

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DEFESA E SEGURANÇA CIVIL

SERGIO LUIZ TROUCHE DE CARVALHO

USO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS PARA MAPEAMENTO DE
SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS
NO MUNICÍPIO DE MUQUI-ES

Niterói
2012

Sergio Luiz Trouche de Carvalho

USO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS PARA MAPEAMENTO DE
SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS
NO MUNICÍPIO DE MUQUI-ES

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Defesa e Segurança Civil da Universidade Federal Fluminense – UFF, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Defesa e Segurança Civil. Linha de Pesquisa: Desastres Naturais.

Orientador: Prof. Dr. REINER OLIBANO ROSAS

Niterói
2012

Carvalho, Sergio Luiz Trouche

Uso de sistemas de informações geográficas para mapeamento de suscetibilidade a deslizamentos no município de Muqui-ES / Sergio Luiz Trouche de Carvalho.- Niterói: [s.n.], 2010.

76 f. : il., 30cm.

Dissertação (Mestrado em Defesa e Segurança Civil) - Universidade Federal Fluminense, 2010.

1. Defesa Civil. 2. Mudanças Climáticas. 3. Meio Ambiente.
4. Qualidade de Vida. I. Título

Sergio Luiz Trouche de Carvalho

USO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS PARA MAPEAMENTO DE
SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS
NO MUNICÍPIO DE MUQUI-ES

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Defesa e Segurança Civil da Universidade Federal Fluminense – UFF, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Defesa e Segurança Civil. Linha de Pesquisa: Desastres Naturais.

Data da defesa: 13 de abril de 2012

BANCA EXAMINADORA

Orientador Reiner Olibano Rosas, D.Sc. , UFF

Claudine Pereira Dereczynski, D.Sc. , UFF

Manoel do Couto Fernandes, D.Sc., UFRJ

Niterói
2012

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para este trabalho, durante esta jornada.

Agradeço principalmente a minha família, em especial à minha esposa.

Aos colegas de trabalho, em especial à Maria Lucia Melo Teixeira de Sousa, que me apoiaram e ajudaram sempre de alguma forma.

Aos colegas do programa de pós-graduação que no convívio durante os finais de semana compartilharam os seus conhecimentos nas interlocuções informais e durante as aulas e que me fizeram crescer em conhecimento.

Gostaria de agradecer ao meu orientador Prof. Dr. Reiner Olíbano Rosas, que muito me ajudou no desenvolvimento deste trabalho. Sua colaboração incansável, foi decisiva para a conclusão de meu objetivo.

Ao coordenador do curso Prof. Airton Bodstein de Barros, por sua determinação e clareza de idéias.

Muito obrigado a todos!

“O mundo é um lugar perigoso de se viver, não por causa daqueles que fazem mal, mas sim por causa daqueles que observam e deixam o mal acontecer.”

Albert Einstein

SUMÁRIO

- 1 INTRODUÇÃO, p. 1
- 1.2 OBJETIVOS, p. 6
- 2 CAPITULO 1, p. 7
- 3 CAPITULO 2, p. 28
- 4 CAPITULO 3, p. 38
- 5 CAPITULO 4, p. 48
- 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS, p. 68
- 7 REFERENCIAÇÃO BIBLIOGRÁFICA, p. 70

Uso de Sistemas de Informações Geográficas para Mapeamento de Suscetibilidade a Deslizamentos no Município de Muqui-ES.

RESUMO

Os fenômenos naturais que desencadeiam riscos para a ocupação humana fazem parte da dinâmica dos ambientes da superfície da Terra. Quando ocorrem em áreas ocupadas, podem tornar-se um problema, causando perdas humanas e enormes prejuízos materiais. A região em estudo foi ocupada por fazendeiros da cultura cafeeira que se fixaram no sopé da serra dos Pirineus, por volta de 1853, surgindo o primeiro núcleo populacional. O presente trabalho tem como objetivo a aplicação de geotecnologias para integrar dados ambientais, visando a identificação e mapeamento de áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos no município de Muqui-ES. Para tanto, procurou-se inter-relacionar os diversos aspectos físicos e sociais envolvidos na deflagração deste fenômeno. O mapa de suscetibilidade foi obtido por meio de cruzamento ponderado das variáveis declividade, vegetação e geologia com a utilização do software ArcGis 9.2.

Palavras-chave: Desastres, Defesa civil, Mudanças climáticas, Meio ambiente, Qualidade de vida.

Use of Geographic Information Systems to map landslide susceptibility in Muqui-ES.

ABSTRACT

Natural phenomena that trigger risks for the human occupation are part of the dynamic of Earth's surface's environment. When they occur in occupied areas, may become a problem, causing human and material losses. The area that has been studied was occupied by farmers from coffee culture which settled in the foothills of the Pirineus, around 1853, emerging the first population center.

The present work aims the application of geo to integrate environmental data, targeting the identification and mapping of areas susceptible to landslide in Muqui-ES. For this, attempted for the interrelation of multiple physics and social aspects involved on these phenomena deflagration.

The susceptibility map was obtained by means of weighted cross from slope variable, vegetation and geology with the utilization of software ArcGIS 9.2.

Keywords: Disasters, Civil defense, Climate change, Environment, Quality of life.

INTRODUÇÃO

Apesar da história da humanidade ser recente, já foram registradas em todo o globo grandes catástrofes naturais que deixaram milhares de mortos e desabrigados, além de perdas materiais.

Conforme dados do Foreign Disaster Assistance - OFDA/CRED têm-se verificado que a partir de 1950 houve um incremento significativo na frequência e na intensidade dos desastres naturais em todo o globo.

Segundo Smith (2000) a média anual de desastres registrados na Emergency Disasters Data Base - EM-DAT para o período de 1900 – 1980 foi de 50 eventos, a partir deste período houve um salto exponencial para 250 casos. Segundo o ISDR (2006), somente em 2005 foram registrados 360 desastres com causas naturais no mundo provocando a morte de 91.900 pessoas, e deixando 157 milhões de pessoas afetadas e as perdas estimadas foi de 159 bilhões de dólares.

Alguns estudos indicam que este aumento pode estar diretamente vinculado as mudanças climáticas globais. As ações humanas devem ser direcionadas para a implementação de medidas mitigadoras e preventivas que possam amenizar o impacto causados por estes fenômenos.

Alguns autores defendem a hipótese de que esse aumento dos desastres naturais está associado diretamente com uma maior exposição e vulnerabilidade da sociedade contemporânea (Nicholls, 2001; Pielke, 2005; Pielke et al., 2005). Outros, como Houghton (2003), acreditam que o principal propulsor tem sido as mudanças globais, principalmente através da intensificação das instabilidades atmosféricas, como furacões, vendavais e tornados, que causam grandes danos socioeconômicos.

Diante desta problemática, a busca por dados de desastres tornou-se uma das principais prioridades. Mas, tão importante quanto os novos dados, é conhecer a consistência

dos já existentes, visto que estão sendo utilizados pelos tomadores de decisão no gerenciamento das medidas de mitigação e prevenção em desastres naturais.

No Brasil, algumas iniciativas também têm sido desenvolvidas utilizando registros históricos de desastres, como a criação do Geodesastres-Sul, que têm como missão desenvolver metodologias e sistemáticas voltadas à prevenção de desastres naturais e eventos extremos para a região Sul do Brasil e Mercosul, fazendo uso de geotecnologias, para suporte a ações de mitigação destes fenômenos e de suas conseqüências.

Durante o processo de crescimento das cidades, muitas áreas próximas às encostas são ocupadas pela população. A ocupação desordenada dos morros altera as características físicas do ambiente natural, provocando a diminuição das áreas de vegetação, o acúmulo de lixo em locais impróprios, a obstrução das obras de drenagem, além de outras modificações agressivas ao meio.

Pelo fato do Brasil ter predominância de clima tropical existem grandes índices pluviométricos no verão, que corresponde ao período chuvoso, com isso as encostas naturalmente seriam locais de risco, uma vez que estão sujeitas à deslizamentos .

Quando ocorrem as precipitações o solo absorve uma parcela da água, no entanto, outra parte se locomove em forma de enxurrada na superfície do terreno, a parte de água que se infiltra no solo se confronta com alguns tipos de rochas impermeáveis, com isso a água não encontra passagem e começa acumular-se em único local tornando, dessa forma, o solo saturado de umidade que não consegue suportar e se rompe, desencadeando o deslizamento.

Os motivos que desencadeiam esse processo estão ligados à retirada da cobertura vegetal de áreas de relevo acidentado, habitação humana em locais impróprios, oferecendo condições propícias para o desenvolvimento de deslizamentos em encostas. O deslizamento é um processo que pode ocorrer em qualquer lugar do mundo.

No Brasil, as pessoas que vivem nos centros urbanos e que mais sofrem são as de baixo poder aquisitivo, pois as áreas de risco em que habitam é o único recurso para essa classe residir, que são lugares em geral de menor valor comercial.

Em todos os anos nos períodos de chuva veiculam notícias de enchente e deslizamento em áreas marginalizadas, produzindo prejuízos e mortes em diversas metrópoles brasileiras.

A erosão urbana constitui-se atualmente em um dos grandes problemas ambientais enfrentados pela sociedade moderna. Resultado da ocupação caótica do espaço sem um prévio planejamento torna-se visível através da evolução da erosão laminar, em sulcos e ravinas e na sua forma mais destrutiva que é a evolução para voçorocas,

originadas pelo constante aumento da impermeabilização dos solos e conseqüentemente aumento na quantidade e na velocidade do escoamento superficial direcionados principalmente pelas vias públicas. Esta forma acelerada de erosão coloca em risco as próprias edificações como também os equipamentos urbanos.

De acordo com Pontes Apud Almeida Filho (1999) os principais fatores que influem na erosão das áreas urbanas são: vazão da corrente de água, declividade do terreno e a natureza do terreno.

Os movimentos naturais que atuam de forma significativa na esculturação da paisagem, são geralmente classificados como movimentos de massa ou movimentos do regolito como expôs Christofolletti (1979), escorregamentos, rastejos, corridas, quedas de bloco, ou seja, remobilização do material oriundo do intemperismo que envolve uma série de condicionantes, sendo os mais importantes a declividade; estrutura rochosa e forma da vertente. Estes processos quando se desenvolvem em ambientes onde a ação humana se encontra presente, pode ocasionar grandes perdas econômicas como também vitimar as populações envolvidas. Infelizmente estes fatos não são tão raros, como seguidamente são referenciados pela mídia nacional os acidentes que acontecem nas escarpas serranas da região sudeste.

Quando esses fenômenos atingem áreas ocupadas, especialmente aglomerados urbanos, ocorrem acidentes, desastres e catástrofes, causando mortes e enormes prejuízos materiais, que podem ser definidos como impactos negativos ao sistema sócio-econômico. A ocupação desordenada das cidades e áreas rurais, não respeitando os limites impostos pelas condições ambientais, tem gerado uma série de impactos que apresentam como resultantes perdas materiais e humanas. Estas ocorrências afetam principalmente a população de mais baixa renda.

Na tentativa de solucionar ou ao menos amenizar tais problemas, tem sido desenvolvido um número cada vez maior de estudos de suscetibilidade a movimentos de massa em áreas urbanas. Estes estudos têm por objetivo delimitar áreas mais susceptíveis a ocorrência de movimentos, a partir da análise de suas causas e mecanismos, os quais estão relacionados ao volume e freqüência das precipitações, à estrutura geológica, aos materiais envolvidos, às formas de relevo e às formas de uso da terra .

As modificações introduzidas nos sistemas naturais podem criar uma situação de risco que naturalmente não existia. Cortes na encosta aumentam a sua declividade e aumentam o

valor da tensão cisalhante no jogo de forças que mantém os materiais (solos, manto de alteração, colúvios, blocos de rochas) estáveis em superfície inclinada. Este é o caso também da colocação de aterros e construções sobre a encosta. As mudanças citadas aumentam o risco de ocorrência de deslizamentos. Outro sistema natural muito alterado pelo homem é a bacia hidrográfica e, em especial, o traçado e a profundidade de canais. A retificação e o aprofundamento dos canais fluviais levam a ajustes do sistema que, muitas vezes, não são previstos pelo homem, podendo provocar alterações longe do lugar onde foi realizada a intervenção. A retificação do canal fluvial pode levar ao aumento da velocidade do fluxo e por isso passa a ser maior o seu poder de erosão e transporte de sedimentos, com possibilidade de erosão das margens e das cabeceiras do rio principal e afluentes, caso o input de chuva seja significativo.

O problema a ser tratado é um fenômeno global das últimas décadas e que tem merecido a atenção de muitos grupos de estudos sendo um dos temas mais destacados de conferências de nível internacional: o aumento da ocorrência de desastres naturais.

O município de Muqui localiza-se ao sul do Estado do Espírito Santo. Limita-se com os municípios de Jerônimo Monteiro, Cachoeiro de Itapemirim, Mimoso do Sul, Atílio Vivacqua (Figura 1).

Muqui como muitas outras cidades brasileiras cresceram nas proximidades de um rio sem uma preocupação com sua expansão urbana sobre áreas e zonas sujeitas a inundações que vêm sendo ocupadas no decorrer do tempo, configurando os mais diversos usos.

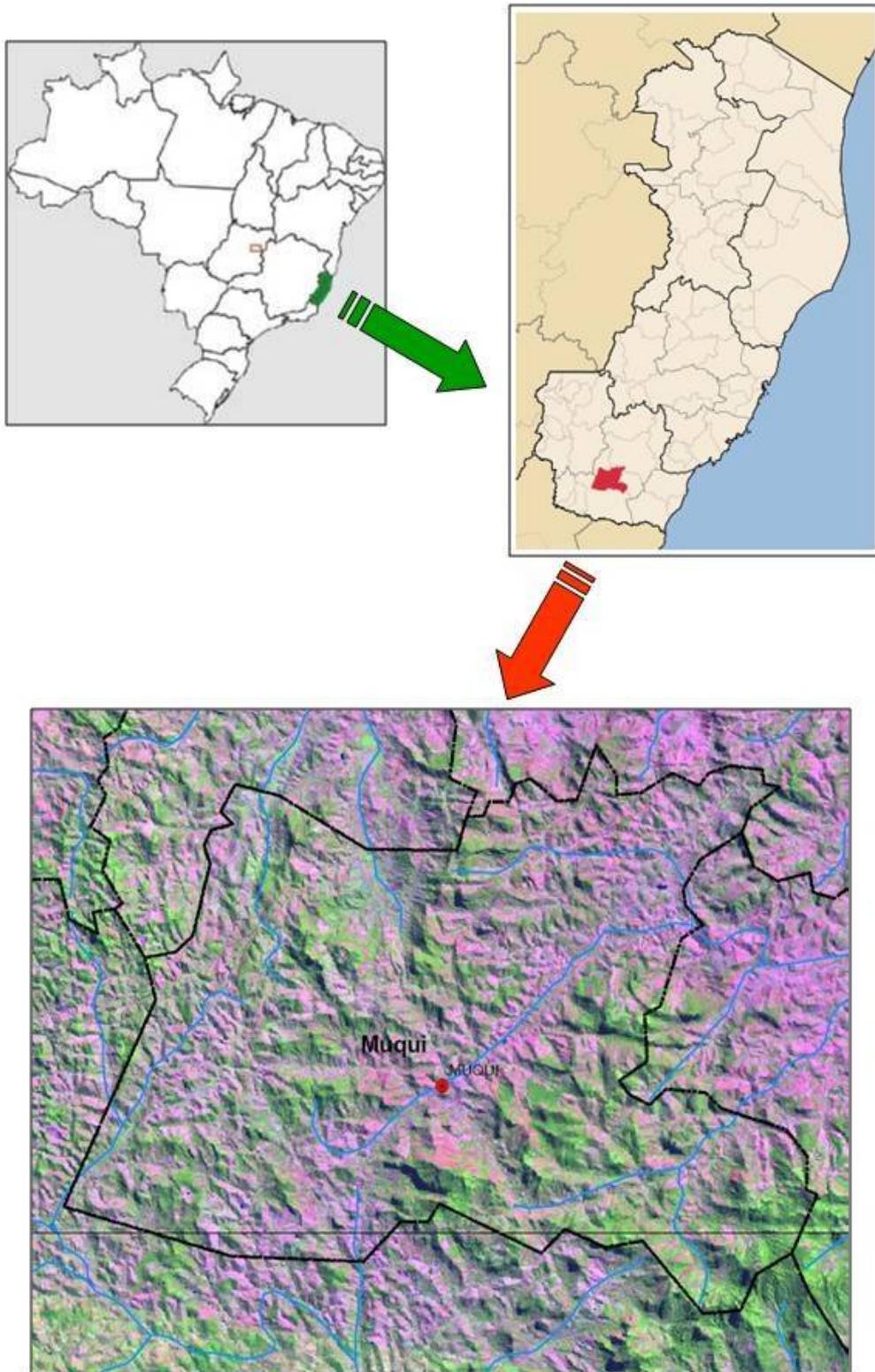


Figura 1 – Localização do Município de Muqui

OBJETIVOS

Objetivo geral

Esta Dissertação tem como principal objetivo a aplicação de geotecnologias na classificação e mapeamento de áreas quanto aos graus de suscetibilidade à deslizamentos de encostas no município de Muqui-ES.

Objetivos específicos

- Avaliar a possibilidade de utilização de dados de precipitação do WorldClim para gerar mapa de erosividade das chuvas.
- Utilizar dados MDE (modelo Digital de Elevação) do sensor Aster do satélite Terra para gerar mapa de declividade na escala 1:50.000.

CAPÍTULO 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A Defesa Civil no Brasil, obedecendo as normativas da Política Nacional de Defesa Civil, classifica os desastres como naturais, humanos e mistos (Castro, 2003).

Os desastres são conceituados como resultado de eventos adversos que causam grandes impactos na sociedade, sendo distinguidos principalmente em função de sua origem, isto é, da natureza do fenômeno que o desencadeia (Tobin e Montz, 1997).

Segundo Castro (2003) os desastres naturais são causados pelo impacto de um fenômeno natural de grande intensidade sobre uma área ou região povoada, podendo ou não ser agravado pelas atividades antrópicas.

Os desastres naturais causam anualmente um grande número de vítimas, mortos e feridos, bem como onerosas perdas econômicas.

Toda ocorrência de desastres envolve basicamente três fases distintas: o Antes, que corresponde ao momento que precede o evento, o Durante, que corresponde ao momento do impacto e suas consequências e o Depois, que está associado a reestruturação das áreas afetadas.

Diversos autores citam como principais condicionantes dos movimentos de massa o processo de ocupação desordenada, as características topográficas (declividade e forma das encostas), a litologia, a estrutura geológica e a cobertura vegetal (Lopes e Riedel, 2008; Wolle, 1988; Marcelino, 2003; Marcelino et al, 2006).

Segundo Geissler et al (2008) elaborar mapas de risco implica em compreender conceitos, como o que caracteriza:

- Desastre é resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre uma população vulnerável, causando danos humanos, materiais e ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais.
- Risco é a probabilidade de ocorrência de um acidente ou um evento adverso, relacionado com a intensidade dos danos ou perdas, resultantes dos mesmos.

- Vulnerabilidade é a probabilidade de uma determinada comunidade ou área geográfica ser afetada por uma ameaça ou um risco potencial de desastre.
- Evento é um fenômeno com características, dimensões e localização geográfica registrada no tempo;
- Perigo (hazard) é a condição com potencial para causar conseqüências desagradáveis;
- Suscetibilidade indica a potencialidade de ocorrência de processos naturais e induzidos em áreas de interesse ao uso do solo, expressando a suscetibilidade segundo classes de probabilidade de ocorrência;
- Área de Risco é a área passível de ser atingida por processos naturais e/ou induzidos que causem efeito adverso. As pessoas que habitam essas áreas estão sujeitas a danos à integridade física, perdas materiais e patrimoniais. Normalmente, essas áreas correspondem a núcleos habitacionais de baixa renda, como os assentamentos precários.

Para designar a probabilidade de ocorrência de um evento extremo em uma área ocupada, muitos autores utilizam o termo "risco natural".

A palavra risco (tradução literal do termo inglês risk) é utilizada algumas vezes, erroneamente como sinônimo da expressão hazard.

Segundo Carrara (1984) risco é definido como a ocorrência de fenômenos geológicos, geomorfológicos ou atmosféricos que causam dano, perigo ou perda ao homem e/ou à sua propriedade.

O termo hazard trata especificamente da probabilidade de ocorrência de um fenômeno prejudicial. O termo risk refere-se somente aos prejuízos provocados por tal fenômeno.

Portanto, a expressão hazard, quando associada ao estudo dos eventos extremos, não deve ser traduzida como "risco". Por este motivo, adotaremos os termos perigo, ou simplesmente suscetibilidade (condição com potencial que cause conseqüências desagradáveis numa comunidade).

Em muitos casos, o próprio ser humano pode aumentar a probabilidade de perigo, devido ao uso inadequado da natureza.

Segundo (Fernandes e Amaral, 1996), um mapa de suscetibilidade deve fornecer informações de probabilidade espacial, temporal e magnitudes de avanços numa determinada área.

O conhecimento das áreas mais suscetíveis a ocorrência de eventos catastróficos possibilita a adoção de medidas visando evitar ou minimizar suas conseqüências danosas, causadas por eventos naturais extremos.

Os desastres humanos são aqueles gerados pelas ações ou missões humanas, como acidentes de trânsito, incêndios industriais, contaminação de rios, entre outros.

As modificações introduzidas nos sistemas naturais pelo homem podem criar situações que naturalmente não existiriam. Cortes na encosta aumentam a sua declividade e aumentam o valor da tensão cisalhante no jogo de forças que mantém os materiais (solos, manto de alteração, colúvios, blocos de rochas) estáveis em superfície inclinada. Este é o caso também da colocação de aterros e construções sobre a encosta. As mudanças citadas aumentam o risco de ocorrência de deslizamentos.

Os desastres naturais podem ser melhor entendidos através do esquema proposto a seguir (Figura 2):

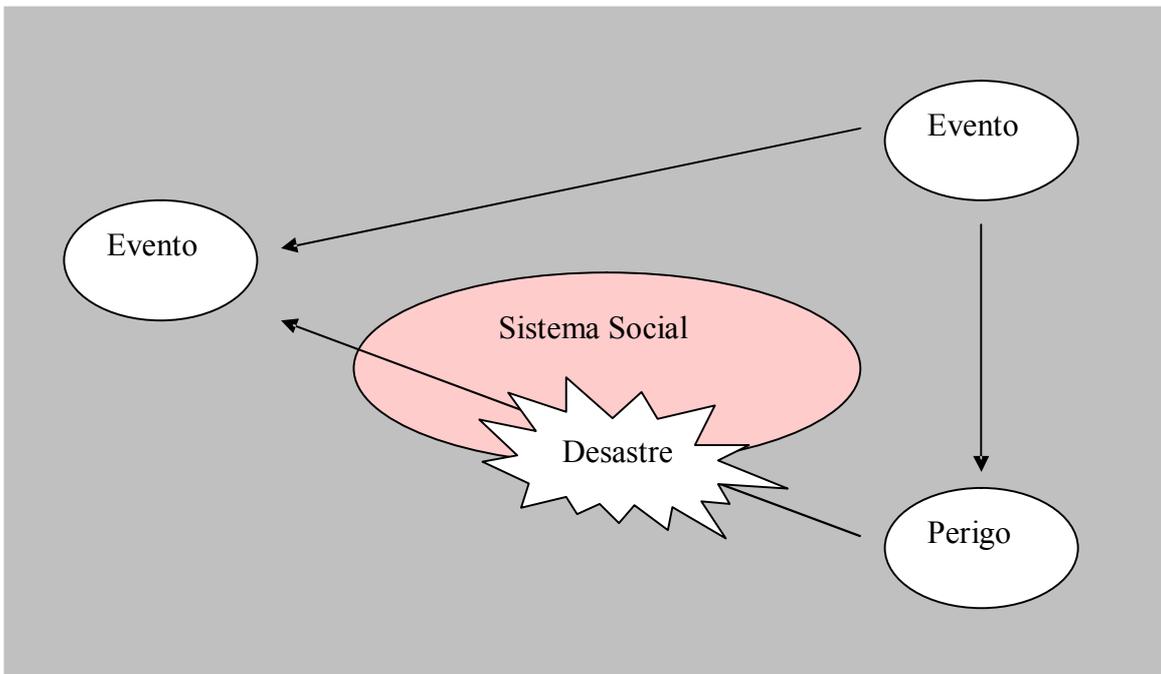


Figura 2 - Relação entre evento e desastres de origem natural.

Se um fenômeno natural ocorrer ou se deslocar sobre um sistema social, gera uma situação potencial de perigo a pessoas e bens. Caso haja o impacto, só será considerado como desastre quando os danos e prejuízos forem extensivos e de difícil superação pela comunidade afetada. Caso não gere danos ou seguir sua trajetória por áreas não ocupadas, o fenômeno volta a ser considerado como um evento natural.

Para exemplificar, uma tempestade severa (evento natural) produz fortes chuvas e ventos. Quando se desloca sobre áreas urbanas densamente ocupadas (perigo), podem gerar destelhamentos, inundações nas áreas próximas aos rios e movimentos de massa nas encostas mais íngremes, consideradas áreas de risco. Atingindo estas áreas, casas são alagadas e destruídas, pessoas acabam morrendo e outras são obrigadas a procurar locais seguros, como abrigos temporários. Na continuação da trajetória, ao chegar sobre as áreas de campo e mata, volta a ser considerada como um evento natural.

Segundo Rocha (1999) o confronto de mapas de uso e de riscos ambientais, permitirá a definição de áreas com diferentes níveis de criticidade. Os efeitos definidos por esse confronto são importantes para a tomada de decisão quanto à ocupação dessas áreas.

Varnes (1984) definiu risco ambiental como o “grau de prejuízo ou dano causado a pessoas e bens, devido à ocorrência de um perigo (hazard)” ou número esperado de perda de vidas, danos a pessoas, bens e propriedades ou interrupção de atividades econômicas devido a um fenômeno natural particular”. Segundo ele, o Risco total (R_t) é expresso como: $R_t = (H \times V) \times (E)$, onde: H (Hazard) é perigo, V é Vulnerabilidade e E é elemento em risco. O termo perigo significa “um evento físico, fenômeno natural e/ou induzido por uma atividade humana, potencialmente danoso ou nocivo, que pode causar perdas de vidas, ferimentos, danos a propriedades e bens, interrupção de atividades sociais e econômicas e degradação ambiental”. Envolve a probabilidade de ocorrência do fenômeno em um determinado período de tempo e em uma dada área. Vulnerabilidade refere-se ao “grau de perda ou dano de um determinado elemento ou um conjunto de elementos em risco, resultante da ocorrência de um fenômeno natural de uma dada magnitude”. O Elemento em Risco refere-se a populações, propriedades, bens e atividades econômicas em risco em uma dada área.

Para as Nações Unidas (ISDR, 2002), risco compreende a “probabilidade de consequências danosas ou perdas esperadas (de vidas, propriedades, bens de sustento próprio, interrupção de atividades econômicas e danos ambientais) resultantes das interações entre perigos (Hazards) naturais ou induzidos e as condições de Vulnerabilidade/Capacidade”. Em outras palavras, risco pode ser expresso em termos de: $R = H \times V/C$. A Vulnerabilidade corresponde a um conjunto de condições e processos resultantes de fatores físicos (relacionados ao uso e ocupação do solo), sociais, econômicos e ecológicos. A Capacidade refere-se à maneira pela qual as pessoas e organizações conseguem lidar positivamente com as condições adversas de um desastre ou evento.

No entanto, a aplicação dos conceitos de Vulnerabilidade, Capacidade e Elemento em Risco é tarefa difícil, seja quantitativa ou mesmo qualitativamente, principalmente devido à grande diversidade e complexidade dos atributos de análise e a limitações em relação à disponibilidade de dados preexistentes e às escalas de mapeamento.

Suscetibilidade corresponde à maior ou menor predisposição de ocorrência de um fenômeno potencialmente danoso ou destrutivo numa área determinada, com base nas condições locais.

Movimentos de Massa

A formação e dinâmica do relevo relaciona-se tanto à interação de variáveis endógenas, como o tipo e estrutura das rochas e as atividades tectônicas, quanto exógenas, como as variáveis climáticas, atuação de fauna e flora, etc. (Chorley e Kennedy, 1971; Christofolletti, 1974; Chorley et al., 1984; Marques, 1994). Como parte dessa dinâmica ocorrem os processos de vertente, entre os quais, os movimentos de massa, que envolvem o desprendimento e transporte de solo e/ou material rochoso vertente abaixo.

A mobilização de material deve-se à sua condição de instabilidade, devido à atuação da gravidade, podendo ser acelerada pela ação de outros agentes, como a água. O deslocamento de material ocorre em diferentes escalas e velocidades, variando de rastejamentos a movimentos muito rápidos (Varnes, 1978; Zaruba e Mencl, 1982; Chorley et al., 1984; Hansen, 1984; IPT, 1989; Fernandes e Amaral, 1996).

Os movimentos rápidos, denominados genericamente de deslizamentos e tombamentos, têm grande importância, devido à sua interação com as atividades antrópicas e à variabilidade de causas e mecanismos (IPT, 1989; Fernandes e Amaral, 1996).

Os deslizamentos e tombamentos são deflagrados pelo aumento de sollicitação de mobilização de material (erosão, energia cinética da chuva, sismicidade) e pela redução da resistência do material (rastejamentos, textura e estrutura favoráveis à instabilização). Estes processos são parte da dinâmica natural da formação do modelado, mas tornam-se um problema quando encontram-se relacionados à ocupação humana, ou seja, quando há ação antrópica em áreas naturalmente potenciais à sua ocorrência, além de também serem induzidos por esta ação. Nessa perspectiva de relação entre eventos naturais e ação antrópica, o fenômeno é enquadrado como sendo de risco, ou seja, fenômenos de origem natural ou

induzidos antrópicamente e que acarretam prejuízos aos componentes do meio biofísico e social (Varnes, 1978; Cerri, 1993; Zuquette et al., 1995).

Os problemas relativos à erosão e a processos de movimentos de massa encontram-se presentes em vários lugares do mundo, mas em países cujo regime pluvial tem as características do ambiente tropical e cuja situação sócio-econômica seja considerada como de subdesenvolvimento ou em desenvolvimento, os problemas tornam-se mais acentuados devido à escassa estrutura para evitar ou controlar tal fenômeno (Guerra, 1994).

O aumento de população tem levado à ocupação, tanto para a moradia (principalmente por parte de população de baixa renda) quanto para o lazer, de áreas de risco. Essa situação tem levado ao aumento de frequência (repetitividade de um fenômeno ao longo do tempo) e magnitude (extensão e impacto) dos movimentos de massa (Selby, 1982; Chorley et al., 1984, Guerra, 1994).

Variáveis Condicionantes de Movimentos de Massa

O estudo de movimentos de massa considera, conforme o enfoque e a disponibilidade de dados, as variáveis climáticas, geológicas, antrópicas (estas relacionadas ao uso e cobertura do solo), geotécnicas, pedológicas e geomorfológicas.

Deve-se salientar que as variáveis relacionadas aos processos de movimentos de massa atuam de forma interativa e, portanto, não devem ser analisadas isoladamente. A seguir é descrito o papel que cada uma exerce nos movimentos de massa.

a) Clima e Vegetação

O papel do clima relaciona-se, principalmente, à precipitação e suas conseqüências sobre os processos morfogenéticos. Nos domínios morfoclimáticos tropicais, a elevada umidade provoca o encharcamento do solo que, por sua vez, favorece os movimentos de massa.

A intensidade da chuva (dada em mm/hora) relaciona-se à energia cinética desta que, por sua vez, está relacionada à erosividade (potencial que um processo tem para causar desagregação de material, como solo ou rocha, conforme Selby, 1982 e IPT, 1989) e conseqüente transporte de material. As medidas de pluviosidade (totais diários, médias mensais, etc.) fornecem uma aproximação da intensidade da chuva (Guerra, 1994). Com uma

precipitação pluvial prolongada, a infiltração é contínua, o que satura o solo, reduzindo a coesão do material da vertente e a resistência desse material à erosão, devido à expansão de cisalhamento em rochas ou contato rocha-solo e de interstícios do solo, o que favorece os deslizamentos (Tricart, 1972; Whalley, 1976; Thomas, 1979; Selby, 1982; Hansen, 1984; Berger, 1996; Romanovskii et al., 1996).

As variações microclimáticas, como diferenças de precipitação ao longo de uma vertente, podem determinar pontos preferenciais de ocorrência de deslizamentos. O impacto da água da chuva sobre a superfície do solo provoca a desagregação das suas partículas constituintes, variando conforme a velocidade e energia do evento pluviométrico, como também de sua distribuição e duração. Originando, portanto um fluxo concentrado que vai carrear os materiais desagregados.

Relacionando com o fator clima, Fendrich (1991) evidencia que com base no índice de Classificação Internacional de Climas de Köeppen, “as regiões mais atingidas pela erosão, são caracterizadas pelas classes de climas úmidos, tropical quente e temperado, com inverno seco e verão chuvoso, respectivamente”.

Sendo que um fator como o solo, por sua vez, em função de sua ampla variabilidade espacial, introduz uma grande variedade de condições que influenciam as taxas de infiltração e, portanto, as taxas de escoamento superficial e de erosão. Os solos arenosos sofrem mais a ação das águas, e este tipo de solo possui pequena resistência à força de arrasto.

A ocorrência dos escorregamentos não depende somente das chuvas intensas, mas também das condições geológicas e/ou geográficas e hidrológicas do local.

Vários tipos de materiais podem ser deslizados, tais como solos, rocha, lixo, entulho, etc.

O mecanismo dos escorregamentos de alguns materiais induzidos pela chuva tem sido explicado por alguns pesquisadores. A infiltração vertical das águas da chuva satura a camada superficial do solo, e conseqüentemente a poro-pressão positiva da água induzida na camada do solo promove a instabilidade da encosta (Aboshi et al.,1976). A infiltração causa a redução da sucção dentro da superfície do solo, e promove a conseqüente redução da coesão, além do aumento do peso próprio, tornando a encosta instável (Sasaki et al.,2000).

Holly apud Holanda (2001), conceitua erosão como sendo a manifestação da deterioração da superfície do solo afetada por forças externas, particularmente água, gelo, vento e o homem como o fator antropogênico de relevante importância.

Fendrich (1991) conceitua erosão como um processo que se traduz na

desagregação, transporte e deposição do solo, sub-solo e rocha em decomposição, pelas águas, ventos ou geleiras. É a desagregação, transporte e deposição dos materiais dos horizontes superficiais.

Segundo Fendrich (1991) “nos solos argilosos (textura fina), já ocorre o inverso, a infiltração é menor que nos solos arenosos, acarretando grandes volumes de enxurradas, porém, com menor arrastamento de terra”.

A vegetação, de maneira geral, protege o solo de fatores que condicionam os deslizamentos, como a compactação do solo pelo impacto de gotas de chuva e conseqüente aumento de escoamento superficial, pois a cobertura vegetal intercepta as águas pluviais reduzindo a energia cinética e favorecendo a infiltração, além de certos tipos de sistemas radiculares conterem a erosividade por manterem a agregação do solo. Porém em regiões tropicais úmidas, nem sempre isso ocorre. Nos períodos de elevada pluviosidade a água das chuvas penetra entre as descontinuidades do dossel¹ atingindo o solo, compactando-o, gerando e/ou reativando ravinas e canais de primeira ordem, o que ocorrem especialmente se não houver uma cobertura composta de flora de porte arbustivo (Tricart, 1972; Thomas, 1979; Selby, 1982; Wolle, 1988; Guerra, 1994). Esses ravinamentos e/ou canais são especialmente observados em trechos de elevadas amplitude e declividade, como na faixa entre 35° e 40°, onde o dossel se apresenta menos contínuo, podendo sulcar cicatrizes de antigos deslizamentos e reativá-los (Strahler, 1972; Thomas, 1979; Chorley et al., 1984).

Deve-se salientar que a vegetação pode atuar em alguns casos também como agente erosivo, devido à desagregação mecânica provocada por certos tipos de raízes (Chorley et al., 1984, Wolle, 1988).

De acordo com o mesmo autor os fatores mais importantes que irão influenciar na resistência do solo à erosão são: estrutura, estratificação, permeabilidade, teor de umidade, textura, composição, tipo e extensão da cobertura e declividade do terreno.

Outro fator importante e que interfere de forma significativa em relação ao desencadeamento de processos erosivos, é a cobertura vegetal, que de certa forma é um dos mecanismos naturais de proteção do solo mais importante para conter a erosão. Para Fendrich (1991) a cobertura vegetal influencia as taxas de escoamento superficial e erosão mais que qualquer outro fator físico individual.

¹ Cobertura formada pelo encontro de copas de árvores em florestas

O mesmo autor destaca que:

a planta, pelas raízes e copadas, amortecem a queda das gotas d'água, diminuindo o impacto sobre o solo (controlam a desagregação): pelos seus troncos e raízes, dificultam o caminamento das águas, obrigando a se infiltrar lentamente, evitando que ganhem velocidade; pelas suas raízes “amarram” a terra, dificultando a sua soltura e arraste; pela incorporação de matéria orgânica e abertura de galerias pelas raízes, dão ao solo que melhor absorva e retenha a água” Fendrich (1991) .

A vegetação é um fator de redistribuição da água sobre a encosta, e pode ser considerado como um fator mecânico que influi positivamente ou negativamente na encosta. Os fatores positivos seriam a interceptação das águas da chuva, e o sistema radicular das raízes resultando na redução erosão superficial e diminuição da poro-pressão e aumento de resistência do solo. Os fatores negativos seriam o efeito cunha, e efeito alavanca provocado pelas raízes e o aumento de infiltração (Santos, 2000).

Já o desmatamento provoca a perda do equilíbrio do conjunto vegetação e maciço, pela perda da resistência ao cisalhamento conferida pelo sistema radicular, acelerando processos erosivos, aumentando temporariamente o nível do lençol freático e redução dos efeitos estabilizadores da vegetação, provocando desta forma efeitos negativos na encosta (Riedel et al., 2005).

Portanto a perda da cobertura vegetal, associada à chuva e ainda a outros fatores como tipos de rocha ou solo e declividades existentes na localidade condicionam uma predisposição a processos erosivos causados por fatores que geram instabilidade no solo ou rocha, levando a movimentação destes para baixo, devido à ação da gravidade, caracterizando portanto, os movimentos de massa. Estes eventos são um fenômeno natural, que pode ser acelerado pela ação humana.

b) Geologia

Com relação às condicionantes geológicas consideram-se a litologia da área e as suas características estruturais. O tipo de rocha define a permeabilização e, portanto, o tipo de

drenagem e textura, além da resistência ao intemperismo. A presença de fraturas (tectônicas ou resultantes de alívio de pressão) apresentam importantes pontos de descontinuidade e menor resistência, constituindo-se em caminhos preferenciais à erosão e movimentos de massa. Muitas destas continuidades são formadas pelo alívio de pressão, encontrando-se intemperizadas, o que causa deslizamento de lajes (Wolle, 1988).

c) Ação Antrópica

A ação antrópica destrutiva sobre a vegetação tem gerado e/ou acelerado processos geomorfológicos de degradação, tornando estes mais intensos que os de deposição ou se sobrepondo aos processos pedogenéticos. Isso tem ocorrido de forma intensa no sudeste brasileiro, devido tanto às atividades agrícolas quanto à urbanização, sendo que a instabilização de encostas tem sido agravada pela remoção das matas (Wolle, 1988). Sem esta interferência os processos de decomposição seriam mais rápidos que os de transporte, devido a fatores como a alta taxa de infiltração induzida pela umidade, temperatura do solo, ação bioquímica e intenso intemperismo químico (Sternberg, 1949; Tricart, 1972; Thomas, 1979; Chorley et al., 1984). O desmatamento favorece o surgimento de áreas de escoamento devido à compactação causada pelo impacto das gotas no solo, já destacada anteriormente.

O corte de estradas e outras obras em áreas de declividade desfavorável e/ou que possuam características geológicas e geomorfológicas sujeitas a deslizamentos aceleram estes processos (Guerra, 1994; Fernandes e Amaral, 1996). Além disso, o tráfego de transporte pesado provoca vibrações que detonam processos de instabilização de encostas (Wolle, 1988; Guidicini e Nieble, 1993). O papel das atividades antrópicas como indutoras de deslizamentos é muito significativo, sendo muito frequentes os deslizamentos em encostas ocupadas durante períodos de chuvas intensas (Hansen, 1984; Cerri, 1993). O volume de material removido e transportado por água pluvial está relacionado à densidade de cobertura vegetal e à declividade, de forma que com o desmatamento, esses processos se tornam mais intensos, principalmente em pontos de alta declividade (Strahler, 1972; Tricart, 1972; Netto, 1994).

d) Geomorfologia

As condicionantes geomorfológicas incluem as formas de vertentes e as variáveis morfométricas, como a dissecação, declividade, aspecto, amplitude de relevo, etc. Esta

abordagem é adequada ao estudo de movimentos de massa, pois os ravinamentos estão fortemente relacionados a estes processos, principalmente nas regiões tropicais úmidas, onde a elevada precipitação leva ao aumento de frequência de canais de primeira ordem e de ravinas (Tricart, 1972; Thomas, 1979; Chorley et al., 1984).

A declividade fornece a medida de inclinação (em graus ou percentual) do relevo em relação ao plano do horizonte. A velocidade de deslocamento de material e, portanto, a capacidade de transporte de massas sólidas e líquidas, é diretamente proporcional à declividade. Esta variável tem grande importância nos processos geomorfológicos, condicionando cursos de água e deslocamento de colúvio² (Christofolletti, 1974; Clark e Small, 1982; Tarboton et al., 1991; Crepani et al., 1999; Nogami, 1998). Há relação direta entre a erosividade do canal e a declividade. Canais perenes ou temporários encaixados próximos às cabeceiras apresentam maior erosividade, devido à elevada declividade e alto gradiente de energia, como citado por Thomas (1979); Christofolletti (1981) e IPT (1989).

Assim, pode-se deduzir que regiões fortemente dissecadas (ou seja, com alta densidade de drenagem) e alta declividade apresentam maior número de pontos favoráveis a riscos de escorregamentos, como já indicado por Tuttle (1970), Tricart (1972) e Thomas (1979).

As declividades acima de 30° apresentam risco de deslizamentos mais freqüente. Acima de 60° o regolito é menos espesso e, teoricamente, diminuiria o risco de escorregamentos, mas fenômenos desse tipo já foram verificados em áreas cujo manto de regolito era pouco espesso (SMA, 1990), principalmente ao redor de cabeceiras de drenagem e em épocas de pluviosidade elevada, tornando exposta a rocha de base (Tricart, 1972; Thomas, 1979; IPT, 1989; Fernandes e Amaral, 1996).

A alteração do ambiente natural promove novas configurações dos terrenos íngremes, que se tornam suscetíveis a ocorrências de acidentes geotécnicos (deslizamentos ou escorregamentos) durante as chuvas intensas.

Os eventos associados à dinâmica interna terrestre envolvem os terremotos, maremotos e o vulcanismo e os de dinâmica externa referem-se a fenômenos atmosféricos, como ciclones, tornados, nevascas, geadas, chuvas, ondas de calor ou de frio etc, atuantes de forma direta ou indireta na superfície terrestre. Neste último caso, são responsáveis pela

² Depósito de cascalho, areia, argila etc. deixado por águas fluviais ou pluviais em foz ou margens de rios (solos de aluvião)

deflagração de outros processos, como enchentes e movimentos de massa (Dias e Herrman, 2002).

Pois segundo Fernandes & Amaral (1998), “o Brasil, por suas condições climáticas e grandes extensões de maciços rochosos, está sujeito aos desastres associados aos movimentos de massa nas encostas”.

Sendo um processo natural, sua atuação após um longo período de tempo é responsável pelas modificações nas formas de relevo, e conseqüentemente seu reflexo na paisagem.

A Tabela 1 e a figura 3 mostram uma classificação dos tipos de movimentos de massa, considerando suas características e a direção de movimentos.

Tabela 1 - Tipos e Características do movimento

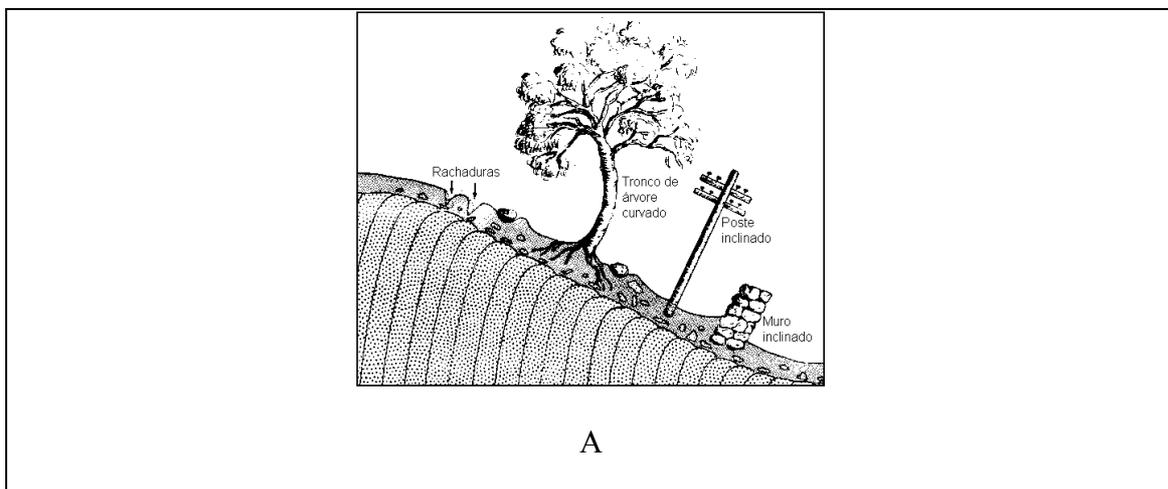
Tipos	Características
- Rastejos (creep)	Movimento lento, ocorre em declives acima de 35°, deslocando porção superior do solo, atingindo baixa profundidade. Possui gradiente vertical de velocidade (maior próximo à superfície, diminuindo com a profundidade).
- Deslizamentos	
<ul style="list-style-type: none"> • Escorregamentos (slide) 	Envolvem participação da água. Ocorre em relevos de elevada amplitude, com presença de manto de regolito. Causado por elevada pluviosidade e antropismo. Envolve fragmentos de rochas (rockslide) e solos (landslides)
<ul style="list-style-type: none"> • Corridas de massa (flow) 	Participação intensa de água, forte caráter hidrodinâmico. O transporte é feito por suspensão ou saltação. A separação entre água e carga sólida é dificultada.
<ul style="list-style-type: none"> • Queda de blocos (fall) 	Movimentos desenvolvidos em declives com ângulos próximos a 90°. Queda livre

	de material (rochas, solos). Ação maior da gravidade, sem água como agente mobilizador.
--	---

FONTE: Adaptada de Chorley et al. (1984), IPT (1989), Fernandes e Amaral (1996)

Com relação aos escorregamentos e corridas de massa, há dificuldade na separação destes dois tipos de movimento através de dados de sensoriamento remoto, pois ambos produzem cicatrizes com características semelhantes (IPT, 1989; Fernandes, 1996; Okida, 1996). Os escorregamentos podem ser classificados, de acordo com Chorley et al. (1984), Wolle (1988), Cerri (1993), Guidicini e Nieble (1993), Augusto Filho (1994), Macedo et al. (1998) em planar, rotacional e em cunha.

Salomão & Iwasa apud Infanti, Jr & Forsinari Filho (1998) definem por erosão o processo de desagregação e remoção de partículas do solo ou de fragmentos e partículas de rochas, pela ação combinada da gravidade com a água, vento, gelo e organismos (plantas e animais). É possível distinguir duas formas de abordagem para os processos erosivos: "erosão natural ou geológica, erosão que se desenvolve em condições de equilíbrio com a formação do solo, e erosão acelerada ou antrópica, cuja intensidade é superior à da formação do solo, não permitindo a sua recuperação natural" Infanti, Jr & Forsinari Filho (1998).



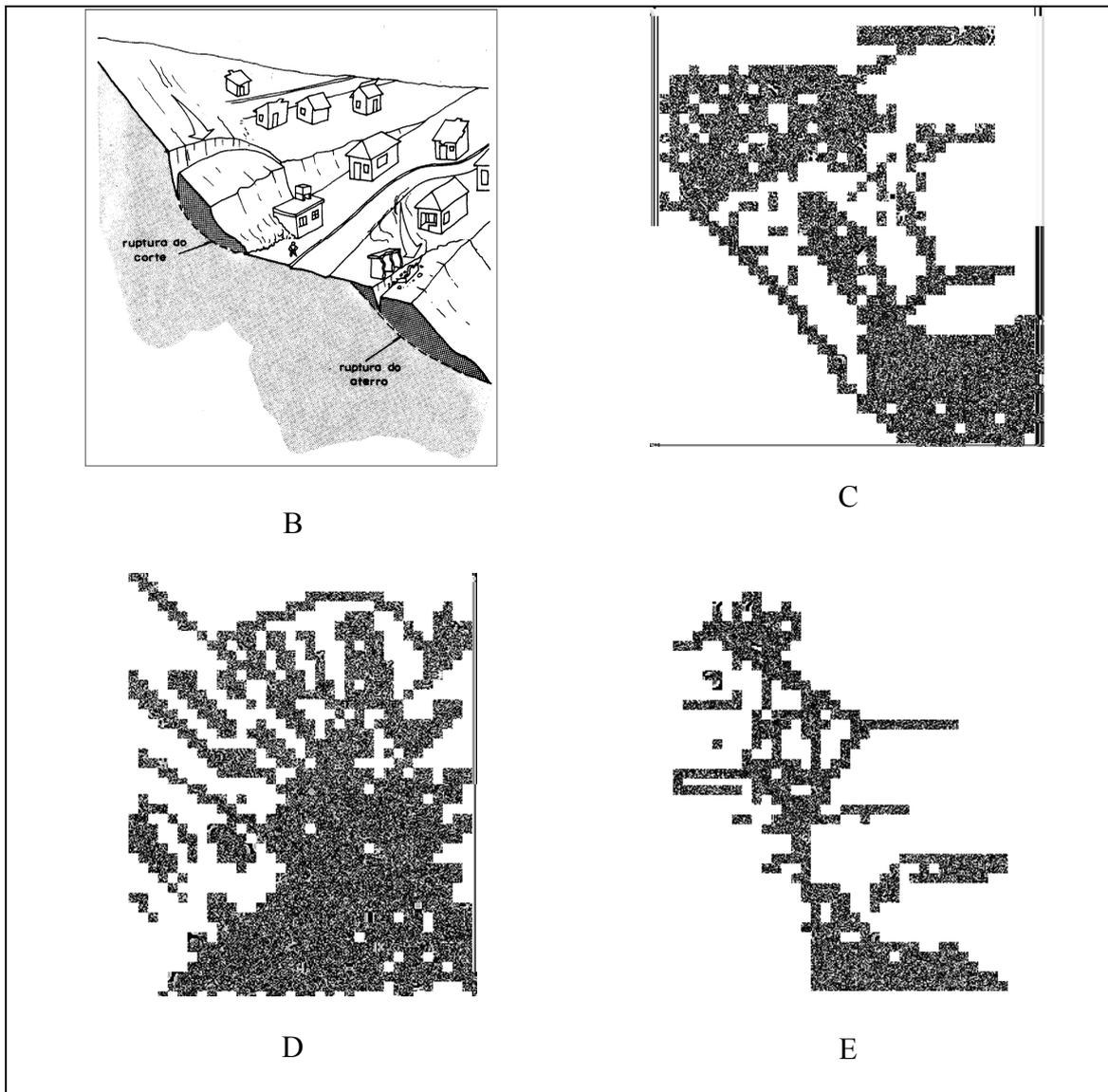


Figura 3 - Tipos de movimento de massa (A - Evidências de creep nas encostas; B - Deslizamentos rotacionais ou circulares; C - Deslizamento Translacional ou planar; D - Fluxo de detritos e E - Queda de blocos em encosta rochosa com alta declividade).

Os movimentos gravitacionais de massa podem ser divididos quanto à sua deflagração em movimentos lentos e rápidos. Nos movimentos lentos, como o processo denominado rastejo, ocorre na ocorrência de chuva, ou de uma frente de infiltração, ou por fluxo de água subsuperficial.

Os deslizamentos normalmente são movimentos rápidos e deflagrados pela chuva, enquanto a queda de blocos é um processo que ocorre independente do agente deflagrador que pode ser tanto o calor como a água.

Existem diferentes métodos para delimitação de áreas de risco e são baseadas, nas características fisiográficas da região, incluindo a identificação e cartografia das áreas planas e baixas situadas ao redor dos cursos d'água e nos dados históricos de inundações, determinados por medidas, ou até mesmo por pessoas ou técnicos que conhecem a área (Wolman, 1978 apud Ceotma, 1984).

Dentro deste cenário destacam-se os movimentos de massa nas encostas, os quais trazem enormes prejuízos econômicos e com frequência levam à perda de muitas vidas.

Nos grandes centros urbanos os movimentos de massa assumem freqüentemente proporções catastróficas, uma vez que os inúmeros cortes, aterros, depósitos de lixo, desmatamentos, modificações na drenagem, entre outras agressões, geram novas relações com os fatores condicionantes naturais associados à geomorfologia e à geologia.

Conseqüentemente, torna-se muito difícil a efetiva previsão destes fenômenos numa determinada paisagem.

A questão da previsão da ocorrência dos deslizamentos vem assumindo importância crescente na literatura geomorfológica e geotécnica. No entanto, há diferentes concepções do problema e diversas formas de investigação.

O conhecimento das situações de risco em áreas morfológicas instáveis é de grande importância para que se possa minimizar, ou no mínimo prever a ocorrência de desastres, tomando as medidas cabíveis, de aviso à população, ou até mesmo de evacuação das regiões mais propensas às ocorrências de calamidades.

Movimentos de massa são processos que desestabilizam as encostas, e nas últimas décadas as atividades humanas instaladas em áreas de topografia irregular têm sido afetadas enormemente por este processo que pode ser acelerado pela atuação humana como cortes em taludes e ocupação urbana irregular nas encostas.

Movimentos de massa são fenômenos naturais de dinâmica externa, modeladores das formas do relevo que atuam alterando a paisagem. Sua origem está associada a fenômenos naturais atuantes na fina crosta terrestre, mais precisamente na litosfera e na atmosfera, chamados de eventos naturais extremos, associados à dinâmica interna ou externa da Terra.

Segundo Selby (1990) movimento de massa é o movimento de solo ou material rochoso encosta abaixo sob a influência da gravidade, sem a contribuição direta de outros fatores como água, ar ou gelo. Entretanto, água e gelo geralmente estão envolvidos em tais movimentos, reduzindo a resistência dos materiais e interferindo na plasticidade e fluidez dos

solos. Na maioria dos casos, a chuva é o principal agente deflagrador, pois dias consecutivos de chuva aumentam o grau de saturação do solo.

Existem diversas classificações para os movimentos de massa. A maioria das abordagens os classifica quanto ao plano de ruptura, o tipo de material envolvido, forma de cicatriz, fatores condicionantes e mecanismos de rupturas. Diversos autores buscam caracterizar os vários tipos de processos físicos envolvendo os movimentos de massa e podemos citar Carson e Kirkby (1972), Guidicini e Nieble (1984), Cruden e Varnes (1996).

Aqui vamos designar movimentos de massa, como movimentos gravitacionais de massa atuantes em encostas.

Os movimentos de massa também estão associados a fatores como estrutura geológica, características dos materiais envolvidos (granulometria, porosidade, permeabilidade, resistência ao cisalhamento, ...), morfologia do terreno (declividade, tipo e forma das encostas), e formas de uso da terra.

Há várias propostas de classificação desses processos em todo o mundo (Varnes, 1958; Varnes, 1978; Hansen, 1984b; Hutchinson, 1988; Sassa, 1989; IAEG, 1990, entre outras) e, embora não caiba aqui uma discussão dessas propostas, deve-se destacar que o trabalho de Varnes (1978) ainda é o mais utilizado.

No Brasil, porém, destaca-se o esquema proposto por Guidicini e Nieble (1984), o qual de uma forma bem simplificada, divide os movimentos de massa em escoamentos (englobando rastejos e corridas), escorregamentos (translacionais e rotacionais), subsidências e movimentos complexos (revisão em Fernandes e Amaral, 1996). Sabe-se, no entanto, que a aplicação direta desses sistemas de classificação aos movimentos observados na natureza não é tarefa simples. Além das dificuldades derivadas das atividades antrópicas e das rápidas transformações que ocorrem nas cicatrizes dos deslizamentos, há problemas associados à própria complexidade dos fenômenos, onde muitos movimentos são deflagrados como escorregamentos translacionais e se transformam gradativamente em corridas de massa devido ao excesso de água (por ex., Kochel, 1987).

Em determinadas áreas, fenômenos da geodinâmica superficial (movimentos de massa, enchentes, etc.) podem ocorrer de forma intensa e frequente e não constituir riscos, pois não há nenhuma ocupação humana no local.

Entretanto, se houver algum tipo de ocupação por moradias, lavouras ou qualquer obra de infra-estrutura, o fenômeno natural poderá provocar um acidente com perdas e danos

econômicos e até com vítimas fatais. Desta forma, o evento natural constitui um risco quando provoca um acidente (Cooke e Doornkamp, 1990).

Precipitação Pluviométrica

As nuvens nada mais são que massas concentradas de gotículas de água suspensas. Tais gotículas são formadas em consequência da condensação do vapor d'água ao redor de pequenas partículas presentes na atmosfera.

As condições físicas para a condensação são estabelecidas pela expansão das correntes de ar em ascensão que se esfriam com a altitude e perdem a capacidade de reter vapor d'água. Verifica-se que a ocorrência de chuvas tem ligação direta com a rapidez com que as massas de ar se esfriam, intensificando o crescimento do tamanho da gotícula pela condensação e aglutinação, até a instabilidade da sustentação no ar e a consequente queda pela ação da força da gravidade, caracterizando a precipitação pluviométrica.

Tipos de Precipitação Pluviométrica

As precipitações podem ser grupadas em três tipos fundamentais, em função dos agentes que lhes dão origem.

- Precipitação Orográfica

As massas de ar úmido e quente que se formam sobre os continentes ou sobre os oceanos, com grandes quantidades de vapor d'água decorrentes dos processos de evaporação, podem ser deslocadas pelos ventos contra barreiras orográficas (montanhas ou cordilheiras). O contato com essas barreiras defletem rapidamente essas massas para o alto, fazendo com que se esfriem e sofram os processos de condensação e precipitação.

Pela rapidez com que a massa de ar se eleva, dependendo da topografia e quantidade de umidade, pode gerar chuvas muito intensas.

- Precipitação Ciclônica

Existem grandes áreas da superfície terrestre que apresentam características térmicas e de umidade uniformes que são transmitidas gradativamente às massas de ar acima estagnadas ou que sobre elas se deslocam lentamente. Essas massas de ar, em grande volume e extensão, passam a apresentar também, características térmicas de umidade que as caracterizam.

Em geral, essas massas de ar formam-se em regiões como o Ártico, a Antártica, a Patagônia, o Pantanal Mato-grossense, o Deserto do Saara, e outros, e podem se encontrar umas com as outras, à medida que se deslocam sobre o globo terrestre.

Quando duas massas de ar de diferentes temperaturas se encontram, a tendência será a formação de uma cunha da massa de ar mais fria sob a massa mais quente, empurrando-a para cima.

Forma-se uma grande superfície frontal cuja linha de contato com a crosta terrestre chama-se frente.

Em decorrência da oposição das duas massas, a de maior energia empurrará a outra, e se chamará fria ou quente, conforme seja mais fria ou quente com relação à outra massa de ar.

Quando houver equilíbrio energético, a frente criada chama-se “frente quase estacionária”.

O ar quente é empurrado para o alto, configurando-se as condições favoráveis à condensação e à precipitação.

As chuvas ciclônicas são, em geral, pouco intensas e muito duráveis.

- Precipitação Convectiva

Resulta da ascensão do ar úmido e quente, em regiões de clima quente, em função da densidade, criando um processo de convecção térmica.

Tal fenômeno cria uma célula de convecção onde o ar quente sobe rapidamente pelo centro da nuvem, esfriando-se, propiciando a condensação e a precipitação. Quando o ar mais seco chega ao topo da nuvem, após a perda de umidade, diverge para a atmosfera retornando ao solo de forma convergente por baixo da nuvem, realimentando-a de umidade carregada do ar adjacente à célula de convecção.

Novamente, o ar úmido sobe, e o ciclo se repete até que a intensidade de realimentação diminua.

As chuvas convectivas são geradas a partir de nuvens de grande desenvolvimento vertical (cumulu nimbus), ocorrendo com muita intensidade em períodos curtos, promovendo uma varredura na umidade atmosférica, deixando geralmente, ao seu término, o céu límpido e tempo bom.

Geotecnologias

Vários são os processos que atuam sobre a superfície da terra e que são responsáveis pelo esculpamento das formas de relevo, tais como: erosão, movimentos de massa, (rastejos, corridas, quedas de blocos, escorregamentos), cheias, enchentes.

Christofoletti (1979) refere-se aos processos morfogenéticos como os responsáveis pela esculturação das formas de relevo, representando uma ação dinâmica externa sobre as vertentes.

Segundo Infanti Jr & Forsinari Filho (1998) citando Embleton & Thornes (1979) estes definem que em geomorfologia, os processos configuram as ações dinâmicas ou eventos que envolvem forças de vários gradientes, sendo a chuva, ondas, rios, marés, vento, gelo, os agentes mais importantes. Esses processos são portadores de uma certa complexidade, refletindo a interligação entre variáveis como clima, geologia, morfologia, como também evolução no tempo.

Constata-se a partir do exposto que existe uma complexidade espaço-temporal na manifestação de tais processos, e que suas implicações variam de acordo com a escala e o período de análise.

Marques (1998) ressalta que “um processo ou um conjunto de processos geomorfológicos, que se interligam ou interagem, quando ativados, são identificados e caracterizados por executar tipos de ações que se repetem, obedecendo a comportamentos que lhes são peculiares. A dinâmica de seus trabalhos é atrelada às frequências, intensidades e magnitudes que norteiam o modo de sua atuação”.

Desta forma, Infanti, Jr & Forsinari Filho (1998) evidenciam que os processos da dinâmica superficial do planeta, constitui-se no resultado de múltiplas interações entre fatores físicos, químicos e biológicos, e mais recentemente o homem torna-se um forte agente interventor em tais processos.

O que se costuma classificar como ação antrópica, resultado dos aspectos

socioeconômicos, culturais e tecnológicos, essa intervenção humana para os geólogos russos de acordo com Rhode (1996) constitui-se em um novo período da história evolutiva da terra o que eles denominaram de “Quinário” ou “Tecnógeno”, assim “o Quaternário seria o período do aparecimento do homem e o Quinário, o homem sobrepondo-se em relação à natureza”.

Portanto o mapeamento das áreas de risco é essencial para espacializar onde ocorrem os problemas no município e permitir saber quais os processos ocorrem e como se dão. Ao mesmo tempo, é necessário acompanhar a evolução temporal através de correlação e monitoramento. Possuir um cadastro e sistema de informações geográficas, apoiado por banco de dados georreferenciados constantemente atualizado, auxilia bastante a tarefa de planejar e gerir medidas estruturais, que consistem em obras de engenharia ou não-estruturais, por controle de uso e ocupação do solo e direitos de uso de imóveis (Geissler et al, 2008).

A aplicação de técnicas de geoprocessamento é extremamente útil para o planejamento municipal, pois reúne aplicativos que permitem coletar, armazenar, recuperar, transformar inferir e representar visualmente dados espaciais e também estatísticos ou textuais a eles relacionados, a partir de uma base de dados georeferenciada (Xavier, 2000).

Uma das principais ferramentas para o gerenciamento de desastres são as geotecnologias, representadas especialmente pelo Sistema de Informação Geográfica (SIG) e o Sensoriamento Remoto. Através dessas geotecnologias pode-se coletar, armazenar e analisar uma grande quantidade de dados, que devido a complexidade dos desastres naturais, seriam praticamente inviáveis de serem tratados utilizando métodos analógicos e/ou tradicionais.

A aplicação de técnicas de geoprocessamento é extremamente útil para o planejamento municipal, pois reúne aplicativos que permitem coletar, armazenar, recuperar, transformar inferir e representar visualmente dados espaciais e também estatísticos ou textuais a eles relacionados, a partir de uma base de dados georeferenciada (Xavier, 2000).

O uso de um Sistema de Geoinformação para o monitoramento das áreas de risco é de grande importância, pois possibilita uma análise espacial das relações dos objetos geográficos através da combinação e do processamento de dados gráficos e descritivos, possíveis de serem armazenados e combinados com dados disponíveis sobre a superfície (Santos e Sá, 1983).

O geoprocessamento que integra um grande conjunto de técnicas e tecnologias fornecendo ferramentas como subsídio para o mapeamento de áreas de risco, integrando

enorme quantidade e variedade de dados geograficamente referenciados além de imagens obtidas por sensores orbitais com baixos custos financeiros e com alta resolução temporal, deve ser realizado de tal forma a produzir um sistema capaz de gerar informações geograficamente referenciadas de fácil utilização, com boas ferramentas de análises geográficas e que não seja oneroso durante as etapas de implementação, implantação e manutenção (Moraes et al, 2007).

CAPÍTULO 2 - METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos adotados foram os seguintes: a primeira fase do trabalho foi marcada por um levantamento e pela análise de fontes bibliográficas documentais para fundamentação teórica.

Foram realizadas pesquisas em:

- Bibliotecas;
- Instituições Públicas e Privadas;
- Internet;
- Trabalhos de Campo.

A definição da escala cartográfica, 1:50.000, para expressão dos resultados considerou características da região e a disponibilidade de dados.

Obtenção e Processamento dos Dados

De acordo com a extensa pesquisa bibliográfica executada, foram levantadas as variáveis que integram o modelo, ou condicionantes dos escorregamentos (deslizamentos), em função de sua importância como fator predisponente para a detonação do processo, embasada, principalmente, pelo Relatório 26.504 do IPT (Augusto Filho et al 1988). Estas variáveis são:

- Declividade
- Geologia
- Vegetação
- Precipitação (erosividade da chuva)

Elaboração dos Mapas Temáticos

Base Cartográfica

A base cartográfica foi criada a partir da individualização das informações referentes ao município de Muqui. As estradas e a rede hidrográfica foram obtidas dos arquivos digitais do IBGE referentes às cartas topográficas Muqui (SF-24-V-A-V-3), Cachoeiro do Itapemirim (SF-24-V-A-V-4), Mimoso do Sul (SF-24-V-C-II-1) e Presidente Kennedy (SF-24-V-C-II-2) (Figura 4).

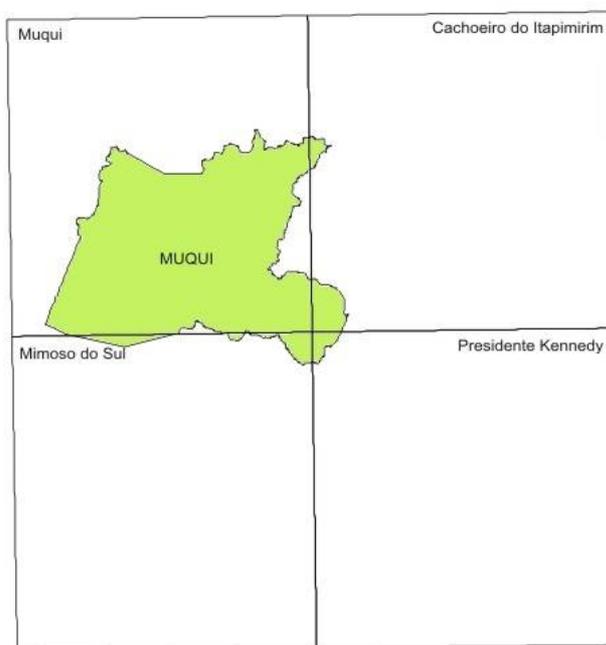


Figura 4 – Articulação das cartas topográficas da área de estudo

As informações topográficas, curvas de nível, foram obtidas por processamento do modelo digital do sensor ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) do satélite Terra - ASTGTM_S21W042 e ASTGTM_S22W042 (Figura 5). O MDT foi processado pelo software Global Mapper 9.0 após a transformação do sistema de projeção para UTM, datum SAD69.

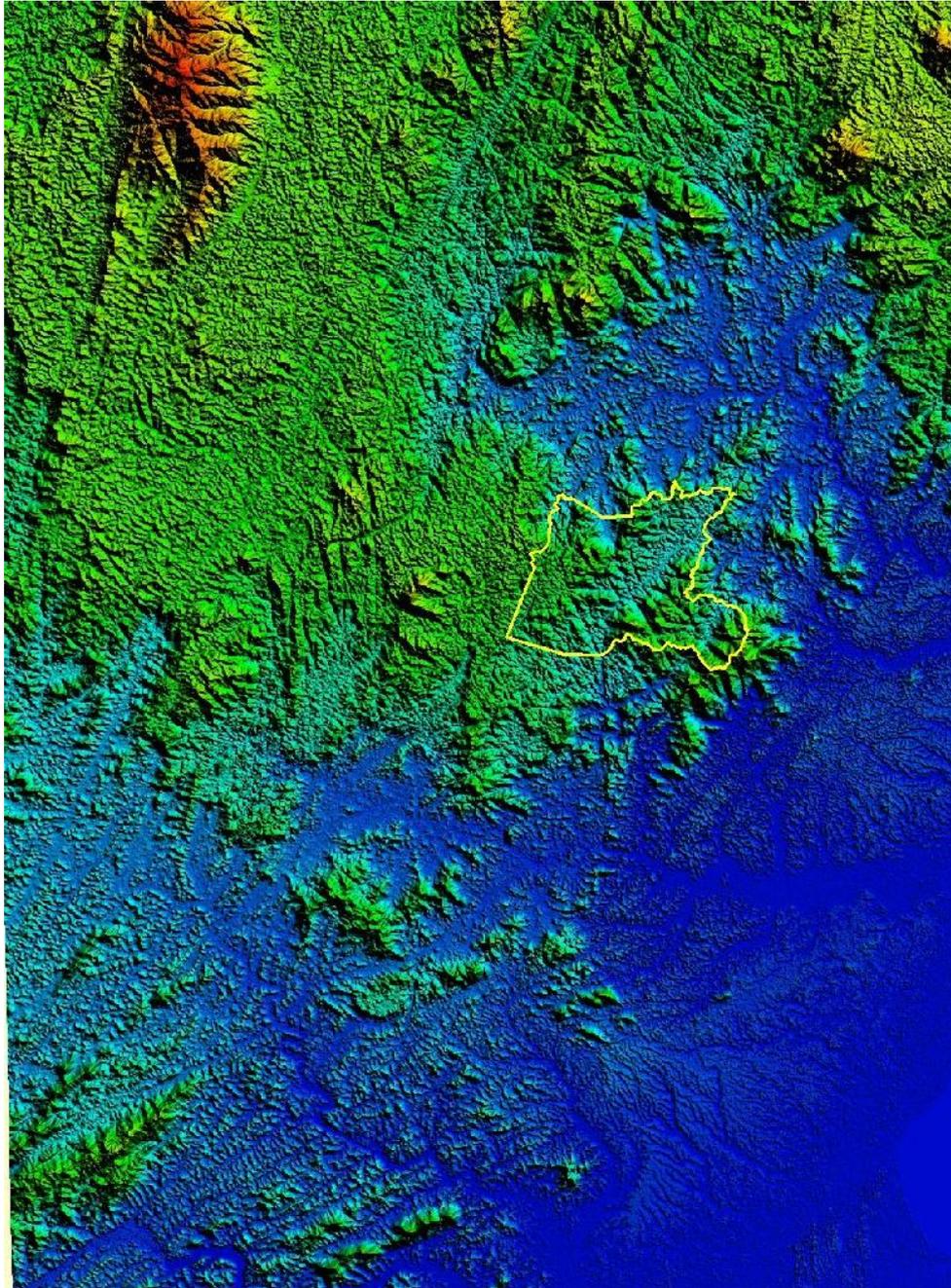


Figura 5 – Representação colorida do modelo digital de terreno do sensor ASTER/TERRA.

As curvas de nível foram obtidas por interpolação do MDT adotando-se uma equidistância de 20 metros.

Mapa de declividade

O mapa de declividade foi obtido a partir da interpolação das curvas de nível gerando um rede triangular (TIN) fazendo uso da extensão 3d Analyst do software ArcView 9.2 (Figura 6).

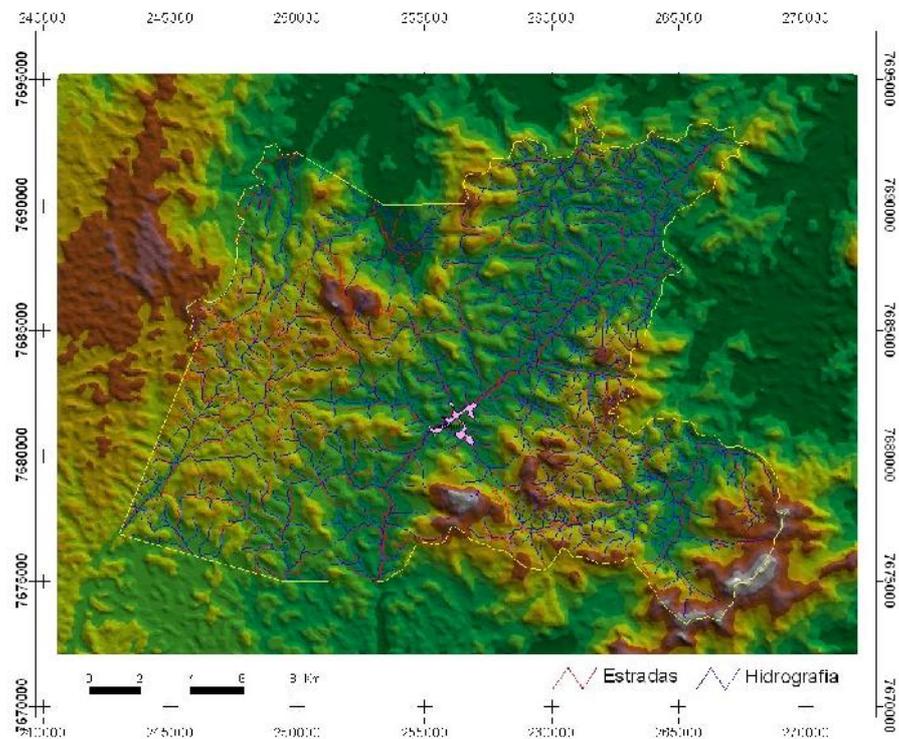


Figura 6 – Representação colorida do modelo digital de terreno obtido pela função TIN da extensão 3D Analyst do ArcGis.

Após a criação do modelo TIN a declividade foi calculada automaticamente e posteriormente reclassificada em intervalos, equivalentes às classes de declividade utilizadas por Augusto Filho et al (1988).

Classes de declividade:

- 0° a 20°
- 20° a 30°
- 30° a 45°
- 45° a 90°

Mapa Geológico

O mapa geológico foi obtido por digitalização (vetorização) das classes de geologia do mapa do Projeto Radam-Brasil.

Mapa de Vegetação

O mapa de vegetação foi elaborado a partir dos dados do mapeamento, em meso escala de detalhamento (1:250.000), do bioma Mata Atlântica e ecossistemas associados (PROBIO, 2007).

Precipitação

Os dados de precipitação utilizados foram acessados na base de dados do WorldClim, versão 1.4 Global Climate Surface (Hijmans et al., 2005) dispostos em 12 camadas de precipitação (12 meses). A resolução é de aproximadamente 1km. O banco de dados mundial do WorldClim consiste em 47.554 estações de medição para a precipitação (Figura 7) e 14.835 para a temperatura mínima e máxima. As superfícies climáticas foram calculadas por meio da média de um período de aproximadamente 50 anos (1950/2000), período que pode mudar conforme a disponibilidade de dados das estações meteorológicas para uma dada região.

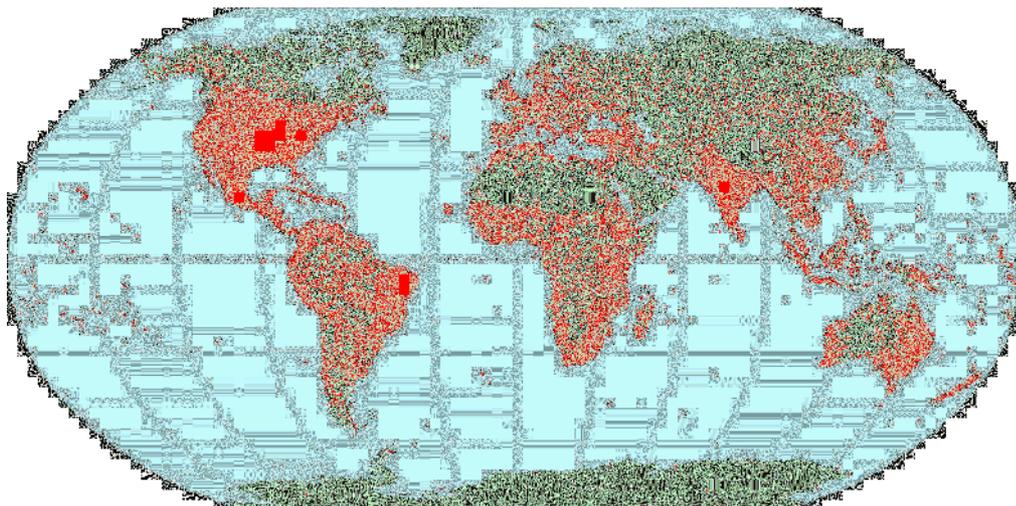


Figura 7 – Localização das Estações Meteorológicas com dados de precipitação (Fonte: <http://www.worldclim.org/methods>)

Erosividade da Chuva (R)

A erosividade da chuva foi obtida de acordo com Lombardi Neto e Moldenhauer (apud Bertoni e Lombardi Neto, 1990) que propuseram uma equação que determina um valor médio do índice de erosividade por meio da relação entre a média mensal e a média anual de precipitação:

$$EI_{30} = 67,355 (r^2 / P)^{0,85} \quad \text{onde,}$$

EI_{30} = média mensal do índice de erosividade, em MJ.mm/(ha.h);

r = média do total mensal de precipitação, em mm;

P = média do total anual de precipitação, em mm.

Para determinação de R, soma-se o resultado dos valores mensais do índice de erosividade em cada estação pluviométrica:

$$R = \sum_{j=1}^{12} EI_{30j}$$

Os dados de erosividade da chuva foram redefinidos para 5 classes:

- 5684 a 5888
- 5888 a 6092
- 6092 a 6296
- 6296 a 6500
- 6500 a 6704

DEFINIÇÃO DOS PESOS DOS MAPAS TEMÁTICOS

Foram atribuídos os pesos para os condicionantes do meio físico que influenciam a ocorrência dos escorregamentos (deslizamentos) na área de estudo.

Considerando a importância de cada condicionante nos processos de movimento de massa e erosão acelerada foram definidos os seguintes pesos (Tabela 2):

Tabela 2 – Pesos associados aos condicionantes do movimentos de massa

Condicionante	Peso
Declividade	0,5
Vegetação	0,2
Geologia	0,3

Como pode ser visto na tabela anterior, o condicionante que recebeu o maior peso foi a declividade. A vegetação recebeu o segundo maior peso, já que a ausência da cobertura vegetal potencializa o processo, constituindo, portanto, num importante fator para a suscetibilidade. A geologia recebeu um peso menor, pois sua importância só será efetiva nas áreas sem cobertura vegetal.

Notas das classes dos mapas temáticos

Após a determinação dos pesos dos condicionantes foram atribuídas notas para as classes dos mapas temáticos.

As notas atribuídas às classes da variável geologia foram (Tabela 3):

Tabela 3 – Notas atribuídas às classes de geologia

Classe Geologia	Nota
pCapgg- Gnaisses migmatizados ou não blastomilonitos, com foliação de plano axial de forte ângulo e evidências de transposição, gnaisses facoidais, lentes de metabásicas, de mármores e metaultrabásicas. Áreas miloníticas com lentes de quartzitos. Áreas quase totalmente homogeneizadas no Ciclo Brasileiro.	2

p€Ysa - Granitos pórfiros grosseiros, secundariamente sienitos, em geral cataclásticos nas bordas dos maciços; rochas básicas e intermediárias	1
p€Yes - Granitos pós-tectônicos em geral cinza e de granulação média a fina. Granodioritos e tonalitos. Granitos sintectônicos com domínios restritos migmáticos	1
af - Filitos, metassiltitos, muscovita xistos, metarenitos, calcários, metaconglomerados e anfibolitos.	4
p€tvqz - Hornblenda gnaisses, anfibolitos, sillimanita-granada-biotita gnaisses, bandeados ou não, com lentes de metaultrabásicas, quartzitos, mármore e calcossilicáticas	2
p€ps - Gnaisses bandeados predominantemente tonalíticos, migmatitos, em geral estromáticos, com ampla cataclase e recristalização, com foliação de plano axial de forte ângulo e evidências de transposição; lentes e quartzitos, calcossilicáticas, metabásicas, anfibolitos e mármore. Sillimanita-granada-gnaisses. Rochas enderbíticas a charnockíticas. Gnaisses granitóides de composição granítica a tonalítica. Sillimanita-granada gnaisses granitóides	2

As notas atribuídas às classes da variável declividade foram (Tabela 4):

Tabela 4 – Notas atribuídas às classes de declividade

Classe Declividade	Nota
0 a 20°	1
20° a 30°	3
30° a 45°	4
45° a 90°	5

As notas atribuídas às classes da variável vegetação foram (Tabela 5)

Tabela 5 – Notas atribuídas às classes de vegetação

Classe Vegetação	Notas
Floresta Ombrófila Densa	1
Floresta Estacional Semidecidual	1
Vegetação Secundária Inicial	2
Refúgio Montano	1
Refúgio Submontano	1
Agricultura + Pastagem	5
Pecuária (Pastagem)	4

A identificação das áreas com as diversas classes de suscetibilidade foi realizada utilizando um algoritmo do tipo média ponderada fazendo uso da extensão Spatial Analyst do ArcGis 9.2.

Este tipo de classificação foi utilizada para processar a superposição de mapas temáticos no formato matricial (raster), através da aplicação do algoritmo:

$$\sum_{i=1}^n (Pid \cdot Vid)$$

Rd = suscetibilidade de deslizamento em cada célula da matriz "raster";

n = número de mapas temáticos que contemplam as variáveis que vão influenciar na determinação do risco de deslizamento;

Pid = peso que reflete a importância do mapa i no fenômeno d;

Vid = valor(nota) atribuído a classe da célula no mapa temático i.

Após a elaboração do mapa de suscetibilidade a ocorrência de deslizamentos, foi realizado o cruzamento com o mapa de erosividade da chuva, gerando um novo mapa onde as classes de suscetibilidade foram expressas em três níveis.

Trabalhos de Campo

Em visita ao local, no período de 25 a 27 de junho de 2009, foi realizado o registro fotográfico georeferenciado de alguns deslizamentos ocorridos recentemente em Muqui.

CAPÍTULO 3 - ASPECTOS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 - Histórico

As terras do município eram primitivamente habitadas pelos índios Puris, que permaneceram na região até fins de 1858.

Por volta de 1853, os colonizadores fundaram, às margens do ribeirão Muqui pequena povoação, conhecida por Arraial dos Lagartos.

A colonização teve início em meados do século XIX, quando fazendeiros vindos do Vale do Paraíba se fixaram no sopé da serra dos Pirineus, no vale do Sumidouro, surgindo na fazenda Santa Teresa do Sumidouro o primeiro núcleo populacional.

Sumidouro é um fenômeno natural, onde o rio desaparece debaixo de um lajedo de pedra, reaparecendo 800 metros depois, já em outro Município, foi lá onde iniciou-se a comunidade de Muqui.

A palavra muqui é de origem indígena e significa “entre morros”. Uma perfeita alusão à posição geográfica do Município que se apresenta resguardada entre majestosas formações montanhosas.

Uma cidade encravada nas serras do Espírito Santo, envolvida pelo verde escuro das matas, apresentando-se como o maior e mais significativo Sítio Histórico do Estado (Figura 8).

Está a 175 km de Vitória, capital do Espírito Santo e sua história começa em 1850, com a chegada de imigrantes vindos do Vale do Rio Paraíba a procura de novas terras para o plantio do café. Inúmeras fazendas se formaram e em 1901 chega, ao então Arraial, a Estrada de Ferro Leopoldina. Com a inauguração da estação ferroviária em 1902, que foi um marco definitivo para a economia local, alavancando um grande desenvolvimento, que resultou na malha urbana hoje existente. Também neste ano, o arraial passou a denominar-se estação de

Muqui, posteriormente alterado para São João do Muqui, caracterizado o Padroeiro do município e o ribeirão que banha a Cidade.

Elevado à categoria de vila com a denominação de São João do Muqui, pela lei estadual nº 826, de 22-10-1912, foi desmembrado de Cachoeiro de Itapemirim. Sede na vila de São João do Muqui.



Figura 8 - Vista aérea de Muqui - ES

Nos quadros do recenseamento geral de 1920, São João de Muqui, figura como distrito de Cachoeiro de Itapemirim.

Dez anos depois, foi desmembrado de Cachoeiro de Itapemirim, passando a chamar-se São João do Muqui (alteração toponímica municipal: São João do Muqui para Muqui teve sua denominação simplificada, pelo decreto-lei estadual nº 15177, de 31-12-1943).

Elevada à condição de cidade com a denominação de São João de Muqui, pela lei estadual nº 1385, de 05-07-1923.

Em divisão administrativa referente ao ano de 1933, o município é constituído de 2 distritos: São João do Muqui e São Gabriel do Muqui.

Em função das fazendas de café, Muqui viveu um período de muita riqueza nas décadas de 20 e 30 do século XX, construíram-se casarões, sobrados e palacetes, formando um belíssimo conjunto arquitetônico com características da arquitetura eclética requintada. Atualmente Muqui apresenta 186 imóveis tombados pelo Patrimônio Histórico, preservando um valioso Sítio Histórico, embelezado pelo Jardim Municipal.

3.2– Características

O município possui 311,4 Km² de área.

A sede do município está a uma altitude, aproximada de 200 m, mas a altitude máxima está entorno de 1340 m na Serra de Santa Maria.

A população é de 14.322 habitantes (estimativa das populações residentes, em 1º de julho de 2008, segundo o município).

Quanto ao clima, está classificado como tropical sub-úmido, com temperatura média anual entorno de 23⁰ C, passando dos 35⁰ C no verão e podendo chegar a 14⁰ C no inverno.

3.3– Vegetação

Região da Floresta Estacional Semidecidual

O conceito ecológico da Região da Floresta Estacional, segundo Veloso & Góes Filho (1982), está preso ao clima de duas estações, uma chuvosa e outra seca, que condicionam uma estacionalidade foliar dos elementos arbóreos dominantes, os quais têm adaptação fisiológica à deficiência hídrica ou à baixa temperatura, durante certo tempo.

No caso da Floresta Semidecidual, a percentagem de árvores caducifólias no conjunto florestal, e não das espécies que perdem folhas individualmente, deve situar-se em torno de 20 a 50% na época desfavorável.

Nesses ambientes, a intensa ação do homem praticamente substituiu a cobertura vegetal original por agricultura (Figura 9) e pastagens, restando ainda algumas manchas de vegetação secundária.

Atualmente, ainda se encontram nos locais de difícil acesso ou protegidos por lei pequenos agrupamentos remanescentes das formações aluvial, das terras baixas, submontana e montana.



Figura 9 - Ambiente com café em estágio de degradação intenso, início de voçorocas em Muqui, ES.

3.4 – Solos

3.4.1- Latossolo Vermelho-Amarelo

Compreende solos minerais, não hidromórficos com horizonte B latossólico, apresentando relação molecular K_i baixa, inferior a 1,9, de coloração variando do vermelho ao amarelo e gamas intermediárias. Os solos, de textura argilosa são normalmente muito profundos ou profundos, com sequência de horizontes A, B e C e com transições entre os subhorizontes difusas e graduais, acentuadamente a bem drenados.

Em sua maior parte estes solos da área são álicos, ou seja, com percentagem de saturação com alumínio superior a 50%, atingindo até valores próximos a 95%. Os solos distróficos, com saturação de bases inferior a 50%, ocupam também posição de importância na área, enquanto os eutróficos não foram identificados neste nível de trabalho.

Apresentam avançado estágio de intemperismo, com predominância de minerais de argila do tipo 1:1, baixa quantidade de minerais primários e baixa reserva de elementos nutritivos para as plantas. A relação silte/argila é menos que 0,70, o grau de floculação é normalmente igual ou próximo a 100%, refletindo o alto grau de agregação dos colóides, o que torna o solo muito poroso, propiciando maior resistência à erosão.

Estes solos, apesar do relevo bem movimentado que possuem, são bastante utilizados como pastagens, culturas de café e milho (Figura 10).



Figura 10 - Presença de Latossolo Vermelho-Amarelo com uso de café conilon e pastagem em alto nível de degradação (solo exposto) no PA Monte Alegre, Muqui, ES.

3.4.2- Luvisolo Vermelho Escuro

Compreende solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B textural, na maioria das vezes vermelho-escuro, bruno-avermelhado, bruno-avermelhado-escuro, vermelho e muito raramente vermelho-amarelado.

São predominantemente eutróficos, apresentando horizonte A moderado.

São solos bem a moderadamente drenados, variando de rasos a muito profundos. A textura varia de argilosa a arenosa na parte superficial e franco arenosa ou mais fina no horizonte B, chegando até a muito argilosa.

De um modo geral, a maior parte do horizonte B destes solos apresenta matiz 5YR ou mais vermelho com valor igual ou menor que 4 e croma menor ou igual a 6, ou seja, cores mais avermelhadas, mais escuras e menos vivas, que os Podzólicos Vermelho-Amarelos (Figura 11).



Figura 11 - Ambiente de ocorrência de Luvisolo Vermelho-Amarelo em áreas de relevo suave ondulado e uso de café conilon, milho, banana em Muqui, ES.

3.4.3- Chernossolos

Compreende solos minerais, com horizonte B textural, não hidromórficos, argila de atividade alta, horizonte A chernozêmico e com nítida diferenciação entre os horizontes A e B devido à diferença de cor, estrutura e textura entre esses horizontes.

O horizonte A chernozêmico apresenta valores e cromas entre 2 e 3 quando úmidos e valores de 3 a 4 e cromas 2 a 3,5 quando secos. O horizonte B é geralmente argiloso com estrutura em blocos ou prismática.

São praticamente neutros, com pH em H₂O em torno de 7,0 e medianamente profundos. A saturação de bases é alta, o alumínio trocável é praticamente ausente, a capacidade de troca de cátions após correção para carbono é sempre maior que 24 mE/100 g de argila e a relação molecular Ki é sempre superior a 2,2.

São moderadamente a bem drenados e se localizam em pequenas áreas de relevo forte ondulado e/ou montanhoso próximas a Cachoeiro de Itapemirim-ES e Itaperuna-RJ.

Quanto ao uso atual, são aproveitados principalmente com pastagens e culturas de milho e café. Apresentam alta fertilidade, com boa reserva de nutrientes para as plantas, segundo a Vegetação, se encontram sob Florestas Estacionais Semidecidual e Decidual (Subcaducifolia e Caducifolia).

3.4.4- Neossolos Regolíticos

Compreendem solos minerais, pouco desenvolvidos com aproximadamente 20 a 40 cm de profundidade, assentes sobre rochas consolidadas, pouco ou nada meteorizadas. Abrangem portanto desde solos com horizonte A assente diretamente sobre camada rochosa até solos com horizonte B relativamente desenvolvido, porém pouco espesso. Aqui a denominação é extensiva também a solos que não estão assentes diretamente sobre rochas consolidadas próximas à superfície, porém a quantidade de cascalho, calhaus e matacões pouco decompostos é maior do que a de terra.

Na área estudada estes solos apresentam horizonte A moderado e fraco, ocorrendo também A chernozêmico e húmico. A textura é normalmente média e em alguns casos argilosa.

Quanto ao uso, são pouco cultivados, apresentando bastante pedregosidade e/ou rochoso na superfície ou na massa do solo, grande suscetibilidade à erosão e normalmente ocupando relevo acidentado de difícil acesso.

3.5- Geomorfologia

3.5.1 - Domínio das Faixas de Desdobramentos Remobilizados

As Faixas de Desdobramentos Remobilizados caracterizam-se pelas evidências de movimentos crustais, com marcas de falhas, deslocamentos de blocos e falhamentos transversos, impondo nítido controle estrutural, sobre a morfologia atual. Este controle estrutural pode ser evidenciado pela observação das extensas linhas de falha, escarpas de grandes dimensões e relevos alinhados, coincidindo com os dobramentos originais e/ou falhamentos mais recentes, que por sua vez atuaram sobre antigas falhas. Os processos morfoclimáticos que têm submetido todo o conjunto não obliteraram os traços das estruturas primárias.

3.5.2- Região da Mantiqueira Meridional

O relevo se apresenta influenciado por intenso tectonismo, com soerguimentos de blocos e falhamentos, dispostos no sentido NE-SO. Desenvolve-se sobre rochas proterozóicas dos Complexos Amparo e Paraisópolis, granitizadas no Ciclo Brasileiro, assim como intrusões de granitos e intrusivas alcalinas.

3.5.3- Unidade Patameres Escalonados do Sul Capixaba

Nos Patameres Escalonados do Sul Capixaba distinguiram-se três compartimentos morfológicos alicerçados sobre gnaisses, kinzigitos, quartzitos e alguns granitóides. Tais compartimentos compreendem o patamer oriental, o topo do planalto e o patamar ocidental.

O patamar oriental, localizado entre o topo do planalto, a oeste, e as Colinas e Maciços Costeiros, a leste possui características de um elevado bloco basculado para leste. É distinto pela presença pronunciada de sulcos estruturais, orientados no sentido aproximado norte-sul, e falhas menores inter cruzadas, apresentando conseqüentemente maiores extensões de formas diferenciais, notadamente próximo à borda leste, onde as encostas são marcadas por falhamentos, evidenciados nos planos de falhas existentes em quase toda a sua extensão. A pequena profundidade da alteração, inferior a 2 m, denuncia também o controle da estrutura na esculturação do relevo, fato atestado ainda nas formas alongadas e pela presença de grandes blocos arestados nas encostas. Os pontões rochosos, constituem feição notável dos modelados diferenciais desse setor. Os rios são encaixados geralmente possuindo leitos pedregosos e encaichoerados. Destacam-se os rios Batatal, Galo e das Farinhas, alinhados num sulco estrutural descontínuo, sem ligação entre si. São visíveis os sinais de escorregamento de terra e intensos ravinamentos proporcionados pelas espessas formações superficiais, classificadas como Latossolo e Luvisolo, e pela devastação da vegetação florestal primitiva, substituída pela vegetação secundária em palmeiras e pastagens.

O topo do planalto adquire aspectos dissecados mais homogêneos. O aprofundamento da drenagem atinge em média pouco mais de 50 m, com uma densidade fina. As formas são alongadas, as encostas retilíneas ou convexas e os topos assumem feições convexizadas. A espessura do manto de alteração nesta área é maior que na parte leste da unidade. O colúvio de cor amarelada e textura argilo-arenosa que recobre parte destes alteritos aparece geralmente da meia encosta para os sopés, podendo ser vistos blocos rochosos arredondados no meio desta massa. Os fundos de vales são geralmente colmatados por material vindo das encostas, formando alvéolos de pequena extensão lateral por onde correm pequenos rios

meandranes, aprofundados em cerca de 1,5 m. Estes alvéolos são bastante utilizados pelas comunidades locais no plantio de hortaliças e arroz. Os sinais de movimentos de massa são constantes em toda a área.

3.6 - Geologia

3.6.1- “Suíte” Intrusiva Espírito Santo

As observações de campo nos domínios desta “suíte” permitem identificar tanto tipos orientados, com cataclase e recristalização parcial, característicos da fase sintectônica, quanto corpos homogêneos, de contornos circulares e contatos bruscos e discordantes das encaixantes, nitidamente de natureza pós-tectônica.

As áreas granitóides do Estado do Espírito Santo, principalmente aquela mais a oeste, possuem características semelhantes às dos granitos sintectônicos do “ Batólito Serra dos Órgãos”, porém, devido à insuficiência de dados de campo, litoquímicos e geocronológicos, optou-se por alocá-las no Complexo Paraíba do Sul.

3.6.2- Complexo Paraíba do Sul

O Complexo Paraíba do Sul é uma entidade submetida a eventos tectonotermiais ao longo de todo o Pré-Cambriano. Constitui o embasamento do Cinturão Móvel Atlântico e dele procurou-se isolar, na medida do possível, unidades sabidamente supracrustais e de idades mais novas, como o Grupo Italva, o Complexo Embu e o Xisto Santana do Deserto. Por outro lado, devido à tectônica, essas rochas estão intimamente imbricadas com o embasamento, o que pode resultar na obtenção de valores de idades radiométricas anômalas, devido à seleção inadequada de amostras.

As rochas deste complexo, no Proterozóico Superior, foram submetidas a intensa deformação, oriunda de esforços compressivos de direção SE-NO e, certamente, de movimentos tangenciais, deles resultantes. No mesmo período sucederam-se também intrusões graníticas, granitização e potassificação generalizadas, eventos esses que transformaram quase que por completo as características anteriores das rochas.

Os gnaisses granitóides ocorrem amplamente no sul do Estado do Espírito Santo, distribuídos em três grandes faixas principais. A que se estende junto à costa apresenta estreita associação com os gnaisses granatíferos do Complexo Paraíba do Sul, em muitos casos assemelhando-se aos mesmos com estrutura homogênea. Em sua maioria, são de coloração

cinza-claro, granulação fina e média, localmente com “pórfiros” milimétricos esbranquiçados, xeno ou hipidiomórficos e algumas vezes granatíferos.

CAPÍTULO 4 - Resultados e Discussão

O estudo de deslizamentos considera, conforme o enfoque e a disponibilidade de dados, as variáveis climáticas, geológicas, antrópicas (estas relacionadas ao uso e cobertura do solo), geotécnicas, pedológicas e geomorfológicas.

4.1. Geologia

Com relação às condicionantes geológicas consideram-se a litologia da área e as suas características estruturais. O tipo de rocha define a permeabilização e, portanto, o tipo de drenagem e textura, além da resistência ao intemperismo. A presença de fraturas (tectônicas ou resultantes de alívio de pressão) apresentam importantes pontos de descontinuidade e menor resistência, constituindo-se em caminhos preferenciais à erosão e movimentos de massa. Muitas destas continuidades são formadas pelo alívio de pressão, encontrando-se intemperizadas, o que causa deslizamento de lajes (Wolle, 1988).

O granito rocha de ocorrência na área de estudo, junto com o gnaisse apresenta forte resistência ao intemperismo e baixas porosidade e permeabilidade, mas em regiões tropicais úmidas devido às características climáticas, este tipo de rocha é fortemente intemperizado, afetando preferencialmente as zonas de fragilidade, como juntas e cisalhamentos (Twidale, 1971; Twidale, 1982; Chorley et al., 1984).

A maioria dos corpos graníticos mapeados fazem parte do conjunto dos Maciços Granitos/Dioríticos e compõe-se litologicamente de granitos, granodioritos e dioritos.

Verifica-se que os gnaisses blandeados/migmatitos constituem quase a totalidade das rochas, ocorrendo em menor dimensão, quartzitos, anfibolitos, mármore, calcossilicatadas,

xistos e dioritos. Em menor proporção, porém distribuídos em quase todas as regiões, encontram-se os gnaisses migmatizados (Figura 12).

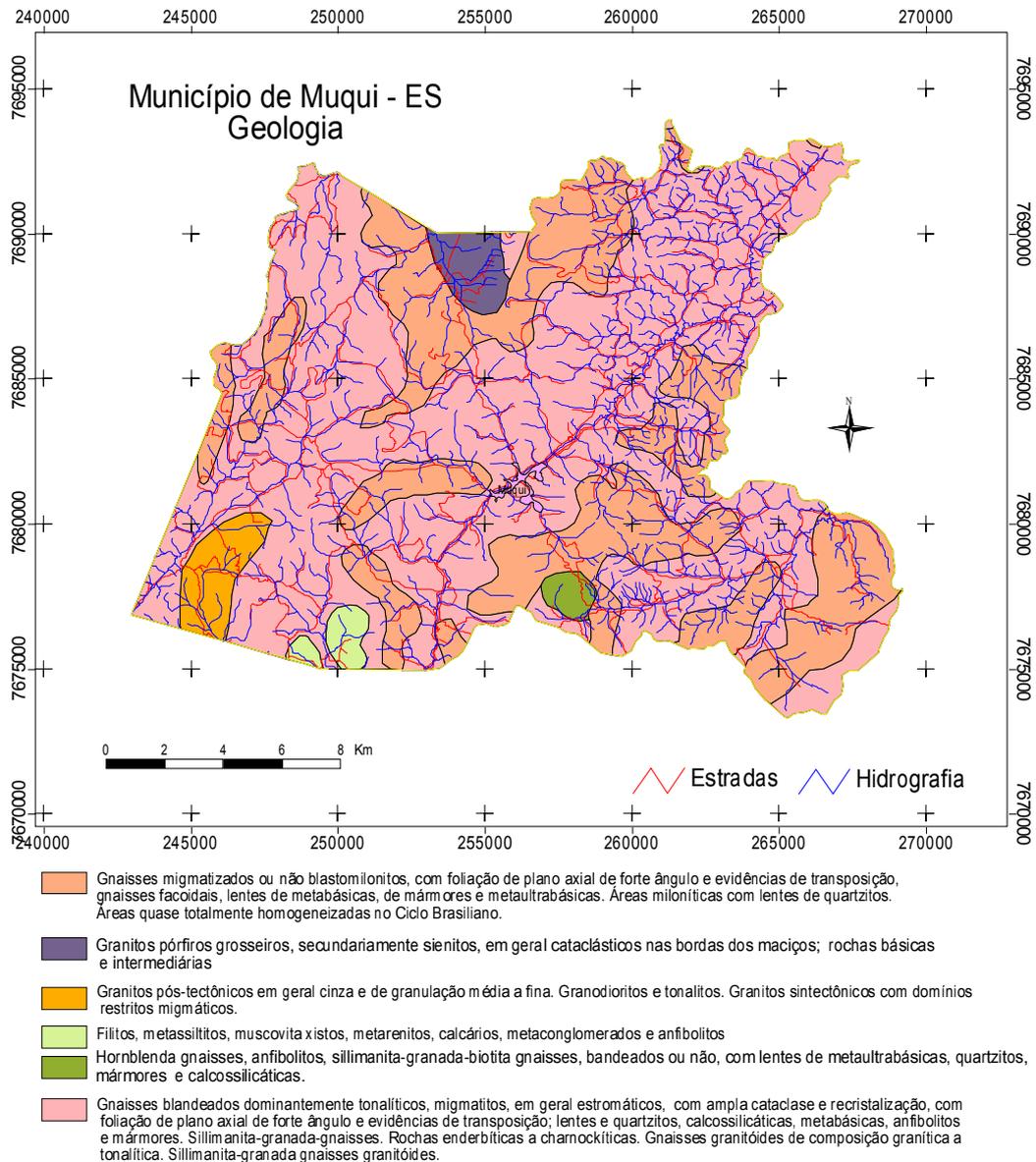


Figura 12 - Mapa de Geológico do município de Muqui-ES

4.2. Declividade

Quanto ao relevo, a maior influência está no comprimento e na declividade das vertentes. As mais íngremes facilitam a erosão dos solos, na medida em que aumentam o escoamento superficial.

A declividade fornece a medida de inclinação do relevo em relação ao plano do horizonte. A velocidade de deslocamento de material e, portanto, a capacidade de transporte de massas sólidas e líquidas, é diretamente proporcional à declividade (Figura 13). Esta variável tem grande importância nos processos geomorfológicos, condicionando cursos de água e deslocamento de colúvio (Christofolletti, 1974; Clark e Small, 1982; Tarboton et al., 1991; Crepani et al., 1999; Nogami, 1998). Há relação direta entre a dissecação do canal e a declividade. Assim, pode-se deduzir que regiões fortemente dissecadas (ou seja, com alta densidade de drenagem) e alta declividade apresentam maior número de pontos favoráveis a riscos de escorregamentos. As declividades acima de 30° apresentam risco de deslizamentos mais frequente.

Os fatores gravidade aliado a inclinação da encosta provocam rastejo na meia encosta e deslizamentos abruptos no topo e base das colinas.

Os principais fatores para a ocorrência de deslizamentos estão associados ao material instável em regiões de declive acentuado, ora refletindo em desmoronamento/escorregamento ora em movimentos lentos de rastejo.

A sede do município de Muqui situa-se às margens do rio Muqui, historicamente nas terras altas de sua margem esquerda, sobre colinas e encostas abruptas em direção as drenagens principais. Em sua margem direita o relevo é baixo, plano, formado pela planície de inundação rio.

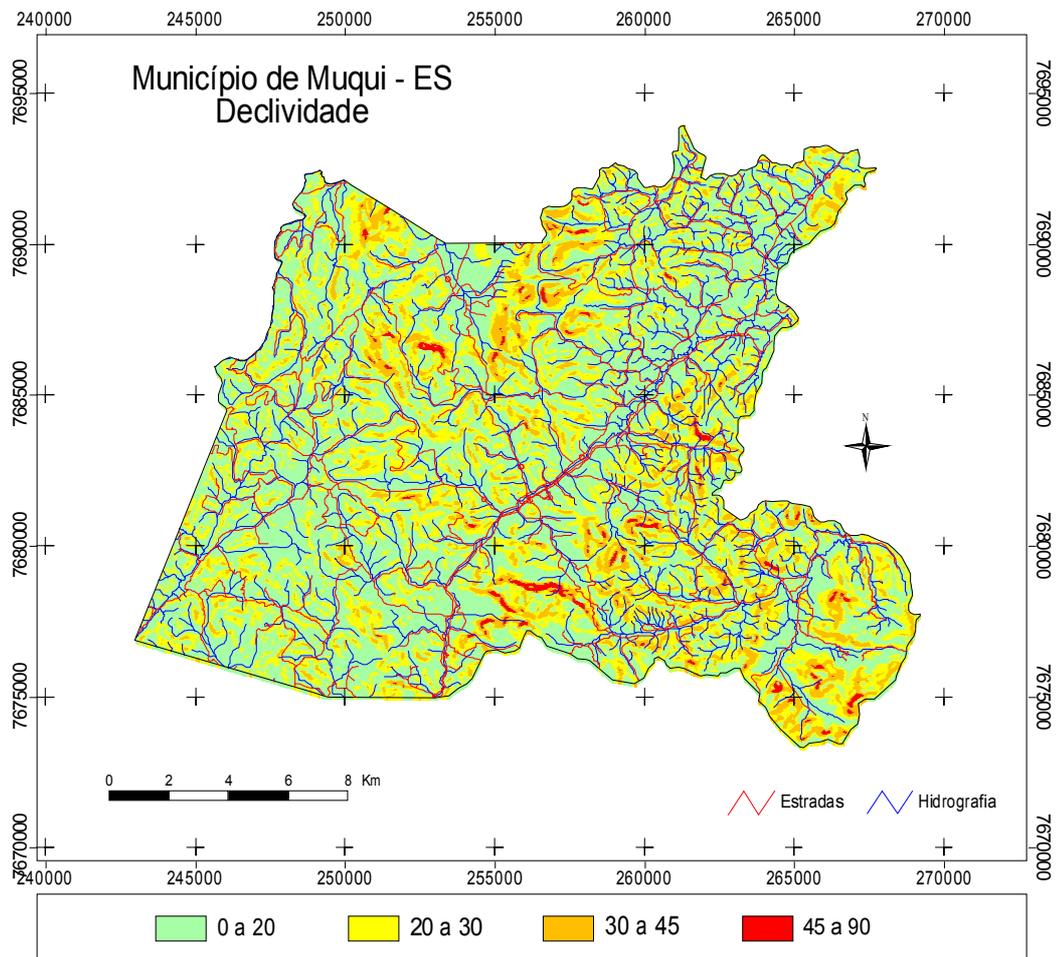


Figura 13 - Mapa de Declividade do Município de Muqui-ES

4.3. Erodibilidade da Chuva

A potencialidade das chuvas em causar erosão constitui, entre outros fatores, um parâmetro de identificação imprescindível nos estudos para predição de perdas de solo por erosão hídrica.

O mapa de precipitação média anual (Figura 14) destaca as áreas altas como aquelas com maior média pluviométrica, em função, basicamente, do efeito orográfico (chuvas de relevo). Nestas áreas há porções do terreno com médias superiores a 1300 mm de precipitação.

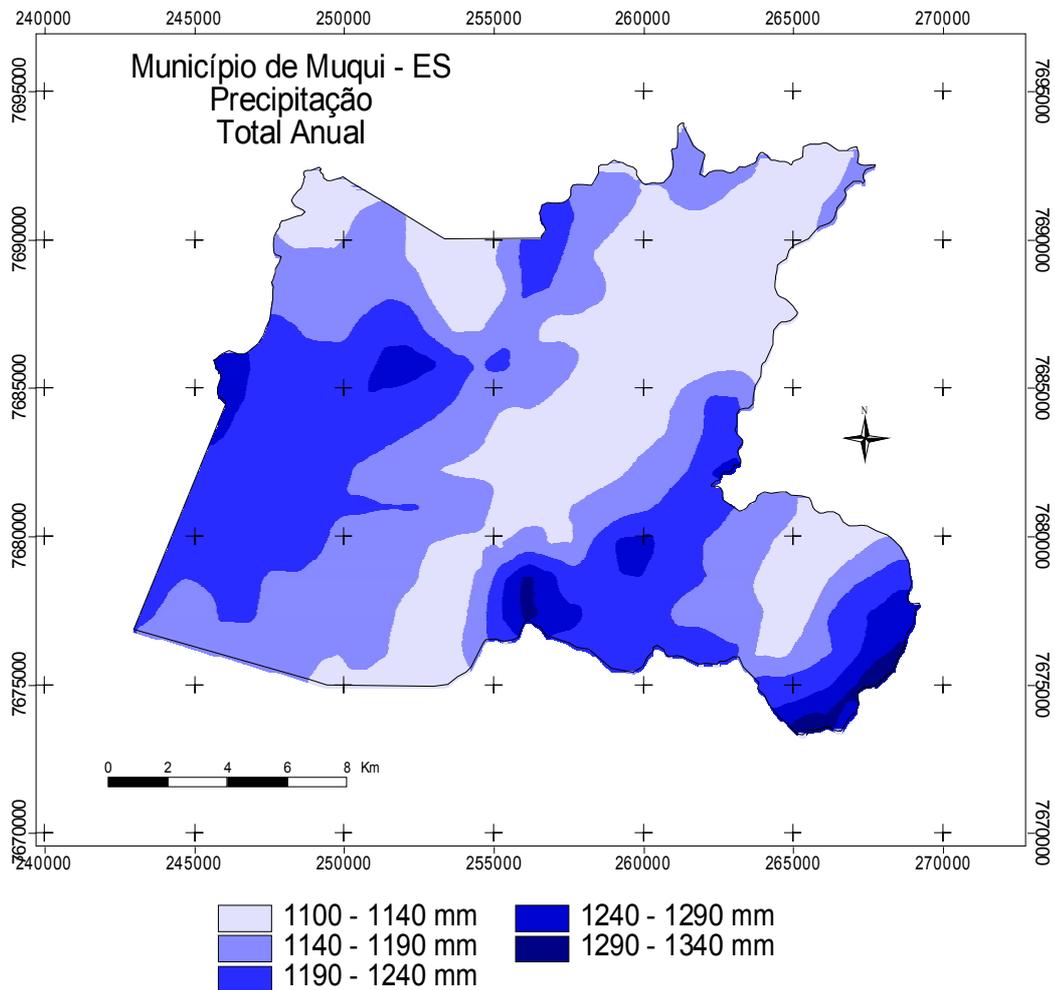


Figura 14 - Mapa de Precipitação Média Anual do município de Muqui-ES

O fator R (erosividade da chuva) tem sido considerado um dos mais importantes componentes da Equação Universal de Perdas de Solo - USLE não só por sua capacidade em quantificar o efeito do impacto das gotas de chuva sobre o solo, mas por ser utilizado no cálculo da erodibilidade do solo, expresso, numericamente, pela relação entre a perda anual média de solo e o fator erosividade da chuva, bem como dos fatores uso e manejo, que constituem a relação das perdas de um solo cultivado e desse mesmo solo mantido constantemente sem cobertura (Figura 15).

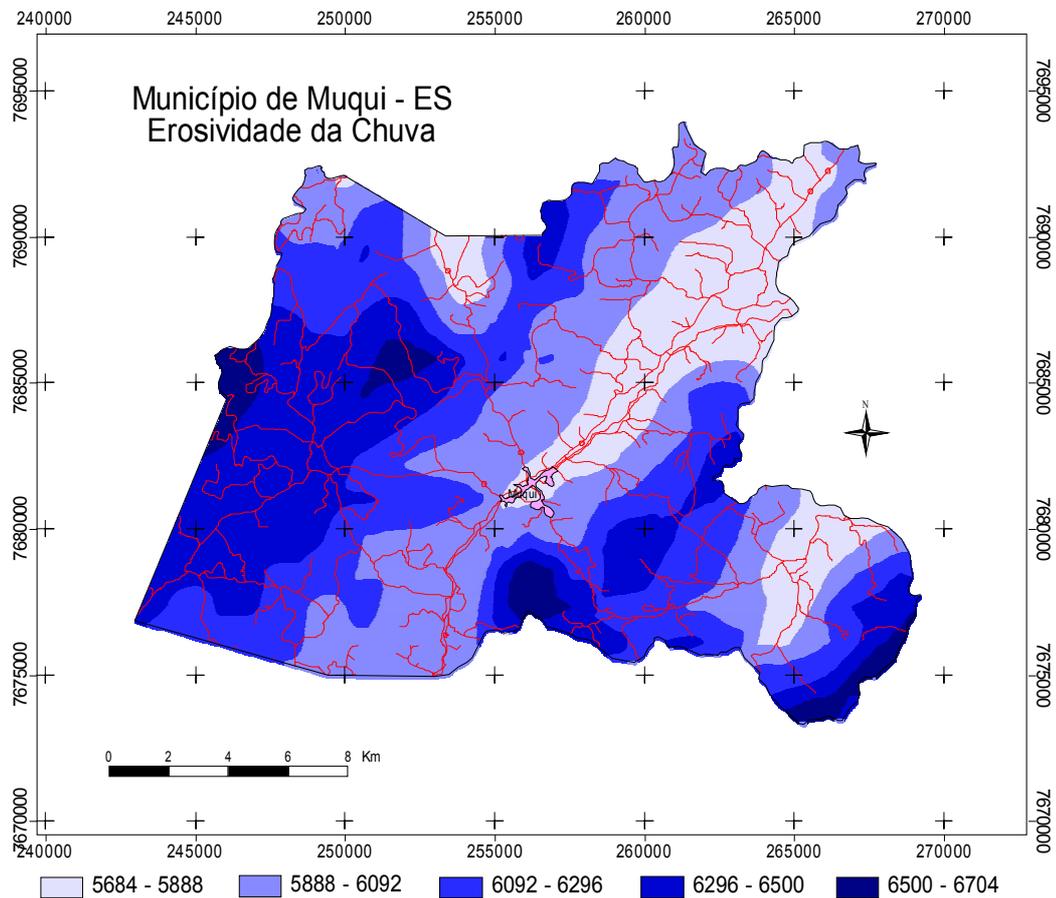


Figura 15 - Mapa de Erosividade da Chuva no município de Muqui-ES

O fator R permite a avaliação do potencial erosivo das precipitações de determinado local, além de ser imprescindível aos cálculos de erodibilidade dos solos e manejo das culturas. A determinação dos valores de erosividade, ao longo do ano, também permite identificar os meses nos quais os riscos de perdas de solo são mais elevados, razão por que exerce relevante papel no planejamento de práticas conservacionistas fundamentadas na máxima cobertura do solo nas épocas críticas de maior capacidade erosiva das chuvas (Bertoni e Lombardi Neto, 1990).

A erosão hídrica resulta, basicamente, da erosividade da chuva e da erodibilidade do solo. O conhecimento da erosividade torna-se, portanto, um guia valioso na recomendação de práticas de manejo de solo que visem a reduzir a erosão hídrica.

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1990), a erosão é o processo de desprendimento e arraste acelerado das partículas do solo, causado pela água e pelo vento. Sob tais condições, a erosão é considerada um processo natural. No entanto, a erosão acelerada dos solos, isto é,

aquela que ocorre em intensidade superior à erosão “normal” é, usualmente, consequência dos resultados das atividades humanas sob determinadas condições de clima, vegetação, solo e relevo (VILELA FILHO, 2002).

Após a classificação dos valores observa-se que o município apresenta áreas com diferentes classes de erosividade da chuva em seu território (Tabela 6).

Tabela 6 – Classes de erosividade da chuva no município de Muqui

Classe Erosividade	Faixa	(%) Área do Município
1	5684 a 5888	16,3
2	5888 a 6092	30,9
3	6092 a 6296	26,8
4	6296 a 6500	22,3
5	6500 a 6704	3,8

O papel do clima relaciona-se, principalmente, à precipitação e suas consequências sobre os processos morfogenéticos. A elevada umidade provoca o encharcamento do solo que, por sua vez, favorece os movimentos de massa. A intensidade da chuva (dada em mm/hora) relaciona-se à energia cinética desta que, por sua vez, está relacionada à erosividade (potencial que um processo tem para causar desagregação de material, como solo ou rocha, conforme Selby, 1982 e IPT, 1989) e consequente transporte de material. As medidas de pluviosidade (totais diários, médias mensais, etc.) fornecem uma aproximação da intensidade da chuva (Guerra, 1994). Com uma precipitação pluvial prolongada, a infiltração é contínua, o que satura o solo, reduzindo a coesão do material da vertente e a resistência desse material à erosão, devido à expansão de cisalhamento em rochas ou contato rocha-solo e de interstícios do solo, o que favorece os deslizamentos (Tricart, 1972; Whalley, 1976; Thomas, 1979; Selby, 1982; Hansen, 1984; Berger, 1996; Romanovskii et al., 1996).

4.4. Vegetação

Os diferentes tipos de cobertura vegetal podem oferecer maior ou menor proteção ao solo e, assim, conseqüentemente, interferindo na intensidade do processo erosivo.

A vegetação, de maneira geral, protege o solo de fatores que condicionam os deslizamentos, como a compactação do solo pelo impacto de gotas de chuva e conseqüente aumento de escoamento superficial, pois a cobertura vegetal intercepta as águas pluviais reduzindo a energia cinética e favorecendo a infiltração, além de certos tipos de sistemas radiculares conterem a erosividade por manterem a agregação do solo. Porém em regiões tropicais úmidas, nem sempre isso ocorre. Nos períodos de elevada pluviosidade a água das chuvas penetra entre as descontinuidades do dossel (topo da floresta) atingindo o solo, compactando-o, gerando e/ou reativando ravinas e canais de primeira ordem, o que ocorrem especialmente se não houver uma cobertura composta de flora de porte arbustivo (Tricart, 1972; Thomas, 1979; Selby, 1982; Wolle, 1988; Guerra, 1994). Esses ravinamentos e/ou canais são especialmente observados em trechos de elevadas amplitude e declividade, como na faixa entre 35° e 40°, onde o dossel se apresenta menos contínuo, podendo sulcar cicatrizes de antigos deslizamentos e reativá-los (Strahler, 1972; Thomas, 1979; Chorley et al., 1984).

Deve-se salientar que a vegetação pode atuar em alguns casos também como agente erosivo, devido à desagregação mecânica provocada por certos tipos de raízes (Chorley et al., 1984, Wolle, 1988).

A situação da cobertura vegetal do município de Muqui pode ser observada na Figura 16 e suas respectivas áreas na Tabela 7.

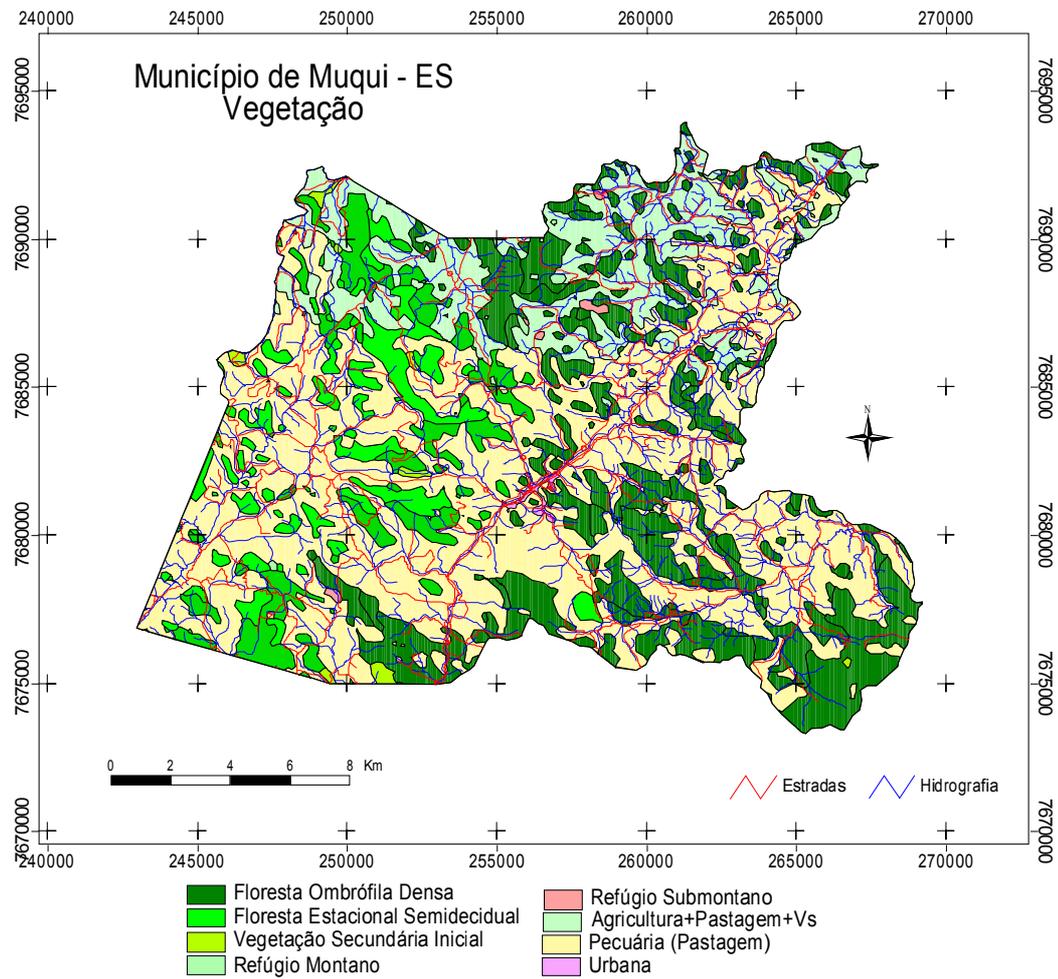


Figura 16 - Mapa de Vegetação do município de Muqui-ES

Tabela 7 – Cobertura vegetal no município de Muqui

Classe Vegetação	(%) Área do Município
Floresta Ombrófila Densa	21,7
Floresta Estacional Semidecidual	12,4
Vegetação Secundária Inicial	0,5
Refúgio Montano	0,1
Refúgio Submontano	0,2
Agricultura+Pastagem	14,0
Pecuária (Pastagem)	51,0

Pode-se notar que a maior parte de seu território é ocupado por pecuária (pastagem), poucas áreas são remanescentes florestais ainda existentes e a área pertencente à região urbana é nitidamente vista como sem cobertura vegetal.

Analisando o mapa de vegetação podemos afirmar que “quanto mais protegida pela cobertura vegetal estiver a superfície do solo contra a ação da chuva, menor será nele a propensão de ocorrência de erosão”. Além de aumentar a quantidade de água interceptada, a vegetação amortece a energia de impacto das gotas de chuva, reduzindo a destruição dos agregados, a obstrução dos poros e o selamento superficial do solo. A cobertura vegetal na superfície também reduz a velocidade do escoamento superficial, pelo aumento da rugosidade hidráulica do seu percurso (PRUSKI, 2006).

4.5. Suscetibilidade à Ocorrência de Deslizamentos

Os problemas relativos à erosão e a processos de deslizamento encontram-se presentes em vários lugares do mundo, mas em países cujo regime pluvial tem as características do ambiente tropical e cuja situação sócio-econômica seja considerada como de subdesenvolvimento ou em desenvolvimento, os problemas tornam-se mais acentuados devido à escassa estrutura para evitar ou controlar tal fenômeno (Guerra, 1994).

O município de Muqui apresenta relevo acidentado (Figura 17) com encostas com alta declividade recortado diagonalmente pelo vale do rio Muqui, onde o relevo é um pouco mais suave. O mapa de suscetibilidade à ocorrência de deslizamentos (Figura 18) demonstra que as áreas mais suscetíveis à ocorrência de acidentes situam-se nas áreas vertentes mais íngremes onde a o substrato geológico é menos resistente e a cobertura do solo foi bastante alterada pela ação antrópica.

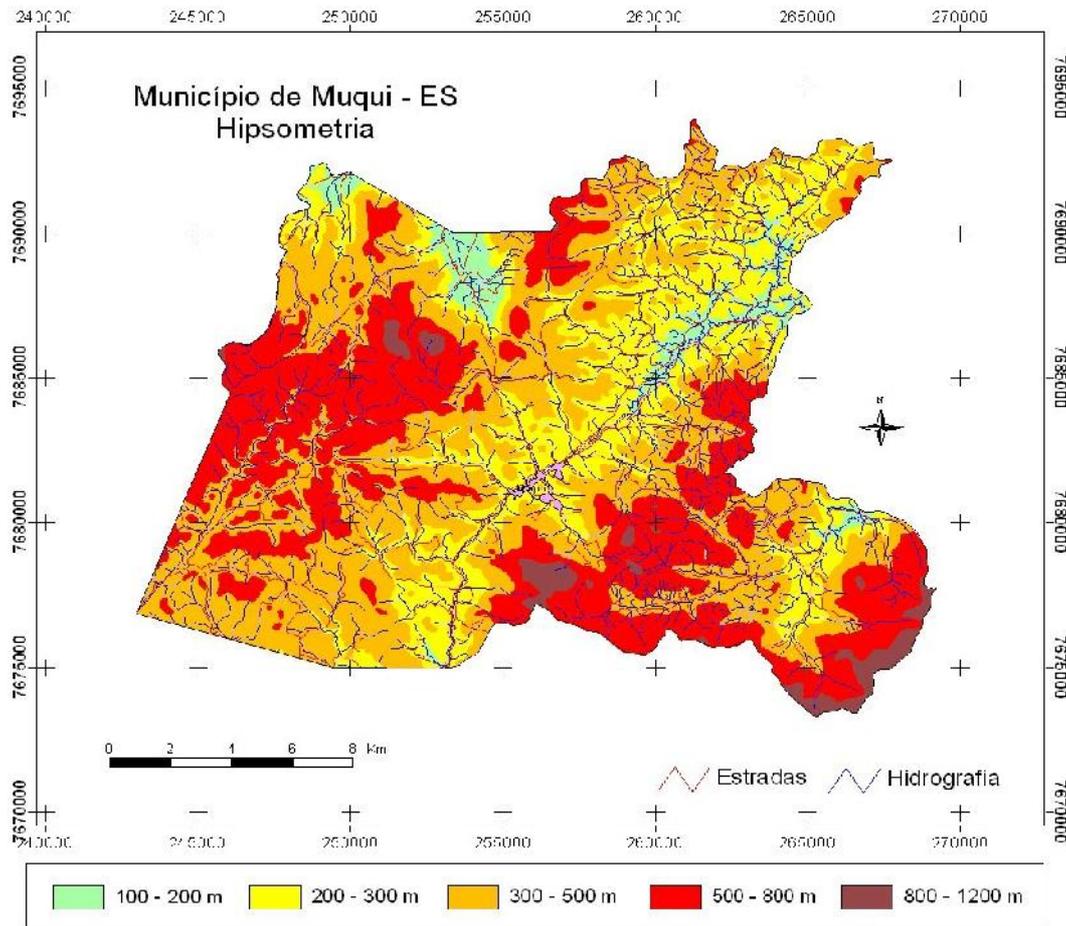


Figura 17 – Mapa de suscetibilidade à ocorrência de deslizamentos do município de Muqui-ES

Observando a tabela 8 podemos constatar que boa parte do território municipal apresenta suscetibilidade à ocorrência de deslizamento baixo ou muito baixo (61,45%), enquanto que as classes de suscetibilidade alta e muito alta ocorrem em apenas 21,39 da área do município. Esta situação pode ser explicada pela combinação entre fatores favoráveis e desfavoráveis que vão influenciar o índice. As áreas com relevo mais acidentado por vezes apresentam substrato geológico mais resistente e/ou cobertura do solo com maior capacidade de proteger o solo.

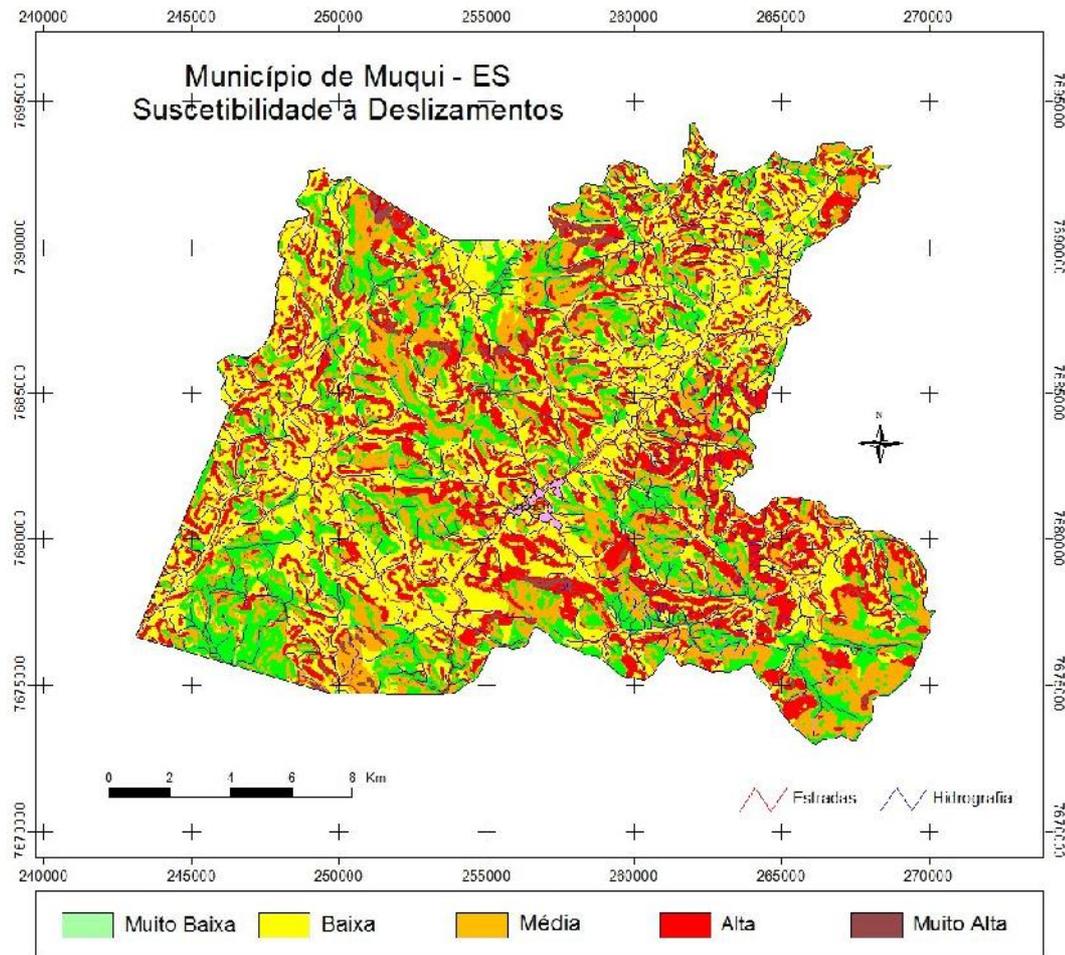


Figura 18 – Mapa de suscetibilidade à ocorrência de deslizamentos do município de Muqui-ES

Tabela 8 - Percentual de Área de Ocorrência das Classes de Suscetibilidade à deslizamentos no Município de Muqui-ES

Suscetibilidade à Ocorrência de deslizamentos	%
Muito Baixa	18,81
Baixa	42,65
Média	17,15
Alta	19,88
Muito Alta	1,51

A área urbana do município encontra-se instalada no vale do rio Muqui do Norte, apesar desta área apresentar, no quadro geral, uma topografia menos acidentada, a presença de encostas de morros e pequenas elevações submetidas à alterações em seu perfil (cortes e aterros) tornam-se mais instáveis possibilitando a ocorrência de processos de encostas que ameaçam as moradias construídas na base ou na meia encosta (Figuras 18 e 19).



Figura 19 – Deslizamento de Terra - Bairro Centro Educacional Muquiense



Figura 20 - Deslizamento sobre residência pondo em risco sobre um abrigo de idosos e creche em frente a área onde já houve este deslizamento. Bairro Boa Esperança – Rodovia Muqui/Sumidouro

Na área rural a ocorrência de deslizamentos normalmente não oferecem riscos para a população. Estes apresentam-se mais esparsos distribuídos por grandes áreas desabitadas. Estas ocorrências estão associadas principalmente a presença de escarpamentos rochosos com elevada declividade. A combinação do tipo de material das encostas com a elevada declividade ocasiona a ocorrência de movimentos rápidos, representados principalmente por destacamentos e quedas ou rolamentos de blocos e ou queda lascas (Figura 21).



Figura 21 - Evidência de queda de blocos em encosta rochosa com elevada declividade

Nas encostas de menor declividade pode ocorrer deslizamentos lentos do tipo rastejo (creep). Estes movimentos, embora pouco perceptíveis, pode causar sérios danos ao longo do tempo como no caso da Escola Estadual Dirceu Cardoso. Está construção encontra-se seriamente comprometida por rachaduras e fissuras devido à movimentação do terreno (Figuras 21, 22 e 23).



Figura 22 – Escola Estadual Dirceu Cardoso



Figura 23 - Rachaduras na estrutura da Escola Estadual Dirceu Cardoso, em função da acomodação do solo que vem ocorrendo desde 2007.



Figura 24 – Detalhe das rachaduras na Escola Estadual Dirceu Cardoso

O mapa de suscetibilidade gerado a partir da integração das características do substrato geológico, da declividade do terreno e da cobertura vegetal foi combinado com o mapa de erodibilidade da chuva, obtendo-se assim um mapa que representa a ação conjunta

dos fatores estáticos com a dinâmica da precipitação, ou seja, sua intensidade ou poder para causar erosão e deslizamentos nas encostas.

O mapa final, após a inclusão do fator erodibilidade da chuva, foi reclassificado com três níveis de suscetibilidade (Baixa, Média e Alta) (Figura 25 e Tabela 9).

Este mapa, com a legenda simplificada, apresenta maior possibilidade de utilização como subsídio aos projetos de ordenamento da ocupação do território.

Podemos concluir que as áreas com suscetibilidade alta não devem ser ocupadas, pois representam grande possibilidade de ocorrência de deslizamentos. Devem ser prioritariamente indicadas como territórios destinados à preservação ambiental.

As áreas com suscetibilidade média, quando ocupadas, devem ser alvo de medidas de contenção capazes de evitar a ocorrência de deslizamentos. Estas áreas merecem ainda, um constante acompanhamento dos processos de encostas.

As áreas com suscetibilidade baixa, podem ser ocupadas, merecendo apenas medidas de avaliação do local das construções e um acompanhamento de possível ocorrência de deslizamentos lentos do tipo “creep”.

Podemos observar que as áreas com suscetibilidade baixa estão distribuídas por todo o município, representando 78,63% de seu território. As encostas com classe de suscetibilidade média estão distribuídas, principalmente, segundo o vale dos rios Muqui do Norte e Córrego Morubia, representando 9,44 do território municipal. As áreas onde a suscetibilidade é alta encontram-se nos trechos mais elevados, onde a declividade do terreno é maior, representado 11,93% do município.

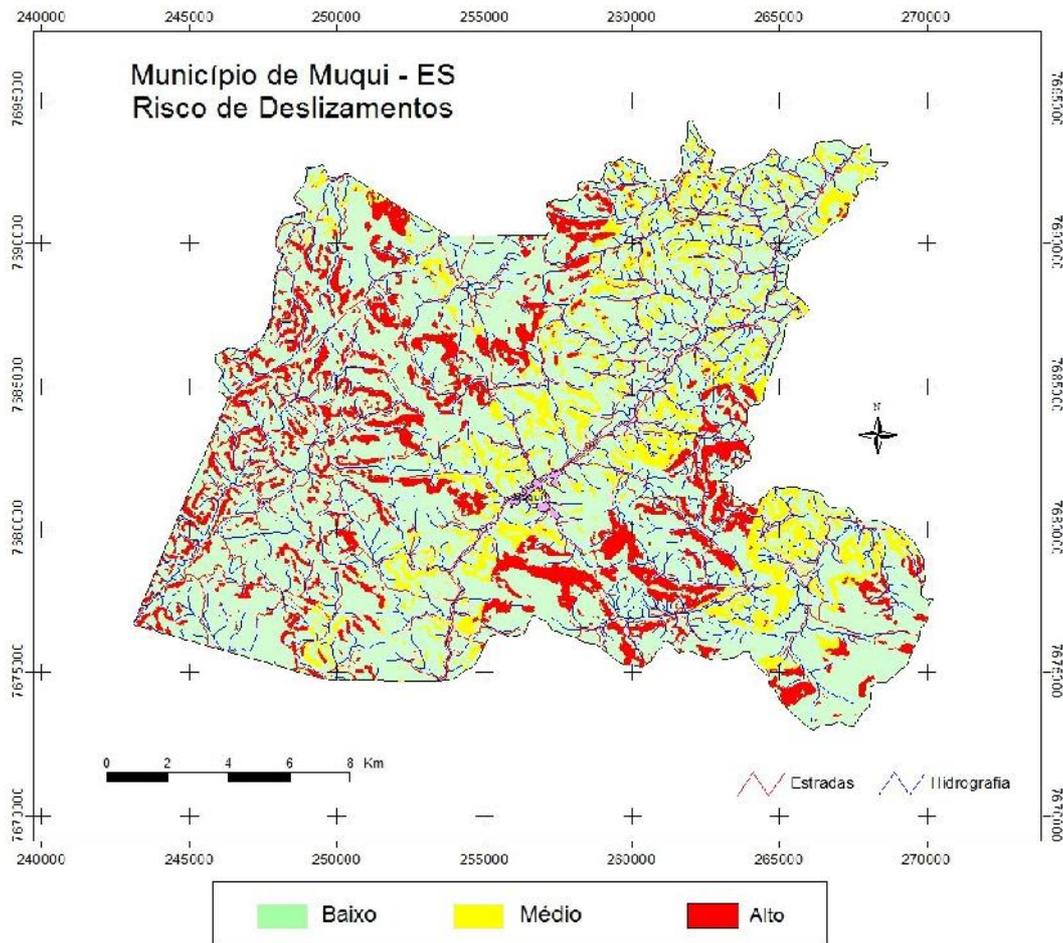


Figura 25 – Mapa de Suscetibilidade de Deslizamentos no Município de Muqui(E) reclassificado

Tabela 9 - Percentual de Área de ocorrência das classes de suscetibilidade à ocorrência de deslizamentos no município de Muqui-ES

Suscetibilidade à Ocorrência de Deslizamentos	%
Baixa	78,63
Média	9,44
Alta	11,93

Outro problema detectado no município foi a ocorrência de inundações. As cheias do rio Muqui são uma constante nos meses de novembro e dezembro e os prejuízos e dramas vividos pela população estão marcados na vida de cada muquiense.

O avanço da ocupação territorial sobre áreas historicamente sujeitas a inundação, a descaracterização da mata ciliar, a obstrução dos canais (Figura 26), o desmatamento desenfreado, o descarte irresponsável dos resíduos domiciliares sobre as encostas e nos cursos de água, a impermeabilização dos terrenos, as obras locais de caráter imediatista e outras ações que por dezenas de anos foram praticadas pelo homem em nome do desenvolvimento, hoje se tornam fatores agravantes na formação das enchentes.



Figura 26 - Ponte sobre o rio Muqui localizada no centro da cidade. Ocorrência de alagamento devido ao nível da viga da ponte (muito baixo).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo possibilitou uma avaliação da situação das encostas no município de Muqui, considerando a escala de análise.

As informações obtidas na base de dados de precipitação do WorldClim mostraram-se satisfatórias para a elaboração do mapa de erosividade da chuva para o município, tornando possível a espacialização das informações em uma área carente de estações meteorológicas e postos pluviométricos.

Os dados topográficos obtidos a partir MDE (modelo Digital de Elevação) do sensor Aster do Satélite Terra possibilitaram a elaboração do mapa de declividade do município de Muqui. Este mapa não pode ser gerado com base nas curvas de nível das cartas 1:50.000 do IBGE devido a problemas de articulação entre as cartas e a ausência de cotas nas curvas de nível.

O município de Muqui possui poucas áreas ainda preservadas onde a vegetação natural composta por formações florestais e as denominadas refúgios ecológicos montano e submontano (campos de altitude). Em grande parte das encostas a cobertura original foi substituída por pastagens e em menor proporção por agricultura com variado grau de degradação.

A área de estudo possui substrato geológico formado, predominantemente, por rochas que possuem pouca fragilidade. Estas rochas são representadas por granitos pórfiros grosseiros, granitos pós-tectônicos e gnaisses diversos. As rochas com maior fragilidade ocupam pequenas áreas ao sul do município e são constituídas por filitos, metassiltitos, muscovita xistos, metarenitos, calcários, metaconglomerados e anfíbolitos.

Grande parte do município possui relevo pouco acidentado, com declividade inferior a 30° (%). Nestas áreas, onde está incluído o núcleo urbano que corresponde à sede municipal, podemos observar várias intervenções como cortes de taludes gerando um aumento local na declividade.

A análise do mapa de suscetibilidade a ocorrência de movimentos de massa indica que na área urbana representada pela sede do município, que localiza-se em um trecho de várzea, apresenta-se menor suscetibilidade. Os locais mais susceptíveis estão localizados nas áreas com relevo mais acidentado.

O zoneamento das áreas com os diversos graus de suscetibilidade a movimentos de massa, através da integração de variáveis espacialmente distribuídas, fornece informações que podem ser consultadas de forma simples e rápida, possibilitando a formulação de ações para compatibilizar a ocupação do solo com as limitações impostas pelas características das encostas.

As áreas mais suscetíveis a deslizamentos indicadas neste trabalho, devem servir de base para um estudo mais detalhado.

Seria recomendável que todos os órgãos estaduais de defesa civil tivessem participação ativa em todas as fases do planejamento e da implantação das ações no município em foco. A parceria com os órgãos de coordenação estadual agregaria mais qualidade aos serviços de prevenção de desastres, uma vez que a Secretaria Nacional de Defesa Civil (Sedec) promove e apóia eventos desta natureza realizados pelos órgãos estaduais e municipais, tanto ministrando cursos e palestras quanto distribuindo publicações técnicas.

Bibliografia

AMARANTE, A. P. do. Problemas da erosão e escoamento das águas na Cidade do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro, p. 638-665, dez. 1960.

ARAÚJO, P. C. Análise da Suscetibilidade a Escorregamentos: uma abordagem probabilística. 2004. 172 p. Tese (Doutorado)--Curso de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro (SP), 2004.

AUGUSTO FILHO, O.; CERRI, L. E. S. Programa Serra do Mar: carta geotécnica da Serra do Mar nas folhas de Santos e Riacho Grande. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1988. 49 p.

BAPTISTA, A. C.; CALIJURI, M. L. Caracterização espaço-temporal por sensoriamento remoto da expansão urbana na APA Petrópolis. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. Anais eletrônicos... Florianópolis: INPE, p. 5091-5098. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.07.01.06/doc/5091-5098.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2009.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. São Paulo: Ícone, 1990. 355 p.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. Rio de Janeiro: MME, 1973. 34 v.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Diagnóstico e Plano Diretor da Bacia dos Rios Santa Maria da Vitória e Jucu. Brasília: MMA, 1997. 161 p. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/docs/planos_diretores/plano10/pdfs/volume_II.pdf>. Acesso em: 20 out. 2009.

BROOKS, H. E.; LEE, J. W; CRAVEN, J. P. The spatial distribution of severe thunderstorm and tornado environments from global reanalysis data. *Atmospheric Research*, v. 67-68, p. 73-94, 2003.

CASTILHO, J. L. de S.; GIOTTO, E. Interferência da área de risco sobre a zona urbana por aplicação de técnicas de geoprocessamento: estudo de caso: Dom Pedrito, RS. *Geomática*, Santa Maria, v.1, n.1, 2006. Disponível em: <<http://w3.ufsm.br/rgeomatica/page1/01.pdf>>. Acesso em: 31 jul. 2009.

COSTA, H.; TEUBER, W. Enchentes no Estado do Rio de Janeiro: uma abordagem geral. Rio de Janeiro: Semads, Serla, 2001. 160 p.

COSTA, S. M. F. Metodologia alternativa para o estudo do espaço metropolitano, integrando as tecnologias de SIG e sensoriamento remoto: aplicação à área metropolitana de Belo Horizonte. 1996. 179 f. Tese (Doutorado)--Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

CUNHA, L.; PIMUCCIO, L. Considerações sobre riscos naturais num espaço de transição: exercícios cartográficos numa área a Sul de Coimbra Universidade de Coimbra - Portugal, Territorium, Coimbra: Centro de Estudos Geográficos. Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra. 20 p. 2002.

FELIPPE, M.; UMBELINO, G. Movimentos de massa e vegetação: o sensoriamento remoto como procedimento metodológico no estudo dos processos de vertente. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. Anais... Florianópolis: INPE, 2007. p. 5215-5218.

FENDRICH, R. Drenagem e controle da erosão urbana. 3. ed. São Paulo: IBRASA, Curitiba. CHAMPAGNAT, 1991.

FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; VIEIRA B. C.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. Condicionantes geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de

áreas susceptíveis. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 2, n. 1, p. 51-71, out. 2001. Disponível em: <http://files.grupodepesquisa.webnode.com.br/2000001_27-28426293d2/Revista2_Artigo05_2001.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2010.

GLOBAL climate surfaces. 3 mapas, color. Escala indeterminável. [2005]. Disponível em: <http://www.worldclim.org/worldclim_IJC.pdf>. Acesso em: 10 out. 2009.

GRAMANI, M. F. Caracterização geológica-geotécnica das corridas de detritos ("Debris Flows") no Brasil e comparação com alguns casos internacionais. 2001. 372 f. Dissertação (Mestrado)--Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. Estabilidade de taludes naturais e de escavação. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher; Ed. da Universidade de São Paulo, 1984. 216 p.

GUIMARÃES, N. A.; PENHA, J. W. Mapeamento das áreas de risco de inundação no município de Muriaé-MG, com a utilização de sistemas de informações geográficas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. Anais... Natal: INPE, 2009. p. 3875-3882.

HIJMANS, R. J.; CAMERON, S. E.; PARRA, J. L.; JONES, P. G.; JARVIS, A. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, v. 25, p. 1965-1978, dez. 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Manual técnico de geomorfologia. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 178 p. (Manuais técnicos em geociências, n. 5).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Programa Serra do Mar: estudo geotécnico dos principais mecanismos de instabilização da Serra do Mar. São Paulo, 1988. 394 p. Relatório 25957.

LOPES, E. S. S.; RIEDEL, P. S.; BENTZ, C. M.; FERREIRA, M. V.; NALETO, J. L. C. Inventário de escorregamentos naturais em banco de dados geográfico: análise dos fatores condicionantes na região da Serra de Cubatão – SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. Anais... Florianópolis: INPE, 2007. p. 2785-2796.

MARCELINO, E. V.; NUNES, L. H.; KOBİYAMA, M. Mapeamento de risco de desastres naturais do estado de Santa Catarina. Caminhos de Geografia, Uberlândia, v. 8, n. 17, p. 72-74, fev. 2006.

MARCELINO, E. V. Desastres Naturais e Geotecnologias: conceitos básicos. Santa Maria: CRS/INPE, 2007. Disponível em: <<http://www.inpe.br/crs/geodesastres/imagens/publicacoes/conceitosbasicos.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2009.

MARCELINO, I. P. V. O. Análise de episódios de tornados em Santa Catarina: caracterização sinótica e mineração de dados. 2003. 214 f. Dissertação (Mestrado)–Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003.

MARENGO, José A. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a Biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília: MMA, 2006. 212 p. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/imprensa/_arquivos/livro%20completo.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2009.

MASSAD, F.; CRUZ, P. T. ; KANJI, M. A. ; ARAUJO FILHO, H. A. Comparison between estimated and measured debris flow discharges and volume of sediments. In: PANAMERICAN SYMPOSIUM ON LANDSLIDES, 2., 1997, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: [s.n.], 1997. v. 1. p. 213-222.

MENESES, P. R.; PARADELLA, W. R. Síntese geológica preliminar da parte sul do Estado do Espírito Santo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 1., 1978, São Paulo. Anais ... São José dos Campos: [s.n.], 1978. v. 2 p.479-499.

MORAES, A. C.; SANTOS, E. R. S.; FERREIRA, N. C. Banco de dados do mapeamento das ameaças múltiplas para atendimentos a emergências. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. Anais eletrônicos... Florianópolis: INPE, 2007. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/10.23.18.40/doc/4373-4380.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2008.

NEVES, K. B. L.; SILVA, J. S.; ROTUNNO FILHO, O. C. Avaliação da relação entre doenças hídricas e inundações por meio de imagens de Radar Jers-1: estudo de caso: Bacia do Rio Madeira. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. Anais eletrônicos... Goiânia: INPE, 2005. p. 2527-2534. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.22.10.01/doc/2527.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2008.

NOGUEIRA, F. R. Gerenciamento de riscos ambientais associados a escorregamentos: contribuição às políticas públicas municipais para áreas de ocupação subnormal. 2002. 260 f. Tese (Doutorado)--Curso de Pós-Graduação em Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2002.

PINHEIRO, M. V. Avaliação técnica e histórica das enchentes em Itajubá. 2005. 119 f. Dissertação (Mestrado)--Curso de Engenharia da Energia, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2005.

PINTO, L. H.; PINHEIRO, S. A. Orientações básicas para drenagem urbana. Belo Horizonte: FEAM, 2006.

RIEDEL, P. S.; GOMES, A. R.; BENTZ, C. M.; VIDOTTI, M. F.; LIESENBERG, V. Integração de técnicas de processamento digital de imagens e análise espacial na identificação de cicatrizes de escorregamento na região de Florianópolis. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. Anais eletrônicos... Florianópolis: INPE, 2007. p. 4393-4400. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr%4080/2006/11.14.18.26/doc/4393-4400.pdf>>. Acesso em: 06 mar. 2010.

SANTOS, E. C.; SÁ, L. A. C. M. Geração de uma base de dados espaciais para monitoramento dos pontos de risco em morros utilizando tecnologias de geoinformação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 21., 2003, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: [s.n.], 2003.

SANTOS, W. A. Caracterização geoambiental da bacia hidrográfica do rio Saracuruna - RJ: Planejamento e Gestão. 2006. Monografia (Especialização em Geografia)--Curso de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2006.

SILVA, A. P. M. Elaboração de manchas de inundação para o município de Itajubá, utilizando Sig. 2006. 122 f. Dissertação (Mestrado)-- Curso de Engenharia da Energia, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2006.

SILVA, J. X. Geoprocessamento para análise ambiental. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. 227 p.

SMITH, K. Environmental hazards: assessing risk. Florence: Routledge, 2000. 352 p.

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

SOUZA, F. T. Predição de escorregamentos das encostas do município do Rio de Janeiro através de técnicas de mineração de dados. 2004. 115 f. Monografia (Especialização em Engenharia)--Curso de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

STERNBERG, H. O. R. Enchentes e movimentos coletivos de solo no Vale do Paraíba em dezembro de 1948: influência da exploração destrutiva das terras. Revista Brasileira de Geografia. Rio de Janeiro, n.2, p. 61-223, jun. 1949.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. (Orgs.). Inundações Urbanas na América do Sul. Porto Alegre: Editora da Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003. 471 p.

WOLLE, C. M. Análise dos escorregamentos translacionais numa região da Serra do Mar no contexto de uma classificação de mecanismos de estabilização de encostas. 1988. 394 f. Tese (Doutorado)--Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1988.

WOLLE, C. M. Slope stability. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON TROPICAL LATERITIC AND SAPROLITIC SOILS, 1., 1985, Brasília. Progress Report... Brasília. 1985. 51 p.