

ANALISE DA RELAÇÃO ENTRE ESCORREGAMENTO E FORMAS DE VERTENTES NO MUNICÍPIO DE CUBATÃO (SP) E SEUS ARREDORES

Samia de Moura PASSARELLA ¹, Fábio Braz MACHADO ^{1,2}, Paulina Setti RIEDEL ³,
Eymar Silva Sampaio LOPES ⁴, Mateus Vidotti FERREIRA ⁵,
Mirley Ribeiro MOREIRA ⁵, Andrezza de Almeida AZZI ⁶

- (1) Curso de Pós-graduação em Geociências/Área de Geologia Regional, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP/Campus de Rio Claro. Avenida 24-A, 1515 – Bela Vista. CEP 13506-900. Rio Claro, SP.
Endereços eletrônicos: samiageo84@gmail.com; fabiobm@rc.unesp.br.
- (2) Centro Universitário Salesiano de São Paulo (UNISAL), Campus Dom Bosco.
Rua Dom Bosco, 100 – Santa Catarina. CEP 13466-327. Americana, SP.
- (3) Departamento de Geologia Aplicada, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP/Campus de Rio Claro.
Avenida 24-A, 1515 – Bela Vista. CEP 13506-900. Rio Claro, SP. Endereço eletrônico: psriedel@rc.unesp.br.
- (4) Departamento de Processamento de Imagens, INPE. Avenida dos Astronautas 1.758 Jardim Granja.
CEP 12227-010 São José dos Campos, SP. Endereço eletrônico:eymar@dpi.inpe.br.
- (5) Curso de Pós-graduação em Geociências/Área Geociências e Meio Ambiente, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP/Campus de Rio Claro. Avenida 24-A, 1515 – Bela Vista. CEP 13506-900. Rio Claro, SP.
Endereços eletrônicos: mateusvidotti@yahoo.com.br, mirleyrm@gmail.com.
- (6) Curso de Graduação em Geologia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP/Campus de Rio Claro.
Avenida 24-A, 1515 – Bela Vista. CEP 13506-900. Rio Claro, SP. Endereço eletrônico: azzi@rc.unesp.br.

Introdução
Objetivos
Caracterização da Área de Estudo
 Aspectos Geológicos e Geomorfológicos
 Aspectos Climáticos
 Aspectos da Cobertura Vegetal
Materiais, Métodos e Técnicas
 Materiais
 Metodologia
Resultados e Discussão
Conclusões
Referências Bibliográficas

RESUMO – O município de Cubatão é uma área densamente povoada, com alta atividade industrial. Existem na área também importantes obras lineares como rodovias, ferrovias, oleodutos, aquedutos e linhas de transmissão de energia. As características geomorfológicas e geológicas do município, conjugadas com as atividades antrópicas desordenadas, fazem do local uma área fortemente predisposta a escorregamentos o que a torna uma região de risco. Neste trabalho, foram extraídas as cicatrizes de escorregamentos a partir de fotos aéreas de 1985 e 1994, anos que registraram grande incidência de escorregamentos e foram efetuadas análises quantitativas da relação entre a ocorrência das cicatrizes e as formas de vertentes, baseadas em um intensivo levantamento de cicatrizes na região, representado por 2595 cicatrizes, com o intuito de contribuir para o melhor conhecimento dos processos de escorregamento na Serra do Mar paulista e, conseqüentemente, para a redução dos riscos na região. Os resultados alcançados permitiram concluir que a maior porcentagem dos escorregamentos da região está associada às vertentes retilíneas, seguidas pelas convexas, fato que corrobora estudos anteriores realizados na região, de forma qualitativa ou com um número bastante inferior de cicatrizes.

Palavras-chave: Serra do Mar, Escorregamentos, Geomorfologia, Sensoriamento Remoto, SIG

ABSTRACT – *S.M. Passarella, F.B. Machado, P.S. Riedel, E.S.S. Lopes, M.V. Ferreira, M.R. Moreira, A.de A. Azzi - Analyzes of the relation between landslide and forms of tracks in the city of Cubatão (SP) and region.* The city of Cubatão is a densely populated area with high industrial activity. In the area there are also important linear works as roads, railways, pipelines, aqueducts and lines of transmission of energy. The geological and geomorphological features of the municipality, combined with the human activities, make the site an area heavily prone to the landslides, so a region at high risk. In this work, landslide scars were extracted in aerial photos from 1985 and 1994, years that recorded a high incidence of landslides. Quantitative analysis of the relationship between the occurrence of scars and the forms of tracks were conducted, based on an intensive survey of scars in the region, represented by 2595 extracted scars, with the aim of contributing to a better understanding of the slipping processes in the Serra do Mar paulista and thus to the reduction of risks in the region. Achievements have concluded that the greatest percentage of slides in the region is linked to the strands straight, followed by convex, which confirms previous studies conducted in the region, in a qualitative way or with a much lower number of scars.

Keywords: Serra do Mar, Landslides, Geomorphology, Remote Sensing, GIS.

INTRODUÇÃO

O presente trabalho foi desenvolvido em uma porção do município de Cubatão, importante pólo industrial, localizado próximo ao litoral, no estado de São Paulo, mais especificamente na Serra do Mar paulista.

A Serra do Mar corresponde à escarpa montanhosa da borda oriental do Planalto Atlântico, acompanhando as direções geográficas e estruturais SW/NE do litoral sudeste brasileiro, transpondo desníveis médios de 1.000 m em larguras entre 5 e 10 km, e estendendo-se por cerca de 1000 km do Estado do Rio de Janeiro ao estado de Santa Catarina (Santos, 2004). As escarpas da Serra do Mar ocupam a área da floresta tropical úmida, caracterizada por elevadas temperaturas e por chuvas torrenciais, fatores que causam um processo de alteração intenso. Estas características, associadas ao relevo e aos tipos de rochas, podem desencadear os processos de escorregamentos (IPT, 1986).

Na Serra do Mar, embora ocorram outros tipos de escorregamentos, porém o mais atuante na dinâmica superficial é o escorregamento translacional (Augusto Filho, 1992). Esse tipo de escorregamento ocorre especialmente em áreas de encostas retilíneas com inclinação acima de 30° e rupturas positivas de declive, muitas vezes é induzido por cortes que ocorrem no terreno, por concentração de águas superficiais, desmatamento, sobrepesos de aterros e lixo etc. (Santos, 2004). Tratam-se de escorregamentos rasos, que envolvem espessuras delgadas de material, em geral de 1 a 3 m, com larguras medianas, em geral de 10 a 20 m, e que podem atingir grandes comprimentos, até 100 m, em função da distância entre o início da ruptura e o fundo do vale, para onde o material mobilizado se dirige (Foto 1). São movimentos rápidos e de grande energia, deflagrados, geralmente, por eventos pluviométricos intensos (IPT, 1988).

Os escorregamentos podem ocorrer de forma esparsa ou de forma generalizada e simultânea, afetando várias porções da encosta. Nos verões de 1985 e de 1994, os escorregamentos ocorreram de forma generalizada na região, o que gerou um grande volume de material que, uma vez canalizado para o sistema de drenagem, transformou-se em corridas de lama e detritos, que alcançaram grandes distâncias, com alto poder destrutivo.

Os escorregamentos translacionais são condicionados por vários fatores, dentre os quais os principais são: a declividade, a forma das vertentes e a vegetação. A pluviosidade constitui-se, segundo IPT (1988), no principal agente deflagrador do processo.

Os movimentos de massa recorrentes na região da Serra do Mar, mais especificamente no município de Cubatão e seus arredores, foram muito explorados e relatados pela mídia e por diversos trabalhos técnicos, por representarem uma séria ameaça à população e ao pólo industrial local.

No passado, anteriormente à atividade humana, os movimentos de massa tiveram um controle climático e de caráter cíclico. A paisagem apresentava uma seqüência de cicatrizes originadas dos movimentos de massa em épocas distintas. Sua ciclicidade relacionava-se, principalmente, com as mudanças climáticas, as quais afetaram a cobertura florística e as condições hidrológicas do subsolo (Bigarella et al., 1978).

Apesar de fazerem parte de uma tendência natural da evolução do relevo, esses processos têm seu efeito potencializado pela ação antrópica, dentre os quais se pode citar a ocupação inadequada de encostas nos bairros-cota (Foto 2). Em formas indevidas de ocupação das encostas, ocorrem cortes e aterros mal dimensionados, concentração das águas pluviais e retirada da cobertura vegetal.

Nesse contexto, a área de Cubatão, pela sua alta densidade populacional, alto fluxo industrial e pela predisposição a escorregamentos se configura como uma área de alto risco. A compreensão dos processos de movimentos de massa, mais especificamente de escorregamentos, pode fornecer dados essenciais para nortear o crescimento e expansão do município e de seu pólo petroquímico, contribuindo na diminuição do risco sobre os empreendimentos e vidas humanas na região. Desta forma, este trabalho tem como objetivo contribuir na compreensão dos processos de escorregamento, através da análise da relação entre formas de vertentes e escorregamentos, numa abordagem quantitativa, realizada a partir do cadastro feito por Lopes (2006), que conta com 1742 cicatrizes extraídas em fotos aéreas de 1985 e 853 para o ano de 1994, num total de 2595 cicatrizes.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada entre as longitudes 46°37' a 46°16' W e nas latitudes 23°58' a S 23°42' S (Figura 1) se situa no município de Cubatão e partes dos municípios vizinhos de São Vicente e

São Bernardo do Campo. A largura dessa área serrana não ultrapassa os 7,5 km, e suas altitudes em relação ao nível do mar chegam, no máximo, a 800 m (IPT, 1991).

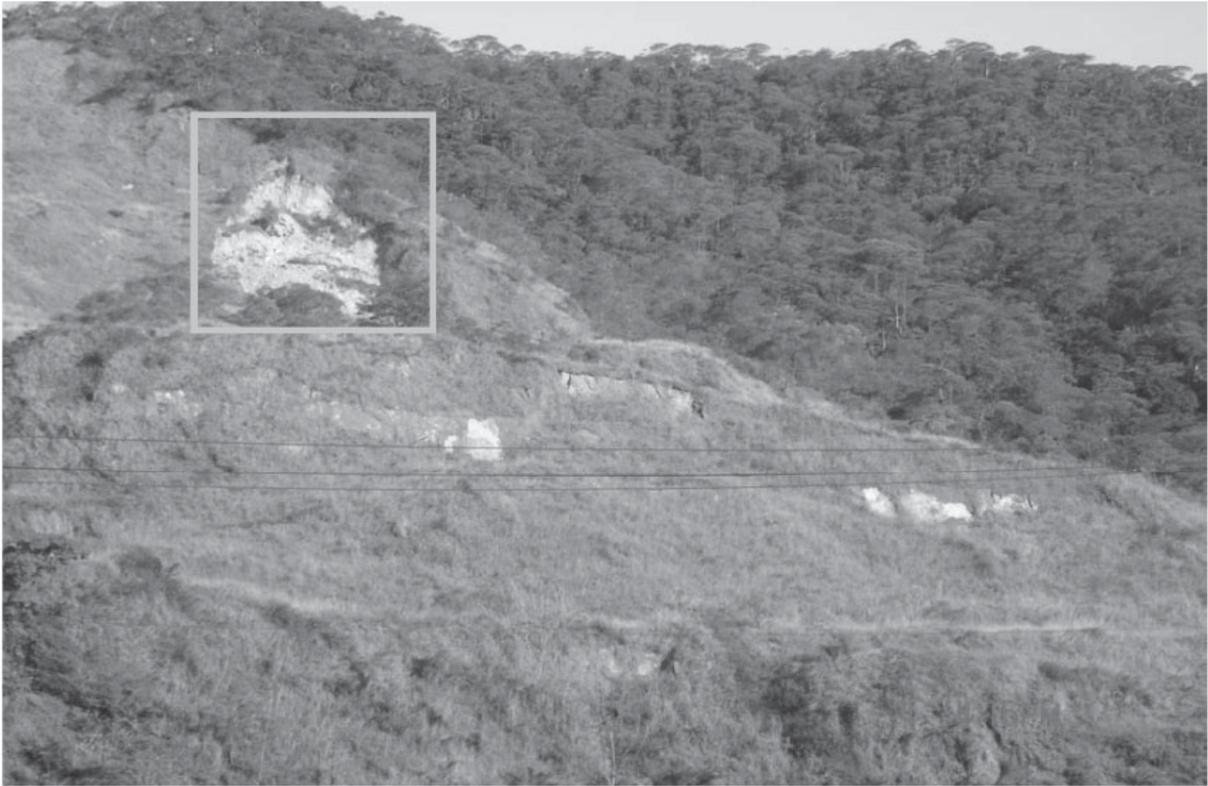


FOTO 1. Setor de serra da região de Cubatão (SP), evidenciando um local com ausência de vegetação devido a uma cicatriz. Foto de maio de 2005.



FOTO 2. Ocupação irregular em zona de serra, na região de Cubatão. Foto de maio de 2005.

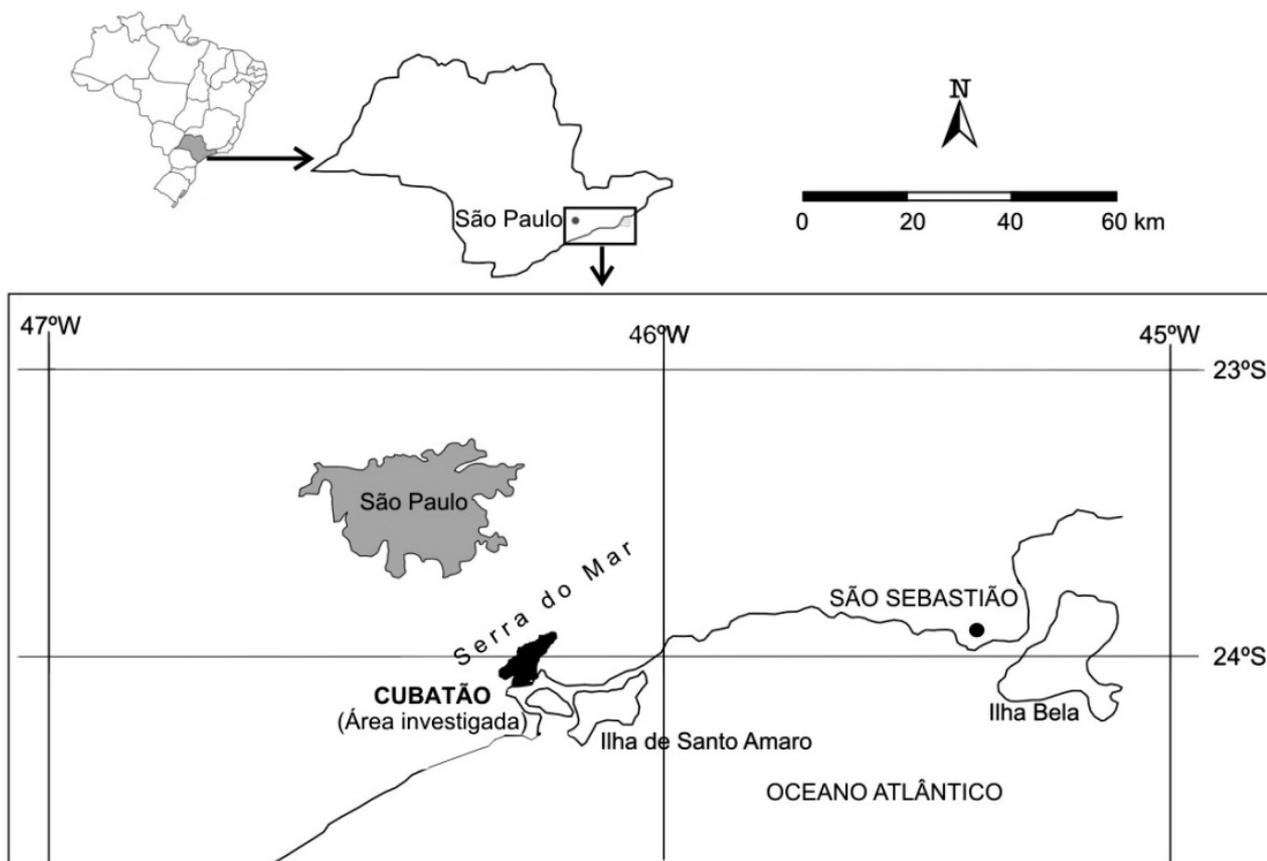


FIGURA 1. Localização da área investigada, no litoral do Estado de São Paulo.

ASPECTOS GEOLÓGICOS E GEOMORFOLÓGICOS

A região estudada compreende um relevo de transição entre o Planalto Atlântico e a Planície Costeira. As altitudes das escarpas da Serra do Mar não ultrapassam 1000 m. As escarpas da serra assumem perfis mais ou menos retilíneos, com altos declives, separadas por vales em “V”. O relevo de transição inicia-se com uma ruptura positiva marcante, representada pela borda do planalto, decaindo abruptamente para a planície, com declividades altas, em média superiores a 30%.

Na região de Cubatão, ocorrem as feições denominadas por Almeida (1953) de pinças de caranguejo, que são feições erosivas com evolução condicionada pela resistência diferencial das rochas da região. O relevo da região foi condicionado pela falha de Cubatão, à qual se associam rochas de distintos graus de cataclase. Essa falha também condiciona as drenagens dos rios Cubatão e Mogi que possuem entalhamentos em vales orientados no sentido NE-SW, responsáveis por tais feições.

Segundo Almeida & Hasui (1984), o substrato rochoso que caracteriza a área de estudo foi subdividido em duas unidades litoestratigráficas, distribuídas em dois blocos justapostos, delimitados pelo falhamento

transcorrente de Cubatão, de direção NE-SW, que limita a norte o bloco Jquitiba, onde domina o Grupo Açungui e a sul o bloco Costeiro, onde predomina o Complexo Costeiro.

No Grupo Açungui (neoproterozóico), predominam migmatitos de paleossomas xistosos e migmatitos homogêneos, ocorrendo também quartzitos, com inclusões de lentes anfibolíticas, xistos e filitos. Já no Complexo Costeiro (Arqueno), ocorrem migmatitos oftalmíticos e, subordinadamente, os migmatitos estromatíticos, além de sedimentos costeiros cenozóicos. Ainda cabe ressaltar no Bloco Costeiro a ocorrência dos maciços graníticos da Serra do Morrão e Taiapuêba.

Nas escarpas da Serra do mar distinguem-se dois sistemas de relevo, denominados por Ponçano et al (1981) de “Escarpas Festonadas”, que constituem a escarpa da Serra do Mar propriamente dita e as “Escarpas com Espigões” Interdigitados, suportadas por maciços rochosos localmente interligados ao planalto e que foram separados e dissecados pelo entalhe fluvial, constituindo relevos residuais de recuo da frente da serra.

A Serra do Mar exhibe ora escarpas abruptas, ora escarpas de contornos sinuosos, dependendo do grau

de dissecação das encostas. As encostas mais altas e resistentes ao processo erosivo são constituídas por granitos, gnaisses e migmatitos. Já áreas com relevos mais baixos são formadas por xistos e filitos, rochas menos resistentes aos processos erosivos (Rodrigues, 1992) e com menores ângulos de atrito interno (Deere e Patton, 1971). Ocorrem ainda sedimentos terciários e sedimentos recentes classificados como pedimentos, tálus, coluviões e aluviões lagunares, de costa, e flúvio-lacustres, nas planícies dos rios e sopés de encosta (Sadowski, 1974).

As encostas do local possuem características bem definidas e por isso são diferenciadas por três unidades morfológicas, sendo elas:

- Retilíneas: características de encostas com perfil de ângulos aproximadamente constantes, variando de 36° a 45° e, na maioria das vezes, com rocha exposta e solos menos espessos;
- Convexas: caracterizam encostas com curvatura positiva e ângulos que aumentam continuamente para baixo, com declividades menores que 20°, e maiores espessuras de solo, devido à ocorrência de depósitos coluvionares;
- Côncavas: o perfil da encosta apresenta curvatura negativa com ângulos decrescentes para baixo.

Segundo o IPT (1986), a configuração da Serra do Mar denota marcante influência litoestrutural, condicionada pelas rochas da zona de falha de Cubatão, juntamente com rochas xistosas e migmatitos estromatíticos de paleossoma xistoso dominante, menos resistentes à erosão do que os migmatitos homogêneos e oftalmíticos de paleossoma gnáissico, rochas graníticas e granitóides. A presença dos migmatitos homogêneos ao longo da escarpa da serra, constitui-se num importante obstáculo ao avanço da erosão remontante. A presença dos migmatitos de paleossoma xistoso na borda do planalto, por outro lado, favorece recuos significativos, em função sua menor resistência aos processos de entalhe e sua posição topográfica favorece processos de rastejo e escorregamento.

Na zona do falhamento de Cubatão, que ocupa as partes mais basais da serra, ocorrem rochas miloníticas, em diferentes graus de catáclase, associadas a mica-xistos o que confere a esta região maior suscetibilidade aos processo de entalhe, permitindo o estabelecimento de vales profundos e retilíneos, como observado nos rios Moji e Cubatão.

Os sistemas de juntas predominantes na área de estudo são representados pelo sistema N50-70E, paralelo à foliação regional, e sistemas N30-50W e N5-15E. Enquanto o primeiro condiciona o desenvolvimento da frente da escarpa da Serra do Mar e das drenagens principais da região, os dois outros sistemas

condicionam o entalhe da drenagem, que corta perpendicularmente a escarpa e o desenvolvimento dos vales. As juntas com outras direções refletem condições locais que podem ser realçadas pelos processos erosivos (IPT, 1986).

ASPECTOS CLIMÁTICOS

Para Setzer (1966), essa região é caracterizada por um clima super úmido mesotermal e sem época seca. Portanto a pluviosidade crescente não segue a latitude, mas a disposição do relevo e a orientação da costa em relação as correntes da circulação atmosférica regional. A área de estudo compreende uma das áreas de maior pluviosidade no país, pois enquanto o setor meridional exibe índices anuais de 1500 a 2000 mm, essa área possui valores sempre superiores a estes que chegam atingir por vezes cerca de 4500 mm, (Monteiro, 1973). Segundo a CETESB (1985), a umidade relativa do ar é de aproximadamente 70% a 90% decorrente da proximidade com o Oceano Atlântico, influências de massas equatoriais e marítimas. A alta pluviosidade da região, favorecida pelo fluxo de massas de ar, constitui-se em importante agente deflagrador de escorregamentos.

ASPECTOS DA COBERTURA VEGETAL

Devido à abundância em água, a vegetação da área de estudo possui uma riqueza muito grande em diversidade de espécies e quantidade. Segundo Torres et al. (2002), a vegetação de Cubatão subdivide-se em três classes: a vegetação dos brejos de água doce; a vegetação do mangue e a vegetação de escarpas de Serra e de Morros.

A vegetação de brejos de água doce domina as regiões invadidas pelas águas dos rios e riachos na época de chuva, possui como representantes mais típicos as espécies de gramíneas e ervas que compõe as vegetações de florestas baixas e prados.

A vegetação do mangue, por sua vez, compreende uma área de 100 km², da Baixada Santista excluindo as zonas devastadas. Nos mangues a proliferação de vegetação é dificultada pela ausência de oxigenação da área e baixa consistência do solo. Estes domínios foram, em maioria, devastados e drenados, tanto para o plantio como para construções de casas.

Por fim, a vegetação de escarpas de Serra e de Morros, que corresponde à Mata Tropical, é rica em espécies vegetais, com predomínio das árvores de grande porte, caracterizada predominantemente pela floresta tropical úmida ou cientificamente denominada de Floresta Ombrófila Densa. Esta cobertura vegetal exerce importante papel na dinâmica das encostas da Serra do Mar, atuando com agente estabilizador dos

perfis das vertentes (Moreira & Camelier, 1977). Segundo a CETESB (1991) a malha radicular da vegetação confere ao solo uma maior resistência ao cisalhamento, suas estruturas aéreas promovem uma resistência ao movimento do material mobilizado, dissipando sua energia e protegendo as regiões à jusante. A cobertura vegetal ainda atua na interceptação e retenção das águas da chuva, diminuindo o volume e o impacto da água sobre o solo.

A poluição atmosférica do Pólo Petroquímico de

Cubatão causou intensa degradação na vegetação das encostas desta região da Serra do Mar, o que aumentou a quantidade de escorregamentos. O processo culminou com um episódio generalizado de movimentos de massa em março de 1985, que levou o governo do Estado de São Paulo a criar uma Comissão Especial para a Recuperação da Serra do Mar na região de Cubatão. Passados mais de 20 anos, observa-se a recuperação da vegetação destas encostas e a expressiva diminuição nos processos de escorregamento na região.

MATERIAIS E MÉTODOS

MATERIAIS

Os materiais utilizados para a realização deste trabalho foram:

- Cartas topográficas 1:50.000 (IBGE), em papel, e cartas topográficas 1:10.000 (AGEM), em formato digital.
- Fotografias aéreas, escala 1:25000, provenientes de vôo realizado pelo INPE em 1985, e fotografias aéreas escala 1:25000, produzidas pela Base Aerofoto S.A, em 1994. Tratam-se de dois anos de intensa ocorrência dos movimentos de massa, em decorrência de verões de alta pluviosidade.
- Softwares *SPRING* versão 4.2, (INPE, 2005), *ARCGIS* versão 9.1, (ESRI, 2005) e *ENVI* versão 4.1 (RSI, 2005).

METODOLOGIA

Inicialmente, foi necessário o procedimento de ortoretificação para que as imagens ou fotos fossem corrigidas geometricamente e assim as cicatrizes fossem corretamente posicionadas em relação à base topográfica, possibilitando a análise das formas das vertentes e sua associação com as cicatrizes. Para a ortoretificação, realizada no software *ENVI* (RSI, 2005), foram utilizadas as cartas topográficas digitais 1:10000 (AGEM) e buscou-se o erro mínimo de 0.2 cm, para que a distorção da imagem fosse satisfatória à realização do trabalho.

As ortofotos foram importadas para um banco de dados no ambiente *SPRING* (INPE, 2005), onde foram mosaicadas e, utilizando a digitalização em tela, foram delimitados os polígonos correspondentes às cicatrizes de escorregamento, em inventário realizado por Lopes (2006). Esta digitalização foi conduzida por análise interpretativa das feições erosivas observadas diretamente das imagens apresentadas na tela do monitor e com auxílio de análise estereoscópica das imagens em formato analógico. Os critérios fotointerpretativos utilizados para o reconhecimento das cicatrizes foram:

ausência de vegetação, posição na vertente, forma e tamanho. As cicatrizes tendem a ter formas alongadas, com comprimentos superiores à largura. Cabe ressaltar que foi dada a preferência, ao extrair as cicatrizes, ao seu ponto inicial, também chamado raiz, pelo fato de que é nessa parte que se inicia o processo de escorregamento (Figura 2).

No software *SPRING*, as áreas ocupadas pelas cicatrizes são entidades do tipo polígono, sendo que o software interpreta como objetos, com atributos de rótulo, nome área e perímetro. Outros atributos foram alimentados no banco como: data de identificação; valores médios da altitude, da declividade e orientação da vertente e eixo maior e menor das cicatrizes (Lopes, 2006)

Foi possível verificar as cicatrizes de forma mais confiável com o auxílio da estereoscopia, que deu apoio à delimitação realizada em meio digital. Através desses procedimentos, obteve-se um bom ajuste entre as feições extraídas das fotos e as curvas do mapa topográfico, conforme ilustrado na Figura 3.

Durante a atividade de campo foram selecionados os principais pontos, ou seja, os mais visíveis durante a campanha, com feições correspondentes a cicatrizes observadas nas fotos aéreas. Estes pontos foram checados, descritos e georreferenciados com GPS (Foto 3), a fim de conferir com os pontos que foram previamente registrados em escritório.

Essas informações permitiram o refinamento dos parâmetros dos condicionantes e a melhor caracterização das feições dos escorregamentos, estabelecendo assim um padrão para o fenômeno estudado.

O mapa de formas de vertentes foi elaborado a partir das cartas topográficas 1:50000, do IBGE, em papel, sobre as quais foram observadas as configurações das curvas de nível que evidenciavam as diferentes feições das encostas, sendo elas retilínea, convexa e côncava, como demonstra a Figura 4. Foram delimitados polígonos equivalentes às zonas de predominância de configurações retilíneas, convexas

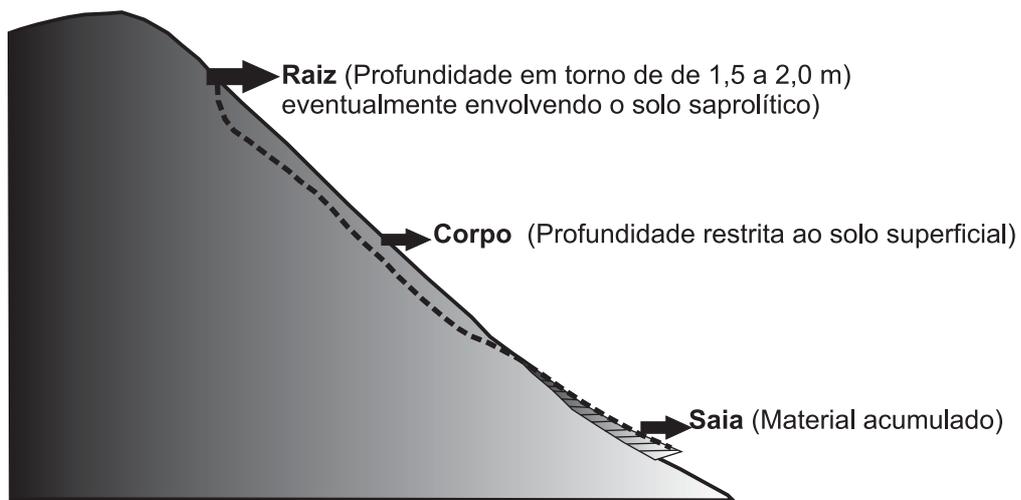


FIGURA 2. Componentes básicos de uma cicatriz de escorregamento (Santos, 2004).



FIGURA 3. Exemplo de fotografia aérea na região de Cubatão, em 1984, com extração de polígonos, em zonas de cicatrizes, onde as linhas pretas separam diferentes bacias e as linhas brancas demarcam as curvas de nível e drenagens.



FOTO 3. Fotografia do ponto P28 (Ponta da Serra - Posto Petrobrasol e dutos), com coordenadas (350389; 7359113) e cota altimétrica de 749 m.

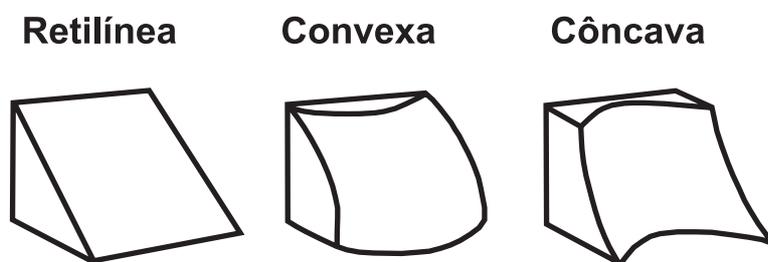


FIGURA 4. Formas de vertentes: retilínea, convexa, côncava.

ou côncavas das curvas de nível do mapa e estas feições foram assinaladas manualmente nos mapas, a fim de subsidiarem o trabalho de digitalização que se fez através dos *softwares SPRING e ARCGIS*.

Utilizando-se ainda a base de dados digital de altimetria, foram criados pequenos polígonos, equivalentes às cicatrizes, com seu eixo maior na mesma direção das vertentes. Tais polígonos foram identificados como objetos de um mapa cadastral no sistema *SPRING*, e posteriormente o atributo forma de vertente foi preenchido. Desta forma, pode-se quantificar as diferentes formas de vertentes e

relacioná-las à intensidade dos escorregamentos em anos diferenciados.

No *software ARCGIS* foi gerada uma tabela com atributos de comprimento, área das classes de vertentes e número de cicatrizes existentes em cada vertente. Estes dados foram exportados para o *software Microsoft Excel*, onde foram efetuadas as seguintes análises: incidência de cicatrizes em cada forma de encosta nos anos de 1985 e 1994, ocorrência dos diferentes tipos de encosta na área de estudo, e cicatrizes de 1985 que foram reativadas no ano de 1994. Optou-se pela representação através de gráficos de barras.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O mapa das formas de vertentes, nos arredores de Cubatão, mostrou que o tipo de encosta que ocupa a maior parte da área de estudo é a retilínea, com cerca de 63,64%, seguida pela encosta convexa, que ocupa 14,77% e a encosta côncava, com 11,36% da área total. Ainda, 6,82% da área é ocupada por depósitos

de sopé de encosta, assim como demonstra o mapa de formas de vertentes na Figura 5 e o gráfico da Figura 6. Tais dados corroboram os resultados obtidos por IPT (1988), que mostram, em projeto realizado em área piloto de 37 km², que as encostas retilíneas e convexas predominam na região.

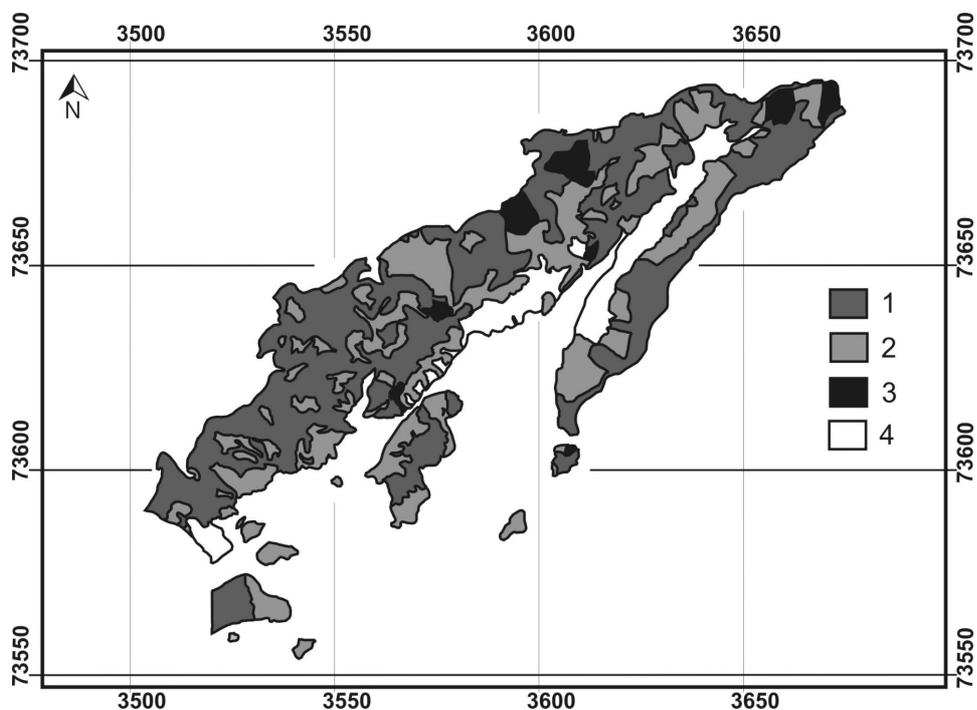


FIGURA 5. Mapa de formas de vertentes. (1) Encostas retilíneas; (2) Encostas convexas; (3) Encostas côncavas. O número 4 refere-se a depósitos de sopé de encosta.

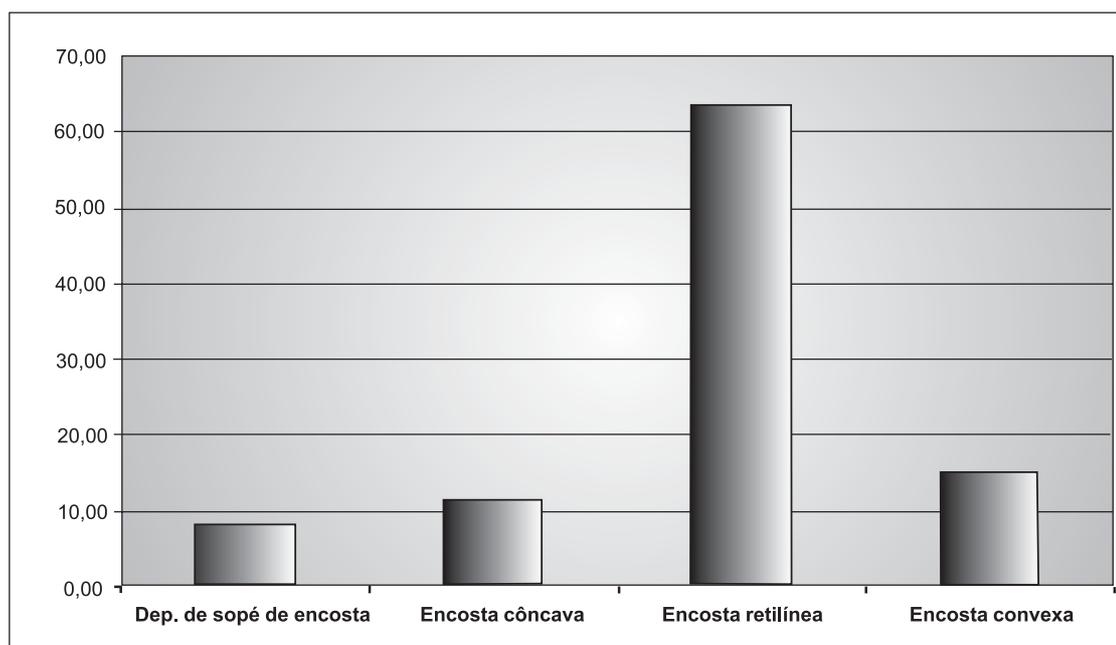


FIGURA 6. Frequência (%) das formas de encostas referentes ao “Mapa de Formas de Vertentes” presente na Figura 8, onde os tipos de encostas correspondem ao eixo “x”, e a porcentagem da área ocupada ao eixo “y”.

Tratando-se agora especificamente da incidência de cicatrizes no ano de 1985, nota-se que ocorreu a predominância de escorregamentos nas feições retilíneas com 62,09%, em relação às feições côncava

e convexa, com respectivamente 9,63% e 28,27%, como demonstra a análise gráfica da Figura 7 e o mapa da Figura 8.

Para o ano de 1994, as cicatrizes predominaram

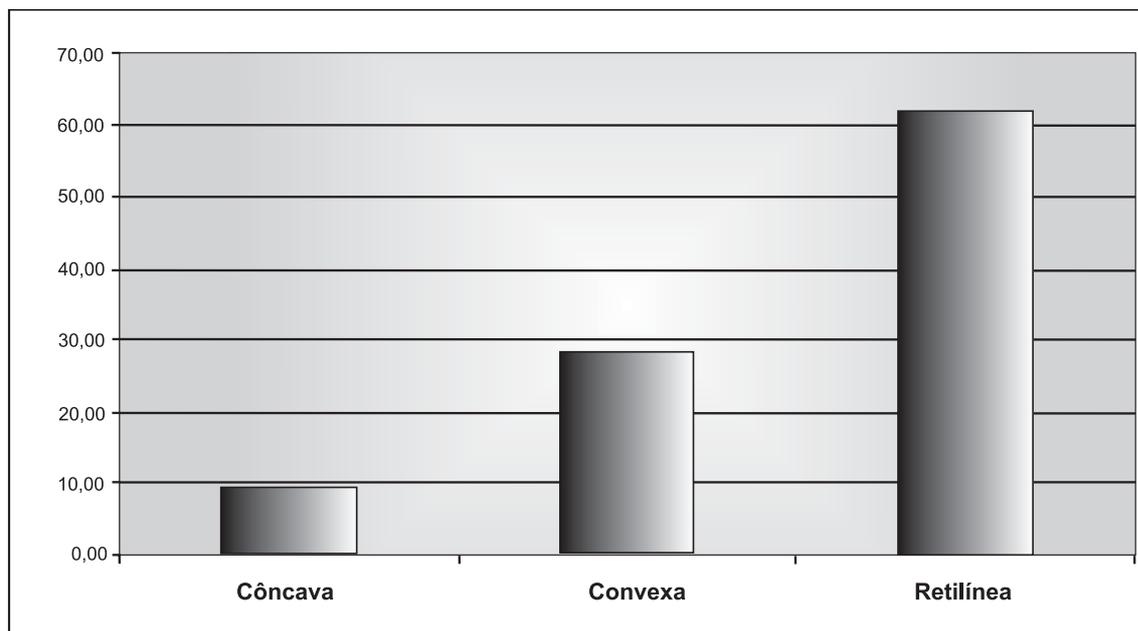


FIGURA 7. Frequência (%) das cicatrizes nas diferentes formas de encostas no ano de 1985. Onde o eixo “x” é representado pelos tipos de encostas e o eixo “y” pela porcentagem das áreas ocupadas.

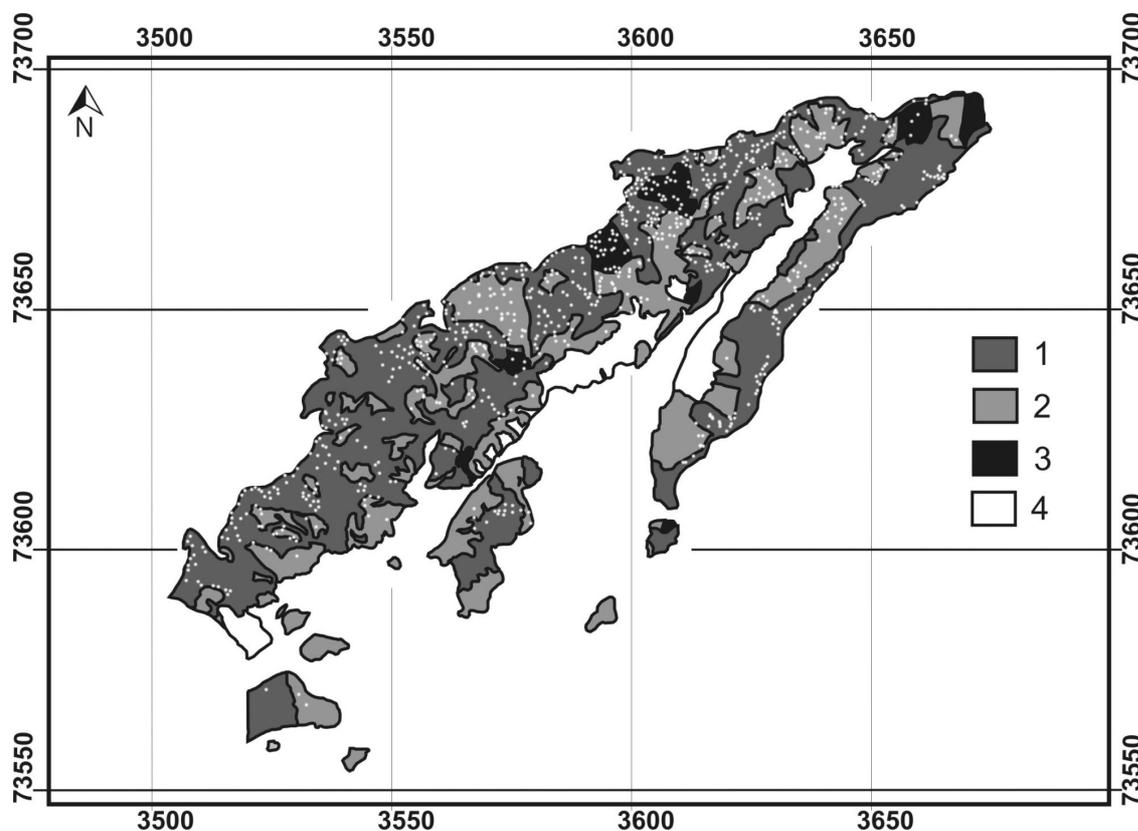


FIGURA 8. Mapa de formas de vertentes com extração de cicatrizes (representados por pontos) referentes ao ano de 1985. (1) Encostas retilíneas; (2) Encostas convexas; (3) Encostas côncavas. O número 4 refere-se a depósitos de sopé de encosta.

na mesma forma de vertente, de modo ainda mais dominante, com cerca de 72,60% das encostas retilíneas, enquanto que nas encostas côncavas e convexas

corresponderam respectivamente a 11,68% e 15,72%, assim como demonstra o gráfico da Figura 9 e o mapa da Figura 10.

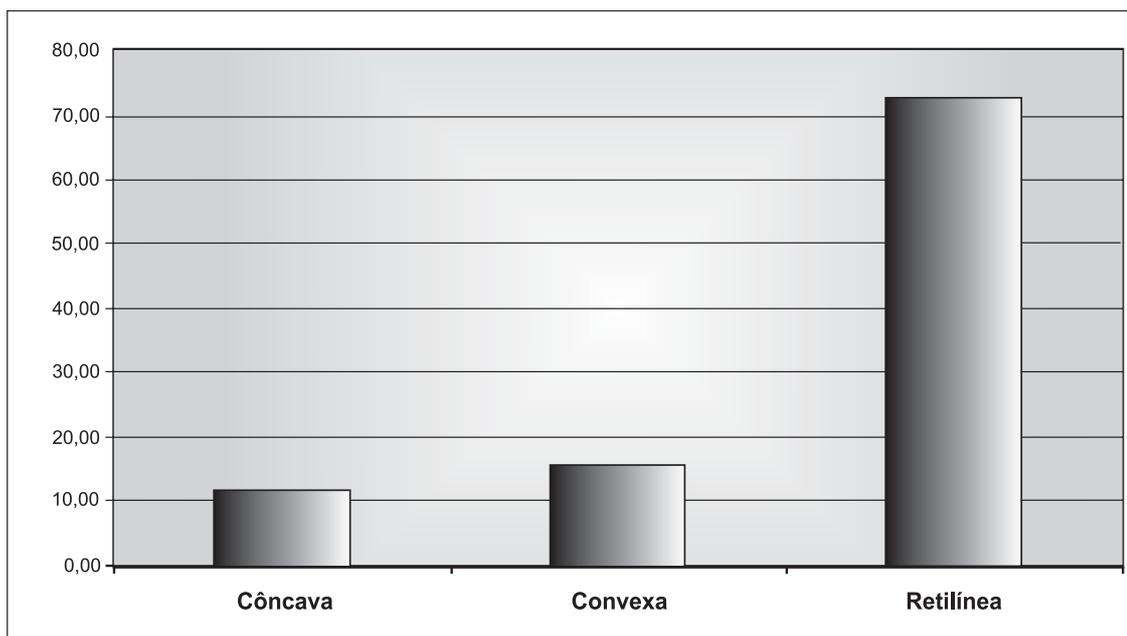


FIGURA 9. Frequência (%) das cicatrizes nas formas de encostas no ano de 1994. Onde o eixo “x” é representado pelos tipos de encostas e o eixo “y” pela porcentagem de ocorrência de cicatrizes.

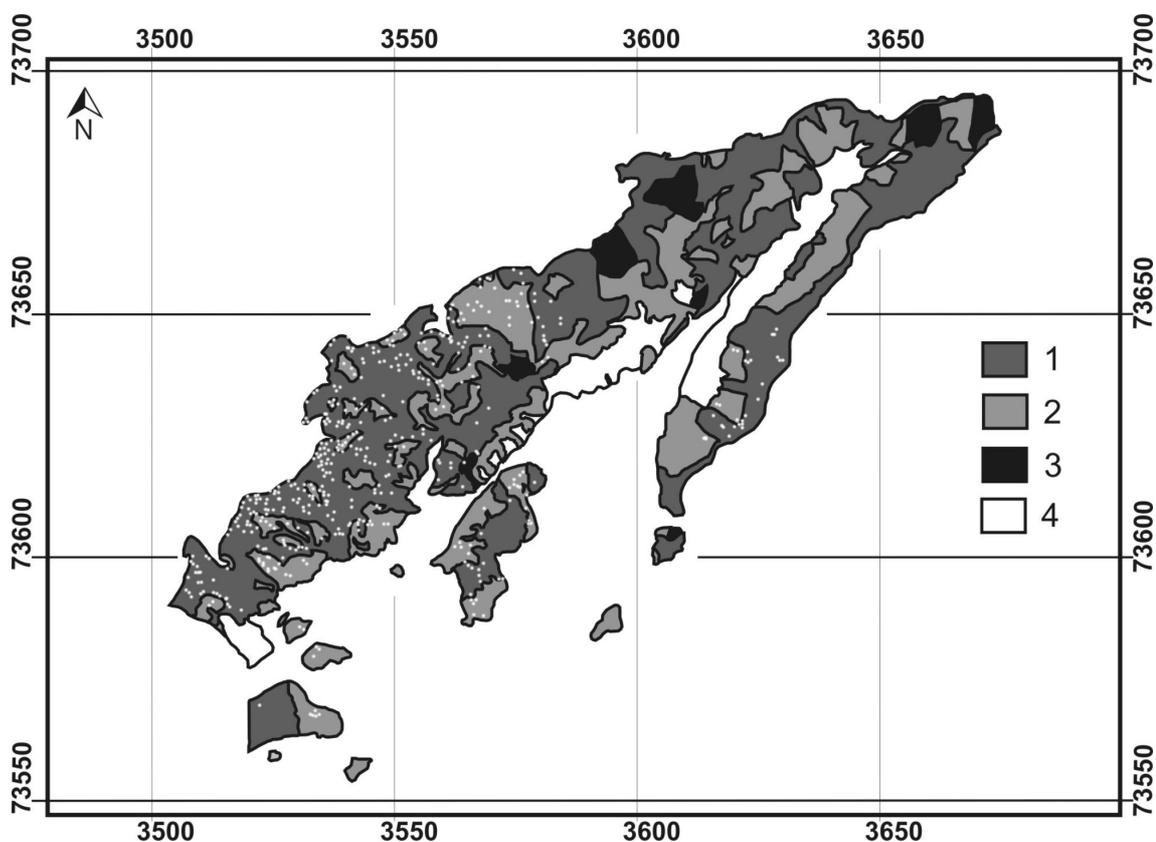


FIGURA 10. Mapa de forma de vertentes com extração de cicatrizes (representados por pontos) referentes ao ano de 1994. (1) Encostas retilíneas; (2) Encostas convexas; (3) Encostas côncavas. O número 4 refere-se a depósitos de sopé de encosta.

Os resultados apresentados também estão em concordância com os obtidos por IPT (1988), onde foram analisadas somente 229 cicatrizes. O pequeno número de amostras analisadas levou os autores, na época, a apresentar seus dados como representativos da tendência de influência dos condicionantes analisados e não como valores absolutos. Outra possível falha apontada pelos autores em seu levantamento foi a da existência de erros cartográficos, que impedem o real posicionamento das feições, dificultando a análise.

No caso do presente trabalho, foram levantadas 2595 cicatrizes, o que torna a amostragem bastante representativa. Além disto, a ortorretificação, processo mais atual de correção, aumenta significativamente a precisão cartográfica do produto final, atuando no

sentido de minimização dos erros de posicionamento.

Cabe ressaltar que ocorreram também reativações de cicatrizes em 1994, em relação a 1985, conforme mostra a Figura 11. De fato, isso pode estar aliado à tendência natural das encostas retilíneas, que possuem a predominância das cicatrizes em ambos os anos, serem mais susceptíveis a escorregamentos, pois possuem maior declividade e uma camada de solo menos espessa, que aumenta a probabilidade de escorregamentos. Além disto, com a retirada da pequena espessura de solo que recobre estas vertentes, por escorregamentos prévios, torna-se mais difícil a completa recuperação da vegetação, aumentando a fragilidade das vertentes nestes pontos e favorecendo a ocorrência de novos processos no mesmo local.

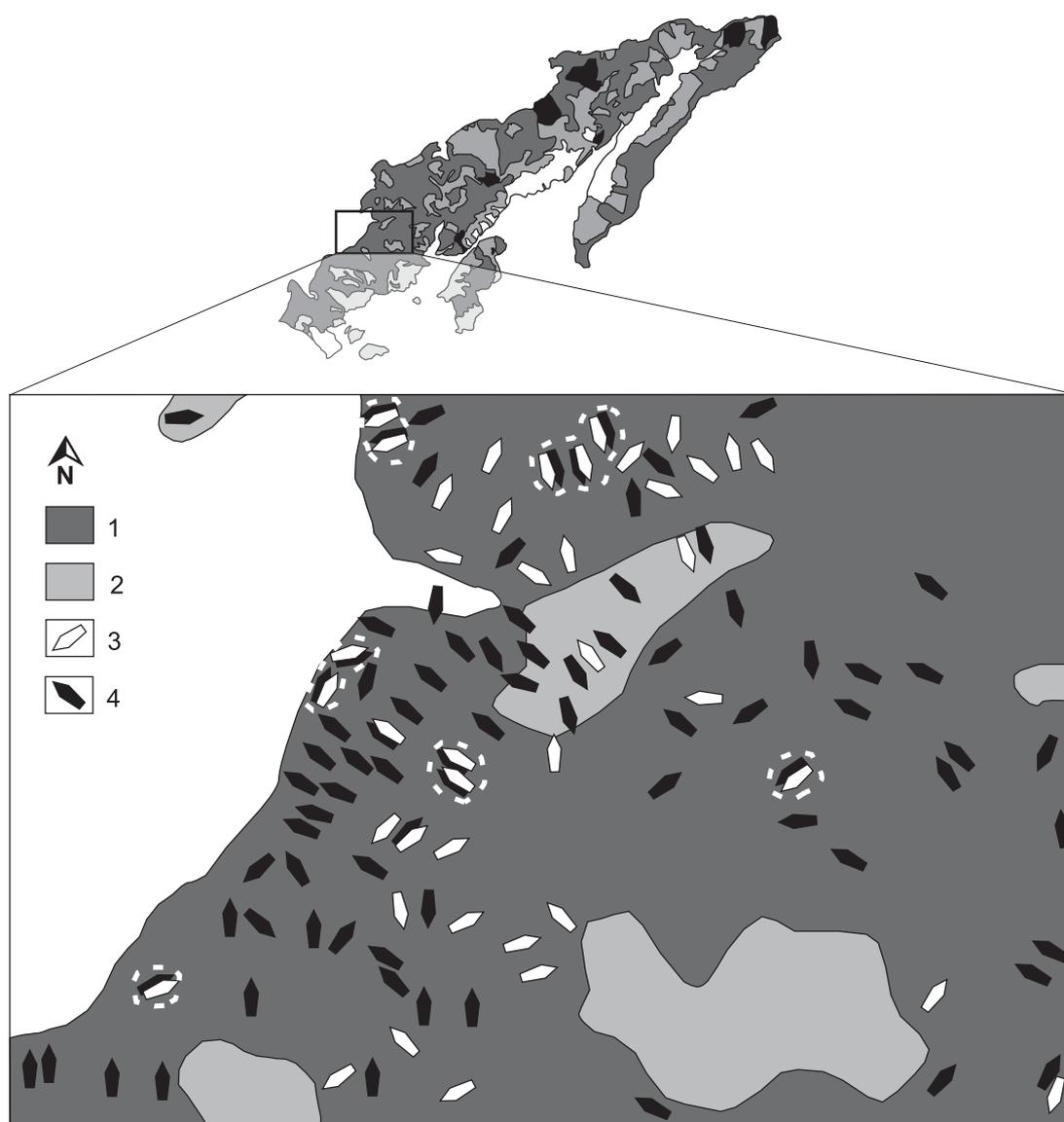


FIGURA 11. Figura ilustrativa do mapa de vertentes mostrando uma das áreas em comum de ocorrências de cicatrizes no ano de 1985 e 1994 (circundado em linha branca tracejada). (1) Encostas retilíneas; (2) Encostas convexas; (3) Cicatrizes referentes a 1994; (4) Cicatrizes referentes a 1985.

CONCLUSÕES

A ortorretificação, por possibilitar o posicionamento preciso das cicatrizes de escorregamento nas encostas, permitiu a elaboração de análises mais confiáveis que, relacionadas ao mapa de encostas, validaram ainda mais a correlação existente entre formas de vertentes e escorregamentos.

Os dados permitiram demonstrar que as formas de vertentes predominantes são as retilíneas ocupando 63,64% da área investigada e que, por seu alto ângulo de declividade e por possuírem uma camada de solo menos espessa, representam as encostas mais propícias aos movimentos de massa.

As fotos aéreas correspondentes aos anos de 1985 e 1994, ao serem analisadas estatisticamente demonstraram que as cicatrizes predominaram nas feições retilíneas com respectivamente 62,09% e 72,60%, quando comparadas com as vertentes côncavas, com valores

correspondentes a 9,63% e 11,68% e com as convexas com valores de 28,27 e 15,72% respectivamente.

O expressivo número de cicatrizes extraídas, 2595 no total, representa uma amostragem bastante representativa do contexto morfológico em que se desenvolvem as cicatrizes na Serra do Mar. As limitações do método aplicado relacionam-se a algumas generalizações efetuadas para a realização do mapa de formas de vertentes.

Ocorreram também reativações de cicatrizes em 1994, em relação a 1985. De fato, isso pode estar aliado à tendência natural das encostas retilíneas (que possuem a predominância das cicatrizes em ambos os anos) serem mais susceptíveis a escorregamentos, pois possuem também maiores declividades e uma camada de solo menos espessa, que aumenta a probabilidade de escorregamentos nas feições.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AB'SABER, A.N. Espaços ocupados pela expansão dos climas secos na América do Sul, por ocasião dos períodos glaciais quaternários. **Paleoclimas**, v. 3, p. 1-19, 1977.
2. ALMEIDA, F.F.M. & HASUI, Y. (Coordenadores). **O Pré-Cambriano do Brasil**. São Paulo: Edgard Blucher, p. 314-315, 1984.
3. AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS - COBRAE, 1, 1992, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 1992, p. 721-733.
4. BIGARELLA, J.J.; BECKER, R.D.; MATOS, D.J.; WERNER, A. (Coordenadores). **A Serra do Mar e a Porção Oriental do Estado do Paraná: Um Problema de Segurança Ambiental e Nacional**. Curitiba, SEPL/ADEA, 249 p., 1978.
5. CÂMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, N.M.; GARRIDO, J.; MITSUO, F. **Spring: integrating remote sensing and GIS by oect oriented data modeling**. Computers & Graphics, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.
6. CARVALHO, C.M. DE. **Avaliação da suscetibilidade aos movimentos de massa nos entornos dos polidutos de Cubatão (SP), com o apoio de técnicas de geoprocessamento**. Rio Claro, 2003. 93 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista, Campus de Rio Claro.
7. CARVALHO, C.M. DE & RIEDEL, P.S. Análise da suscetibilidade a escorregamentos nos entornos dos polidutos de Cubatão (SP), através de técnicas de geoprocessamento. **Holos Environment**, v. 4, n. 2, p. 1-21, 2004.
8. CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Legislação: Regiões Metropolitanas; Proteção dos Mananciais e Zoneamento Industrial**. São Paulo, 1985.
9. CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Carta Morfodinâmica da Serra do Mar na Região de Cubatão, SP**. São Paulo, 1991.
10. DEERE, D.U.; PATTON, F.D. Slope stability in residual soil. In: PANAMERICAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 4- ASCE, 1971, San Juan. **Proceedings...** Rio de Janeiro, 1971, v. 1, p. 97-170.
11. DOMINGUES, E.N. **Estudo dos processos geomorfológicos do escoamento fluvial e evolução de vertentes na Serra do Cubatão, Serra do Mar – SP**. São Paulo, 1993. 153 p. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo.
12. ESRI – ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **ArcGIS Desktop 9.1**. Redlands, California, USA, 2005.
13. IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Programa Serra do Mar: Levantamentos Básicos nas Folhas de Santos e Riacho Grande**. São Paulo: Relatório n. 23394/5, 1986.
14. IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Estudos das instabilizações de encostas da Serra do Mar na região de Cubatão, objetivando a caracterização do fenômeno “Corrida de Lama” e a prevenção de seus efeitos**. São Paulo: Relatório n. 25636/87, 1987.
15. IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Programa Serra do Mar: Carta Geotécnica da Serra do Mar nas folhas Santos e Riacho Grande**. São Paulo: Relatório n. 26504, 1988.
16. LOPES, E.S.S. **Modelagem dinâmica aplicada ao estudo de movimentos de massa em uma região da Serra do mar paulista, na escala 1:10000**. Rio Claro, 2006. 276 p. Tese (Doutoramento em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Campus de Rio Claro.
17. MONTEIRO, C.A. DE F.A. **A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo**. São Paulo, 1973. 130 p. Tese (Doutoramento em Geociências) - Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo.

18. MOREIRA, A.A.N. & CAMELIER, C. **Relevo. Geografia do Brasil – Região Sudeste.** Rio de Janeiro: IBGE, p. 1-50, 1977.
19. PONÇANO, V.L.; ALMEIDA, F.F.A. DE; CARNEIRO, C.D.R.; BISTRICHI, C.A.; PIRES NETO, A.C.; ALMEIDA, M.A.; PRANDINI, F.L.; ÁVILA, I.G; FORNASARI FILHO, N.; IWASA, O.Y.; SANTOS M. DO C.S.R. DOS. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo.** São Paulo, 1981, Monografia, Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) – São Paulo.
20. RODRIGUES, R. **Características geológicas e geotécnicas intervenientes na estabilidade de massas coluviais da Serra de Cubatão- SP.** São Paulo, 1992. 116 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
21. RSI - RESEARCH SYSTEMS, Inc. **ENVI 4.1.** Pearl East Circle Boulder, USA, 2004.
22. SADOWSKI, G.R. **Tectônica da Serra de Cubatão.** São Paulo, 1974. 159 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
23. SANTOS, A.R. DOS. **A grande barreira da Serra do Mar – Da trilha dos Tupiniquins à Rodovia dos Imigrantes.** O Nome da Rosa, Ed. São Paulo, 122 p., 2004.
24. SETZER, J. (Coordenador). **Atlas climático e ecológico do Estado de São Paulo.** São Paulo: Comissão Interestadual da Bacia Paraná-Uruguai, 61 p. 1966.
25. TORRES, F.R.; BRAGRA JUNIOR, J.C.; BORGES, W.R. (Coordenadores). **O que você precisa saber sobre Cubatão.** Design & Print, 30 p., 2002.

*Manuscrito Recebido em: 3 de abril de 2007
Revisado e Aceito em: 31 de julho de 2007*