

# CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA APLICADA AO PLANEJAMENTO URBANO



FREDERICO GARCIA SOBREIRA  
*Universidade Federal de Ouro Preto – sobreira@degeo.ufop.br*

LEONARDO ANDRADE DE SOUZA  
*Zemlya Consultoria e Serviços – leonardo@zemlya.com.br*

## RESUMO ABSTRACT

A cartografia geotécnica começou a ser prática no Brasil a partir da década de 1970, se consolidando na década de 1980, com o desenvolvimento e aplicação de metodologias com vários objetivos, enfoques e escalas de trabalho, praticadas por universidades e instituições de pesquisa. Com o desenvolvimento de tecnologias de processamento eletrônico de dados cartográficos, que possibilitou a representação e o armazenamento de dados através de um ambiente computacional, ocorreu paralelamente o desenvolvimento dos sistemas de informação geográficas (SIG), tornando-se possível capturar, gerenciar, manipular e analisar uma grande quantidade de dados de fontes diversas, referenciados espacialmente, reestruturando-os e apresentando-os para a solução de problemas complexos de planejamento e gerenciamento. A agilidade nas análises e a geração de produtos derivados fomentaram a expansão da cartografia geotécnica e os mais variados produtos surgiram, com aplicação diversificada (planejamento urbano, planejamento ambiental, ordenamento territorial, gestão territorial, gerenciamento de obras civis, estudos de processos geodinâmicos, zoneamentos ambientais dirigidos, etc.). Este trabalho aborda as práticas de cartografia geotécnica com enfoque no planejamento urbano, partindo da conceituação de suscetibilidades, aptidão para urbanização e riscos geológico-geotécnicos, propondo a seguir procedimentos para a elaboração de cada produto cartográfico, seguindo a lógica do detalhamento progressivo. São discutidas as questões de escalas de mapeamento e apresentação, dados e informações básicos mínimos necessários para cada nível de mapeamento, a importância da correlação entre os tipos de produtos a serem gerados e o objeto do estudo, em termos de aplicação e utilização, considerando o Estatuto das Cidades que cria e regulamenta instrumentos que visam assegurar a função social da propriedade e da cidade, bem como

## GEOTECHNICAL CARTOGRAPHY APPLIED TO URBAN PLANNING

Geotechnical cartography began to be applied in Brazil from the 1970s and gained strength in the 1980s with the development and application of methodologies with several objectives, approaches and work schedules, practiced by universities and research institutions. The development of technologies for the electronic processing of cartographic data, which allow the representation and storage of information through a computing environment, was followed by the development of geographic information systems (GIS), making it possible to capture, manage, use and analyze large amounts of data from many sources, spatially referenced, restructuring them and presenting them to solve complex planning and management problems. The agility in the analysis and generation of derived products encouraged the expansion of geotechnical cartography and numerous products of diversified applications have emerged (urban planning, environmental planning, land planning, land management, management of civil works, studies of geodynamic processes, environmental zoning, etc.). This work addresses geotechnical cartographic practices with a focus on urban planning, based on the concept of susceptibility, suitability for urbanization and geological and geotechnical risks, proposing procedures for the elaboration of each cartographic product, according to the progressive detailing logics. The following issues are discussed: mapping and presentation scales, data and minimum basic information required for each mapping level, the importance and correlation between the types of products to be generated and the study object in terms of implementation and use, considering the Ordinance of Cities that creates and regulates instruments aimed

a regulação e controle do uso e ocupação do solo urbano e rural, sem entretanto aprofundar a discussão sobre metodologias de mapeamento, visto que estas são condicionadas por fatores técnicos, econômicos e de tempo disponível para execução. Pretende-se com esta proposição fomentar a discussão em torno da temática, buscando uma uniformização dos procedimentos de forma que estes estudos sejam mais facilmente replicáveis e exequíveis pelas municipalidades e governos estaduais, instâncias públicas responsáveis pelo planejamento urbano.

**Palavras-chave:** Cartografia geotécnica, suscetibilidade, risco geológico, planejamento urbano

at ensuring the social function of property and the city, as well as the regulation and control of use and occupation of urban and rural land, but without further discussion on mapping methodologies, since they are guided by technical and economic factors and time available for execution. This proposal is intended to encourage discussions on the subject, seeking a standardization of procedures so that these studies are more easily replicable and possible to be implemented by municipalities and state governments, which are public authorities responsible for urban planning.

**Keywords:** Cartography, susceptibility, geological risk, urban planning

## INTRODUÇÃO

Nas últimas três décadas houve um grande avanço na cartografia geotécnica brasileira, com o desenvolvimento de inúmeros trabalhos e muitos procedimentos metodológicos e surgimento de centros produtores deste tipo de cartografia, tais como a Universidade Federal do Rio de Janeiro, EE-USP São Carlos, Instituto de Pesquisa Tecnológicas do Estado de São Paulo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, dentre outros, cada qual seguindo linhas metodológicas distintas (Zuquette & Nakasawa 1998), que por sua vez geraram outros pólos de produção (UnB, Instituto Geológico do Estado de São Paulo, Universidade Federal de Santa Catarina, etc.). Com o desenvolvimento tecnológico, principalmente na área de informática, pelo surgimento da cartografia digital e dos sistemas de informações geográficas (SIG), nos últimos 15 anos tornou-se mais ágil e rápida a geração de mapas e cartas, ficando facilitados enormemente os processos de integração de dados e a atualização dos produtos cartográficos, à medida que novas informações são geradas ou adquiridas, assim como a reprodução das cartas e mapas em escalas diversas e a custos baixos.

A profusão de trabalhos, geralmente produtos de pesquisas acadêmicas e quase sempre desenvolvendo, testando ou adaptando procedimentos metodológicos, possibilitou o mapeamento de um considerável número de cidades e regiões (entendendo estas como localidades isoladas, bairros, unidades administrativas, bacias hidrográficas, etc.), como pode ser comprovado pelos

registros do Banco de Dados sobre Cartografia Geotécnica e Geoambiental do Brasil ([www.abge.com.br](http://www.abge.com.br)). Estes trabalhos geralmente estão vinculados aos termos cartografia geotécnica ou cartografia geoambiental, mas não há um consenso geral entre pesquisadores e profissionais da área sobre as definições destes termos, que muitas vezes acabam sendo utilizados inapropriadamente.

Por outro lado, a diversidade de objetivos e metodologias trouxe consigo inúmeros termos e produtos, uns mais comuns tais como suscetibilidade, risco, aptidão, com seus respectivos mapas e cartas, outros menos frequentes, como fragilidade, vulnerabilidade, sensibilidade, predisponência, restrições, etc., além da grande variabilidade das escalas de mapeamento, esta consequência da limitação dos produtos cartográficos básicos existentes em cada local, que muitas vezes são determinantes dos procedimentos de análise e integração de dados. Estes mapas e cartas geotécnicos e geoambientais enfocam uma gama variada de usos do meio físico, tais como uso urbano (áreas não ocupadas, áreas ocupadas, áreas com ausência ou deficiência de infra-estrutura e áreas com infra-estrutura instalada), implantação de obras civis (rodovias, linhas de transmissão, dutovias, barragens e reservatórios, canais, hidrovias, obras marítimas etc.), uso agrícola, exploração de recursos minerais e abordam estudos diversos sobre processos geodinâmicos (movimentos em encostas, erosão, inundação, subsidências, etc.), porém, não existe um padrão comum ou normatização dos trabalhos e dos procedimentos executados na sua realização, assim como das escalas de trabalho e

apresentação final. No entanto, no atual estado de desenvolvimento da cartografia geotécnica no Brasil, reconhece-se a dificuldade, ou mesmo a impossibilidade desta padronização, por diversos motivos, cuja análise foge do escopo deste trabalho.

É extremamente meritosa a busca de solução para questões como dimensão das áreas de mapeamento, diferenças de escalas das informações a serem integradas, disponibilidades de recursos e de informações básicas e tempo para execução dos trabalhos, mas, neste contexto, muitas vezes conceitos são confundidos ou utilizados incorretamente, fontes cartográficas básicas (topografia e suas derivações, geomorfologia, geologia, pedologia, uso e ocupação, etc.) com escalas muito distintas, por diversas vezes incompatíveis, são integradas indiscriminadamente e os produtos gerados trazem informações aquém ou além do tecnicamente possível. Estes problemas são de difícil resolução, mas espera-se que com a evolução do estado da arte da cartografia geotécnica e geoambiental no país e as melhorias na geração de dados básicos, cartográficos ou não, caminhe-se para um ponto de concordância em um futuro próximo.

Desta forma, este ensaio busca enfatizar a cartografia geotécnica enfocando o planejamento urbano, tanto para as porções territoriais ainda não ocupadas e sem infra-estrutura instalada, quanto para os locais já ocupados com infra-estrutura urbana parcial ou total, correlacionando os mesmos com os processos geodinâmicos passíveis de serem deflagrados naturalmente, ou por ação/intervenção antrópica, e as características do meio ambiente *físico, biótico e antrópico a ser ocupado*. Não se pretende definir inexoravelmente conceitos e terminologias nem dar um caráter dogmático às proposições aqui apresentadas, mas simplesmente fomentar a discussão sobre as questões ligadas ao meio físico e sua ocupação por áreas urbanas, buscando um avanço no caminho até agora seguido e uma futura uniformização de procedimentos de mapeamento, das fontes primárias e secundárias básicas para as análises e dos produtos gerados, considerando principalmente os usuários finais, gestores e técnicos de instâncias públicas (municipalidades e governos estaduais) responsáveis pelo planejamento urbano.

## TERMOS E CONCEITOS ADOTADOS

O termo cartografia geotécnica é empregado de uma forma genérica para aqueles produtos cartográficos que expressam a prática do conhecimento geológico aplicado para enfrentar os problemas gerados pelo uso e ocupação do solo (Prandini *et al.* 1995) ou que busquem avaliar e retratar as características dos componentes e os comportamentos do meio físico frente aos diferentes tipos de ocupação, avaliando suas limitações e seus potenciais (Zuquette 1993). Cerri (1990) afirma que as cartas geotécnicas devem mostrar a distribuição dos diferentes tipos de rochas e solos e suas propriedades geológico-geotécnicas, as formas de relevo e a dinâmica dos principais processos atuantes e o reflexo destes (naturais e induzidos) nas formas do uso e ocupação do solo. Freitas (2000) considera “a carta geotécnica como produto resultante da necessidade de caracterização dos terrenos, comprometido com uma intervenção ou solução para uso e ocupação do solo”, levando em conta atributos ou parâmetros de seus componentes físicos, os quais induzem ou condicionam o desenvolvimento de processos e fenômenos responsáveis pela dinâmica da crosta terrestre.

Cerri (1990) classifica as cartas geotécnicas como cartas geotécnicas clássicas, cartas de suscetibilidade e cartas de risco. Bittar *et al.* (1992) defendem a subdivisão em cartas geotécnicas dirigidas, cartas geotécnicas convencionais, cartas de suscetibilidade e cartas de risco geológico. Prandini *et al.* (1995) e Zaine (2000) classificam as cartas geotécnicas em cartas geotécnicas (propriamente ditas), cartas de riscos geológicos, cartas de suscetibilidade e cartas de atributos ou parâmetros. Por outro lado, segundo Zaine (2000), “embora haja uma diversidade de termos empregados para denominar os diferentes tipos de cartas e/ou mapas geotécnicos, parece haver uma certa similaridade entre os tipos de documentos produzidos”.

Para Freitas (2000), a carta geotécnica é um instrumento voltado a aplicações nas diferentes solicitações do homem na ocupação do ambiente e deve estar sempre comprometida com uma intervenção ou solução, buscando-se permanentemente um sentido para sua elaboração, calcado em sua aplicação, ou seja, “mudam-se os objetivos; pode-se, então, mudar o método de abordagem para sua elaboração”.

A partir das conceituações acima descritas, entende-se que cartas geotécnicas são os produtos cartográficos que retratam a distribuição dos diferentes tipos de rochas e solos (residuais e transportados), considerando suas características mecânicas e hidráulicas no contexto do meio físico (formas do relevo, geodinâmica externa – processos atuantes, uso e ocupação do solo), com o intuito de se definir as limitações, potencialidades e necessidades de intervenções para a consolidação do uso urbano e rural.

Considerando a importância de correlacionar os tipos de produtos a serem gerados e o objeto do estudo, em termos de aplicação e utilização, e com o intuito de evitar o número elevado de classificações (nomes de cartas e de unidades), nas explicações que se seguem serão adotados os termos cartas geotécnicas de suscetibilidades, cartas geotécnicas de aptidão à urbanização e cartas geotécnicas de risco geológico, reconhecendo que cada uma delas tem determinadas especificações quanto à escala de mapeamento, aos dados básicos de entrada para sua elaboração, à forma de representação e, principalmente, aos objetivos de sua aplicação no contexto do planejamento urbano.

Entende-se por suscetibilidade a potencialidade de processos geológicos (movimentos gravitacionais de massa, inundações/enchentes/alagamentos, corridas, erosões, assoreamento, subsidências e colapsos, processos costeiros, sismos induzidos, etc.) causarem transformações do meio físico, independentemente de suas consequências para as atividades humanas. Neste caso, a possibilidade de ocorrência de processos geodinâmicos está condicionada pela predisponência natural do meio físico ao seu desenvolvimento, podendo em alguns casos ter como um elemento adicional as práticas de uso e ocupação. Assim, estudos de suscetibilidade destacam um ou mais fenômenos naturais e o comportamento dos terrenos frente ao uso do solo pretendido. Nos estudos de suscetibilidade devem ser avaliados os processos que podem ocorrer em áreas mais abrangentes e com agentes deflagradores de maior magnitude, independentemente da ocupação destas áreas, buscando avaliações mais gerais dos terrenos quanto ao seu comportamento frente aos processos envolvidos e representando os resultados em cartas. Têm caráter quase sempre qualitativo e são

mais eficazes no planejamento em um nível mais macro, buscando indicar as áreas mais propícias para os diversos usos e ocupações, assim como as restrições existentes nos demais locais. Zuquette & Gandolfi (2004) denominam os produtos cartográficos destas análises de carta de eventos e consideram que, uma vez determinadas a intensidade e probabilidade de ocorrência dos processos acima de um limite crítico pode-se proceder a análise dos perigos (*hazard*) ou eventos perigosos naturais em um determinado intervalo de tempo.

A aptidão à urbanização pode ser definida como a capacidade dos terrenos para suportar os diferentes usos e práticas da engenharia e do urbanismo, com o mínimo de impacto possível e com o maior nível de segurança. Sua análise parte do mapeamento, caracterização e integração de atributos do meio físico que condicionam o comportamento deste frente às solicitações existentes ou a serem impostas (implantação de infra-estrutura e acesso a serviços urbanos, melhorias habitacionais, parcelamento do solo, consolidações geotécnicas, regularização fundiária e programas de desenvolvimento comunitário, etc.). As cartas geotécnicas de aptidão devem sempre considerar que será necessária uma abordagem integrada dos diagnósticos dos eixos físico-ambiental (aptidão à urbanização), jurídico-legal e socioeconômico-organizativo das áreas alvo das análises e para tal, os estudos com estes objetivos devem ser feitos em escala de detalhe e com suporte de dados quantitativos quando necessário. O resultado destes estudos deve estar representado cartograficamente de forma direta para os usuários (públicos e privados), indicando as potencialidades e restrições das áreas no perímetro urbano dos municípios e em zonas de futura ocupação quanto à urbanização. A localização de implantação de estruturas ligadas às cidades como aterros sanitários, distritos industriais, cemitérios, etc. pode ser analisada a partir de estudos técnicos específicos, não sendo necessária sua representação nas cartas de aptidão urbana.

Risco geológico pode ser definido como uma situação de perigo, perda ou dano, ao homem e suas propriedades, em razão da possibilidade de ocorrência de processo geológico, induzido ou não (Cerri & Amaral 1998), ou seja, é a probabilidade de um evento provocar perdas ou danos na

área que é potencialmente afetada pelo processo geodinâmico. A esta análise se junta a vulnerabilidade dos elementos afetados, relacionada principalmente ao padrão construtivo no caso de áreas urbanas.

O risco (**R**) é tido como uma condição latente ou potencial e a determinação do seu grau está relacionado à probabilidade de ocorrência de um evento perigoso (**A**) e dos níveis de vulnerabilidade (**V**) dos elementos expostos existentes. Nogueira (2002) propõe que se agregue à expressão a existência de algum gerenciamento do problema ( $g^{-1}$ ). Pode-se então se expressar o risco (**R**) da seguinte forma:

$$R = P (fA) \times C (fV) \times g^{-1}$$

Ou seja, o risco (**R**) é o produto entre a probabilidade (**P**) de ocorrer um fenômeno físico (**A**) com previsão de local, intervalo de tempo, dimensão, etc., e os danos ou consequências (**C**), que são função da vulnerabilidade (**V**) das pessoas ou bens, o que pode ser modificado pelo grau de gerenciamento ( $g^{-1}$ ).

Na avaliação da vulnerabilidade consideram-se as possibilidades técnicas e socioeconômicas de prevenir ou mitigar os vários efeitos destrutivos do fenômeno. O grau de organização e coesão interna das comunidades em risco, considerando sua capacidade de prevenir, mitigar ou responder às situações de desastre, pode ser denominado de vulnerabilidade social.

Diante dos conceitos apresentados, é possível perceber que o risco geológico em áreas urbanas não depende apenas das características mecânicas e hidráulicas dos materiais envolvidos nos processos geodinâmicos, da morfologia das encostas ou do regime pluviométrico da estação chuvosa. Está diretamente relacionado à forma de ocupação, tanto em encostas como em planícies, e à conscientização da população envolvida no que tange à alteração da geometria das encostas e outras intervenções sem critérios técnicos. A ocupação de áreas geologicamente instáveis, a proximidade de moradias da base ou crista de encostas; a construção sobre solos transportados; a construção no interior e nas bordas de feições cársticas e nas margens de corpos d'água; à deposição inadequada de lixo e o lançamento de águas servidas e o plantio de espécies inadequadas são exemplos

de ações antrópicas que podem deflagrar ou potencializar eventos ou maximizar os danos relacionados a um acidente.

## CARTAS DE SUSCETIBILIDADE, APTIDÃO À URBANIZAÇÃO E DE RISCOS

Cerri *et al.* (1996) propuseram o método do detalhamento progressivo com o desenvolvimento do mapeamento geológico-geotécnico em três grandes etapas, ou seja, em fases sucessivas, de modo que cada fase determina os temas técnicos e o nível de aprofundamento necessário ao desenvolvimento da fase subsequente. Zaine (2000) denominou as etapas como: geral, com escala entre 1:50.000 e 1:25.000 e abordando principalmente a caracterização do meio físico; intermediária, em escala entre 1:25.000 e 1:10.000 em áreas de adensamento e/ou de expansão urbana, selecionadas a partir do mapa geológico-geotécnico regional e; de detalhe, com base na caracterização do meio físico geológico e na identificação de eventuais problemas geológico-geotécnicos selecionados na escala 1:10.000, a partir de estudos específicos, que, se necessário, podem envolver a confecção de mapas elaborados em escalas maiores que 1:5.000, uma vez que buscam dar suporte a projetos de obras de engenharia para sanar problemas já instalados ou para a implantação de novos empreendimentos.

O modelo do detalhamento progressivo pode ser seguido em práticas de planejamento e ordenamento urbano, com os níveis hierárquicos representados pela suscetibilidade (geral), aptidão à urbanização (semidetalhe ou intermediário) e risco (detalhe). No entanto, a partir das análises de inúmeros estudos realizados ao longo do país e os respectivos produtos gerados nestes, propõe-se que para que se alcance resultados com embasamento técnico e que possam ser replicáveis em outras localidades, as escalas sejam maiores em todos os três níveis. Para tal deve-se sempre considerar os instrumentos de planejamento criados e regulamentados na Lei 10.257 de 10 de julho de 2001 (Estatuto das Cidades) que regulamenta o capítulo "Política Urbana" da Constituição Federal, visando assegurar a função social da propriedade e da cidade, e a regulação e controle do uso e ocupação do solo urbano e rural.

Assim, para cartografia de suscetibilidades a processos geológicos considera-se que escalas menores que 1:25.000 não possuem precisão gráfica para elaboração de modelos (digitais ou numéricos) e trazem um grau de incerteza maior quanto à delimitação das unidades e representação de processos pontuais, considerando que alguns destes não podem ser caracterizados, como é o caso da queda e rolamento de blocos rochosos, entre outros. As análises de aptidão à urbanização são muito mais precisas quando representadas na escala 1:5.000 e maiores, mas podem em alguns casos

ter escalas de até 1:10.000. Neste nível, deve ser grande o rigor na representação dos limites das unidades e dos processos potenciais ou ocorrentes. No nível de detalhe, análise de riscos, a menor escala admissível é de 1:2.000, pois neste caso o estudo abrange pequenas áreas e deve-se trabalhar buscando soluções para as situações de risco num nível conceitual ou, se possível de suporte a projetos (básico e executivo). O Quadro 1 sintetiza os níveis de detalhamento das cartas geotécnicas com a aplicação no planejamento urbano.

**Quadro 1** – Níveis de cartas geotécnicas no planejamento urbano – escalas e processos mapeáveis.

Produto	Escalas de Mapeamento	Processos Geodinâmicos passíveis de identificação
Cartas de Suscetibilidade	1:25.000 ou maiores	movimentos gravitacionais de massa, inundações/enchentes, corridas, erosões, assoreamento, processos costeiros, sismos induzidos.
Carta de Aptidão à Urbanização	1:10.000, 1:5.000 ou maiores	movimentos gravitacionais de massa translacionais, inundações/enchentes/alagamentos, corridas, erosões lineares de grande porte (ravinas), assoreamento, subsidências e colapsos, queda e rolamento de blocos rochosos, processos costeiro.
Cartas de Riscos Geológicos	1:2.000 ou maiores	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 margem, assoreamento, subsidências e colapsos, expansão de terrenos, queda e rolamento de blocos rochosos, processos costeiros.

Esta sequência de análises seria ideal para o planejamento de uma cidade nova, em local desocupado, mas esta não é a realidade brasileira, onde as cidades já estão implantadas, não raro em áreas de suscetibilidade a processos geodinâmicos, na maioria das vezes caracterizando situações de risco. Desta forma, estes níveis hierárquicos de estudo podem ser desenvolvidos independentemente, segundo as necessidades mais prementes dos municípios, tanto em termos emergenciais como no planejamento e prevenção de problemas de natureza geológico-geotécnica.

Assim como variam as escalas dos níveis hierárquicos, os objetivos destes estudos também apontam para níveis cada vez mais de detalhe. Cartas de suscetibilidade apontam áreas adequadas e com restrições à ocupação e são úteis no planejamento regional, servindo não só para fins de ocupação urbana, mas também para outros usos, pelo menos em uma análise preliminar. Devem englobar maiores regiões e são úteis

em abordagens mais gerais. Embora tenham caráter orientativo em decorrência da sua escala, as cartas de suscetibilidade podem subsidiar importantes instrumentos de planejamento tais como: os planos diretores e suas respectivas revisões, planos de ordenamento territorial, planos metropolitanos, zoneamentos ambientais, lei de uso e ocupação do solo, gestão de bacias hidrográficas, zoneamentos ecológico-econômicos, etc. Cartas de aptidão à urbanização têm detalhe suficiente para embasar instrumentos como leis de uso e ocupação do solo ou mesmo planos diretores, em seus aspectos mais detalhados mas, principalmente, devem dar suporte aos projetos de urbanização e consolidação urbana dos municípios e podem estar associadas à lei de tributação de imóveis, outorga onerosa, utilização compulsória, planos de desenvolvimento local integrado, planos globais específicos – Prefeitura de Belo Horizonte, Favela-bairro, agora denominado Plano Municipal de Integração de Assentamentos precários

- Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro, Morar Carioca - Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro, Planos de Intervenção de Interesse Social - Prefeitura de Contagem - MG, Projeto Terra - Prefeitura Municipal de Vitória, Planos de Regularização Fundiária, Planos Locais de Habitação de Interesse Social). As cartas de risco buscam a mitigação ou erradicação das situações de risco em curto prazo e a elas devem também estar associadas soluções de engenharia, intervenções estruturais ou não estruturais subsidiando instrumentos de planejamento e gestão de risco tais como planos municipais de redução de risco geológico, planos de contingência e planos preventivos de defesa civil e sistemas de alerta/alarmede).

## CARTAS GEOTÉCNICAS DE SUSCETIBILIDADE

No caso do Brasil, vários são os processos geodinâmicos que limitam a ocupação territorial, porém alguns são decorrentes de condições geológicas ou pedológicas locais específicas, como no caso de subsidências (associados a terrenos cársticos) ou colapsividade de solos, enquanto outros são condicionados pelas práticas de uso e manejo do solo, como no caso dos processos erosivos acelerados e alagamentos em áreas urbanas. Dentre os fenômenos geológicos que mais danos e prejuízos causam ao país e à população, destacam-se como principais as inundações/enchentes e os movimentos em encostas de diversos tipos (escorregamentos, rastejo, queda de blocos, sendo o principal deles o escorregamento translacional raso). Eventos recentes associados a episódios pluviométricos de grande magnitude, como no Vale do Itajaí, em Santa Catarina, região serrana do Rio de Janeiro ou Cachoeiro do Itapemirim, no Espírito Santo, mostraram que o processo de corridas de massa e fluxo de detritos pode ainda ser mais catastrófico. Estes processos devem ser o foco de programas institucionais mais amplos de prevenção e ordenamento territorial e a eles se refere a presente proposição de cartografia geotécnica de suscetibilidades. Processos condicionados por aspectos geológicos e pedológicos específicos ou pelo uso inadequado do meio físico devem ser analisados também de forma específica e direcionada, não estando enquadrados no escopo deste trabalho.

A tradução cartográfica da disposição dos terrenos, conforme suas condições de desenvolver determinados processos resulta na Carta Geotécnica de Suscetibilidade, ou seja, aquela que reflete a variação (em forma e grau) da capacidade dos terrenos em desenvolver determinado fenômeno geológico. A delimitação cartográfica se faz a partir do conhecimento dos mecanismos dos processos considerados e das características do meio físico condicionantes e indutoras de seu desenvolvimento (Freitas 2000). Entretanto algumas limitações devem ser consideradas na geração destes documentos, para que se tenha uma maior adequabilidade dos produtos, destacando entre elas:

- Para que realmente sejam efetivas, as cartas de suscetibilidade para o planejamento urbano devem ser elaboradas em escalas entre 1:15.000 e 1:25.000 e poucos são os municípios que têm levantamentos planialtimétricos nestas escalas. Escalas menores que 1:25.000 não têm precisão gráfica para elaboração de modelos (digitais ou numéricos) e a utilização de cartas topográficas em escalas não adequadas (1:50.000 ou menores) não possibilita uma boa qualidade dos dados derivados (declividade, análises morfométricas - curvatura das encostas e concentração defluxo) e trazem um grau de incerteza maior na delimitação das unidades e processos, podendo ampliar os limites das áreas com potencial de deflagração de processos geodinâmicos (faixas com suscetibilidade à inundação, por exemplo). Nestas escalas também fica impossibilitada a análise e identificação de processos geodinâmicos específicos, como rastejos, queda e o rolamento de blocos rochosos, entre outros. Existe, hoje, a possibilidade de geração de informações cartográficas altimétricas a partir de imagens orbitais (*imagem de radar interferométrico - SRTM, etc.*). Embora este campo ainda tenha que avançar muito para se obter a confiabilidade de uma carta topográfica convencional, estas técnicas são atualmente a forma mais econômica e rápida para a obtenção de bases planialtimétricas de mais detalhe.
- A informação geomorfológica que de forma geral é obtida a partir dos mapas topográficos e interpretação de fotografias aéreas, com posterior validação em campo, também depende da escala da base topográfica para a definição de suas unidades.

- Os mapas geológicos existentes no Brasil têm escalas geralmente 1:50.000, 1:100.000 ou menores. Esta informação deve ser traduzida em mapas litoestruturais ou, caso não existam bases em escalas adequadas, devem ser elaborados pelo menos esboços da geologia, com ênfase nas estruturas geológicas.
- Atualmente a informação básica menos precisa e de maior dificuldade de interpretação refere-se ao mapeamento e representação da cobertura de materiais inconsolidados (solos residuais, solos transportados, depósitos de cobertura antrópicos), já que nos mapas geológicos existentes estas análises não são consideradas. Os mapas pedológicos podem ser reinterpretados de forma a embasarem um levantamento de coberturas naturais, mas estes mapas não são comuns ou as escalas são geralmente muito pequenas, não permitindo o nível de detalhe que se necessita. Assim, as coberturas superficiais ou materiais inconsolidados devem ser determinados por exaustivos trabalhos de fotointerpretação e de campo, sendo a informação básica de maior dificuldade de aquisição.
- Outro fator limitante refere-se à falta de registros de ocorrência para a geração dos mapas de eventos, que são muito importantes para a validação dos modelos de suscetibilidade propostos.
- Como os processos em questão estão diretamente relacionados a eventos pluviométricos, o fato das séries históricas de chuva serem de maneira geral pequenas, incompletas, com estações de coleta de dados esparsas e isoladas, representa outro fator limitador da geração dos modelos de suscetibilidade.

Considerando que a abrangência das áreas estudadas está nos níveis de município ou de bacias hidrográficas, deve-se entender a limitação de alcance dos modelos de suscetibilidades, estando estes relacionados de maneira geral à identificação de processos de inundação, movimentos de massa mais significativos e naturais, processos erosivos e corridas de lama e detritos.

O mapeamento pode ser feito a partir de uma abordagem integrada dos aspectos do meio físico, sendo hoje preponderante que as análises sejam feitas a partir da integração das informações em ambiente de sistema de informações geográficas (SIG), pelas vantagens de rapidez nas análises espaciais (qualitativas e quantitativas),

maior capacidade de armazenamento de dados e possibilidade de se melhorar sistematicamente o modelo com a entrada de novas informações.

No entanto, para seguir este procedimento deve-se ter segurança sobre os dados de entrada, e que estes necessariamente estejam em escalas compatíveis. Assim, propõem-se a seguir as informações básicas mínimas de entrada para a geração dos modelos de suscetibilidade:

- Mapas topográficos nas escalas 1:25.000 ou maiores para a elaboração de modelos tridimensionais do terreno;
- Rede de drenagem para avaliação do escoamento superficial e de interfluxo das águas pluviais que modelam a topografia em escala compatível;
- Análises morfométricas derivadas da base topográfica na escala adequada: declividade, concentração de fluxo, curvatura das encostas, etc.;
- Mapa de materiais inconsolidados (solos residuais e transportados), principalmente no que se refere à delimitação dos depósitos superficiais mais significativos, como os depósitos de tálus e os aluvionares;
- Mapa geológico estrutural para identificação dos principais lineamentos e estruturas que podem condicionar fluxos superficiais e corridas de detritos e solo;
- Mapa geomorfológico que auxilie na determinação das áreas passíveis de inundação;
- Histórico de ocorrências de movimentos de massa e inundações, que são preponderantes para a validação do modelo de suscetibilidade gerado;
- Trabalhos de campo, que é a etapa mais importante, para a identificação de feições de instabilidade, depósitos superficiais, refinamento do modelo, etc., até que se chegue a um modelo conceitual aceitável.

Discute-se muito se o uso do solo entraria como variável na análise das suscetibilidades, mas com relação a áreas urbanas, este fator seria mais preponderante na análise de risco. No caso de um levantamento na escala 1:25.000, os usos agropastoris e a remoção da cobertura vegetal poderiam ser fatores integrados na análise de suscetibilidade.

As análises das séries históricas de acumulados de chuva – cartas de pluviosidade e até mesmo a correlação entre faixas de declives e ângulos

de atrito gerais dos materiais, ou ainda modelos cinemáticos regionais, dentre outros poderiam ser fatores posteriormente integrados na análise de suscetibilidade para a determinação das classes de predisposição aos processos geodinâmicos (suscetibilidade baixa, média e alta).

Na integração dos dados as bases temáticas têm importância diferenciada em relação ao processo analisado e sempre estará em aberto a questão de ponderações e adoção de valores ou índices para as unidades. As técnicas e métodos para estes procedimentos são muito variados e dependentes de outros fatores além das bases fundamentais de análise. Os modelos em SIG podem traçar cenários, simulações de fenômenos, com base em tendências observadas ou julgamentos de condições estabelecidas, e buscam a representação simplificada da realidade, através da seleção dos aspectos mais relevantes, na busca de respostas sobre correlações e comportamentos de variáveis ambientais. Um procedimento muito comum é a análise de multicritérios, também conhecida como Árvore de Decisões ou como Análise Hierárquica de Pesos, que se baseia no mapeamento de variáveis por plano de informação e na definição do grau de pertinência de cada plano de informação e de cada um de seus componentes de legenda para a construção do resultado final. Outra forma de atribuição de pesos é a construção de análises baseadas por estatística, com a identificação das situações nas quais exista baixa correlação entre as variáveis e alta correlação com o fenômeno ou ocorrência a ser explicado.

Independentemente dos métodos e materiais utilizados, o importante é elaborar um documento que represente setores na paisagem que têm condicionantes naturais que possam indicar a possibilidade de ocorrência de um processo, assim como as áreas sob influência (atingimento) destes processos.

Os processos de inundações/enchentes e os movimentos em encostas estão sempre associados a eventos pluviométricos e sua correlação vem sendo aplicada em diversos locais, principalmente em sistemas de alerta. Mas estas correlações têm como uma das bases os cadastros de ocorrência ou laudos, registrados em quase sua totalidade em áreas

urbanas, mas desconhecidos nas zonas rurais (em número, localização e data de ocorrência), fato que torna mais simples e imprecisas as correlações.

A representação das cartas de suscetibilidade deve ser simples e clara, mostrando as áreas fonte e de atingimento dos processos e suas consequências. Pode-se analisar e representar os processos isoladamente, agregando posteriormente as informações em um produto cartográfico único. Esta carta tem finalidade multiuso (planejamento agrícola, implantação de vias e dutos, planos de reabilitação, etc.), não considerando na análise aspectos específicos de cada intervenção. No caso das cidades, identificará as áreas adequadas ou não para urbanização numa visão macro do sistema.

As cartas de suscetibilidade têm abrangência geral e apresentam uma análise inicial do meio físico de uma região (município, região metropolitana, bacia hidrográfica), tendo aplicação mais eficaz no planejamento ambiental, planejamento regional, gestão territorial e de bacias hidrográficas, zoneamentos, ambientais e de grande utilidade nos planos diretores municipais. No que se refere aos riscos geológicos e catástrofes naturais, as cartas de suscetibilidade serão básicas para sistemas de alerta de abrangência mais regional.

Deve-se entender a limitação dos mapas de suscetibilidade, não sendo possível definir ações a curto e médio prazo com identificação precisa da magnitude dos problemas instalados, para que o poder público atue preventivamente e emergencialmente no período de chuvas, bem como onde quais intervenções estruturantes serão necessárias para fins de regularização das áreas mais problemáticas. Não obstante, sugere-se:

1. Que os setores/áreas identificados como de suscetibilidade alta e que estejam ocupados, considerando a proposta de mapeamento progressivo, devem ser mapeados com a metodologia proposta para a identificação do risco geológico na escala de detalhe.
2. Os setores identificados como de suscetibilidade alta e que não estejam ocupados devem ser considerados inicialmente como áreas não edificantes e,
3. Os setores identificados como de suscetibilidade média, ocupados ou não, devem ser destinados à elaboração de cartas geotécnicas para avaliação da sua aptidão ao uso urbano.

## CARTAS GEOTÉCNICAS DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO

Uma análise de suscetibilidade estabelece a indicação de áreas mais adequadas para a ocupação e outras com restrições, mas a escala de análise não permite o detalhamento que se deve ter na orientação da ocupação urbana (sistemas de espaços públicos e privados - áreas de convívio coletivo, equipamentos comunitários, centros comerciais, vias veiculares, vias de pedestre, espaço construído e sistema de circulação, espaço construído e equipamentos urbanos, sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário, etc.). Numa análise em maior detalhe, nem toda extensão de uma área considerada adequada à ocupação está isenta de problemas de ordem geotécnica, assim como nem toda extensão de uma área inadequada quanto à suscetibilidade a processos representa situações críticas ou de risco potencial.

Além dos aspectos legais, as características locais de declividade, drenagem ou tipo de material inconsolidado e/ou substrato podem trazer restrições à ocupação, devendo ser analisados em escala compatível para a tomada de decisão em nível local ou pontual. Por outro lado, áreas consideradas inadequadas numa análise mais ampla podem já estar ocupadas, assim como áreas adequadas na análise de suscetibilidade podem estar consolidadas ou em processo de consolidação. No caso de áreas suscetíveis à ocorrência de processos já ocupadas, caracteriza-se a situação de risco numa abordagem mais geral, mas deve-se detalhar cartograficamente estes setores, de forma a se ter bem definidos os locais sob maior perigo, para uma análise posterior (cartas de risco geológico), buscando a mitigação ou erradicação dos riscos existentes. No caso das áreas consolidadas e consolidáveis com potencial para adensamento e consolidáveis sob condicionantes, geralmente há necessidade de reordenamento urbano, uma vez que as condições do meio físico e o próprio uso e ocupação podem gerar situações de risco pontuais, remetendo à necessidade de integrar as análises dos diagnósticos ambientais, urbanísticos e jurídicos para se chegar a um produto final com orientações que definam:

- Áreas regularizáveis, onde não seriam necessárias intervenções significativas e a titulação das mesmas estaria liberada,

- Áreas regularizáveis sob condições onde seriam necessárias intervenções em número elevado ou cujo porte é significativo para a sua consolidação, condicionando a titulação à execução das intervenções propostas e,
- Áreas caracterizadas como não regularizáveis onde a proposta é que não deve consolidar a ocupação, em função de impedimentos técnicos e/ou jurídicos, sendo então necessária a remoção da ocupação, caso esta exista, ou definição/proposição de uso específico diferente do habitacional, impedindo a titulação.

O melhor instrumento para dar suporte ao uso e ocupação urbana é uma carta geotécnica que correlacione as características do meio físico e os processos geodinâmicos que podem ocorrer, sejam de causa natural sejam induzidos pela ocupação. Este documento cartográfico deve trazer informações sobre todas as diferentes feições geológicas e geomorfológicas, delimitando unidades quanto aos seus comportamentos geotécnicos frente à ocupação urbana, gerando unidades de aptidão ao uso urbano (Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização). O objetivo final é definir áreas que não são passíveis de ocupação e os setores que podem ser ocupados, desde que sejam seguidos os critérios técnicos estabelecidos para este fim. Em qualquer situação, estas cartas devem sempre indicar as restrições legais e aquelas relacionadas ao meio físico existente.

A qualidade deste tipo de carta tem grande dependência da quantidade de informações disponíveis ou geradas no processo de mapeamento. Estes produtos devem ser elaborados em escala de detalhe, sendo desejável a escala 1:5.000 ou maior, mas em determinados contextos a informação em escala 1:10.000 pode ser suficiente. Pelas escalas sugeridas e o custo envolvido, em poucos municípios é viável o mapeamento por completo do seu território. Assim, estas cartas devem focar apenas áreas ocupadas ou a este fim destinado, devendo ser ampliadas à medida que surjam novas necessidades.

A produção de uma carta nessa escala envolve intensos trabalhos de campo, que podem ser precedidos de modelagem, dependendo das bases de informação disponíveis. A seguir estão elencados as informações temáticas básicas consideradas necessárias no processo de produção destas cartas.

- Base topográfica ou cadastral (1:5.000 ou maior) em escala que permita a representação precisa das feições e aspectos observados em campo (mapeamento) e a geração de cartas geomorfológicas de caráter quantitativo (declividade, curvatura, escoamento superficial, etc.) que possam ser integradas em análises futuras,
- Fotografias aéreas, ortofotos e imagens orbitais com resolução compatível com as escalas de trabalho,
- Mapa geológico estrutural para identificação dos principais lineamentos e estruturas que podem condicionar fluxos superficiais e corridas de detritos e solo e, quando for o caso, as principais famílias de descontinuidade visando a geração de modelos de estabilidade,
- Mapa de materiais inconsolidados (solos residuais e transportados) gerados na mesma escala a partir de trabalhos de fotointerpretação e de campo, delimitando os depósitos superficiais (solos, aluviões, talus, colúvios e depósitos antrópicos),
- Representação das bacias de contribuição, que são as unidades de análise do sistema de drenagem, de forma a permitir avaliar como a configuração do espaço ocupado influencia as condições de drenagem pluvial,
- Identificação dos agentes/feições potencializadores de risco geológico: encostas com inclinação acentuada, cortes verticais e/ou subverticais em solo e em rocha, sistema de famílias de descontinuidades (falhas, superfície de estratificação, foliação, diáclase, clivagem de fratura, xistosidade), lançamentos concentrados e contínuos de água e/ou esgoto, acúmulos de lixo e/ou entulho, aterros lançados, bananeiras e/ou espécies inadequadas, minas d'água, cisternas, fossas etc.,
- Identificação de indícios de movimentação do terreno: cicatrizes de escorregamento, feições erosivas lineares (ravinas voçorocas), feições erosivas e de escavação nas margens dos cursos d'água, trincas no terreno e/ou nas edificações, degraus de abatimento, estruturas de contenções inclinadas e/ou deformadas, inclinação anormal de árvores, postes, cercas e outras estruturas,
- Análise dos eventos destrutivos potenciais: escorregamentos (de solo residual e transportados, de aterro e de lixo), erosão, solapamento, queda /rolamento de blocos rochosos, inundação/enchente/alagamento etc.,
- Identificação das faixas de inundação dos ca-

nais (revestidos ou em leito natural), pois estes representam a existência de condições de funcionamento e eficiência, em termos de coleta, transporte e lançamento adequados das águas pluviais, considerando os períodos de recorrência de interesse para o planejamento,

- Dados de sondagem ou a elaboração de perfis esquemáticos em campo que permitam a definição das espessuras das camadas, a caracterização dos perfis de solo/aterro e o nível de águas subterrâneas (modelo hidrogeológico). Em alguns casos os ensaios de caracterização dos materiais são necessários para avaliação do comportamento mecânico e hidráulico dos materiais,
- Identificação das redes de drenagem (pontos de captação, condução e lançamento de fluxo de drenagem) e avaliação do sistema viário, pois este desempenha a função de elemento de drenagem determinante no comportamento hidráulico da área,
- Estudo das redes de esgotamento sanitário para avaliação do grau de comprometimento das condições de salubridade da área ocupada, bem como da interferência do lançamento destas diretamente nas encostas, quando da inexistência ou inadequação do sistema de esgoto sanitário e,
- A avaliação das séries históricas de chuvas, que são importantes para a definição dos períodos de recorrência e são base para estudos posteriores de correlação pluviosidade e escorregamentos/inundação, para implantação de sistemas de alerta/alarme.

Infelizmente, a maioria das cidades brasileiras não tem estas informações. Quando existe uma base cadastral, geralmente só se tem a restituição das áreas ocupadas, as fotografias aéreas existentes geralmente não têm o nível de detalhe exigido e as imagens orbitais de resolução compatível com a escala adotada ainda têm um custo elevado. Assim, há que se ter investimento por parte dos municípios na elaboração e obtenção destes produtos (aerolevantamento e restituição em detalhe, aquisição de imagens orbitais).

A análise de informações geotécnicas quantitativas, como dados de sondagens, ensaios de laboratório, geofísica, etc. antes do início dos trabalhos de campo possibilita uma visão prévia do comportamento dos terrenos, principalmente em profundidade (resistência, nível de água, etc.) e facilita em muito os trabalhos de mapeamento e delimitação das unidades geotécnicas. Porém, geralmente

os municípios não têm estes dados organizados e sua aquisição depende sempre da boa vontade de empresas para liberação de seus relatórios de sondagens e ensaios. De qualquer forma, em um determinado momento da elaboração de uma carta de aptidão à urbanização deve-se efetuar estudos desta natureza, principalmente para complementar a caracterização geotécnica das unidades mapeadas.

Cartas representando o substrato rochoso e as coberturas superficiais (solos residuais e transportados) são bases imprescindíveis para elaboração de cartas geotécnicas orientadoras da ocupação urbana. Caso existam, também são importantes os levantamentos pedológicos. No entanto, não há no Brasil trabalhos de mapeamento destes temas nas escalas aqui preconizadas para a cartografia geotécnica. Assim, coberturas e substrato são praticamente remapeados quando da execução dos trabalhos de campo. Também durante os trabalhos de campo, com apoio dos dados de sondagem, deve ser elaborado o modelo hidrogeológico, representado ou não em cartas temáticas.

Caso existam ou sejam produzidas informações cartográficas detalhadas (topografia, substrato, coberturas, geomorfologia, processos geodinâmicos, declividades, etc.) pode-se proceder uma análise prévia por meio de técnicas de análise espacial em ambiente de sistemas de informações geográficas (SIG), gerando uma carta preliminar, que deve ser posteriormente validada e corrigida em seus pontos falhos. Neste caso, pode-se economizar um bom tempo nos trabalhos de campo (mapeamento). Porém, é mais comum a inexistência destas bases, ou estas estarem disponíveis em escalas menores que a escala de trabalho fazendo-se necessário seu desenvolvimento ou validação durante os trabalhos de mapeamento.

Não se pretende aqui estabelecer uma metodologia para mapeamento geotécnico em escala de detalhe, uma vez que são inúmeros os procedimentos e técnicas atualmente adotados e estes são dependentes do material que se tem disponível e dos recursos existentes, tanto financeiros como instrumentais (equipamentos, *softwares*), além do tempo que se dispõe para a execução da carta. Dessa forma, os métodos e técnicas utilizados no processo de cartografia e definição de unidades geotécnicas, assim como sua caracterização não

são aqui discutidos, cabendo aos profissionais que atuarão no mapeamento definirem o método que mais se adequa às condições existentes para o trabalho.

Um ponto importante no processo refere-se aos produtos que serão gerados, ou seja, quais informações devem ser dadas e como serão representadas nas cartas geotécnicas de aptidão à urbanização. Uma releitura dos anais dos Simpósios de Cartografia Geotécnica e Geoambiental e dos Congressos Brasileiros de Geologia de Engenharia e Ambiental dos últimos doze anos fornece um panorama bem completo do que se fez e tem sido feito em termos de representação de unidades geotécnicas ou geoambientais. Sempre com foco na ocupação urbana, há cartas que mostram adequabilidades, vulnerabilidades, fragilidades, aptidão, restrições, etc.. Outras representam unidades com critérios geológicos, geomorfológicos ou pedológicos sempre refletidos nos nomes das unidades. Alguns destes produtos são mais técnicos, outras vezes têm maior capacidade de transmissão das informações. Todas, ao fim, buscam representar áreas com aptidão à ocupação urbana, mas a forma de se mostrar isto é muito diversificada.

Assim, o que se propõe aqui é que se objetive um produto cartográfico final com unidades representando:

1. Áreas com aptidão à ocupação (áreas já consolidadas e aptas do ponto de vista geológico-geotécnico),
2. Áreas que podem ser ocupadas segundo determinados critérios técnicos (áreas consolidáveis com intervenções estruturantes) e,
3. Áreas inaptas para a ocupação (áreas não consolidáveis), às quais se deve dar outro tipo de uso.

Independentemente do método e material utilizado na elaboração do mapeamento e dos nomes que tenham as unidades ao fim do trabalho, propõe-se que seja elaborado um documento síntese com as unidades acima sugeridas, apontando as restrições em cada local (relacionadas ao meio físico ou legais) e os critérios gerais de ocupação. A grande vantagem de um documento deste tipo é a possibilidade de utilização mais direta pelas municipalidades, instâncias públicas responsáveis pelo planejamento urbano, outros

profissionais ou mesmo leigos. Na maioria dos trabalhos existentes é possível, por vezes agregando um pouco mais de informação, derivar uma carta deste tipo a partir das unidades de mapeamento determinadas.

Além das orientações gerais para o uso e ocupação do solo urbano, a carta geotécnica de aptidão à urbanização pode subsidiar outros instrumentos de gestão territorial como leis de uso do solo e planos diretores, em seus aspectos mais específicos. A sua utilização, no entanto, não substitui estudos locais quando se pretenda qualquer intervenção no meio físico, tanto por seu caráter orientativo mais geral, como pela escala, incompatível com o nível de projeto. Por outro lado, com os dados obtidos durante o estudo, é possível gerar vários outros tipos de cartas mais específicas e direcionadas (cartas de parâmetros, cartas de adequabilidade, etc.), que sempre trarão mais elementos de análise a serem agregados nas cartas de aptidão à urbanização e orientar a tomada de decisões. Como a geração destas cartas específicas depende de vários fatores, principalmente metodológicos, não é possível sugerir uma padronização ou listar que tipos de produtos devam ser gerados.

## CARTAS GEOTÉCNICAS DE RISCO EM ÁREAS URBANAS

As cartas de risco geológico são instrumentos que apresentam a distribuição, o tipo e o grau dos riscos geológicos, visando à definição de ações de prevenção de acidentes (Cerri & Amaral 1998). De uma forma mais ampla, são produtos da análise da ocupação territorial e as zonas de suscetibilidade à ocorrência de processos geológicos. As cartas de risco em áreas urbanas avaliam os danos potenciais à ocupação decorrentes de fenômenos naturais ou induzidos pelo uso do solo, hierarquizando unidades, setores e pontos quanto ao grau ou iminência de perda, buscando a proposição de medidas corretivas e erradicadoras das situações de risco.

As consequências da desorganização da ocupação urbana ocorrida, principalmente nas quatro últimas décadas, têm se expressado pelo grande número de acidentes associados a escorregamentos em encostas, a inundações de margens de córregos e a corridas de massa durante os episódios

de chuvas intensas e prolongadas dos anos mais recentes, com enormes danos aos diretamente atingidos e a toda a sociedade, quando não resultam também em mortes e ferimentos. Somente nos últimos 20 anos já ocorreram mais de 3.200 óbitos relacionados a episódios de escorregamentos no Brasil (IPT 2011) e um sem número de vítimas e prejuízos relacionadas a inundações.

Embora grande parte do tratamento das situações de risco das cidades brasileiras possa estar associada diretamente a políticas públicas de habitação, de planejamento e de controle urbano, é indispensável a implementação de práticas específicas de gerenciamento dos riscos geológicos, o que passa inevitavelmente pela necessidade de mapeamento das áreas de risco geológico-geotécnico (cartas geotécnicas de risco em áreas urbanas).

Os riscos geológicos aqui tratados podem ser definidos como a probabilidade de ocorrência de acidentes danosos à população, aos bens públicos e privados e à infra-estrutura, resultantes de processos naturais (movimentos gravitacionais de massa, inundações, enchentes, enxurradas, alagamentos, erosão linear e de margens de canais, processos cársticos, etc.) em ambientes modificados pela implantação do tecido urbano e pela ação cotidiana do homem. Tratam-se, portanto, de processos sócio-naturais, onde se combinam a ação desencadeadora das chuvas, a suscetibilidade do ambiente físico (solo, rochas, forma do relevo e das bacias hidrográficas, vegetação, características fluviais) e a forma de ocupação humana deste ambiente, que o modifica e nele se integra para construir a cidade. Ou seja, o enfrentamento destas questões é bem distinto do que se faz quando se analisa a suscetibilidade à ocorrência de processos geodinâmicos ou se pretende definir setores com aptidão ou não para a ocupação urbana (moradias, infra-estrutura e equipamentos).

Na grande maioria das cidades brasileiras, a ocorrência destes acidentes é indiscutivelmente mais frequente, em número de registros e danos, nos ambientes mais vulneráveis: os aglomerados, morros, favelas, vilas, assentamentos precários, ocupações irregulares, assentadas em terrenos menos adequados/favoráveis do espaço urbano (terrenos com declividade acentuada, cabeceiras de talvegues, linhas de drenagem, planícies de inundação e terraços, pedreiras desativadas,

etc.). Geralmente nestas áreas, além das nem sempre boas características do meio físico, não há infra-estrutura implantada e consolidada e muito menos serviços urbanos básicos que atendam minimamente o necessário (pavimentação - calçamento, guias, sarjetas, sistema de drenagem superficial, rede de esgotamento sanitário, coleta de lixo, etc.). Soma-se a esta condição o fato de muito raramente existirem ações de fiscalização e controle da ocupação e do uso do solo, o que pode ser estendido para as áreas denominadas formais do espaço urbano ocupado, que também podem estar suscetíveis a processos geodinâmicos como, por exemplo, o evento catastrófico ocorrido na região serrana do Rio de Janeiro no primeiro semestre de 2011.

Um grande número de pesquisadores e profissionais tem se dedicado ao propósito de se criar mecanismos para a diminuição da perda de vidas e dos prejuízos econômicos devido aos riscos geológicos. Entretanto, as políticas de administração pública, em sua maioria, ainda utilizam muito pouco o conhecimento técnico-científico para minimizar ou solucionar os principais problemas ocorrentes, principalmente os relacionados ao uso e ocupação do meio físico.

O estudo do risco geológico envolve inúmeros procedimentos e metodologias, que dependem dos objetivos, das escalas de trabalho e dos processos atuantes. Fundamenta-se na observação e no registro de indicadores de instabilidade, naturais ou decorrentes da ação antrópica, enfocando as consequências prováveis em caso de deflagração dos processos (IPT, 1991).

Uma das maneiras de se analisar e representar os riscos geológicos se dá pelo estabelecimento de correlações entre os elementos do meio físico com base em avaliações qualitativas e/ou subjetivas, o que só será possível frente à qualidade das observações de campo e à experiência dos profissionais (conhecimento especialista). Neste caso, a abordagem do mapeamento é integrada ou sintética. Nos últimos anos alguns pesquisadores têm trabalhado com a possibilidade de se gerar bancos de dados digitais confiáveis e representativos na tentativa de obter correlações mais quantitativas e/ou objetivas, orientadas por "parâmetros estatísticos ou semi-estatísticos", com o intuito de facilitar e agilizar os trabalhos que envolvem análise e

o zoneamento de riscos futuros. Entretanto, essas tentativas continuam esbarrando na necessidade de se ter dados de entrada em escalas compatíveis com os problemas mais recorrentes, destacando-se entre outros que:

- As bases topográficas geralmente estão disponíveis nas escalas 1:25.000 ou menores, não permitindo a representação precisa das feições e aspectos observados em campo (mapeamento) e, conseqüentemente, as cartas derivadas destas acumulam a imprecisão da escala, destacando as cartas geomorfológicas qualitativas e os mapas morfométricas de caráter quantitativo (declividade, curvatura, escoamento superficial, etc.), o que dificulta a adequada integração em análises futuras,
- Os mapas cadastrais com representação dos domicílios (localização e identificação) quase inexitem e nos municípios onde estes foram gerados é comum que tenham recobrimento apenas da cidade chamada formal, deixando de lado as áreas mais problemáticas (assentamentos precários). Sem a identificação dos domicílios o zoneamento do risco não permite que ações a curto e médio prazo sejam tomadas (sistemas de alerta-alarme),
- As fotografias aéreas e imagens orbitais com resolução compatível com as escalas de trabalho também não são utilizadas na maioria das vezes, em decorrência do seu custo elevado,
- Os Mapas geológicos estruturais, como já apontado para as análises de suscetibilidade e aptidão, estão em escalas menores que 1:25.000, dificultando a identificação dos principais lineamentos e estruturas que podem condicionar fluxos superficiais e corridas de detritos e solo, além de impossibilitar análises mais complexas, mas necessárias, como é o caso da avaliação das principais famílias de descontinuidade visando a geração de modelos de estabilidade.

As análises por correlações orientadas por parâmetros estatísticos ou semi-estatísticos têm dificuldades da inserção da ação pontual do homem (alteração da geometria de taludes, lançamento de águas e esgotos, etc.) sobre o meio físico, que por vezes pode ter efeito positivo (intervenções estabilizadoras, obras de drenagem, etc.). Por vezes, com o processo gradual de urbanização e execução de intervenções pontuais ocorre uma minimização e até a eliminação dos

riscos em áreas apontadas inicialmente como suscetíveis à deflagração de processos geodinâmicos. Outra dificuldade limitadora é a compreensão na escala necessária da infra-estrutura das áreas analisadas, pois para a avaliação do risco geológico tem-se que considerar inevitavelmente as bacias de contribuição locais e suas condições de drenagem pluvial, a avaliação do sistema viário e identificação das redes de drenagem e as redes de esgotamento sanitário para avaliação do grau de comprometimento das condições de salubridade.

Assim, o zoneamento das áreas sujeitas à ocorrência de eventos perigosos sempre dependerá do conhecimento e levantamento dos atributos que influenciam na predisposição e deflagração destes fenômenos, bem como na avaliação da variação espacial das condições dos terrenos e a distribuição espacial dos problemas. O grande desafio é confrontar as características físicas, geológicas e geotécnicas das áreas, com os indicadores de instabilidade (trincas no terreno, degraus de abatimento, estruturas deformadas, etc.) e as ações antrópicas identificadas como desencadeadoras de situações de risco.

As metodologias atualmente aplicadas no tratamento dos riscos geológicos estão sempre de alguma maneira alinhadas à proposição da Organização das Nações Unidas (UNDRO 1991), a qual estabelece que gerenciamento de riscos geológico deve envolver, necessariamente, quatro estratégias básicas:

- A identificação e a análise (mapeamento) dos riscos,
- O planejamento de ações, obras e intervenções estruturantes para a redução ou, se possível, a erradicação dos riscos,
- O monitoramento das situações de risco identificadas, especialmente nas situações críticas de pluviosidade: implementação de planos de emergência e contingência,
- A informação pública e a capacitação para a prevenção e autodefesa das comunidades em risco.

As cartas geotécnicas de risco geológico em áreas urbanas tratadas aqui neste trabalho seguem fundamentalmente esta proposta, sendo que entre os procedimentos que são extremamente necessários durante o processo de mapeamento, podem-se elencar:

- A importância de que se faça, no início do trabalho de mapeamento, uma pesquisa de dados

sobre ocorrências e registros de acidentes junto aos órgãos competentes (arquivo público municipal e estadual, Corpo de Bombeiros, Defesa Civil, etc.) e de mapeamentos e/ou estudos anteriores, para que se tenha um entendimento prévio dos problemas recorrentes e seus condicionantes principais,

- A utilização de bases cartográficas, principalmente mapas topográficos e cadastrais de detalhe (1:5.000, 1:2.000). No entanto, este documento não é limitador ao desenvolvimento do mapeamento dos setores de risco geológico, uma vez que a grande maioria dos municípios brasileiros não possui estas bases e, pelo fato dos levantamentos serem quase sempre em detalhe de laudo geotécnico ou de projeto (caracterização e análise *in loco* do meio físico, dos agentes potencializadores e a identificação dos indícios diretos de movimentação),
- A execução de vôos de baixa altitude para obtenção das fotografias aéreas oblíquas, que além de minimizar os problemas de representação do mapeamento em decorrência da ausência de bases cartográficas adequadas, permitem uma análise preliminar das áreas a serem estudadas e a seleção de trechos com maior potencialidade de configurar situações de risco geológico,
- A determinação e descrição, nos trabalhos de campo, dos fatores condicionantes do risco geológico dos setores em avaliação, tais como litotipo presente, perfil de alteração, presença e espessura das camadas de solo, aterros/bota-fora e lixo, presença de estruturas - famílias de descontinuidade e suas relações cinemáticas, declividade, distâncias da base e da crista da encosta em relação às moradias, presença de blocos rochosos, dinâmica do regime do escoamento dos cursos d'água e posição na bacia hidrográfica, obstrução das linhas de drenagem naturais, etc..
- A identificação e representação na base cartográfica dos agentes/feições potencializadoras de risco geológico: cortes verticais e/ou subverticais (inclusive em rocha), lançamentos concentrados de água e/ou esgoto, fossas, acúmulos de lixo e/ou entulho, existência de aterros lançados, bananeiras e/ou espécies impróprias, minas d'água, cisternas, etc.

Com a escala de mapeamento proposta, os indícios de movimentação do terreno podem ser identificados e representados, na base cartográfica e imagens oblíquas: cicatrizes de escorregamento, feições erosivas lineares (ravinas voçorocas) e feições erosivas das margens dos cursos d'água, trincas no terreno e/ou nas edificações, degraus de abatimento, estruturas com a função de contenção inclinadas e/ou deformadas, elementos físicos inclinados (árvores, postes, cercas e outros).

Todos os processos geodinâmicos, bem como sua abrangência, são passíveis de identificação (reconhecimento): 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 margem, assoreamento, subsidências e colapsos, expansão de terrenos, queda e rolamento de blocos rochosos, processos costeiros.

A metodologia adotada pelo Ministério das Cidades (Brasil 2004) tem sido o procedimento mais difundido na identificação e mapeamento de riscos geológico nos últimos 10 anos, tendo se tornado uma iniciativa organizada para a melhoria da situação do quadro atual e já foi aplicada em mais de 60 municípios do país, o que não impede a aplicação de outros métodos, considerando sempre a necessidade dos mapeamentos serem executados na escala de detalhe (1:2.000 ou maiores), com o intuito de se identificar pontualmente os locais problemáticos e respectivamente as ações necessárias para eliminação do risco geológico em curto prazo.

Nesse sentido, como preconizado pela metodologia do Ministério das Cidades propõe-se que os estudos para a avaliação do risco estabeleçam quatro graus hierárquicos (baixo, médio, alto e muito alto) para uniformização dos procedimentos e tomada de decisões.

A delimitação dos setores/áreas de risco geológico, como também adotado na metodologia do Ministério das Cidades, deve representar os locais sujeitos à ocorrência de evento geológico natural ou induzido, ou por ele atingido. Entretanto, sugere-se, diferentemente do que tem sido adotado atualmente, quando os setores de risco são delimitados apenas pelos domicílios, que também sejam englobados nos setores de risco toda a área de abrangência dos processos,

principalmente no tocante a escorregamentos, quedas de blocos rochosos e corridas de massa. Desta forma, as cartas de risco geológico em áreas urbanas podem auxiliar no próprio planejamento urbano do município, com as soluções urbanísticas contemplando efetivamente os setores identificados como de risco geológico, deixando assim de serem documentos voltados somente para ações emergenciais.

É importante destacar que na cartografia de risco geológico, durante o processo de mapeamento podem ser identificadas situações que exigem ações imediatas de forma a não permitir a permanência das famílias em locais identificados com maior potencial à deflagração de processos geodinâmicos, bem como ações que podem e devem ser executadas a curto e médio prazo. Nesse sentido julga-se de extrema importância que, concomitantemente à etapa de mapeamento dos riscos geológicos, a equipe executora do mapeamento proponha ou determine as intervenções estruturais e de gerenciamento para cada setor de risco (remoções definitivas e temporárias, obras de engenharia, monitoramento sistemático, etc.), a estimativa dos custos necessários para que estes sejam captados e ou reservados no orçamento do município e, também, a definição de critérios técnicos para a priorização de tais intervenções. Os quantitativos (como extensões, áreas e/ou volumes) devem ser levantados em campo, ou graficamente dependendo da situação, chegando-se ao orçamento individualizado das intervenções para cada setor de risco. Desta forma, a carta de risco geológico em áreas urbanas pode ser considerada o documento mais importante em todas as etapas de gestão dos riscos urbanos.

O mapeamento do risco na escala de detalhe é a maneira mais eficiente para a proposição de ações visando a eliminação do risco geológico a curto e médio prazo, sendo que o resultado do mapeamento pode ser integrado a outros instrumentos de planejamento.

## CONCLUSÕES

A cartografia geotécnica no Brasil já atingiu um nível de excelência no domínio das técnicas e procedimentos de mapeamento, gerando produtos finais dos mais diversos, tanto por questões metodológicas, como por particularidades locais do

meio físico, foco do estudo e até de materiais e recursos disponíveis. Esta diversidade traz algumas dificuldades quando se quer realizar uma análise mais geral ou se comparar situações em diferentes partes do país. Desta forma, este ensaio pretende por na mesa de discussão alguns pontos de interesse na atuação da cartografia geotécnica no âmbito do planejamento e gestão urbana, no sentido de se buscar uma maior uniformização nos objetivos e resultados dos trabalhos desenvolvidos.

Os acidentes catastróficos dos últimos anos (Vale do Itajaí, Angra dos Reis, Rio de Janeiro, Niterói, Teresópolis e Nova Friburgo) alarmaram a todos e levaram a que o governo federal buscasse um caminho no combate aos desastres naturais como uma política de estado. Eventos desta magnitude sempre chamam a atenção e comovem populações e autoridades, mas uma real política de redução de riscos e consequências de eventos naturais passa por medidas preventivas e, principalmente, de planejamento e reordenamento urbanos, visto o quadro atual da grande maioria das cidades brasileiras.

Neste sentido, o Ministério do Planejamento incluiu no programa orçamentário (PPA 2012-2015) o programa Gestão de Riscos e Resposta a Desastres, envolvendo os ministérios da Integração Nacional, de Ciência e Tecnologia e de Minas e Energia. Dentre os objetivos deste programa, estão o desenvolvimento de mapeamentos da suscetibilidade a processos destrutivos nos municípios com histórico de acidentes/desastres naturais a ser desenvolvido pela CPRM-Serviço Geológico do Brasil/MME, elaboração de cartas geotécnicas nos municípios críticos a cargo da Secretaria Nacional de Programas Urbanos/MCidades, mapeamento de risco em áreas ocupadas sob a responsabilidade da Secretaria Nacional de Defesa Civil/MIN; intervenções estruturais para prevenção de risco em encostas (Secretaria Nacional de Programas Urbanos/MCidades); obras emergenciais para redução do risco (Secretaria Nacional de Defesa Civil/MIN), além da implementação do Sistema Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais sob a responsabilidade do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/MCT.

Neste contexto, têm-se desenvolvido muitas discussões e reuniões técnicas com representantes dos órgãos federais objetivando a definição de

medidas e ações que contribuam para o cumprimento dos objetivos estabelecidos. Desta forma, a proposição aqui apresentada busca fomentar o início da discussão sobre a atuação da cartografia geotécnica nestes programas, objetivando uma maior padronização dos procedimentos adotados nos diversos níveis (regional, local e de detalhe), o estabelecimento de bases mínimas para os mapeamentos e, principalmente, que tipo de produto se pretende ter e quem será o usuário direto.

O conceito de mapeamento com detalhamento progressivo pode ser adaptado nas práticas de cartografia geotécnica no planejamento urbano, determinando estudos mais gerais e regionais (cartas geotécnicas de suscetibilidades), estudos locais e orientadores para o uso e ocupação do solo urbano (cartas geotécnicas de aptidão à urbanização) e estudos e projetos pontuais que busquem a mitigação ou erradicação dos riscos já existentes (cartas geotécnicas de risco geológico). Embora desejável seu desenvolvimento sequencialmente, estes produtos cartográficos podem ser elaboradas independentemente uns dos outros, segundo as necessidades mais prementes dos municípios, tanto em termos emergenciais como no planejamento e prevenção de problemas de natureza geológico-geotécnica.

Ressalta-se a necessidade de bases mínimas de informação (imagens, cartas temáticas, cadastros de ocorrência de eventos, etc.) para o desenvolvimento dos mapeamentos e neste aspecto a maior carência é a ausência de bases topográficas de detalhe suficiente para cada nível hierárquico. As metodologias de mapeamento não foram aqui abordadas ou sugeridas, pois muitas vezes aspectos do meio físico (geomorfologia, geologia, solos) podem ser decisivos para a melhor resposta de um ou outro método e outros fatores como existência ou não de informações básicas, tempo de execução e recursos disponíveis podem trazer restrições a um ou outro método.

Esforços devem ser feitos no sentido de se caminhar para uma padronização da apresentação dos resultados (cartas, unidades de análise, relatórios), uma vez que com a variedade de procedimentos e representações hoje existentes dificulta ou mesmo impossibilita a comparação entre os casos de estudo. Aqui são propostas unidades de mapeamento, mas deve-se discutir a questão com

maior profundidade de forma a se chegar a um consenso. O fato é que iniciativas bem sucedidas como os Planos Municipais de Redução de Risco e os Planos Preventivos de Defesa Civil só puderam ser implementados a partir do momento que se estabeleceu a padronização de procedimentos tornando-os mais facilmente replicáveis e exequíveis pelas municipalidades e instâncias públicas responsáveis. Levando em conta que o planejamento urbano e a gestão de riscos são de responsabilidade e financiada pelo estado (órgãos federais, estaduais e municipais), esta uniformização torna-se imprescindível no momento.

É importante ainda frisar que os objetivos de cada nível hierárquico das cartas são diferentes e os instrumentos legais que poderão embasar são também distintos, assim como os seus usuários mais diretos. Cartas geotécnicas de suscetibilidade são mais eficazes em análises e projeções mais gerais ou regionais como os planos diretores, planos de ordenamento territorial, planos metropolitanos, zoneamentos ambientais, gestão de bacias hidrográficas, zoneamentos ecológico-econômicos, etc. Cartas de aptidão a urbanização tem aplicação principal no reordenamento e ocupação urbana, subsidiando instrumentos como as leis de uso do solo e planos diretores, em seus aspectos mais específicos, mas também sendo úteis a profissionais e leigos na obtenção de informações sobre o meio físico e seus processos em áreas urbanas. Cartas de risco geológico em áreas urbanas são uma das bases para os sistemas de alerta e planos de defesa civil, além de serem suporte técnico para a implementação de medidas estruturantes e não estruturantes de engenharia, sendo documentos fundamentais na gestão do risco e no próprio planejamento e reordenamento urbano,

## BIBLIOGRAFIA

- BRASIL, Ministério das Cidades. 2004. Critérios para mapeamento de riscos. Programa de Prevenção e Erradicação de Riscos, Secretaria de Programas Urbanos. Disponível em <http://www.cidades.gov.br/SNPU>, acessado em agosto de 2011.
- Cerri, L.E.S. 1990. Carta Geotécnica: contribuições para uma concepção voltada às necessidades brasileiras. In: ABGE Cong. Bras. Geologia de Engenharia, 6, Salvador, *Anais* p.309-317.
- Cerri, L.E.S.; Akiossi, A.; Augusto Filho, O. & Zaine, J.E. 1996. Cartas e mapas geotécnicos de áreas urbanas: reflexões sobre as escalas de trabalho e proposta de elaboração com o emprego do método de detalhamento progressivo. In: ABGE Cong. Bras. Geologia de Engenharia, 8, Rio de Janeiro, 1996. *Anais*, v.2, p.537-548.
- Cerri L.E.S. & Amaral, C. P. 1998. Riscos geológicos. In: A. M. S. Oliveira & S. N. A. Brito (eds). *Geologia de Engenharia*, ABGE, p.301-310.
- Freitas, C.G.L. 2000. Cartografia geotécnica de planejamento e gestão territorial: proposta teórica e metodológica Universidade de São Paulo. Tese de Doutorado, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia. São Paulo, Universidade de São Paulo, 230 p.
- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1991. Ocupação de Encostas. São Paulo, 216 pp.
- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo 2011. Banco de Dados de Mortes por Escorregamento. São Paulo.
- Nogueira, F.R. 2002 Gerenciamento de riscos ambientais associados a escorregamentos: contribuição às políticas públicas municipais para áreas de ocupação subnormal, Tese de doutorado, Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Campus de Rio Claro. 266p.
- Prandini, F.L.; Nakazawa, V.A.; Freitas, C.G.L. & Diniz, N.C. 1995. Cartografia Geotécnica nos planos diretores regionais e municipais. In: O.Y. Bitar (coord.). 1995. *Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente*. ABGE/IPTDIGEO. São Paulo. Série Meio Ambiente. p.187-202.
- UNDRO – United Nations Disaster Relief Office. UNDRO's approach to disaster mitigation. *UNDRO News*, jan.-febr.1991. Geneva: Office of the United Nations Disasters Relief Co-ordinator. 20p., 1991.

Zaine, J.E. 2000 Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP), Tese de doutorado, Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Campus de Rio Claro, 149 p.

Zuquette, L.V. & Nakasava, V.A. 1998. Cartas de geologia de engenharia. *In*: A. M. S. Oliveira & S. N. A. Brito (eds). *Geologia de Engenharia*, ABGE, p.283-300.

Zuquette, L.V. 1993. Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração. Tese de Livre Docência, Escola de Engenharia de São Carlos São Carlos, USP, 2v.

Zuquette, L.V. & Nilson G. 2004. Cartografia Geotécnica. Oficina de Textos, São Paulo, 190 p.

