

ANÁLISE DE CONDICIONANTES TOPOGRÁFICOS COMO SUBSÍDIO PARA AVALIAÇÃO DE ÁREAS DE RISCO A ESCORREGAMENTOS RASOS

Fabrizio de Luiz Rosito Listo¹; Bianca Carvalho Vieira²

RESUMO

Parâmetros topográficos são essenciais à definição da dinâmica hídrica de uma encosta e conseqüentemente ao desencadeamento de escorregamentos que podem levar ao risco. O objetivo deste trabalho é analisar o papel dos parâmetros topográficos na deflagração de escorregamentos rasos como subsídio para avaliação de áreas de risco na bacia do Limoeiro, Alto Aricanduva. Para o mapeamento de risco foi elaborada uma ficha de cadastro, utilizada em campo, e com base nos aspectos naturais e antrópicos, o risco foi avaliado em quatro escalas: R1, R2, R3 a R4. A partir de um Modelo Digital do Terreno foram gerados os mapas de ângulo, aspecto e curvatura da encosta e área de contribuição e calculada a Frequência de Distribuição destas classes. Posteriormente, estes mapas foram correlacionados com o mapa de risco, gerando-se dois novos índices: Concentração de Risco e Potencial de Risco. Os resultados demonstram a existência de 14 setores de risco, sendo as áreas mais suscetíveis aquelas localizadas em ângulos acima de 17°, orientadas para os quadrantes sul, com formas retilíneas e nos locais de maior área de contribuição. A partir dos resultados encontrados, verifica-se a importância da análise dos parâmetros topográficos na avaliação de áreas de risco.

Palavras-Chave: Escorregamentos, parâmetros topográficos, áreas de risco.

ABSTRACT

Topographic parameters are essential to define the slope water dynamics and therefore the triggering of landslides that can lead to the risk. The objective of this paper is assess the role of topographic parameters in the shallow landslides deflagration as support for assessment of risk areas in Limoeiro catchment, located in the headwaters of Aricanduva basin. For the mapping of risk areas was drawn us a registration form used in field and based on natural and anthropic features, the risk was assessed on four scales: R1, R2, R3 until R4. From a Digital Elevation Model were generated slope angle, aspect and curvature of the slope and contributing area maps and calculated the Frequency Distribution of these classes. Subsequently, these maps were correlated with the risk map, generating two new indexes: Risk Concentration and Risk Potential. The results demonstrate the existence of 14 risk sectors, being the areas most susceptible those located at slope angles above 17°, oriented south quadrant, with rectilinear forms and in places where the largest contributing area. From these results, we verified the importance of analyzing the topographic parameters in the assessment of risk areas.

keywords: Landslides, topographic parameters, risk areas.

1. INTRODUÇÃO

Os principais condicionantes que contribuem para a deflagração de escorregamentos estão ligados aos fatores geológicos, topográficos, pluviométricos e antrópicos. Com o desenvolvimento e difusão dos Sistemas de Informação Geográfica, a topografia se destaca por permitir o levantamento de importantes informações do relevo (ex. diferenças de ângulos

¹ Mestrando do Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo (fabriziolisto@usp.br)

² Docente do Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo (biancacv@usp.br)

da encosta, distribuição de fluxos, distribuição da umidade no solo, entre outros), sendo os parâmetros topográficos, portanto, elementos fundamentais para a compreensão dos processos existentes na paisagem, dando suporte à tomada de decisões que envolvam o planejamento territorial (O'LOUGHLIN, 1986; GAO, 1993; AUGUSTO FILHO & VIRGILI, 1998; PIKE, 2000; FERNANDES et al., 2004; entre outros).

No Brasil, principalmente no período do verão, quando os índices pluviométricos são mais elevados, muitos prejuízos econômicos e sociais têm sido observados em função da ocorrência de escorregamentos rasos. No último mapeamento de áreas de risco realizado na cidade de São Paulo em 2004 foram identificadas 562 áreas de risco, sendo 56% de risco alto e muito alto e 44% de risco baixo e moderado (SVMA & IPT, 2004). No mês de janeiro de 2010 no estado de São Paulo, ocorreram os maiores volumes pluviométricos (470 mm) desde os últimos 77 anos, causando a morte de 63 pessoas e deixando mais de 18 mil desabrigadas (CGE, 2010).

No município de São Paulo, uma de suas bacias mais críticas é a do Rio Aricanduva, localizada na porção leste do município. Sua área de drenagem é de cerca de 100 Km², sendo esta a maior bacia hidrográfica do município, apresentando significativos problemas de inundação em seu curso principal, onde existe uma importante avenida que atravessa a parte oriental da cidade, caracterizada pelo intenso processo de urbanização, impermeabilização do solo e conseqüente redução dos tempos de infiltração de água no solo. Entre outubro de 2002 a março de 2003 foram registradas mais de dez inundações provocadas por chuvas com duração entre 30 e 120 minutos e volumes entre 60 a 80 mm, causando diversos prejuízos econômicos e sociais (GONÇALVES & BARROS, 2003; CANHOLI, 2005; IPT, 2005).

O adensamento da ocupação urbana irregular nas cabeceiras de drenagem desta bacia, marcada pela presença de diversas áreas de risco a escorregamentos, vem contribuindo para a produção de cerca de 60% de sedimentos (IPT, 2005), sendo também um agravante na ocorrência de assoreamentos e inundações em todo o sistema da bacia. Das várias sub-bacias que compõe seu alto curso, destaca-se a bacia do Limoeiro (Fig. 1) com uma área de 9 Km², em função do elevado número de ocorrências de processos morfodinâmicos. No verão de 2005, do número de ocorrências totais de processos na bacia do Aricanduva, mais de 50% dos assoreamentos, das erosões laminares, dos sulcos, das ravinas, dos solapamentos de margem fluvial e dos escorregamentos ocorreram nesta sub-bacia (IPT, 2005). Em dezembro de 2009, chuvas com volumes de 103 mm deflagraram escorregamentos que provocaram 06 vítimas fatais.

Quanto à caracterização física desta sub-bacia, geologicamente, predominam rochas metamórficas pré-cambrianas representadas principalmente por micaxistos do complexo Pilar (do Grupo Açungui) (EMPLASA, 1980). A bacia está inserida na unidade morfoescultural do Planalto Paulistano/Alto Tietê pertencente ao cinturão orogênico do Atlântico (ROSS & MOROZ, 1997). A unidade caracteriza-se por apresentar formas de relevo íngremes decorrentes de erosão, com morros médios e altos de topos convexos (ROSS & MOROZ, 1997). Em termos pedológicos, predominam solos com textura argilo-siltosa, o que confere à bacia, sob o aspecto hidrológico, um elevado potencial de escoamento superficial (DAEE, 1998). É climatologicamente classificada como Tropical de Altitude, com boa definição dos regimes pluviométricos. Segundo DAEE (1972), a média anual pluviométrica da bacia está compreendida entre 1300 e 1400 mm; a estação chuvosa (outubro – março) apresenta um total médio de 1000 mm; enquanto a estação seca (abril-setembro), um total médio inferior a 300 mm. Desta forma, o objetivo principal deste artigo é analisar o papel dos parâmetros topográficos (ângulo, aspecto e curvatura da encosta e área de contribuição) na deflagração de escorregamentos translacionais rasos como subsídio à avaliação de áreas de risco na bacia do Limoeiro, Alto Aricanduva, RMSP (SP).

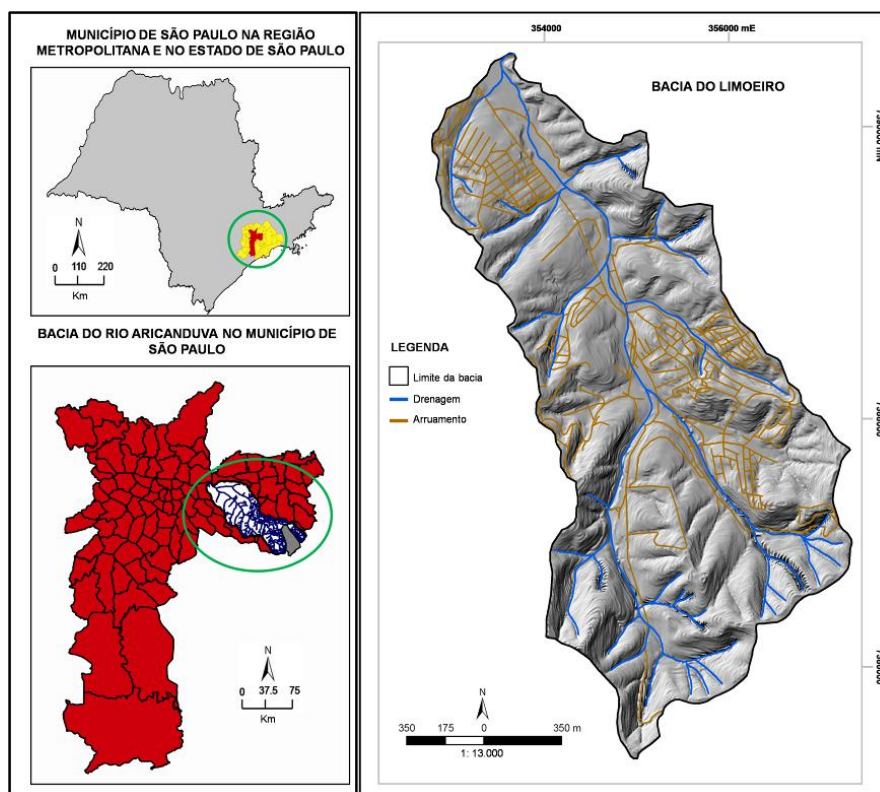


Figura 1: Localização da área de estudo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Mapeamento das áreas de risco - Para o mapeamento das áreas de risco, procedeu-se inicialmente a elaboração de ficha de cadastro para escorregamentos baseada em diversos trabalhos: CERRI & AMARAL (1998), ALHEIROS & AUGUSTO FILHO (1997), MACEDO et al. (2004), RODRIGUES (2005) e IPT (2005). Na ficha, primeiramente, foram identificados os indicadores naturais (vegetação, relevo, cobertura superficial e drenagem) e antrópicos (número de moradias, padrão urbano e social de uso e ocupação do solo, tipologia das construções, estágio da urbanização, densidade da ocupação, condição e padrão das vias de acesso, redes de infra-estrutura existentes, distância das moradias em relação à encosta e ao canal de drenagem, sistemas de drenagem superficial e intervenções na área). Posteriormente, foram verificadas as evidências de movimentação (cicatrizes de escorregamento, trincas, muros e paredes embarrigados, degraus de abatimento, árvores, postes e muros inclinados). Essa análise permitiu determinar a magnitude dos processos atuantes na região, bem como determinar o grau (probabilidade) de risco na seguinte escala: R1 (baixo risco), R2 (médio), R3 (alto) a R4 (muito alto). Os critérios adotados para a determinação do grau de risco (Tab. 1) foram baseados na metodologia desenvolvida pelo MINISTÉRIO DAS CIDADES & IPT (2004).

Em seguida, foram utilizadas fotos oblíquas de baixa altitude, obtidas por meio de sobrevôo de helicóptero, para definição dos setores de análise nas áreas vistoriadas. Trata-se de um zoneamento de risco a partir da homogeneização de setores com características e grau de risco similar. Os distintos setores foram delimitados levando-se em conta a declividade do terreno, a malha viária e o padrão de arruamento. Foram aplicadas 25 fichas em campo que permitiram a delimitação de 14 setores de risco a escorregamentos.

Tabela 01. Critérios para determinação do grau de risco a escorregamentos.

Grau de probabilidade	Descrição
a. R1 (Baixo)	1. Os condicionantes geológicos e geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo do terreno, entre outros) e o nível de intervenção no setor são de baixa ou nenhuma potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos. 2. Não se observa(m) sinal/feição/evidencia(s) de instabilidade. Não há indícios de desenvolvimento de processo de instabilização de encostas. 3. Mantidas as condições existentes não se espera a ocorrência de eventos destrutivos no período compreendido por uma estação chuvosa normal.
b. R2 (Médio)	1. Os condicionantes geológicos e geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, entre outros) e o nível de intervenção no setor são de média potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos. 2. Observa-

	se a presença de algum(s) sinal/feição/evidência(s) de instabilidade (encostas), porém incipiente(s). Processo de instabilização em estágio inicial de desenvolvimento. 3. Mantidas as condições existentes é reduzida a possibilidade de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.
c. R3 (Alto)	1. Os condicionantes geológicos e geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, entre outros) e o nível de intervenção no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos. 2. Observa-se a presença significativa(s) de sinal/feição/evidência(s) de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, entre outros). Processo de instabilização em pleno desenvolvimento, ainda sendo possível monitorar a evolução do processo. 3. Mantidas as condições existentes é perfeitamente possível a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas no período compreendido por uma estação chuvosa.
d. R4 (Muito Alto)	1. Os condicionantes geológicos e geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, entre outros) e o nível de intervenção no setor são de muita alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos. 2. Os sinais/feições/evidências de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, trincas em moradias ou em muros de contenção, árvores ou postes inclinados, cicatrizes de escorregamentos, feições erosivas, entre outros) são expressivas e estão presentes em grande número ou magnitude. Processo de instabilização em avançado estágio de desenvolvimento. É a condição mais crítica, sendo impossível monitorar a evolução do processo, dado seu elevado estágio de desenvolvimento. 3. Mantidas as condições existentes é muito provável a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.

Fonte: MINISTÉRIO DAS CIDADES & IPT (2004).

2.2 Mapeamento e análise dos parâmetros topográficos – Inicialmente, foram gerados quatro mapas topográficos: ângulo, curvatura e aspecto da encosta e área de contribuição elaborados a partir de um Modelo Digital do Terreno (MDT) com resolução de 2 m por meio do módulo *Topo to Raster* do programa ArcGis 9.3 a partir da digitalização de uma carta topográfica em escala 1:10.000 com equidistância de 5 m. Posteriormente, foi calculada a **Frequência de Distribuição (FD)** que consiste na razão entre o número de células das classes de cada parâmetro e o total de células na bacia de cada mapa.

As classes de ângulo da encosta (0° - $9,6^{\circ}$ / $9,7^{\circ}$ - $16,7^{\circ}$ / $16,8^{\circ}$ >) foram definidas a partir da Lei Lehman (Lei Federal 6.766/79), responsável por regulamentar a ocupação urbana em

encostas no Brasil. De acordo com esta lei, as ocupações em áreas urbanas são permitidas no primeiro intervalo; no segundo há necessidade de laudos técnicos que a regulamentem e no terceiro a ocupação é proibida em função da maior probabilidade de movimentos de massa. As categorias do mapa de curvatura foram definidas após diversos testes para adequação dos tipos de curvatura às informações das curvas de nível. Nesta etapa, os cálculos adotados pelo programa fornecem valores positivos para as curvaturas convexas, valores negativos para as côncavas e valores nulos para as retilíneas. O mapa de área de contribuição foi obtido por meio do módulo SHALtopo do modelo SHASTAB (*Shallow Landslides Stability Analysis*), que remove do MDT as depressões residuais provenientes da carta topográfica, gerando a representação da área de contribuição.

Por fim, para análise final do papel dos parâmetros topográficos, cada mapa (aspecto, ângulo, curvatura e área de contribuição) foi sobreposto ao mapa das áreas de risco a escorregamentos e foram calculados dois novos índices: **Concentração de Risco (CR)** e **Potencial de Risco (PR)**. O primeiro é a razão entre o número de células de cada classe afetada (ex. curvatura côncava) pelas áreas de risco e o total de células na bacia e o segundo indica a razão entre o número de células de cada classe afetada pelas áreas de risco e o total de células dessa mesma classe. A Concentração de Risco indica somente a distribuição do total de setores de risco entre todas as categorias. Já o Potencial de Risco calcula a distribuição destes setores em cada categoria considerando a representatividade de cada um no total da área da bacia. Deste modo, os valores de Frequência de Distribuição e Concentração de Risco geram percentuais totais equivalentes a 100%, já que tais índices são referentes respectivamente, ao total de células da bacia e ao total de setores de risco mapeados. No Potencial de Risco como são apresentadas somente as células afetadas pelo risco dentro de cada categoria, esses valores são sempre menores que os demais índices (inferiores a 100%).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Mapeamento de risco – No mapeamento dos 14 setores de risco a escorregamentos, 4 foram classificados como R1 (130 moradias), 2 como R2 (130 moradias), 2 como R3 (35 moradias) e 6 como R4 (390 moradias) (Fig. 2 e Tab. 2), totalizando cerca de 685 moradias. Como a contagem foi realizada em campo e conferida a partir de fotografias de campo e oblíquas (sobrevôo), em certos pontos há uma grande proximidade de moradias ou divisão do mesmo telhado, dificultando a contagem, pois duas ou mais moradias podem ser contabilizadas como apenas uma. Portanto, a obtenção do número exato de moradias se daria a partir de um levantamento detalhado (casa por casa), o que remete ao método de

cadastro de risco, que não é objeto deste estudo. Com relação à área de cada setor, esta varia de 1000 m² (menor área) para 8000 m² (maior área).

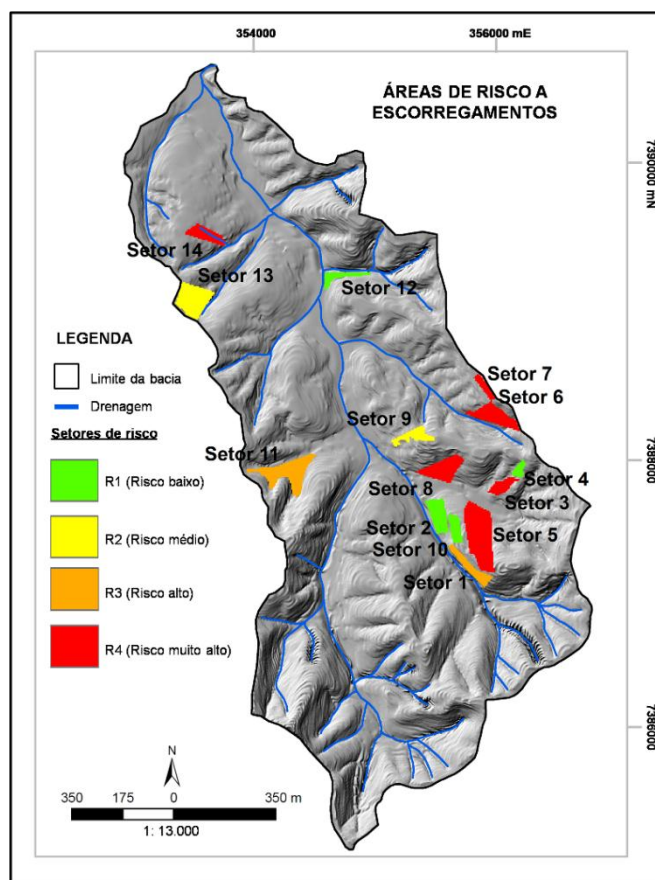


Figura 2: Mapa de áreas de risco a escorregamentos sob o Modelo Digital do Terreno da bacia do Limoeiro.

Tabela 2 - Listagem dos 14 setores de risco a escorregamentos mapeados, indicando grau de risco, número de moradias e área em m².

Nome do setor	Grau de risco	Número de moradias	Área (m ²)
1	R3	15	2000
2	R1	20	3000
3	R4	40	1000
4	R1	40	1000
5	R4	40	8000
6	R4	40	3000
7	R4	150	1000
8	R4	100	3000
9	R2	100	2000
10	R1	50	1000
11	R3	20	5000
12	R1	20	1000

Considerando-se os setores 3, 5, 6, 7, 8 e 14 mapeados como risco R4, estes estão assentados em solos residuais e coluvionares provenientes de rochas pré-cambrianas metamórficas (micaxistos), os quais em alguns pontos a rocha está aflorando. Devido à alta fragilidade da rocha, alguns processos já estão em evidência, principalmente escorregamentos rasos, verificados por meio de cicatrizes, sendo que em alguns casos o material mobilizado pode atingir moradias (Fig. 3). Quanto ao relevo, predominam terrenos côncavos com altas declividades configurando um anfiteatro de cabeceira de drenagem, com muitos cultivos de bananeiras e alguns trechos com solo exposto.

A tipologia das moradias consiste em um misto de casas de madeira e de alvenaria, apresentando, neste caso, alta densidade de ocupação (>70%), embora seja uma área urbana em consolidação. As vias de acesso ora são pavimentadas, ora não pavimentadas, cortando a encosta tanto de forma perpendicular quanto de forma longitudinal. As redes de infraestrutura existentes identificadas foram: viárias (precárias, na maioria), água, esgoto (somente

nas áreas mais à jusante), luz e coleta de lixo. Os sistemas de drenagem superficial são precários, com concentração de água de chuva em superfície e vazamento de tubulações. A falta de disciplinamento da água superficial, principalmente junto às casas de madeira, é um fator que aumenta o perigo de instabilizações. Dessa forma, são esperadas rupturas planares rasas nos taludes de corte e desagregação de aterros devido à concentração de águas pluviais e saturação do maciço.

As moradias não apresentam distanciamento, tanto em relação ao topo, quanto em relação à base do talude, fator que potencializa a situação de risco. As evidências de risco podem ser observadas em muitas moradias, por meio de trincas, muros e paredes embarrigados, muros e árvores inclinados e construções comprometidas, que requerem medidas prioritárias de intervenção. Segundo relatos de moradores, há um expressivo número de escorregamentos pretéritos, além da presença de sedimentos provenientes dos escorregamentos, de entulho e de materiais da construção civil.

Resultados semelhantes foram obtidos por MACEDO et al (2004), ao mapearem as áreas de risco a escorregamentos na Favela Serra Pelada (subprefeitura do Butantã – município de São Paulo). Os setores de grau de risco muito alto foram àqueles assentados em rochas muito alteradas (saprolitos) do tipo magmatitos e gnaisses graníticos, sendo a região composta por morros baixos, com amplitudes de 100 m e declividades superiores a 30%. Tratava-se de moradias de baixa renda, sendo um misto de casas de madeira e outras de alvenaria, sendo estas últimas a grande maioria. Tais autores também verificaram que nas áreas urbanas em consolidação, embora com algumas intervenções geotécnicas (escadas hidráulicas e muros de contenção), os escorregamentos, tanto naturais como induzidos, são freqüentes, mobilizando solo, lixo e entulho, principalmente nos taludes de corte e aterros.

3.2 Análise dos parâmetros topográficos – Cerca de 40% das encostas da bacia possuem ângulos acima de 16,8° (FD) (Fig. 4 e Fig.5), o que demonstra predominância de áreas proibidas, segundo a Lei Lehman, à ocupação urbana. Estas correspondem aos terrenos mais dissecados, principalmente aqueles localizados nas áreas de cabeceiras com altitudes superiores a 880 m que favorecem a maior infiltração de água; parâmetro morfométrico importante a ser considerado na dinâmica dos processos gravitacionais que ocorrem na bacia e que podem levar ao risco. Esta situação é comprovada pelos elevados índices de CR (61%) e PR (3,3%) verificados nesta classe. MIRANDOLA (2008) verificou que a ocorrência de escorregamentos é incipiente nos ângulos inferiores a 17° na Favela Real Parque (RMSP) e CANIL (2006), na bacia do ribeirão Pirajuçara (RMSP), também constatou que nos ângulos entre 3°-11° ocorrem processos fluviais, favorecidos pela maior concentração do escoamento

superficial, que propicia produção e transporte de sedimentos, podendo implicar em assoreamentos e inundações.



Fig. 3: Visão oblíqua parcial dos setores 8(A) e 5(B) com destaque a cicatrizes de escorregamentos rasos (vermelho), com material mobilizado atingindo moradias.

Com relação ao aspecto, a bacia apresenta suas encostas, em maior parte, voltadas para NE (16%). Entretanto, o maior índice de CR foi verificado na classe S (21%), com PR na classe SW (4%) (Fig. 6 e Fig. 7), indicando uma maior suscetibilidade destas encostas, associadas à presença de material rochoso ou à cobertura vegetal menos preservada. Em outros estudos, como por exemplo, VIEIRA (2007), a autora verificou na Serra do Mar paulista uma maior frequência e concentração de escorregamentos em encostas orientadas para o quadrante sul, mas um maior potencial a escorregamento em encostas orientadas para o quadrante norte. Segundo este trabalho, aquelas voltadas para sul possuem menor suscetibilidade em função da cobertura vegetal mais preservada, devido ao maior sombreamento e à manutenção da umidade dos solos, enquanto aquelas voltadas para norte apresentaram-se mais suscetíveis aos escorregamentos rasos.

Quanto à curvatura, um dos parâmetros de maior importância para a ocorrência de escorregamentos, encostas convexas apresentaram maior FD (38%) (Fig. 8 e Fig. 9). Segundo RENEAU & DIETRICH (1987), nas formas convexas o fluxo é preferencialmente divergente

e a água no solo aparece localmente devido a fortes chuvas ou à heterogeneidade da rocha, que força o fluxo subsuperficial em direção ascendente para o manto de solo. Assim, mesmo sendo áreas divergentes e declivosas, essas necessitam de uma grande descarga de chuva para aumentar sua instabilidade.

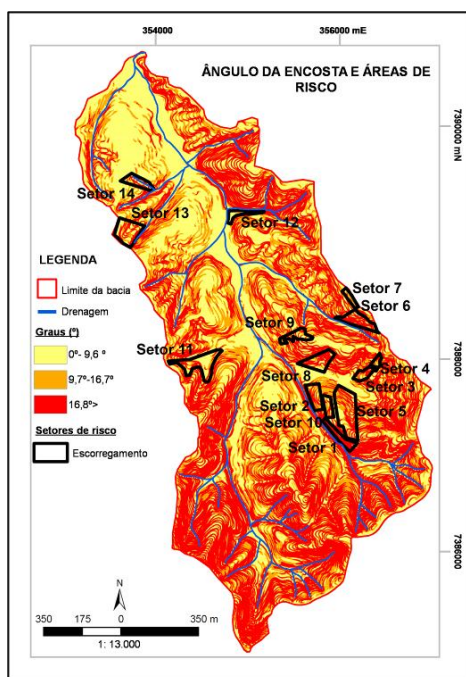


Fig. 4: Mapa de Ângulo da Encosta da bacia do Limoeiro.

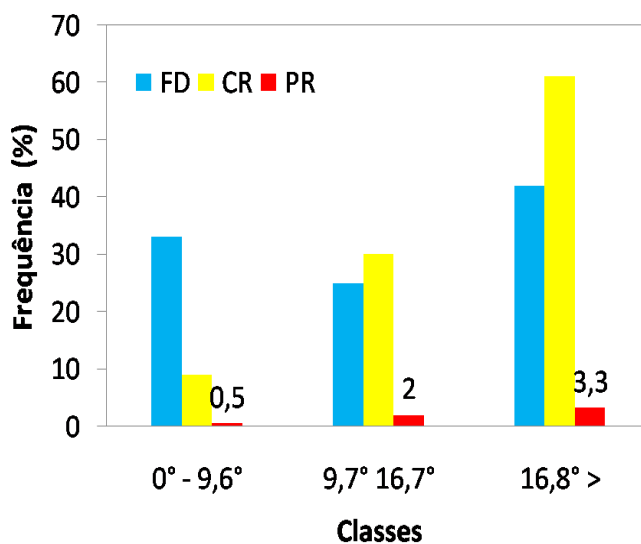


Fig. 5: Histograma de ângulo da encosta com os percentuais de Frequência de Distribuição (FD), Concentração de Risco (CR) e Potencial de Risco (PR).

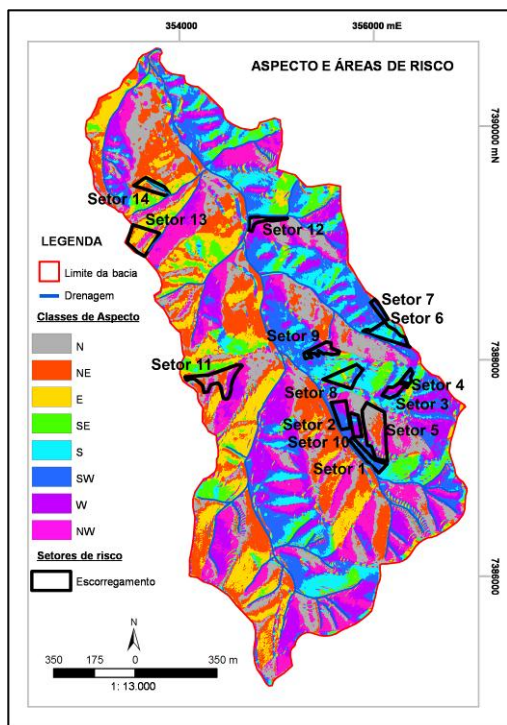


Fig. 6: Mapa de Aspecto da bacia do Limoeiro.

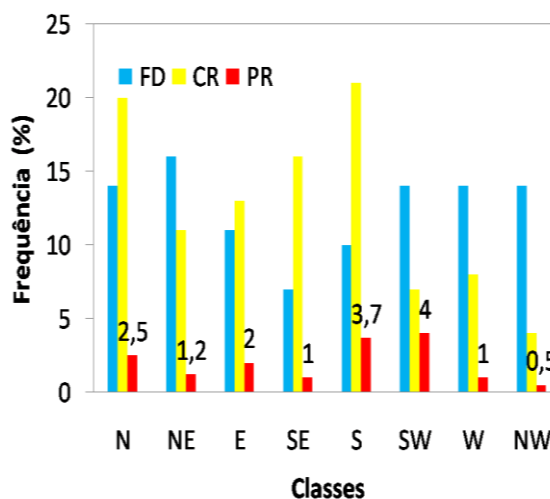


Fig. 7: Histograma de aspecto com os percentuais de Frequência de Distribuição (FD), Concentração de Risco (CR) e Potencial de Risco (PR).

Embora esta classe seja a mais freqüente, a CR e o PR foram mais elevados na classe retilínea, respectivamente 95% e 6,7%. Muitos trabalhos também encontraram maior proporção de cicatrizes de escorregamentos em encostas retilíneas em diferentes áreas, como LOPES (2006), TATIZANA et al. (1987), IPT (1988), WOLLE (1988) e WOLLE & CARVALHO (1989).

Por fim, em relação à área de contribuição, a maior classe atingida foi a 1,8-2 log10 (m²), concentrando cerca de 30% do total de áreas de risco (CR) apresentando também o maior valor de FD (32%) (Fig. 10 e Fig. 11).

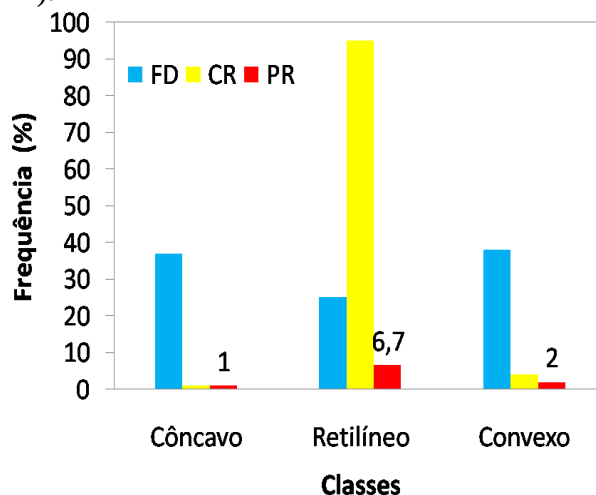
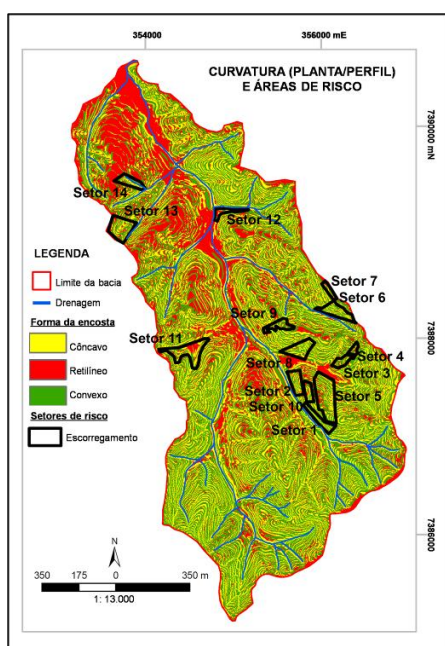


Fig. 9: Histograma de curvatura com os percentuais de Freqüência de Distribuição (FD), Concentração de Risco (CR) e Potencial de Risco (PR).

Fig. 8: Mapa de Curvatura (planta/perfil) da bacia do Limoeiro.

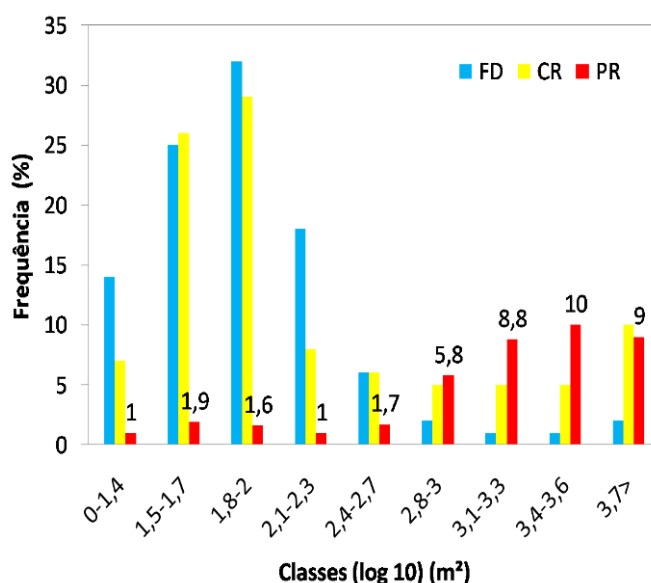
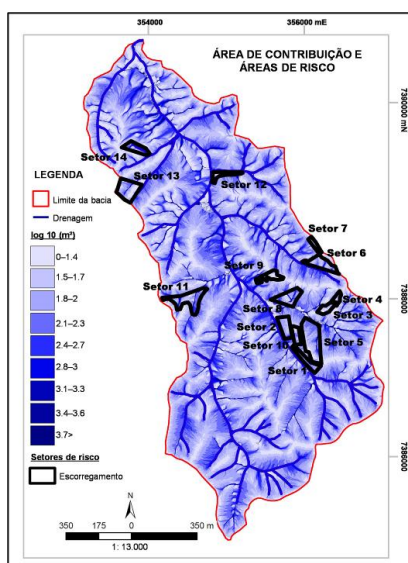


Fig. 11: Histograma de área de contribuição com os percentuais de Freqüência de Distribuição (FD), Concentração de Risco (CR) e Potencial de Risco (PR).

Fig. 10: Mapa de Área de Contribuição da bacia do Limoeiro.

Entretanto, o maior valor de PR (10%) foi mapeado na classe 3,4-3,6 log10 (m²), que indica os locais mais íngremes onde se localizam os maiores ângulos da encosta e onde predominam as formas retilíneas. Este parâmetro demonstra uma relação direta entre a forma da encosta e os processos hidrológicos e movimentos de massa, possuindo um papel relevante na análise da suscetibilidade.

4. CONCLUSÕES

1. O mapeamento e a avaliação do grau de risco envolvem a identificação de áreas de risco, estabelecendo as condições e as circunstâncias para a ocorrência destes processos, isto é, como e onde eles podem ocorrer. As ações para o controle de áreas de risco a escorregamentos e a prevenção de acidentes podem ser aplicadas a partir de três diferentes abordagens, simultâneas ou não, sendo estas: (a) eliminar ou reduzir o risco, agindo sobre o processo por meio da implementação de medidas mitigadoras ou removendo aqueles que vivem em áreas de risco; (b) impedir a formação de áreas de risco por meio de um controle eficaz do uso e ocupação do solo e (c) conviver com os riscos a partir da elaboração de planos preventivos da Defesa Civil, envolvendo um conjunto de ações coordenadas que visem eliminar o número de vítimas, buncando uma vida com situações de risco dentro dos níveis razoáveis de segurança (CARVALHO et al., 2007).

2. Quanto aos resultados obtidos, verificou-se a predominância de CR e PR para os ângulos superiores a 16,8° e encostas mais suscetíveis voltadas para o quadrante sul. Na análise da curvatura, embora predominem as formas convexas, os índices CR e PR foram mais significativos para as encostas retilíneas e por fim, as áreas mais suscetíveis foram aquelas com área de contribuição entre 3,4-3,6 log10 (m²) correspondentes aos terrenos mais dissecados da bacia.

3. Embora não sejam os únicos fatores responsáveis pela ocorrência de áreas de risco, os parâmetros topográficos são fundamentais para a localização de áreas instáveis que possam levar ao risco. Entretanto, em muitos trabalhos, não é comum a relação de áreas de risco com tais parâmetros.

5. AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi financiada pela FAPESP (Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo). Os autores agradecem aos seus colegas pelo apoio e discussão: Kátia Canil, Luis Antonio Bittar Venturi, Cristiane Pimentel, pesquisadores do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo) e Defesa Civil de São Mateus (SP).

6. REFERÊNCIAS

ALHEIROS, M.M. & AUGUSTO FILHO, O. **Landslides and coastal erosion hazards in Brazil**. International Geology Review (398). p. 756-763. 1997.

AUGUSTO FILHO, O. & VIRGÍLI, J.C. **Estabilidade de taludes**. In: OLIVEIRA, A.M. dos S. & BRITO, S.N.A. de. (org). Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE-CNPq- FAPESP. p.243-269. 1998.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos. p. 257-271. 2005.

CANIL, K. **Indicadores para monitoramento de processos morfodinâmicos: aplicação na Bacia do Ribeirão Pirajuçara, RMSP (SP)**. São Paulo, 169 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. 2006.

CARVALHO, C. S.; MACEDO, E. S.; OGURA, A. T. **Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios**. Brasília: Ministério das Cidades & Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 176 p. 2007.

CGE. **Em 20 dias, estação da USP registra recorde de chuva em janeiro**. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u682965>. Último acesso em 30/05/2010. 2010

CERRI, L. E. da S. & AMARAL, C.P. do. **Riscos Geológicos**. In OLIVEIRA, A. M. dos S. & BRITO, S.N.A. de. (org). Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE- CNPq- FAPESP. p. 131-144. 1998.

DAEE. **Atlas Pluviométrico do Estado de São Paulo**. Período 1941-1970. 1972.

DAEE. **Plano Diretor de Macrodrenagem da Bacia do Alto Tietê: Análise Geológica e Caracterização dos Solos da Bacia do Alto Tietê para Avaliação do Coeficiente de Escoamento Superficial**. Relatório PDAT1-GL-RT-037. 1998.

EMPLASA. **Carta Geológica da Região Metropolitana de São Paulo**. Escala: 1:100.000. 1980.

FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R.F.; GOMES, R.A.T.; VIEIRA, B.C.; MONTGOMERY, D.R.; GREENBERG, H. **Topographic controls in Rio de Janeiro: Field evidence and modeling**. Catena (55). p. 163-181. 2004.

GAO, J. **Identification of topographic settings conducive to landsliding from DEM in Nelson County, Virginia. U.S.A**. Earth surface process and landforms (18). p.579-591. 1993.

GONÇALVES, F. M. & BARROS, M. T. L. **Meteorological radar and flood forecasting.** In: XXXI Conference on Radar Meteorology. Annals of XXXI Conference on Radar Meteorology. Seattle. United States of America. p. 1-5. 2003.

IPT. Estudo das instabilizações de encostas da Serra do Mar na região de Cubatão objetivando a caracterização do fenômeno de corrida de lama e da prevenção dos seus efeitos. Relatório IPT, São Paulo. 1988.

IPT. Produção de sedimentos e ocorrências de inundações na bacia do Rio Aricanduva, Município de São Paulo, SP. In: XI Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. Anais do XII Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. Florianópolis. Brasil. p. 1-11. 2005.

LOPES, E. S. S. Modelagem Espacial Dinâmica Aplicada ao Estudo de Movimentos de Massa em uma Região da Serra do Mar Paulista, na escala de 1:10.000. Tese de doutorado. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 302 p. 2006.

MACEDO, E. S.; CANIL, K.; GRAMANI, M. F.; ALMEIDA FILHO, G. S.; YOSHIKAWA, N. K.; MIRANDOLA, F. A.; VIEIRA, B.C.; BAIDA, L.M.A.; AUGUSTO FILHO, O.; SHINOHARA, E. J. Mapeamento de áreas de risco de escorregamento e solapamento de margens do Município de São Paulo –SP: o exemplo da favela Serra Pelada, Subprefeitura Butantã. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 1., Florianópolis: GEDN/UFSC, p. 59-72. (CD-ROM). 2004.

MINISTÉRIO DAS CIDADES & IPT. Manual de treinamento de técnicos municipais para o mapeamento e gerenciamento de áreas urbanas com risco de escorregamentos, enchentes e inundações. CPRM/SGB: Rio de Janeiro. 90p. 2004.

MIRANDOLA, F.A. Carta de risco de escorregamento em ambiente tecnogênico: o caso da favela Real Parque, São Paulo. Dissertação (Mestrado) em Tecnologia Ambiental. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 217 p. 2008.

O'LOUGHLIN, E. M. Prediction of surface saturation zones in natural catchments by topographic analysis. In: Water Resources Research (22). Washington: American Geophysical Union, pp.794-804. 1986.

PIKE, R.J. Geomorphometry-diversity in quantitative surface analysis. In: Progress in Physical Geography (24), n.1. SAGE Publications. p.1-20. 2000.

RENEAU, S. L. & DIETRICH, W.E. Size and Location of colluvial landslides in a steep forested landscape. Erosion and Sedimentation in the Pacific Rim (IAHS Publication) (165). p. 39-47. 1987.

RODRIGUES, C. **Morfologia original e morfologia antropogênica na definição de unidades espaciais de planejamento urbano: exemplo na metrópole paulista.** Revista do Departamento de Geografia n. 17. São Paulo, FFLCH, p. 101-111. 2005.

ROSS, J.L.S. & MORROZ. I. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo.** Escala 1:500.000. São Paulo: FFLCH-UPS/IPT/FAPESP. 2 v. mapa.1997.

SVMA & IPT. **Geo cidade de São Paulo: panorama do meio ambiente urbano.** São Paulo: Prefeitura do Município de São Paulo. SVMA. Brasília: PNUMA. 204 p. 2004.

TATIZANA, C.; OGURA, A.T.; CERRI, L.E.S; ROCHA, M.C.M. **Modelamento numérico da análise de correlação entre chuvas e escorregamentos aplicado às encostas da Serra do Mar no município de Cubatão.** In: Anais do 5º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE. 1987.

VIEIRA, B. C. **Previsão de escorregamentos translacionais rasos na Serra do Mar (SP) a partir de modelos matemáticos em bases físicas.** Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 193 p. 2007.

WOLLE, C. M. **Análise dos escorregamentos translacionais rasos numa região da Serra do Mar.** Tese (Doutorado) - Escola Politécnica. USP, São Paulo, 406 p. 1988.

WOLLE, C.M. & CARVALHO, C.S. **Deslizamentos em encostas da Serra do Mar- Brasil.** Revista Solos e Rochas (12). São Paulo: ABGE, pp.27-36. 1989.