sendo considerada indicativa de suscetibilidade local. Posteriormente, na fase de integração dos dados gerados, essas informações são utilizadas como elementos auxiliares para a definição e validação dos zoneamentos de suscetibilidades.

5.3.1 Cicatriz de deslizamento recente

A interpretação de cicatrizes de deslizamentos recentes (em relação à data da ortofoto utilizada) é realizada por meio de anotação pontual, indicativa de ocorrência dos processos e é baseada em critérios básicos, como ausência de vegetação, exposição do solo, dimensão da cicatriz e posição da encosta (**Figura 5.19**). Não são indicadas cicatrizes com evidências de influência antrópica, como em taludes de rodovias e em edificações, dado que tendem a modificar a suscetibilidade natural dos terrenos.



Figura 5.19 - Cicatrizes de deslizamentos recentes, visualizadas em escala 1:12.500 - Ilhota, SC.

5.3.2 Ravina e boçoroca

A interpretação de feições erosivas lineares, como ravinas e boçorocas (ou voçorocas), é executada mediante anotação pontual, na porção central da feição, tendo em vista possíveis relações com o desenvolvimento de movimentos gravitacionais de massa. A identificação é baseada na observação do relevo dissecado, com incisões lineares resultantes do processo de erosão pluvial, sob a forma de escoamento superficial concentrado, por vezes facilitada pela ausência de vegetação (**Figura 5.20**).



Figura 5.20 - Ravinas em encosta, identificáveis por meio de fotointerpretação – Camboriú, SC.

5.3.3 Campo de blocos rochosos

As feições de campos de blocos e matacões rochosos são apontadas na forma de polígonos, delimitando-se as áreas de ocorrência onde há uma concentração visualmente expressiva desses materiais. Para a identificação desses locais, consideram-se, além do reconhecimento visual dos blocos, as características geológicas da área em que se inserem, as quais permitem uma correlação genética com esse de tipo de formação (**Figuras 5.21 e 5.22**).



Figura 5.21 - Campo de blocos rochosos identificado por meio de fotointerpretação, em escala de visualização 1:12.500 - Itu, SP.



Figura 5.22 - Campo de blocos rochosos em encosta de baixa declividade – Itu, SP.

5.3.4 Depósito de acumulação em sopé e/ou meia encosta

Depósitos de acumulação situados em sopé e/ou meia encosta são indicados na forma de polígonos, considerando-se os depósitos originados por processos gravitacionais do tipo colúvio, tálus e rampa de colúvio. Essas feições sugerem suscetibilidade a movimentação lenta (rastejo) ou rápida (deslizamento), bem como a presença de terrenos sujeitos a passagem e/ou

deposição de materiais provenientes de processos originados a montante (**Figuras 5.23 e 5.24**).



Figura 5.23 - Depósito de acumulação em sopé de encosta, com indicação de suscetibilidade local a movimentos gravitacionais de massa - Ilhota, SC.



Figura 5.24 - Depósitos de tálus em sopé de encosta (1) e de rampa de colúvio (2) - Nova Veneza, SC.

5.3.5 Paredão, lajeado e costão rochoso

As feições de paredão rochoso são obtidas na forma de polígonos, considerando características visuais nas ortofotos e geológicas da área mapeada. Podem apresentar formas variadas, topos agudos ou arredondados, em áreas de relevo residual dissecado (**Figura 5.25**). Nas regiões com paredões rochosos planos e estruturados utiliza-se *lajeado* e em zonas de litoral *costão rochoso* (**Figura 5.26**).



Figura 5.25 - Área de encostas e paredões rochosos, com suscetibilidades locais a quedas e deslocamentos de blocos - Rio Novo do Sul, ES.



Figura 5.26 - Costão rochoso, ao fundo, com suscetibilidade localizada a quedas e deslocamentos de blocos rochosos - Florianópolis, SC.

5.3.6 Alagado e área úmida

As feições de alagados e áreas úmidas são extraídas visualmente na forma de polígonos. As áreas úmidas podem ser notadas pela presença próxima de cursos d'água, associadas a planícies de inundação, regiões de meandros abandonados, áreas cársticas (dolinas), solos encharcados, bem como em áreas costeiras, como mangues, setores entre cordões e outras situações específicas, sendo consideradas nas ortofotos as características visuais associadas especialmente à cor e/ou textura, cuja tonalidade mais escura é indicativa da ocorrência de tais feições, geralmente com presença de vegetação típica, como brejos e gramíneas, no caso de planícies aluviais atuais (**Figura 5.27**).



Figura 5.27 - Área úmida exibindo tonalidade e texturas características e associação com a presença de gramíneas típicas, indicativa de suscetibilidade a inundações e/ou alagamento - Santana de Parnaíba, SP.

5.4 Composição do pré-mapa de suscetibilidade

Com os resultados da classificação e zoneamento relativos aos processos considerados, bem como incluindo os demais elementos compilados e as feições extraídas por meio de

fotointerpretação, compõe-se a carta síntese preliminar, informalmente denominada pré-mapa.

Os zoneamentos de suscetibilidades a movimentos gravitacionais de massa e inundações são acompanhados dos quadros-legenda A e B e encontram-se plotados sobre relevo sombreado, com iluminação e azimute de 45°. As feições são associadas a processos e registradas como indicativas de suscetibilidades locais e pontuais. As zonas de suscetibilidade a corridas de massa e enxurradas estão apontadas em legenda específica, definidas pelos contornos das bacias de drenagem consideradas mais suscetíveis a esses processos, em duas situações: bacias de drenagem suscetíveis a corridas e enxurradas; e bacias de drenagem suscetíveis apenas a enxurradas.

Fazem parte da carta síntese os seguintes mapas temáticos: hipsometria; relevo sombreado; declividade; padrões de relevo; e geologia. Figuras de isoietas, hietogramas e equações de chuvas são incluídas no *layout* da carta síntese, posicionadas ao lado dos zoneamentos de suscetibilidades. Os demais mapas e dados produzidos ou obtidos encontram-se na Base de Dados digitais.

5.5 Verificação e validação de campo

Tendo como referência os estudos de Fell *et al.* (2008) e Julião *et al.* (2009), tem-se que a validação dos resultados de zoneamentos de suscetibilidades construídos em laboratório de geoprocessamento, como os do pré-mapa relativos a movimentos gravitacionais de massa e a inundações, deve ser efetuada por meio de verificação em campo, preferencialmente com base no cruzamento com inventários de eventos ocorridos especialmente em áreas rurais. Considerando a dificuldade de obtenção desses inventários, bem como a inviabilidade de sua execução no âmbito dos trabalhos de mapeamento reportados, exceto para os municípios utilizados nas abordagens estatísticas desenvolvidas para fins de definição da matriz de modelagem, mediante análise em áreas piloto, no caso de deslizamentos/movimentos gravitacionais de massa, utilizam-se, alternativamente, as diversas feições fotointerpretadas, bem como observações de campo acerca dos fatores

predisponentes selecionados e sua relação com as classes de suscetibilidade contidas nos zoneamentos preliminares e outros aspectos passíveis de constatação, como, no caso de corridas de massa, a presença de grandes quantidades de blocos rochosos e detritos vegetais nas drenagens.

No caso das inundações, conforme Julião *et al.* (2009), devem ser aplicados, preferencialmente, nas áreas urbanas, modelos hidráulicos e hidrológicos adequados, validados pelos registros históricos e marcas de inundações existentes, enquanto em áreas rurais cabe o uso de modelos hidrológicos, validados por levantamentos de campo relativos às marcas de inundações e à definição morfológica dos leitos de inundações, a partir da combinação de critérios geomorfológicos e pedológicos. Considerando a não disponibilidade dos modelos citados, ante as finalidades do mapeamento citadas, adota-se a observação de marcas de inundações e da morfologia dos leitos de inundações a partir de critérios geomorfológicos e pedológicos, bem como outras referências locais obtidas a partir de estudos anteriores realizados por autores diversos. Observa-se que os dados de isoietas, hietogramas e equações de chuvas, desenvolvidos pela CPRM e incluídos na carta síntese e na Base de Dados, destinam-se a subsidiar estudos específicos posteriores e de detalhe, em nível de projeto de engenharia.

5.5.1 Preparação das atividades de campo

As atividades de campo são precedidas por contatos com as prefeituras municipais, iniciando-se pelo levantamento da estrutura organizacional, no *site* da prefeitura de cada município, visando identificar a unidade (secretaria, departamento, coordenadoria) com atuação relacionada mais diretamente aos objetivos do mapeamento e contato telefônico para primeiras informações sobre os trabalhos e obtenção de dados necessários (responsável pela unidade, telefone, *e-mail*, endereço) visando encaminhamento posterior da documentação pertinente (carta, via *e-mail*), ressaltando-se a importância da participação das áreas de planejamento das prefeituras. Nesse contato, indica-se a importância da obtenção de dados e outras

informações específicas, como: registros de ocorrências de movimentos gravitacionais de massa e eventos destrutivos de natureza hidrológica, conforme acervo existente e outros materiais pertinentes (mapeamentos disponíveis, pesquisas realizadas); necessidade de acompanhamento dos trabalhos de campo por parte de profissionais da prefeitura, para as verificações das classes de suscetibilidade e feições identificadas no pré-mapa. Na sequência, retoma-se o contato para agendamento e solicitação de sistematização dos registros de ocorrências em banco de dados, quando disponíveis.

A maior parte dos contatos prévios é efetuada com as equipes municipais de Defesa Civil, que geralmente dispõem de estrutura básica para o acompanhamento de campo, mas há também interação com as áreas de planejamento e de meio ambiente das prefeituras. Destaca-se, contudo, a dificuldade na obtenção antecipada dos registros de eventos, possivelmente pela carência de acervos organizados e atualizados sistematicamente na maior parte dos municípios mapeados.

Para os trabalhos de verificação e validação em campo, considera-se a utilização de um roteiro orientativo, elaborado previamente. Tal roteiro destaca as fases principais dos trabalhos de campo, de modo a facilitar a execução das atividades e retroalimentar as atividades de laboratório, bem como definir um procedimento uniforme a ser aplicado ao processo de elaboração das cartas e que pode ser conduzido, sem prejuízo de resultados, por equipes distintas. Ainda em laboratório, anotam-se, diretamente no pré-mapa, pontos específicos de interesse a visitar no campo.

A composição das equipes de campo deve contar com a participação de profissionais ligados predominantemente às geociências (geólogos e geógrafos) e engenharias (geotécnica e ambiental), além de técnicos especializados e outros especialistas. O prazo planejado para a verificação de campo em cada município tende a ser variável, situando-se geralmente entre dois e quatro dias, seguidos ou alternados, a depender

da extensão territorial, qualidade das vias de circulação, condições meteorológicas vigentes, acessibilidade a pontos específicos de interesse, complexidade geotécnica do município, entre outros fatores.

5.5.2 Execução das atividades de campo

De posse do pré-mapa de suscetibilidade, construído em laboratório de geoprocessamento, as atividades de campo têm como foco, para fins de observação e registro sistemático, os seguintes tópicos: verificação das classes de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e a inundações incidentes, visando validar o zoneamento contido no pré-mapa; verificação das bacias de drenagem suscetíveis a corridas de massa e enxurradas, visando validar a indicação contida no pré-mapa; verificação das feições fotointerpretadas e sua associação com processos correlatos; e verificação de dados e informações complementares, particularmente acerca dos mapas temáticos contidos no pré-mapa.

No campo, os trabalhos se iniciam por meio de reunião com equipes de órgãos das prefeituras municipais envolvidos com o tema, como os de defesa civil e planejamento, de modo a informar os propósitos do mapeamento e obter dados e informações sobre eventos ocorridos que possam subsidiar a validação dos zoneamentos, bem como contar com o necessário apoio logístico.

O percurso e o registro de cada ponto visitado em campo resultam em anotações em caderneta e na aquisição de fotografias digitais, visando compor o acervo da Base de Dados e a seleção de imagens ilustrativas das classes de suscetibilidade incidentes em cada caso para fins de elaboração da carta síntese. Anotações diretas no pré-mapa, durante os trabalhos de campo, mostraram-se também úteis aos procedimentos posteriores de revisão e consolidação da carta síntese de suscetibilidade, quando do retorno ao laboratório.

No caso de dados pedológicos, em razão de que se mostram pouco disponíveis em termos de mapas prévios, na escala requerida, bem como por dificuldades de identificação em campo dos diferentes níveis de terraços em determinadas bacias hidrográficas, pode-se requerer

investigação complementar. Para tal, podem-se realizar observações de campo específicas com o objetivo de mapear, caracterizar e distinguir a planície aluvial atual e os terraços fluviais mais antigos. Esse procedimento é inicialmente realizado com o reconhecimento geral, em vários pontos ao longo do rio, visando encontrar e definir uma ou mais seções transversais ao canal nas quais as distinções morfológicas estejam mais bem representadas, uma vez que os depósitos aluviais se encontram em várzeas e baixos terraços, constituídos por camadas arenosas e argilosas, ricas em matéria orgânica, geralmente exibindo cascalheiras na base.

Em seguida, para eventual caracterização local dos sedimentos aluvionares, por vezes mesclados a coluvionares, pode-se executar, no campo, em áreas selecionadas, ao menos uma seção de furos de sondagem a trado, visando definir os níveis que denotam a transição entre a planície aluvial atual e o terraço antigo mais baixo ou próximo. As Figuras 5.28, 5.29 e 5.30 ilustram o procedimento.

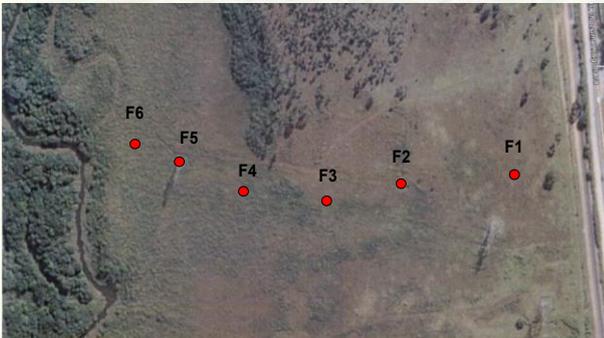


Figura 5.28 - Posicionamento de furos de sondagem a trado executados no campo, sobre ortofoto da região do rio Embu-Guaçu, SP.



Figura 5.29 - Local de execução do Furo 3 (ver posição na figura anterior), em planície aluvial atual (em primeiro plano), com evidências de acumulação e nível d'água raso a aflorante.



Figura 5.30 - Detalhe do Furo 3 (ver posição nas figuras anteriores), com diâmetro de 3" e nível d'água a cerca de 0,3 m de profundidade.

Não obstante, considerando a escala dos mapeamentos realizados, nota-se que tal definição em campo se mostra mais evidente nas regiões onde as planícies e terraços fluviais ocupam extensões territoriais relativamente maiores, como, por exemplo, nas regiões dos rios Paraíba do Sul e Ribeira de Guape, em SP.

5.6 Revisão do pré-mapa e consolidação da carta síntese

Com os resultados de classificação e zoneamento relativos aos processos analisados, incluindo-se a análise dos demais elementos compilados e as feições extraídas por meio de fotointerpretação, verificados e validados nos trabalhos de campo e por trabalhos locais de outros autores, compõem-se a carta síntese final e a Base de Dados correspondente.

A montagem da carta síntese tem em conta o emprego de linguagem acessível a um público o mais amplo possível. Privilegia-se a inserção de dados e informações que possam ser extraídos em meio a atividades de planejamento e gestão territorial e de prevenção de desastres naturais.

6. LEITURA E USO DA CARTA SÍNTESE

A composição da carta síntese de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações tem a finalidade de oferecer uma visualização sucinta acerca dos resultados do mapeamento. Contudo, deve-se alertar para a importância de sua utilização sempre em conjunto com os dados e informações contidos na Base de Dados, sobretudo quando da busca de conhecimentos referentes a determinadas

localidades de interesse ao planejamento e gestão territorial. A carta síntese é composta de quatro conjuntos principais de dados: mapas temáticos;

isoietas, hietogramas e equações de chuvas; zoneamento de suscetibilidades e legendas; e informações gerais (Figura 6.1).

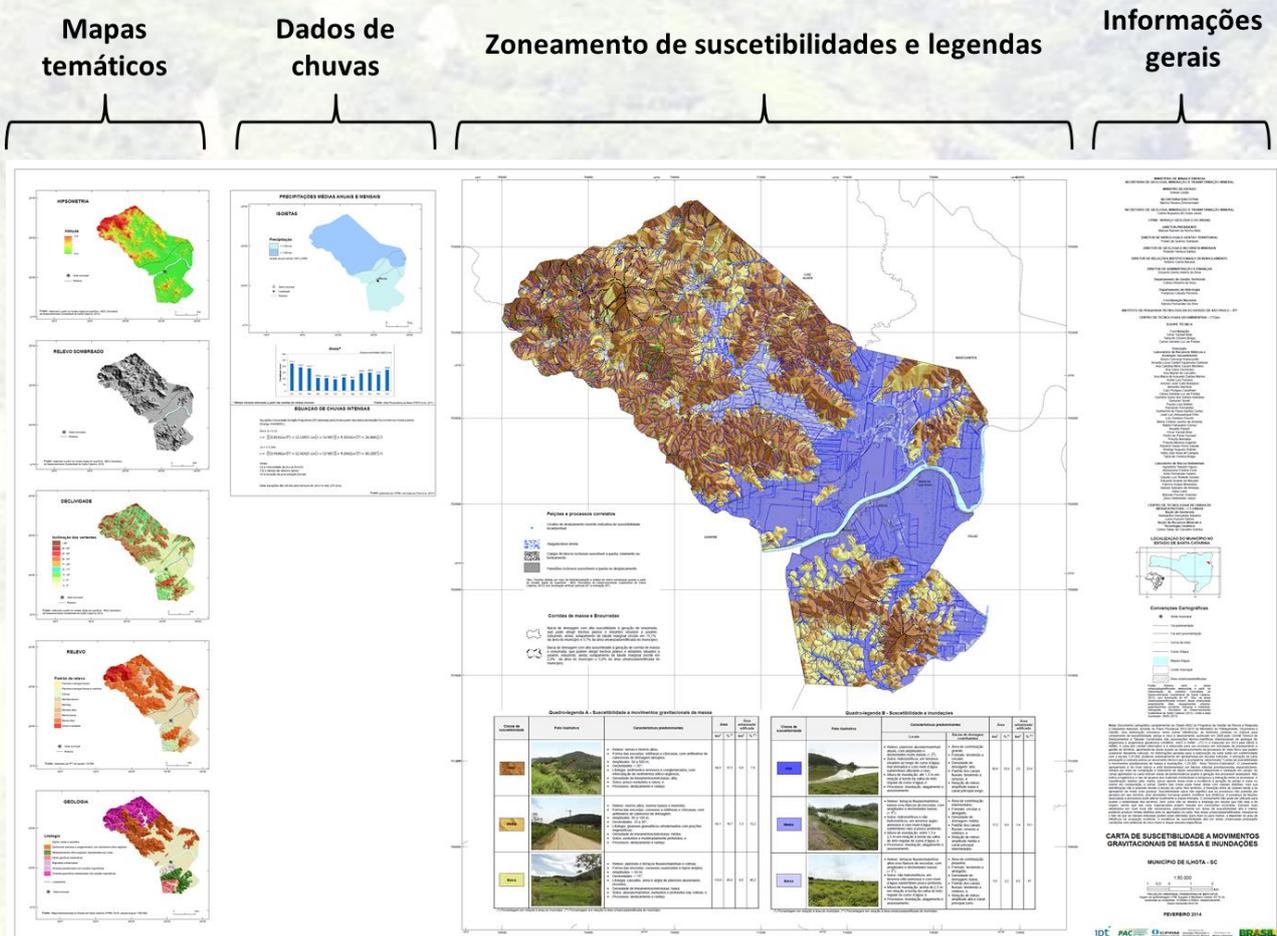


Figura 6.1 – Ilustração do layout da carta síntese, com a composição dos quatro conjuntos de dados principais: mapas temáticos; dados de chuvas; zoneamento de suscetibilidades e legendas; e informações gerais.

6.1 Mapas temáticos

O primeiro conjunto de dados, disposto na parte esquerda da carta síntese, compreende os cinco mapas temáticos selecionados dentre os compilados ou produzidos no âmbito dos trabalhos de mapeamento: hipsometria, relevo sombreado, declividade (inclinação das vertentes), relevo (padrões de relevo) e geologia (litologia e lineamentos estruturais).

A escolha desses mapas para inclusão na carta síntese visa auxiliar a leitura combinada com a interpretação relacionada aos zoneamentos de suscetibilidades a movimentos gravitacionais de massa e a inundações, tendo em conta os elementos descritos na coluna de características

predominantes. Os demais mapas temáticos gerados encontram-se na Base de Dados.

6.2 Dados de chuvas

Ao lado dos mapas temáticos, encontram-se os dados referentes a isoietas, hietogramas e equações de chuvas (Equações IDF – Intensidade, Duração e Frequência) com quantidades variáveis, a depender de cada município. Essas informações visam subsidiar a elaboração de estudos e projetos em nível de detalhe, acerca de obras hidrológico-hidráulicas na área do município.

6.3 Zoneamento das suscetibilidades e legendas

A porção central da carta contém os zoneamentos das suscetibilidades a movimentos

gravitacionais de massa (especialmente deslizamento, embora outros processos correlatos possam também estar presentes) e a inundações (fluviais e/ou costeiras), acompanhados dos respectivos quadros-legenda.

Destaca-se que as classes de suscetibilidade (alta, média, baixa) denotam zonas de predominância. Nos terrenos, a transição entre essas classes tende a se apresentar de modo mais gradual. A presença de feições pode alterar localmente a classe indicada. Nas áreas urbanizadas/edificadas, ressalva-se o fato de que as classes de suscetibilidade indicadas podem estar alteradas, para mais ou para menos, a depender do grau de influência da ocupação existente.

Na carta síntese, dada a finalidade de uso em planejamento e gestão territorial e na prevenção de desastres naturais, decorrentes de movimentos gravitacionais de massa e inundações, pode-se fazer uma leitura considerando-se a incidência das zonas de suscetibilidade em relação à urbanização, separando-se as áreas urbanizadas e as áreas não urbanizadas.

Nesse contexto, identificam-se algumas situações-tipo, nos grupos de processos do meio físico analisados, às quais se podem associar algumas diretrizes gerais para fins de planejamento e de reordenamento do uso e ocupação do solo. Não obstante, essas diretrizes não podem ser consideradas de maneira absoluta, mas sim examinadas à luz da legislação ambiental e urbanística incidente, que inclui, entre outras normas, a Lei de Parcelamento do Solo Urbano, o Estatuto da Cidade e o Código Florestal.

6.3.1 Movimentos gravitacionais de massa

A **Figura 6.2** ilustra as principais situações encontradas para movimentos gravitacionais de massa, com destaque aos deslizamentos. Algumas das possíveis diretrizes gerais relacionadas ao uso e ocupação do solo são sintetizadas a seguir, em caráter meramente exemplificativo e sem prejuízo de outras que possam ser elaboradas no âmbito de cada município e da legislação vigente, de acordo com os tópicos apontados acerca de movimentos gravitacionais de massa.

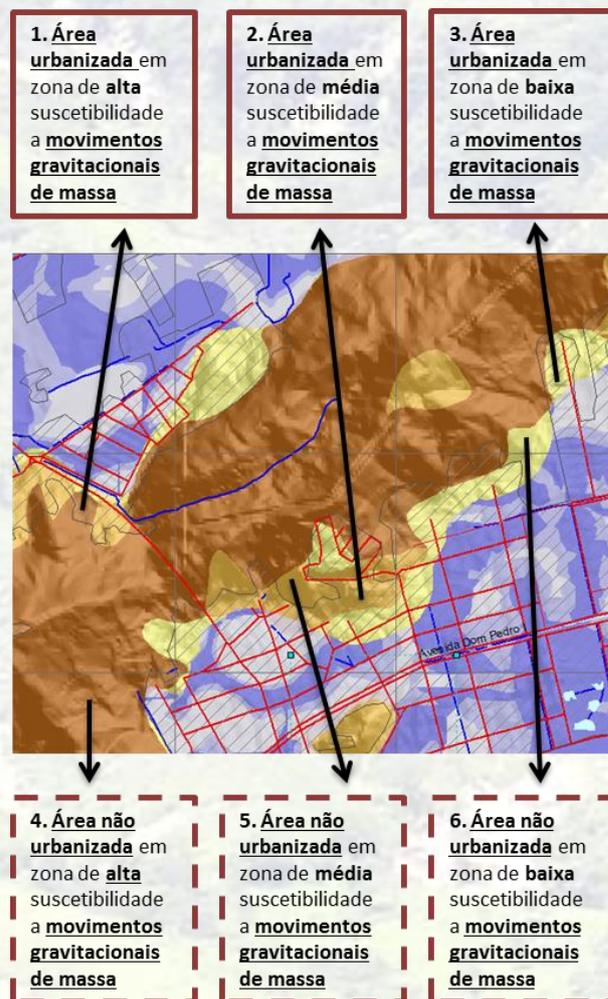


Figura 6.2 - Tipologia de situações incidentes na carta síntese acerca de movimentos gravitacionais de massa, com destaque a deslizamentos.

- 1 Realizar identificação de perigos e estimativa de risco em setores delimitados, compreendendo as zonas de alta suscetibilidade e também os terrenos a jusante sujeitos a atingimento, produzindo-se cartas de risco e planos de gerenciamento de riscos, incluindo a execução de medidas preventivas estruturais e não estruturais;
- 2 Realizar identificação de perigos e, onde necessário, estimar os riscos e elaborar carta de risco e plano de gerenciamento de riscos, incluindo a execução de medidas preventivas estruturais e não estruturais;
- 3 Avaliar a influência da ocupação no grau de suscetibilidade dos terrenos e, onde necessário, identificar perigos, estimar riscos e elaborar carta de risco e plano de gerenciamento de riscos, incluindo a execução de medidas preventivas estruturais e não estruturais;
- 4 Não ocupar ou, caso necessário, para usos específicos e não urbanos, ocupar somente mediante execução de medidas fundamentadas em rigorosa avaliação geotécnica, restringindo-se as modificações que possam afetar a geometria e a estabilidade dos terrenos;

- 5 Ocupar somente mediante execução de medidas fundamentadas em rigorosa avaliação geotécnica, restringindo-se as modificações que possam afetar a geometria e a estabilidade dos terrenos; e
- 6 Ocupar mediante execução de medidas geotécnicas convencionais, restringindo-se as modificações que possam afetar a geometria e a estabilidade dos terrenos.

Vale salientar que essas diretrizes não englobam as especificidades de corridas de massa, as quais, embora estejam também incluídas entre os movimentos gravitacionais de massa, são tratadas na sequência da presente Nota em subitem específico, em conjunto com as enxurradas (as quais, por sua vez, estão incluídas nos processos hidrológicos, mas igualmente tratadas nesse mesmo subitem à parte, com as corridas de massa).

6.3.2 Inundações

A **Figura 6.3** a seguir ilustra as principais situações encontradas para o caso das inundações.

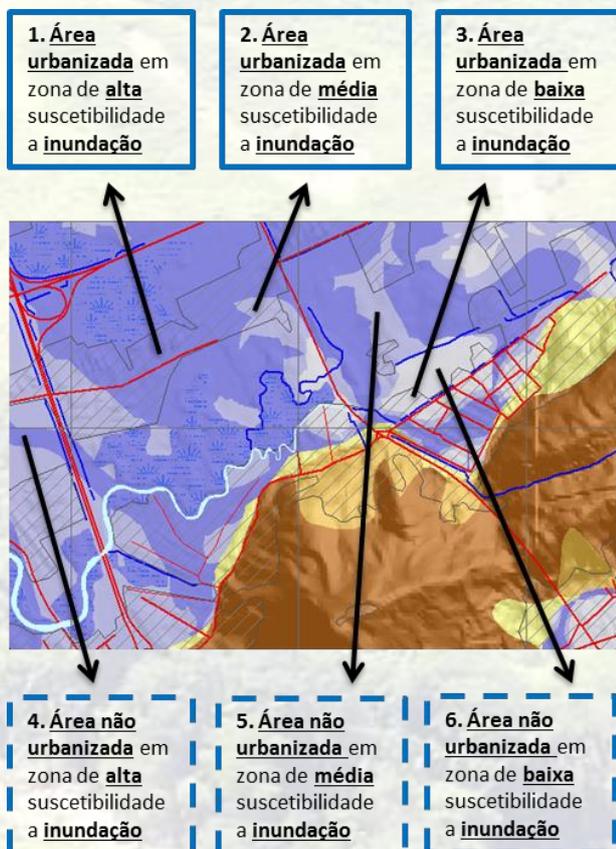


Figura 6.3 - Tipologia de situações incidentes na carta síntese acerca da suscetibilidade a inundações.

Algumas das possíveis diretrizes gerais relacionadas ao uso e ocupação do solo são sintetizadas a seguir, em caráter meramente exemplificativo e sem prejuízo de outras que possam ser elaboradas no âmbito de cada município e da legislação vigente, de acordo com os tópicos apontados na Figura 6.3, acerca de inundações:

- 1 Realizar identificação de perigos e estimativa de riscos em setores delimitados, produzindo-se cartas de risco e planos de gerenciamento de riscos, incluindo a execução de medidas preventivas estruturais e não estruturais;
- 2 Realizar identificação de perigos e, onde necessário, estimar os riscos e elaborar carta de risco e plano de gerenciamento de riscos, incluindo a execução de medidas preventivas estruturais e não estruturais;
- 3 Avaliar a influência da ocupação no grau de suscetibilidade dos terrenos e, onde necessário, identificar perigos, estimar os riscos e elaborar carta de risco e plano de gerenciamento de riscos, incluindo a execução de medidas preventivas estruturais e não estruturais;
- 4 Não ocupar ou, caso necessário, para usos específicos e não urbanos, ocupar somente mediante execução de medidas fundamentadas em rigorosa avaliação hidrológico-hidráulica, restringindo-se as modificações que possam afetar a dinâmica de escoamento local;
- 5 Ocupar somente mediante execução de medidas fundamentadas em rigorosa avaliação hidrológico-hidráulica, restringindo-se as modificações que possam afetar a dinâmica de escoamento local; e
- 6 Ocupar mediante execução de medidas hidrológico-hidráulicas convencionais, restringindo-se as modificações que possam afetar a dinâmica de escoamento local.

Além das classes, fotos ilustrativas e características predominantes em relação a condicionantes e parâmetros referentes aos processos analisados, os quadro-legendas apresentam estimativas acerca da incidência de movimentos gravitacionais de massa e inundações em relação à área do município e à área urbanizada/edificada, tanto em área (km²) quanto em proporção (%). Essas estimativas são obtidas por meio de cálculos efetuados diretamente em ambiente de SIG.

As **Tabelas 6.1** e **6.2** ilustram essa incidência em um caso específico, respectivamente para movimentos gravitacionais de massa e para inundações.

Tabela 6.1 – Exemplo da incidência de movimentos gravitacionais de massa, de acordo com as classes de suscetibilidade, em relação à área total de um dado município e a sua área urbanizada/edificada.

Classe	Área		Área urbanizada/edificada	
	km ²	%	km ²	%
Alta	123,6	59,2	1,3	6,3
Média	29,8	14,0	1,7	8,3
Baixa	59,1	26,8	17,4	85,4

Tabela 6.2 – Exemplo da incidência de inundações, de acordo com as classes de suscetibilidade adotadas, em relação à área total de planície aluvial e/ou costeira no município e à área urbanizada/edificada.

Classe	Área		Área urbanizada/edificada	
	km ²	%	km ²	%
Alta	18,3	8,6	8,4	41,4
Média	16,1	7,6	3,3	16,3
Baixa	4,6	2,2	1,5	7,4

Para os movimentos gravitacionais de massa, a “Área” estimada corresponde à área total do município, uma vez que é este o universo considerado para fins de zoneamento desses processos (incluem-se as áreas de planícies e terraços onde, em razão da escala de trabalho, pode haver outros tipos de relevo e terrenos suscetíveis). Assim, as somas dos valores obtidos totalizam o montante territorial do município em km² e em % (neste último, 100).

No caso de inundações, o universo considerado abrange as áreas de planícies e terraços. Essa opção deve-se aos valores relativamente baixos geralmente obtidos para inundações em face da área total municipal, o que tenderia a dificultar a

percepção quando da comparação entre municípios. Assim, a leitura a ser feita deve considerar que a soma não corresponde à área total do município, mas sim à área total de planícies e terraços sujeita a esses processos no âmbito do território municipal. O restante, ao qual uma vez somado chegar-se-ia a 100%, pode ser admitido como correspondente à área de suscetibilidade desprezível. Não obstante, em caso de interesse específico, aquela relação pode ser obtida a partir de cruzamento dos dados disponibilizados nos dois quadros-legenda (tomando-se, por exemplo, as áreas incidentes em cada classe de suscetibilidade a inundações e estabelecendo a correspondência absoluta e percentual em relação à área total do município, conforme apontada no quadro-legenda de movimentos gravitacionais de massa).

6.3.3 Corridas de massa e enxurradas

Para as bacias de drenagem suscetíveis a corridas de massa e enxurradas, a legenda da carta síntese aponta a incidência segundo dois subgrupos: bacias de drenagem com alta suscetibilidade a corridas de massa e enxurradas; e bacias de drenagem com alta suscetibilidade a enxurradas. Essa formatação leva em conta o pressuposto de que as bacias de drenagem sujeitas a corridas de massa são também suscetíveis a enxurradas, mas há bacias que são sujeitas apenas a enxurradas. Na legenda, aponta-se a incidência dessas duas situações, em relação à área do município e à área urbanizada/edificada do município, observando-se a relação com a geração desses processos (**Figura 6.4**).

Corridas de massa e Enxurradas	
	Bacia de drenagem com alta suscetibilidade à geração de enxurrada, que pode atingir trechos planos e distantes situados a jusante, induzindo, ainda, solapamento de talude marginal (incide em 30,2% da área do município e 7,5% da área urbanizada/edificada do município)
	Bacia de drenagem com alta suscetibilidade à geração de corrida de massa e enxurrada, que podem atingir trechos planos e distantes situados a jusante, induzindo, ainda, solapamento de talude marginal (incide em 2,1% da área do município e 0,6% da área urbanizada/edificada do município)

Figura 6.4 – Legenda com a simbologia adotada para representação de bacias de drenagem suscetíveis a corridas de massa e enxurradas, com a incidência percentual em relação à área do município e à área urbanizada/edificada.

A **Figura 6.5** ilustra as principais situações encontradas para corridas de massa e enxurradas.

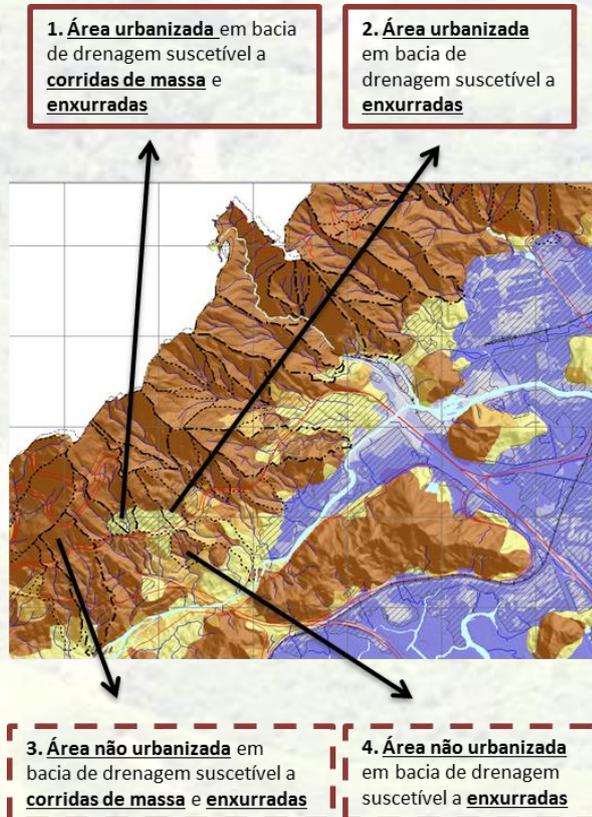


Figura 6.5 - Tipologia de situações incidentes na carta síntese acerca de áreas suscetíveis a corridas de massa e enxurradas e a enxurradas.

Algumas das possíveis diretrizes gerais relacionadas ao uso e ocupação do solo são sintetizadas a seguir, em caráter meramente exemplificativo e sem prejuízo de outras que possam ser elaboradas no âmbito de cada município e da legislação vigente, de acordo com os tópicos apontados na Figura 6.5, acerca de corridas de massa e enxurradas e de enxurradas:

- 1 Realizar identificação de perigos e estimativa de riscos, no âmbito da bacia de drenagem suscetível a corridas de massa e enxurradas e compreendendo também os terrenos a jusante sujeitos ao impacto destrutivo dos processos, produzindo-se carta de risco e plano de gerenciamento de riscos, indicando a necessidade de remoção de habitações que ocupam setores de risco, e a execução de outras medidas preventivas estruturais e não estruturais;
- 2 Realizar identificação de perigos e estimativa de riscos, no âmbito da bacia de drenagem suscetível a enxurradas e compreendendo também os terrenos a jusante sujeitos ao impacto destrutivo dos processos, produzindo-se carta de risco e plano de gerenciamento de riscos, indicando a

necessidade de remoção de habitações que ocupam setores de risco, e a execução de outras medidas preventivas estruturais e não estruturais;

- 3 Realizar mapeamento detalhado do desenvolvimento provável de corridas de massa e enxurradas, compreendendo também os terrenos planos e distantes situados a jusante das bacias suscetíveis, com a setorização das áreas que podem ser severamente atingidas, de modo a indicar a não ocupação desses compartimentos. Caso necessário, para usos específicos e não urbanos, realizar análise de riscos correspondente, produzindo-se plano de gerenciamento de riscos, incluindo a execução de medidas preventivas estruturais e não estruturais fundamentadas em rigorosa avaliação geotécnica e hidrológico-hidráulica; e
- 4 Realizar mapeamento detalhado do desenvolvimento provável de enxurradas, compreendendo também os terrenos planos e distantes situados a jusante das bacias suscetíveis, com a setorização das áreas que podem ser severamente atingidas, de modo a indicar a não ocupação desses compartimentos. Caso necessário, para usos específicos e não urbanos, realizar análise de riscos correspondente, produzindo-se plano de gerenciamento de riscos, incluindo a execução de medidas preventivas estruturais e não estruturais fundamentadas em rigorosa avaliação hidráulico-hidrológica.

6.3.4 Feições e processos correlatos

As feições obtidas a partir de fotointerpretação e utilizadas em campo para fins de verificação e validação do zoneamento prévio elaborado em laboratório de geoprocessamento, bem como para indicação de suscetibilidades locais e/ou pontuais, estão representadas na carta síntese por meio de símbolos, conforme ilustrado na **Figura 6.6**.

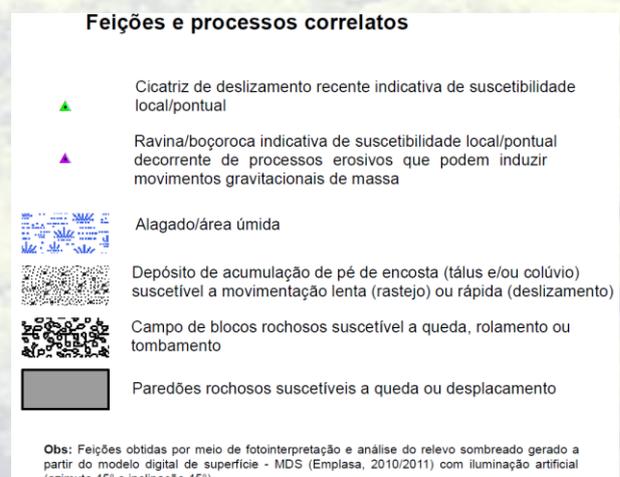


Figura 6.6: Legenda com a simbologia adotada para feições e processos correlatos, conforme representados na carta síntese.

Cada feição é associada a um ou mais processos de movimentos gravitacionais de massa ou de inundações. Cabe salientar que, em razão do caráter local ou pontual, as feições denotam suscetibilidade associada à área específica apontada e, provavelmente, também em suas imediações. Nota-se que as feições indicadas como “ravina/boçoroca”, próprias do desenvolvimento de processos erosivos, podem estar associadas à origem e evolução de movimentos gravitacionais de massa, como é o caso de deslizamentos, razão pela qual são registradas na carta síntese.

As feições são lançadas diretamente sobre os zoneamentos de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e a inundações (Figura 6.7).

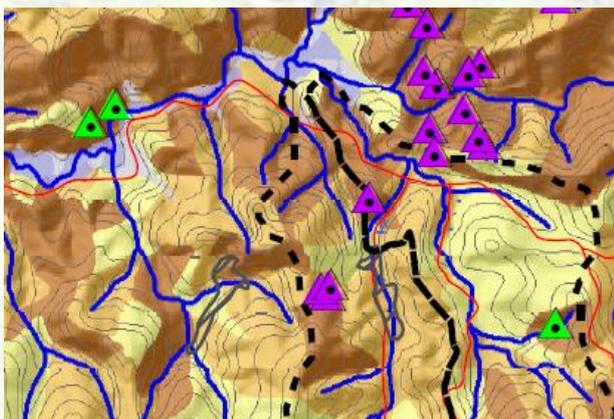


Figura 6.7 – Exemplo de indicação de feições em trecho da carta síntese, com destaque a ravina/boçoroca (triângulo lilás) e cicatriz de deslizamento recente (triângulo verde). O ponto central do triângulo indica a localização aproximada da feição.

6.4 Informações gerais

No último conjunto de dados, situado na parte direita da carta, encontram-se as informações gerais, incluindo créditos institucionais, equipe técnica, localização do município no âmbito federal e estadual, convenções cartográficas, breve nota institucional e técnica, título da carta com o município de referência, escala gráfica de apresentação (1:25.000, 1:50.000 ou 1:75.000) e data de elaboração da carta. Também se encontra, nesse conjunto, a referência à versão da carta síntese, que pode ser 01, 02 ou posterior, conforme sucessivas revisões e complementações esperadas ao longo do tempo.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseando-se em observações de diversos autores acerca da utilização adequada das cartas de suscetibilidade, como as apresentadas por Giraud e Shaw (2007) no caso de deslizamentos, entre outros trabalhos, seguem algumas considerações adicionais, as quais devem necessariamente ser levadas em conta quando do emprego da carta para os fins a que se destina.

As cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e a inundações geradas mostram uma classificação relativa apoiada em um modelo de abordagem em desenvolvimento, fundamentado inicialmente em fatores predisponentes relacionados aos terrenos, espacializáveis e obtidos por meio de compilação e tratamento de dados secundários. É possível que outros fatores não incluídos na atual fase de desenvolvimento do modelo venham a ser determinantes em certas situações. Os aspectos climáticos estão entre esses fatores, uma vez que, em alguns casos, a variabilidade no âmbito do território municipal pode ser significativa. Contudo, esses e outros fatores são passíveis de integração posterior ao modelo, considerando-se que os respectivos dados, uma vez disponíveis, apresentem significância na escala de referência e sejam fornecidos em formatos espacializáveis.

A classificação relativa obtida (alta, média, baixa) aponta áreas onde a propensão é maior ou menor em comparação a outras. A suscetibilidade baixa não significa que os processos analisados não poderão se desenvolver em seu domínio, pois atividades humanas podem alterar os processos e deflagrar ou acelerar sua dinâmica em qualquer área. As classes de suscetibilidade não indicam a trajetória e o alcance territorial dos materiais envolvidos nos fenômenos abordados e tampouco a sinergia entre os vários processos atuantes numa dada área. Dentro das zonas de maior ou menor suscetibilidade pode haver áreas com classe distinta, mas sua delimitação não se mostra compatível com a escala da carta.

Em razão desses aspectos, a carta de suscetibilidade gerada não pode ser utilizada, por exemplo, para análise de estabilidade de terrenos ou elaboração de cenários em face da ocupação,

bem como não se destina ao uso em qualquer outra escala que não seja a de referência. Esses e outros usos inapropriados podem resultar em conclusões incorretas acerca da incidência de maior ou menor suscetibilidade em dada área.

A carta é elaborada para uso exclusivo em atividades de planejamento e gestão territorial e de prevenção de desastres naturais, apontando-se áreas suscetíveis em relação aos processos do meio físico analisados. Estudos mais detalhados e em nível local são necessários, particularmente em áreas de suscetibilidade alta e média, podendo produzir diferentes limites ante os apontados na carta. A incidência de alta suscetibilidade em áreas urbanizadas pressupõe condições com potencial de risco maior e requer estudos específicos.

AGRADECIMENTOS

Registram-se os agradecimentos ao Serviço Geológico do Brasil (CPRM), em especial a Cassio Roberto da Silva, Sandra Fernandes da Silva e Equipe Técnica da CPRM, pela viabilização dos trabalhos e cooperação permanente, bem como às diversas instituições e profissionais que contribuíram direta ou indiretamente na execução das atividades, em particular às equipes de defesa civil de prefeituras e de estados pelo inestimável apoio de campo e aos órgãos municipais, estaduais e federais que disponibilizaram dados e informações essenciais aos mapeamentos realizados.

REFERÊNCIAS

ABREU, A. E. S. de; AUGUSTO FILHO, O. Mapeamento geotécnico para gestão municipal. **Geotecnia**, n. 115, p. 45-80, mar. 2009.

AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 1., 1992, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABMS; ABGE; PMRJ; SMO; GEORIO, 1992. v. 2, p. 721-733.

AUGUSTO FILHO, O.; MAGALHÃES, F. S.; GRAMANI, M. F. Mass movements susceptibility map of a highway system using GIS technology: a study case in Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM GEOLINE: GEOLOGY AND LINEAR INFRASTRUCTURES, 2005, Lyon, France. **Proceedings...** Lyon: BRGM, 2005. CD-ROM.

BAJABAA, S.; MASOUD, M.; AL-AMRI, N. Flash flood hazard mapping based on quantitative hydrology, geomorphology and GIS techniques (case study of Wadi Al Lith, Saudi Arabia). **Arabian Journal of Geosciences**, April, 2013. Disponível em: <<http://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs12517-013-0941-2.pdf>>. Acesso em: 9 set. 2013.

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/d0d2a5b6f24df2fea75e7f5401c70e0d.pdf>>. Acesso em: set. 2013.

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.

BRESSANI, L. A. Identificação e caracterização de cenários de riscos a movimentos de massa e outros riscos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 14., 2013, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABGE, 2013. (No prelo).

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.

CALVELLO, M.; CASCINI, L.; MASTROIANNI, S. Landslide zoning over large areas from a sample inventory by means of scale-dependent terrain units. **Geomorphology**, v. 182, p. 33-48, 2013.

CARDONA, O. D. *et al.* **Entendimiento y gestión del riesgo asociado a las amenazas naturales: un enfoque científico integral para América Latina y el Caribe**. Ciencia para una vida mejor: desarrollando programas científicos regionales en áreas prioritarias para América Latina y el Caribe. Rio de Janeiro y Ciudad de México: ICSU - LAC; CONACYT, 2010. v. 2, 88 p.

CARVALHO, C. S.; MACEDO, E. S. de; OGURA, A. T. (Org.). **Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios**. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, 2007. 176 p.

CARVALHO, C. S.; GALVÃO, T. (Org.). **Prevenção de riscos de deslizamentos em encostas**: Guia para elaboração de políticas municipais. Brasília: Ministério das Cidades; Cities Alliance, 2006. 111 p.

CERRI, L. E. S. *et al.* Cartas e mapas geotécnicos de áreas urbanas: reflexões sobre as escalas de trabalho e proposta de elaboração com o emprego do método do detalhamento progressivo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 8., 1996, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABGE, 1996. v. 2, p. 537-547.

CERRI, L. E. da S.; AMARAL, C. P. Riscos geológicos. In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A. de. (Ed.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia - ABGE, 1998. Cap. 18, p. 301-310.

CHRISTOFOLETTI, A. A morfologia de bacias de drenagem. **Notícias Geomorfológicas**, Campinas, v. 18, n. 36, p. 130-2, 1978.

COOKE, R. U.; DOORNKAMP, J. C. **Geomorphology in environmental management**. Oxford: Claredon Press, 1990. 410 p.

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 – GEGEP; DECivil, 2013. 376 p. (Documento Técnico).

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. DICART - Divisão de Cartografia. 2012. **Especificações básicas para a confecção da base cartográfica**. Rio de Janeiro: CPRM, 2012.

CUNHA, M. A. *et al.* (Coord.). **Manual de ocupação de encostas**. São Paulo: IPT, 1991. (Publicação IPT, 1 831).

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, p. 29-77, 2012.

FARIA, M. M.; ZACCHI, R. C.; FERREIRA, E. S. Caracterização morfométrica e biológica da bacia hidrográfica do córrego Serafim, sub-bacia do rio Paraibuna, Juiz de Fora, MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13., 2009, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa: Editora da Universidade Federal de Viçosa, 2009.

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

FERNANDES, N. F. *et al.* Condicionantes geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 2, n. 1, p. 51-71, 2001.

FERNANDES, N. F. **Modelagem em movimentos de massa**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 14., 2013, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: ABGE, 2013 (Trabalho apresentado no evento).

FORNASARI FILHO (Coord.) *et al.* **Alterações no meio físico decorrentes de obras de engenharia**. São Paulo: IPT, 1992. 165 p. (Publicação IPT, 1 972).

FREITAS, C. G. L. de. **Cartografia geotécnica de planejamento e gestão territorial: proposta teórica e metodológica**. 2000. 238 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e

Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

GIRAUD, R. E.; SHAW, L. M. **Landslide susceptibility map of Utah**. Utah: Utah Geological Survey; Utah Department of Natural Resources, 2007.

GRAMANI, M. F. **Caracterização geológico-geotécnica das corridas de detritos ("Debris Flows") no Brasil e comparação com os casos internacionais**. 2001. 385 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Solos) - Departamento de Estruturas e Fundações, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

GRAMANI, M. F.; AUGUSTO FILHO, O. Analysis of the triggering of debris flow potentiality and the run-out reach estimative: an application essay in the Serra do Mar mountain range. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LANDSLIDES, 9., 2004, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Londres: Balkema, 2004. v. 2. p. 1477-1483.

GRAMANI, M. F.; KANJI, M. A. Debris flows in Brazil: geological settings and parameters. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31., 2000, Rio de Janeiro, BR. **Proceedings...** Rio de Janeiro: International Union of Geological Sciences - IUGS; Sociedade Brasileira de Geologia - SBG, 2000. 1 CD-ROM.

GRAMANI, M.F.; KANJI, M. A. Inventário e análise das corridas de detritos no Brasil. In: III CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS - COBRAE, 3., 2001, Rio de Janeiro. **Anais ...** Rio de Janeiro: ABMS - NRRJ, 2001.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1976. 170p.

GUZZETTI, F. *et al.* Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. **Geomorphology**, v. 31, p. 181-216, 1999.

HERMELIN, M. (Ed.) **Desastres de origen natural em Colombia 1979-2004**. Medellín: Universidad EAFIT, 2005. 248p.

HIGHLAND, L. M.; BOBROWSKY, P. **The landslide handbook - a guide to understanding landslides**. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey, 2008. 129 p. (Circular 1325).

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945.

INFANTI JÚNIOR, N.; FORNASARI FILHO, N. Processos de dinâmica superficial. In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A. de. (Ed.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia - ABGE, 1998. Cap. 9, p. 131-152.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Empresa Metropolitana de Planejamento da Grande São Paulo - EMPLASA. **Carta de aptidão física ao**

assentamento urbano, escala 1:50.000 - guia de utilização. São Paulo: IPT/ Emplasa, 1990.

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.

KANJI, M. A. *et al.* Basic and common characteristics of debris flows. In: PAN-AMERICAN SYMPOSIUM ON LANDSLIDES, 2. /CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS - COBRAE, 2., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABGE; ISSMGE, 1997. p. 223-231.

KANJI, M. A. *et al.* Main factors intervening in the risk assessment of debris flows. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON THE DEBRIS FLOW DISASTER OF DECEMBER 1999 IN VENEZUELA, 2000, Caracas, Venezuela. **Proceedings...** Caracas, Venezuela: Universidad Central de Venezuela; Facultad de Ingenieria, 2000. 1 CD-ROM.

KANJI, M. A.; GRAMANI, M. F. Metodologia para determinação da vulnerabilidade a corridas de detritos em pequenas bacias hidráulicas. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS - COBRAE, 3., 2001, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABMS - NRRJ, 2001. p. 75-82.

LINDNER, E. A.; GOMIG, K.; KOBIYAMA, M. Sensoriamento remoto aplicado à caracterização morfométrica e classificação do uso do solo na bacia rio do Peixe/SC. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 3405-3412.

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.

MACMILLAN, R. A.; JONES, R. K.; MCNABB, D. H. Defining a hierarchy of spatial entities for environmental analysis and modeling using digital elevation models (DEMs). **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 28, p. 175-200, 2004.

MAGALHÃES, F. S. *et al.* Avaliação da potencialidade a movimentos de massa na Serra do Mar, entre São Sebastião-Cubatão, com vistas ao duto OSBAT. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 4., 2005, Salvador, BA. **Anais...** Salvador: ABMS, 2005. v. 1, p. 227-241.

MARTINS, F. B. *et al.* Zoneamento ambiental da sub-bacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria (RS). Estudo de caso. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 3, p. 315-322, jul./set. 2005.

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.

MÜLLER, V. C. **A quantitative geomorphology study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain Area, Virginia and Tennessee.** New York: Department of Geology, Columbia University, 1953. 51 p.

NOGUEIRA, F. R.; SOUZA, L. A. Carta de suscetibilidade a processos múltiplos no município de São Bernardo do Campo, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 14., 2013, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABGE, 2013. 1 CD ROM.

OGURA, A. T.; GRAMANI, M. F. The debris flow in Lavrinhas: stratigraphical and sedimentological features for debris flow risk assessment. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31., 2000, Rio de Janeiro, BR. **Proceedings...** Rio de Janeiro: International Union of Geological Sciences - IUGS; Sociedade Brasileira de Geologia - SBG, 2000. 1 CD-ROM.

OLIVEIRA, G. G. de. **Modelos para previsão, espacialização e análise das áreas inundáveis na bacia hidrográfica do rio Caí, RS.** 2010. 149 f. Dissertação (Mestrado) - Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

OLIVEIRA, G. G. de.; GUASSELLI, L. A.; SALDANHA, D. L. Influência de variáveis morfométricas e da distribuição das chuvas na previsão de enchentes em São Sebastião do Caí, RS. **Revista de Geografia**, Recife, v. especial VIII SINAGEO, n. 3, p. 140-155, set. 2010.

PINHEIRO, A. Enchente e inundação. In: SANTOS, R. F. (Org.). **Vulnerabilidade ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos?** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007. 192 p.

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

PINTO, E. J. de A. *et al.* (Coord.). **Atlas pluviométrico do Brasil: isoietas mensais, isoietas trimestrais, isoietas anuais, meses mais secos, meses mais chuvosos, trimestres mais secos, trimestres mais chuvosos.** Brasília: CPRM, 2011. 1 DVD. Escala 1:5.000.000. (Programa Geologia do Brasil; Levantamento da Geodiversidade; Sistema de Informação Geográfica - SIG - versão 2.0).

PIRES, E. G.; BORMA, L. S. Utilização do modelo HAND para o mapeamento de bacias hidrográficas em ambiente de Cerrado. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...** Foz do Iguaçu: INPE, 2013. p. 5568-5575.

PONÇANO, W. L. (Coord.) *et al.* **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 1981. 2 v. (Publicação IPT, 1 183; Monografias, 5).

PRANDINI, F. L. *et al.* **Carta geotécnica dos morros de Santos e São Vicente**: condicionantes do meio físico para o planejamento da ocupação urbana. São Paulo: IPT, 1980. (Publicação IPT, 1 153).

PRANDINI, F. L. *et al.* Cartografia geotécnica nos planos diretores regionais e municipais. In: BITAR, O. Y. (Coord.). **Curso de Geologia Aplicada ao meio ambiente**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia - ABGE; Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, 1995. Cap. 4, p. 187-202.

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.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 6, p. 17-29, 1992.

SALVADOR, E. D. **Roteiro para geração de carta de drenagens e delimitação de bacias hidrográficas a partir de MNT no ARCGIS 9.X**. São Paulo: CPRM, 2007. 9 p.

SANTOS, A. R. dos. **Enchentes e deslizamentos**: causas e soluções. São Paulo: Pini, 2012. 136 p.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. **Geological Society of America Bulletin**, n. 67, p. 597-646, 1956.

SCHUMM, S. A. Sinuosity of alluvial rivers on the great plains. **Geological Society of America Bulletin**, v. 74, n. 9, p. 1089-1100, 1963.

SILVERMAN, B. W. **Density estimation for statistics and data analysis**. Nova York: Chapman and Hall, 1986. 175 p.

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, p. 79-97, 2012.

SOUZA, C. R. de G. Risco a inundações, enchentes e alagamentos em regiões costeiras. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: GEDN; UFSC, 2004. p. 231-247. 1 CD-ROM.

STABILE, R. A. *et al.* Análise de fatores condicionantes de instabilizações em encostas como subsídio para a modelagem estatística da suscetibilidade a deslizamentos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 14., 2013, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABGE, 2013. 1 CD ROM.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **American Geophysics Union Transactions**, v. 38, p. 913-920, 1957.

TEODORO, V. L. I. *et al.* Conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, n. 20, p. 137-156, 2007.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. do. **Desastres naturais**: conhecer para prevenir. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 196 p.

UNISDR - THE UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION. **Terminología sobre reducción del riesgo de desastres**. Ginebra: Naciones Unidas; UNISDR, 2009. Disponível em: <<http://www.unisdr.org/files/7817UNISDRTerminologySpanish.pdf>>. Acesso em: 18 dez. 2013.

VALLEJO, L. I. G. de; FERRER, M. **Geological engineering**. Boca Raton: CRC Press, 2011. 700 p.

VEDOVELLO, R. *et al.* Avaliação da suscetibilidade aos processos potencializadores de risco a escorregamentos e inundações do município de São Sebastião - SP. In: SEMINÁRIO ANUAL DO INSTITUTO GEOLÓGICO (SAIG), 2., 1995, São Paulo. **Resumos Expandidos**. São Paulo: Instituto Geológico - SMA, 1995. p. 38-41.

VIEIRA, B. C. *et al.* Estudo comparativo dos movimentos de massa ocorridos em fevereiro de 1996 nas bacias do Quitite e do Papagaio (RJ): uma abordagem geomorfológica. In: PAN-AMERICAN SYMPOSIUM ON LANDSLIDES, 2. /CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS - COBRAE, 2., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABGE; ISSMGE, 1997. v. 1, p.165-174.

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

ZAINE, J. E. **Mapeamento geológico geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP)**. 2000. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

ZÊZERE, J. L. Landslide susceptibility assessment considering landslide tipology. A case study in the area north of Lisbon (Portugal). **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 2, p. 73-82, 2002.

ZUQUETTE, L. V. **Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração**. 1993. Tese (Livre Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

ZUQUETTE, L. V.; GANDOLFI, N. **Cartografia geotécnica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. 190 p.

ZUQUETTE, L. V.; NAKAZAWA, V. A. Cartas de Geologia de Engenharia. In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A. de. (Ed.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia - ABGE, 1998. Cap. 17, p. 283-300.

Endereços para correspondência:

*Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT
Avenida Professor Almeida Prado, 532, Cidade Universitária, Butantã, São Paulo, SP - CEP 05508-901.
www.ipt.br*

*Serviço Geológico do Brasil - CPRM
Avenida Pasteur, 404, Urca, Rio de Janeiro, RJ - CEP 22290-240.
www.cprm.gov.br*

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-09-00177-3



9 788509 001773

ipt²
INSTITUTO DE
PESQUISAS
TECNOLÓGICAS

 **CPRM**
Serviço Geológico do Brasil