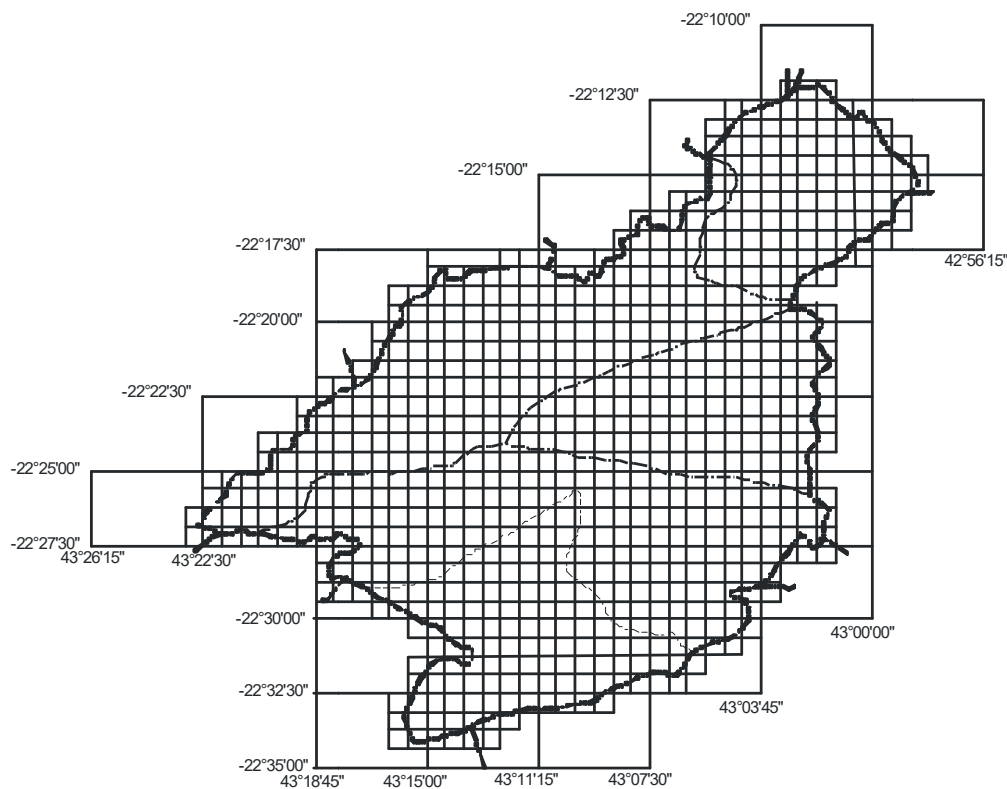


Plano Municipal de Redução de Risco – PMRR – 1º(revisão), 2º, 3º, 4º e 5º Distritos - Petrópolis, RJ

Programa de Urbanização, Regularização e Integração de Assentamentos Precários



Produto 01 - Detalhamento da Metodologia

Nº. do Convênio: TC 0351.477-74-2011

Revisão do Plano Municipal de Redução de Risco de Petrópolis, RJ

Nº. Processo Licitatório PMP: TP 07/2013

Nº. Processo Administrativo PMP: 14.271/2012

Executor:




Gestor:



Agente Financeiro:



0	Emissão Inicial	11/07/2013			
Rev.	Modificação	Data	Projetista	Desenhista	Aprovo

Responsável Técnico Luís Carlos Dias de Oliveira Engº Civil - CREA RJ 911994751-D		CREA/UF	Responsável Técnico Rufo Cunha Pereira Engº Civil - CREA RJ 90101279-4/D	Auxiliar Rosângela R. Moura Gonçalves Arquiteta e Urbanista CAU-RJ ° A42033-6	CAU/UF
Numero		Conferido	CREA/UF	Data:	
 PREFEITURA MUNICIPAL DE PETRÓPOLIS		Local: PETRÓPOLIS, RJ			
		Área: 1º, 2º, 3º, 4º E 5º DISTRITOS			
Visto do Contratante	Rubrica	Serviço PLANO MUNICIPAL DE REDUÇÃO DE RISCO - 1ª ETAPA - METODOLOGIA			
Visto Fiscalização	Rubrica	Tipo / Especificação do documento RELATÓRIO TÉCNICO			
Termo de Contrato N 29/2013º		Tipo de Serviço CONSULTORIA		Classe geral do projeto Elaboração de plano	
		Codificação THEO1309-RE_R1.DOC			

EQUIPE TÉCNICA



Luis Carlos Dias de Oliveira
D. Sc – Engº. Civil

Rufo Cunha Pereira
Engenheiro Civil

Mozart Torres de Carvalho Barbosa
Engenheiro Geotécnico

Marcela de Carvalho Lobato
Geóloga

Glauco Zely da Silva Eger
Geólogo

Leandro Borges de Araújo
Arquiteto e Urbanista

Roberta Santos de Araújo Assino
Arquiteta e Urbanista

Rosangela R. Moura Gonçalves
Arquiteta e Urbanista

Miriam von Seehausen Lichtenberger
Técnica em Geoprocessamento



ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	5
2. CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO	8
3. OBJETIVOS	11
3.1 Revisão do Plano Municipal de Redução de Risco do 1º Distrito (2007)	13
3.2 Elaboração do Plano Municipal de Redução de Risco do 2º, 3º, 4º e 5º Distritos de Petrópolis.	13
4. DETALHAMENTO DA METODOLOGIA PARA O PMRR.	16
4.1 Detalhamento da 2ª etapa - Mapas de Estado Natural	16
4.1.1 Elaboração de Mapas de Estado Natural para o 2º, 3º, 4º e 5º Distritos	16
4.1.2 Revisão do Plano de Redução de Risco do do 1o Distrito.	33
4.2 Detalhamento da 3ª etapa - Integração Temática dos Mapas de Estado Natural	33
4.2.1 Integração Temática dos Mapas de Estado Natural	33
4.2.2 Elaboração do Mapa de Suscetibilidade ou Mapa de Perigo	43
4.2.3 Confecção de Mapas de Risco	50
4.3 Detalhamento da 4ª etapa - Setorização das Áreas de Risco	64
4.3.1 Trabalho de campo.....	64
4.3.2 Obtenção de Fotografias	68
4.3.3 Setorização das Áreas de Risco	69
4.4 Detalhamento 5ª etapa - Concepção das Intervenções Estruturais	70
4.4.1 Concepção das intervenções estruturais para as Áreas de Risco.....	70
4.5 Detalhamento 6ª etapa - Fechamento do PMRR	72
4.5.1 Reflexão sobre as estratégias de intervenções não estruturais	72
4.5.2 Fechamento do PMRR	73
4.6 Detalhamento 7ª etapa - Capacitação e Audiência Pública	73
4.6.1 Capacitação da equipe técnica da PMP	74
4.6.2 Audiência Pública para apresentação do trabalho.....	74
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76



1. INTRODUÇÃO

As situações de risco e suas consequências potenciais são documentadas no Mapa de Risco. As consequências associadas a uma situação de risco podem afetar vidas humanas, produzir efeitos econômicos ou causar mudanças ambientais. Neste sentido, a situação de risco de uma área em particular, da superfície de uma encosta, dependerá do uso que se fizer do solo e das condições em que se encontra.

De acordo com o Ministério das Cidades (BRASIL, 2007), o mapeamento de risco pode ser realizado em dois níveis de detalhes distintos: o zoneamento (ou setorização) de risco e o cadastramento de risco. No zoneamento de risco são delimitados setores nos quais, em geral, encontram-se instaladas várias moradias. Desta forma, admite-se que todas as moradias do setor se encontram em um mesmo grau de risco, como exemplo risco alto. Entretanto, em meio às moradias deste setor pode haver algumas edificações que não apresentam situação de risco tão elevada. Assim pode-se considerar que, no zoneamento de risco, há uma generalização.

O Mapa Quantitativo de Risco proposto consiste em um mapa de setorização, ou seja, será feita uma generalização de áreas de risco o que significa que possam existir casos em que a classificação do mapa não corresponde à situação do terreno em particular. Nestes casos será necessário um cadastramento posterior das áreas de risco com objetivo de verificar a condição de risco do local.

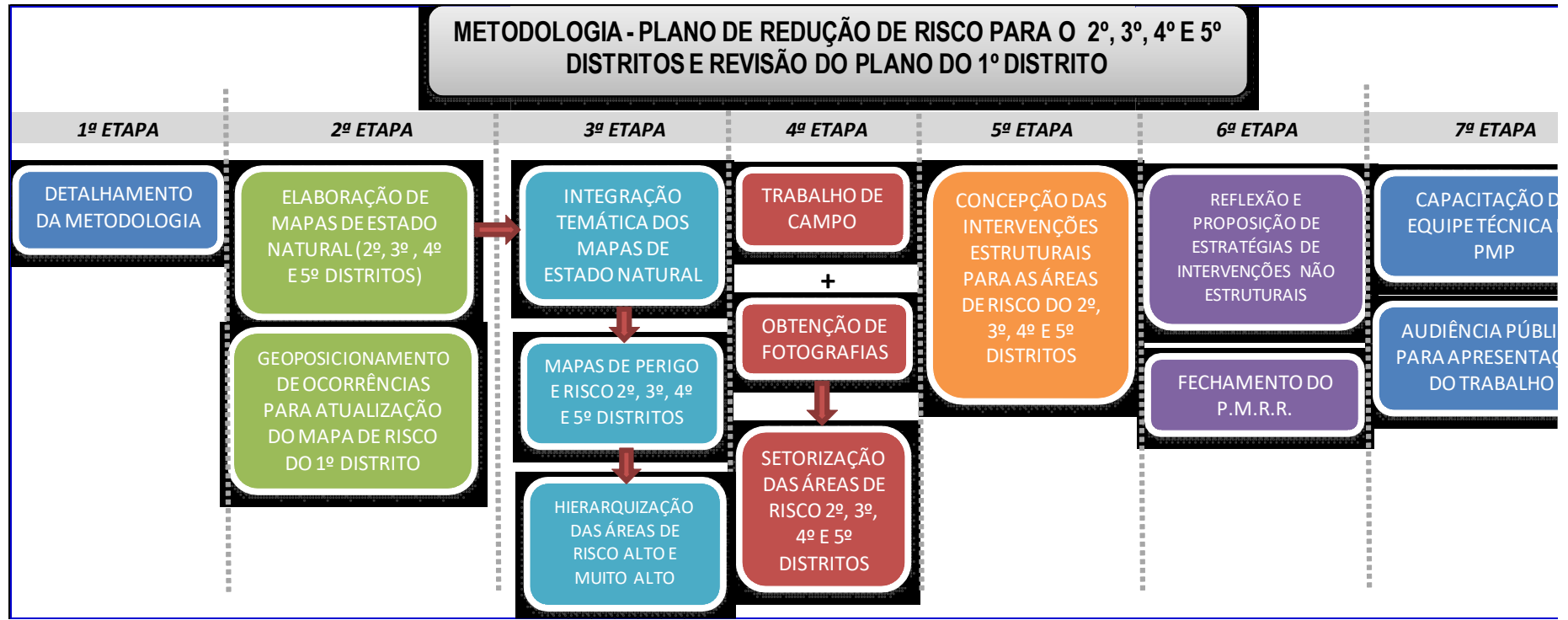
Portanto, o PMRR não se resume a um simples inventário de ocorrências onde, a partir de relatórios confeccionados pela Defesa Civil Municipal, são feitas vistorias e realizadas descrições pontuais e propostas intervenções localizadas.

O plano de trabalho para elaboração de Serviços de Elaboração da Revisão e Complementação do Plano Municipal de Redução de Risco (PMRR) visa o Apoio à Prevenção, Regularização e Integração de Assentamentos Precários para o 1º Distrito de Petrópolis (revisão) e 2º; 3º; 4º e 5º Distritos (elaboração do PMRR) apoiado pela Secretaria Nacional de Políticas Urbanas (SNPU), Urbanização, Regularização e Integração de Assentamentos Precários do Ministério das Cidades, tendo como agente a Gerência de Desenvolvimento Urbano (GIDUR), da Caixa Econômica Federal (Contrato de Repasse No. 0351.477-74) previu 7 (sete) etapas principais: **Detalhamento da Metodologia e Ratificação do Mapa Inventário de Escorregamentos e Mapa de**



Manchas de Risco (etapa 1); Sobrevoos de helicóptero (obtenção de fotografias – etapa 2); Mapeamento de Risco e Setorização das Áreas (1º Distrito – etapa 3); Mapeamento de Risco e Setorização das Áreas (2º; 3º; 4º e 5º Distritos – etapa 4); Detalhamento das Intervenções (etapa 5); Fechamento do PMRR (etapa 6); Capacitação da equipe técnica da PMP e Audiência Pública para apresentação do trabalho (etapa 7).

Entretanto, propõe-se neste detalhamento da metodologia de elaboração do PMRR para o 2º, 3º, 4º e 5º Distritos e Ratificação do PMRR para o 1º Distrito de Petrópolis, conforme apresentado no quadro 1.



Quadro 1 - Resumo da Metodologia para o PMRR para o 2º, 3º, 4º e 5º Distritos e Revisão do PMRR, elaborado para o 1º Distrito.



Este relatório se refere à parte da primeira etapa do trabalho, ou seja, **Detalhamento da Metodologia para Elaboração do Plano Municipal de Redução de Risco**, de acordo com o cronograma físico-financeiro.

2. CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

O Município de Petrópolis localiza-se na Serra do Mar e limita-se ao Norte com São José do Vale do Rio Preto, a Leste com Teresópolis e Magé, ao Sul com Duque de Caxias e Miguel Pereira e a Oeste com Paty de Alferes, Paraíba do Sul e Areal.

Coordenadas:

- Altitude – 809,50 metros acima do nível do mar.
- Latitude – 22°30'18"
- Longitude – 43°10'43"

Área: 811 km²,

População: 295.917 habitantes residentes (IBGE, 2010).

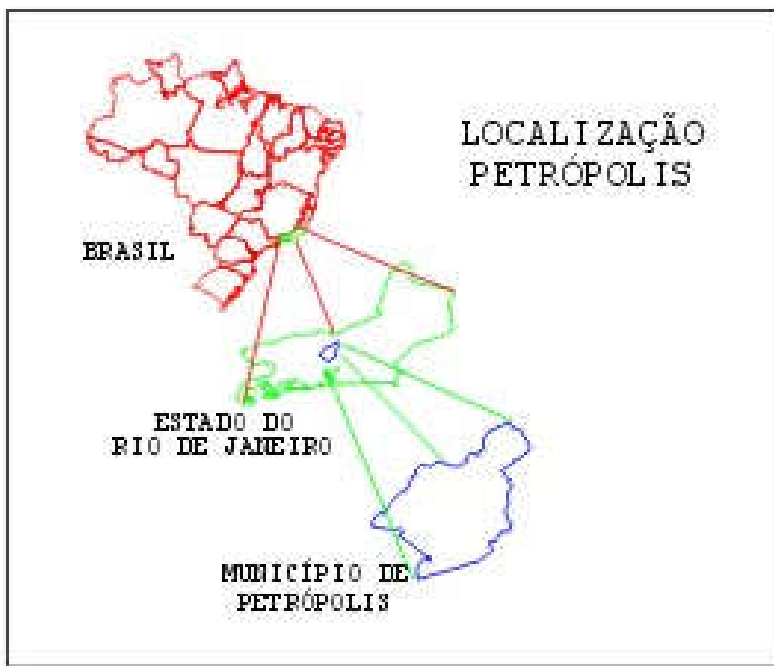


Figura 2.1– Localização do Município de Petrópolis.



O Município é organizado em 5 (cinco) Distritos (figura 3.3), representando 1,8% da área total do estado Rio de Janeiro.

Tabela 2.1– Relação de áreas dos Distritos no Município de Petrópolis (IBGE, 1999)

DISTRITOS	ÁREA (km ²)	OCUPAÇÃO
1º Distrito – Petrópolis	143	17,63 %
2º Distrito - Cascatinha	274	33,78%
3º Distrito - Itaipava	121	14,92%
4º Distrito – Pedro do Rio	210	25,89%
5º Distrito - Posse	63	7,77%
TOTAL	811	100%



Fonte: PMP

Figura 2.2- Representação de Petrópolis com seus respectivos distritos (PMP, 2000).

A área de estudo deste trabalho contemplará o 1º Distrito, Petrópolis, para a revisão do PMRR(2007). Neste está concentrado o maior número de habitantes do município, segundo dados fornecidos pelo censo do IBGE (2010), a população total do 1º Distrito é de 185.876 habitantes que se distribuem nos bairros, conforme Tabela 2.2.



Tabela 2.2 - Distribuição por Distrito de número habitantes residentes em Petrópolis (IBGE, 2010).

DISTRITO	NOME	POPULAÇÃO	%
1 ^o	PETRÓPOLIS	185.876	62,81%
2 ^o	CASCATINHA	64.936	21,94%
3 ^o	ITAIPAVA	20.444	6,91%
4 ^o	PEDRO DO RIO	14.079	4,76%
5 ^o	POSSE	10.582	3,58%
TOTAL		295.917	

Como se pode observar praticamente 63% quase da população residente encontra-se no 1º Distrito e é neste que se concentra o maior número de acidentes em encostas, ocasionados não só pela concentração populacional, mas, também, pela suas características físicas de relevo e a forma de ocupação do território.

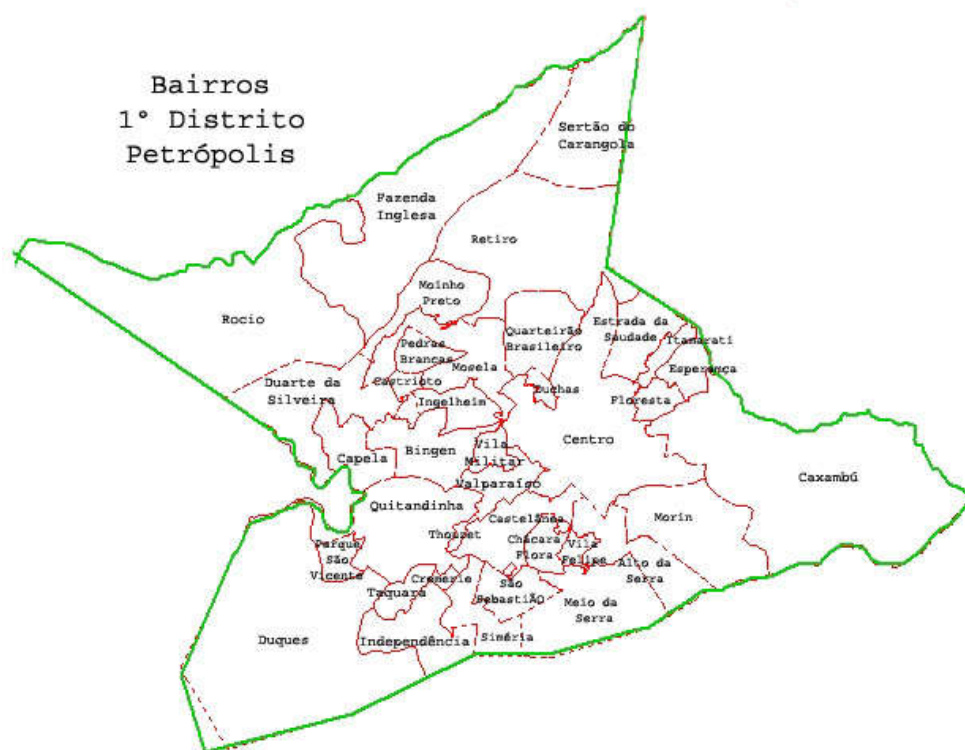


Figura 2.3 - Geografia dos Bairros no 1º Distrito (apud PMP, 2005).



3. OBJETIVOS

O presente relatório tem o fito de apresentar proposta de metodologia que consiste em 2(duas) ações distintas, a primeira se concentra na revisão do PMRR, concluído em 2007 para o 1º Distrito de Petrópolis, a segunda consiste no detalhamento da metodologia proposta para a elaboração do PMRR para o 2º, 3º, 4º e 5º distritos de Petrópolis.

Uma vez que a Avaliação de Risco e, conseqüentemente, a elaboração de Mapas de Suscetibilidade de Movimentos de Massa (Mapas de Perigo) e dos Mapas de Risco, ensejam em si um diagnóstico refletindo o cenário à época de sua elaboração, portanto, demandam de revisões periódicas e de atualização frequente, através de atividades de Monitoramento de Risco. Os recentes eventos catastróficos que acometeram a cidade, principalmente, no Vale do Rio Santo Antônio (Itaipava) em 2008; novamente no Vale do Rio Santo Antônio e estendendo-se para o Vale do Rio Cuiabá em 2011, que juntamente com os eventos catastróficos nas cidades de Teresópolis e Nova Friburgo, constituíram o maior catástrofe natural na história do Brasil com 905 mortos, 191 desaparecidos, em Petrópolis a tragédia resultou em 71 mortes e 45 desaparecidos.. E recentemente (2013) o evento de chuvas entre os dias 17 e 18 de março (cerca de 450 mm de chuva em 24 horas) que deflagrou centenas de escorregamentos, principalmente na região sul do 1º Distrito de Petrópolis, resultando na morte de 34 pessoas e 45 desaparecidos. Estes eventos, mais que confirmam a necessidade imperiosa da elaboração de políticas voltadas para a permanente avaliação de risco, elaboração de planos de contingência, ações de monitoramento e programas com medidas estruturais e não estruturais de prevenção de risco de movimentos de massa, enchentes e inundações em toda a Região Serrana do Rio de Janeiro.



Foto 01- Imagem aérea dos escorregamentos no Vale do Cuiabá em Itaipava (apud Muniz & Spada, 2011).



Foto 02 - Outra imagem aérea dos escorregamentos no Vale do Cuiabá em Itaipava (apud Muniz & Spada, 2011).



A revisão do PMRR do 1º Distrito de Petrópolis se concentrará na discussão com o corpo técnico da PMP do plano elaborado, levantando em conta seus pontos fracos e forte e, principalmente, a validação das áreas de risco alto e muito alto e uma melhor estimativa da população residente nestas áreas.

3.1 Revisão do Plano Municipal de Redução de Risco do 1º Distrito (2007)

Nesta etapa será proposto o georeferenciamento das ocorrências registradas pela PMP, registradas no banco de dados da recém criada Secretaria de Proteção e Defesa Civil de Petrópolis e do Serviço Geológico do Estado do Rio de Janeiro (DRM-RJ) no Mapa de Risco, parte integrante do PMRR (2007). O objetivo desta etapa do trabalho é validar as 102 áreas de risco alto e muito alto identificadas no PMRR (2007) e, ainda, se for o caso, incorporar novas áreas, que deverão ser vistoriadas pela equipe do projeto.

Outro objetivo a ser perseguido, não só para a revisão do PMRR (2007), porém, para todos os demais Distritos do Município de Petrópolis é a melhoria da quantificação do número de famílias e moradores residentes nas áreas de risco identificadas. O levantamento de famílias à época da elaboração do PMRR se baseou na contagem de moradias, através de fotos aéreas, e estimativa de números de habitantes, considerando 4 (quatro) indivíduos por moradia.

Como forma de suprir esta limitação do trabalho anteriormente realizado, propõe-se a realização de consulta aos dados dos setores censitários de assentamentos subnormais censo de 2010, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), e dados do cadastro de ligações das concessionárias de serviços públicos de energia elétrica (AMPLA) e água e esgoto (Águas do Imperador).

3.2 Elaboração do Plano Municipal de Redução de Risco do 2º, 3º, 4º e 5º Distritos de Petrópolis.

O evento de chuvas catastrófico ocorrido em 12 de janeiro 2011 que atingiu a Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, em Petrópolis se concentrou no Vale do Cuiabá no Distrito de Itaipava e em alguns pontos do Distrito da Posse.

Neste local ocorreram dezenas de escorregamentos no alto de montanhas, os detritos oriundos destes escorregamentos foram canalizados (corridas de detritos) através dos talwegues e córregos, ou ainda, espalhados pelas encostas, carreando um volume gigantesco de lama, fragmentos de rocha e árvores, para o rio Cuiabá. Este,



repentinamente, aumentou de volume e velocidade de escoamento (típicos de uma cabeça d'água de proporções gigantescas). Com energia descomunal, o escoamento torrencial solapou margens, arrancou árvores, destruiu casas, carreou veículos, elevando o nível do leito do rio e desconfigurando totalmente o seu traçado. Enfim, o rio passou a ocupar toda dimensão transversal da várzea de inundação ali existente, incluindo em alguns trechos a própria Etr. Ministro Salgado Filho. O fluxo dos detritos chegou a formar barragens criando reservatórios naturais que acabavam não resistindo às pressões e rompendo de forma abrupta causando, assim, mais estragos a jusante, e chegando sob a forma de inundação às comunidades de Madame Machado, Etr. do Gentio, Etr. das Arcas e Benfica ao longo do rio Santo Antônio.

Uma grande e preciosa lição pode se extrair da tragédia do Vale do Cuiabá, ou seja, se forem consultados os registros de ocorrências na Defesa Civil Municipal nas últimas décadas, poucos registros seriam encontrados até às chuvas de 2008. Entretanto, enxergando-se em detalhe as encostas na região é possível identificar diversas condições predisponentes de movimentos de massa de natureza geológica, geomorfológica e ambiental. As encostas nesta região são bastante íngremes e a amplitude das montanhas em relação ao nível do fundo do vale é bastante alta. No topo das encostas observa-se a ocorrência de solos rasos sobre o embasamento rochoso e, em algumas situações, a cobertura vegetal com gramíneas pouco protege a capa de solo. Neste contexto a ação antrópica não se fez presente como agente efetivo preparatório, pois, os principais locais de fontes de escorregamentos são regiões intocadas pelo homem. Porém, a ampla várzea de inundação ao longo do fundo do vale denota, de forma inquestionável, eventos pretéritos de inundações com grande deposição de sedimentos ao longo do Vale do Rio Cuiabá.

Enfim, uma abordagem metodológica, para a Avaliação de Risco, que parta, precipuamente, do registro de ocorrências pretéritas pode deixar que viessem a ser avaliadas diversas regiões com características análogas à situação do Vale do Cuiabá. Neste sentido, propõe-se uma metodologia que conjugue um trabalho preliminar de integração temática de mapas de estado natural de atributos, tais como: declividade, geologia e geomorfologia, drenagem natural, vegetação, ou seja, um conjunto de agentes predisponentes que tornam uma região mais ou menos suscetível (perigosa) para a ocorrência de movimentos de massa.



O Vale do Cuiabá é uma região de Itaipava onde a ocupação, apesar de remontar o início do século XX, ainda é bastante esparsa, constituída por fazendas e sítios e alguns condomínios de alto padrão. A população mais pobre e, até mesmo a classe média baixa, constituída principalmente por prestadores de serviço, ocupa a faixa marginal ao longo do rio Cuiabá e, conseqüentemente, será a mais afetada pelo evento catastrófico.

Neste contexto, a terra é muito especulada, principalmente pela proximidade do centro de Itaipava, portanto, constitui-se em territórios de reserva para futuros empreendimentos imobiliários.

O Plano Diretor de Petrópolis aponta os Distritos, principalmente o 3º (Itaipava), o 4º (Pedro do Rio) e o 5º (Posse) com áreas para abrigar o crescimento populacional da cidade. Neste sentido, a ampliação do PMRR, através da elaboração, principalmente, do Mapa de Suscetibilidade (Perigo) de Movimentos de Massa, ganha extrema importância, uma vez que com o emprego desta ferramenta de Planejamento Urbano é possível indicar as áreas seguras para o crescimento imobiliário do Município e, desta forma, mantendo-se esterilizadas para a ampliação da mancha urbana as áreas perigosas.



4. DETALHAMENTO DA METODOLOGIA PARA O PMRR.

Conforme o quadro 1, anteriormente apresentado, o PMRR para os 2º, 3º, 4º e 5º **Distritos de Petrópolis, compreenderá 7(sete) etapas, a começar pela presente que consiste no detalhamento propriamente dito da metodologia que vai ser empregada. Na sequencia será apresentada o detalhamento desta metodologia.**

4.1 Detalhamento da 2ª etapa - Mapas de Estado Natural

Nesta etapa serão realizados trabalhos de campo e escritório visando a elaboração dos Mapas de Estado Natural para o 2º, 3º, 4º e 5º Distritos e Revisão do Plano de Redução de Risco do 1º Distrito.

4.1.1 Elaboração de Mapas de Estado Natural para o 2º, 3º, 4º e 5º Distritos

Os Mapas de Risco constituem um instrumento importantíssimo para o **planejamento e controle** do uso e ocupação do solo e, **atividades** essencialmente **preventivas**. Estas cartas, por traduzirem o Risco no momento presente em que são elaboradas, assim, funcionam como auditorias periódicas de risco, instrumento capaz de aferir a evolução do risco em uma dada área.

Para a elaboração do mapa de Risco serão desenvolvidos ou aproveitados, a partir de trabalhos já realizados, mapas temáticos. Os **mapas de declividade**, a partir da base topográfica disponível na PMP; um mapa de **domínios geológicos-geotécnicos** realizado com base em trabalho de campo e consulta a documentos existentes; mapa de **freqüência de acidente por região**, elaborado com base no Inventário de Acidentes e Situações de Risco. Os **mapas de vegetação** e **mapa de padrões construtivos** foram aproveitados do trabalho de mapeamento realizado pela APA-Petrópolis (IBAMA).

O Mapeamento de Risco tem como objetivo principal localizar áreas suscetíveis a movimentos de massa, enchentes e inundações, bem como estabelecer áreas potenciais de depósito (a jusante) e identificar e quantificar as possíveis consequências nestas áreas, associando assim, de forma quantitativa, estas duas variáveis, e expressando o Risco através de um valor ou de uma expressão do grau de risco.

O objetivo acima excluiria as áreas ainda não ocupadas, porém com grande potencial de acidentes, pois apresentariam risco nulo ou seriam classificadas com grau de risco baixo, entretanto estas áreas devem ser classificadas como **áreas com situações de**



risco potencial, conforme preconizado no Plano de Trabalho elaborado pela Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Econômico.

A metodologia proposta a seguir para o Mapeamento de Risco de Movimentos de Massa para o Município de Petrópolis será baseada em amplo estudo da bibliografia concernente ao assunto e da experiência dos técnicos da Prefeitura de Petrópolis com os mapeamentos realizados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT, 1990) e do mapeamento da APA, realizado para o IBAMA (ECOTEMA, 2001).

Esta metodologia prevê a realização de 3 (três) etapas de ensaios com mapas temáticos ordem abaixo, ver figura 3.1:

ETAPA I: Compilação, geo-referenciamento de dados e geração dos mapas temáticos: **regiões (probabilidade inicial anual de acidentes por região); declividade; vegetação; domínios geológicos e drenagem natural.**

ETAPA II: Geração por integração temática dos mapas de estado natural gerando o **Mapa de Suscetibilidade (Perigo) de Escorregamentos, através de algoritmo da Teoria Bayesiana.**

ETAPA III: Compreende a integração do Mapa de Suscetibilidade com o Mapa de **Padrões Construtivos (vulnerabilidade das construções) e informação de vulnerabilidade temporal** para, assim, a gerar o Mapa Quantitativo de Risco Individual Anual.

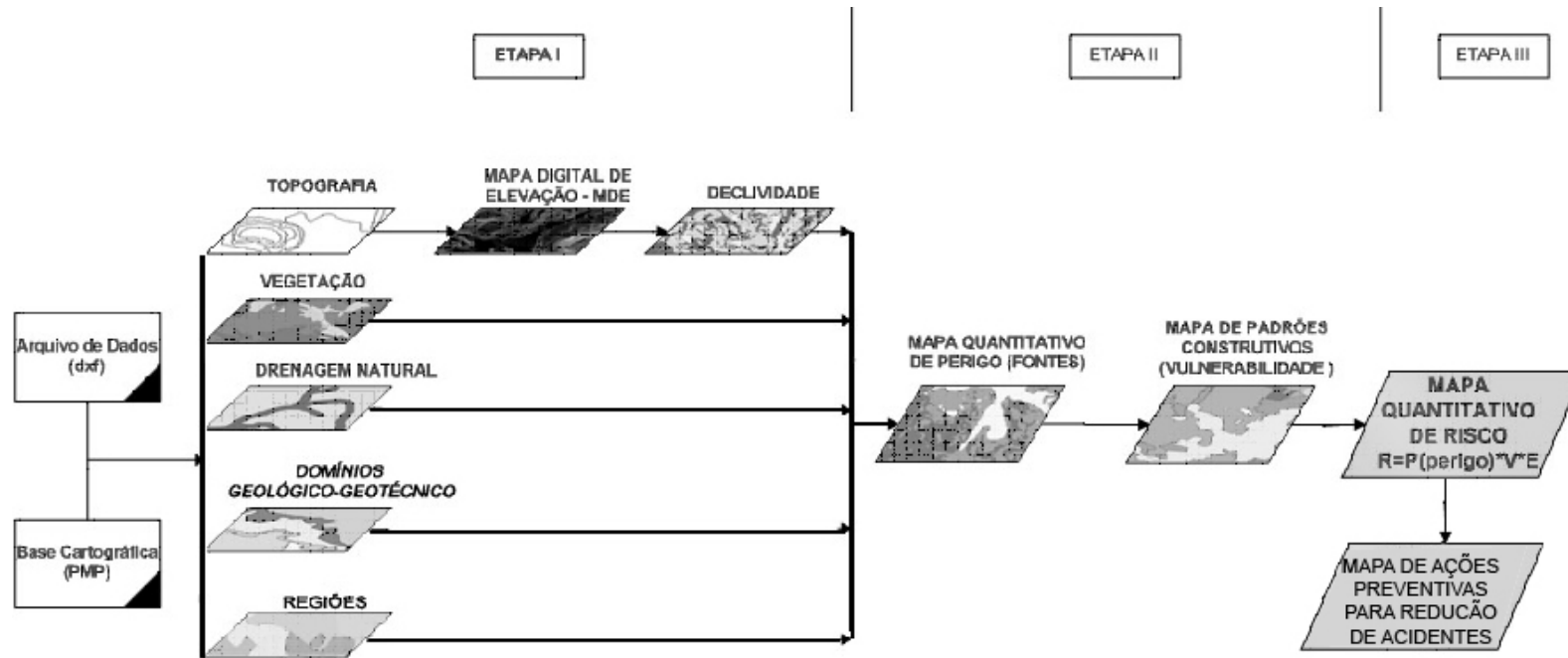


Figura 3.1 Etapas de ensaios com Sistemas de Informações Geográficas (SIG).



A elaboração dos mapas em estado natural compreendeu trabalhos de escritório como foto interpretação e geoprocessamento, além de trabalhos de campo.

Conforme já mencionado, os dados utilizados para montagem dos mapas temáticos são originários de trabalhos anteriores, de pesquisas já realizadas e fotos aéreas (Fundação CIDE, 2003).

Os trabalhos foram reunidos e montou-se um banco de dados a partir da base cartográfica existente, as informações foram geo-referenciadas obtendo-se os seguintes mapas:

- **Mapa Geográfico de Regiões.**
- **Mapa de Declividades;**
- **Mapa de Vegetação;**
- **Mapa de Drenagem Natural;**
- **Mapa de Domínios Geológicos;**

Na metodologia proposta os mapas caracterizam um tema distinto que se refere ao meio físico. Cada tema é constituído de classes (atributos) que foram associadas uma probabilidade deduzida que corresponde ao julgamento por especialistas dos agentes predisponentes, ou seja, das condições geológicas, geomorfológicas e ambientais em que o escorregamento irá ter lugar. Em face da ausência de dados estatísticos da relação entre os agentes predisponentes e a ocorrência de escorregamentos, foram adotadas probabilidades, deduzidas por especialistas, que expressam a confiança em que cada atributo contribua com mais ou menos à suscetibilidade de ocorrência de escorregamentos.

ASSOCIAÇÃO DE PROBABILIDADES COM DECLARAÇÕES DESCRITIVAS

A quantificação de valores está baseada na teoria das probabilidades. A teoria das probabilidades é uma forma de quantificação de incertezas, onde estas são expressas através de números compreendidos entre 0 e 1. As pessoas também usam frases descritivas para expressar a noção de incerteza. Por exemplo, as pessoas dizem que algo é provável (“likely”) ou plausível (“probable”). As pessoas podem afirmar: “existe uma chance muito grande disso acontecer”. Estas descrições verbais são carregadas de significado, mas são menos acuradas que números. Portanto, tentar juntar descrições



verbais para o ajuste da escala numérica de probabilidades, e então usar descrições verbais como meio de medir probabilidade por julgamento.

Probabilidades por julgamento ou verossimilhança (“judgemental probability” ou “likelihood”) é o grau de confiança que um indivíduo possui na provável ocorrência de um evento ou na verdade de uma proposição, expressa através de probabilidade entre 0 e 1.

Especialista (“expert”) é o indivíduo com particular experiência ou conhecimento sobre um projeto, lugar, tecnologia ou outro aspecto da avaliação de risco.

Dedução ou interferência por especialista (“expert elicitation”) consiste no processo de adicionar, numa Análise de Risco, a consideração de um especialista levando-se em conta o grau de confiança deste especialista numa dada evidência, e quantificar este grau de confiança através da probabilidade por julgamento.

Probabilidade de consenso é a probabilidade agregada ou distribuição de probabilidades de um grupo de especialistas.

A Análise de Risco, certamente envolve um número amplo de incertezas. Somente parte dessas incertezas é acessível através da estatística e da modelagem. Entretanto mesmo quando as incertezas são difíceis de modelar, pode ocorrer que os engenheiros tenham opiniões bem fundadas sobre elas. O uso de opiniões quantificadas de especialistas permite a inclusão destes tipos de incertezas na Análise de Risco, sendo desta forma um veículo de quantificação da opinião de especialistas chamado, probabilidade por julgamento.

A probabilidade por julgamento é uma forma de capturar formalmente opiniões de especialistas em números e, então combinar estas opiniões em modelos. A incerteza capturada desta forma certamente tem um valor numérico que depende do domínio pessoal do especialista da incerteza, na experiência que esta pessoa e o quanto esta pessoa sabe.

A experiência corrente sugere que, no mínimo nos estágios iniciais da dedução por especialistas, as pessoas acreditem que as descrições verbais sejam mais intuitivas do que os números. Assim, tais descrições são inseridas como componentes dentro de árvores de eventos ou falhas. Então transformações aproximadas entre descrições



verbais e aproximações por quantificação de probabilidades por julgamento podem ser fixadas para eventos componentes.

Uma advertência deve ser feita sobre o uso de descrições verbais: o espectro de significados de probabilidades numéricas para pessoas diferentes pode ser amplo e, mesmo para um único indivíduo, o valor numérico associado pode mudar com o contexto semântico na qual a descrição verbal é empregada.

A Tabela 4.1 apresenta uma lista de descrições verbais simples de incerteza, adaptada dos trabalhos de **Lichtenstein & Newman (1967)** e **Vick (1997)**, e que será adotada neste trabalho para o julgamento das situações apresentadas em cada classe temática.

Tabela 4.1 *Descrições verbais de probabilidades adaptadas de Lichtenstein e Newman (1967) e Vick, (1997).*

DESCRIÇÃO VERBAL	PROBABILIDADE EQUIVALENTE
Virtualmente impossível	0,01
Muito improvável ("very unlikely")	0,1
Completamente incerto	0,4
Incerto ("uncertain")	0,5
Provável ("likely")	0,7
Muito provável ("very likely")	0,9
Virtualmente certo	0,99

MAPA GEOGRÁFICO DE REGIÕES

Este mapa será desenvolvido para cada distrito de Petrópolis dividindo em regiões que compreenderão as sub-bacias dos principais rios e córregos do 2º, 3º, 4º e 5º, pois, não existe na PMP um mapa de bairros e localidades formalizado.

Primeiramente, serão identificadas a sub-bacias de cada distrito, identificados os bairros e localidades associados a estas sub-baciais e, por fim, estes bairro serão agrupados por regiões preenchendo-se a tabela 4.2. Para este propósito serão empregados os mapas disponíveis na Secretaria de Planejamento e Urbanismo da PMP e os limites, quando existirem, de bairros e localidades.



Tabela 4. 2 Descrição de regiões com discriminação dos bairros e localidades agrupados por sub-bacias no 2º, 3º, 4º e 5º Distritos de Petrópolis.

DISTRITO	SUB-BACIAS	BAIRRO/LOCALIDADE	REGIÃO
2º Distrito - Cascatinha			
3º Distrito - Itaipava			
4º Distrito - Pedro do Rio			
5º Distrito - Posse			

O mapa de regiões é a base para aplicação do modelo proposto. Associou-se um atributo que corresponde a probabilidade inicial de acidentes aproximada à frequência relativa de acidentes para cada região de acordo com inventário de acidentes registrados na Secretaria de Proteção e Defesa Civil do Município de Petrópolis. A Figura 4.1 exemplifica a representação gráfica do Mapa de Regiões do 1º Distrito de Petrópolis.

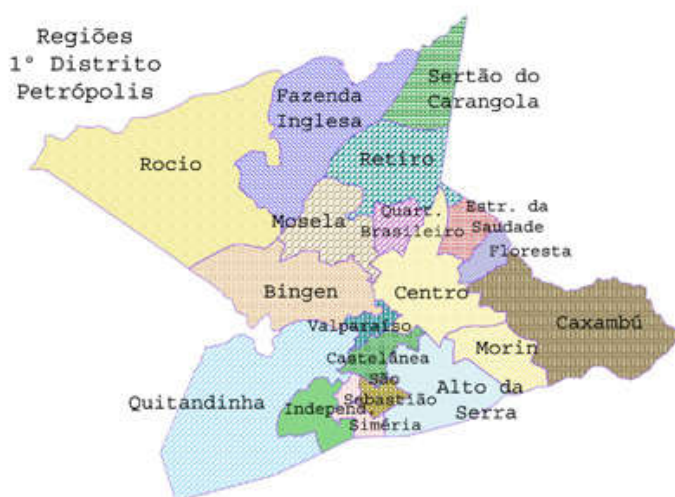


Figura 4. 1 Mapa geográfico das regiões proposto para o 1º Distrito de Petrópolis (PMRR, 2007).



MAPA DE DECLIVIDADES

Este mapa será obtido a partir da exportação dos arquivos originais Base Cartográfica de Petrópolis (1995). A base cartográfica utilizada para a elaboração dos mapas temáticos no estado “natural” será o levantamento aerofotogramétrico realizado pela PROSPEC (1995). O projeto será realizado para a Prefeitura Municipal de Petrópolis, sendo que o objetivo principal do trabalho será atualização do cadastro predial e territorial do Município. A cobertura aerofotogramétrica nas escalas 1:25.000 e 1:6.000 possibilitou a confecção de mapeamentos nas escalas 1:10.000 e 1:2.000, respectivamente. As fotos foram tiradas no período de Janeiro a Junho de 1995.

Na seqüência será gerado um Mapa com Modelo Digital de Elevação (MDE) e, a partir deste tema, o Mapa de Declividades da área em estudo. A Figura 4.2 mostra as fases para a construção do Mapa de Declividades.

Mapa de declividade

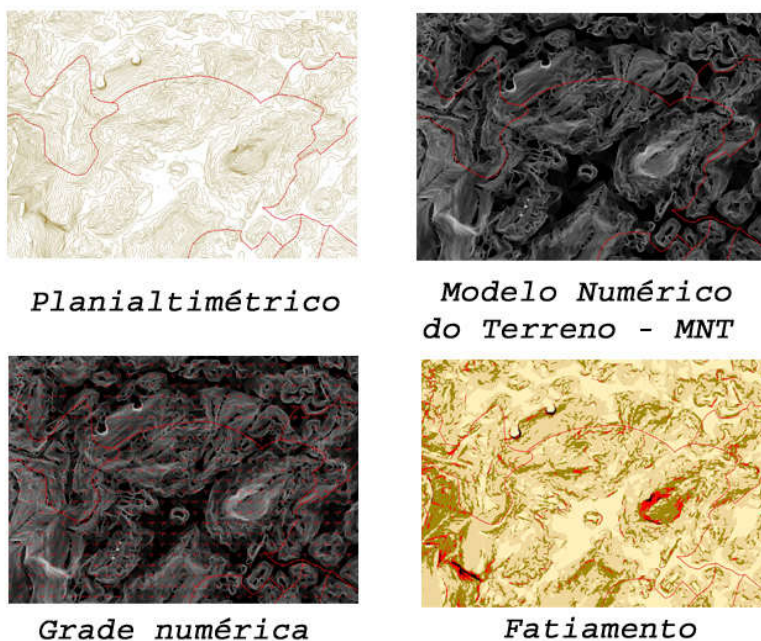


Figura 4.2 Fases de elaboração do Mapa de declividade (VARANDA,2006)

Neste mapa será prevista a geração de classes de declividades (atributos), a considerar, com respectiva tipologia de movimento:



- **Abaixo de 10°**, encosta estável;
- **Entre 10° e 30°**, áreas de aluviões e colúvios, predominantemente;
- **Entre 30° e 45°**; áreas de colúvios e solos residuais maduros, predominantemente;
- **Entre 45 e 60°**, áreas de colúvios, solos residuais, predominantemente;
- **Acima de 60°**, áreas de afloramentos de rocha, predominantemente.

Cada atributo será valorado com uma probabilidade de contribuir para os processo de movimento de massa, forma apresentada na Tabela 4.3. A Figura 4.3 apresenta o Mapa de Declividades desenvolvido para o 1º Distrito (PMRR, 2007).

Tabela 4.3 *Correlação entre declividades, tipologias de movimentos e probabilidades deduzidas por especialistas.*

DECLIVIDADE	TIPOLOGIA DE MOVIMENTO	DESCRIÇÃO VERBAL	PROBABILIDADE EQUIVALENTE
Abaixo de 10°	Encosta estável	Muito improvável	0,01
Entre 10° a 30° ,	Rastejos e escorregamentos	Incerto	0,1
Entre 30° e 45°	Escorregamentos	Provável	0,5
Entre 45 e 60°	Escorregamentos	Muito provável	0,9
Acima de 60°	Queda de fragmentos	Completamente incerto	0,7

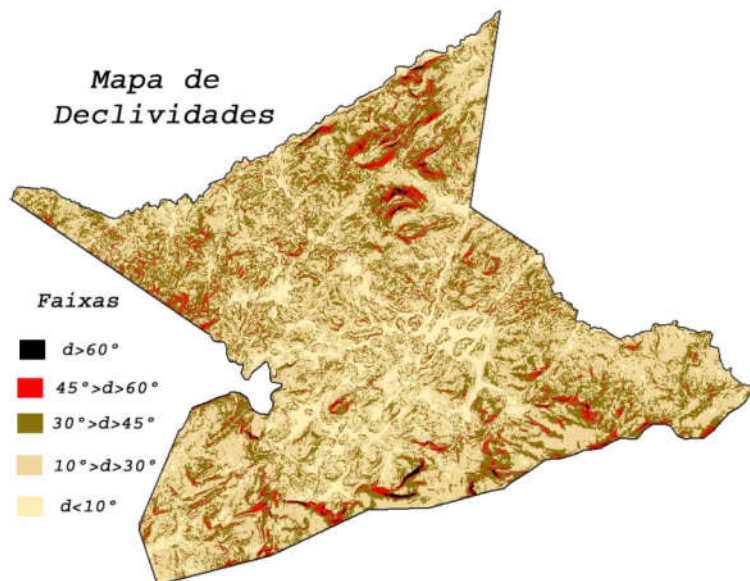


Figura 4.3 Mapa de Declividade do 1º Distrito (PMRR, 2007).

MAPA DE VEGETAÇÃO

O Mapa de Vegetação será gerado para cada distrito com base em trabalho de escritório de consulta aos documentos existentes, como por exemplo, os mapas de vegetação desenvolvidos pelo Instituto Terra Nova, resultado de um Termo de Ajuste de Conduta (TAC), incentivado pelo IBAMA através do Órgão gestor da APA Petrópolis; imagens de satélite e vistorias a campo.

A região que será estudada está inserida em uma parcela de área remanescente da Mata Atlântica, bioma brasileiro que possui alto índice de biodiversidade. Como consequência desta característica existem várias áreas protegidas por Leis, sendo a principal denominada Área de Proteção Ambiental de Petrópolis (APA-Petrópolis), Unidade de Conservação criada pelo decreto número 87.561 de 13 de setembro de 1982, que compreende quase que em sua totalidade o 1º Distrito de Petrópolis (Figura 4.4), parte do 2º e 3º distritos. Além desta, também fazem parte da área o Parque Nacional da Serra dos Órgãos (a leste), Reserva Biológica do Tinguá (REBIO-Tinguá) (a oeste).

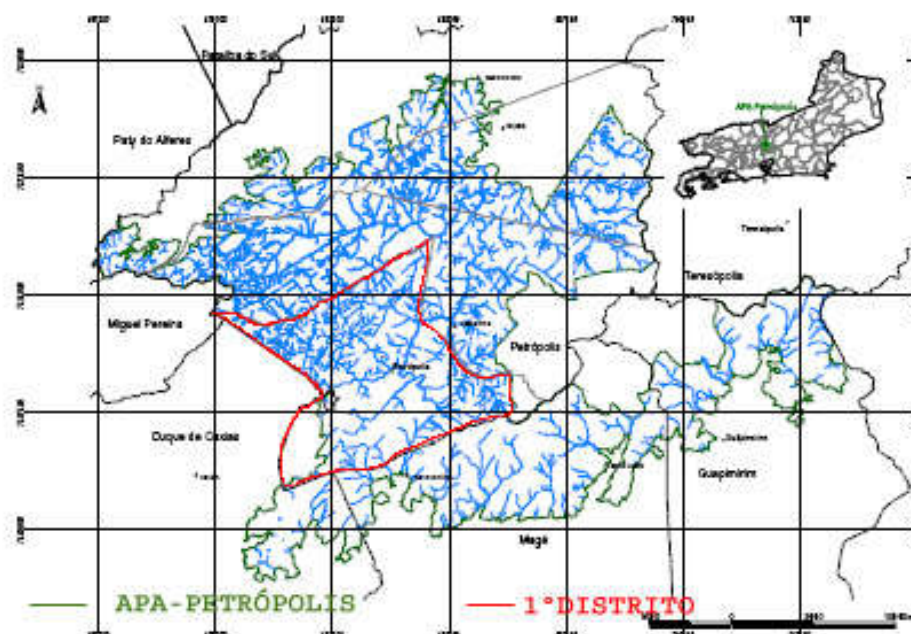


Figura 4.4 Área de Proteção Ambiental de Petrópolis (TERRA NOVA, 2005).

A cobertura vegetal será subdividida em várias tipologias, para cada uma delas será deduzida uma probabilidade. A Tabela 4.4 apresenta as classes de vegetação e respectiva probabilidades deduzidas, a partir do julgamento de especialistas.

Tabela 4.4 Classes do mapa de Vegetação com as respectivas probabilidades deduzidas.

CLASSES DE VEGETAÇÃO	SIGLA	Probabilidade deduzida
AFLORAMENTO ROCHOSO	ar	0,1
CAMPOS DE ALTITUDE	cal	0,1
VEGETAÇÃO RUPRESTE	rupherb	0,1
FLORESTA EM ESTÁGIO AVANÇADO DE SUCESSÃO	fla	0,1
FLORESTA EM ESTADO MÉDIO DE SUCESSÃO	flm	0,1
FLORESTA EM ESTÁGIO INICIAL DE SUCESSÃO 2	fliherb	0,1
FLORESTA EM ESTÁGIO INICIAL DE SUCESSÃO 1	fli	0,4
GRAMÍNEAS	gra	0,4
ÁREA AGRÍCOLA	agro	0,1
SILVICULTURA	euc	0,1
SOLO EXPOSTO	se	0,7
MOVIMENTO DE MASSA	mm	0,7
PEDREIRA	ped	0,4
ÁREA URBANA	au	0,5
ÁREA URBANA DE BAIXA DENSIDADE	aubd	0,1

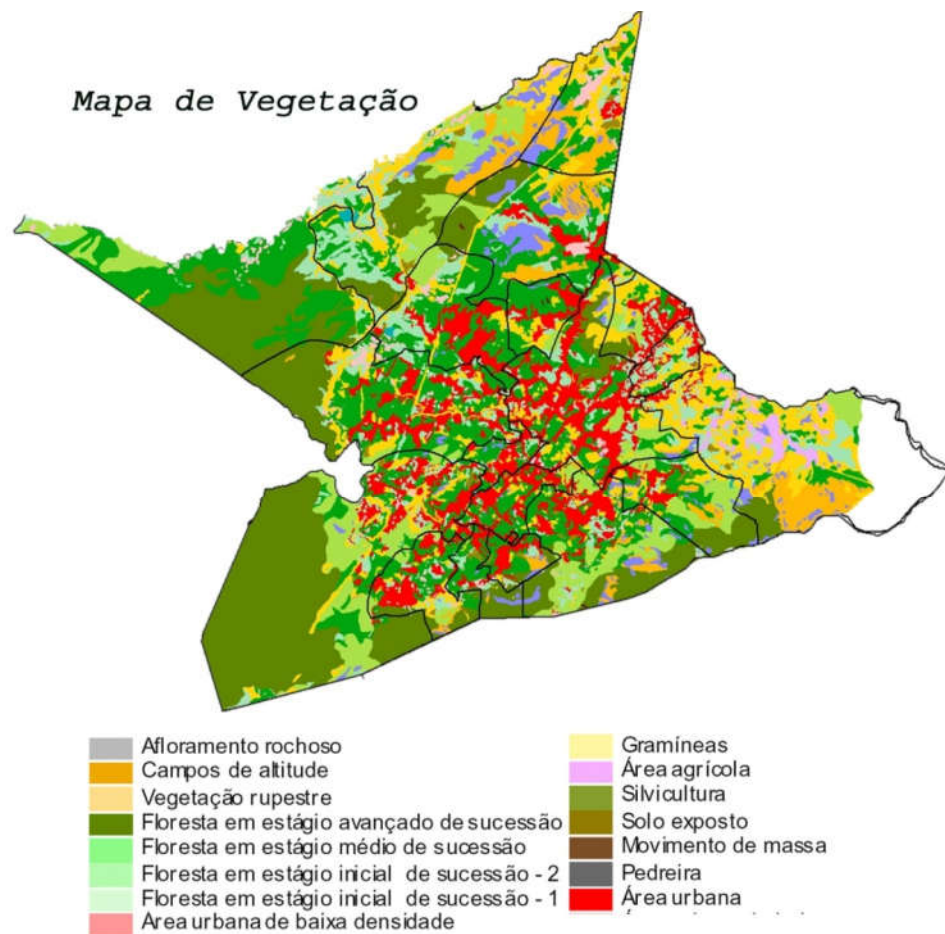


Figura 4.5 Mapa de Vegetação elabora para o 1º Distrito (adaptado TERRA NOVA, 2005, integrante do PMRR de 2007).

MAPA DE DRENAGEM NATURAL

O mapa de Drenagem Natural será elaborado a partir da identificação dos rios, córregos e linhas de drenagem natural para cada sub-bacia das regiões, nos quais será delimitada uma faixa marginal (FM), que corresponde à interferência mínima adotada para o fluxo natural das águas, ou seja, não se está levando em consideração a situação crítica do escoamento dos rios, que são aquelas enchentes e inundações que ocorrem em épocas de ocorrência de altos índices pluviométricos e as faixas de proteção definidas por legislação específica.

Ocorre na região o clima mesotérmico tipo Cwb, segundo a classificação de Köppen, correspondente ao tropical de altitude com verões frescos chuvosos. A temperatura média anual varia 13°C e 23°C, segundo a região e, sobretudo o gradiente de altura.



As ocorrências de precipitações atingem altos índices, 2.000mm, mesmo durante o inverno. A estação chuvosa tem início em novembro e término em março e a seca vai de maio a setembro.

Durante o verão, as frentes frias que se originam na região polar antártica cruzam o oceano Atlântico, num ritmo cíclico de cerca de uma frente por semana. Ao se depararem com as massas de ar quente tropicais, ao longo da costa sudeste brasileira, tais frentes geram fenômenos de instabilidade atmosférica intensas, consistindo em fortes chuvas e tempestades. Tais chuvas acarretam com certa frequência, inundações, erosão intensa e escorregamentos, não raro de caráter catastrófico (TECNOSOLO, 1988).

Portanto, o clima é um aspecto que contribuirá muito na análise de risco, pois a ocorrência de chuvas, bem como a sua intensidade e frequência irão influenciar consideravelmente no comportamento das encostas e na avaliação de possíveis áreas de risco.

Os fenômenos e processos hidrológicos são aqueles que ocorrem naturalmente. O curso natural das águas, o processo hidrológico de enchente e inundação é um fenômeno dinâmico e que ao longo de um curso d'água pode haver trechos com cenários de enchentes e trechos com cenários de inundação, com características dinâmicas específicas de energia cinética, ou seja, variação do volume de água de impacto destrutivo que podem ou não causar efeitos adversos à ocupação humana presentes nas áreas de domínio dos processos hidrológicos.

A Tabela 4.5 relaciona os principais rios e córregos do sistema de drenagem do 1º Distrito de Petrópolis com as suas respectivas probabilidades associadas e a Figura 4.6 apresenta uma ilustração do Mapa de Drenagem Natural com a definição das sub-bacias para o 1º Distrito.



Tabela 4.5 Relação dos principais rios e córregos do 1º Distrito e respectivas probabilidades deduzidas por julgamento de especialistas.

MAPA DE DRENAGEM NATURAL			
RIOS E CÓRREGOS	SIGLAS	FAIXA MARGINAL (M)	PROBABILIDADE E DEDUZIDA
Rio Piabanha	RPI	15	0,1
Rio Quitandinha	RIQ	15	0,1
Rio Palatinato	RIP	15	0,1
Rio Paulo Barbosa - Rua Mosela	RPB	15	0,1
Rio Ave Lallemand - Rua Galdino Pimentel	RAL	15	0,1
Rio Aureliano - Saldanha Marinho	RAU	15	0,1
Rio Cremerie	RIC	15	0,1
Rio Verna - Rua Cristovão Colombo	RVR	15	0,1
Rio Alpoim - Rua Ingelheim	RAM	15	0,1
Rio Caxambu	RIC	15	0,1
Rio São Rafael - Rua Prof. Stroeler	RSR	15	0,1
Rio da Cascata	RDC	15	0,1
Itamarati	RII	15	0,1
São Paulo e Caiobá Mirim - Serra Velha	RSP	30	0,5
Meyer - Rua Luiz Winter	RIM	15	0,1
Santana – Rocio	RIS	30	0,5
Fazenda Inglesa	RFI	30	0,5
Linhas de drenagem e córregos	LDR	10	0,7
Áreas sem influência de drenagem	ASI		0,01

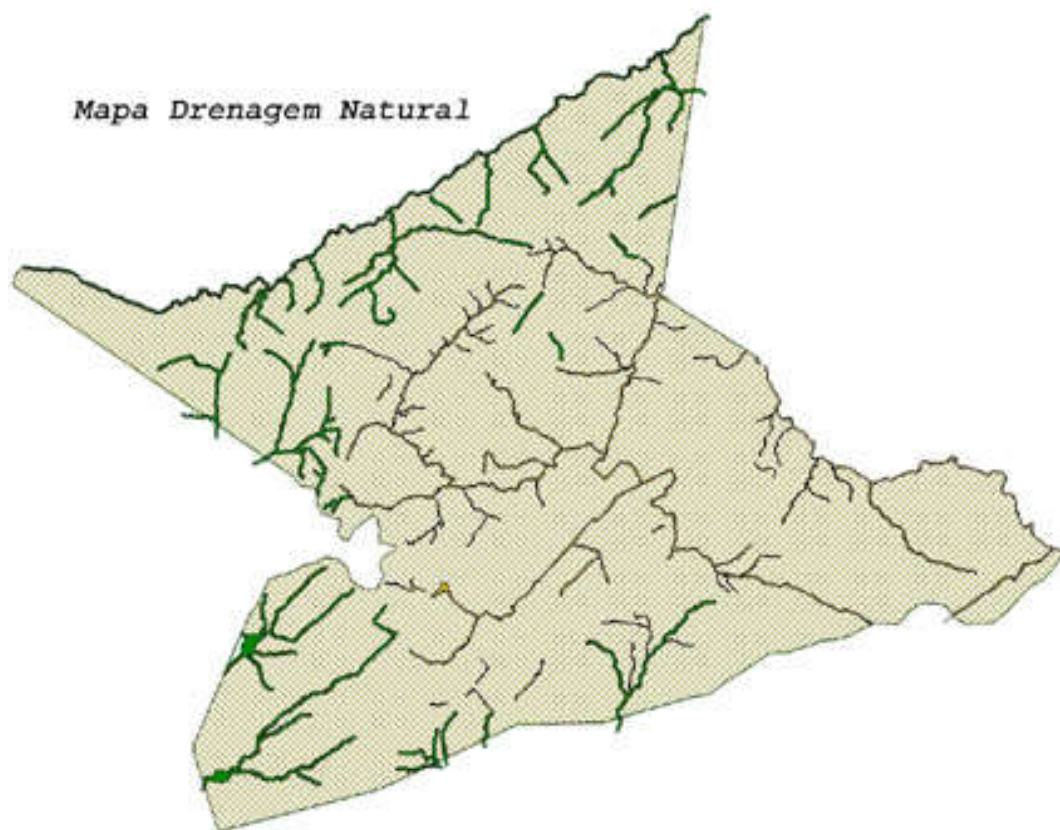


Figura 4.6 Mapa de Drenagem Natural do 1º Distrito (PMRR, 2007).

MAPA DE DOMÍNIOS GEOLÓGICOS-GEOTÉCNICOS

A elaboração deste mapa compreenderá primeiramente, a reunião de documentos de levantamentos geológicos de Petrópolis já executados, PENHA et al. (1979a; 1980); SOUZA (1983) SAD et al., (1981 a,b,c; 1982) em seguida será realizado levantamento de campo na área de cada distrito por uma equipe de geólogos. A partir das informações obtidas em campo e pesquisa dos aspectos geológicos da área será possível elaborar um relato mais detalhado deste tema, resultando na classificação de seis domínios geológicos-geotécnicos preponderantes definidos conforme relatório geológico (ANEXO I). Esta classificação possibilitará a compilação de todas as informações para que estas pudessem ser geo-referenciadas.

COMPILAÇÃO DOS DADOS E DIGITALIZAÇÃO DAS INFORMAÇÕES

Os dados de campo serão desenhados em cartas aerofotogramétricas (Figura 4.7) em escala 1:10.000 e os dados complementares em relação aos aspectos pedológicos foram obtidos de PENHA et al. (1979a; 1980); SOUZA (1983) SAD et al., (1981 a,b,c; 1982)

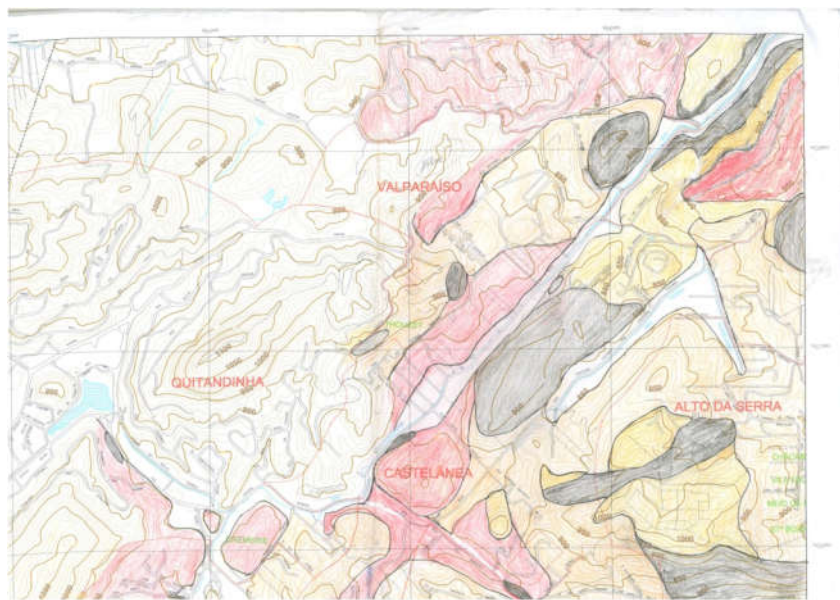


Figura 4.7 Esboço do mapeamento de campo realizado durante a elaboração do PMRR (2007).

Após o levantamento de dados e confecção manual dos mapas, estes serão digitalizados, com o uso de uma mesa digitalizadora (Figura 4.8) e para cada classe criada será



atribuído um valor de probabilidade deduzida associada, conforme demonstrado na tabela 4.6.



Figura 4. 8 Digitalização dos mapas confeccionados a partir de esboços realizados por meio de consulta à documentos existentes, imagens de satélite e trabalho de campo (PMRR, 2007).

Tabela 4. 6 Probabilidades deduzidas, associadas às classes do Mapa de Domínios Geológicos-geotécnicos.

MAPA DE DOMÍNIOS GEOLÓGICOS-GEOTÉCNICOS	SIGLA	PROBABILIDADE DEDUZIDA
SEDIMENTOS INCONSOLIDADOS	SEIN	0,01
AFLORAMENTO DE ROCHA	ARSA	0,5
ALTERAÇÃO DE ROCHA	RIMA	0,5
SOLO SAPROLÍTICO POUCO INTEMPERIZADO	SSPI	0,5
SOLO SAPROLÍTICO MUITO INTEMPERIZADO	SSMI	0,7
SOLO RASO SOBRE ROCHA	SRSR	0,9

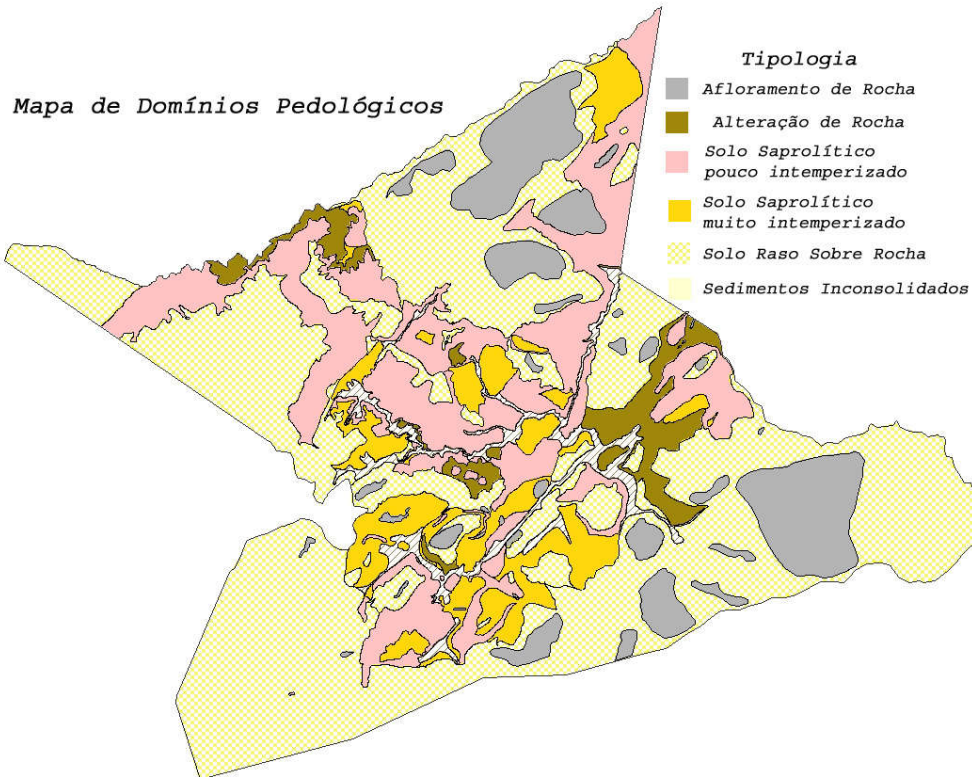


Figura 4.9 Mapa de Domínios Geológicos-geotécnicos do 1º Distrito (PMRR, 2007).

4.1.2 Revisão do Plano de Redução de Risco do do 1o Distrito.

A revisão do PMRR, concluído em 2007, será realizada através do geoposicionamento de ocorrências com base nos registros de ocorrência organizados desde 2006 pela atual Secretaria de Proteção e Defesa Civil do Município de Petrópolis.

As 102 (cento e duas) áreas de risco serão validadas e/ou revisadas, tendo em vista a possível identificação de áreas não catalogadas quando da elaboração do PMRR(2007).

Ao final deste trabalho será apresentado um novo Mapa de Risco com os dados atualizados, caso sejam identificadas novas áreas de Risco Alto e Muito Alto estas serão detalhadas nas 4ª e 5ª etapas deste trabalho.

4.2 Detalhamento da 3ª etapa - Integração Temática dos Mapas de Estado Natural

4.2.1 Integração Temática dos Mapas de Estado Natural

Nesta etapa será realizado trabalho de geoprocessamento empregando software específico compatível com o software disponível na PMP.



O Mapa de Suscetibilidade será confeccionado a partir da integração dos mapas de estado natural com o emprego de um algoritmo proveniente do Teorema de Bayes, empregando ferramenta de geoprocessamento.

A Estatística Bayesiana é uma alternativa que vem recebendo espaço crescente de aplicações em problemas ambientais e atualmente tem sido utilizado para a modelagem de dados espacialmente referenciados.

ANÁLISE QUANTITATIVA DE RISCO

A Análise Quantitativa de Risco envolve duas etapas básicas, a Análise das Situações de Risco ou da probabilidade de ocorrência do perigo, no caso escorregamento, e a Análise das Consequências que deduz os elementos em risco, sejam estas vidas humanas ou perdas de caráter econômico. A Figura 4.1 apresenta uma simplificação destas análises.

A Análise das Situações de Risco compreende a construção dos mapas de perigo e risco que consiste na estimativa das probabilidades de ocorrência do perigo e risco.

As evidências denotam a limitação do conhecimento sobre a situação de risco. A cada evidência esta associada uma incerteza aleatória ou uma incerteza epistêmica, devendo ser deduzidas as probabilidades por julgamento destas evidências influenciarem a ocorrência do escorregamento, assumindo como sendo verdadeiras as hipóteses de ocorrência do movimento e de sua respectiva probabilidade inicial.

Assim, obtém-se:

$$p(E_i | H, I)$$

, onde:

H – hipótese: ocorrência de um perigo num dado período de tempo

E_i – Evidências adicionais, como por exemplo: As evidências possíveis de serem observadas são relacionadas às causas predisponentes e deflagradoras dos escorregamentos.

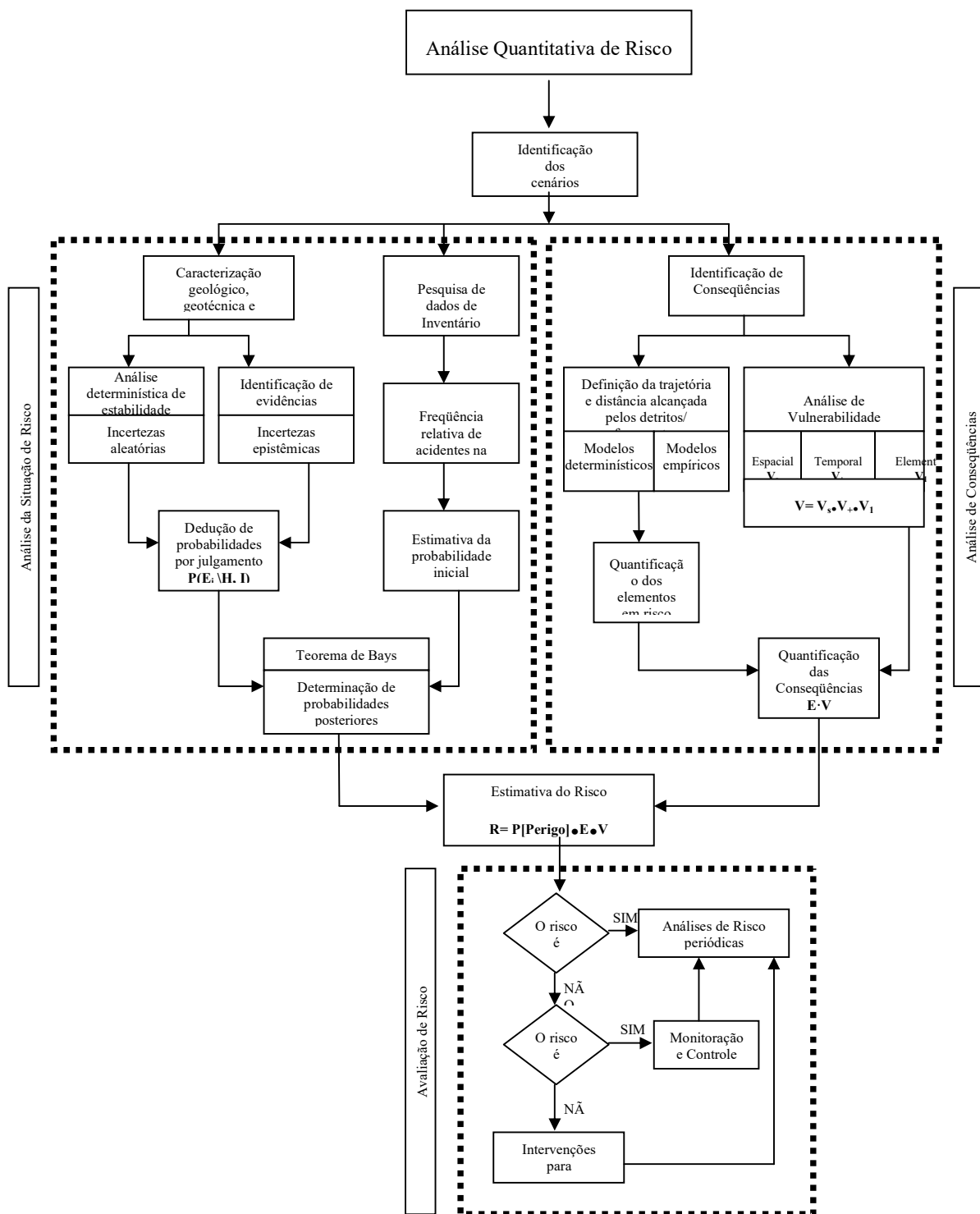


Figura 4.10 Metodologia de Análise Quantitativa de Risco através da Atualização de Dados de Inventário empregando Estatística Bayesiana (PMRR, 2007).



Evidências epistêmicas:

- E₁ – Ação antrópica;
- E₂ – Desmatamento;
- E₃ – Deterioração do sistema de drenagem;
- E₄ – Ocorrência de processos erosivos;
- E₅ – Aterro à meia encosta;
- E₆ – Corte no sopé da encosta;
- E₇ – Elevação do nível piezométrico;
- E₈ – Sinais de movimentação na encosta;
- E₉ – Aparecimento de trincas;
- E₁₀ – Feições geológicas desfavoráveis.

Evidências aleatórias:

- E₁₁ – Ângulo de atrito;
- E₁₂ – Coesão;
- E₁₃ – Sucção;
- E₁₄ – Geometria do talude;
- E₁₅ – Altura do nível d'água;
- E₁₆ – Espessura de camadas;
- E₁₇ – Permeabilidade dos solos.

Nesta etapa também é feita uma consulta ao inventário de acidentes e situações de risco a fim de se obter a probabilidade anual de acidentes para a região em estudo, esta probabilidade é aproximada pela frequência relativa de acidentes na região e é conhecida como probabilidade inicial e é expressa por:

$$p(\mathbf{H}|\mathbf{I})$$

As frequências e as probabilidades anuais para Movimentos de Massa para vários bairros de Petrópolis estão descritas no Inventário de Acidentes e Situações de Risco.

Por fim é realizada uma atualização das probabilidades através de um algoritmo decorrente do Teorema de Bayes:



$$p(H|E_i, I) = \frac{p(E_i | H, I) \cdot p(H|I)}{p(E_i|I)} \quad [5.1]$$

, onde:

$p(H|E_i, I)$ é chamada à probabilidade posterior, e dá a probabilidade de ocorrência do escorregamento num dado período de tempo considerados à influência das evidências E_i , no contexto I , e

$P(E_i|I)$ é probabilidade condicional da evidência E_i influenciar a ocorrência do escorregamento, sendo verdadeira a probabilidade inicial.

A Equação 4.1 resume a Teoria Bayesiana que será empregada na construção do Mapa de Perigo através da integração temática dos mapas de estado natural.

Para a integração temática entre os mapas de estado natural a probabilidade inicial de acidentes para cada região (inventário de acidentes) será atualizada com informações adicionais (drenagem, vegetação, declividade e geologia) para construção do Mapa de Suscetibilidade ou Perigo.

O teorema de Bayes é usado na inferência estatística para atualizar estimativas da probabilidade de que diferentes hipóteses sejam verdadeiras, baseadas nas observações e no conhecimento de como essas observações se relacionam com as hipóteses.

Bayes sugeriu que probabilidades deduzidas por julgamento, realizadas a partir de meros “pressentimentos”, poderiam ser combinadas com probabilidades obtidas por frequências relativas por meio de um teorema (RAIFFA, 1968, citado em GALVEZ, 1995).

De acordo com STULZ & CHEESEMAN (1994), o **Teorema de Bayes** enuncia uma regra para atualizar a convicção de uma Hipótese “H” (ou seja, a probabilidade inicial de uma hipótese “H”, no caso, ocorrência de escorregamentos) dada uma evidência adicional E, e a informação antecedente (contexto) I, ou seja, este teorema propõe que as probabilidades podem ser revistas quando se obtém mais informações sobre os eventos.

Portanto a frequência de acidentes por região será obtida com base no inventário de ocorrências de acidentes da Secretaria de Proteção e Defesa Civil de Petrópolis. Esta



será tomada como probabilidade inicial e a probabilidade deduzida para cada classe temática será tomada como evidência e assim pôde-se atualizar a probabilidade em cada ponto da área em estudo.

A Tabela 4.7 mostra a frequência de acidentes extraída do Inventário de acidentes compilados por Oliveira (2004) empregada no PMRR do 1º Distrito (2007).

Tabela 4.7 Probabilidade inicial anual de escorregamentos, adaptadas para as regiões do 1º Distrito do Município de Petrópolis (OLIVEIRA, 2004).

REGIÕES	FREQUÊNCIA ACIDENTES/REGIÃO	PROBABILIDADE INICIAL ANUAL
Alto da Serra	107	3,06E-03
Bingen	118	3,38E-03
Castelânea	18	5,15E-04
Caxambú	13	3,72E-04
Centro	146	4,18E-03
Estradada Saudade	49	1,40E-03
Fazenda Inglesa	1	2,86E-05
Floresta	35	1,00E-03
Independência	20	5,73E-04
Morin	22	6,30E-04
Mosela	22	6,30E-04
Quarteirão Brasileiro	17	4,87E-04
Sertão do Carangola	1	2,86E-05
Quitandinha	62	1,78E-03
Retiro	38	1,09E-03
Rocio	1	2,86E-05
São Sebastião	33	9,45E-04
Siméria	6	1,72E-04
Valparaíso	34	9,74E-04
Σ	743	1,00E+00

Para atualização da probabilidade inicial, conforme já descrito anteriormente, aplica-se um algoritmo empregando a Teoria Bayesiana.

A linguagem LEGAL (Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico), no ambiente SPRING permite a implementação de operadores sobre Campos pontuais sob a forma de expressões matemáticas no qual se podem empregar diferentes modelos condicionais.

O modelo sugerido será a aplicação de uma expressão matemática baseada na teoria Bayesiana. Será adotado, para cada ponto, representado por um “pixel”, o

correspondente a uma área de 25m² (5,0 x 5,0 metros). Os campos serão transformados pontualmente de modo que o efeito resultante sobre cada ponto é independente dos valores de pontos vizinhos

O modelo de dados de Campos e Objetos do SPRING oferece uma categorização de dados e operadores bastante natural, permitindo que estes sejam Temáticos, Imagens e Numéricos.

Os mapas temáticos criados no banco de dados expressam dados qualitativos, que estão associados aos atributos numéricos definidos para cada classe temática. Os planos de informação temáticos foram gerados em forma de vetores. Para que os dados sejam representados numericamente, os vetores são transformados em matrizes, onde cada pixel recebe um valor numérico correspondente a cada classe temática.

A partir daí obtém-se um mapa com o Modelo Numérico, onde os dados passam a ser quantitativos. Os pontos assumem valores numéricos e podem ser compostos por representações matriciais (grades retangulares), como mostra a Figura 4.11.

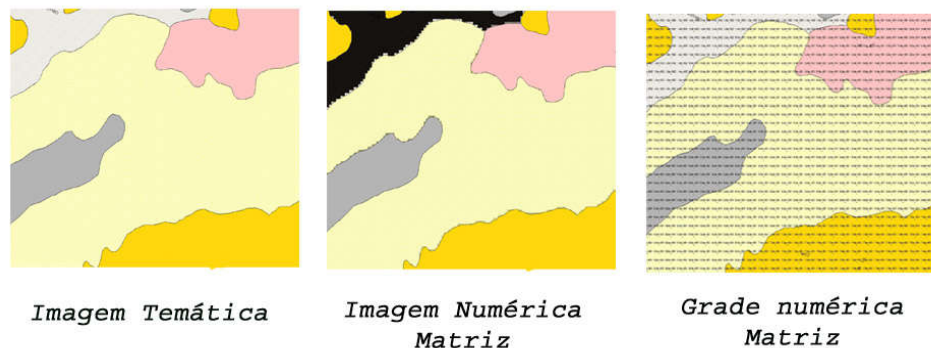


Figura 4.11 Transformação da imagem temática em matriz numérica. (VARANDA, 2006) empregada no PMRR(2007).

Com base nos dados disponíveis, onde já se determinou a probabilidade prévia (Tabela 4.7) por região, e nos atributos adotados para cada classe temática, será feita uma integração entre os mapas de forma a se determinar a probabilidade posterior para cada região estudada (Figura 4.12).

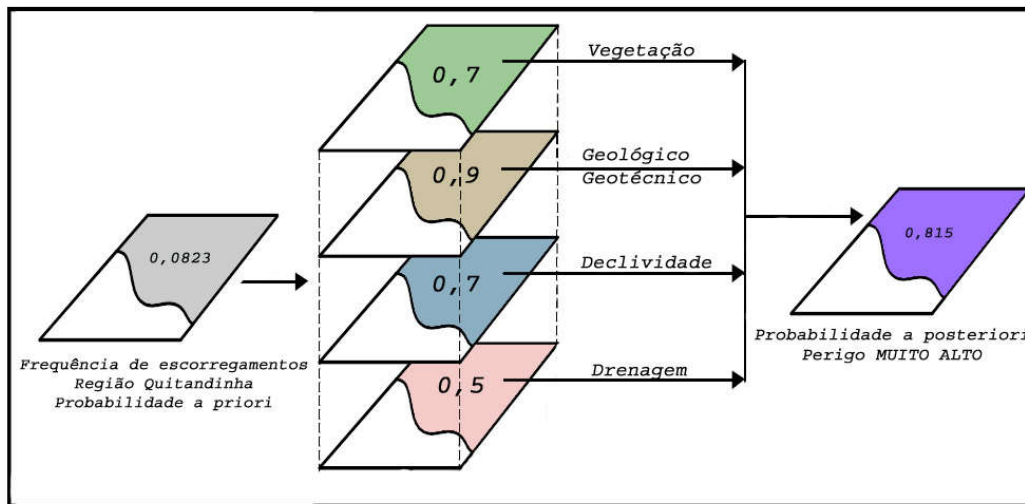


Figura 4.12 Exemplo de aplicação da teoria Bayesiana para integração temática (VARANDA,2006).

Após a integração dos valores será gerado um mapa com valores numéricos. Para cada pixel (25m²) será calculado um valor de probabilidade atualizada que será interpretado como o potencial de ocorrer escorregamentos naquela área.

A Tabela 4.8 mostra um exemplo do cálculo da probabilidade atualizada. Nesta foram feitas diversas simulações, onde foram consideradas várias situações possíveis com objetivo de testar o modelo e ajustar as probabilidades atribuídas por julgamento a cada feição temática.

A variação de cores indica valores de perigo (susceptibilidade) calculadas em cada exemplo. As faixas foram definidas como: Muito alto (roxo), alta (vermelho), médio (laranja) e baixo (preto). Os resultados apresentados mostram bastante coerência com os valores atribuídos no julgamento das classes temáticas, conforme alguns comentários descritos a seguir:

- A declividade do terreno será um dos parâmetros que mais influenciou os resultados. Pode-se notar que em todas as regiões em que os valores de probabilidade deduzida são mais baixos (0,01) resultaram em valores na faixa de perigo baixo, com exceção da região do Bingen. Porém, observa-se que esta área encontra-se na linha de drenagem (0,1), caindo na faixa de perigo (médio);



- A associação de classes de solo raso (SRSR) e solo muito intemperizado (SSMI) na área urbana ou com faixas de declividade alta resultam em valores na faixa de perigo alto e muito alto;
- As probabilidades deduzidas associadas às linhas de drenagem no domínio das encostas, associados aos outros mapas temáticos, contribuem para o aumento do valor de perigo;
- A vegetação tem influência significativa quando a classe referente a área urbana estiver associada com a drenagem ou declividades acentuadas. Como, por exemplo, na região da Floresta onde o valor final ficou na faixa de perigo Muito Alto.

Tabela 4.8 Exemplo de aplicação da Teoria Bayesiana (PMRR, 2007).

REGIÕES	Probabilidade Inicial Anual	DECLIVIDADE	VEGETAÇÃO	GEOLÓGICO GEOTÉCNICO	DRENAGEM	Probabilidade Atualizada
Alto da Serra	3,06E-03	0,01	0,1	0,5	0,01	3,48E-08
Bingen	3,38E-03	0,01	0,4	0,5	0,1	2,54E-06
Castelânea	5,15E-04	0,5	0,4	0,9	0,1	3,44E-04
Caxambú	3,72E-04	0,9	0,1	0,5	0,01	3,76E-06
Centro	4,18E-03	0,9	0,1	0,5	0,1	4,66E-04
Estradada Saudade	1,40E-03	0,01	0,1	0,5	0,01	1,59E-08
Fazenda Inglesa	2,86E-05	0,7	0,5	0,5	0,01	6,75E-07
Floresta	1,00E-03	0,7	0,5	0,5	0,1	2,60E-04
Independência	5,73E-04	0,5	0,1	0,9	0,1	6,37E-05
Morin	6,30E-04	0,5	0,1	0,9	0,01	6,37E-06
Mosela	6,30E-04	0,01	0,1	0,5	0,01	7,15E-09
Quarteirão Brasileiro	4,87E-04	0,01	0,1	0,5	0,01	5,52E-09
Sertão do Carangola	2,86E-05	0,7	0,7	0,7	0,1	4,04E-05
Quitandinha	1,78E-03	0,5	0,1	0,9	0,01	1,80E-05
Retiro	1,09E-03	0,1	0,7	0,01	0,5	2,85E-06
Rocio	2,86E-05	0,7	0,7	0,1	0,7	4,04E-05
São Sebastião	9,45E-04	0,01	0,1	0,5	0,01	1,07E-08
Siméria	1,72E-04	0,1	0,01	0,1	0,01	2,16E-10
Valparaíso	9,74E-04	0,9	0,01	0,5	0,1	9,84E-06
Σ	1,00E+00					

Portanto, é possível, através da combinação dos valores atribuídos a cada feição temática (probabilidades deduzidas) calcular o grau de perigo para uma determinada área. A partir do resultado do valor aplicado a cada tema e análise do terreno, pode-se saber qual é a característica preponderante do meio físico que contribui para a definição do grau de perigo (Muito Alto, Alto, Médio e Baixo).



Diante destas análises, será criada a Tabela 4.9 que definir alguns critérios para faixas de suscetibilidade, facilitando a interpretação dos resultados obtidos.

Tabela 4.9 Critério de avaliação de perigo para as faixas qualitativa e quantitativas de suscetibilidade (PMRR, 2007).

FAIXA DE PERIGO	CARACTERÍSTICAS DOS TERRENOS
BAIXO	Declividades inferiores a 30°, ausência de linhas de drenagem, presença de cobertura vegetal, sedimentos inconsolidados, alteração de rocha e solos saprolíticos pouco intemperizados.
MÉDIO	Declividades até 45°, solos saprolíticos muito intemperizados e solos rasos, presença de linhas de drenagem natural áreas urbanizadas (pouca vegetação).
ALTO	Declividades acima de 45°, solos saprolíticos muito intemperizados, solos rasos e afloramento de rocha presença de drenagem em encosta, áreas urbanizadas e vegetação rala.
MUITO ALTO	Declividades acima de 45°, solos rasos e afloramentos rocha, linhas de drenagem em encosta, área urbanizada e vegetação rala.

CRITÉRIOS PARA DEFINIÇÃO DE LIMITES DE PERIGO E DE RISCO

Para construção do Mapa de Suscetibilidade e de Risco será necessário estabelecer critérios para definição de faixas de perigo e risco. Estas faixas representam limites em graus de perigo e risco que são expressos através de intervalos numéricos.

As faixas de perigo e risco foram classificadas como: muito alto, alto, médio e baixo e os critérios para definição dos intervalos são apresentados a seguir.

O perigo pode ser definido como o fenômeno natural, capaz de ocasionar um fato desagradável, como por exemplo: escorregamentos de taludes naturais ou artificiais, inundações, quedas de blocos, erosão ou solapamento de margens de rios, corridas de lama, deslizamento de aterros, entre outros.

Neste trabalho, a quantificação da possibilidade de ocorrência do perigo é expressa através da **probabilidade de ocorrência do perigo**, calculada através da integração de



dados de frequências de ocorrências de escorregamentos e informações adicionais relativas ao meio-físico.

4.2.2 Elaboração do Mapa de Suscetibilidade ou Mapa de Perigo

A elaboração do **Mapa de Suscetibilidade de Escorregamentos** será baseada em informações dos **Mapas de Estado Natural**, elaborados através de foto-interpretação, trabalho de campo e a partir de pesquisa bibliográfica, conforme já mencionado anteriormente.

Então, considerou-se o perigo quantificado pela probabilidade de ocorrência escorregamentos no espaço físico, caracterizando uma situação de risco.

Já o risco associa a probabilidade de ocorrência de algum dano a um elemento em risco (vulnerabilidade) ao potencial de ocorrência de um acidente (situação de risco).

Segundo FELL & HARTFORD (1997) existe um nível de aceitabilidade e tolerância de riscos à escorregamentos em todas as regiões que apresentam potencial para ocorrência deste tipo de fenômeno. Vários estudos têm sido realizados com o intuito de se estabelecer um nível de risco, realmente considerado tolerável para possibilitar o desenvolvimento de processos de gerenciamento de risco.

O método adotado por vários autores considera a curva $f \times N$ como critério para definição dos limites quantitativos de risco. Este método considera a frequência anual de acidente por número de vítimas fatais.

Com base nos dados do inventário de frequência de acidentes (f) com vítimas fatais (N), entre os anos de 1943 a 1989, para as mortes causadas por movimentos de massa, Oliveira (2004) construiu a curva $f \times N$ para o Município de Petrópolis (Figura 4.13).

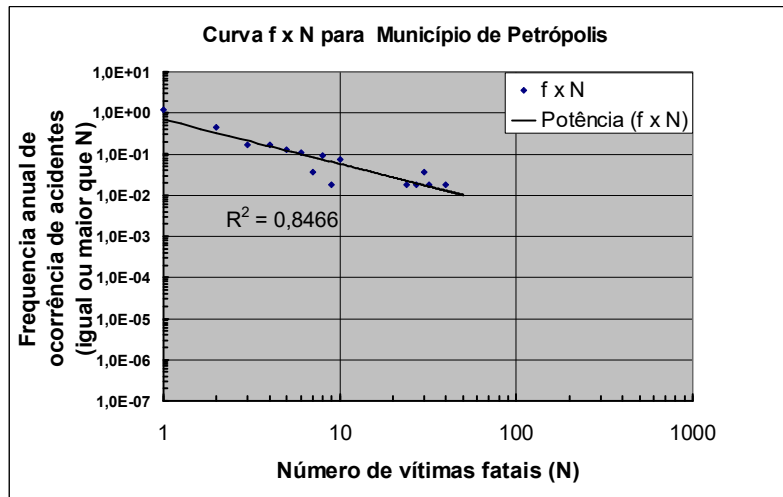


Figura 4.13 Curva f x N para mortes devidas a movimentos de massa para o período de 1943 a 1989 (OLIVEIRA, 2004).

Com base no critério de risco voluntário máximo aceitável para um indivíduo ($N=1$), geralmente fixado em 10^{-3} acrescentou-se ao gráfico da linha de tendência f x N uma linha paralela a esta passando pelo eixo vertical na ordenada 10^{-3} . A partir desta construção estabeleceu-se um limite de risco aceitável (limite inferior), um limite de risco tolerável (limite superior) e uma faixa ALARP, conforme apresentado na Figura 4.14.

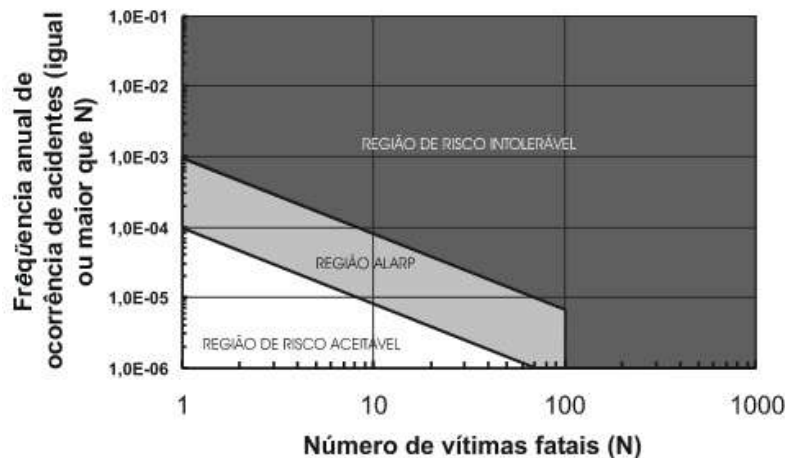


Figura 4.14 Curva f x N para mortes devidas a movimentos de massa para o Município de Petrópolis (Oliveira, 2004).

Portanto este critério será adotado para definição dos limites de risco. A Tabela 4.10 apresenta as faixas qualitativas e quantitativas de risco.



Tabela 4.10 Limites de risco utilizadas no fatiamento do Mapa Quantitativo de Risco

FAIXAS DE RISCO ANUAL		
BAIXO	ou sem RISCO	$R < 10^{-6}$
MÉDIO	RISCO ACEITÁVEL	$10^{-4} < R < 10^{-6}$
ALTO	REGIÃO ALARP	$10^{-4} < R < 10^{-3}$
MUITO ALTO	RISCO INTOLERÁVEL	$R > 10^{-3}$

Geralmente o risco é estimado pelo produto da probabilidade pelas conseqüências e uma vez que a proposta é elaborar um Mapeamento Quantitativo de Risco, será aplicado o conceito de Risco como medida da probabilidade de ocorrência de um movimento de massa, enchentes ou inundações (perigos) associadas à intensidade das conseqüências, no caso, estimativa de perdas de vidas humanas. Então o risco o pode ser definido através da seguinte expressão analítica:

$$R = p[\text{perigo}] \cdot V \cdot E \quad [5.2]$$

, onde:

R = Risco;

p[perigo] = probabilidade de ocorrência de um perigo, no caso movimentos de massa (escorregamentos, corridas de detritos, queda de fragmentos de rocha, enchentes e inundações);

V.E = conseqüências, expresso em perdas de vidas humanas;

V = vulnerabilidade, expressa o grau de perda de um dado elemento em risco, resultante da ocorrência de um perigo de uma dada magnitude;

E = elemento em risco, quantifica a população em risco.

Segundo o MINISTÉRIO DAS CIDADES (2006) o risco indica a probabilidade de ocorrência de algum dano a uma população (pessoas ou bens materiais). É uma condição potencial de ocorrência de um acidente. A partir deste conceito sugere a Equação a seguir como adequada para o exercício do gerenciamento de risco.

$$R = P(fA) * C(fV) * g^{-1} \quad [5.3]$$



onde:

R – Nível de risco;

$P(fA)$ - Probabilidade “P” de ocorrência de um fenômeno físico (ou perigo) “A” em um intervalo de tempo específico e com características determinadas responsável pela situação de risco;

$C(fV)$ – Conseqüências “C” às pessoas, bens e/ou ao ambiente em função da vulnerabilidade “V” dos elementos expostos;

g^{-1} – Grau de gerenciamento de Risco.

Para que fossem considerados estes critérios para definição de limites e gerenciamento de risco, foram realizadas diversas simulações a fim de se estabelecer uma faixa de perigo para construção do Mapa de Suscetibilidade.

Com base na definição de risco individual a Equação 4.1 será modificada para a Equação 5.3 pelo acréscimo de uma constante “K”, necessária para ajuste do modelo proposto, sendo 50 (cinquenta) o valor definido.

$$R = p[\textit{perigo}] * V * E * K \quad [5.4]$$

onde:

K – constante de ajuste do modelo.

Este será o valor que apresentou os melhores resultados na classificação de áreas de perigo. O banco de dados permitiu o ajuste deste valor através da identificação detalhada das características de cada localidade que será comparada com áreas registradas no inventário de acidentes e, ainda, por experiência das áreas suscetíveis a escorregamentos.

A Equação 5.3 expressa que para análise de uma situação de risco é necessária a identificação do perigo. Portanto o perigo pode ser identificado, por dedução, pela expressão:



$$p[\textit{perigo}] = \frac{R}{V * E * K} \quad [5.5]$$

Para o cálculo do risco individual atribuiu-se o valor de uma unidade ao termo “E”, então, E=1 na expressão de perigo.

A vulnerabilidade (**V**) no contexto da Análise Quantitativa de risco está associada ao nível de danos potenciais, ou grau de perdas, expressa numa escala de 0 a 1, de um elemento afetado por uma situação de risco de escorregamentos. A avaliação da vulnerabilidade envolve, portanto, o conhecimento da interação entre um dado escorregamento e os elementos afetados. Em essência, a vulnerabilidade (**V**) pode ser considerada conforme descreveu FEEL (1994) citado em WONG & CHAN (1997):

$$V = V_s * V_t * V_1 \quad [5.6]$$

onde:

V_s – probabilidade espacial de impacto de um escorregamento em um elemento;

V_t – probabilidade temporal de impacto (por exemplo, significa a probabilidade de uma construção estar ocupada durante o impacto);

V_1 – probabilidade de perdas de vidas ou proporção do valor do elemento.

A vulnerabilidade espacial (V_s) pode ser expressa pela relação entre a área dos elementos em risco e a área total de alcance dos fragmentos de rocha ou de detritos oriundos de um escorregamento (OLIVEIRA, 2004).

A Tabela 4.11 apresenta um critério de faixas de vulnerabilidade individual adotados em Hong Kong, para adoção de valores de fatalidades provocadas por movimentos de massa.



Tabela 4.11 Faixas de vulnerabilidade (apud FINLAY et al. , 1997; citado em WONG & CHAN , 1997).

VULNERABILIDADE DE UM INDIVÍDUO EM UM ESPAÇO ABERTO			
CASO	FAIXA	VALOR RECOMENDADO	COMENTÁRIOS
1 - Se atingida pela queda de um bloco	0,1 - 0,7	0,5 ⁽¹⁾	Pode ser ferida, mas é improvável que o acidente seja fatal.
2 - Se soterrada por escombros	0,8 - 1,0	1	Morte por asfixia
3 - Se não for soterrada	0,1 - 0,5	0,1	Grande chance de sobrevivência
(1) Melhor considerar maiores detalhes, isto é, a proximidade da pessoa da parte da edificação afetada pelo material escorregado.			
VULNERABILIDADE DE UM INDIVÍDUO DENTRO DE UM VEÍCULO			
CASO	FAIXA	VALOR RECOMENDADO	COMENTÁRIOS
1 - Se o veículo é atingido/soterrado	0,9 - 1,0	1	Morte é quase certa
2 - Se o veículo é simplesmente danificado	0 - 0,3	0,3	Grande chance de sobrevivência
VULNERABILIDADE DE UM INDIVÍDUO EM UM EDIFÍCIO			
CASO	FAIXA	VALOR RECOMENDADO	COMENTÁRIOS
1 - Se ocorre colapso do edifício	0,9 - 1,0	1	Morte é quase certa
2 - O edifício é invadido pelos detritos e a pessoa é soterrada	0,8 - 1,0	1	Morte muito provável
3 - Se o edifício é invadido por detritos e a pessoa não é soterrada	0 - 0,5	0,2	Grande chance de sobrevivência
4 - Se os detritos se chocam somente com a edificação	0 - 0,1	0,05	Virtualmente não existe perigo ⁽¹⁾
(1) Melhor considerar maiores detalhes, isto é, a proximidade da pessoa com a parte do edifício afetada pelo material escorregado.			

A partir da Tabela 4.11, OLIVEIRA, 2004 sugeriu a Tabela 4.12, e fez uma estimativa da parcela de vulnerabilidade de um indivíduo estar em sua residência.



Tabela 4.12 Estimativa da parcela de vulnerabilidade de um indivíduo estar em sua residência (OLIVEIRA, 2004).

VULNERABILIDADE DE UM INDIVÍDUO EM SUA RESIDÊNCIA (V_i)			
TIPO DE DANO	FAIXA	VALOR RECOMENDADO	
		CASAS DE MADEIRA OU ALVENARIA DE TIJOLOS FURADOS SEM LAJE (PADRÃO POPULAR)	CASAS CONSTRUÍDAS COM ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO OU ALVENARIA AUTOPORTANTE DE BLOCOS OU TIJOLOS MACIÇOS
Impacto de fragmento provocando o colapso da residência	0,9-1,0	1,0	1,0
Fragmentos passam por algum vão da residência (janelas, basculantes, portas), atingindo compartimentos de pequeno tempo de permanência.	0,8 - 1,0	1,0	0,9
Fragmentos passam por algum vão da residência (janelas, basculantes, portas), atingindo compartimentos de grande tempo de permanência.	0,6 - 1,0	0,9	0,7
Fragmentos se chocam contra a residência destruindo-a parcialmente.	0,6 - 1,0	0,8	0,6
Fragmentos se chocam com a residência não provocando danos a estrutura	0 - 0,1	0,1	0,05

Ao analisar os valores de vulnerabilidades adotadas pelos autores observa-se que estes estão na casa de 10^{-1} . Assim sendo, será adotado para o cálculo das faixas de suscetibilidade o critério da seguinte Equação:

$$p[\text{perigo}] = \frac{R}{10^{-1} * 50} \quad [5.7]$$

Aplicando os valores estabelecidos para o risco na Tabela 4.12 na Equação 5.6 tem-se os valores limites para as faixas de perigo, resumidos na Tabela 4.13.

Tabela 4.13 Limites de perigo utilizados no fatiamento do Mapa de Suscetibilidade.

FAIXAS DE PERIGO	
BAIXO	$p < 2 \times 10^{-7}$
MÉDIO	$2 \times 10^{-5} < p < 2 \times 10^{-7}$
ALTO	$2 \times 10^{-5} < p < 2 \times 10^{-4}$
MUITO ALTO	$p > 2 \times 10^{-4}$



A definição dos limites de perigo permitiu a construção do Mapa de Suscetibilidade. O Mapa de Suscetibilidade ou Mapa de Perigo representa uma forma particular de mapas de estado natural e, neste caso expressa a tendência de ocorrência de escorregamentos nas encostas. A combinação dos parâmetros dos mapas de estado natural resulta no Mapa de Suscetibilidade ou Mapa de Perigo.

A partir dos valores atribuídos a cada ponto será possível quantificar o grau de perigo para uma determinada área. A partir do resultado do valor aplicado a cada tema e análise do terreno, pode-se saber qual é a característica preponderante do meio físico que contribuiu para a definição do grau de perigo (Muito Alto, Alto, Médio e Baixo).

A Figura 4.15 apresenta o Mapa de Suscetibilidade ou Mapa de Perigo que expressa graficamente de forma qualitativa a tendência de ocorrer escorregamentos de terra no 1º Distrito de Petrópolis.

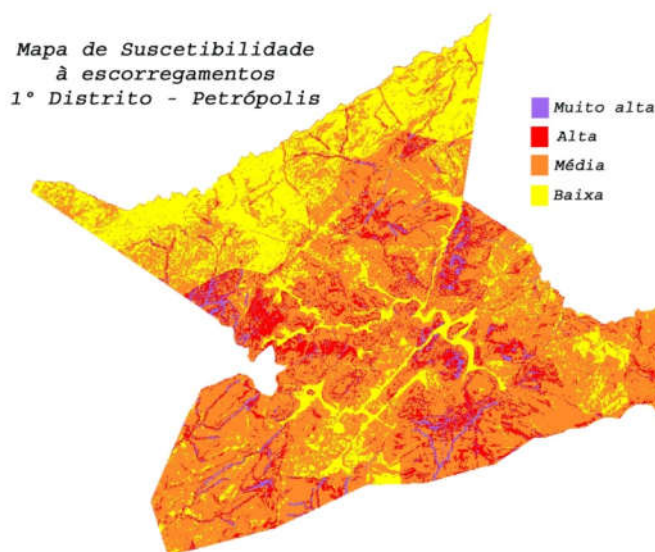


Figura 4.15 Mapa de Suscetibilidade ou Mapa de Perigo do 1º Distrito de Petrópolis (PMRR, 2007) .

4.2.3 Confeção de Mapas de Risco

As situações de risco e suas consequências potenciais são documentadas neste mapa. As consequências associadas a uma situação de risco podem afetar vidas humanas, produzir efeitos econômicos ou causar mudanças ambientais. Neste sentido, a situação de risco de uma área em particular, da superfície de uma encosta, dependerá do uso que se fizer do solo e das condições em que se encontra.



De acordo com o MINISTÉRIO DAS CIDADES (2006), o mapeamento de risco pode ser realizado em dois níveis de detalhes distintos: o zoneamento (ou setorização) de risco e o cadastramento de risco. No zoneamento de risco são delimitados setores nos quais, em geral, encontram-se instaladas várias moradias. Desta forma, admite-se que todas as moradias do setor se encontram em um mesmo grau de risco, como exemplo risco alto. Entretanto, em meio às moradias deste setor pode haver algumas edificações que não apresentam situação de risco tão elevada. Assim pode-se considerar que, no zoneamento de risco, há uma generalização.

Portanto, o Mapa Quantitativo de Risco proposto será um mapa de setorização, ou seja, houve uma generalização de áreas de risco o que significa que possam existir casos em que a classificação do mapa não corresponde à situação do terreno em particular. Nestes casos será necessário um cadastramento posterior das áreas de risco com objetivo de verificar a condição de risco do local.

Conforme já mencionado, o risco é a combinação dos mapas de suscetibilidade com as informações de vulnerabilidade. A palavra vulnerabilidade significa estar vulnerável a alguma condição ou evento. É um termo usado para expressar o grau de relação que existe entre um elemento no meio ambiente e um determinado evento que sobrevindo, poderá afetar a comunidade do elemento, em condições normais.

Os aspectos sócio-econômicos de uma determinada região e o tempo de permanência de um indivíduo em sua residência afetam ou contribuem para a análise do padrão de vulnerabilidade. Os padrões construtivos e nível econômico da população são fatores que influenciam diretamente a análise de risco devido à condição de perigo que estas proporcionam para os escorregamentos.

VULNERABILIDADES DAS CONSTRUÇÕES

Os dados obtidos para geração desses mapas foram extraídos do banco de dados georreferenciados elaborado pelo Instituto de Ecologia e Tecnologia de Meio Ambiente – ECOTEMA, através de um convênio com Fundo Nacional do Meio Ambiente – Ministério do Meio Ambiente, com a finalidade de produzir o Zoneamento Ambiental da APA Petrópolis e dados dos setores censitários (IBGE, 2000).



Os dados dos setores censitários do IBGE permitem a análise e diagnóstico, podendo-se identificar a qualidade e quantidade de domicílios, renda familiar, padrões construtivos, entre outros. A partir desses dados as informações foram georreferenciadas formando os mapas de padrões construtivos.

MAPA DE PADRÕES CONSTRUTIVOS (ECOTEMA, 2001)

Para elaboração deste mapa será realizado um diagnóstico da zona urbana, resultado da observação dos tipos de habitação existentes na região, refletindo assim a qualidade de moradia dos seus habitantes. O diagnóstico permitiu o mapeamento da área, retratando a incidência dos padrões construtivos determinados.

Os tipos de habitações encontradas refletem as necessidades naturais de abrigo do povo que nelas vive e a tecnologia disponível. O método construtivo aplicado, como em muitas outras regiões, está diretamente ligado à sua realidade sócio-econômica. Esta relação implica no uso de material impróprio e na utilização de técnicas não adequadas à região.

Crítérios, utilizados para avaliar a capacidade de oferecer condições de conforto e segurança ao usuário e à durabilidade destas construções:

- **Estrutura** - existência ou não de estrutura, o material empregado e o grau provável de assistência recebida em sua execução;
- **Acabamento** – refere-se aos elementos externos (cobertura, revestimento, esquadrias, etc.), que contribuem para avaliação da qualidade da construção, ou seja, durabilidade e estado de conservação;
- **Tipologia urbana** – avalia a implantação da construção às características urbanas do local. Tais como a adequação aos parâmetros legais, forma geométrica dos lotes e o uso predominante da região.

As classes de padrões construtivos são definidas a partir destes critérios:

- I. Construções bem estruturadas, normalmente seguidas de algum acompanhamento técnico, com acabamento de nível médio a alto, ocupando lotes com formação ordenada e baixa taxa de ocupação;

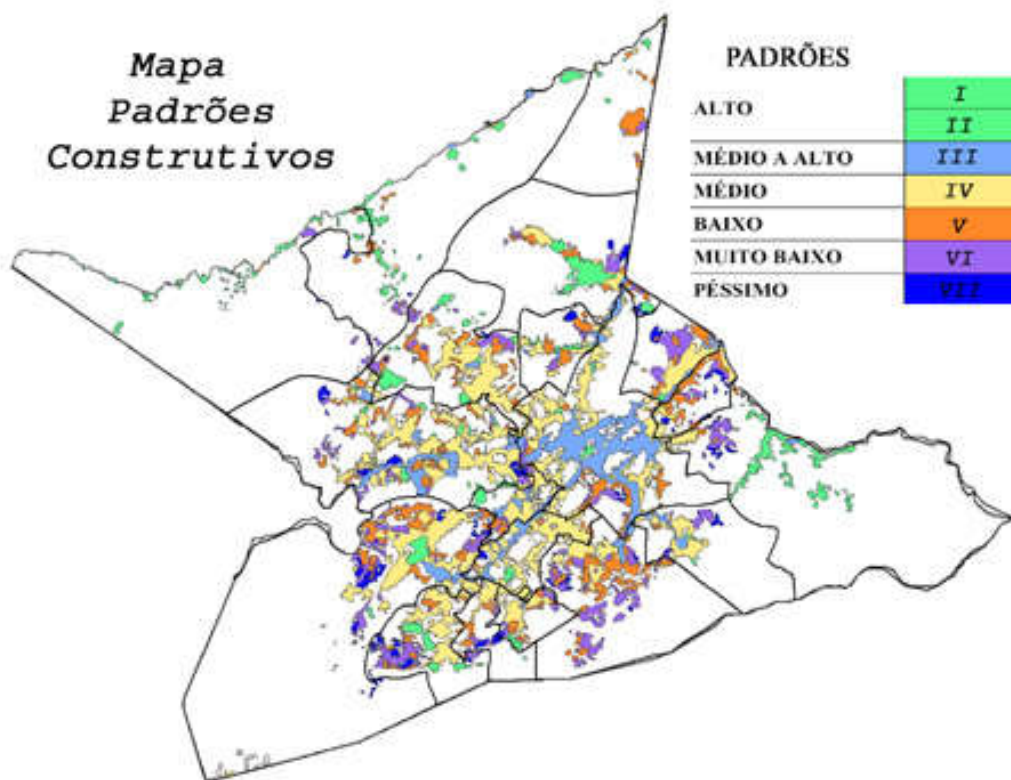


- II.** Construções providas de estruturas executadas normalmente sem controle tecnológico com acabamento de nível baixo, ou muito baixo, ocupando grandes propriedades urbanas ou rurais com baixa taxa de ocupação localizadas em áreas com grau de adensamento baixo, de uso normalmente residencial e/ou rural;
- III.** Construções bem estruturadas, seguidas de acompanhamento técnico, com acabamento de nível médio a alto, ocupando lotes da área central com formação ordenada e taxa de ocupação elevada, adensamento vertical;
- IV.** Construções bem estruturadas, normalmente seguidas de algum acompanhamento técnico, com acabamento de nível médio, ocupando lotes com formação ordenada e taxa de ocupação elevada em áreas de adensamento urbano;
- V.** Construções providas de estrutura, executadas normalmente sem controle tecnológico, com acabamento de nível muito baixo, ocupando lotes com formação ordenada e taxa de ocupação elevada em áreas de adensamento urbano;
- VI.** Construções providas de estrutura, executadas normalmente sem controle tecnológico, com acabamento de nível muito baixo ou sem acabamento, ocupando lotes com formação desordenada e taxa de ocupação elevada em áreas de adensamento urbano;
- VII.** Construção desprovida de estrutura ou provida de estrutura precária, em sua maioria sem acabamento, formação desordenada de lotes, localização de áreas isoladas, formando aglomeração de construções, normalmente desprovidas, ou providas indevidamente, de serviços urbanos.

A partir destas características, os aglomerados urbanos foram classificados de acordo os padrões construtivos: alto, médio a alto, médio, baixo, muito baixo e péssimo. A cada uma destas feições será atribuída uma probabilidade deduzida, resumida na Tabela 4.14 A Figura 4.16 apresenta o mapa de padrões construtivos.

Tabela 4.14 Valores de probabilidades deduzidas para os padrões construtivos.

PADRÃO	CLASSES	PROBABILIDADE DEDUZIDA
Alto	I	0,01
	II	0,01
Médio a Alto	III	0,1
Médio	IV	0,1
Baixo	V	0,5
Muito baixo	VI	0,7
Péssimo	VII	0,9

**Figura 4.16** Mapa de Padrões Construtivos – ECOTEMA, 2001.



VULNERABILIDADE TEMPORAL

A vulnerabilidade temporal (V_t), já mencionada na Equação 5.6, está associada ao tempo de permanência dos indivíduos em sua residência, escola, indústria, comércio, prédio público, etc, e ao período do dia que os escorregamentos ocorrem com maior frequência.

OLIVEIRA, 2004, apresentou a Tabela 4.15 com estimativas de vulnerabilidade temporal para uma família padrão que é constituída por 6 (seis) indivíduos, um casal de adultos (ambos com emprego fora de casa), 3 (três) menores em idade escolar e 1 (um) idoso.

Tabela 4.15 Estimativa da parcela de vulnerabilidade correspondente à probabilidade temporal para uma família padrão (OLIVEIRA,2004).

VULNERABILIDADE TEMPORAL (V_T)	
CONSIDERAÇÕES	V_t
Probabilidade dos indivíduos adultos estarem em casa	0,5
Probabilidade dos menores em idade escolar estar na residência em dias úteis	0,6
Probabilidade de o idoso estar na residência em dias úteis	1,0
Probabilidade dos adultos e menores estarem na residência aos sábados e domingos	0,7
Probabilidade do idoso estar na residência aos sábados, domingos e feriados	0,9
Probabilidade da família estar na residência ao longo de um ano.	0,60-0,70

A vulnerabilidade das construções envolve o conhecimento da interação entre um dado escorregamento e os elementos afetados. Portanto, para a análise do grau de vulnerabilidade, devem-se considerar os danos provocados às residências em função do impacto de fragmentos de rocha e detritos de escorregamento ou corridas, em função do tipo de estrutura da residência, ou seja, o padrão e as condições em que foram construídas e o tempo de permanência de um indivíduo estar na residência.

Para o cálculo da vulnerabilidade temporal nas diversas situações da análise de Risco, será adotado um valor fixo de 0,6 que corresponde à probabilidade do indivíduo estar em sua residência, construída em estrutura de concreto armado e alvenaria, no momento do acidente, considerando neste caso a família padrão como referência.



CÁLCULO DO RISCO INDIVIDUAL ANUAL

O **risco individual anual** pode ser definido como a probabilidade de um indivíduo identificável, que vive num setor de risco, encontrar-se exposto às conseqüências de uma situação de risco (queda de fragmentos de rocha, escorregamentos, corridas de detritos, enchentes ou inundações) vir a se tornar vítima fatal de um acidente. Neste caso o valor de E_i na Equação de risco 5.4 é igual à unidade.

O **risco específico** é o produto da probabilidade de ocorrência de uma dada situação de risco pela vulnerabilidade de um dado elemento na área de risco.

O **risco total** é o número esperado de vidas perdidas, pessoas feridas, danos à propriedade e interrupção de atividades econômicas. É o produto do risco específico e dos elementos em risco para o conjunto das situações de risco de escorregamentos em uma área de risco em estudo. Neste caso o valor de E equivale a população que habita a área de risco. A Tabela 4.16 apresenta um exemplo do cálculo do risco individual.

A partir destes dados o Mapa de Risco será gerado aplicando-se a Equação 5.4, onde:

p [perigo] – valor da probabilidade atualizada da Tabela 4.8

V – produto da vulnerabilidade temporal, definido anteriormente com o valor constante de 0,6 pelo valor da probabilidade deduzida (Tabela 4.13) para cada classe definida no Mapa de Padrões Construtivos;

E_i – igual a 1 (um) – individual.

Tabela 4.16 Exemplo do cálculo do risco individual para cada região, atribuindo o valor constante de 0,6 à vulnerabilidade temporal.

REGIÕES	PERIGO	VULNERABILIDADE	RISCO
	PROBABILIDADE ATUALIZADA	PADRÃO CONSTRUTIVO	RISCO INDIVIDUAL
Alto da Serra	4,00E-08	0,01	2,40E-10
Bingen	2,96E-06	0,5	8,87E-07
Castelânea	3,43E-02	0,7	1,44E-02
Caxambu	3,77E-06	0,1	2,26E-07
Centro	5,53E-04	0,9	2,99E-04
Estradada Saudade	1,68E-08	0,1	1,01E-09
Fazenda Inglesa	6,57E-02	0,5	1,97E-02
Floresta	2,66E-04	0,5	7,98E-05
Independência	6,43E-03	0,1	3,86E-04
Morin	6,47E-06	0,5	1,94E-06
Mosela	7,26E-09	0,9	3,92E-09

Quarteirão Brasileiro	5,57E-09	0,7	2,34E-09
Sertão do Carangola	3,98E-05	0,9	2,15E-05
Quitandinha	1,73E-02	0,01	1,04E-04
Retiro	2,96E-06	0,01	1,77E-08
Rocio	3,98E-05	0,5	1,19E-05
São Sebastião	1,16E-08	0,5	3,49E-09
Siméria	1,94E-09	0,7	8,14E-10
Valparaíso	1,01E-01	0,9	5,48E-02

Para avaliação detalhada destes resultados deverão ser considerados os valores atribuídos para cada feição temática e vulnerabilidade das construções.

Esta teoria permitiu a construção do Mapa Quantitativo de Risco Individual, ilustrado na Figura 6.4 que exibe um detalhe do mapa, com a ortofoto ao fundo. Observa-se que as manchas cobriram toda a área ocupada, ou seja, somente é possível visualizar os topos de morros, o que diferencia do mapa de suscetibilidade apresentado na Figura 4.17.

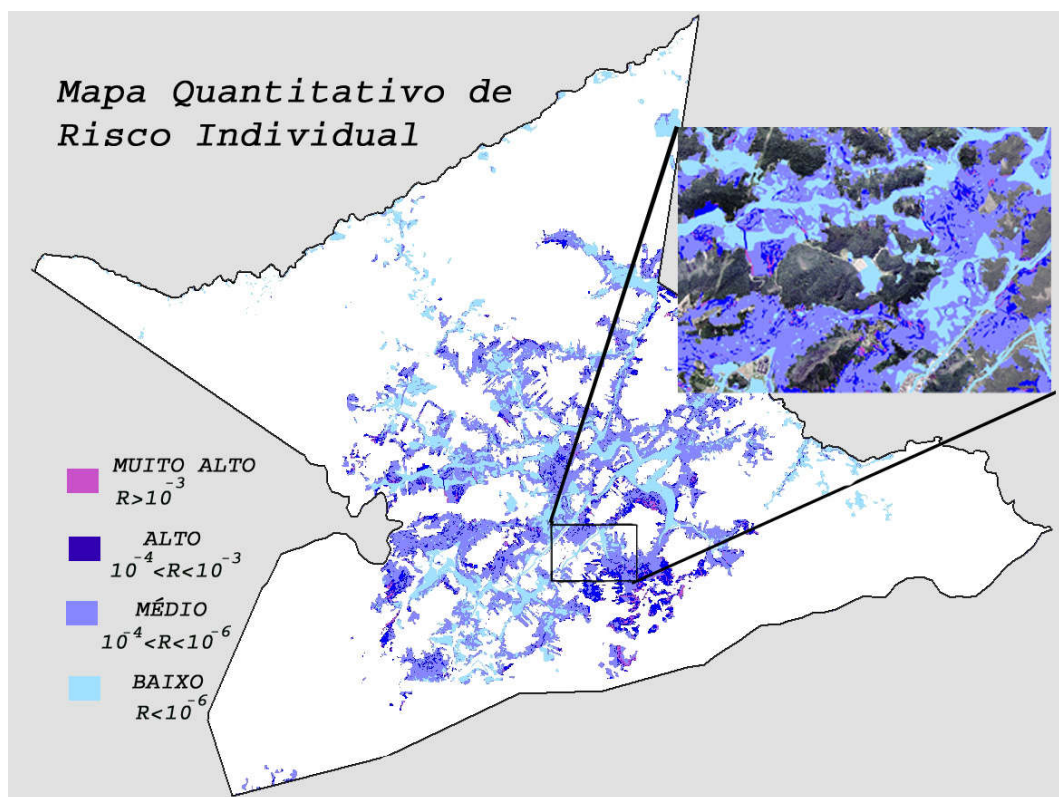


Figura 4.17 Mapa Quantitativo de Risco Individual Anual do 1º Distrito de Petrópolis (PMRR, 2007).



AVALIAÇÃO DE RISCO

A Avaliação de Risco de deflagração, reativação ou aceleração de movimentos de massa em encostas, enchentes e inundações constitui um processo iterativo que, a partir dos resultados da Análise de Risco, faz uma estimativa de risco. Este é avaliado confrontando-se com os critérios de risco aceitável e tolerável. Desta forma existe a necessidade de se estabelecer critérios de risco aceitável e tolerável. Estes critérios, da mesma forma que o risco estimado na Análise de Risco, deve ser expresso em termos de perdas de vidas, financeiras e sócio-ambientais ao longo de um dado período de tempo.

O processo de Avaliação de Risco deve envolver os proprietários de bens no setor de risco, o agente regulador (Poder Público: Governos Federal, Estadual e Municipal), profissionais consultores e, em alguns casos, a sociedade como um todo, ou no mínimo a população afetada pela situação de risco.

É desejável, quando não essencial, que o analista de risco esteja envolvido ao longo de todo o processo de gerenciamento de risco, uma vez que este sendo um processo iterativo requer a avaliação da sensibilidade dos cálculos das estimativas de risco e das variáveis assumidas ao longo do desenvolvimento das medidas mitigadoras propostas.

Segundo Fell & Hartford (1997) existe um nível de aceitabilidade e tolerância de riscos de movimentos de massa em todas as regiões onde a instabilidade de encostas se apresenta como um problema. Infelizmente, raramente, quando nunca, existe indicação qualquer de um nível de risco, realmente considerado tolerável. A Análise de Risco pode ser empreendida, embora com dificuldade, sem requerer a definição do que é risco tolerável, uma vez que tal definição se faz necessária para o Gerenciamento do Risco.

O critério de **risco individual aceitável** define a probabilidade anual de fatalidade que um indivíduo convive no trabalho e na vida cotidiana. Para esta categoria de risco a sociedade não faz nenhuma menção a respeito do gerenciamento de risco e nem considera justificáveis gastos adicionais para a sua mitigação. Constitui o limite inferior numa escala de risco.

O critério de **risco individual tolerável** constitui a probabilidade anual de fatalidade abaixo da qual um indivíduo estaria disposto a conviver desde que sejam garantidos certos valores essenciais e haja confiança que estes estejam sendo corretamente



controlados, monitorados e que futuramente, na medida do possível, sejam reduzidos. Corresponde ao limite superior numa escala de risco.

Os riscos individuais compreendidos entre o risco aceitável e o risco tolerável caracterizam situação de risco cujo incremento de risco deve ser evitado tanto quanto for razoavelmente possível, ou seja, deve se aplicar o seguinte princípio: **o risco deve ser “tão baixo quanto for razoavelmente possível” (que vem da expressão em inglês “As Low as Reasonably Practible”, cuja sigla é ALARP).**

A Figura 4.14 enseja uma sugestão de critérios quantitativos de risco aceitável e tolerável (faixa ALARP) para o Município de Petrópolis. A Tabela 4.17 apresenta os graus de risco estabelecidos por documento do Ministério das Cidades e a correspondência aos critérios de risco aceitável, tolerável e faixa ALARP preconizados pela Análise Quantitativa de Risco.



Tabela 4.17 Associação de critérios de risco qualitativos (Ministério das Cidades) e quantitativos (OLIVEIRA, 2004).

GRAU DE PROBABILIDADE	FAIXA RISCO INDIVIDUAL	DESCRIÇÃO
BAIXO OU SEM RISCO	$Ri < 10^{-6}$	* Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) E o nível de intervenção no setor são de baixa potencialidade para o desenvolvimento de processo de escorregamentos e solapamentos.
		* Não há indícios de desenvolvimento de processos de instabilização de encostas e margens de drenagens.
MÉDIO (RISCO ACEITÁVEL)	$10^{-6} < Ri < 10^{-4}$	* É a condição menos crítica.
		* Mantidas as condições existentes, não se espera a ocorrência de eventos destrutivos no período de um ciclo chuvoso.
		* Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) E o nível de intervenção no setor são de baixa potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos.
ALTO (FAIXA ALARP)	$10^{-4} < Ri < 10^{-3}$	* Observa-se a presença de alguma(s) evidência(s) de instabilidade (encostas e margens de drenagens), porém incipiente(s) .
		* Mantidas as condições existentes, é reduzida a possibilidade de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de um ciclo chuvoso.
		* Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) E o nível de intervenção no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos.
		* Observa-se a presença de significativa(s) evidência(s) de instabilidade (trincas, no solo, degraus de abatimento em taludes, etc.)
		* Mantidas as condições existentes, é perfeitamente possível a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de um ciclo chuvoso.
MUITO ALTO (RISCO INTOLERÁVEL)	$Ri < 10^{-3}$	* Os condicionantes geológicos-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) E o nível de intervenção no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos.
		* As evidências de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, trincas em moradias ou em muros de contenção, árvores ou postes inclinados, cicatrizes de escorregamento, feições erosivas, proximidade da moradia em relação ao córrego, etc.) São expressivas e estão presentes em grande número e/ou magnitude .
		* É a condição mais crítica. Mantidas as condições existentes, é muito provável a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de um ciclo chuvoso.



RESULTADOS DO MAPEAMENTO

O desenvolvimento desta metodologia exigiu a construção de um banco de dados geo-referenciados. O banco de dados permitiu o processamento digital das imagens e reuniu todas as informações pesquisadas. A importância desses dados em meio digital estruturados em ambiente SIG fornece agilidade, eficiência e precisão para a realização de consultas, análises, recuperação e manipulação de informações para obtenção dos resultados finais.

O banco de dados geo-referenciado utilizou o software SPRING 4.2/INPE, para armazenamento e manipulação dos dados. Neste banco será possível reunir todas as informações existentes, compiladas de maneira integrada, apresentadas a seguir:

- Seis mapas temáticos em estado natural que reproduzem as características físicas da área em estudo, sendo estes de: declividade, drenagem natural, domínio geológico e geotécnico, regiões, vegetação e padrões construtivos;
- Dois mapas, resultantes da integração de todas as informações obtidas: Mapa de Suscetibilidade de Escorregamentos e o Mapa Quantitativo de Risco Individual;
- Mosaico de ortofotos com abrangência total da área de estudo;
- Cartas topográficas na escala 1:10.000 e 1:2.000;
- Mapa de arruamento (rua, caminhos, viadutos e pontes);
- Mapa de hidrografia (rios, lagos, córregos e linhas de drenagem).

Com todas essas informações estruturadas, este banco constituiu uma ferramenta fundamental para avaliação de todas as situações de risco de forma quantitativa e qualitativa, principalmente as classificadas como risco alto e muito alto, dando, assim, suporte para o Poder Público no Gerenciamento de Risco nestas áreas.



SETORES DE RISCO

O Mapa de Risco permitiu a identificação de aproximadamente 96 setores de risco a serem avaliados na segunda fase do trabalho que é a elaboração do Mapa de Intervenções. A Figura 4.18 mostra uma ilustração dos setores de risco identificados na primeira fase do trabalho e a Tabela 4.18 apresenta uma relação deste setores.

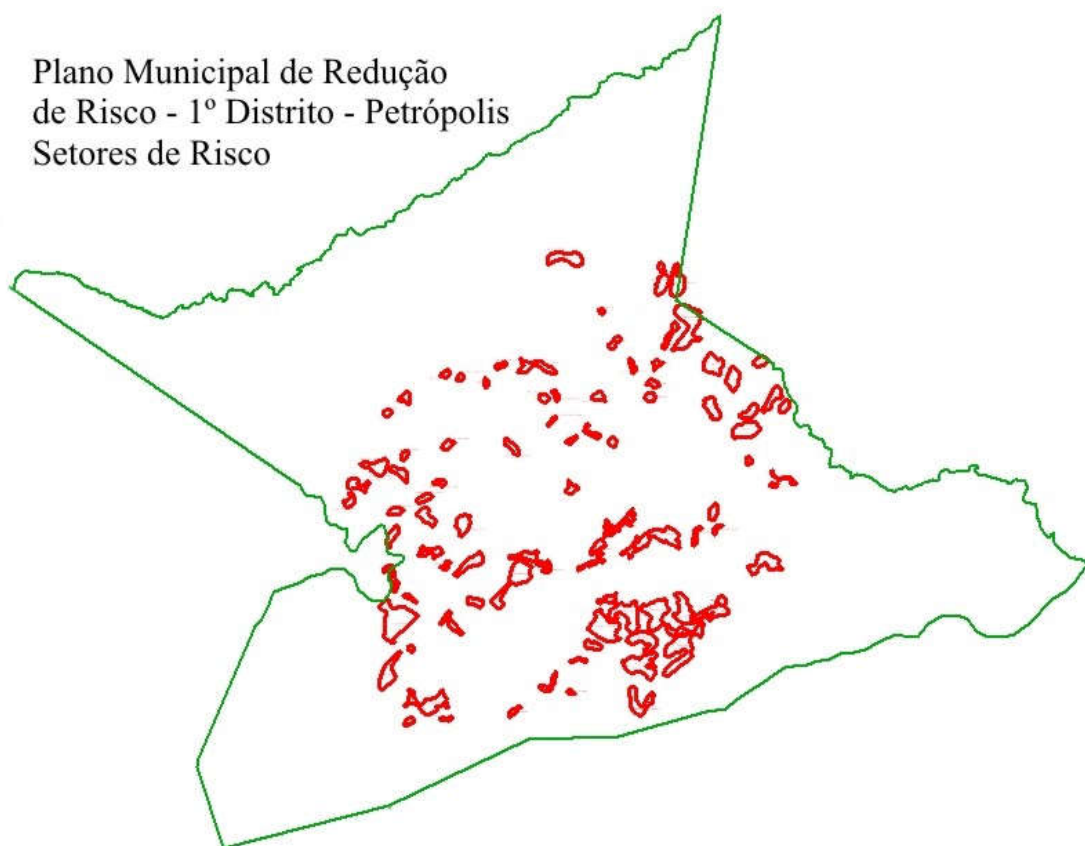


Figura 4.18 Setores de Risco – 1º Distrito – Petrópolis/RJ.



Tabela 4.18 Setores de risco

GIÃO	SETORES DE RISCO	
I - ALTO DA SERRA	1	Sargento Boening
	2	Vila Felipe
	3	Chácara Flora
	4	Oswero Vilaça
	5	Otto Reymarus - Lagoinha
	6	Lopes Trovão
	7	Serra da Estrela
	8	Caminho do Ouro
	9	Estrada do Paraíso
	10	Travessa Goytacazes
	11	Com. São Francisco
II - BINGEN	12	Galdino Pimentel
	13	Esc. Duarte da Silveira
	14	Morro do Brito
	15	Dias de Oliveira (final)
	16	Bairro Castriotto
	17	Com. Contorno I
	18	Com. do Contorno II
	19	Rua Pedro Stumpf Sobrinho
	20	BR-040
	21	Quarteirão Ingelhein
	22	Manoel Torres
	23	Bingen
	24	Servidão Paulo Hervê
	25	Capela
III - CASTELÂNEA	26	Morro do Gulf
IV - CAXAMBU	27	Praça Catulo
	28	Caxambu II
V - CENTRO	29	Caxambu III
	30	1º de Maio
	31	24 de Maio
	32	Antônio Soares Pinto
	33	Washington Luiz
	34	Edmundo Lacerda
	35	Rocha Cardoso
	36	Vila São José
	37	Duchas
	38	Bananeira
	39	Barão do Rio Branco
	40	Sebastião de Carvalho
	41	Travessa Santa Rita
	42	Bartolomeu de Gusmão
	43	Travessa Valeriana Jorge
	44	14 Bis
	VI - ESTRADA DA SAUDE	45
46		Estrada da Saudade I
47		Estrada da Saudade II
48		Fragoso

REGIÃO	SETORES DE RISCO	
VIII - FLORESTA	49	Brigadeiro Castriotto I
	50	Brigadeiro Castriotto II
	51	Aristides Ladeira
	52	Floresta
	53	Caxambu I
IX - INDEPENDÊNCIA	54	Presidente Sodré
	55	Cantão
	56	Maria de Lima
	57	Antônio da S. Ligeiro
X - MORIN	58	João Brand
	59	Pedro Ivo
XI - MOSELA	60	Morro do Nelson
	61	João Xavier I
	62	João Xavier II
	63	Moinho Preto
	64	Bataillard
	65	Alto Bataillard
	66	Cândido Portinari
	67	Valentin Monken
	68	Teofilo José da Silva
	69	Morro do Príncipe
XII - QUARTEIRÃO BRASILEIRO	70	Atílio Maroti
	71	Gaspar Gonçalves
	72	Prof João de Deus
XIII - QUITANDINHA	73	Duques
	74	Rua Alagoas
	75	Rua Cuba
	76	Amazonas
	77	São Joaquim
	78	Rua Mato Grosso
	79	Rua Minas Gerais
	80	Rua São Paulo
	81	Rua Paraguai
	82	Dr. Thouzet
	83	Lopes de Castro
	84	Getúlio Vargas
	85	Rua Honduras
XIV - RETIRO	86	Morro do Naylor
	87	Ferreira Barcellos
	88	Vale dos Esquilos
	89	Henrique Dias
	90	Morro do Alemão
XVI - SÃO SEBASTIÃO	91	Alexandre Fleming
	92	Servidão Indaiá
	93	Vai Quem Quer
	94	Franklin Roosevelt
XIX - VALPARAÍSO	95	Joaquim Gomensoro
	96	Valparaíso



4.3 Detalhamento da 4ª etapa - Setorização das Áreas de Risco

Esta etapa se caracteriza pela realização de vistorias no campo nas manchas de risco Alto e Muito Alto geradas pela integração temática dos mapas de estado natural. Para melhor ilustração destes setores será planejado e realizado vôo visando a obtenção de fotos aéreas nas áreas de risco Alto e Muito Alto identificadas, conforme passaremos a detalhar a seguir.

4.3.1 Trabalho de campo

Após a confecção do Mapa de Risco será realizada uma campanha de vistoriais em campo nas manchas identificadas, através da integração temática, como Risco Alto e Muito Alto, visando delimitar com maior nível de acurácia estas áreas, evitando, também, possíveis inconscistências inerentes ao processo computacional.

Além disso, nesta etapa será feita uma categorização de intervenções baseada em critérios elaborados para o PMRR (2007), gerando, assim, em cada Área de Risco Alto e Muito Alto setores com propostas de intervenções específicas. Esta categorização é função do tipo de ações (estruturais e não estruturais) que serão necessárias de realizar em cada área visando a redução do risco.

A delimitação dos setores das Áreas de Risco Alto e Muito Alto é de extrema importância para o Gerenciamento e Controle do uso do solo no Município. Além disso, a conclusão desta etapa servirá de base para o processo de gerenciamento integrado dos atores da Prefeitura de Petrópolis, tais como: Defesa Civil, Obras Públicas (infraestrutura e urbanização), Habitação, Planejamento e Meio Ambiente.

O banco de dados construído nas etapas anteriores constitui uma base cartográfica georeferenciada com escala em nível de detalhe que permitirá a compilação de todas as informações adquiridas através dos Mapas de Estado Natural.

As vistorias nas manchas de Risco Alto e Muito Alto visam a correta delimitação destas áreas e categorização das intervenções para cada setor. Estas serviram, também, para ratificar as principais características físicas e condicionantes dos locais de risco, identificação de feições estruturais, geomorfológicas ou geodinâmicas ou, ainda, de origem antrópica, associadas aos agentes deflagradores. Estas características formarão



a base para a demarcação e classificação hierárquica das áreas mais críticas em função de apresentar risco efetivo para pessoas ou benfeitorias.

Para o trabalho de campo foram adotados os seguintes critérios para mapeamento das Áreas de Risco Alto e Muito Alto:

- Confirmação das Áreas de Risco Muito Alto e Alto;
- Delimitação das áreas com identificação dos limites de ocupação com auxílio de GPS;
- Identificação de pontos de escorregamento (GPS) e de moradias em perigo;
- Caracterização do local e constatação das evidências que contribuem para o escorregamento de terras;
- Identificação dos locais em que são necessárias ações não estruturais;
- Identificação de áreas impróprias à ocupação urbana, com imposição de limites para ocupação.

As tabelas 4.19 e 4.20 apresentam as características de cada categoria de intervenção e respectivas ações estruturais e não estruturais propostas para a redução de risco.



Tabela 4.19 - Características das Categorias de Intervenções e respectivas ações estruturais e não estruturais propostas para as áreas de assentamentos precários

	Característica Física	Problemas existentes e/ou previstos	Ações Estruturais	Ações Não Estruturais
I	<ul style="list-style-type: none"> ? Área de proteção localizada imediatamente a jusante das encostas rochosas e das encostas muito íngremes. ? Áreas de impactos e deposição de materiais provenientes dos movimentos de massa originados da encosta a montante. ? Declividade variada predominantemente inferiores a 60°. Constituído por solo "in situ" e por corpos de talus. ? Os solos "in situ" são constituídos por solos superficiais e solos de alteração e ainda constituídos de fragmentos de rocha de dimensões variadas envolvidos em matriz arenossiltosa. ? Nos corpos mais antigos os fragmentos podem estar intemperizados a ponto de formar solos bem desenvolvidos, de característica similares aos solos superficiais. 	<ul style="list-style-type: none"> ? Instabilização de corpos de talus por alteração em sua geometria e/ou drenagem; ? Sujeição de impactos e deposição de matérias rochosos e terrosos provenientes de movimentos de massa a montante. ? Rolamento de matacões por descalçamento (escavação e/ou erosão de sua base); ? Recalques diferenciais de fundações parcialmente apoiado em matacões. 	<ul style="list-style-type: none"> ? Remoção de moradias precárias muito vulneráveis; ? Construção de estruturas de impacto de fragmentos de rocha; ? Construção de canaletas de drenagem chumbadas na rocha; ? Demarcação e Reflorestamento de faixas "non aedificadis". 	<ul style="list-style-type: none"> ? Delimitação de faixas "non aedificandi"; ? Monitoramento e Mapeamento Geológico detalhado para detecção de fragmentos de rocha instáveis;
II	<ul style="list-style-type: none"> ? Áreas ocupadas irregularmente em terrenos com declividade baixa (entre 10° e 30°); ? Localização em cotas elevadas, à meias encosta ou em topos de morros; ? As condições precárias de ocupação oferecem risco devido a ação antrópica às construções ou áreas localizadas à jusante (esgotos, lixo e entulhos, águas superficiais, aterros, desmatamento, etc.); ? Construções localizadas nas bordas de encostas muito íngremes. 	<ul style="list-style-type: none"> ? Escorregamentos de terras induzidos pela ocupação, nas bordas; ? Ruptura de taludes por sobrecarga de lixo, entulho ou aterro na crista; ? Ruptura de taludes por ausência de rede de drenagem das águas de montante; ? Ruptura de taludes e assoreamento dos rios por desmatamento das áreas de montante; ? Contaminação de solo a águas superficiais e de nascentes; 	<ul style="list-style-type: none"> ? Construção de anéis de drenagem; ? Saneamento básico e destino finais para condução dos efluentes à jusante; ? Remoção de moradias precárias de locais inadequados; ? Maior eficiências na coleta de resíduos; ? Reflorestamento das áreas degradadas; 	<ul style="list-style-type: none"> ? Conscientização da população quanto ao despejo de lixo e entulho nas bordas da encosta; ? Cadastramento das moradias existentes e restrição de expansão para áreas de perigo, florestadas ou protegidas por lei;
III	<ul style="list-style-type: none"> ? Áreas de encostas íngremes com declividade natural entre 30° e 60° constituídos predominantemente por solos superficiais ou rasos (SRSR) e solos saprolítico muito intemperizados (SSMI); ? Áreas constituídas de assentamentos precários ou com risco agravado pela condicionante antrópica; ? Áreas com alterações nas características originais da encosta resultante da implantação de edificações menos dotadas de medidas e obras de estabilização e infra-estrutura; ? Áreas dotadas de alguma infra-estrutura urbana; ? Áreas adensadas com construções de padrão médio e baixo. 	<ul style="list-style-type: none"> ? Escorregamentos de terras induzidos pela ação antrópica; ? Ruptura de taludes de corte e corpos de aterro por altura e inclinações excessivas, ausência de obras de estabilização, drenagem e proteção superficial; ? Instabilização de fragmentos de rocha por escavação ou erosão; ? Erosão induzida em sulcos e ravinas, pela exposição do solo de alteração e/ou a condução das águas superficiais (pluviais ou servidas);. 	<ul style="list-style-type: none"> ? Remoção parcial de moradias muito precárias; ? Melhorias habitacionais; ? Construção e implantação de drenagem em lotes ou grupo de lotes; ? Implantação de destinos finais de águas e esgotos sanitários; ? Saneamento básico e demais serviços de infra-estrutura; ? Urbanização em terrenos de encosta. 	<ul style="list-style-type: none"> ? Conscientização da população quanto ao despejo de lixo e entulho nas encostas; ? Cadastramento das moradias existentes e restrição de expansão para áreas de perigo, florestadas ou protegidas por lei; ? Identificação das moradias com problemas de drenagem (destino de águas pluviais). ? Orientação da população sobre novas construções em áreas de perigo;



Tabela 4.20 - Características das Categorias de Intervenções e respectivas ações estruturais e não estruturais propostas para as áreas de assentamentos precários (continuação)

	Característica Física	Problemas existentes e/ou previstos	Ações Estruturais	Ações Não Estruturais
IV	<ul style="list-style-type: none"> ? Áreas de encostas íngremes com declividade natural entre 30° e 60° constituídos predominantemente de solos superficiais ou rasos (SRSR) e solos saprolítico muito intemperizado (SSMI); ? Áreas pouco adensadas, constituídas de assentamentos muito precários e com risco agravado pela condicionante antrópica; ? Alteração excessivas nas características originais da encosta resultantes da implantação de moradias sem as mínimas condições de segurança e ausência de obras de estabilização; ? Áreas desprovidas de infra-estrutura, inclusive saneamento básico. 	<ul style="list-style-type: none"> ? Edificações construídas sem estrutura, com risco de desabamento. ? Desmoronamento da edificação por escorregamentos provenientes de taludes muito próximo a construção; ? Ausência de saneamento básico, infra-estrutura e urbanização; 	<ul style="list-style-type: none"> ? Remoção de moradias muito precárias localizadas em terrenos muito vulneráveis; ? Reflorestamento das áreas degradadas e implantação de limites ecológicos; ? Melhorias habitacionais; ? Saneamento básico e infra-estrutura. 	<ul style="list-style-type: none"> ? Conscientização da população quanto ao despejo de lixo e entulho nas encostas; ? Cadastramento das moradias existentes e restrição de expansão para áreas de perigo, florestadas ou protegidas por lei; ? Orientação da população sobre novas construções em áreas de perigo;
V	<ul style="list-style-type: none"> ? Áreas com presença de linhas de drenagem caracterizadas por linhas sulcadas na encosta ou nos fundos de vale que concentram e conduzem as águas superficiais e subsuperficiais de forma perene ou intermitente; ? Locais com potencial para a condução através das águas superficiais e subsuperficiais de materiais provenientes de movimentos de massa ocorridos a montante (“debris flow”); ? Caracterizados, ainda, pelo acúmulo de depósitos de colúvio, tálus, tálus-colúvio, lixo, entulho e aterros simplesmente jogados encosta abaixo. 	<ul style="list-style-type: none"> ? Inundação ou desmoronamentos causados por enxurradas ou movimentos de massa ocorridos a montante; ? Solapamento das cabeceiras de drenagem; ? Os materiais estocados nestas áreas acabam sendo conduzidos para as redes pluviais causando obstrução ou então resultando no assoreamento dos rios e córregos. 	<ul style="list-style-type: none"> ? Remoção e/ou remanejamento de moradias em linhas de drenagem; ? Desobstrução e limpeza de linhas de drenagem natural e/ou galerias existentes; ? Canalização e tratamento de esgotos sanitários; ? Renaturalização através de reflorestamento; ? Implantação de dispositivos visando a proteção contra obstrução e assoreamento dos corpos hídricos receptores. 	<ul style="list-style-type: none"> ? Demarcação de faixas de proteção das linhas de drenagem perenes ou intermitentes; ? Conscientização da população quanto ao risco de moradias localizadas em linhas de drenagem e talvegues;
VI	<ul style="list-style-type: none"> ? Áreas de planícies, quase planas situadas em fundos de vales. ? Formas geralmente alongadas e estreitas, acompanhando os principais rios do município. ? Constituída por sedimentos predominantemente arenosos e junto às encostas, por coluviões e matacões. ? Possui nível de água bastante alterado em períodos de alta densidade pluviométrica. 	<ul style="list-style-type: none"> ? Enchentes e inundações; ? Dificuldade de escoamento e infiltração das águas servidas causados por assoreamento; ? Erosão e solapamento das margens dos rios e córrego; ? Danificação de pavimentos viários; ? Ruptura em redes de água e esgoto por recalque dos terrenos de fundação. 	<ul style="list-style-type: none"> ? Esta categoria demanda estudos hidrológicos e hidráulicos visando o desenvolvimento de projetos de macro e meso drenagem para possibilitar, assim, uma maior acurácia na quantificação de recursos. 	<p style="text-align: center;">*****</p>
VII	<ul style="list-style-type: none"> ? Áreas em processo de expansão com crescimento desordenado e construções muito precárias implantadas em terrenos com declividade variada; ? Vetor de crescimento em direção a áreas de perigo alto e muito alto, em cotas mais elevadas, fundos de vales ou ainda faixas de domínio de estradas e margens de rio; ? Áreas com potencial de risco devido à alteração descontrolada do meio ambiente; ? Áreas pouco adensadas com infra-estrutura precária ou inexistente; ? Áreas impróprias à ocupação urbana e protegidas por lei. 	<ul style="list-style-type: none"> ? Desmatamento; ? Poluição dos cursos d’água; ? Assoreamento dos cursos d’água; ? Escorregamentos induzidos por alterações na geometria e drenagem natural da encosta, ? Lançamento e acúmulo de lixo e entulho na encosta; ? Crescimento desordenado da ocupação em áreas protegidas por lei. 	<ul style="list-style-type: none"> ? Remoção de moradias; ? Reflorestamento de áreas degradadas. ? Implantação de eco-limites; 	<ul style="list-style-type: none"> ? Delimitação das faixas “non aedificandes” (eco-limites). ? Delimitação e constatação das áreas protegidas por lei; ? Orientação da população da necessidade de proteção da área, com a proibição de novas construções;

4.3.2 Obtenção de Fotografias

A obtenção de fotografias através de voo de helicóptero ou até de avião com média altura (1:12.000) munido de câmeras digitais de alta resolução, conforme comentado justificado no início deste relatório metodológico, será precedida da etapa anterior, para que seja possível o planejamento de voo.

O relatório fotográfico produzido será apresentado na folha individual que será elaborada em cada Área de Risco Alto e Muito Alto.

As fotos digitais serão impressas nas folhas individuais em tamanho mínimo de 15x21cm, conforme ilustrado na figura 4.19.



Figura 4.19 Foto aérea oblíqua para ilustração de Área de Risco Alto e Muito Alto (apud DRM-RJ, 2011)



4.3.3 Setorização das Áreas de Risco

]

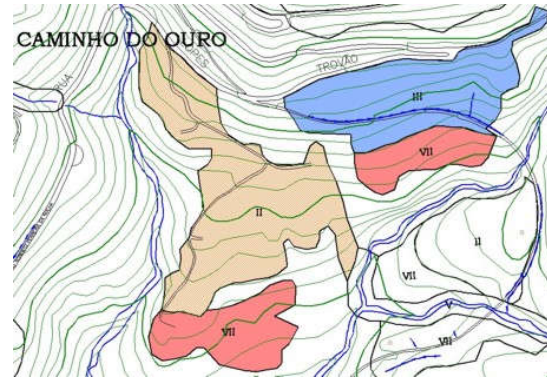
Uma vez delimitadas e validadas, através do trabalho de campo, cada área de Risco Alto e Muito Alto será apresentada em recorte do Mapa de Risco com as categorias de intervenção indicadas, subdividindo-se cada área de risco em setores. Ou seja, uma mesma Área de Risco poderá ser dividida em setores caracterizados por um categoria de intervenção. Enfim, cada setor prevê um tratamento distinto em termos de intervenções estruturais e não estruturais.

Os recortes das áreas de risco serão apresentados em folhas individuais contendo as seguintes informações:

- Identificação da área de risco;
- Identificação da região onde esta localizada;
- Localização (endereço);
- Coordenadas UTM;
- Hierarquização;
- Descrição;
- Ilustração com fotos aéreas e fotos tiradas no local;
- Estimativa do número de moradias em risco;
- Estimativa do número de moradias destinadas a relocação (reassentamento).

A figura 4.20 ilustra a uma folha de Área de Risco Alto e Muito Alto conforme apresentado no PMRR elaborado para o 1º Distrito em 2007.

SECTOR DE RISCO:		CAMINHO DO OURO					
LOCALIZAÇÃO:		Alinhamento da Rua Lopes Trovão, se estendendo até as margens do antigo caminho do Imperador na Serra da Estrela.					
COORDENADAS DE ACESSO:		X: 687885 Y: 7506908	HIERARQUIZAÇÃO:		26/102		
DESCRIÇÃO:		Ocupação consolidada às margens da Rua Lopes Trovão com expansão para as áreas no interior da Serra da Estrela. Infra-estrutura precária.					
DADOS DAS CATEGORIAS DE INTERVENÇÃO							
	I	II	III	IV	V	VII	TOTAL
ÁREA (ha)	*	4,34	2,81			2,29	9,45
Nº DE MORADIAS	*	90	93			60	243
ESTIMATIVA DE CUSTO DAS AÇÕES ESTRUTURAIS (R\$)							
REMOÇÃO/RELOCAÇÃO	*	130.500,00	53.940,00	*	*	1.044.000,00	1.228.440,00
MELHORIAS HABITACIONAIS	*	157.500,00	195.300,00	*	*	84.000,00	436.800,00
INFRA-ESTRUTURA	*	434.280,00	280.930,00	*	*	5.735,25	720.945,25
URBANIZAÇÃO	*	868.560,00	140.465,00	*	*	11.470,50	1.020.495,50
REFLORESTAMENTO	*	65.142,00	5.618,60	*	*	1.37.646,00	208.406,60
SANEAMENTO BÁSICO	*	598.500,00	637.980,00	*	*	1.68.000,00	1.404.480,00
TOTAL (R\$)		2.254.482,00	1.314.233,60			1.450.851,75	5.019.567,35



Mapa de Intervenção - Chácara Flora



Foto 005 - Ocupação na encosta.



Foto 006 - Expansão em área sem infra-estrutura.



Foto 007 - Moradias precárias.



Foto 008 - Desmatamento Estrada de Ferro.



Aerofoto - 2003

Figura 4.20 Modelo de folha de Área de Risco Alto e Muito Alto (PMRR, 2007)

20

4.4 Detalhamento 5ª etapa - Concepção das Intervenções Estruturais

Nesta etapa serão desenvolvidas concepções para intervenções estruturais para as Áreas de Risco Alto e Muito Alto.

4.4.1 Concepção das intervenções estruturais para as Áreas de Risco

As intervenções estruturais são intervenções físicas visando a recuperação de áreas que sofreram acidentes com potencial de propagação ou reativação futura (mitigação ou remediação) em áreas localizadas ou em áreas cujas condicionantes geológicas-geomorfológicas-ambientais, ou ainda, antrópicas tem grande potencial de ocorrência de acidentes em áreas abrangentes (prevenção). Nesta categoria se enquadram as obras de drenagem, contenção e proteção:

- Serviços de limpeza de rios e talvegues (canais de drenagem);
- Obras de drenagem superficial e subsuperficial;



- Recuperação de áreas degradadas - revegetação e reflorestamento;
- Desmonte ou fixação de blocos, ou ainda, implantação de barreiras dinâmicas;
- Estruturas de contenção localizadas e abrangentes;
- Suavização mecânica e/ou manual de taludes, etc.

Outra categoria de intervenções estruturais consiste no relocação e reassentamento de famílias nas Áreas de Risco Alto e Muito Alto consistindo resumido nas seguintes etapas:

- Desapropriação de áreas e em Áreas Especiais de Interesse Social (AEIS);
- Implantação de infraestrutura e urbanização constituindo lotes urbanizados nas AEIS;
- Produção de unidades habitacionais através do Programa Minha Casa Minha Vida (MCMV) nas AEIS;
- Demolição das moradias desocupadas e reciclagem e reuso do material resultante da demolição;
- Recuperação ambiental da área degradada.

Nesta etapa serão elaboradas para cada Área de Risco Alto e Muito Alto concepções das obras estruturais com características de remediação e preventivas e feitas estimativas de custo destas intervenções. Estas concepções serão apresentadas na forma de croquis (planta e seção), descrição da intervenção e planilha com estimativa orçamentária para cada intervenção, conforme ilustrado na figura 4.21

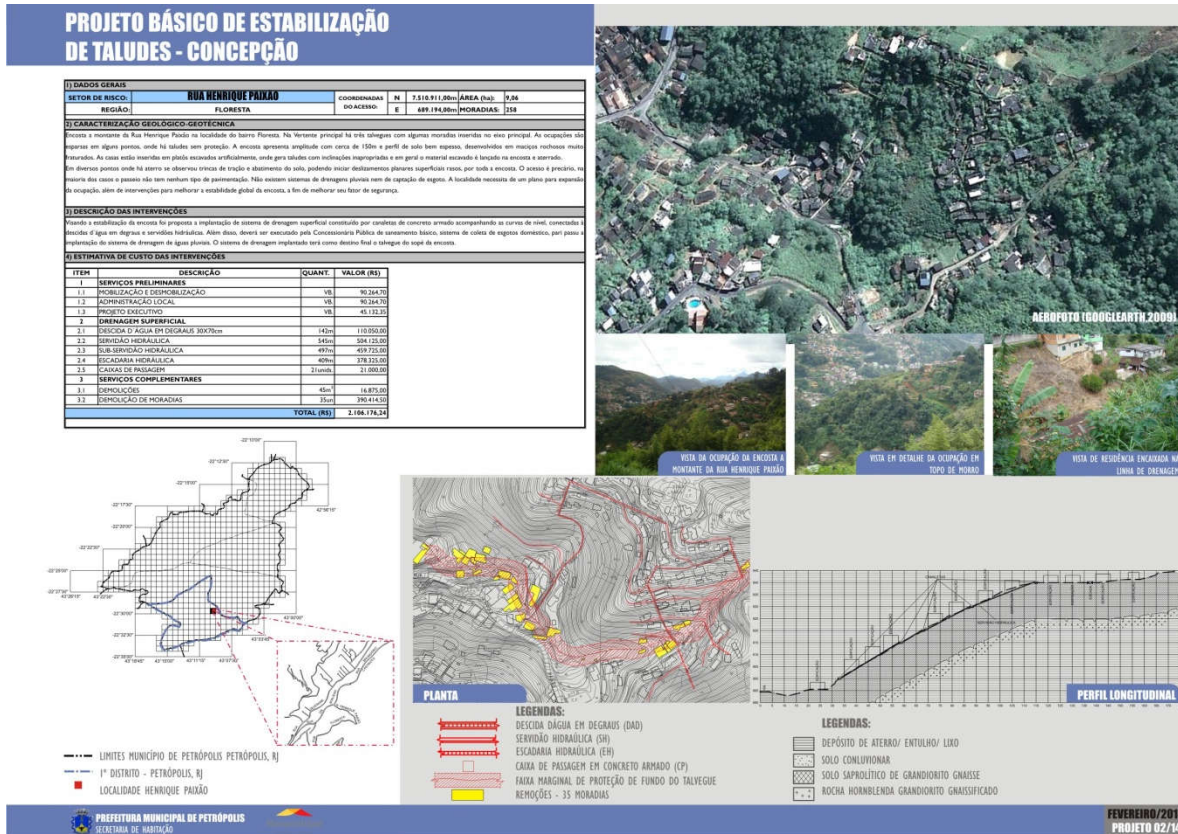


Figura 4.21 Modelo de folha de concepções das obras estruturais com estimativas de custo das intervenções (PMP, 2012)

4.5 Detalhamento 6ª etapa - Fechamento do PMRR

Nesta etapa será realizada uma reflexão sobre estratégias de ações não estruturais que deverão empreendidas pelo Poder Público e apresentação do Relatório Final do PMRR.

4.5.1 Reflexão sobre as estratégias de intervenções não estruturais

Após a conclusão do PMRR ingressamos em uma etapa conduzida pelo Poder Público que é Gerenciamento de Risco. Nesta etapa esta previsto o empreendimento de ações estruturais e não estruturais visando a prevenção de acidentes, além do monitoramento de risco.



A metodologia proposta para elaboração deste trabalho possibilitou a descrição do diagnóstico do risco e delimitação das áreas sujeitas à intervenções para mitigação do risco a escorregamento nestas áreas, porém, o Plano Municipal de Redução de Risco (PMRR) deverá indicar no Relatório Final o conjunto de ações não estruturais para o monitoramento, controle e prevenção de risco.

Entre as ações não estruturais podem ser destacadas as relacionadas às questões institucionais; Planos de Contingência; Habitação; Controle Urbano; Legislação Urbana e Edilícia.

4.5.2 Fechamento do PMRR

Nesta etapa será consolidado o Relatório Final contendo as folhas individuais com as Áreas de Risco Alto e Muito Alto com sua subdivisão em Setores por categorias de intervenção.

Além disso, será feita uma hierarquização do Risco, com base nos critérios divulgados pelo Ministério das Cidade no documento Mapeamento de Riscos em Encostas e Margens de Rios (Brasil, 2007). A hierarquização associará o custo de implantação das intervenções não estruturais ao benefício resultante destas, através da quantificação do universo das famílias beneficiadas por Área de Risco.

Neste relatório também estarão apensos as folhas com as concepções de ações estruturais, descrição das intervenções e estimativas orçamentárias.

Serão, ainda, apresentadas tabelas sintetizando todos os dados, tais como: área de risco, população beneficiada, número de famílias a serem reassentadas, estimativa de custo de intervenções estruturais.

4.6 Detalhamento 7ª etapa - Capacitação e Audiência Pública

Após a entrega do Relatório Final este será divulgado através de seminário específico constituído por apresentação e oficina de capacitação.



4.6.1 Capacitação da equipe técnica da PMP

Todas as etapas de elaboração do PMRR para o 2º, 3º, 4º e 5º Distritos e revisão do PMRR do 1º Distrito serão acompanhadas por representantes das secretarias envolvidas: Secretaria de Habitação, Secretaria de Obras, Secretaria de Proteção e Defesa Civil e Secretaria de Planejamento. Inclusive, a presente metodologia será apresentada em reunião específica com representantes da Administração Pública.

Neste sentido será preparada uma apresentação de caráter técnico para entendimento d

Após a elaboração do relatório final será agendado seminário para a apresentação da versão final do PMRR. Este evento, previsto com duração de um dia, será constituído das seguintes atividades:

- Apresentação e Discussão do PMRR de Petrópolis, na parte da manhã;
- Oficina de Capacitação para consulta e atualização do banco de dados ambientado em Sistema de Informações Geográficas (SIG) parte integrante do PMRR, na parte da tarde.

4.6.2 Audiência Pública para apresentação do trabalho

Deverá ser realizada uma Audiência Pública que deverá ser divulgada de forma ampla para toda a sociedade civil, que deverá contar com a presença obrigatória de associação de moradores, vereadores, entidades de classe (CREA, CAU, APEA, SINDUSCON, ARTE, SINCOMÉRCIO, FIRJAN, etc); universidades (CEFET, FASE, UCP, Estácio de Sá, etc.).

Neste sentido será preparada uma apresentação mais concisa e visando um público mais eclético, visando suscitar espaço para questionamentos pela plenária.



5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os Planos de Redução de Risco de Escorregamento e Inundações consistem de uma evolução dos mapeamentos geotécnicos que resultaram nas Cartas Geotécnicas, como foi a Carta Geotécnica de Petrópolis, elaborada em 1992 pelo IPT, após a catástrofe de 1988. Estas cartas inicialmente de caráter descritivo das Áreas de Risco evoluíram para documentos mais propositivos, incluindo, a elaboração de projetos de intervenções estruturais, quantificação e valoração destas, indicação de remoções e recuperação de áreas degradadas.

Entretanto, a experiência tem demonstrado que as ações estruturais dissociadas de um plano de ações não estruturais focados na prevenção não conseguem estancar a reprodução do sistema baseado nas seguintes equações do tipo: ocupação desordenada + áreas perigosas = áreas de risco;

Enfim, devem ser propostas, também, medidas não estruturais que incidam nas causas principais do surgimento das áreas de risco: questão fundiária (uso social da terra) e habitacional (lotes urbanizados e produção habitacional).

O PMRR não pode ser visto como um instrumento de planejamento urbano, exclusivamente, para a elaboração de Mapas de Perigo e Risco, tão somente indicando e hierarquizando as Áreas de Risco Alto e Muito Alto. O PMRR pode, também, indicar áreas disponíveis para o crescimento da cidade, ou seja, áreas seguras, ou que, pelo menos não demandem grandes investimentos para sua viabilização.

Por fim, este PMRR deverá acender a discussão para mais do que simplesmente conhecer as Áreas de Perigo e Risco do 2º, 3º, 4º e 5º Distritos mas, também, indicar ações não estruturais para não deixar reproduzir o sistema gerador destas áreas em áreas perigosas nestas regiões, dessa forma, contribuindo para a garantia de Sustentabilidade de toda a Cidade de Petrópolis.



6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABGE- – *Geologia de Engenharia* – Eds. A.M.S.de Oliveira & S.N.A. de Brito. Edição CNPQ/FAPESP –São Paulo. 1998.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Execução de Levantamento Topográfico*, NBR 13133. Rio de Janeiro, 1994

ALVES, Conceição de M. A. & SOUZA, Marcelo, P. de. *A utilização de SIG para ponderação de fatores ambientais na localização de atividades econômicas*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS (12º:1997:Vitória). *Anais*. Vitória, ABRH.

ARAÚJO, W. T., “ *Uso da modelagem numérica de terreno para a construção de um map de riscos em encostas em Salvador/Ba*” . In: IV Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, pp 27 – 32, Salvador/Ba, set 2005

AUGUSTO FILHO, O.,2001, *Carta de Risco de Escorregamentos Quantificada em Ambiência de SIG como subsídio para Planos de Seguro em Áreas Urbanas: um Ensaio em Caraguatatuba (SP)*. Tese de D. Sc.,apresentada junto ao Curso de Pós Graduação em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Campos de Rio Claro, SP, 196p., 2001.

BARROSO, J.A., et. al., *Projeto Carta Geológica do Estado do rio de Janeiro*, Convênio DRM/IG-UFRJ – Projeto Folha Itaipava, Rio de Janeiro, vol I, relatório final, texto (inédito) , parte II, 177p, 1981.

BAECHER, G.B., *Expert Elicitation in Geotechnical Risk Assessments*. Department of Civil Engineering, University of Maryland, 2000.

BELTRAME , A. da V. *Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação*. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1994.



BONHAM-CARTER, *G.F. Geographic Information System for Geocientists*. Modeling with GIS. Elsevier Science Ltd. The Boulevard Langford Lane, Kidlington, OX5 1GB, UK. 1994.

BONUCELLI, T.J., *Movimentos de Massa em Ouro Preto: importância da ocupação desordenada e caracterização dos fenômenos*. Tese de D. Sc. – EESC/USP, São Carlos, 1999. 2v.

BRASIL, MINISTÉRIOS DAS CIDADES/INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. *Mapeamento de Risco em Encostas e Margens de Rios*/Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi, organizadores - Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, 2007.

CÂMARA, G. et al.; *"Towards an Algebra for Geographical Fields"*. VII SIBGRAPI, Curitiba, Novembro de 1994. Anais, SBC, pp. 205-212.

CÂMARA, G. et al., "Fields and Objects Algebras for GIS Operations". III Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento, São Paulo, julho de 1995. Anais, USP, pp. 407-424, 1995.

CARVALHO, C. S. & GALVÃO, T., *"Preservação de Riscos de Deslizamentos em Encostas – Guia para elaboração de Políticas Municipais"*. Ministério das Cidades, 2006.

CORONADO, J. A. & DINIZ, N. C., *"Proposta metodológica para avaliação de risco por escorregamento na região andina do Eixo Cafeteiro, Quindío, Colômbia."*. In: IV Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, pp 51 – 59, Salvador/Ba, set 2005

COSTA NUNES, A. J. et al *"Contribuição ao conhecimento do Risco Geológico da Cidade de Petrópolis."* 1º Simpósio Latino Americano sobre Risco Geológico Urbano, São Paulo, 1990, pp102-114.

CREPANI, E. et al, *"Aplicações de geoprocessamento no estudo dos geossistemas e zoneamento Ecológico-Econômico de Serra das Almas (CE/PI)"*, In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto", pp 2153-2160, Goiânia-Brasil, abril 2005



CRUDEN, D. M. & FELL, R. (ed) – ***Landslide Risk Assessment***. Proceedings of the International Workshop on Landslide risk Assessment A. A. Balkema, 1997, 317p.

EINSTEN, H.H. ***Landslide Risk – Sistematic Approaches to Assessment and Management***. Proceedings of the International Work Shop on the Landslide Risk Assessment, Honolulu, Hawaii, USA, 19-21, February, 1997, p.25-50.

EINSTEN, H.H. ***Special Lectur: Landslide Risk Assessment Procedure***. Proc. Fifth Int. Symp. On Landslides (Ed. C. Bonnard), Lausanne, Suíça. AA. Balkema, Rotterdam, Holanda, 1988, Vol.2, pp.1075-1090.

FEEL, R. & HARTFORD, D. Landslides Risk Management. Proceedings of the International Workshop on the Landslides Risk Assessment, Honolulu, Hawaii, USA, 19-21, February, 1997, p 51-109.

FERREZ, G., ***Iconografia Petropolitana 1800-1890.***, 1 ed Brasil, Museu Imperial de Petrópolis, 1955.

FONTES, S.B.& PEJON, O.J. ***Mapeamento geotécnico com ênfase em erosões no Município de Ouro Preto – escala 1:5000*** In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 7., Poços de Caldas, 1993.

FREITAS, M. M. de, et al., ***Programa de Monitoramento da APA-Petrópolis: Mapeamento de Vegetação e Uso do Solo.***, Instituto Brasileiro de Meio Ambiente IBAMA, Órgão gestor da APA-Petrópolis, elaboração Instituto Terra Nova, 2005.

FONTES, A.T. & SOUZA, M. P. de. ***Diagnósticos e cenários ambientais utilizando SIG na conservação de recursos hídricos: o caso de Ribeirão Preto***: In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (12º:1997:Vitória). *Anais*. Vitória, ABRH.

GONÇALVES, L. F. H & GUERRA, A. J. T., “Movimentos de Massa na Cidade de Petrópolis” - ***Impactos Ambientais Urbanos no Brasil*** , pp. 189-252, Organização: Guerra, A.J.B., Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2001.



GUERRA, A. T. & GUERRA, A. J. T., *Novo Dicionário Geológico-Geotécnico*, 3ª ed, Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2003.

GOODCHILD, M.F. "*Spatial Analysis with GIS: Problems and Prospects GIS/LIS.*", The in Forum Atlanta, Georgia, p. 40-48, 1991.

GOODCHILD, M.F. "*Geographical Data Modeling.*", Computers and Geoscience, London, v.18, n.4, p.401-408, 1992.

GUIDICINI, G. & IWASA, O. Y., *Ensaio de Correlação entre Pluviosidade e Escorregamentos em Meio Tropical Úmido*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A. Publicação Nº 1080, 1976, 48p.

HANIGAN, F., *GIS by any other name is still...* The GIS Forum 1:6. 1988

IPT - - *Estudo Geológico-Geotécnico para Caracterização e Classificação de Maciços Rochosos para Projetos de Engenharia (Túneis, Lavras a céu aberto e Barragens)*. São Paulo (IPT –Relatório, 19569). 1984

IPT- - *Carta Geológica de Petrópolis* – Relatório nº 30 399 – Vol. 1 – Prefeitura Municipal de Petrópolis - RJ. 1990.

LOPES, E.S.S., et. al., *SPRING. Básico*, INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, [online]. www.dpi.inpe.br/spring/portugues/, set 2006.

PENHA, H. M ET. AL., *Projeto Carta Geológica do Estado do Rio de Janeiro*- Convênio DRM/IG –UFRJ - Projeto Folha Petrópolis, Vol. I, Relatório Final, (Inédito). 256pp. 1979.

PENHA, H.M. et al- *A geologia da Folha de Petrópolis*. Anais do XXXI Congresso Brasileiro de Geologia. 1980

PENHA, H. M. -- *Modelo de Compartimentação Estrutural das Principais Formações Geológicas da Região Centro-Occidental do Estado do Rio de Janeiro*. Simpósio de Geologia do Sudeste –Boletim de Resumos - Sbg-Núcleos Rj/Sp. 134p. 1989.



MORGADO, C. do R. V et. al., *Elementos de Segurança Ambiental*. 1 ed Rio de Janeiro, Fundação Bio-Rio, 2002.

MATSUGUMA, C. da S. et al., *Zoneamento Ambiental da APA-Petrópolis 2ª Etapa e banco de dados Geo-referenciado*, Fundo Nacional do Meio ambiente, convênio Instituto de Ecologia e Tecnologia de Meio Ambiente –ECOTEMA, 2001

MOTA, S., *Urbanização e Meio Ambiente*, 3 ed Rio de Janeiro, ABES,2003.

NAKAZAWA, V.A. & CERRI. T.E.S., *Os Escorregamentos Ocorridos em Petrópolis – Rj em fevereiro de 1988: Ações Emergenciais*. I Simpósio Latino Americano sobre Risco Geológico Urbano, São Paulo, 1990, pp 325-333.

OLIVEIRA, L. C. D., *Análise Quantitativa de Risco de Movimentos de Massa com Emprego de Estatística Bayesiana*. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2004.

PENHA, H.M. et. al., *Projeto Carta Geológica do Estado do Rio de Janeiro*. – Convênio DRM/IG – UFRJ – Projeto Folha Petrópolis, vol I, Relatório Final, texto inédito, 256 pp.

PENHA, H.M. et. al., *Projeto Carta Geológica do Estado do Rio de Janeiro*. – Convênio DRM/IG – UFRJ – Projeto Folha Itaipava, Rio de Janeiro, vol I, Relatório Final, texto (inédito), Parte I, 177 pp, 1881.

PEREIRA, E. Q., *Integração de parâmetros morfodinâmicos e adequação de uso das terras para o ordenamento territorial da bacia do Rio Muricizal – Tocantins*. Tese de M.Sc., Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto INPE, São José dos Campos, 2005.

SILVA, A. de B., *Sistemas de Informações Geo-referenciadas: Conceitos e Fundamentos*. Campinas-SP:, Ed da UNICAMP, 2003.

SMITH, T. R., et. al., *Requirements and principles for the implementation and construction of large-scale Geographic Information Systems*. In: Jour. Of Geog. Inf. Sys. 1:13-31, 1987.



SOUZA, L. A. de, ***Geologia da Região de Itaipava-Araras (RJ)***, Tese de M. Sc., Programa de Geologia/UFRJ, Rio de Janeiro, 1983.

REIS, I. A., “Integração entre SIG e Modelos Inferenciais Bayesianos”, In: ***Programa de Pós-graduação - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)***, São José dos Campos, 2004.

TECNOSOLO – ***Diagnóstico Geral Geológico Geotécnico dos Escorregamentos na Cidade de Petrópolis, face às chuvas de fevereiro de 1988***. Relatório da Prefeitura Municipal de Petrópolis. 1988

VARANDA, E., ***Mapeamento Quantitativo de Risco para o 1º Distrito de Petrópolis utilizando Sistemas de Informações Geográficas***. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2006.

VARANDA E.; MAHLER C.F. & OLIVEIRA, L.C.D., ***Análise de Risco de escorregamentos com uso de SIG***. Revista Luso-Brasileira de Geotecnia, No.119, pp. 55-68, julho de 2010.

VARNES, D. J., Slope ***Movement Types and Process. Chapter .2*** in Landslides: Analysis and Control, Schuster & Krizek (eds). Special Report 176:11-33. Whashington D. C.: Highway Research Board, 1978.

VARNES, D.J. ***Landslide Harzard Zonation a Review of Principles and Practice***. Natural Harzard, 3, UNESCO, 1984, 61p

VICK, S., ***Dam Safety Risk Assessment: New Directions***, “Water Power and Dam Construction, June, 1997

XAVIER DA SILVA, J. & CARVALHO-FILHO, L. M. ***Sistema de Informação Geográfica: uma proposta metodológica***, IV Conferência Latino-Americana sobre Sistemas de Informações Geográficas.e II Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento. São Paulo:EDUSP, 1993, p. 609-628.



XAVIER DA SILVA, et. al. *Índice de Geodiversidade: aplicações de SGI em estudos de Biodiversidade*. In: GARAY, i. (Ed.). *Conservação da biodiversidade em Ecossistemas Tropicais: avanços conceituais e revisão da novas metodologias de avaliação e monitoramento*. Petrópolis: vozes, 2001, pp.299-316.

WONG, H. N.& CHAN, Y.C. *Assessment of Consequence of Landslides* . Proceedings of the International Workshop on the Landslide Risk Assessement, Honolulu, Hawaii, USA, 19-21, Febuary, 1997, p. 111-163.

YOSHIKAWA, N. K. ET. AL., *Capacitação em Mapeamento e Gerenciamento de Risco*. Brasília, ministério das Cidades, 2006.

ZAIDAN, R. T. et. al, *Geoprocessamento & Análise Ambiental: Aplicações*. 1 ed. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2004

ZUQUETTE, L.V. & GANDOLFI, N., *Cartografia Geotécnica*. 1 ed Brasil, Oficina de Textos,2004.