

Mapeamento geotécnico de Áreas suscetíveis a Movimentos de Massa em SIG

Gisele Marilha Pereira Reginatto ¹

Ângela Grando ²

Marciano Maccarini ³

Rafael Augusto dos Reis Higashi ⁴

Carolina Ester Christ ⁵

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

88040-900 Florianópolis SC

gireginatto@gmail.com

angela.grando@gmail.com

ecv1mac@ecv.ufsc.br

rrhigashi@gmail.com

carolesterc@yahoo.com.br

Resumo: Os movimentos de massa são de grande importância quando se trata do tema desastres ambientais no Brasil, tendo em vista a alta incidência destes fenômenos e os problemas sociais e econômicos por eles gerados. Observa-se que a ocupação desordenada de locais suscetíveis a ocorrência destes fenômenos, resultante da falta de planejamento do uso e ocupação do solo, expõe a sociedade a situações de risco. Neste contexto, o mapeamento geotécnico associado a um Sistema de Informações Geográficas (SIG) compõe uma metodologia pertinente para atuar na caracterização de locais atingidos por estes fenômenos, auxiliando na previsão dos mesmos. Este estudo emprega a metodologia de Mapeamento Geotécnico de Grandes Áreas, com o auxílio do ArcGis 9.2, para individualizar e caracterizar unidades geotécnicas suscetíveis a movimentos de massa na bacia hidrográfica do Rio Cunha, pertencente ao município de Rio dos Cedros/SC, área frequentemente atingida por movimentos de massa.

Palavras chaves: SIG, mapeamento geotécnico, movimentos de massa, unidades geotécnicas

Abstract: Mass movements are of great importance when it comes to the issue of environmental disasters in Brazil, taking into consideration the high incidence of these phenomena and the social and economic problems generated by them. It is observed that the disorderly occupation of sites susceptible to the occurrence of these phenomena, resulting from lack of land use planning, exposes the society to risk situations. In this context, the geotechnical mapping associated with a Geographic Information System (GIS) are a relevant methodology to perform the characterization of sites affected by these phenomena, aiding in the prediction of the same. This study uses the methodology of Geotechnical Mapping of Large Areas, with the help of ArcGIS 9.2, to distinguish and characterize geotechnical units susceptible to mass movements in the river basin Cunha, in the municipality of Rio dos Cedros / SC area frequently hit by mass movements.

Keywords: GIS, geotechnical mapping, mass movements, geotechnical units

1 Introdução

Com o crescimento populacional, as áreas de risco vêm sendo edificadas e urbanizadas de forma imprópria criando ambientes em perigo iminente e intensificando a ocorrência e a magnitude de desastres relacionados a movimentos de massa. Contudo, através de um planejamento e gerenciamento adequado de ocupação, baseado na compreensão desses fenômenos, é possível minimizar os prejuízos gerados pela ocorrência dos movimentos de massa. Neste âmbito, o mapeamento geotécnico compõe uma ferramenta que gera subsídios para atuar na identificação dos fatores e processos envolvidos na

instabilização de encostas.

Em ambiente SIG, o mapeamento geotécnico associado a ensaios de laboratório possibilita a caracterização do meio físico de forma a prever o comportamento geomecânico dos solos de forma espacializada. Com o emprego de ferramentas de geoprocessamento é possível armazenar, processar e cruzar informações, gerando resultados passíveis de análises específicas. Além disso, permite a elaboração de um banco de dados georreferenciado, importante na individualização dos locais investigados.

Nesse estudo o mapeamento foi elaborado no programa de geoprocessamento ArcGis 9.2 com a finalidade de determinar as unidades geotécnicas preliminares presentes na bacia hidrográfica do Rio Cunha, localizada no município de Rio dos Cedros/SC, e caracterizar por meio de ensaios laboratoriais e interpretações de imagem de satélite aquela mais suscetível a ocorrência de movimentos de massas, implementando um banco de dados georreferenciado. Para tanto, foi empregada a metodologia de mapeamento geotécnico proposta por Davison Dias (1995), a qual dá ênfase aos solos tropicais e vem sendo empregada em diversas pesquisas no Sul do Brasil.

A bacia hidrográfica do Rio Cunha foi escolhida para as análises pela constante ocorrência de movimentos de massa, dentre os quais, destacam-se fluxos de detritos de grande magnitude e poder destrutivo, evidenciados no evento pluviométrico extremo de novembro de 2008 (CEPED, 2009). Dessa forma, com a identificação das unidades geotécnicas, associadas ao mapeamento das cicatrizes dos referidos movimentos foi possível individualizar a unidade atingida pelos fenômenos, considerada neste mapeamento como a de maior suscetibilidade.

Os solos desta unidade foram caracterizados em relação a sua gênese, características físicas e de resistência, ao relevo e ao uso e ocupação do solo, resultando na elaboração de banco de dados que poderá servir de subsídio para atuar na identificação de áreas de instabilidade com características semelhantes às apresentadas.

2 Referencial Teórico

2.1 Movimentos de Massa

Os movimentos de massa são definidos como a mobilização descendente de materiais pela encosta sob a influência da gravidade (Wicander et al., 2009). Segundo Guidicini e Nieble (1984) estes fenômenos constituem movimentos de materiais, sejam estes terrosos, rochosos, ou uma combinação de ambos, independentemente da diversidade dos seus processos, causas, velocidades, formas, entre outras características.

Estes fenômenos são geralmente classificados em função da velocidade do movimento (rápido ou lento), do tipo do movimento (especialmente queda, escorregamento ou fluxo) e do material envolvido (rocha, solo ou detritos (Wicander et al., 2009). Guidicini e Nieble (1984), com base na classificação de Freire (1965), dividem os movimentos em: escoamentos (corridas e rastejo), escorregamentos (translacionais e rotacionais), subsidências (desabamentos, recalques e subsidência), formas de transição e movimentos de massa complexo. Dentre estas classes, os escorregamentos (translacionais e rotacionais) e os escoamentos (corrida) foram aqueles que afetaram a bacia hidrográfica do Rio Cunha.

De acordo com Varnes (1978) os escorregamentos rotacionais são geralmente caracterizados por uma superfície de ruptura em forma côncava. Para Wicander et al., 2009, ocorrem em materiais de consolidação ineficiente e geralmente estão associados à remoção do apoio do material na sua base, sendo comumente evidenciados em locais de cortes para a construção de estradas e residências. Por sua vez, os escorregamentos translacionais apresentam superfície de ruptura planar condicionada a anisotropia acentuada do material, ou seja, aos planos de fraqueza ou descontinuidades mecânicas e hidrológicas presentes no maciço (Guidicini e Nieble, 1984). Nestes fenômenos é plausível encontrar superfícies de ruptura na interface solo-rocha, sendo ainda comumente associados a eventos pluviométricos intensos (Fernandes e Amaral, 1996).

Segundo Wicander et al. (2009), corridas constituem movimentos no qual “o material flui como um fluido viscoso ou exibe movimentos plásticos”, apresentando velocidade extremamente rápida, estando associadas a quantidades extremas de chuva. Varnes (1978) se refere às corridas como fluxos, sendo

estes divididos em fluxos de rochas, fluxos de detritos (debris flow) e fluxos de terras. Sendo os fluxos de detritos correspondentes a mobilização de materiais com alto percentual de fração grosseira. Para Guidicini e Nieble (1984) o material oriundo de escorregamentos rotacionais e translacionais quando em contato com certa quantidade de água pode adquirir aspectos de corridas ocasionando danos catastróficos.

Ressalta-se que os movimentos de massa compõem processos naturais importantes na evolução geomorfológica do relevo (Tominaga, 2009), estando relacionados com a dinâmica interna ou externa da terra, não podendo ser evitados. Em regiões tropicais a sua ocorrência está relacionada principalmente com a pluviosidade (Guidicini e Nieble, 1984), no entanto, fatores como o relevo, características geológico-geotécnicas do local, a vegetação, a ação humana, e entre outros, são também determinantes na deflagração destes fenômenos. Quando os movimentos de massa são condicionados por ações antrópicas inadequadas, eles deixam de ser considerados naturais e passam a ser induzidos.

Segundo Sestini (2000) ações antrópicas relacionadas ao uso inadequado do solo podem condicionar e agravar a ocorrência de movimentos de massa. Cita-se, por exemplo, a remoção da cobertura vegetal natural, que expõem o solo à ação do intemperismo físico favorecendo o surgimento de trincas e rachaduras e, conseqüentemente, de movimentos. Tominaga (2009) afirma que a ocupação desordenada de locais considerados suscetíveis a movimentos de massa (como por exemplo, encostas com grandes declividades) é o principal fator associado ao aumento de acidentes causados por esse fenômeno e que através de um planejamento e gerenciamento adequado do ambiente é possível minimizar os prejuízos econômicos e sociais gerados por eles. Segundo UN-ISDR (2004) levantamentos e análises de eventos que já aconteceram, somados ao constante monitoramento, auxiliam no entendimento e na previsão de novas ocorrências.

2.2 Mapeamento Geotécnico em SIG

De uma forma geral o mapeamento geotécnico resulta na elaboração de um mapa ou carta geotécnica que de acordo com Diniz (1998) são úteis no planejamento do solo, podendo ser classificadas em carta de suscetibilidade, de risco e de aptidão de uso. Diversas metodologias foram desenvolvidas em diferentes países para realizar este tipo de mapeamento, dentre as quais Higashi (2006) menciona a International Association Engineering Geology (IAEG), Zones exposed to risks of soil movements (ZERMOS) e nacionalmente a metodologia do Instituto de Pesquisa Tecnológica (IPT), Zuquette (1987) e de Davison Dias (1995).

Nesse estudo foi empregada a metodologia de mapeamento geotécnico desenvolvida por Davison Dias (1995), denominada de Mapeamento Geotécnico de Grandes Áreas associada a um SIG. Esta metodologia visa elaborar um mapa temático composto por unidades de solo com comportamento geomecânico estimado através da sua gênese (pedologia, geologia e litologia).

A elaboração do mapa temático resulta do cruzamento entre o mapa pedológico, litológico, de curvas de níveis e de ensaios geotécnicos, sendo que, o mapa litológico é obtido de interpretações do mapa geológico, representando o tipo de rocha predominante. A partir deste cruzamento são gerados polígonos classificados segundo a pedologia dos horizontes A e B (representada por letras maiúsculas) e pela geologia dos horizontes C, RA e R (representada por letras minúsculas). Pode ocorrer que mais de uma litologia predomine no substrato, neste caso, identificam-se as suas siglas em letras minúsculas separadas por vírgulas.

Nessa proposta os dados topográficos, normalmente disponibilizados em escalas maiores que os geológicos e pedológicos, orientam na delimitação das unidades, uma vez que, na análise do relevo é possível identificar os locais onde podem ocorrer mudanças entre os tipos de solos. Por sua vez, os ensaios geotécnicos, de campo e de laboratório, são importantes para a caracterização física e de resistência dos solos, agregando às unidades propriedades relevantes para a interpretação do seu comportamento frente a solicitações de obras de engenharia.

De acordo com Higashi (2006) o mapeamento geotécnico para fins de planejamento territorial, tem considerado em suas análises diversos fatores do meio ambiente, como por exemplo, a erosão, a infiltrabilidade e em especial a estabilidade de encostas. Este autor cita o trabalho de Bastos et al (2005), que emprega o mapeamento geotécnico associado a um SIG, para a implementação de um banco de dados georreferenciado de 15 unidades, contendo resultados de ensaios geotécnicos, visando o planejamento e a gestão do município de Rio Grande/RS.

3 Caracterização da Área de Estudo

O local de estudos é a bacia hidrográfica do Rio Cunha, com área total de 16,2km², localizada na zona rural do município de Rio dos Cedros, Santa Catarina, Brasil, entre as latitudes 26°41'S e 26°44'S e longitudes 49°17'W e 49°21'W (Figura 1). Este município está inserido na bacia do Rio Itajaí-açu e na catástrofe ambiental ocorrida em novembro de 2008 decretou estado de calamidade pública devido a inundações e movimentos de massa (Mattedi et al., 2009).

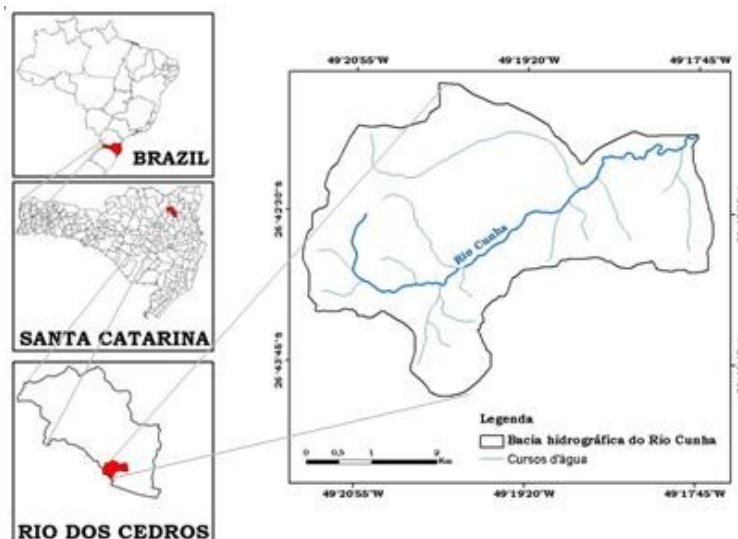


Figura 1 : Localização da bacia hidrográfica do Rio Cunha

O município de Rio dos Cedros é caracterizado por um clima do tipo temperado úmido, com temperatura média anual de 22°C e precipitação média anual de 1.800 mm. A vegetação nativa da região é descendente de Floresta Ombrófila Densa, um dos tipos de formação constituinte do bioma Mata Atlântica (FRAGA, 2009).

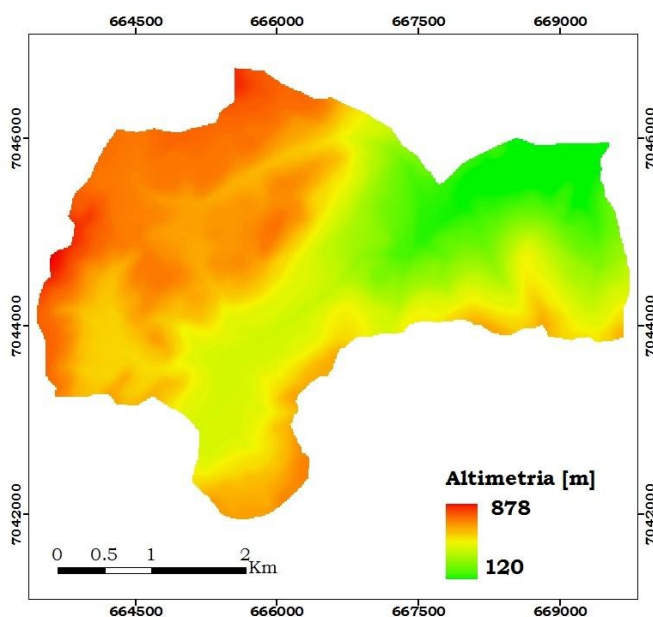


Figura 2 : MDE da bacia hidrográfica do Rio Cunha

As características topográficas da bacia hidrográfica do Rio Cunha, em específico, estão representadas no modelo digital de elevação (Figura 2) e no mapa de declividade classificado segundo as classes de relevo da EMBRAPA (IBGE, 2003) (Figura 3). Nota-se que a altitude da área compreende a variação entre 120 e 878m, e que aproximadamente 39% da área possuem relevo forte e ondulado e 25% montanhoso, identificando o relevo de uma paisagem propícia para processos de instabilização das encostas.

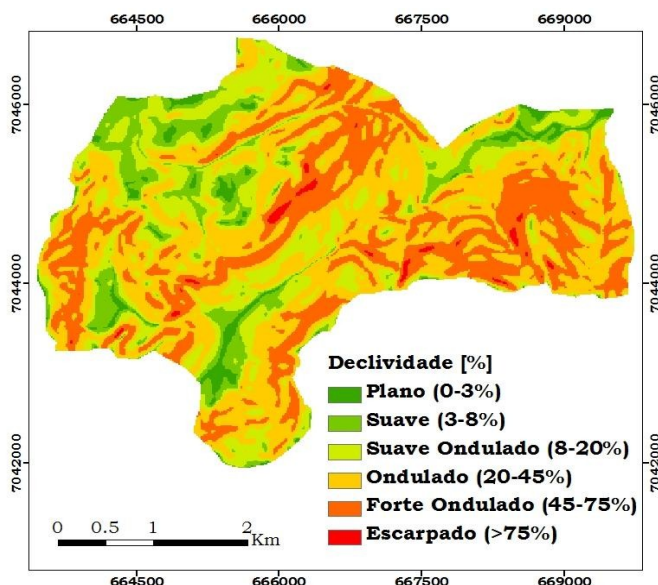


Figura 3 : Mapa de declividade da bacia hidrográfica do Rio Cunha

A geologia local é composta pela formação geológica Complexo Luís Alves (Ala), representando 89% da bacia, pela Formação Mafra (CPm), presente nas porções oeste e norte da área e por Sedimentos Aluvionares (QHa) localizados na região inferior da bacia até o seu exutório.

Na Formação Mafra (CPm), segundo IBGE (2003), destacam-se os arenitos com granulometria fina, podendo variar de média a grossa. Os Sedimentos Aluvionares (QHa) são formados por sedimentos quaternários (areias, cascalheiras e sedimentos silticos-argilosos, inconsolidados, depositados em planície de inundação, terraços e calhas da rede fluvial). No Complexo Luiz Alves (Ala), a constituição litológica predominante é o gnaiss granulítico, porém apresenta ainda quartzitos, formações ferríferas, paragneisses, pequenos corpos de rochas ultrabásicas e rochas migmatíticas.

Os solos presentes na bacia pertencem a duas classes principais distintas, sendo estas: Podzólico Vermelho Amarelo Latossólico Álico (PVL) e Cambissolo (C). Estas classes são subdivididas em oito unidades pedológicas denominadas: PVL4, PVL5, Ca38, Ca39, Ca96, Cd5, Cd9 e Cd2.

Dentre as características dos tipos de solos, ressalta-se que os PVL compõem solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B textural (Bt) e atividade de argila baixa (IBGE, 2003). São encontrados em praticamente todas as regiões brasileiras, sendo identificados pela coloração que varia de acinzentada a avermelhada no horizonte B (IBGE, 2007).

Os Cambissolos são encontrados em todas as regiões do Brasil, em locais de relevo plano até montanhoso, ocorrendo principalmente em regiões serranas e montanhosas, compondo muitas vezes solos pedregosos, cascalhentos e até rochosos (IBGE, 2007). Esta classe compreende solos de origem mineral, com horizonte B incipiente. Este horizonte quando derivado de rochas como gnaisses, granitos, migmatitos, xistos e filitos, podem apresentar 4% ou mais de fragmentos de rocha e/ou de minerais primários facilmente intemperizáveis (IBGE, 2003).

4 Metodologia do trabalho

4.1 Mapeamento Geotécnico Preliminar

Conforme a metodologia de mapeamento de Davison Dias (1995) foi realizada a sobreposição do mapa pedológico, litológico e de curvas de nível no programa ArcGis versão 9.2 para obter o mapa de estimativas de unidades geotécnicas da bacia hidrográfica do Rio Cunha. Ressalta-se que nesse estudo foi empregado o sistema de coordenadas de referência Universal Transversa de Mercator (UTM), no fuso 22S, Data horizontal SAD-69 e vertical de Imbituba/SC.

No mapeamento foram utilizados os seguintes dados de entrada: (i) mapa pedológico e geológico, em escala 1:100000 cedidos pelo IBGE (2003); (ii) rede de drenagem e curvas de nível (com equidistância de 20m) na escala 1:50.000, cedidas pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI/CIRAM) no endereço <http://ciram.epagri.sc.gov.br/mapoteca/>.

Sobre os mapas pedológico e geológico realizaram-se os seguintes procedimentos: (i) conversão do formato DGN do Microstation para shapefile; (ii) extração da área de interesse, correspondente a bacia do Rio Cunha, com a ferramenta Extract by Mask; (iii) classificação dos polígonos de cada mapa com o seu respectivo atributo, pedológico ou geológico, com base nos mapas originais; (iv) definição da rocha dominante em cada unidade geológica, com base do relatório técnico geológico (IBGE, 2003); (e) elaboração do mapa litológico (representa a rocha predominante de cada domínio geológico).

Tomando como base o mapa pedológico e litológico, devidamente editados e classificados, foi realizado o cruzamento entre eles, gerando polígonos classificados de acordo com a sua gênese, de forma a sugerir o perfil típico do local. Esses polígonos foram analisados e agrupados em classes com características semelhantes, objetivando elaborar um mapa de fácil interpretação e relevância geotécnica. No agrupamento, os polígonos formados pela mesma classe de solo (PVL ou C) e litologia foram classificados de forma idêntica. Nessa etapa também foram identificadas e corrigidas as inconsistências encontradas no mapeamento.

Na sequência, visto que as variações do relevo são indicadores de unidades geotécnicas, os polígonos foram ajustados com as curvas de nível do terreno e com o mapa de declividade, determinando o limiar entre as classes de solos. O mapa de declividade foi elaborado em porcentagem a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE), com o emprego da rotina Slope (Spatial Analyst Tools), e foi classificado conforme as classes de relevo da EMBRAPA (IBGE, 2003). Por sua vez, o MDE foi gerado com resolução espacial de 15m, utilizando o algoritmo de interpolação Topo to Raster (Spatial Analyst), com base nos dados curvas de nível e rede de drenagem.

4.2 Identificação da unidade geotécnica onde ocorreram os movimentos de massa

Objetivando definir a unidade geotécnica suscetível à ocorrência dos movimentos de massa, os locais atingidos por estes fenômenos foram identificados e representados em um mapa denominado mapa de inventário de movimentos de massa.

A identificação dos fenômenos foi feita com base em interpretações de orto-fotos na escala 1:5000, investigações em campo, com o auxílio de um GPS de navegação com precisão de 10 metros, e utilizando levantamentos históricos de movimentos de massa dessa região, realizados pelo CEPED (2009). A orto-foto foi disponibilizada três bandas distintas, na composição RGB-123, e foi obtida pelo método de perfilamento digital Leica ADS40, em novembro de 2010. O erro quadrático médio altimétrico e planimétrico do levantamento é de 2 m e 1,5m respectivamente.

A delimitação e a representação dos movimentos foram realizadas por meio de polígonos, correspondentes às cicatrizes mapeadas, e pontos, representando os movimentos de menores magnitudes. Os fenômenos reportados foram classificados em relação ao tipo do movimento, sendo divididos em dois grandes grupos: naturais ou induzidos, dependendo da influência ou não de intervenções antrópicas nas instabilizações.

Por fim, o mapa de inventário permitiu a identificação do principal fenômeno na bacia, e, a partir da sua sobreposição com o mapa geotécnico preliminar foi possível identificar a unidade geotécnica onde estão presentes os movimentos de massa.

4.3 Elaboração do banco de dados

Ao mapa geotécnico preliminar foi associado um banco de dados (BD) para armazenar as informações das unidades geotécnicas definidas, o qual pode ser acessado de forma simples e interativa utilizando a ferramenta Identify do ArcGis 9.2. Na sua elaboração além dos dados disponibilizados pelo IBGE (2003), relacionados principalmente à gênese do solo, foram incluídas fotografias, ensaios laboratoriais de amostras de solo, relevo e tipos de uso e ocupação do solo.

Nesse mapeamento o levantamento de dados e os ensaios laboratoriais foram direcionados para as áreas atingidas por movimentos de massa, que caracterizam locais propensos a ocorrência de tais fenômenos. Assim, as amostras de solo, coletadas em uma das cicatrizes dos fluxos de detritos, foram submetidas a ensaios de caracterização física (granulometria e índices de Atterberg) e de resistência ao cisalhamento dos solos (cisalhamento direto). Os ensaios foram realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos (LMS) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e as amostras foram classificadas de acordo com o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS).

Os dados de relevo (altimetria e declividade) foram obtidos do MDE e do mapa de declividade e a caracterização da cobertura do solo baseou-se no mapa de uso e ocupação do solo elaborado para a bacia hidrográfica do Rio Cunha. Este mapa foi confeccionado no software Idrisi Andes 15.0 a partir da interpretação de uma imagem de satélite do sensor ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) com resolução espacial de 15m, referente ao mês de abril de 2006, e de aferições em campo.

O processamento da imagem ASTER consistiu nas seguintes etapas: (i) georreferenciamento; (ii) realce utilizando a combinação RGB-234; (iii) recorte da área de interesse; (iv) classificação empregando o método de máxima verossimilhança; (v) identificação em campo das classes de uso e ocupação do solo; (vi) coleta de 50 pontos com o GPS, correspondentes aos diferentes usos e cobertura do solo, para auxiliar na classificação supervisionada da imagem.

5 Resultados e Discussões

5.1 Mapa geotécnico preliminar

No mapeamento proposto foram definidas as unidades litológicas da bacia em estudo, que, sobrepostas e unidas às classes de solo resultaram no mapa geotécnico preliminar. A Tabela 1 ilustra a litologia predominante de cada formação geológica e a Tabela 2 a união entre a pedologia e a litologia e as unidades geotécnicas geradas.

Tabela 1 : Litologia predominante de cada formação geológica

Geologia ¹	Litologia
Formação Mafra (CPm)	Arenito (a)
Complexo Luís Alves (Ala)	Gnaiss granulítico (gngl)
Sedimentos aluvionares (Sq)	Sedimentos quaternários (sq)

Fonte: IBGE (2003)

Tabela 2 : Obtenção das unidades geotécnicas

Pedologia ¹	Litologia ¹	Unidades geotécnicas preliminares
PVL	gngl	PVLgngl
C	a	Ca
C	gngl	Cgngl
C	sq	Csq

Fonte ⁽¹⁾: IBGE (2003)

Observando a Tabela 2 verifica-se que a bacia é formada por quatro unidades geotécnicas distintas: Podzólico Vermelho-Amarelo Latossólico de origem gnaiss granulítica (PVLgngl), Cambissolo com

substrato de arenito (Ca), Cambissolo formado por gnaiss granulítico (Cgngl) e Cambissolo originário de sedimentos quaternários (Csq).

Nesse mapeamento a unidade Csq apresentou divergência entre a pedologia e a litologia, atribuída a incompatibilidade entre os mapas cartográficos originais. Esta unidade localiza-se no exutório da bacia, zona típica de acumulação de sedimentos, onde, de acordo com a formação geológica local, seria adequada a presença de solos constituídos por sedimentos aluvionares, cascalheira, areias e sedimentos siltico-argilosos. Assim, esta unidade passou a ser denominada Asq, onde o A representa solos classificados como aluviais na metodologia de Davison Dias (1995).

Após as correções e os ajustes, definiram-se as unidades geotécnicas preliminares da bacia e o percentual de abrangência de cada uma. Observa-se que 2% da área é formada pela unidade Asq, 28% pela PVLgngl, 8% pela unidade Ca e 62% pela Cgngl (predominante na bacia).

5.2 Mapa de inventário dos movimentos de massa

O mapa de inventário dos movimentos de massa ilustra a distribuição espacial dos movimentos de massa na bacia e identifica os fenômenos de origem natural ou induzida deflagrados no evento pluviométrico extremo de novembro de 2008 e durante períodos chuvosos em 2010.

Nesta bacia os movimentos induzidos, classificados predominantemente em rotacionais e translacionais, ocorreram principalmente ao longo das estradas vicinais, isentas de sistema de drenagem. Também foram observados em taludes para a construção de residências, plantação de algum tipo de cultura (especialmente onde há o cultivo de banana) e extração de macadame. Estes fenômenos, decorrentes do uso e ocupação do solo inadequado, segundo moradores, foram evidenciados especialmente após a ocorrência de chuvas em 2008 e em 2010. Além disso, dos fluxos de detritos mapeados, uma ruptura ocorreu em área de pastagem e outra em reflorestamento de Pinus.

Os movimentos de caráter natural, decorrentes do evento de 2008, são representados pelas rupturas dos fluxos de detritos que iniciaram em áreas de mata nativa e por um escorregamento complexo, misto de rotacional e translacional, que, segundo CEPED (2009) resultou da reativação de um antigo depósito de escorregamento em solo arenoso e de baixa coesão.

Nesse mapeamento, os fluxos de detritos foram definidos como os fenômenos de maior importância na bacia, devido à amplitude e alcance que apresentaram. No local de ruptura ocorreram escorregamentos do tipo rotacional, translacional e misto, envolvendo solos residuais e ou colúvios. Os materiais envolvidos nestes movimentos compreendem solos, blocos de rocha e troncos de árvores. Em alguns casos, o material oriundo de rupturas no topo das encostas foi agregado àqueles de rupturas inferiores, aumentando desta forma, a massa de material movimentado. Além disso, as altas declividades onde ocorreram também contribuíram para o aumento da velocidade e alcance deste material.

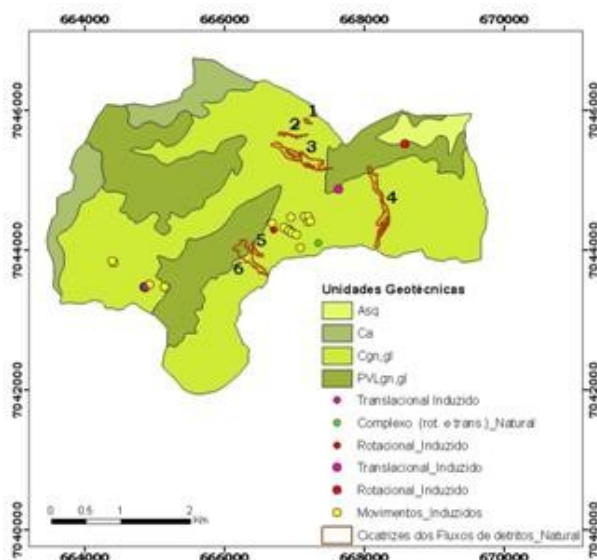


Figura 4 : Mapa de inventário sobreposto ao mapa geotécnico preliminar

5.3 Unidade geotécnica mais suscetível aos movimentos de massa

A sobreposição do mapa de inventário ao mapa geotécnico preliminar pode ser observada na Figura 4 e evidencia que a unidade Cgngl contempla todas as cicatrizes dos fluxos de detritos, bem como a grande maioria dos demais movimentos. Logo, foi definida como a unidade geotécnica mais suscetível à ocorrência de movimentos de massa na bacia hidrográfica do Rio Cunha.

5.4 Mapa de uso e ocupação do solo

Os tipos de uso e cobertura do solo da bacia do Rio Cunha, bem como os percentuais que cada um representa em relação à área total da bacia são ilustrados no mapa de uso e ocupação do solo (Figura 5). Neste mapa aproximadamente 60% da área é formada por vegetação primária, 21% pastagem, e o restante é dividido em reflorestamento, solo exposto, cursos d'água e agricultura. A agricultura é representada pelo cultivo de arroz, banana, milho, cana de açúcar e rizicultura e o reflorestamento por árvores de Pinus, eucalipto e palmito. Sobrepondo a este mapa as estradas vicinais e as unidades habitacionais, mapeados pelo IBGE (2003), observou-se ainda que a ocupação da área desenvolveu-se principalmente ao longo das estradas principais, em áreas de pastagem.

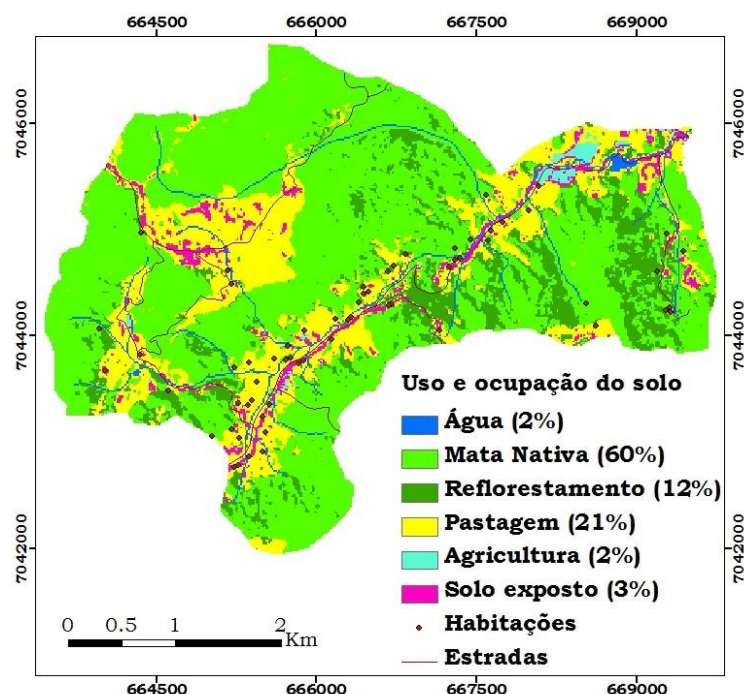


Figura 5 : Mapa de uso e ocupação do solo da bacia do Rio Cunha

5.5. Banco de dados (BD) e interpretação das unidades geotécnicas

Definida a unidade geotécnica mais suscetível (Cgngl), foi realizada a sua caracterização através do levantamento e armazenando de dados, gerando subsídios para auxiliar na identificação de áreas sujeitas a movimentos de massa. Sendo assim, foi estruturado em ambiente SIG um BD que compõe dados topográficos, de uso e ocupação do solo, geológicos, litológicos, pedológicos, fotográficos e de caracterização geotécnica do solo.

A Tabela 3 ilustra os resultados dos ensaios de granulometria, de cisalhamento direto (CD) e índices de Atterberg, realizados em amostras de solos residuais de gnaiss granulíticos (amostra 1,2 e 3) e em solos presentes em depósitos coluvionares (4,5 e 6), retiradas da cicatriz número 3. Além disso está ilustrada a classificação do solo de acordo com o SUCS. Os parâmetros coesão efetiva (c') e ângulo de atrito efetivo (ϕ') foram obtidos a partir do CD realizado em condições inundadas e em três níveis de pressões verticais: 32, 76 e 124kPa. Algumas amostras foram submetidas ainda à pressão de 250kPa.

Tabela 3 : Parâmetros dos solos da unidade geotécnica Cgngl

Amostra	c'[kPa]	ϕ' [°]	P.F.[%] ¹	A.G.[%] ²	A.M.[%] ³	A.F.[%] ⁴	Silte [%]	Argila [%]	LL	IP	SUCS
1	15	29	1,45	6,68	13,11	12,25	26,78	39,73	71	15	MH
2	11	30	0,83	6,21	11,24	18,03	43,25	20,44	66	14	MH
3	14	33	0,55	5,07	14,60	17,00	31,58	31,20	77	25	MH
4	11	30	1,18	12,20	20,55	18,94	41,45	5,69	42	13	ML
5	15	33	1,71	7,00	9,67	21,99	37,29	22,35	68	27	MH
6	18	32	3,41	10,24	11,93	8,20	24,13	42,00	74	32	MH

⁽¹⁾P.F.:pedregulho fino, ⁽²⁾A.G.:areia grossa, ⁽³⁾A.M.:areia média, ⁽⁴⁾A.F.:areia fina

Observando a Tabela 3, nota-se de acordo com SUCS as amostras dos solos residuais e de colúvio apresentaram predominantemente características granulométricas siltosas de alta plasticidade (MH), com exceção da amostra 4 (colúvio), classificada como silte de baixa plasticidade (ML). Em relação aos parâmetros de resistência ao cisalhamento, coesão e ângulo de atrito, os resultados apresentaram valores típicos de solos residuais, justificando a existência de depósitos coluvionares antigos em processo de intemperismo, conforme observado em campo.

5.6 Caracterização da unidade geotécnica suscetível aos movimentos de massa

A unidade Cgngl envolveu a maioria dos movimentos induzidos e todos àqueles de origem natural, sendo que, os fluxos de detritos, apesar de terem iniciado onde o uso do solo (nos locais de ruptura) apresentou predominância de mata nativa, atingiram residências e áreas de cultivo, causando danos os moradores. Ressalta-se que todos os movimentos de massa ocorreram durante períodos chuvosos, especialmente durante o evento pluviométrico extremo de novembro de 2008, onde choveu 748mm no mês e 245mm entre os dias 21 e 23 (dias em que os movimentos foram deflagrados) (Rocha 2009).

Em relação ao uso e ocupação do solo, em geral, 67% da unidade é ocupada por mata nativa, 18% reflorestamento, 12 % pastagem, 2% lagos e cursos d'água e 1% solo exposto. Além disso, o relevo foi classificado como sendo: 46% forte ondulado, 37% montanhoso, 12% ondulado, 3% suave ondulado e 2% escarpado. Esta unidade possui a maior variação altimétrica da bacia (550m) apresentando cotas de 200 a 750m, onde predominam os intervalos de 500 a 600m (28%) e de 600 a 700m (26%).

Pedologicamente a unidade é formada por Cambissolos, onde o horizonte B é incipiente e a estabilidade das encostas é condicionada principalmente pelo horizonte subjacente. Sendo assim, os parâmetros de resistência ao cisalhamento da unidade Cgngl correspondem a este horizonte (C) onde as propriedades mecânicas do solo são influenciadas principalmente pelo tipo e estrutura da rocha de origem, bem como pelos minerais que a compõe. A partir dos ensaios de CD os solos apresentaram parâmetros de resistência ao cisalhamento, coesão e ângulo de atrito, variando entre 15 a 18kPa e entre 29 a 32°, respectivamente.

Os Cambissolos são constituídos por solos não hidromórficos (apresentam o nível d'água não está próximo a superfície) com cores avermelhadas e amareladas, indicando um solo de comportamento bem drenado (IBGE, 2003). Apresentam ainda baixa expansividade e horizonte B com granulometria franco arenosa ou mais fina (IBGE, 2003). O horizonte C, de acordo com os ensaios realizados, apresentou granulometria predominantemente siltosa e com baixa plasticidade.

6 Conclusões

O mapeamento geotécnico e o mapeamento dos movimentos de massa, bem como a criação de um banco de dados possibilitaram finalizar que:

- Quatro unidades geotécnicas foram identificadas na bacia em estudos, sendo que uma encontra-se em área plana próxima ao exutório e as demais se distribuem nas maiores cotas da bacia onde os solos são de origem residual e apresentam depósitos de coluvionares.
- O uso do solo predominante na bacia é de mata nativa, no entanto há também porcentagens de reflorestamento, pastagens e agricultura, características de uma bacia rural.

- Os movimentos de massa foram divididos em induzidos e naturais, sendo que aqueles predominantemente classificados como naturais são os de maior magnitude, do tipo fluxo de detritos e estão localizados na unidade geotécnica definida como a mais suscetível a estes fenômenos. A maior parte dos induzidos também encontra-se nesta unidade, no entanto, localiza-se próximo das vias de passagem e habitações.
- O cultivo de bananeiras mostrou-se propício para o desenvolvimento de escorregamentos por representar uma área de solo fofo e de acúmulo de água, facilitando a saturação. Já as áreas de mata nativa compreendem os locais onde iniciaram os movimentos de maior magnitude, mesmo com a proteção da cobertura vegetal. Neste caso, outros fatores foram os condicionantes, dentre os quais pode-se citar a intensa pluviometria registrada.
- A metodologia utilizada neste trabalho possibilitou a discretização e caracterização de áreas sujeitas a movimentos de massa através de correlações de parâmetros do meio físico com as áreas instáveis. A realização de ensaios laboratoriais permitiu a caracterização física e mecânica do solo da unidade mais suscetível, dando ênfase ao horizonte envolvido na ruptura.
- A elaboração de mapas incrementou o banco de dados gerando informações espacializadas do relevo e do uso e ocupação do solo. Por fim, o banco de dados gerado incorporou, além destas informações, todas as caracterizações e dados relevantes ao estudo proposto. A incorporação desta ferramenta (BD) em análises geotécnicas e ambientais possibilita a correlação e agiliza a interpretação global dos dados monitorados.

A metodologia utilizada neste trabalho, bem como o banco de dados gerado, são importantes pois geram subsídios para atuar na identificação de áreas sujeitas a movimentos de massa, podendo ser empregado em análises de bacias com características e situações semelhantes, isentas de dados locais.

6 Referências Bibliográficas

- CEPED - Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres.** *Resposta ao desastre em Santa Catarina no ano de 2008: avaliação das áreas atingidas por movimentos de massa e dos danos em edificações durante o desastre.* Relatório Técnico. Florianópolis, 2009.
- Davison Dias, R.** *Proposta de Metodologia de Definição de Carta Geotécnica Básica em Regiões Tropicais e Subtropicais.* In: Revista do Instituto Geológico. São Paulo, 1995. p.51-55.
- Diniz, N.C.** *Automação da Cartografia Geotécnica: uma Ferramenta de Estudo e Projetos para Avaliação Ambiental.* Tese de Doutorado, Escola Politécnica, USP. São Paulo, 1998. 297p.
- Fernandes, N.F.; Amaral, C.P.** *Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica.* In: Geomorfologia e Meio Ambiente. Organizado por Guerra, A.J.T.; Cunha, S. B. Bertrand: Rio de Janeiro, 1996. p.123-194.
- Guidicini, G.; Nieble, C.M.** *Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação.* Edgard Blucher: São Paulo, 1984. 194p.
- Higashi, R.A.R.** *Metodologia de uso e ocupação dos solos de cidades costeiras brasileiras através de SIG com base no comportamento geotécnico e ambiental.* Tese de Doutorado, UFSC. Florianópolis, 2006. 486p.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** *Projeto Gerenciamento Costeiro GERCO – 3º Fase: Relatório Técnico.* Rio de Janeiro, 2003.
- Mattedi, M.A.; Frank, B.; Sevegnani, L.; Bohn, N.** *O desastre se tornou rotina...* In: Desastre de 2008 no Vale do Itajaí. Organizado por Frank, B.; Sevegnani, L. Agência de Água do Vale do Itajaí: Blumenau, 2009. p.14 -21.
- Kobiyama, M.; Mendonça, M.; Moreno, D.A.; Marcelino, I.P.V.O.; Marcelino, E.V.; Gonçalves, E.F.; Brazetti, L.L.P.; Goerl, R.F.; Moller, G.; Rudorff, F.** *Prevenção de desastres naturais: Conceitos básicos.* Curitiba, 2006. 109p.
- Rocha, H.L.; Kobiyama, M.; Silva, C.G.** *Análise estatística de chuvas intensas ocorridas nos municípios de Blumenau e Rio dos Cedros, SC, no período de agosto de 2008 a janeiro de 2009.* In: XVIII Simpósio

Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH. Campo Grande, 2009.14p.

Sestini, M.F. *Variáveis Geomorfológicas no Estudo de Deslizamentos em Caraguatatuba – SP Utilizando Imagens TM – LANDSAT e SIG*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais: São José dos Campos, 2000. 140p.

Tominaga, L.K. *Escorregamentos*. In: Desastres Naturais: conhecer para prevenir. Organizado por Tominaga, L.K.; Santoro, J.; Amaral, R.. Instituto Geológico: São Paulo, 2009. p. 25-160.

UN-ISDR – United Nations International Strategy for Disaster Reduction – Living with Risk. A Global Review of Disaster Reduction Initiatives. Disp.: www.unisdr.org/eng/about_isdr/bd-lwr-2004-eng.htm
United nation: Geneva, 2002.

Varnes, D.J. *Slope movement types and processes*. In: R.J. Schuster and R.J. Krizek (eds), Landslides, Analysis and Control. Transportation Research Board. National Academy of Sciences: Washington, DC. Special Report 176, 1978. p.11-33

Wicander, R., Monroe, J.S. e Peters E.K. *Essentials of geology*. Tradução In: Fundamentos de Geologia. Cengage Learning: São Paulo, 2009.