



ANÁLISE ESPACIAL COM SIG DE PARÂMETROS AMBIENTAIS E COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO (CHUVA-VAZÃO) DE UMA BACIA DE DRENAGEM MONTANHOSA NA SERRA DOS ÓRGÃOS: BACIA DO PAQUEQUER, MUNICÍPIO DE TERESÓPOLIS, RJ¹

Carla Semiramis Silveira

*LabGis – Laboratório de Geoprocessamento DGAP Faculdade de Geologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro e professora visitante do DGAP
carlasemiramis@uerj.br*

José Augusto Sapienza Ramos

*LabGis – Laboratório de Geoprocessamento DGAP Faculdade de Geologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro e aluno de bacharelado em Ciência da Computação na Universidade Federal Fluminense
ja_sapienza@yahoo.com.br*

Resumo

Este trabalho tem como objetivos principais apresentar e analisar, por meio de Sistema de Informação Geográfica, a distribuição espacial dos parâmetros ambientais, na escala 1:50.000, e discutir a possível influência destes na dinâmica hidrológica de chuva-vazão da bacia do Paquequer. Este rio (5ª ordem, 30 km de comprimento) nasce na Serra dos Órgãos e drena 269 km² para o vale do Paraíba do Sul. A pluviosidade anual varia de 1500 mm a jusante da bacia até mais de 3000 mm na cabeceira e as chuvas predominam no verão. Em 1996, a vegetação da bacia era composta por um mosaico de diferentes estágios de sucessão ecológica até Floresta Ombrófila Densa - Mata Atlântica, em fragmentos de diferentes tamanhos, e 25 % da área com uso urbano/rural. Na bacia ocorrem 3 unidades geológicas (Granito Teresópolis, Batólito Serra dos Órgãos (gnaisse) e Unidade Rio Negro (migmatito). Os afloramentos rochosos (5 % da área) são importantes feições da paisagem (principalmente no Granito Teresópolis). As unidades estão sobrepostas por colúvios, colúvios ricos em blocos, elúvio e pouca quantidade de depósitos aluvionares. Os Cambissolos são dominantes, com poucos Latossolos (preferencialmente associados a Unidade Rio Negro) e Gleissolos nos vales. Uma coletânea, unificação e análise das relações espaciais dos dados de geologia, solos, declividade, formação superficial, hidrografia, vegetação e uso mapeados pelo projeto Teresópolis (UERJ/IBGE) foi elaborada por intermédio do ArcGis Desktop 9.2. Os resultados do SIG apontam que a geologia da bacia condiciona diferentes paisagens. No Granito Teresópolis as classes de maior declividade, os afloramentos rochosos e os colúvios com blocos têm maior significado. As classes Gleissolo e Latossolo adquirem importância significativa na unidade Rio Negro. A investigação por meio de GPR e granulometria de uma sub-bacia identificou padrões geofísicos e granulométricos associados à rocha fresca, solo e colúvio com blocos. Na Estação Parnaso (INMET) (cabeceira da bacia do Paquequer) choveu 2945 mm no ano monitorado, enquanto na Estação Providência (UERJ/CPRM) (fim da bacia) choveu 1447 mm. Os meses de novembro a março foram os mais chuvosos e junho a setembro os mais secos. A vazão média do rio Paquequer ao longo de um ano é de 5,6 m³/s. A vazão mensal acompanha as tendências da precipitação, sendo controlada pela precipitação na cabeceira. A hidrógrafa decorrente de um evento de chuva na cabeceira da bacia demora entre 10 a 34 horas para alcançar o fim da bacia. Em termos hidrológicos a presença dos paredões rochosos, o uso urbano e os Cambissolos e solos litólicos (menos desenvolvidos) são os responsáveis pelos fluxos mais rápidos. Entretanto a forma alongada, os colúvios e elúvios são fontes de fluxos mais lentos que estabelecem uma boa correlação entre a chuva na cabeceira e a vazão na saída da bacia.

Palavras chave: bacia de drenagem; SIG; análise espacial; geoprocessamento; hidrologia

¹ Pesquisa financiada pelo CNPq (processo 478992/2006-8) e com apoio da FAPERJ e Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)

Abstract

This paper presents a spatial analysis using Geographic Information System of environmental parameters (1:50.000) and discusses the possible influence of these results in the Paquequer watershed precipitation-discharge behaviour. This river (5th order, 30 km long) begin in the Serra do Mar and flows to Paraíba do Sul river in a 269 km² watershed. The annual rainfall is 1500 mm downstream of the basin to more than 3000 mm in its headwater. The summer are wet. In 1996 the vegetation of the watershed was fragmented in different stages of ecological succession of Ombrophilous Dense Forest – Mata Atlântica and 25% of the area was either urban or land use. 3 geological units occur in the area (Teresopolis Granite, Batólito Serra dos Orgãos (gnaiss) and Rio Negro Unit (migmatite)). The rocky outcrops (5% of the area) are important features of the landscape (especially in Teresopolis Granite). Above the rocks there are colluvium, colluvium rich in blocks, regolith and little amount of alluvial deposits. The Cambisoils are dominant, with few Latosoils (generally associated with Rio Negro Unit) and Gleisoils in the valleys. A collection, unification and analysis of spatial relationships of geology, soil, slope, deposits, hydrography, vegetation and land use data from Teresopolis project (UERJ / IBGE) was done with ArcGis Desktop 9.2. The GIS results showed that geology controls landscape. Teresopolis Granite landscape has higher slopes, many outcrops and colluvium with blocks. Gleisoils and Latosoils are important in Rio Negro geological unit. GPR investigation and granulometry characterization of a small sub-basin identified geophysical and granulometry patterns for fresh rock, soil and colluvium with blocks. At Parnaso Station (INMET) (headwater of the Paquequer basin) rained 2945 mm in the monitored year, while at the Providence Station (UERJ/CPRM) (outlet of the basin) 1447 mm. November to March were the most rainy months and from June to September the driest. The average yearly Paquequer river flow discharge is 5.6 m³/s. Monthly flow discharge has the same trend of monthly precipitation and is controlled by headwater rainfall. Peak flow from a headwaters rainfall event has a 10 to 34 hours lagtime to reach the outlet of the basin. Rock outcrops, urban land use and less developed soils (Cambisoils and Litosoils) are responsible for faster flows. Meanwhile the elongated shape, the colluvium and the regolith are slower flows sources, showing a good relationship between headwater rainfall and basin outlet water flow.

Keywords: drainage basin; GIS; spatial analysis; geoprocessing; hydrogy

1. Introdução

O caminho percorrido pela água para alcançar o canal principal é função das propriedades de declividade, cobertura vegetal, profundidade dos solos e fraturamento da rocha que em última análise condicionam a capacidade de infiltração e estocagem da água na bacia de drenagem (Selby, 1985). Desta forma o conhecimento de parâmetros ambientais tais como geologia, tipo de solo, uso do solo e geomorfologia quando associado com a resposta hidrológica, em escala de bacia de drenagem, é fundamental para estabelecer a compreensão em uma análise causal, e não somente empírica, dos processos hidrológicos (Klemes, 1982).

Junto com o avanço da computação, a geotecnologia vem proporcionando diversas ferramentas voltadas para a gerência de recursos naturais, meio-ambiente, infra-estrutura, urbanização, entre outros, capazes de responder aos questionamentos impostos num espaço de tempo muito inferior do que aquele necessário antes de seu advento. Entre as geotecnologias, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) destacam-se por permitir a interação de um grande volume de dados geográficos e alfanuméricos correlacionados, amplificando, assim, ainda mais as possibilidades de análise e otimizando o tempo de recuperação e manipulação desses dados correlacionados (Ramos et al. 2007).

Desta forma, um Sistema de Informação Geográfica é uma excelente ferramenta para tratar e analisar informações geograficamente distribuídas tais como classes de solo, rochas, relevo e vegetação de uma área (Câmara et al., 2001). Assim é fácil encontrar relações e compreender a dinâmica de uma paisagem.

2. Objetivos

Este trabalho tem como objetivos principais:

1. Apresentar e analisar por meio de Sistema de Informação Geográfica (SIG) a distribuição espacial dos parâmetros ambientais (geologia, geomorfologia-declividade e formações superficiais, solos, vegetação e uso de 1996) na escala 1:50.000 da bacia do Paquequer, que nasce na Serra dos Órgãos e drena para o vale do Paraíba do Sul. Pretende-se estabelecer as relações entre os diferentes parâmetros ambientais e a paisagem resultante.

2. Fazer uma análise hidrológica da relação chuva-vazão da bacia do Paquequer e estabelecer uma correlação com os parâmetros ambientais e morfométricos da bacia. Além disso, pretende-se discutir como esta configuração espacial dos parâmetros ambientais pode influenciar a dinâmica hidrológica da bacia.

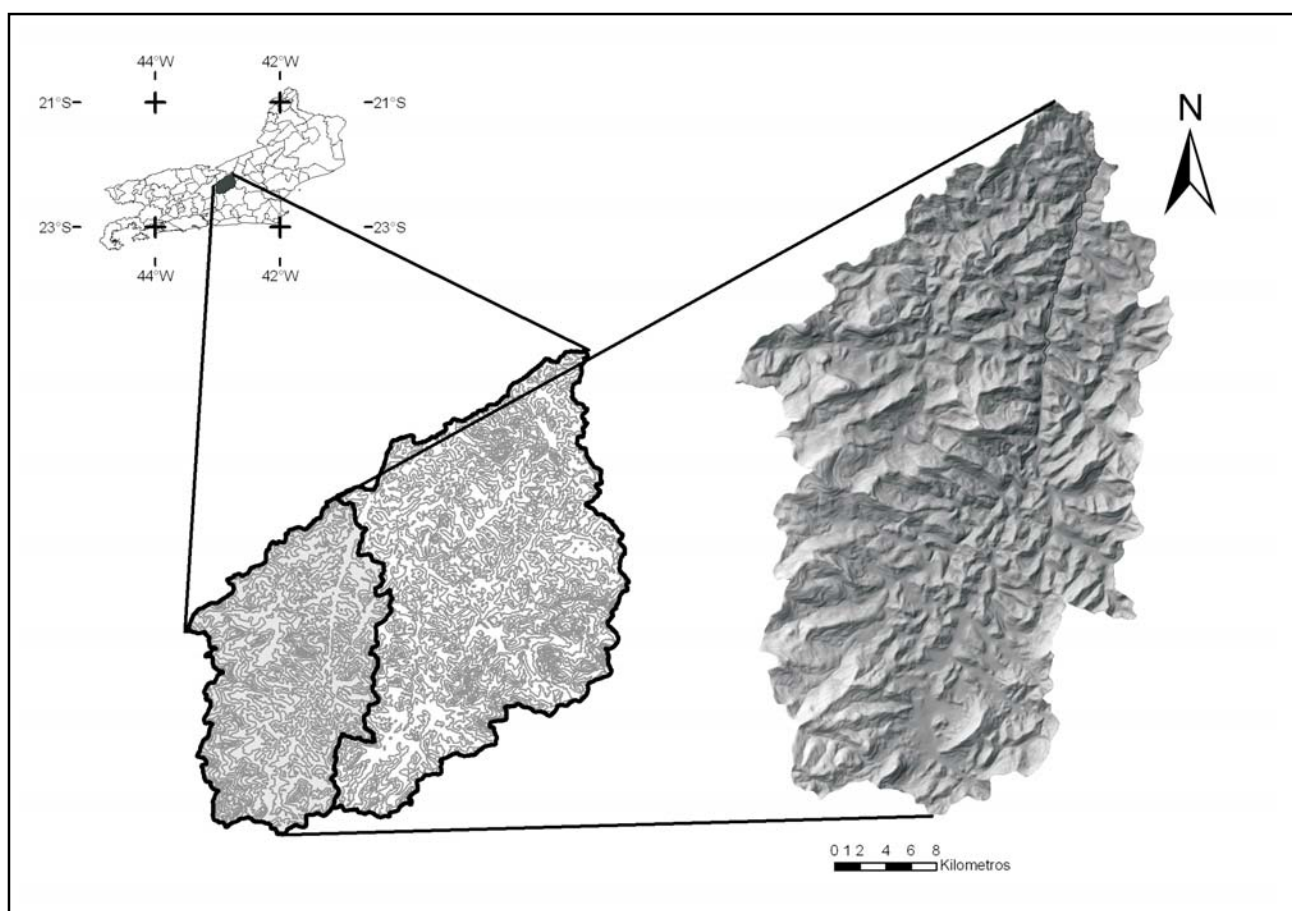


Figura 1: Localização e Modelo Digital de Terreno da bacia do Paquequer no município de Teresópolis, RJ.

3. Área de estudo

O rio Paquequer nasce na Serra dos Órgãos e a sua bacia drena uma área de 269 km² no município de Teresópolis, região serrana do estado do Rio de Janeiro (Figura 1).

O Paquequer deságua no rio Preto, afluente do Piabanha (que faz parte da bacia do rio Paraíba do Sul) e seu canal principal é de 5ª ordem, com aproximadamente 30 km de comprimento. O perfil longitudinal do rio Paquequer apresenta acentuada inclinação nos primeiros 5 km, a partir da sua nascente (20%), e ligeira inclinação no seu percurso restante (Oliveira, 1999). Segundo Silva (2006) a bacia tem densidade de drenagem (Dd) de 2,01 km/km² densidade hidrográfica (Dh) de 3,91 canais/km² e índice de circularidade (Ic) de 0,44. Estes parâmetros indicam baixa taxa de infiltração e domínio do escoamento superficial em uma bacia de forma alongada.

Os rios Preto e Paquequer abastecem de água o município de Teresópolis. A bacia do Paquequer engloba uma parte do Parque Nacional da Serra dos Órgãos (9 km² - onde está situada a cabeceira do rio Paquequer) e parte da Área de Proteção Ambiental Estadual da Floresta do Jacarandá (14 km²) (Schumm, 2003).

O clima é Mesotérmico Brando úmido a super úmido (umidade média de 82% a 86%) com temperatura média de 18°C e pluviosidade anual variando de 1500 mm a jusante da bacia até mais de 3000 mm na cabeceira. As chuvas predominam na estação do verão (Schumm, 2003; CPRM, 2004).

3.1. Vegetação e uso do solo

Os dados do Projeto Teresópolis (UERJ/IBGE, 1999) 1:50.000 indicam que em 1996 25 % da área da bacia é ocupada com uso urbano e rural principalmente agricultura comercial de ciclo curto (olericultura).

As classes de cobertura vegetal na sua formação Floresta Ombrófila Densa utilizadas foram aquelas definidas pelo CONAMA (1994). Em 1996, 20 % da bacia apresenta a classe E1 (estágio inicial de sucessão ecológica e que inclui também as áreas de gramínea e pastagem), 20 % está na classe E2 (estágio intermediário de sucessão ecológica), 13 % está na classe E3 (estágio avançado de sucessão ecológica) e 12 % na classe F1 (Floresta Ombrófila Densa ou clímax). Como a área é montanhosa, a vegetação rupestre responde por 5 % e afloramentos rochosos também por outros 5 %. A Mata Atlân-

tica (classe FI) encontra-se em fragmentos de diferentes tamanhos. Entre 1976 e 1996 houve um incremento no número de fragmentos florestais com concomitante diminuição do tamanho médio destes, evidenciando a fragmentação da Floresta Ombrófila Densa (Calçada, 2004).

Teresópolis tornou-se município em 1892 e sua vocação econômica sempre foi de área turística de veraneio e posteriormente também pecuária e horticultura (Rocha, 1999). A população da bacia do Paquequer apresenta um perfil predominantemente urbano (96 %) e concentrada no distrito sede, Teresópolis. Secundariamente tem-se um contingente populacional rural associado à atividade olerícola no distrito do Vale do Paquequer Pequeno (Costa, 2004).

A análise histórica (de 1956, 1976 e 1996) da dinâmica da vegetação na bacia mostrou que a regeneração avançada (passagem para as classes E3 ou FI) ocorreu preferencialmente nas encostas mais úmidas e com menor insolação, enquanto o desmatamento deu-se principalmente nas áreas de baixa declividade e com maior insolação (Silveira & Silva, 2007).

3.2 Geologia

A geologia (1:50.000) é constituída de 4 unidades (UERJ/IBGE, 1999) (Figura 2):

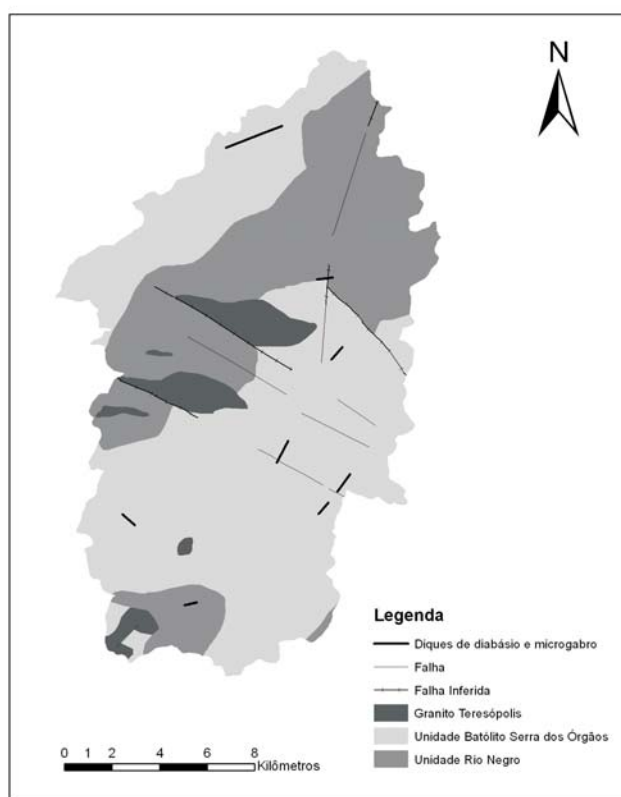


Figura 2: Mapa geológico estrutural da bacia do Paquequer, Teresópolis, RJ. Modificado de UERJ/IBGE (1999).

· Unidade Batólito Serra dos Órgãos (SO)- é dominante na bacia (60 %) e composta por um granito metamorfizado (Biotita granito gnáissico localmente com Granada e Hornblenda) com foliação NE-SW, alternando faixas leucograníticas com outras de granito-gnaisses com enclaves máficos de idade Meso a Neoproterozóico;

· Unidade Rio Negro (RN)- é composta por migmatito estromático de estrutura heterogênea alternando com gnaiss de composição leucogranítica localmente bandado de idade Paleoproterozóica. Esta unidade ocorre em 34 % da área da bacia, principalmente na porção superior e média da bacia;

· Unidade Granito Teresópolis (GrT)- é composta por (Hornblenda)-Biotita Monzogranito intrusivo pós-tectônico de fino a porfirítico, e ocorre em 6 % da área da bacia, na forma de lentes, principalmente no médio curso da bacia e também nos divisores próximo e na Pedra do Sino. Esta unidade tem idade Proterozóico Superior;

· Diques de basalto, diabásio e microgabro de direção NE-SW e idade Mesozóica, que se encontram dispersos pela bacia.

Em termos estruturais a bacia apresenta um sistema de falhas NE-SW e NW-SE, que condiciona o padrão de drenagem retangular/ treliça com tendência a sub-dendrítica e importantes deflexões do canal formando “cotovelos”. No baixo curso o eixo principal do Paquequer tem direção norte, encaixado ao longo de lineamentos de direção N20E, deslocado para leste, gerando assimetria na bacia (Silva, 2006).

3.3 Geomorfologia

O relevo da bacia é marcado por montanhas e escarpas e as cotas altimétricas situam-se acima de 700 m, sendo o pico mais alto a Pedra do Sino com 2263 m. Segundo Schumm (2003) os vales são estruturados, apresentando cristas serranas, desnivelamentos altimétricos acentuados e alvéolos intermontanos.

De acordo com os dados do Projeto Teresópolis (UERJ/IBGE, 1999) 1:50.000 as formações superficiais que recobrem as rochas são:

· Colúvio de baixo gradiente (Co) variando de textura silto-argilosa e coloração vermelha à argilo-arenosa e coloração amarelada e que ocorrem em 38 % da bacia;

· Colúvio de alto gradiente rico em blocos de rocha imersos em uma matriz areno-argilosa (CoBl), com ocorrência de 27 %. Estão geralmente associados a uma zona de blocos de dimensões métricas a decamétricas. Esta classe ocorre principalmente próxima ou acompanhando os divisores da bacia;

· Elúvio (El) ou solo residual: respondem por 24 % da área da bacia e afloram principalmente nos cumes e áreas convexas dos morros de até 1200 m de altitude;

· Colúvio-alúvio (Cal) de textura areno-argilosa a

arenosa que ocupa 6 % da bacia e está concentrado ao longo dos vales dos principais rios. Devido a forma dos vales encaixados é grande a participação dos processos de encosta na dinâmica fluvial, gerando estes depósitos.

Conforme discutido anteriormente ocorre ainda uma área significativa de afloramentos rochosos (AR) (5 % da bacia) principalmente associados às litologias do Batólito Serra dos Órgãos e Granito Teresópolis (Figura. 3).

3.4. Solos

A classificação dos solos utilizada no projeto Teresópolis foi baseada em topossequências, em uma análise integrada com as unidades de declividade. Foram definidas 4 unidades de Cambissolos associados secundariamente a Latossolos, aqui unificadas (Ca), 1 de Cambissolo associado a solos litólicos (Li), 1 de Latossolos associados secundariamente a Cambissolos (La) e 2 de Gleissolo associados a solos aluviais que foram aqui unificados (Ga):

- Cambissolo álico, com atividade baixa e Latossolo Vermelho-Amarelo álico associado, em relevo ondulado a montanhoso (Ca). Esta classe é dominante e responde por 69 % da área da bacia;

- Gleissolo álico de atividade baixa com solos aluviais associados (Ga). Esta classe ocorre em 15% da área da bacia;

- Cambissolo álico com atividade baixa e solos litólicos associados, em relevo montanhoso a escarpado (Li). Esta classe ocorre em 7% da área da bacia;

- Latossolo Vermelho-Amarelo álico com Cambissolo álico associado, em relevo suave ondulado a ondulado que respondem por 4 % da área da bacia (La).

Os 5% restante da área da bacia são ocupados pelos afloramentos rochosos.

4. Métodos utilizados

4.1. Revisão bibliográfica

Para este trabalho foi feita uma coletânea e unificação dos dados de geologia, solos, declividade, formação superficial, hidrografia, vegetação e uso mapeados dentro do escopo do projeto Teresópolis “*Estudo Ambiental como subsídio à metodologia para ordenamento territorial através de análise de caso: município de Teresópolis – RJ*” (1996-2000) financiado pelo PADCT-CIAMB e executado pela UERJ (LabGis – Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Geologia Aplicada / Faculdade de Geologia) em parceria com o IBGE. Este projeto foi coordenado pela profa Maria Antônia Ferreira e tinha como objetivo principal desenvolver uma metodologia de análise integradora baseada em geoprocessamento utilizando uma base de dados físicos e

sócio-econômicos levantados para o município de Teresópolis. Dentro do escopo do projeto foram produzidas teses e monografias tais como as relacionadas à vegetação (Schumm, 2003; Calçada, 2004), às relações sócio-econômicas (Costa, 2004), análise ambiental com base em SIG para potencial mineral (Silva, 2004), análise ambiental com base em SIG para escolha de área de aterro sanitário (Guimarães, 2000), análise das relações entre o crescimento do município e a mata Atlântica (Rocha, 1999) e processos erosivos (Silva, 2006; Santos, 2000).

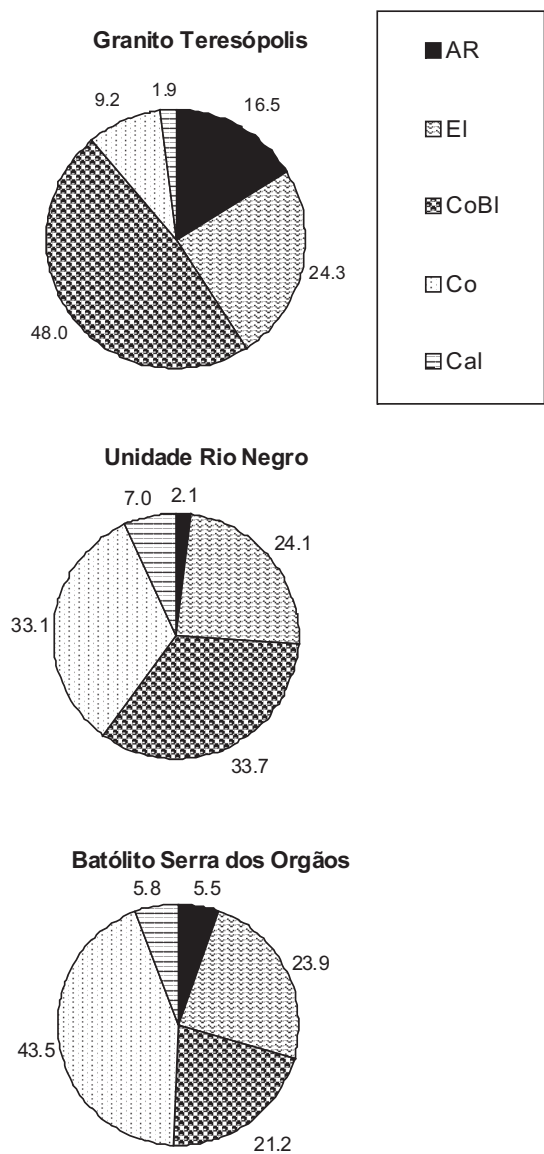


Figura 3: Distribuição percentual das classes de formação superficial em cada unidade litológica.

4.2. SIG

A análise das relações espaciais entre os parâmetros de geologia, solos, geomorfologia (declividade e formação superficial) e hidrografia foi feita por intermédio do ArcGis 9.2 Desktop. Foi utilizada a base de dados em ambiente de sistema de informação geográfica do Projeto Teresópolis (UERJ/IBGE, 1999). Foram selecionadas as seguintes categorias de informação: base cartográfica, geologia, formações superficiais e solo.

4.3. Análise detalhada de uma sub-bacia

Para analisar em detalhe as relações entre geologia, formações superficiais e solo foi selecionada a sub-bacia Jardim Salaco. Nesta foi caracterizada a geometria (por GPR – Radar de Penetração no Solo) e a granulometria dos solos/colúvios. O GPR tem sido usado com muita freqüência na investigação de camadas próximas a superfície, até 20 m de profundidade. Essa ferramenta consiste em pequenos pulsos de energia eletromagnética com freqüências variáveis (de 10 à 1000MHz) que penetram no meio e refletem em diferentes horizontes (gerando refletores que marcam o contraste presente entre

estes horizontes) (Parasnis, 2003 e Mendonça & Neves, 1997). O radar detecta as mudanças nas propriedades dielétricas presentes nos materiais, trazendo assim, informações sobre a distribuição e transição entre horizontes de solo, perfil de alteração, contato solo e rocha e nível freático.

A sub-bacia está sobre litologia Granito Teresópolis, com presença de afloramento rochoso e secundariamente elúvio nos divisores e cobertura de colúvio com blocos na encosta e no vale.

Em campo, foram coletadas 12 amostras de solo (4 pontos de amostragem com profundidade até 3,0 m) utilizando trado manual e em perfis de cortes de estradas para análise granulométrica pelo método Embrapa (1997). A retirada das amostras de solo foi feita em pontos seguindo os perfis de GPR. Foram feitos 3 perfis de GPR, sendo dois deles paralelos a encosta com 98 e 56 metros, e um terceiro perfil aproximadamente perpendicular aos dois primeiros com 120 metros de extensão (Figura. 4). Os perfis foram feitos com GPR RAMAC, antenas de 100 MHz e afastamento constante de 1m entre as antenas transmissora e receptora, deslocadas conjuntamente para medições a cada 0,2 m.

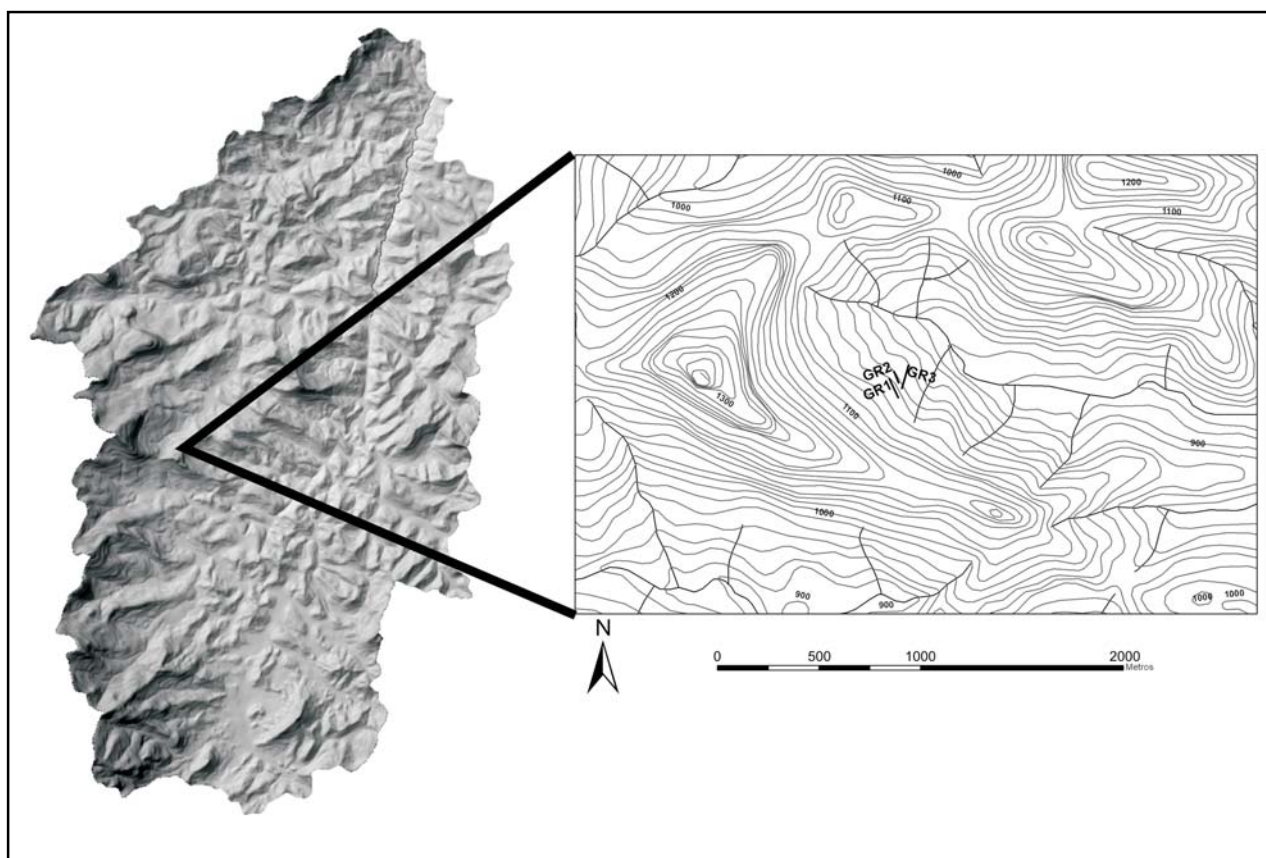


Figura 4: Localização da sub-bacia Jardim Salaco onde foram feitos os perfis de GPR (GR1, GR2 e GR3).

4.4. Hidrologia

Para este trabalho foram utilizados dados pluviométricos e fluviométricos medidos na Estação Providência (UERJ/CPRM) (instalada em maio de 2007 na saída da bacia), dados da Estação Parque Nacional da Serra dos Orgãos (Parnaso) do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e instalada em novembro de 2006 e dados de isoetas da bacia (CPRM, 2004). A Estação Providência é composta de um pluviômetro e um pluviógrafo com um sensor de nível acoplados a um data logger medindo em intervalo de 30 minutos. Para o cálculo da vazão a partir do nível d'água medido no rio foi utilizada a curva chave obtida no local, e que ainda está sendo melhorada com o aumento do número de pontos de medição de vazão.

$$Q(h) = 0,005(h - 95,2)^{1,6}$$

5. Resultados e Discussão

5.1. Análise em SIG

A análise das três litologias principais identificou alguns padrões característicos em relação aos parâmetros de formações superficiais que recobrem estas, a declividade e as classes de solos.

O afloramento rochoso é uma feição significativa da paisagem porque engloba 5 % da bacia. A análise da relação entre áreas das categorias geologia e formação superficial mostrou que no Granito Teresópolis a classe de afloramento rochoso tem o maior significado, seguido pela litologia do Batólito Serra dos Orgãos. Na unidade Rio Negro a ocorrência de paredões rochosos é mais rara (Figura 3). O Granito Teresópolis também se destaca por ser a unidade onde um tipo de cobertura superficial (colúvio de alto gradiente com blocos - CoBl) é dominante. Nas demais ocorre uma distribuição igualitária das classes de colúvio (Co), colúvio com blocos (CoBl) e elúvio (El).

Em termos de distribuição de declividade predominam as classes entre 10° e 40° na bacia. Especialmente para o Granito Teresópolis as classes de maior declividade adquirem maior significado (Figura 5).

A análise da relação entre áreas das categorias declividade e formações superficiais indica que nas baixas declividades ocorre predominantemente as classes de colúvio-alúvio (Cal) e colúvio de baixo gradiente silto-argiloso a argilo-arenoso (Co). Os colúvios com blocos (CoBl) apesar de serem classificados como de alto gradiente ocorrem em todas as declividades e preferencialmente em gradientes entre 10° e 20°. Ou seja, este tipo de formação superficial representa um depósito de tálus com espriamento maior ou menor no sopé das encostas e por isso ocorrem em diferentes classes de gradiente. Nas declividades entre 30° e 50° a classe de elúvio

é predominante e acima de 50° os afloramentos rochosos são dominantes na paisagem (Figura 6).

As três unidades geológicas também apresentam uma variação na distribuição de tipos de solos. Apesar dos Cambissolos serem dominantes em todas as litologias, as classes Gleissolo (Ga) e Latossolo (La) adquirem importância significativa na unidade Batólito Serra dos Orgãos e principalmente na Rio Negro (Figura 7).

5.2. Geofísica e granulometria de depósitos

A investigação detalhada por meio de GPR e análise granulométrica de uma sub-bacia com litologia Granito Teresópolis identificou feições até 7 m de rocha fresca, elúvio e o colúvio com blocos. Os resultados obtidos da interpretação dos perfis de GPR revelam a existência de alguns padrões de reflexão principais e que foram associados a uma composição granulométrica (Figura 8 e 9):

· Próximo à superfície, padrões retilíneos e com continuidade lateral representando provavelmente o solo com granulometria dominada por argila e areia grossa (Figura 8 e 9);

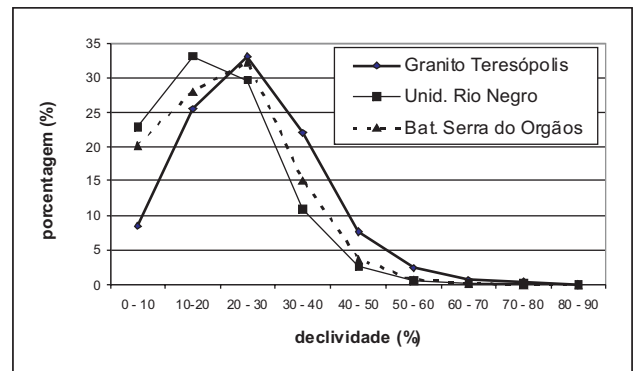


Figura 5: Distribuição percentual das unidades litológicas em cada classe de declividade.

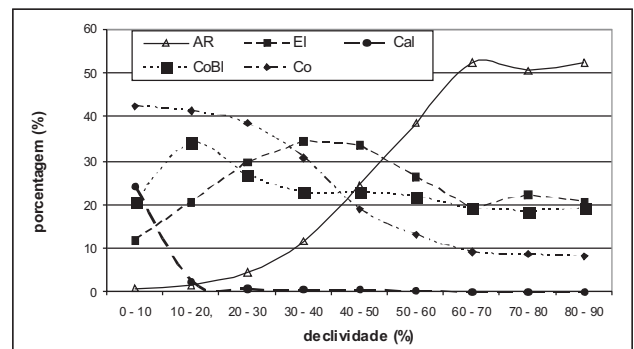


Figura 6: Distribuição percentual das classes de formação superficial em cada classe de declividade.

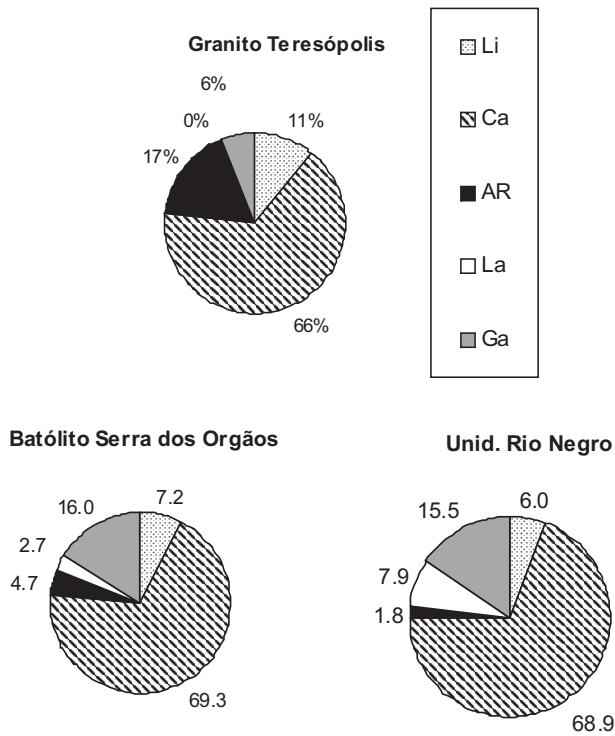


Figura 7: Distribuição percentual das classes de solo em cada unidade litológica.

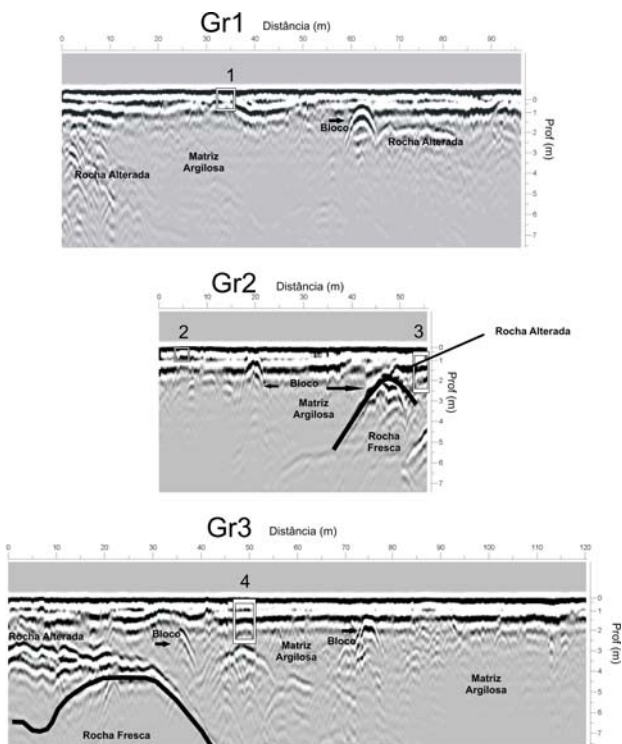


Figura 8: Perfis de GPR (Gr1, Gr2 e Gr3) e interpretação. Notar a localização dos perfis granulométricos 1, 2, 3 e 4 da figura 9).

· Hipérboles com concavidades voltadas para baixo caracterizando a presença de blocos, tal como observado freqüentemente em cortes da encosta (Figura 8 e 10);

· Perda de sinal em alguns locais representando provavelmente áreas de predomínio de argila que favorecem este fenômeno (Paranis, 2003). Estas feições foram correlacionadas a matriz argilosa do colúvio com blocos (Figura 8 e 10);

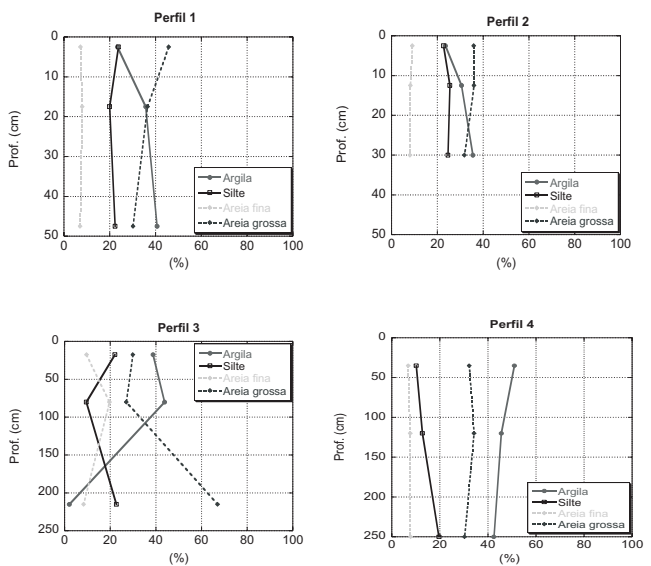


Figura 9: Resultados granulométricos das amostras (perfil 1, 2, 3 e 4) coletadas junto com os perfis de GPR. Para localização das amostras ver figura 8.



Figura 10: Aspecto de campo do colúvio com blocos na sub-bacia do Jardim Salaco.

· Padrão ondulado, “enrugado”, sobre e nas proximidades destas hipérboles que foram classificados como alteração do granito. Não é possível afirmar se é resultante da alteração in situ ou de esfoliação esferoidal de blocos do colúvio (Figura 8 e 9 perfil 4);

· Padrão com alta superfície de reflexão de hipérboles abertas ou refletores fortemente inclinados em uma superfície variável representando provavelmente o contato da rocha alterada com a rocha sã. Este padrão pode ser observado no final do perfil Gr2 e início do Gr3, mostrando uma mesma estrutura do embasamento (rocha fresca e alterada) (Figura 8).

A análise granulométrica revelou que até aproximadamente 50 cm o solo é composto por uma areia argilosa (principalmente areia grossa) (perfis 1 e 2 da Figura 9). O perfil 4 apresenta distribuição granulométrica similar aos perfis 1 e 2 (argila arenosa) e que deve estar associada a matriz do colúvio com blocos pelo padrão geofísico (Figura 8, 9 e 10). No perfil 3 é observada a distribuição granulométrica da rocha alterada (areia siltosa) (Figura 8 e 9).

5.3. Hidrologia

O monitoramento de chuva na cabeceira e no fim da bacia do Paquequer é coerente com os dados de regionalização pluviométrica feita pelo CPRM (2004). Na Estação Parnaso situada na área de cabeceira da bacia do Paquequer ao longo de um ano monitorado choveu 2945 mm, enquanto no fim da bacia (Estação Providência) choveu 1447 mm. De acordo com a distribuição mensal, os meses de novembro a março são os mais chuvosos e junho a setembro os mais secos (Figura 11). Santos (2000) analisando outras duas estações (uma fora da bacia - Estação Sobradinho e outra no centro da cidade – Estação Teresópolis), já havia apontado o padrão de invernos secos e verões chuvosos para o município de Teresópolis.

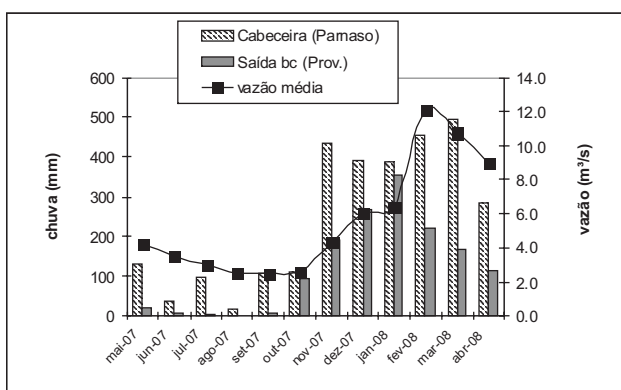


Figura 11: Distribuição mensal da chuva na cabeceira (Parnaso) e na saída da bacia (Providência) e vazão média na saída para o período de maio/07 a abril/08.

A vazão média do rio Paquequer ao longo de um ano é de 5,6 m³/s e representa aproximadamente 40 % da chuva. Este valor não é totalmente coerente com a análise dos parâmetros morfométricos (Silva, 2006) da bacia que mostram predomínio de fluxos superficiais e pouca infiltração.

A vazão mensal acompanha as tendências da precipitação, aumentando no verão, porém o pico de vazão mensal é controlado principalmente pela precipitação na cabeceira. Ou seja, a curva de vazão no fim da bacia é deslocada (máximo em fevereiro) em relação a precipitação no fim da bacia (máximo em janeiro) e tem mais afinidade com a Estação Parnaso da cabeceira (máximo em fevereiro e março) (Figura 11). No período seco (maio a setembro) as chuvas de cabeceira, embora significativas não influenciam a curva decrescente de vazão (Figura 11). Este resultado corrobora o levantamento de cheias do rio Paquequer que inunda freqüentemente nos meses de novembro a março a área central da cidade de Teresópolis (Vieira, 2003). Oliveira (1999) em uma Estação (12 anos: 1975-1981, 1983, 1985-1988) no curso médio da bacia do Paquequer descreve os valores de 4 m³/s como típico dos meses do verão.

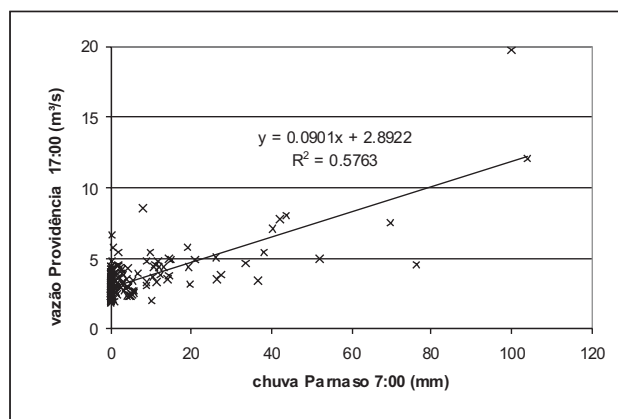


Figura 12: Relação entre a chuva acumulada de 24 horas na cabeceira da bacia (às 7:00) e a vazão na saída da bacia às 17:00.

Tabela 1: Coeficientes de correlação (r^2) para análises entre chuva diária e vazão média diária ($n=223$). O valor de chuva é o acumulado até 7:00h.

Relação	r^2
Chuva saída X Vazão saída.	0,38
Chuva cabec. X Vazão saída (17:00 ant.)	0,10
Chuva cabec. X Vazão saída (7:00)	0,49
Chuva cabec. X Vazão saída (17:00)	0,58
Chuva cabec. X Vazão saída (7:00 post.)	0,10
Chuva cabec. X Vazão saída (17:00 post.)	0,11

A chuva e a vazão diária medidas na Estação Providência apresentam baixa correlação. Entre as razões desta baixa correlação destaca-se o tamanho grande e a forma alongada da bacia, além da distribuição de chuva desigual entre a cabeceira e a saída dela (Tabela 1). Entretanto existe uma correlação significativa entre a precipitação na cabeceira da bacia do Paquequer e a vazão do rio no fim da sua bacia. A análise entre a chuva medida às 7:00h na Estação Parnaso (acumulada das últimas 24 h) mostra a melhor correlação com a vazão de saída (Estação Providência) às 17:00h (Figura 12) e (Tabela 1), ou seja, entre 10 e 34 horas após um evento de chuva a hidrógrafa alcança o fim da bacia. Para analisar se esta relação ocorria em intervalos diferentes foi feita uma correlação com a vazão anterior e posterior de saída que mostrou menor significado (Tabela 1). Este comportamento sugere que apesar do formato alongado da bacia sugerir um tempo maior de chegada dos fluxos no canal principal, esta tem diferentes fontes (mais rápidas e mais lentas) de geração de fluxos para o canal fluvial.

5.4. Controle litológico da paisagem

Os resultados obtidos nas análises por meio de SIG, em conjunto com a observação granulométrica e geofísica de campo permitiram se estabelecer os principais padrões associados às paisagens da bacia. Com base nestas relações é proposto um diagrama esquemático da paisagem em cada uma das unidades geológicas (Figura 13). No granito Teresópolis destaca-se a paisagem de alta declividade, com muitos afloramentos rochosos, solos litólicos e depósitos de colúvios com grandes blocos em uma matriz argilosa. Provavelmente isto é devido ao fato desta rocha ser intrusiva, relativamente homogênea e mais recente (conseqüentemente ainda mantém a declividade elevada). Isto determina o seu intemperismo físico e químico uniforme, em blocos, que ao se desestabilizarem descem a encosta na forma de fluxos de detritos. Este comportamento também ocorre parcialmente para o Batólito Serra dos Órgãos, que é um granito metamorizado. A Unidade Rio Negro tem um comportamento mais distinto, com uma paisagem marcada pela presença bem distribuída de elúvios, colúvios e colúvios com blocos. A presença de maior área de Latossolos e o alargamento dos vales com retrabalhamento de depósitos (colúvio-alúvio) é uma evidência do maior tempo de evolução deste relevo (em relação à demais litologias). A litologia Batólito Serra dos Órgãos, predominante na bacia, tem um padrão de paisagem intermediário entre as duas demais litologias.

5. Conclusões

Como conclusões do trabalho destaca-se:

1. A análise por meio de Sistema de Informação Geográfica (SIG) da distribuição espacial dos parâmetros

ambientais (geologia, declividade, formações superficiais, solos, vegetação e uso do solo), na escala 1:50.000 da bacia do rio Paquequer em conjunto com trabalho de campo (geofísica e granulometria), possibilitou a determinação de padrões de desenvolvimento da paisagem para cada tipo litológico da bacia e indicou alguns possíveis fatores-controle da relação chuva-vazão.

2. A relação chuva-vazão da bacia do Paquequer mostrou uma boa correlação entre a chuva na cabeceira e a vazão 30 km depois, na saída da bacia do canal principal, em uma bacia de 269 km² e 5ª ordem. A resposta do canal principal na saída da bacia a um evento de chuva na cabeceira ocorre entre 10 e 34 horas após este. A presença de paredões rochosos, o uso urbano e os Cambissolos e solos litólicos (menos desenvolvidos) devem ser responsáveis pelos fluxos mais rápidos. Estes contrabalançam o papel desempenhado pela forma alongada e pelos colúvios e elúvios, que devem ser fontes de fluxos mais lentos.

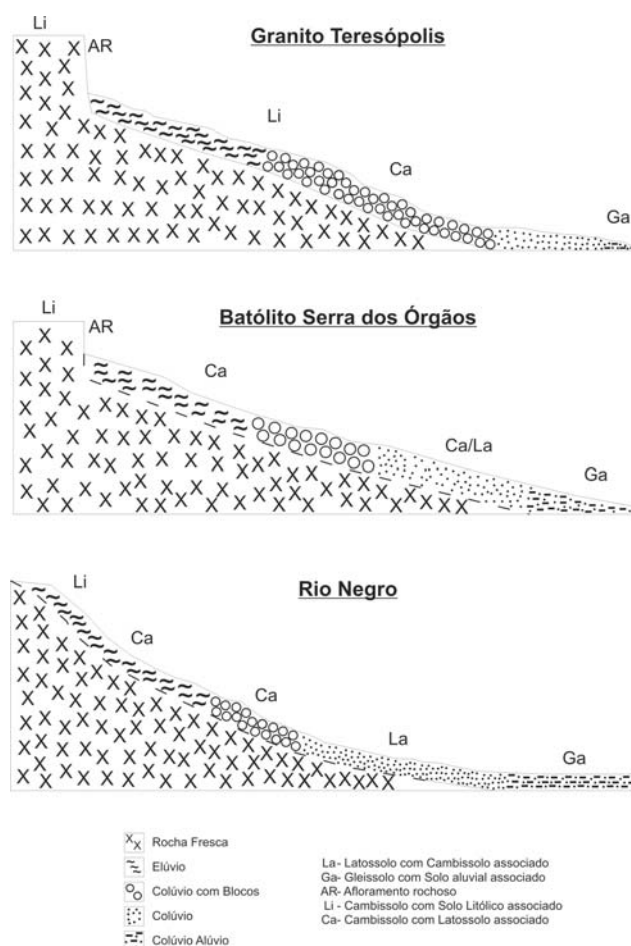


Figura 13: Esquema de ocorrência das classes de formação superficial e solos em cada unidade litológica da bacia do Paquequer.

Agradecimentos

Os dados de geologia, declividade, formações superficiais, solos, vegetação e uso do solo de 1996 foram produzidos dentro do escopo do projeto Teresópolis “*Estudo Ambiental como subsídio à metodologia para ordenamento territorial através de análise de caso: município de Teresópolis – RJ*” coordenado pela prof^a Maria Antônia Ferreira, com financiamento do PADCT-CIAMB e executado pela UERJ (LabGis – Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Geologia Aplicada / Faculdade de Geologia) em parceria com o IBGE.

Os autores agradecem o convite feito pelos editores para a publicação nesta revista e as sugestões e comentários de dois revisores anônimos.

Referências bibliográficas

- Calçada, T.A.B. (2004) *Análise quantitativa das mudanças no padrão espacial da bacia hidrográfica do rio Paqueta, município de Teresópolis, Rio de Janeiro*. 88 f. Monografia de Graduação em Ciências Biológicas - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Câmara, G.; Davis, C. & Monteiro, A.M.V. (2001) *Introdução a ciência da geoinformação*. São José dos Campos: INPE. 237p.
- Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA. (1994) *Resolução no 6 - de 04 de maio de 1994*.
- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM. (2004) Isoietas de distribuição de precipitação para o estado do Rio de Janeiro. In: *Projeto Rio de Janeiro*, Rio de Janeiro: CPRM. Disponível em <<http://www.cprm.gov.br>>, Acesso em 07 maio 2007.
- Coelho Netto, A.L. (1994) Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: Guerra, A.J.T. & Cunha, S.B. (Orgs.). *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. p. 93-148.
- Costa, D.P. (2004) *Transformações na dinâmica sócio-espacial urbana da região serrana fluminense: o estudo de caso do distrito de Teresópolis*. 170 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, São Paulo.
- Dunne, T. & Leopold, L.B. (1978) *Water in environmental planning*. Nova Iorque: W.H. Freeman & Company, 818 p.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. (1997) *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro: CNPS/EMBRAPA, 212 p.
- Guimarães, L.T. (2000) *Utilização de sistemas de informações geográficas (SIG) na seleção de áreas para a construção de aterro sanitário no município de Teresópolis-RJ*. 172 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia Ambiental) - Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Klemes, V. (1982) *Empirical and causal models in hydrology*. In: National Research Council Geophysics Study Committee, Editor, *Scientific Basis of Water-Resource Management*. Washington, DC: National Academy Press, p. 95-104
- Mendonça, C.A. & Neves, F.A. (1997) Levantamento GPR para determinação de fraturas em terrenos cristalino. In: Simpósio de Geologia do Sudeste, 5., Penedo, Itatiaia, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: SBG - Núcleos do Rio de Janeiro, Espírito Santo e São Paulo. 1: 353-354.
- Oliveira, P.T.T.M. (1999) *Relações entre o crescimento urbano e as características da drenagem fluvial no município de Teresópolis - RJ*. 109 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Parasnis, D.S. (2003) *Principles of applied Geophysics*. 5 ed. Londres: Chapman & Hall, 214p.
- Ramos, J.A.S.; Silveira, C.S. & Roig, H.L. (2007) Desenvolvimento de um algoritmo para a determinação do fluxo e da hierarquia de canais de drenagem. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13., 2007, Florianópolis. *Anais do XIII SBSR*, São José dos Campos: INPE. p. 3027-3034.
- Rocha, H.P. (1999) *A mata Atlântica e a ocupação humana na organização do espaço geográfico na cidade de Teresópolis*. 130 f. Monografia de Especialização - Pós Graduação em Análise Ambiental e Gestão do Território, IBGE Escola Nacional de Ciências Estatísticas.
- Santos, M.R.G. (2000) *Aplicação de métodos de geoprocessamento para o estudo de instabilidade de encostas no município de Teresópolis – RJ*. 224 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Schumm, L. (2003) *Dinâmica de evolução de fragmentos de mata atlântica na bacia hidrográfica do rio Paqueta, município de Teresópolis – RJ*. 100 f.

- Monografia de Graduação – Departamento de Biologia Animal e Vegetal, Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes, Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Selby, M.J. (1985) *Earth's changing surface: an introduction to geomorphology*. 3 ed. Oxford: Clarendon Press, 607p.
- Silva, F.A.D. (2006) *Análise da susceptibilidade a escorregamentos de massas na bacia do rio Paquequer – Teresópolis – Estado do Rio de Janeiro, utilizando os modelos SINMAP e Shalstab*. 99 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Geologia, Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Silva, M.C.S. (2004) *Estudo da sustentabilidade do potencial mineral com utilização de SIG, na bacia hidrográfica do rio Paquequer, município de Teresópolis, RJ*. 194 f. Monografia de Graduação – Departamento de Geologia Aplicada, Faculdade de Geologia, Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Silveira, C.S. & Silva, V.V. (2007) Dinâmica de regeneração, degeneração e desmatamento da vegetação provocada por parâmetros climáticos e geomorfológicos: uma análise geocológica através de SIG. *Revista Árvore* (submetido).
- Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ/ Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. (1999) *Projeto PADCT-Estudo Ambiental como Subsídio ao Ordenamento Territorial Através de Análise de Caso: Município de Teresópolis* - (Relatório Final), 3 volumes, Rio de Janeiro.
- Vieira, V.T. (2003) *Efeitos do crescimento urbano sobre os canais de drenagem do rio Paquequer, Teresópolis - RJ*. 101 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.