

SUSCETIBILIDADE DAS ÁREAS DE RISCO A MOVIMENTOS DE MASSA NA APA PETRÓPOLIS-RJ¹

Potential Characteristics for Developing Mass Movement Risk Areas at the Environmental Protection Area – EPA Petrópolis-RJ in Brazil

Alessandra Carreiro Baptista², Maria Lúcia Calijuri², Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer³ e Eduardo Antônio Gomes Marques²

¹ Trabalho convidado.

² Doutoranda, Dep. de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa – DEC/UFV, 36570-000 Viçosa-MG, <a_c_baptista@yahoo.com.br>; ³ D.S., Professora Titular – DEC/UFV, <calijuri@ufv.br>; ⁴ Ph.D., Professor Adjunto do Dep. de Solos – DPS/UFV, <carlos.schaefer@ufv.br>; ⁵ Professor Adjunto – DEC/UFV, <emarques@ufv.br>.

Resumo: A Área de Proteção Ambiental da Região Serrana de Petrópolis - APA Petrópolis-RJ apresenta características potenciais para o desenvolvimento de áreas de risco, pois se posiciona em região de topografia acidentada e mostra-se em processo acelerado e desordenado de urbanização, principalmente em terras petropolitanas. O objetivo deste trabalho foi apresentar um diagnóstico geral do risco geológico. Para isso, e tendo como base o Zoneamento Ambiental da APA Petrópolis, foram apontados os processos geológicos-geotécnicos existentes, suas principais causas e os fatores físico-antrópicos condicionantes. Pretende-se, assim, gerar subsídios para a busca de soluções e futuras intervenções, por parte do poder público municipal.

Palavras-chave: Áreas de risco e movimentos de massa.

Abstract: The Environmental Protection Area - EPA in Petropolis, RJ, Brazil has potential characteristics for developing mass movement risk areas as it is located in a region with steep topography undergoing an accelerated and disordered occupation. This work aims to present a general evaluation of geological risk. Based upon an Environmental Zoning of Petrópolis EPA, the existing geological-geotechnical processes and their main physical and anthropic causes and factors were pointed out. The methodology used allows the production of reliable data that can be used by local authorities for future decision-making and urban planning.

Key words: Risk areas, and mass movements.

1 INTRODUÇÃO

A partir do início do século XX, a expansão populacional, a utilização indiscriminada dos recursos urbanos naturais e a industrialização cresceram em ritmo surpreendente. Com o passar dos anos, observou-se, sempre com a atuação decisiva do homem, a aceleração desses processos considerados modificadores e

desequilibradores da paisagem (CUNHA e GUERRA, 1996; MENDES, 2001).

Desde os primórdios do processo de urbanização, as estruturas das cidades estão impregnadas das características comportamentais do sistema geológico, as quais determinam o desempenho do meio físico, seja de modo sutil ou ostensivo. Dessa forma, os assentamentos antigos

ajustam-se aos fatores geoderivados, como a presença de água, a conformação do relevo, a natureza e a disponibilidade de materiais de construção (CARVALHO e PRANDINI, 1998).

Sendo assim, tem-se buscado a transformação da administração urbana em direção a seu contínuo e crescente interesse no crescimento sustentável, priorizando o aspecto ambiental. A legislação ambiental brasileira dispõe de alguns instrumentos à disposição do poder público e da sociedade na proteção do meio ambiente. As Unidades de Conservação, *in casu* as APAs, são exemplos desses instrumentos.

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) têm sido utilizados com eficácia comprovada na simulação da

realidade do espaço geográfico, na integração das informações espaciais, ou na geração de mapas (Ball, 1994). Inserido neste contexto, o planejamento urbano tem sido uma das áreas em que se tem observado maior desenvolvimento das aplicações dos SIG, decorrente essencialmente da grande concentração de conflitos no meio urbano (DENÈGRE, 1994).

1.1 Localização da área de estudo

A região onde se localiza a APA Petrópolis faz parte da porção sudeste da Plataforma Brasileira, representada pelo Domínio Tectônico Cinturão Móvel Atlântico (Figura 1).

A APA Petrópolis está situada dentro do Domínio Morfoestrutural das Faixas de

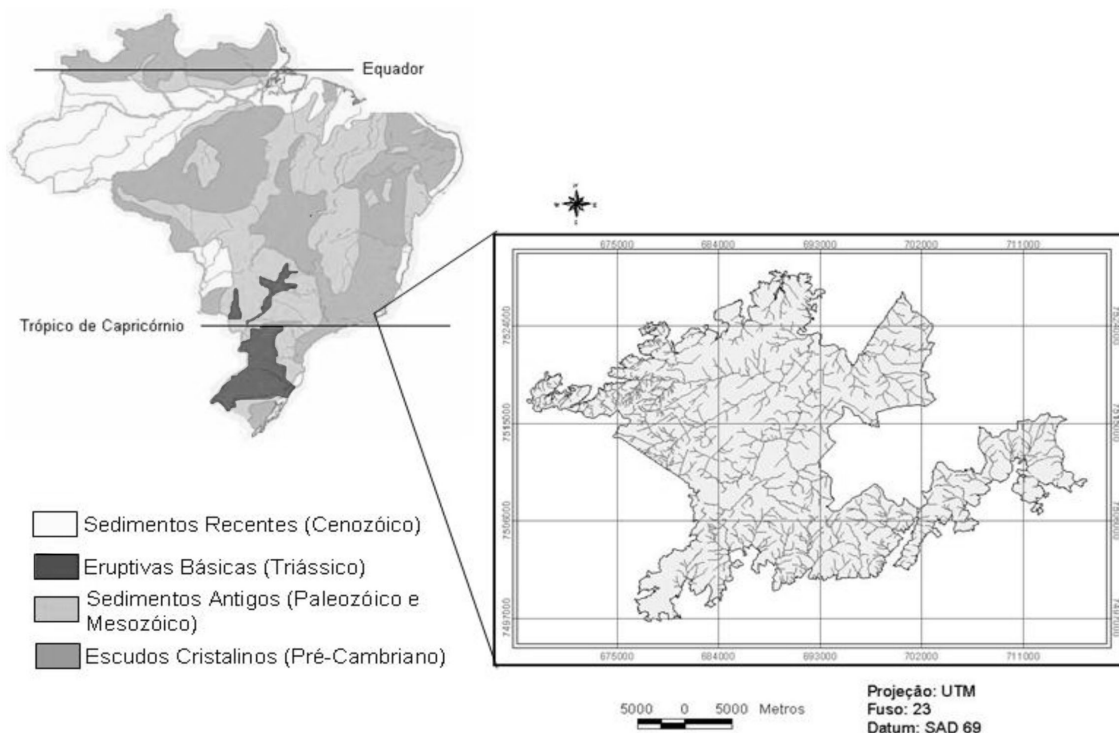


Figura 1 - Localização da APA Petrópolis, no contexto das formações geológicas do Brasil. (*EPA Petrópolis location within the context of geological formations in Brazil*).

Dobramentos Remobilizados, incluindo a Região Geomorfológica Escarpas e Reversos da Serra do Mar. Caracteriza-se por um relevo acidentado com grandes desníveis altimétricos, onde as cotas variam entre 500 e 1.800 m.

O controle estrutural sobre a morfologia é mostrado por linhas de falhas, blocos deslocados, escarpas, relevos e vales alinhados, coincidindo com os dobramentos e, ou, as falhas. A resistência das rochas é traduzida nas formas de dissecação, sobressaindo escarpas rochosas; patamares com cumes arredondados, pontiagudos e desnudos; pontões; linhas de cristas e cumeadas; e vales marcantes e profundos ao longo de zonas fraturadas.

A morfologia geral está, assim, intimamente relacionada com as características litoestruturais das rochas e com as condições climáticas da região.

O relevo é suportado por rochas Pré-Cambrianas, com predominância de rochas granitóides, gnáissico-migmatíticas e graníticas. Os afloramentos de rocha são muito abundantes na área. A presença de intenso fraturamento nas rochas, além de condicionar escarpas, paredões e vales fechados, favorece a atuação do intemperismo, atingindo maiores profundidades e formando mantos de alteração mais espessos em determinados locais, principalmente onde a foliação das rochas é desenvolvida e a quantidade de minerais escuros – biotita e anfibólio – é maior (FNMA/INSTITUTO ECOTEMA, 2001).

Na base das escarpas, na meia-encosta e nas proximidades dos afloramentos rochosos, distribuem-se blocos de rocha (rocha sã e semi-alterada) resultantes do desmoronamento de placas rochosas limitadas por fraturas e situadas nas partes mais elevadas (áreas de fornecimento de blocos).

Freqüentemente esses blocos acabam se acumulando ao longo do talvegue de pequenas linhas de drenagem, entulhando-as parcialmente e dando origem à acumulação de massas de tálus e colúvios, em geral de grandes proporções.

A Região Geomorfológica representada pela Unidade Geomorfológica Serra dos Órgãos caracteriza-se também pelo notável controle estrutural sobre a drenagem, tanto em relação aos cursos d'água que descem a escarpa em direção ao mar quanto aos que se dirigem para o rio Paraíba do Sul, orientados, geralmente, pelas fraturas. Os rios oriundos da escarpa principal voltada para o Atlântico possuem cabeceiras inseridas nas encostas íngremes e festonadas, apresentando vales subparalelos entre si. Os rios que drenam para o Paraíba do Sul, no reverso da Serra do Mar, seguem lineações de falhas e juntas segundo a direção preferencial NE-SW (FNMA/INSTITUTO ECOTEMA, 2001).

A evolução natural do relevo montanhoso está ligada a desmoronamentos e escorregamentos das encostas, que são favorecidos pela ausência de vegetação. Em muitas áreas, principalmente em locais urbanizados, as encostas são desmatadas, apresentando solo parcialmente exposto, o que propicia a instabilidade local. Em algumas áreas localizadas às margens de vias de acesso, como na BR-040, entre Quitandinha e Bingen, as encostas estão desmatadas e desprotegidas, necessitando de cuidados especiais para sua manutenção.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para este trabalho, foram utilizados os seguintes materiais:

- mapas topográficos do IBGE, em escala 1:50.000, de 1978, em formato digital;

- mapa geológico (escala 1:50.000), mapa de suscetibilidade aos fenômenos naturais e mapa de vegetação e uso atual das terras, 2000, na escala 1:25.000, também no formato digital, cedidos pelo Instituto ECOTEMA;
- mapa contendo alguns acidentes geológicos, 2000, em escala 1:10.000, cedido pela Prefeitura de Petrópolis;
- *software* GIS Idrisi 32, *version* Kilimanjaro, maio de 2003, ©The Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis;
- *software* ArcGIS/ArcGRID, *version* 8.1, © Environmental Systems Research Institute, Inc;
- Plano Diretor de Petrópolis, de 2003 (Lei nº 6.070, de 18 de dezembro de 2003, versão revista e atualizada da Lei nº 4.870 de 05 de novembro de 1991), cedida pela Prefeitura de Petrópolis;
- Lei nº 5.393, de Uso, Parcelamento e Ocupação do Solo do Município de Petrópolis - LUPOS, de 25 de maio de 1998; e
- Lei nº 6.766, Lei Federal que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano, de 19 de dezembro de 1979.

2.1 Desenvolvimento da metodologia

A partir dos dados mencionados, foram elaborados o modelo digital de elevação hidrograficamente consistente – MDEHC, a carta clinográfica e o modelo de sombreamento analítico, como descritos a seguir.

2.1.1 MDEHC – Modelo digital de elevação hidrograficamente consistente e modelo de sombreamento analítico

Nas últimas duas décadas, diversos algoritmos têm sido implementados em módulos específicos dos Sistemas de

Informações Geográficas, com a finalidade de automatizar a extração de características morfométricas da superfície terrestre, a partir dos modelos digitais de elevação, dentre as quais se destaca o delineamento de bacias hidrográficas e da respectiva rede de drenagem. As vantagens da automação em relação aos procedimentos manuais são a maior eficiência e confiabilidade dos processos, a reprodutibilidade dos resultados e a possibilidade de armazenamento e compartilhamento dos dados digitais (CHAVES, 2002).

A eficiência da extração dessas informações e de outras, derivadas a partir destas, medida em termos de precisão e de exatidão, está diretamente relacionada com a qualidade do modelo digital de elevação e do algoritmo utilizado. O modelo digital deve representar o relevo de forma fidedigna e assegurar a convergência do escoamento superficial para e ao longo da drenagem mapeada, garantindo assim a sua consistência hidrológica.

Portanto, para este trabalho foi utilizado o TOPOGRID/ArcGRID, o que permitiu a imposição da hidrografia ao modelo digital de elevação (MDE). A resolução utilizada foi de 10 m, tendo-se em vista a escala de trabalho e o tempo para sua geração.

Após a geração do MDE, foi feito o trabalho de preenchimento das depressões espúrias. As depressões são células cercadas por células com maiores valores de elevação. Sua presença em um MDE produz a descontinuidade do escoamento superficial descendente para uma célula vizinha. Por definição, as depressões incluem áreas planas e depressivas. Algumas delas podem ser naturais, como os sumidouros observados em região de Karst, mas a maioria delas é considerada espúria, decorrentes do próprio processo de geração do MDE (amostragem e interpolação) e da truncagem dos valores

interpolados para números inteiros na saída do modelo (CHAVES, 2002).

O modelo de sombreamento analítico foi obtido a partir do MDEHC gerado.

2.1.2 Carta de classes de declividades

A carta clinográfica, obtida a partir do MDEHC, foi subdividida em quatro classes: classe 1 de 0 a 15%, classe 2 de 15 a 30%, classe 3 de 30 a 45% e a classe 4 para declividades maiores que 45%. As faixas foram definidas de acordo com a legislação vigente, Lei Federal nº 6.766/79, que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano. Segundo esta lei, em declividades maiores que 45% não deve haver ocupação e os loteamentos e desmembramentos urbanos só serão autorizados em declividades de até 30% (CUNHA, 1991).

2.1.3 Mapa de uso do solo x declividades

Esse mapa foi obtido a partir da tabulação cruzada do mapa de uso do solo com a carta de classes de declividades. Foram selecionadas, no entanto, as áreas com declividades superiores a 30%, que constitui o limite para a ocupação de encostas, sem a necessidade de projetos especiais.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processo de materialização do espaço urbano, quando conduzido de forma não-planejada, provoca fortes impactos ambientais, no qual a sociedade é o principal agente.

No Brasil, os principais processos associados a desastres naturais são as inundações e os movimentos de massas, devendo ser ressaltado que a este último relaciona-se o maior número de vítimas fatais.

A prevenção dos riscos urbanos é uma atribuição municipal. Com a missão de

elaborar uma nova política de desenvolvimento urbano no País, o Ministério das Cidades, criado em janeiro de 2003, elaborou uma ação específica de apoio à prevenção e erradicação de riscos, parte do programa de “Urbanização, Regularização e Integração de Assentamentos Precários”.

Petrópolis está entre os municípios que solicitaram apoio do Ministério das Cidades em 2004 e que foram priorizados por apresentar maiores níveis de risco e cujas administrações já desenvolvem ações de prevenção de risco e realizaram algum diagnóstico do problema por meio do mapeamento dos riscos.

Em um estudo de apoio à prevenção de riscos em assentamentos precários – Análise das operações realizadas no primeiro semestre do ano de 2004, realizado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia, Petrópolis está entre as cidades que mais fizeram vítimas fatais em escorregamentos, aparecendo em primeiro lugar no quadro de “Vítimas fatais devidas a processos de escorregamentos”, com 258 mortes, no período entre 1988 e 2004.

Do estudo do meio físico, no caso com enfoque geomorfológico, tem-se a distribuição das classes de declividades (Quadro 1), que possuem relevância significativa no planejamento da ocupação

Quadro 1 - Distribuição das classes de declividades em toda extensão da APA Petrópolis (*Declivity class distribution of EPA Petropolis*)

Classe de Declividade (%)	Área (km ²)	Área Relativa (%)
0 – 15	60,04	10,10
15 – 30	122,33	20,56
30 – 45	141,53	23,80
> 45	270,86	45,54

urbana de novas áreas, ou na reestruturação de áreas antigas, considerando as demandas ambientais naturais da área e seus limites de utilização.

Observa-se que quase 70% da área total da APA possui declividades superiores a 30%. Esse é um fator natural que, associado à concentração populacional e a chuvas concentradas, fez vítimas fatais, decorrentes de acidentes com movimentos de massa.

Mesmo em áreas não-ocupadas é possível observar a ocorrência, muito comum, de movimentos de massa naturais, resultantes dos processos de evolução natural da encosta. Esses processos resultam de uma predisposição natural, função da litologia existente e do controle estrutural, que gera elevadas declividades em áreas muito extensas.

Valores altos de amplitude de relevo e declividade das encostas propiciam maior intensidade dos processos morfodinâmicos e mais elevada suscetibilidade à erosão e ao escorregamentos de terra. Em relevos menos enérgicos verificam-se menores volumes e velocidades de escoamento das águas pluviais, implicando suscetibilidades menos elevadas.

A região da APA Petrópolis é caracterizada pela presença de unidades litológicas diferentes, sobressaindo os litotipos gnáissicos, migmatíticos, granitóides e graníticos. Além da resistência desigual das rochas aos agentes erosivos, a presença de fraturas (falhas e juntas) também contribui para a alteração das rochas.

O rolamento de blocos ou matacões pode ser desencadeado por solapamento em sua base de apoio, decorrente da erosão, do descalçamento por escavação ou da evolução dos processos de intemperismo. Podem ocorrer rolamentos de matacões de grande porte, mesmo na ausência de chuvas. Esses movimentos podem ocorrer,

também, a partir de deslocamentos nos maciços rochosos muito fraturados.

O transporte desses materiais se dá encosta abaixo por gravidade, através de rastejo, deslizamentos de massa ou desmoronamento de blocos.

Os escorregamentos de solo e rocha são mais representativos nas grandes massas de tálus, cujos constituintes são fragmentos soltos dispostos de maneira desordenada. Os blocos de rocha, geralmente, encontram-se envolvidos por uma matriz areno-argilosa, proveniente do mesmo processo de acumulação por gravidade ou oriunda de processo de alteração dos próprios blocos rochosos.

Segundo estudos realizados pelo FNMA/Instituto ECOTEMA (2001), na maioria dos casos de instabilidade verificados o equilíbrio do manto de decomposição das rochas foi rompido por desmatamento e, ou, escavações, como também por adição de aterros inadequados para a ocupação de terrenos de encosta sem cuidados técnicos, por acompanhamento das obras, em geral, deficiente, ou por obras desprovidas de sistema de drenagem e proteção.

A intervenção antrópica vem agravar as condições naturais preexistentes, já frágeis, provocando deslizamentos de pequenas e grandes proporções.

A região em que se incere a APA Petrópolis é formada por unidades geoambientais vulneráveis a desequilíbrios do meio ambiente, quer seja por processos naturais ou pela ação do homem. Assim, as práticas que provocam acidentes nas encostas, como cortes e aterros inadequados, retirada de vegetação, lançamento de água ou bloqueio das linhas d'água naturais por lixo ou entulho, devem estar sujeitas ao controle e à fiscalização dos órgãos públicos e da comunidade.

Outro aspecto importante a ser considerado são os indicadores socioeconômicos,

como padrão construtivo da moradia, forma de ocupação e acompanhamento técnico empregado. Essa relação implica o uso de material impróprio e a utilização de técnicas não-adequadas à região. Os tipos de habitação presentes na APA nem sempre utilizam, em maior ou menor grau, as técnicas disponíveis e os elementos construtivos exigidos pelas condições naturais de clima, relevo, tipo de solo, intempéries etc. A explicação pode estar na cultura local, tornando tradicional o desuso de material, equipamento e tecnologia, por desconhecimento ou negligência, demonstrando que nem sempre o fator econômico é o responsável.

A integração do ambiente natural e construído e a segurança nas áreas mais declivosas são de responsabilidade conjunta do poder público e dos cidadãos que vivem e ocupam esses espaços urbanos. A responsabilidade social dos moradores concretiza-se pelo conhecimento do risco e pela mudança de hábitos, adotando práticas adequadas de preservação do ambiente natural.

4 CONCLUSÕES

A forma de ocupação e o uso social do espaço são fatores determinantes para a configuração do meio ambiente urbano, que, por sua vez, determina, em resposta, o nível de qualidade de vida. Na APA Petrópolis fica evidente a precariedade da infra-estrutura urbana e das moradias nas novas áreas ocupadas, vizinhas aos bairros já consolidados.

Os principais processos geológicos presentes na APA são o escorregamento e as quedas de blocos, ocorrendo, predominantemente, em solos transportados. Os seus principais agentes predisponentes são o fator morfológico (relevo acidentado) e o fator climático. Os agentes efetivos preparatórios são a pluviosidade, a erosão pela

água e as ações humanas, ao passo que os agentes efetivos imediatos são as chuvas intensas e, também, as intervenções antrópicas. As chuvas ocorrem, em geral, de outubro a março, período em que acontecem a maioria dos escorregamentos.

A principal ação humana é a execução de cortes nas encostas, pela abertura de lotes ou ruas. Os taludes produzidos possuem altura e inclinação geralmente elevadas, ficando desprotegidos da vegetação original. As principais causas são a redução dos parâmetros de resistência por intemperismo (causa interna), as mudanças na geometria do sistema (causa externa) e a diminuição do efeito da coesão devido à saturação do solo (causa intermediária).

O processo erosivo também acontece de maneira superficial, formando sulcos profundos, contribuindo para a ocorrência de escorregamentos, quando se observa o descalçamento das camadas de solos subjacentes (solos maduros e, ou, coluvionares).

Dessa forma, observou-se que a grande ocorrência de movimentos de massa na APA Petrópolis agrava-se, entre outros fatores, devido à concentração urbana desordenada em áreas de risco e ao relevo acidentado. Existem, de fato, construções feitas de forma insegura, em locais impróprios, porém há também várias ocorrências de movimentos de massa em áreas nobres, áreas que não poderiam ser ocupadas por se localizarem em encostas muito íngremes, com convergência de fluxos ou pela ocorrência de tálus.

Há severas restrições do meio físico ao crescimento da ocupação humana na APA Petrópolis, demonstrando a necessidade de severas restrições ao crescimento urbano.

Também, pouco se faz em relação às ações de recuperação de áreas atingidas, como a utilização de técnicas preventivas:

deslocamento da população das áreas de risco, fiscalização de ocupações irregulares, entre outras.

Um aspecto importante a se enfatizar é o impacto negativo com que se apresenta a paisagem urbana, evidenciado pelo aspecto degradado do solo no entorno das construções nas encostas, que são desmatadas e escavadas, expondo, muitas vezes, um solo de alta erodibilidade.

O uso da tecnologia SIG torna possível a integração e manipulação de dados, de forma rápida e eficaz, na geração de informações para subsidiar tanto o diagnóstico quanto o gerenciamento, sem necessariamente acarretar investimentos elevados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALL, G. L. Ecosystem modeling with GIS. *Environmental Management*, v. 18, n. 3, p. 345-349, 1994.
- BRASIL. **LEI Nº 6.766/1979** – Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano. Brasília – DF, 1979.
- CARVALHO, E. T.; PRANDINI, F. L. Áreas urbanas. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. **Geologia de engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. 487 p.
- CHAVES, M. A. **Modelos digitais de elevação hidrologicamente consistentes para a Bacia Amazônica**. 2002. 115 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.
- CUNHA, M. A. (Coord.) **Ocupação de encostas**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1991. 216 p. (IPT – Publicação, 1831).
- CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. Degradação ambiental. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.) **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: 1996. p. 337-379.
- DENÈGRE, J. Technological progress in geographical research: recent developments in satellite remote sensing and geographical information systems. **Mapping Sciences and Remote Sensing**, v. 31, n. 1, p. 3-12, 1994.
- FNMA/INSTITUTO ECOTEMA. **Zoneamento Ambiental da APA Petrópolis**. Petrópolis: 2001. 451 p.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Manual de uso e ocupação das encostas**. São Paulo: 1991. 25 p.
- MENDES, R. M. **Mapeamento geotécnico da área central urbana de São José do Rio Preto (SP) na escala de 1:10.000, como subsídio ao planejamento urbano**. 2001. 245 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de São Carlos, São Carlos, 2001.
- PETRÓPOLIS. Prefeitura Municipal. **LEI Nº 5.393/1998 – Lei de uso, parcelamento e ocupação do solo**. Petrópolis: 1998.
- PETRÓPOLIS. Prefeitura Municipal. **LEI Nº 6.070/2003 – Revisão do Plano Diretor de Petrópolis**. Petrópolis-RJ, 2003.