Universidade Estadual de Campinas
UNICAMP
Instituto de Geociências
Departamento de Geografia

Utilização de técnicas morfométricas no estudo de voçorocamento: O caso da Voçoroca da Bacia do Ribeirão Santo Antônio, Município de Mogi Mirim (SP).

Juliano Pereira de Mello

Monografia submetida ao Departamento de Geografia como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Carlos Vitte.

Campinas (SP) / Dezembro, 2003.

TCC/UNICAMP
M489u
1290004405/IG

Biblioteca
Instituto de Geociências
UNICAMP

2010004411
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
N.º CHAMADA M489u
V.________ EX.________
TOMBO BC/ 4405
TOMBO IG/________
PROC. 16.134.10
C [ ] D [X]
PREÇO R$ 11,00
DATA 17/01/10
N.º CPD ________
Cad. Tit. 768224
1. Voçorocas - Mogi-Mirim (SP)

Dedico este trabalho à minha querida mamãe Neusa Pereira de Mello e ao meu vovô José Pereira de Mello (in memorian).

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço a Deus pelas inúmeras bênçãos derramadas, bem como, pela vida de minha amada mamãe, Neusa Pereira de Mello, a quem devo o estímulo e o apoio fundamental em todos os momentos de minha vida.

Gostaria de ressaltar que o início da construção de minha formação como geógrafo ao longo destes últimos cinco anos, mais do que a conquista de uma profissão, constituiu-se numa caminhada de lutas e superação e, principalmente, na realização de uma conquista sempre sonhada por meu querido vovô José Pereira de Mello (*in memorian*).

Meu coração transborda de alegria e gratidão pela vida de todos aqueles que me acompanharam e apoiaram nesta caminhada, os quais sempre estarão em minhas orações.

Agradeço ao meu orientador Prof. Antônio Carlos Vitte por ter me iniciado, alimentado e enriquecido nos tortuosos caminhos da formação acadêmica e pesquisa científica.

Agradeço ao meu professor Marcos César Ferreira pelo fundamental apoio e conversas descontraídas, sem falar nas piadas "britânicas", que me esclareceram em vários momentos de dúvida e decisão.

Agradeço às contribuições preciosas de meus companheiros e companheiras de curso: Fabrício Gallo, Juliano Souza (consultor "paciente" para assuntos de informática), Luís Vilela, Cláudio Meireles, Ricardo Casarin, Camila Fraisoli, Alice Morita, Wagnão, Gabriela Pereira, César Kazzuo, Ricardo Spreafico, Rafael e Lucas.

Agradeço pela colaboração dos companheiros do Laboratório de Processamento de Informações Geo-referenciadas e ao Salvador do Laboratório de Geomorfologia (IG – Unicamp).

Também agradeço a todos os professores e funcionários do Instituto de Geociências por tornarem possível este momento de formação e realização pessoal e profissional.

Sumário

INTRODUÇÃO 8

CAPÍTULO1-A GEOGRAFIA FÍSICA E A TEORIA GERAL DOS SISTEMAS.....10

1.1 – GEOSSISTEMAS 14

1.2 – A BACIA HIDROGRÁFICA COMO UMA UNIDADE SISTÊMICA 22

CAPÍTULO 2 – A EROSÃO DOS SOLOS 25

2.1 - ERODIBILIDADE DO SOLO 27

2.2 – EROSIVIDADE DA CHUVA 28

2.3 – PROCESSOS EROSIVOS 33

2.4 – ANÁLISE E CLASSIFICAÇÃO DAS VERTENTES DE FORMAS EROSIVAS 39

1) Atividade erosiva em vertentes segundo a área de cobertura vegetal 40

2) Morfologia da vertente 41

3) Processos dominantes na vertente 42

4) Feições Especiais do Processo Erosivo 44

CAPÍTULO 3 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 45

3.1 – CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO CÓRREGO SANTO ANTÔNIO 45

3.2 - GEOMORFOLOGIA 46

3.3 – GEOLOGIA 50

3.4 –CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA 52

3.5 – CARACTERIZAÇÃO PLUVIOMÉTRICA 53

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E ANÁLISE 57

4.1 – SUSCEPTIBILIDADE EROSIVA DO SOLO 57

4.1 – SUSCEPTIBILIDADE EROSIVA DO MATERIAL ROCHOSO 57

4.2 – DADOS MORFOMÉTRICOS 58

4.3 – COBERTURA VEGETAL 81

4.4 – PROCESSOS DOMINANTES NA VERTENTE E FEIÇÕES ESPECIAIS 86

4.5 – MAPA DE DECLIVIDADE 90

4.6 – MAPAS DE DISSECAÇÃO HORIZONTAL E VERTICAL 91

4.6 – MAPA HIPSOMÉTRICO E MODELO DIGITAL DO TERRENO 92

CONSIDERAÇÕES FINAIS 99

BIBLIOGRAFIA 101

Índice de Tabelas

Tabela 01 – Efeito do comprimento de rampa nas perdas de solo (toneladas/hectare)..... 31
Tabela 02 - Perfil Transversal 01 (A-B): Alto Curso da Voçoroca – Mogi Mirim (SP)..... 59
Tabela 03 – Classes dos Comprimentos dos Segmentos -Perfil Transversal 01 (A-B): Alto Curso da Voçoroca – Mogi Mirim (SP). 60
Tabela 04 - Classes de Declividade dos Segmentos - Perfil Transversal 01 (A-B): Alto Curso da Voçoroca – Mogi Mirim (SP). 61
Tabela 05 – Declividade Média - Perfil Transversal 01 (A-B): Alto Curso da Voçoroca – Mogi Mirim (SP). 62
Tabela 06 - Perfil Transversal 02 (C-D): Médio Curso da Voçoroca – Mogi Mirim (SP)..... 63
Tabela 07 - Classes dos Comprimentos das vertentes e patamares - Perfil Transversal 02 (C-D): Médio Curso da Voçoroca – Mogi Mirim (SP). 64
Tabela 08 - Classes de Declividade dos segmentos - Perfil Transversal 02 (C-D): Médio Curso da Voçoroca – Mogi Mirim (SP). 65
Tabela 09 – Declividade Média - Perfil Transversal 02 (C-D): Médio Curso da Voçoroca – Mogi Mirim (SP). 66
Tabela 10 - Perfil Transversal 03 (E-F): Baixo Curso da Voçoroca – Mogi Mirim (SP).... 67
Tabela 11 – Classes dos comprimentos de rampas - Perfil Transversal 03 (E-F): Baixo Curso da Voçoroca – Mogi Mirim (SP). 68
Tabela 12 – Classes de Declividade dos segmentos - Perfil Transversal 03 (E-F): Baixo Curso da Voçoroca – Mogi Mirim (SP). 69
Tabela 13 – Declividade Média -Perfil Transversal 03 (E-F): Baixo Curso da Voçoroca – Mogi Mirim (SP). 70
Tabela 14 - Perfil Longitudinal 01 (A'-B'): Voçoroca – Mogi Mirim (SP). 71
Tabela 15 – Declividade Média -Perfil Longitudinal 01 (A'-B'):Voçoroca – Mogi Mirim (SP). 72

Índice de Quadros

Quadro 1 –Divisão taxonômica do geossistema (segundo SOTCHAVA, 1978)..... 18
Quadro 2 – Categorização dos Fenômenos no Escalante Têmporo-Espacial (conforme TRICART & CAILLEUX, 1956). 21
Quadro 03 – Efeito do tipo de uso do solo sobre as perdas por erosão. Médias ponderadas para três tipos de solo do Estado de São Paulo. 31
Quadro 04 – Categorias de atividade erosiva em vertentes segundo a % de cobertura vegetal 40
Quadro 05 – Processos dominantes nas vertentes 43
Quadro 06 – Feições Especiais do Processo Erosivo 44
Quadro 07 – Médias Anuais Pluviométricas para a Bacia do Córrego Santo Antônio – Mogi Mirim (SP), período de 1967 a 1997. 54
Quadro 08 – Evolução da Cobertura vegetal na área da voçoroca – Mogi Mirim (SP)..... 81

Índice de Figuras

Fig.01 – Os elementos A, B, C e as suas relações a, b, c numa estrutura idealizada de sistema (PENTEADO, 1980). 12
Figura 02 – Fluxograma de fatores condicionantes na modelagem do relevo atual..... 34
Figura 03 – Bloco diagrama para observação de características ao longo da 36
Vertente 36
Figura 04 - Categorias morfológicas de vertentes 41
Figura 05 – Razão de Crenulação 42
Figura 06 - Localização de Mogi Mirim no Estado de São Paulo 45
Figura 07 - Mapa Topográfico – Bacia do Ribeirão Santo Antônio – Mogi Mirim (SP) 47
Figura 08 – Mapa de Uso e Ocupação – Bacia do Ribeirão Santo Antônio – Mogi Mirim (SP) 48
Figura 09 - Mapa Geomorfológico – Bacia do Ribeirão Santo Antônio – Mogi Mirim (SP) 49
Figura 10 - Mapa Geopedológico – Bacia do Ribeirão Santo Antônio – Mogi Mirim (SP) 51
Figura 11 – Perfil Transversal 01 77
Figura 12 - Perfil transversal 02 78
Figura 13 - Perfil transversal 03 79
Figura 14 - Perfil Longitudinal 80
Figura 15 - Fotografia aérea (1972) – Mogi Mirim (SP) 84
Figura 16 - Fotografia aérea (2000) – Mogi Mirim (SP) 85
Figura 17 – Mapa Topográfico – Voçoroca – Mogi Mirim (SP) 93
Figura 18 – Mapa de Declividade – Voçoroca – Mogi Mirim (SP) 94
Figura 19 – Mapa de Dissecação Horizontal – Voçoroca – Mogi Mirim (SP) 95
Figura 20 – Mapa de Dissecação Vertical – Voçoroca – Mogi Mirim (SP) 96
Figura 21 – Mapa Hipsométrico – Voçoroca – Mogi Mirim (SP) 97
Figura 22 – Modelo digital do Terreno – Voçoroca – Mogi Mirim (SP) 98

Índice de Gráficos

Gráfico 01 – Médias Pluviométricas Anuais para a Bacia do Córrego Santo Antônio- Mogi Mirim (SP) – 1967 a 1997 55
Gráfico 02 – Desvios Pluviais Anuais da Bacia do Córrego Santo Antônio – Mogi Mirim (SP) – 1967 a 1997. 56
Gráfico 03 - Classes dos Comprimentos dos Segmentos - Perfil Transversal 01 (A-B): Alto Curso da Voçoroca – Mogi Mirim (SP). 60
Gráfico 04 – Classes de Declividade dos Segmentos - Perfil Transversal 01 (A-B): Alto Curso da Voçoroca – Mogi Mirim (SP). 61
Gráfico 05 - Classes dos Comprimentos dos Segmentos - Perfil Transversal 02 (C-D): Médio Curso da Voçoroca – Mogi Mirim (SP) 64
Gráfico 06 – Classes de Declividade dos segmentos - Perfil Transversal 02 (C-D): Médio Curso da Voçoroca – Mogi Mirim (SP) 65
Gráfico 07 - Classes dos Comprimentos dos segmentos - Perfil Transversal 03 (E-F): Baixo Curso da Voçoroca – Mogi Mirim (SP). 68
Gráfico 08 – Classes de Ângulos de inclinação dos segmentos - Perfil Transversal 03 69
(E-F): Baixo Curso da Voçoroca – Mogi Mirim (SP). 69

Índice de Fotos

Foto 01 – Braço Estabilizado – Médio Curso da Voçoroca – Mogi Mirim (SP) 75
Foto 02 – Práticas de contenção – Alto Curso da Voçoroca – Mogi Mirim (SP) 76
Foto 03 – Queimada em Vertente – Voçoroca – Mogi Mirim (SP) 83
Foto 04 – Desmoronamento - Voçoroca – Mogi Mirim (SP) 86
Foto 05 – Desmoronamento - Voçoroca – Mogi Mirim (SP) 87
Foto 06 – Ravina escavada na vertente – Voçoroca – Mogi Mirim (SP). 88
Foto 07 – Picos esculpidos – Voçoroca – Mogi Mirim (SP). 89

Introdução

O objetivo deste trabalho é aplicar técnicas morfométricas para a análise do processo de voçorocamento, o qual, é entendido como um conjunto de processos morfogenéticos subordinados tanto a fatores climáticos, litológicos, pedológicos, topográficos, fitogeográficos e antrópicos. Para tanto, fazemos uso de um estudo de caso na Bacia do Ribeirão Santo Antônio, município de Mogi Mirim (SP).

Os problemas relacionados à degradação ambiental têm sido alvo da mobilização de dirigentes do setor público e de grupos representativos da sociedade civil, e sem dúvida, dentre as questões ambientais, a erosão dos solos está entre as que tem causado maior preocupação (VITTE, 1997). Com isso, reforça-se a necessidade da compreensão dos processos responsáveis pela erosão, a fim de que se possa ter um entendimento sobre o porque ela ocorre, e dessa forma poder associar o processo de ocupação e diferentes usos do território com a conservação do solo.

A morfologia dos sistemas fluviais reflete muito fielmente os mecanismos e dinâmicas dos processos que os iniciaram assim como os processos atuais e as propriedades dos materiais superficiais que também influenciam os mecanismos de tais processos. Segundo HEED (1970 apud EBISEMIJU, 1989:308), o entendimento da morfologia das voçorocas pode ser considerada, como um primeiro passo na avaliação dos processos de voçorocamento e uma conexão entre passado, presente e futuro dos eventos de voçorocamento. Além disso, EBISEMIJU (1989:308), ressalta que as predições acerca do desenvolvimento futuro de voçorocas obteriam melhores resultados se baseados em conhecimentos detalhados e análise da morfologia das mesmas.

No capítulo 01 é feita uma apresentação dos conceitos de sistema e de geossistema no contexto histórico da ciência geográfica e, por fim, definimos a bacia hidrográfica como uma unidade sistêmica.

No capítulo 02 procuramos definir o processo erosivo, suas variações com relação às formas de erosão hídrica pluvial e seus fatores condicionantes, bem como, ressaltar a erodibilidade do solo e a erosividade da chuva e propor uma análise e classificação das vertentes e rampas com base em técnicas morfométricas.

O capítulo 03 trás uma caracterização da Bacia Hidrográfica do Córrego Santo Antônio em Mogi Mirim (SP), onde, encontra-se a voçoroca estudada neste trabalho. São apresentados dados da geomorfologia, uso e ocupação do solo, geologia, pedologia, clima e pluviometria do município de Mogi mirim (SP).

Os dados, resultados e relações da análise das informações pedológicas, geológicas, da cobertura vegetal, dos perfis transversais, do perfil longitudinal e dos mapas produzidos com relação à área da voçoroca são apresentados no capítulo 04.

Por fim, fazemos as considerações que apontam para um possível entendimento do processo de voçorocamento na Bacia do Ribeirão Santo Antônio – Mogi Mirim (SP), o qual, fundamenta-se numa análise que busca integrar as informações geológicas, de solo, da cobertura vegetal, do uso e ocupação e da morfometria com a metodologia de análise apresentada na bibliografia consultada e utilizada.

Capítulo 1 - A Geografia Física e a Teoria Geral dos Sistemas

A Geografia Física, como sub-campo da ciência geográfica, preocupa-se com o estudo da organização espacial dos *sistemas ambientais físicos*, também denominados de geossistemas (CHRISTOFOLETTI, 1999:41).

Para SOTCHAVA (1977:5) a Geografia Física não constitui uma ciência síntese, nem mesmo de uma parte das ciências geográficas que estudam a natureza; engloba apenas alguns setores relacionados das ciências geográficas.

SOTCHAVA (1977:2), afirma que o paradigma sistêmico é de grande importância para a Geografia Física cujo objetivo é o *estudo dos geossistemas*. Os estudos de Geografia Física devem preocupar-se com os elementos da natureza procurando compreender a sua dinâmica, estrutura funcional e conexões (SOTCHAVA, 1977:2).

Segundo CHRISTOFOLETTI (1997), durante o século XX, a perspectiva holística tornou-se conhecida como sistêmica, e a maneira como foi estruturada na ciência passou a ser conhecida como "pensamento sistêmico".

Esta perspectiva holística foi utilizada inicialmente por Jan SMUTS em1926, e na Geografia foi associada à análise de sistemas provindas das contribuições de Ludwig von BERTALLANFFY da Biologia Teorética (CHRISTOFOLETTI, 1999).

A abordagem holística considera que a análise deve ser realizada em seu próprio nível hierárquico, e não em função do conhecimento adquirido nos componentes de nível inferior. Sendo assim, "... a visão de mundo holística concebe o mundo como um todo integrado, e não como uma coleção de partes dissociadas. Isso significa que ela procura compreender o conjunto mais que suas partes e sugere que o todo é maior que a somatória das propriedades e relações de suas partes, pois há o surgimento de novas propriedades que não emergem do conhecimento das suas partes constituintes" (CHRISTOFOLETTI, 1999:4).

Na mudança do pensamento cartesiano para o pensamento holístico (sistêmico) a relação entre as partes e o todo foi invertida. A ciência cartesiana acreditava que em qualquer sistema complexo o comportamento do todo podia ser analisado em termos das propriedades de suas partes. Entretanto, a ciência sistêmica demonstra que os sistemas não

podem ser compreendidos através das partes, pois estas não são propriedades intrínsecas, mas só podem ser entendias dentro do contexto maior (CHRISTOFOLETTI, 1997).

O movimento científico nas décadas de 1960 e 1970 do século XX acentuou a focalização da abordagem sistêmica baseada nas perspectivas desenvolvidas pela Física e pela Química, conseqüentemente, substituindo as perspectivas relacionadas com a Biologia Teorética (CHRISTOFOLETTI, 1997).

O vocábulo *sistema*, "... representando um conjunto organizado de elementos e de interações entre os elementos..." (CHRISTOFOLETTI, 1999:5), possui um uso antigo e difuso no conhecimento científico, no entanto, a preocupação em se realizar uma abordagem sistêmica conceitual e analítica rigorosa surgiu, explicitamente, na Biologia Teorética com as inovações introduzidas por Ludwig von BERTALLANFY na década de 1930 e foi sendo absorvida e adaptada em várias outras disciplinas que usaram da analogia com os sistemas biológicos. Entretanto, o cientista russo Alexander Bogdanov entre vinte e trinta anos antes, já havia desenvolvido uma teoria sistêmica de proporcional sofisticação, mas que não foi divulgada fora da Rússia (CHRISTOFOLETTI, 1999:5).

A partir da década de 1980, a analogia referencial no uso da abordagem sistêmica foi relacionada com os chamados sistemas dinâmicos não-lineares, com comportamento caótico, desenvolvidos na Física e na Química, reformulando e ultrapassando a concepção mecanicista e linear presente nas primeiras abordagens sistêmicas, pois, as bases da abordagem sistêmica atual encontram-se na concepção de que a maior parte da natureza é não-linear, comportando-se como sistemas dinâmicos e caóticos.

GARE (1995, apud CHRISTOFOLETTI, 1999:2) ressalta que se a perspectiva sistêmica com fundamentação biológica é considerada como ligada à modernidade, as perspectivas sistêmicas ligadas à incerteza e ao comportamento caótico são consideradas como pertencentes à pós-modernidade.

De acordo com CHRISTOFOLETTI (1980:1-2), a Teoria Geral dos Sistemas (*General Systems Theory*) foi introduzida na Geomorfologia pelos trabalhos de Arthur N. STRAHLER (1950; 1952), mas os trabalhos mais divulgados dessa abordagem são os de John T. HACK (1960), Richard J. CHORLEY (1962) e Alan D. HOWARD (1965).

Uma das principais preocupações na abordagem sistêmica está em propor uma definição precisa de *sistema*, a qual permita sua operacionalidade a fim de se estabelecer

critérios para se distinguir o que é e o que pertence ao sistema, ou seja, identificar seus elementos, seus atributos e suas relações, as quais, são essenciais para se delinear com clareza a extensão abrangida pelo sistema analisado (CHRITOFOLETTI, 1980:2).

HALL & FAGEN (1956 apud PENTEADO, 1980:155) definem um sistema como um conjunto de elementos e das relações entre eles e seus atributos, o que, segundo PENTEADO (1980), trata-se de uma definição capaz de englobar qualquer conjunto de objetos que possa ser relacionado no espaço e no tempo.

MILLER (1965 apud PENTEADO, 1980:155) define um sistema como um conjunto de unidades com relações entre si, sendo que, a palavra **"conjunto"** implica que as unidades possuem propriedades comuns. "O estado de cada unidade é controlado, condicionado ou depende do estado de outras unidades. A organização do conjunto é decorrente das relações entre as unidades e o grau de organização que o conjunto lhe proporciona, o estado e a função de um todo, o qual é maior do que a soma das suas partes" (PENTEADO, 1980:155). Tal concepção é ilustrada na figura 01:

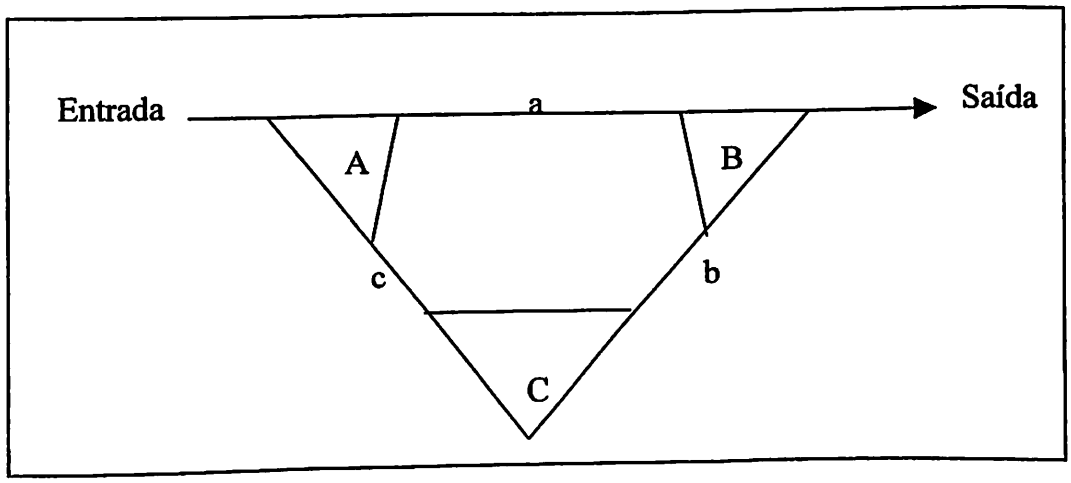


Fig.01 – Os elementos A, B, C e as suas relações a, b, c numa estrutura idealizada de sistema (PENTEADO, 1980).

- elementos ou unidades (A, B, C) como partes componentes do sistema;
- relações – ligações (a, b, c) em forma de fluxos que permitem inter-relação dos elementos;
- atributos: qualidades atribuídas aos elementos do sistema a fim de caracterizá-lo, como por exemplo: volume, composição, largura, altura, comprimento etc;
- entrada (*input*): energia e matéria que o sistema recebe;

- saída (*output*): todo produto de energia e matéria que o sistema fornece. Representa o material e energia que entraram e saíram após sofrer modificação no corpo do sistema.

Segundo CHORLEY & KENNEDY (1971 apud CHRISTOFOLETTI, 1999:5), "... um sistema é um conjunto estruturado de objetos e/ou atributos...", os quais, consistem de componentes ou variáveis que exibem relações discerníveis um com os outros e operam conjuntamente como um todo complexo, de acordo com um determinado padrão".

THORNES & BRUNSDEN (1977 apud PENTEADO, 1980:155), partindo do princípio da funcionalidade dos sistemas, ou seja, de que os sistemas funcionam por meio de processos e respostas, os autores acima definem o sistema como um conjunto de objetos ou atributos e de suas relações, organizados para executar uma função particular. Sendo assim, entende-se o sistema como operador, que, durante um tempo determinado, recebe o *input* (entrada) e o transforma em *output* (saída).

Para HAIGH (1985 apud CHRISTOFOLETTI, 1999:5), "... um sistema é uma totalidade que é criada pela integração de um conjunto estruturado de partes componentes, cujas inter-relações estruturais e funcionais criam uma incerteza que não se encontra implicada por aquelas partes componentes quando desagregadas".

Com relação à delimitação de um sistema, temos que, BERR (1959, citado em LANGTON, 1973 apud CHRISTOFOLETTI, 1999:51) afirma que a delimitação de qualquer sistema particular é arbitrária, pois, "... o universo parece ser composto de conjuntos de sistemas, cada um sendo contido dentro de um outro maior, semelhante a um conjunto de blocos. O ponto a apreender é que se desejamos considerar as interações afetando uma simples entidade, então devemos definir aquela entidade como parte de um sistema – O sistema escolhido para se definir é um sistema porque contém partes inter-relacionadas, e é, em algum sentido, um conjunto completo em si mesmo. Mas a entidade que estamos considerando certamente será uma unidade entre um número de tais sistemas, cada um dos quais é um subsistema de uma série de sistemas maiores".

Para a análise e modelagem ambiental deve-se estar ciente de que distinguir um sistema na multiplicidade das características e fenômenos da superfície terrestre é ato mental, cuja ação procura abstrair o referido sistema da realidade envolvente, o que, depende da formação intelectual e da percepção ambiental apresentada pelo pesquisador.

Todavia, a fim de diminuir a subjetividade envolvida na decisão de classificação, CAMPBELL (1958, apud CHIRTOFOLETTI, 1999:5) propôs algumas normas a serem consideradas pelo observador, a saber:

- Proximidade espacial de suas unidades;
- A similaridade de suas unidades;
- O objetivo comum das unidades;
- A padronagem distinta ou reconhecível de suas unidades.

Individualmente, qualquer das regras supracitadas pode ser desobedecida sem prejudicar o discernimento do sistema em questão, porém, a relação de tais critérios permite estabelecer a organização e a funcionalidade como sendo as normas básicas para caracterizá-lo.

Segundo CHRISTOFOLETTI (1999), os sistemas ambientais possuem uma estrutura e expressividade espacial na superfície terrestre e sua modelagem, inerentemente, enquadra-se como procedimento teorético no uso da abordagem holística, envolvendo arsenal de técnicas qualitativas e quantitativas, expressando bases de operacionalização da análise sistêmica, a qual, trata, na geografia física, da estrutura, do funcionamento e da dinâmica da organização espacial dos sistemas ambientais físicos ou Geossistemas.

1.1 – Geossistemas

A concepção de geossistema, advinda dos pesquisadores soviéticos (SOTCHAVA, 1977) e introduzida na França por BERTRAND (1968), e a estruturação da "Ecologia da Paisagem" (NAVEH e LIEBERMAN, 1984; 1994; LESER, 1991 apud CHRISTOFOLETTI, 1999:46) enquadram-se no contexto das abordagens holísticas para o estudo dos sistemas ambientais.

O termo geossistema foi introduzido, na literatura soviética, por SOTCHAVA em 1962 com a preocupação de estabelecer uma tipologia aplicável aos fenômenos geográficos, enfocando aspectos integrados dos elementos naturais numa entidade espacial em substituição aos aspectos integrados dos elementos da dinâmica biológica dos ecossistemas (CHRISTOFOLETTI, 1999:42).

Sendo assim, SOTCHAVA (1977) define os geossitemas como sistemas dinâmicos, flexíveis, abertos e hierarquicamente organizados, com estágios de evolução temporal, numa mobilidade cada vez maior sob a influência do homem.

Para SOTCHAVA (1977:5), a principal concepção do geossistema é a conexão da natureza com a sociedade, pois, embora os geossitemas sejam fenômenos naturais, os fatores econômicos e sociais influenciando sua estrutura e particularidades especiais são levadas em consideração durante sua análise.

BERTRAND (1971) define geossistema como "situado numa determinada porção do espaço, sendo o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos, que fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução".

Segundo MONTEIRO (2001:47), a divulgação do artigo de SOTCHAVA (1977) teve ampla repercussão na medida em que se contrapunha àquele de BERTRAND (1968) com relação não à concepção geral do conceito de geossistema, mas de sua classificação. Pois, diferentemente de BERTRAND (1968) que organizou a sua tipologia segundo as ordens taxonômicas do relevo como proposto por TRICART & CAILLEUX (1956), SOTCHAVA (1977) adotou o critério das formações biogeográficas como delimitador dos geossistemas.

PENTEADO (1980:155) define os geossitemas como formações naturais que experimentam o impacto dos ambientes social, econômico e técnico. BERTALANFY (1973 apud PENTEADO, 1980:155), também como SOTCHAVA (1977) define geossistema como uma classe peculiar de sistemas dinâmicos, abertos e hierarquicamente organizados.

Para TROPPMAIR (2000:126), o geossistema compreende um espaço que se caracteriza pela homogeneidade dos seus componentes, suas estruturas, fluxos e relações que, integrados, formam o sistema do ambiente físico e onde há exploração biológica.

O estudo dos geossistemas é o objetivo fundamental da Geografia Física (CHRISTOFOLETTI, 1981 apud TROPPMAIR, 2000:126-127), pois, o mesmo, irá fornecer os conhecimentos sobre o funcionamento da natureza, permitindo desta forma o planejamento para o uso racional do espaço geográfico.

O geossistema, segundo TROPPMAIR (2000:127), que é considerado um sistema natural, aberto e homogêneo, caracteriza-se por três aspectos:

a) Pela morfologia: que é a expressão física do arranjo dos elementos e da conseqüente estrutura espacial;

b) Pela dinâmica: que é o fluxo de energia e matéria que passa pelo sistema e que varia no espaço e no tempo;

c) Pela exploração biológica: da flora, fauna e pelo próprio homem.

O geossistema, portanto, é parte da geosfera e numa perspectiva vertical, engloba as camadas superficiais do solo ou pedosfera, a superfície da litosfera com elementos formadores da paisagem, a hidrosfera e a baixa atmosfera, mas abrange também a biosfera, como exploradora do espaço ou do sistema (TROPPMAIR, 2000:127).

A classificação dos sistemas para análise ambiental pode ser feita segundo o critério funcional ou segundo o da composição integrativa (complexidade estrutural). PENTEADO (1980:157), aponta o critério funcional como o mais adequado para a classificação dos geossistemas, enquanto um sistema dinâmico, aberto e hierarquicamente organizado.

Sendo assim, considerando o critério funcional, FOSTER, RAPOPORT & TRUCCO (apud CHRISTOFOLETTI, 1999:5) distinguem os seguintes tipos de sistemas:

a) Sistemas Isolados: são aqueles que, dadas as condições iniciais, não sofrem mais nenhuma perda e nem recebem energia ou matéria do ambiente que os circundam, como por exemplo, segundo apontou CHORLEY (1962 apud CHRISTOFOLETTI, 1999:5), a concepção davisiana do ciclo de erosão;

b) Sistemas não-isolados: mantêm relações com os demais sistemas do universo no qual funcionam e podem ser subdivididos em:

b.1) Fechados, ou seja, quando há permuta de energia (recebimento ou perda), mas não de matéria, como por exemplo, o Planeta Terra;

b.2) Abertos são aqueles nos quais ocorrem constantes trocas de energia e matéria, tanto recebendo como perdendo. Os sistemas abertos são os mais comuns, podendo ser exemplificados por uma bacia hidrográfica, uma vertente e muitos outros.

CHORLEY & KENNEDY (1971 apud PENTEADO, 1980:158) apresentam uma classificação estrutural dos sistemas, da qual, CHRISTOFOLETTI (1999) e PENTEADO (1980) selecionaram os tipos que melhor se enquadram numa classificação para os geossistemas, a saber:

a) **Sistemas morofológicos** - São compostos pela associação das propriedades físicas do fenômeno expressas pelos valores assumidos como: largura, comprimento, declividade etc. Nos geossistemas morfológicos pode-se medir e correlacionar variáveis geométricas e de composição;

b) **Sistemas em seqüência** – Conjunto de subsistemas articulados em cadeia, relacionados entre si por um fluxo de matéria e energia que, sendo saída de um sistema se constitui num sistema adjacente. O exemplo mais comum de geossistema em cadeia é o do ciclo da água na natureza;

c) **Sistemas de processos e respostas** – Combinação de sistemas em seqüência e morfológicos, sendo que, os primeiros indicam os processos e os segundos a forma, a qual, é tida como resposta a determinados estímulos (processos). Sendo assim, enfatiza-se a análise das relações entre os processos e as formas derivadas que tendem para um equilíbrio, conseqüentemente, admite-se que qualquer modificação nos processos conduz à ruptura do equilíbrio entre as relações iniciais e à modificação da forma original.

d) **Sistemas controlados** – Constituem-se nos sistemas de processos e respostas que sofrem a intervenção humana, a qual, é capaz de modificar certas variáveis e o fluxo de matéria e contribuindo para a modificação das formas. Ou pode alterar o sistema morfológico causando modificações na atuação dos processos.

Com relação à classificação geossitêmica, temos que, o elemento básico é o espaço e tudo o que nele está contido em integração funcional, e do ponto de vista geográfico a análise se dá em três escalas: topológica, regional e planetária. Em escala decrescente de categorias SOTCHAVA (1978) distingue geossistema, geócoros e geômeros. Esta

perspectiva conceitual engloba a abordagem tradicional inserida na literatura soviética, dedicada aos estudos dos complexos geográficos naturais, cuja abordagem taxo-corológicas sobre as categorias de complexos naturais encontra-se exemplificada no quadro 01.

Quadro 1 –Divisão taxonômica do geossistema (segundo SOTCHAVA, 1978)

<table>
<tr><th>Geômeros</th><th>Ordem Dimensional</th><th colspan="4">Geócoros</th></tr>
<tr><td>Perspectiva dos tipos do meio natural (Perspectiva dos tipos landschafts)</td><td rowspan="3">Planetário</td><td colspan="4">Zona físico-geográfica</td></tr>
<tr><td>Tipos de meio natural (tipos de landschafts)</td><td colspan="4">Grupo de regiões físico-geográficas</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">Subcontinentes</td></tr>
<tr><td>Classe de Geomas</td><td rowspan="3">Regional
Cartografia 1:1. 000.000</td><td colspan="4">Regiões Físico-geográficas</td></tr>
<tr><td>Subclasse dos Geomas</td><td colspan="2">Com latitudes Zonais</td><td colspan="2">Com zoneamento vertical</td></tr>
<tr><td>Grupo dos Geomas</td><td>Subzona natural</td><td>Província</td><td colspan="2">Província</td></tr>
<tr><td>Subgrupo dos Geomas</td><td rowspan="6">1:100. 000
1:25. 000
Topológico 1:10.000

1:1. 000</td><td colspan="4">Distrito (okrug) (macrogeócoro)</td></tr>
<tr><td>Geoma</td><td colspan="4">Topogeócoro (zonas)</td></tr>
<tr><td>Classe Fácies</td><td colspan="4">Mesogeócoro (zonas)</td></tr>
<tr><td>Grupo Fácies</td><td colspan="4">Microgeócoro (grupos determinados)</td></tr>
<tr><td>Fácies</td><td colspan="4" rowspan="2">Áreas diversificadas elementares</td></tr>
<tr><td>Áreas Homogêneas elementares (biogeocenose)</td></tr>
</table>

Fonte: PENTEADO, 1980.

SOTCHAVA (1978:4) enfatizou que na caracterização do meio natural (classificação de geossistemas) verifica-se a convergência de dois princípios: *homogeneidade e diferenciação*, os quais, no processo de desenvolvimento natural funcionam ao mesmo tempo, sendo que, todas as classes de geossistemas com natureza homogênea chamam-se geômeros, e os de estrutura diferenciada são chamados de geócoros.

PENTEADO (1980:161) ressalta que as áreas homogêneas elementares (biogeocenose) são o ponto de partida para a classificação do geossistema. Como mostrado no quadro 01, áreas homogêneas similares unem-se em *fácies* e daí para classes superiores: grupos de classes de *fácies*, geomas, etc, até formarem, em sua totalidade a classificação da coluna dos geômeros.

O geômero elementar ou biogeocenose exprime-se em pequenos espaços e só pode funcionar em interação com áreas homogêneas contíguas, pertencentes à outra *fácies*.

Na coluna dos geócoros estão as áreas diferenciadas. O menor número de parcelas de combinações territoriais de áreas homogêneas elementares constitui o geócoro elementar ou área de diferenciação elementar, as quais, vão integrar um microgeócoro. Os microgeócoros se unem para formar os mesogeócoros (comunidades naturais singulares em territórios pequenos) e, estes últimos unidos passam para a classe superior dos macrogeócoros até constituir a Província, a mais importante divisão territorial do meio natural.

Todas as classes de geócoros constituem a coluna especial das áreas diferenciadas dos geossistemas (PENTEADO, 1980:161).

Segundo BERTRAND (1971:16), o geossistema não apresenta, necessariamente, uma grande homogeneidade fisionômica. Na maior parte do tempo, o geossistema é formado de paisagens diferentes que representam os diversos estágios de sua evolução. Estas paisagens bem circunscritas são ligadas umas às outras por meio de dinâmicas que tendem, ao menos teoricamente, para um mesmo clímax (estado de equilíbrio entre o potencial ecológico e a exploração biológica). Estas unidades fisionômicas se unem então numa mesma família geográfica chamada geofácies.

Com relação à caracterização dos processos sistêmicos na escala têmporo-espacial, a mesma, reflete a percepção que os cientistas possuem dos fenômenos estudados e a compreensão de alinhamento interativo entre as diversas categorias (CHRISTOFOLETTI, 1999; 86).

TRICART & CAILLEUX (1956) considerando os aspectos da morfoestrutura e morfodinâmica, apresentaram uma classificação taxonômica dos fatos geomorfológicos em função da escala têmporo-espacial distinguindo as ordens de grandeza apresentadas no quadro 02. Segundo PENTEADO (1980:9), a classificação de TRICART & CAILLEUX (1956) constitui-se em um instrumento para esclarecer relações de causalidade entre fatos diferentes, mas integrados no geossistema.

Para BERTRAND (1971:13-14), o geossistema está situado entre a 4ª e 5ª grandeza da classificação têmporo-espacial. Trata-se, portanto, de uma unidade dimensional compreendida entre alguns quilômetros quadrados e algumas centenas de quilômetros

quadrados. É nesta escala que se situa a maior parte dos fenômenos de interferência entre os elementos da paisagem e que evoluem as combinações dialéticas as mais interessantes para o geógrafo. Enfim, o geossistema constitui uma boa base para os estudos de organização do espaço porque é compatível com a escala humana.

Além disso, no interior de um mesmo geossistema, o geofácies corresponde a um setor fisionomicamente homogêneo onde se desenvolve uma mesma fase de evolução geral do geossistema. Em relação à superfície, o geofácies possui área de algumas centenas de metros quadrados, conseqüentemente, situando-se na 6ª grandeza da escala de TRICART & CAILLEUX (1956), onde, voçorocas são bons exemplos, ou seja, enquadrando-se na classificação e/ou escala de análise desejada neste trabalho.

MONTEIRO (2001:83) ressalta que o referencial teórico do conceito de geossistema está associado ao referencial técnico da avaliação ambiental, conseqüentemente, esclarecendo que o tratamento geossistêmico visa a integração das variáveis naturais e antrópicas (etapa de análise), fundindo recursos, usos e problemas configurados (etapa de integração) em unidades homogêneas. Sendo assim, assumindo um papel primordial na estrutura espacial (etapa de síntese) que conduz ao esclarecimento do estado real da qualidade do ambiente (etapa de aplicação) na etapa do diagnóstico.

Além disso, MONTEIRO (2001:95) enfatiza que a distinção pretendida entre o embasamento teórico no geossistema e as técnicas de avaliação quer focalizar a importância que a primeira tem para a percepção geográfica, sua caracterização em unidades espaciais reveladoras de suas propriedades, inclusive aquela advinda da qualidade ambiental, que pode ser descrita, interpretada, explicada em suas causalidades.

Quadro 2 – Categorização dos Fenômenos no Escalante Têmporo-Espacial (conforme TRICART & CAILLEUX, 1956).

GRANDEZAS	GRANDEZA ESPACIAL	CARACTERÍSTICAS EXEMPLOS
1ª	10^7 km²	Unidades obtidas em subdividindo-se apenas uma vez a superfície terrestre. Interação entre crosta terrestre e as grandes zonas climáticas.
2ª	Milhão de km²	Áreas continentais diferenciadas entre plataformas e geossinclinais, e nas plataformas entre escudos, dorsais e bacias sedimentares.
3ª	Dezena de milhares de km²	São exemplos os maciços antigos e as bacias sedimentares. No domínio climático correspondem às nuanças nos tipos de clima, mas sem grande importância para a dissecação.
4ª	Centena de km²	Unidades de pequenos maciços antigos, fossas de afundamento, *horsts* e maciços em regiões dobradas. Climas regionais com influências geográficas, sobretudo nas regiões montanhosas.
5ª	Grandeza similar a 10 km²	Unidades topográficas que refletem o controle da litologia e da erosão diferencial, tais como cuestas, linhas de falha etc. Os climas locais, influenciados pela disposição do relevo.
6ª	Algumas centenas de m² (formas hectométricas)	O modelado é comandado essencialmente pelos processos e pelas condições diversas da litologia. As cornijas e voçorocas são bons exemplos. A grandeza climática é exemplificada pelos mesoclimas diretamente ligados à forma.
7ª	Grandeza do centímetro e do metro	Formas de corrosão e as de desagregação granular se encaixam nesta categoria. Microclimas.
8ª	Do milímetro ao mícron	Em geral, a observação deve ser feita com o uso de aparelhos, pois são formas microscópicas.

1.2 – A bacia hidrográfica como uma unidade sistêmica

Segundo CUNHA (1997), é possível encontrar, na bibliografia, diversas definições para bacia hidrográfica, sendo que, a maioria tem em comum a noção de um curso fluvial que recebe água da precipitação diretamente sobre o espelho d'água, e do escoamento superficial de determinada área, a qual, é definida por meio de seus pontos altitudinais mais elevados, ou seja, por seus divisores de água. Além disso, estas definições enfatizam o fato do escoamento sempre convergir para um ponto comum, a foz. Além disso, outra semelhança nas citações de vários autores, é que os cursos fluviais de uma bacia hidrográfica também são alimentados pela água oriunda do escoamento sub-superficial e pelo lençol freático.

Tal similaridade entre conceitos pode ser aglutinada naquele apresentado por SILVEIRA (1993), que define a bacia hidrográfica como uma área de captação natural de água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, sendo composta por um conjunto de superfícies vertentes e por uma rede de drenagem formada por cursos d'água que confluem até resultar um leito único.

Segundo BOTELHO (1999), a bacia hidrográfica é uma célula natural que, a partir da sua seção de controle, pode ser delimitada sobre uma base cartográfica que contenha cotas altimétricas, como as cartas topográficas, ou que possibilite a visão tridimensional da paisagem, como as fotografias aéreas, ou ainda a partir de imagens de satélite.

BOTELHO (1999) ressalta que diversos pesquisadores chamam à atenção para a bacia hidrográfica como uma unidade natural da superfície terrestre, onde é possível reconhecer e estudar as inter-relações existentes entre os diversos elementos da paisagem e os processos que atuam na sua esculturação. Para GUERRA (1975, apud CUNHA 1997), tais inter-relações estão relacionadas à noção de "dinamismo", a qual é entendida como a possibilidade de alargamento ou diminuição da área da bacia através dos processos erosivos e de capturas.

De acordo com CUNHA (1997), considerando-se a complexidade estrutural, a bacia hidrográfica se enquadra em diversas classificações. Para CHORLEY & KENNEDY (1971, apud CUNHA, 1997), ao estudar a morfometria de uma bacia hidrográfica, visando estabelecer a hierarquia fluvial, a densidade de drenagem ou atributos inerentes às

vertentes, a abordagem realizada considera aspectos vinculados principalmente à sua geometria e composição, o que se caracteriza como um sistema morfológico.

Dentre outras maneiras de se estudar a bacia hidrográfica através da estrutura, a abordagem pode ser realizada como sistema controlado, em função da suscetibilidade à atuação antrópica. Nesse sentido, CHRISTOFOLLETI (1980) ressalta que a simples remoção da cobertura vegetal de uma determinada área gera alterações na distribuição de matéria e energia dentro do sistema em seqüência, influenciando, conseqüentemente, nas formas que estão relacionadas com o sistema de processos-respostas.

De acordo com a classificação funcional de sistemas elaborada por FOSTER, RAPOPORT & TRUCCO (apud CHRISTOFOLETTI, 1999:5), a qual, conforme PENTEADO (1980:157), constitui-se no critério mais adequado para a classificação do geossistema enquanto um sistema dinâmico, aberto e hierarquicamente organizado, temos que, a bacia hidrográfica estrutura-se segundo a noção de sistema aberto, onde a precipitação e a radiação solar representam fontes de energia, enquanto a perda de matéria é representada pela carga de sedimentos e solutos (VITTE, 1997).

CHORLEY & KENNEDY (1971, apud CUNHA 1997) apontam a existência de uma analogia direta entre os sistemas abertos e as bacias hidrográficas, onde, por meio da propriedade de auto-ajustamento dos sistemas abertos, a bacia de drenagem pode atingir um estado de equilíbrio dinâmico em que a importação e exportação de matéria e energia são equacionadas por meio do ajustamento das formas do sistema.

Segundo CUNHA (1997), quando se altera um elemento do sistema aberto, todo o sistema é afetado, e seu funcionamento passa a procurar um novo ponto de equilíbrio a fim de produzir um auto-ajustamento à nova situação. Neste tipo de sistema funcional, a relação entre forma e processo também são contemplados, uma vez que os limites são abertos para a recepção de massa e energia, as quais, ao circularem pelo sistema, podem alterar sua forma segundo os processos que causam. Desse modo, a influência antrópica pode se processar livremente, uma vez que o sistema aberto recebe massa e energia de qualquer agente externo que possa atuar sobre o mesmo.

Com relação aos processos erosivos, CUNHA (1997) apresenta uma importante ligação que justifica o estudo da erosão a partir da bacia hidrográfica, a saber: "Como as bacias hidrográficas são caracterizadas como sistemas abertos e de processo-resposta,

qualquer mudança ocasionalmente ocorrida em um setor desta, refletirá sobre os outros. No caso dos processos erosivos, esta relação é intrinsecamente complexa, visto que o escoamento superficial e sub-superficial constituem-se em processos que funcionam de maneira lógica no interior da bacia, causando com isso a esculturação das formas do relevo. Desta maneira, a mudança em termos de forma ou escoamento em determinado setor da bacia, terá reflexos por todos os outros setores" (CUNHA, 1997: 44).

Capítulo 2 – A erosão dos solos

Segundo BERTONI & LOMBARDI NETO (1990:68), a erosão é o processo de desprendimento e arraste acelerado das partículas do solo causado pela água e pelo vento. Sendo assim, neste trabalho estamos tratando, a partir de uma abordagem geossistêmica, da erosão hídrica, mais precisamente, dos processos de voçorocamento.

De acordo com TOY & HADLEY (1987 apud CUNHA, 1997), a erosão dos solos é um processo "normal" no desenvolvimento da paisagem, sendo responsável pela remoção do material de superfície por meio do vento, do gelo ou da água. Sob estas condições, a erosão é considerada um processo natural. Por outro lado, a erosão acelerada dos solos ocorre em intensidade superior à erosão "normal", o que, usualmente, é conseqüência dos resultados das atividades humanas sob determinadas condições de clima, vegetação, solos e relevo (VILELA FILHO, 2002).

CUNHA (1997) destaca que o trabalho realizado por pesquisadores do IPT/DAEE (1990), a respeito do controle da erosão, aponta que é considerada normal quando ocorre um equilíbrio entre os processos de formação do solo e seu desgaste natural. Quando o processo erosivo é mais intenso, sendo mais veloz que a formação do solo, ocorre a erosão acelerada, a qual é chamada de erosão antrópica, caso esta tenha sido provocada pela ação humana. Esta situação ocorre quando são encontradas determinadas condições de solo, litologia e relevo que proporcionam o desencadeamento da substituição da vegetação natural por outro tipo de cobertura vegetal que não proporciona proteção eficiente contra a erosão, dificultando o estabelecimento do processo pedogenético que recomporia a camada erodida.

Atualmente, a erosão dos solos, tanto pela água como pelo vento, é responsável por cerca de 56% e 28%, respectivamente, da degradação dos solos no mundo. Os problemas de erosão no Brasil, atualmente, são resultantes da combinação de um rápido processo de ocupação e tecnificação do território, solos frágeis e de um regime climático propício à sua ocorrência de forma intensa, sendo que, é necessário compreender cada vez melhor os processos responsáveis pela erosão, reconhecendo que estes não são meramente físicos, mas também sócio-econômicos (GUERRA, 1995:15).

Os problemas relacionados à degradação ambiental têm sido alvo da mobilização de dirigentes do setor público e de grupos representativos da sociedade civil, e sem dúvida, dentre as questões ambientais, a erosão dos solos está entre as que tem causado maior preocupação (VITTE, 1997). Com isso, reforça-se a necessidade da compreensão dos processos responsáveis pela erosão, a fim de que se possa ter um entendimento sobre o porque ela ocorre, e dessa forma poder associar o processo de ocupação e diferentes usos do território com a conservação do solo.

A erosão dos solos é um processo natural, e enquanto morfogênese é responsável pela ocorrência da esculturação da crosta terrestre, sendo condicionada por fatores como o regime climático, o relevo, a cobertura vegetal e do tipo de solo. A erosão enquanto processo, é resultante da dinâmica de um determinado sistema ambiental, ou seja, da dinâmica de uma dada paisagem entendida como sendo a síntese dos diversos componentes que a produzem (DOLLFUS, 1973) e que está em desequilíbrio provocado por interferências naturais ou antrópicas em um ou mais de seus fatores. Esse desequilíbrio é resultado do balanço ecodinâmico[1] de um determinado sistema ambiental (TRICART, 1977).

A erosão é causada por forças ativas, como as características da chuva, pois, a água pluvial exerce sua ação erosiva sobre o solo pelo impacto das gotas, que caem com velocidade e energia variáveis, dependendo do seu diâmetro, e pelo escoamento da enxurrada, a qual, tem sua velocidade e volume variando segundo a declividade e o comprimento do declive do terreno e a capacidade que tem o solo de absorver água; e por forças passivas, como a resistência que exerce o solo à ação erosiva da água (determinada por diversas de suas características ou propriedades físicas e químicas) e a densidade da cobertura vegetal (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990:45).

Segundo BERTONI & LOMBARDI NETO (1990:45), a chuva é um dos fatores de maior importância para a erosão, sendo que sua intensidade, sua duração e a sua freqüência são as propriedades mais importantes para o processo erosivo.

---

[1] De acordo com TRICART (1977), um sistema ambiental está em desequilíbrio, quando a morfogênese, ou erosão, predomina sobre a pedogênese, caracterizando um meio ecodinâmico instável. Por outro lado, nos meios em que ocorre o domínio da pedogênese sobre a morfogênese, estes caracterizam-se pelo equilíbrio dinâmico estável. Na concepção de TRICART (1997), o desequilíbrio de um sistema ambiental ocorre em função de condições naturais, como mudanças climáticas ou estruturais, ou pela intervenção humana, com a organização do espaço.

LAL (1988:141) aponta a erodibilidade do solo e a erosividade da chuva como sendo dois fatores físicos significantes para a magnitude e/ou intensidade da erosão do solo.

A erodibilidade é definida como uma característica do solo, isto é, como uma medida de susceptibilidade do solo para desagregação e transporte pelos agentes da erosão. A erosividade é definida como a capacidade dos agentes erosivos causarem a desagregação do solo e seu transporte. Quantificação destes dois fatores é básico para um entendimento dos processos de erosão do solo. A intensidade da erosão do solo depende de quão facilmente cada partícula de solo é desagregada pela energia da chuva e/ou fluxo superficial (LAL, 1988:141).

2.1 - Erodibilidade do solo

Erodibilidade do solo, segundo LAL (1988:141), é o efeito integrado de processos que regulam a recepção da chuva e a resistência do solo para desagregação de partículas e o transporte subseqüente. Estes processos são influenciados pelas propriedades do solo, assim como a distribuição do tamanho das suas partículas, estabilidade estrutural, conteúdo de matéria orgânica, natureza dos minerais de argila, e constituintes químicos. Além do que, pelos parâmetros do solo que afetam a estrutura do mesmo, hidratação, e as características da circulação da água que afetam a erodibilidade do solo.

Estas características do solo são propriedades dinâmicas, pois, podem ser alteradas a todo tempo e sob diferentes usos da terra, manejo superficial do solo, e sistemas de agricultura. Conseqüentemente, a erodibilidade do solo também muda a todo tempo.

Sendo assim, LAL (1988:141-142) ressalta a textura do solo como um fator importante que influencia a erodibilidade porque afeta os processos de desagregação e transporte. Pois, enquanto grandes partículas de areia resistem ao transporte, solos de textura fina (argilosos) também resistem à desagregação, sendo que, a textura mais suscetível à desagregação e transporte é a areia fina e o silte. Assim, solos derivados de materiais originados de transporte eólico, por exemplo, são muito susceptíveis à erosão.

Propriedades texturais e estruturais também influenciam a interação com a chuva (solo-chuva) e, conseqüentemente, a capacidade de infiltração. A taxa de equilíbrio de infiltração é uma função da porosidade total, a proporção relativa de macroporos, e a estabilidade e continuidade de macroporos, além do que, os bio-canais criados por raízes

deterioradas e pela fauna do solo têm maiores efeitos na capacidade de infiltração (LAL, 1988).

Segundo LAL (1988:142), vários pesquisadores têm usado índices baseados em medidas rotineiras das propriedades do solo para avaliar a relativa suscetibilidade dos solos à erosão, sendo que, vários índices foram criados como medidas de desagregação do solo ou de sua resistência à desagregação. Tais índices são baseados em propriedades que governam a agregação e a estabilidade de agregação, infiltração da água e propriedades de retenção, impacto das gotas da chuva, e processos termodinâmicos que governam o enfraquecimento e/ou a quebra de agregados. Estes índices são medidas relativas de desagregação, sendo assim, talvez não reflitam o comportamento de campo do solo em resposta à chuva e seu uso e ocupação.

A escolha de um índice apropriado depende de muitos fatores, o mais importante está na sua relevância em relação aos processos que governam a erosão sob condições naturais ambientais (ULEESCHAWER. R. LAL & M. DE BOODT, 1978 apud LAL, 1988:142). Além disso, ressalta-se que um índice conveniente deve apresentar as seguintes características:

a) ser simples e facilmente adaptado para medidas rotineiras;

b) ser relacionável a outras propriedades quantificáveis do solo;

c) ser facilmente usado para classificar solos dentro de categorias de erodibilidade.

Considerando tais características, talvez não exista um único índice que os pesquisadores possam usar para todos os solos na representação do comportamento de campo. Então, um fator composto ou a combinação de vários índices pode ser requisitado para descrever, aproximadamente, o comportamento de campo.

2.2 – Erosividade da chuva

Segundo LAL (1988:150), a força dirigente dos agentes de erosão, os quais, causam a desagregação do solo e seu transporte é chamada de erosividade. A erosividade da chuva é devido parte ao impacto direto das gotas de chuva e parte pelo escoamento que a chuva gera. A capacidade da chuva causar erosão do solo é atribuída à proporção e distribuição dos pingos d'água segundo a carga de energia da chuva. A erosividade de uma chuva é

atribuída à sua energia cinética ou momentum, parâmetros facilmente relacionados à intensidade da chuva ou sua quantidade total.

O *momentum* pode ser definido como um produto da massa e pela velocidade. Trata-se de uma medida da pressão exercida pela chuva sobre o solo. Pressão, ou força por unidade de área, a qual, tem a natureza de um stress mecânico que causa a desagregação dos agregados do solo. A relação entre a erosividade da chuva relaciona o *momentum* tem sido defendida pelos trabalhos de ROSE (1960) e WILLIAMS (1969) (apud LAL, 1988:150).

Para LAL (1988:150), a energia cinética da chuva é um dos principais fatores iniciantes da desagregação do solo. Medidas diretas da energia cinética de suas gotas podem ser feitas com o uso de aparelhos acústicos como os descritos por KOWAL & KASSAM (1976). A energia cinética também pode ser avaliada pela medição da distribuição do tamanho das gotas da chuva assumindo velocidade terminal correspondente a um dado tamanho de gota. Existem vários métodos de determinação da distribuição dos tamanhos das gotas, por exemplo, o de "pelota de farinha", técnica da mancha, ou métodos de captura no óleo. Além disso, muitas equações empíricas têm sido desenvolvidas relacionando energia cinética à intensidade da chuva ou total da chuva. KINNELL (1981 apud LAL, 1988:150) descreve a intensidade da energia cinética relacionando-a de duas maneiras:

a) A proporção de gasto da energia de impacto da chuva (rainfall kinetic energy) (ERR), a qual tem as unidades de energia por unidade de área por unidade de tempo;

b) O total da energia de impacto da chuva gasto por unidade de quantidade de chuva (ERA), a qual tem as unidades de energia por unidade de área por unidade de profundidade (mm).

ERA e ERR são relatadas a seguir:

ERA= C ERR I/1, onde I é a intensidade da chuva (mm/tempo) e C é uma constante empírica. Geralmente, usa-se equações algébricas que relacionam a energia de impacto e a intensidade da chuva:

ERA= a+b log10I

ERA= c(b-a I/1)

ERA= bI – a , onde I é a intensidade da chuva e (a) e (b) são constantes empíricas .

Segundo BERTONI & LOMBARDI NETO (1990), somente a cerca de quarenta anos após diversos estudos realizados no campo e em laboratório, tornou-se clara a compreensão de que o impacto das gotas da chuva em um terreno descoberto e o conseqüente desprendimento das partículas do solo é a principal causa da erosão provocada pela água.

De acordo com GUERRA (1999:18), no momento em que as gotas de chuva atingem o solo, começa o *splash*, também conhecido como erosão por salpicamento, o qual, trata-se do estágio inicial do processo erosivo, onde as partículas que compõem o solo são preparadas para serem transportadas pelo escoamento superficial. Essa preparação se dá tanto pela ruptura dos agregados, como pela própria ação transportadora que o salpicamento provoca nas partículas. O *splash* pode variar em função da resistência do solo ao impacto das gotas da chuva e da energia cinética provocada por elas, que, em função de sua intensidade, como supracitado, provocará a ruptura dos agregados.

As medições diretas da erosividade, segundo LAL (1988), envolvem monitoramento da carga de energia e *splash* simultaneamente.

O *splash* de areia pode ser medido com o uso de peneira e tratamento ácido dos grãos de quartzo de uma fração de tamanho padronizado, a qual, é mantida em uma mistura potencial constante de solo e empacotado em uma densidade padrão.

Sendo assim, o splash de grãos causados por uma chuva relaciona parâmetros monitorados simultaneamente, a saber: energia cinética (de impacto), momentum, tamanho médio das gotas, intensidade da chuva (LAL, 1988:150).

Quanto ao relevo, a maior influência está no comprimento e na declividade das vertentes. As mais íngrimes facilitam a erosão dos solos na medida em que aumentam o escoamento superficial. ROOSE (1977, apud TAVARES & VITTE, 1993), cita trabalhos de diversos pesquisadores demonstrando que as perdas de terra crescem de modo exponencial em função do aumento da inclinação das vertentes. Por outro lado, experimentos de campo realizados por BERTONI et al. (1972, apud BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990:55), apresentados na tabela 01, demonstram que quanto maior o comprimento das rampas (vertentes) maior a perda de solo por hectare.

Tabela 01 – Efeito do comprimento de rampa nas perdas de solo (toneladas/hectare).

Comprimento de rampa	1° segmento 25m	2° segmento 25m	3° segmento 25m	4° segmento 25m	Média
m	Perdas em t/ha	Perdas em t/ha	Perdas em t/ha	Perdas em t/ha	Perdas em t/ha
25	13,9	-	-	-	13,9
50	13,9	25,9	-	-	19,9
75	13,9	25,9	38,8	-	26,2
100	13,9	25,9	38,8	51,4	32,5

Fonte: Bertoni et al. (1972 apud BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

Os diferentes tipos de cobertura vegetal podem oferecer maior ou menor proteção ao solo, conseqüentemente, interferindo na intensidade do processo erosivo. Tal constatação é demonstrada segundo os dados obtidos pela Seção de Conservação do Solo do Instituto Agronômico de Campinas (IAC), nos quais, BERTONI & LOMBARDI NETO (1990) apontam que as perdas variam de acordo com o tipo de uso do solo, o que, é mostrado no quadro 03:

Quadro 03 – Efeito do tipo de uso do solo sobre as perdas por erosão. Médias ponderadas para três tipos de solo do Estado de São Paulo.

Tipo de uso	Perdas de solo (t/ha)
Mata	0,004
Pastagem	0,4
Cafezal	0,09
Algodoal	26,6

Fonte: BERTONI et al. (1972, apud BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

Por fim, cabe ressaltar para efeito de enriquecimento da análise aqui proposta, as considerações feitas por DE PLOEY (1981) com relação a possíveis efeitos ambivalentes de alguns fatores diretamente relacionados aos processos erosivos que foram tratados acima, mais especificamente, com relação à cobertura vegetal e da interferência do embasamento rochoso nas vertentes que apresentam processos erosivos.

DE PLOEY (1981:171) afirma que a origem de todas as forças geomorfológicas é, primeiramente, derivada da gravidade e do clima. A gravidade pode ser considerada como força constante, como um componente da declividade. O clima fornece quantidades de energia, as quais, são fortemente variadas no tempo e espaço. Porém, nesta abordagem, o fenômeno de dependência do tempo será, preferencialmente, posto de fora das considerações para enfatizar a distribuição espacial das forças de erosão e resistências ao longo das vertentes. A resistência interna à gravidade de um manto de alteração (regolito) é analisada em termos de sua plasticidade.

Sendo assim, DE PLOEY (1981:171) aponta que as variações espaciais dos limites de plasticidade (resistência) são, primeiramente, condicionadas pela variação dependente do tempo de resposta dos sistemas das estruturas minerais e suas propriedades físico-químicas, além do que, a presença ou não de vegetação deve ser analisada quanto à estabilidade das vertentes.

Uma opinião comum é que a vegetação e o embasamento rochoso protegem as vertentes contra a erosão. Esta opinião é baseada, principalmente, na suposição de que a força da gravidade é neutralizada pela resistência oferecida pelos afloramentos rochosos e que a vegetação e a cobertura rochosa desviam a água da superfície do solo, absorvem a água e parte da energia erosiva de origem climática (DE PLOEY, 1981:171).

Porém, segundo DE PLOEY (1981), resultados experimentais apontaram para um efeito ambivalente destes fatores. De fato, parece que a vegetação e o embasamento rochoso poderiam também ativar erosão sob circunstâncias específicas, ou, no mínimo, que um balanço delicado pode ser obtido entre efeitos opostos, os quais, ainda não são bem conhecidos.

2.3 – Processos Erosivos

As principais formas de erosão hídrica pluvial podem ser classificadas como:

a) Erosão pelo impacto da chuva ou *splash*;

b) Erosão em lençol ou laminar;

c) Erosão em ravinas;

d) Erosão em voçorocas.

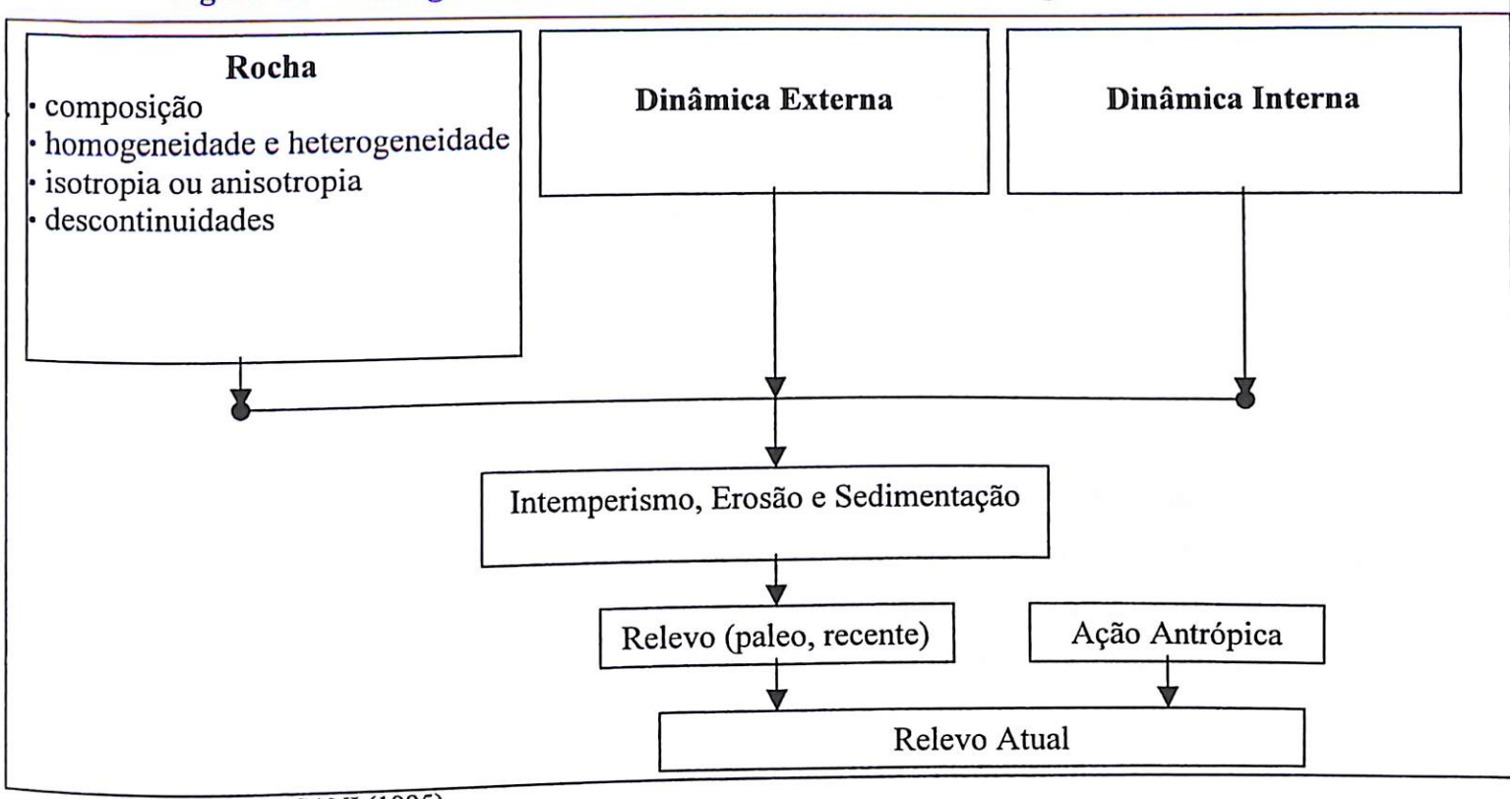
Sendo assim, vamos nos deter, de maneira mais específica, na análise dos processos erosivos em voçorocas, para tanto, tomando como estudo de caso a voçoroca situada na Bacia do Córrego Santo Antônio, Município de Mogi Mirim (SP).

Etimologicamente, a palavra voçoroca ou boçoroca provém do termo tupi-guarani *ibiçoroc* e tem o significado de terra rasgada (PICHLER, 1953 apud FACINCANI,1995), ou então de *mbaê-çorogca*, traduzível por "coisa rasgada" (FURLANI, 1980 apud FACINCANI,1995:1).

Segundo VIEIRA (1975), a voçoroca é caracterizada como uma forma de relevo gerada por um conjunto de processos morfogenéticos, os quais, estão subordinados tanto a fatores climáticos, litológicos, pedológicos, topográficos, fitogeográficos e antrópicos, como à dimensão, à forma e ao estágio evolutivo em que se encontra esta forma erosiva. Sendo assim, à medida que ela aumenta de tamanho e modifica a sua forma, os processos atuantes tendem a mudar qualitativa e quantitativamente.

FACINCANI (1995:20) ressalta que diversos fatores controlam direta ou indiretamente o processo e a formação de voçorocas, os quais, estão representados no fluxograma a seguir (figura 02):

Figura 02 – Fluxograma de fatores condicionantes na modelagem do relevo atual



Fonte: FACINCANI (1995).

Segundo GUERRA (1999:59), para esclarecer o que distingue uma ravina de uma voçoroca, diversas definições podem ser encontradas na literatura internacional e nacional (HEEDE, 1970; IMESON & KAAD, 1980; PONÇANO & PRANDINI, 1987). Porém, em geral, predominam as distinções de caráter dimensional, sendo assim, as voçorocas caracterizam-se como incisões no solo com largura e profundidade superiores a cinqüenta centímetros.

Técnicos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) têm veiculado uma definição segundo a qual ravinas seriam canais criados pela ação do escoamento superficial, e as voçorocas, canis esculpidos pelo afloramento do lençol freático (CAVAGUTI, 1994; CANIL *et al.*, 1995 apud GUERRA, 1999:59). Porém, para GUERRA (1999:59) apesar desta classificação ter utilidade técnica facilitadora para o planejamento, opõe, por exemplo, mecanismos que com freqüência interagem em diferentes estágios do processo erosivo. Dificultando, com isto, a compreensão da evolução do processo erosivo a partir de sulcos, passando por ravinas e chegando a voçorocas, além do que, está em desacordo com as terminologias utilizadas a nível internacional.

Para EBISEMIJU (1989:307), uma voçoroca pode ser definida como um canal formado a partir de uma incisão fluvial em materiais terrestres inconsolidados e é caracterizada por transmissão efêmera do fluxo d'água, vertentes íngremes, e verticalização das cabeceiras.

Uma voçoroca pode ser diferenciada de uma ravina por sua largura e profundidade, as quais, devem ser maiores que 0,3 m e 0,6 m respectivamente (BRICE 1966, IMESON & KWAAD 1980 apud EBISEMIJU, 1989:307), e a partir de canais de dissecação que apresentem uma proporção entre suas larguras e profundidades menores que a unidade (WILLIANS & MORGAN, 1976 apud EBISEMIJU, 1989:307).

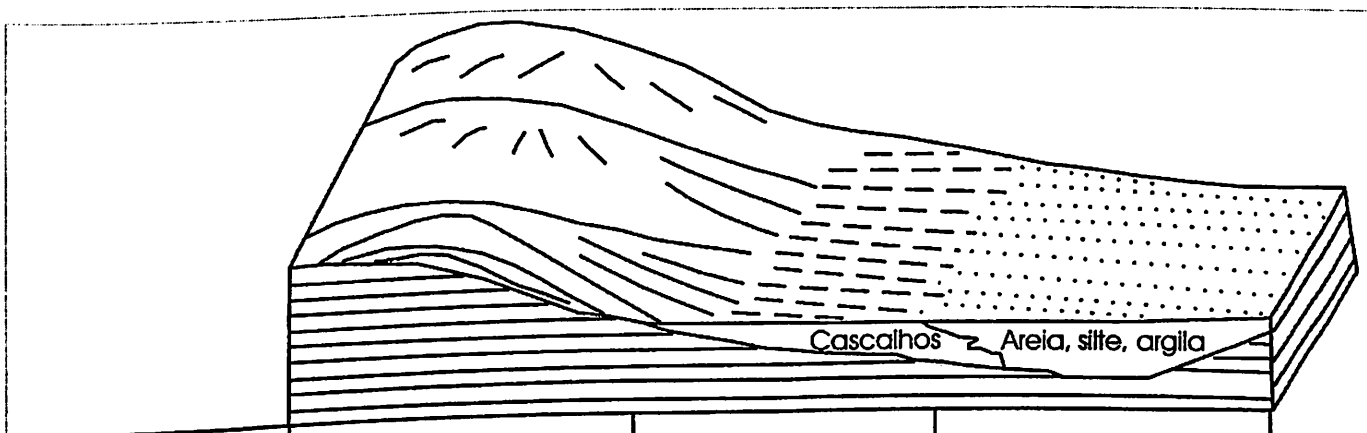
Devido à natureza ubíqua do processo de erosão por voçoramento e de suas implicações adversas para a agricultura, conservação do solo e recursos aqüíferos, muitos esforços de pesquisa têm sido concentrados sobre vários aspectos das voçorocas, em particular, sobre as condições dominantes que controlam a sua origem, seu desenvolvimento e os mecanismos e proporções do voçorocamento.

EBISEMIJU (1989:308) ressalta que, exceto pelas medições da largura, profundidade e comprimento, as análises de voçorocas têm sido qualitativas, além do que, em nenhum dos trabalhos publicados houve alguma tentativa para descrever completamente e quantitativamente a morfologia da voçoroca, e examinar estatisticamente suas inter-relações e variações a respeito de seus fatores causais e determinísticos. Porém, a necessidade por estudos desta natureza não pode ser super enfatizada, pois, as formas das voçorocas e seus padrões espaciais também fornecem importantes pistas para se analisar a natureza dos materiais superficiais, nos quais, as voçorocas se formam (LEUDER, 1959 apud EBISEMIJU, 1989:308). Além disso, mais importante ainda, temos que, a morfologia dos sistemas fluviais reflete muito fielmente os mecanismos e dinâmicas dos processos que os iniciaram tão bem como os processos atuais e as propriedades dos materiais superficiais influenciando os mecanismos destes processos. HEED (1970 apud EBISEMIJU, 1989:308) aponta o entendimento da morfologia das voçorocas como um primeiro passo na avaliação dos processos de voçorocamento e uma conexão entre passado, presente e futuro dos eventos de voçorocamento. Esforços em predições acerca do desenvolvimento futuro de voçorocas obteriam melhores resultados se baseados em conhecimentos detalhados e

análise da morfologia das mesmas. Assim, as análises terão que ser quantitativas para que os resultados sejam significativamente aplicados.

Para tanto, EBISEMIJU (1989:308) sugere o uso de um bloco diagrama, como o da figura 03, para que sejam analisados os processos presentes em cada segmento da vertente e propõe uma série de medidas e relações quantitativas a serem desenvolvidas a partir da análise dos perfis transversais e longitudinais das feições de ravinamento e voçorocamento. Sendo assim, ressaltando os seguintes elementos: comprimento do canal, relevo relativo, média da base, média da largura entre os topos, média da profundidade máxima, média da profundidade, declividade média máxima, declividade média, proporção entre a largura e a profundidade, proporção entre a largura superior e a largura da base e média da área transversal.

Figura 03 – Bloco diagrama para observação de características ao longo da Vertente



Unidades de Paisagem	Colina e zona declivosa	Zona de Terraço	Baixa
Materiais Superficiais	Blocos de laterita e cascalhos.	Material transportado: cascalho fino e areia grossa.	Areia fina, silte e argila.
Processos Ativos	Ravinamento, canais e erosão pelo fluxo de água.	Deposição de material transportado pelo fluxo de água.	Deposição pelo fluxo de água – área lacustre
Drenagem	Dendrítica.	Exfiltração.	Barragem

Fonte: Adaptado de EBISEMIJU (1989).

EBISEMIJU (1989:320) ressalta que: o comprimento da vertente de uma voçoroca é fortemente influenciado pela largura entre os topos, a profundidade máxima e média, área transversal e raio hidráulico; o relevo relativo é determinado pelo valor médio e máximo da declividade e pela razão entre a largura e a profundidade, sendo identificado como a variável da declividade das vertentes; a média da base é fortemente influenciada pelas variáveis da declividade da base do canal e a proporção entre a declividade da vertente e a declividade da base.

Com base em análises feitas segundo os parâmetros supracitados, temos que, OLOGE (1972 apud EBISEMIJU, 1989:320) aponta que as variáveis do perfil transversal são mais independentes que os parâmetros do perfil longitudinal. Em segundo lugar, a ortogonalidade[2] das variáveis dos perfis transversal e longitudinal sugere que os processos causadores de mudança no comprimento e no relevo do canal, provavelmente, têm pequeno efeito sobre a forma do perfil transversal. Então, o comprimento e o relevo de um canal são determinados pela razão de retração da cabeceira, a qual, é controlada pela natureza dos processos e materiais. Além do que, são apontados como processos atuantes na cabeceira do canal: abrasão, gotejamento, escorregamento, drenagem, rachaduras, desmoronamento e impermeabilização.

As voçorocas podem ser classificadas pela sua profundidade e pela área da sua bacia. Então, de acordo com IRELAND (1939 apud BERTONI & LOMBARDI, 1990:170), as voçorocas são consideradas profundas quando apresentam mais de 5 metros do topo ao canal; médias, quando têm de 1 a 5 metros, e pequenas, com menos de 1 metro. Além do que, segundo a área da bacia em que se encontram, as mesmas, são consideradas pequenas quando a área de drenagem é menor que 2 hectares; médias, quando de 2 a 20 hectares, e,

---

[2] O conceito ortogonalidade, do ponto de vista das diversas áreas que empregam classificação de dados, ou seja, em bancos de dados distribuídos, programação orientada-a-objeto, modelagem de produtos, etc. pode ser entendida como uma generalização do espaço geométrico para o espaço de informação do projeto, no qual, segundo WEGNER (1987) uma coleção de características é ortogonal se nenhuma delas for conseqüência de quaisquer das outras. Um exemplo de aplicação do conceito de ortogonalidade na classificação de dados é dado por MINSKY (1986):

"The most useful sets of properties are those whose members do not interact too much. This explains the universal popularity of that particular combination of properties: size, color, shape and substance. Because these attributes scarcely interact at all with one another, you can put them together in any combination whatsoever, to make an object that is either large or small, red or green, wooden or glass, and having the shape of a sphere or a cube". Fonte: http://www.usp.br/fau/docentes/deptecnologia/m_giacaglia/nlayers.pdf.

grandes, quando têm mais de 20 hectares, o que, é o caso da voçoroca que é analisada neste trabalho, a qual, possui uma área de, aproximadamente, 123,415 ha.

Segundo BERTONI & LOMBARDI (1990:77), as formas de voçorocas variam em função do material que constitui o solo, pois, se os diferentes horizontes do solo forem de consistência uniforme, as paredes da voçoroca são relativamente verticais, e se o material for muito friável, estará sujeito a freqüentes desmoronamentos. Por outro lado, quando o material do subsolo ou de horizontes mais profundos for mais resistente que o horizonte superficial, as voçorocas tendem a apresentar paredes em forma de "V".

GUERRA (1999) ressalta que o voçorocamento pode ser resultado do alargamento e aprofundamento de ravinas que se dá pela ação erosiva das águas na base e nas laterais das mesmas, conseqüentemente, gerando um colapso do material em suas laterais e em direção ao seu topo.

As voçorocas também podem se originar da erosão causada pelo escoamento sub-superficial, o que, foi constatado pelas pesquisas realizadas por BERRY & RUSTON (1960 apud GUERRA, 1999), as quais, indicaram o surgimento de voçorocas por escoamento sub-superficial em áreas com degradação da cobertura vegetal, sendo que, nesta situação, as chuvas de grande intensidade provocam fluxos sub-superficiais, os quais, ao removerem sedimentos aumentam o diâmetro dos dutos pelos quais a água é transportada, conseqüentemente, provocando um colapso no material localizado em superfície.

Uma terceira origem para a formação de voçorocas que é descrita por VITTORINI (1972 apud GUERRA, 1999), a qual, ocorre a partir do escoamento superficial concentrado das águas das chuvas no interior de cicatrizes abertas por deslizamentos em vertentes íngremes.

Com relação à análise do desenvolvimento de uma voçoroca, são necessárias medições tanto no seu desenvolvimento horizontal quanto no vertical. A colocação de estacas a intervalos regulares ou em distribuição retangular, e as medições feitas regularmente, fornecem os dados para determinar a intensidade com que as bordas da voçoroca estão se movimentando; para este tipo de levantamento, também podem ser usadas fotografias tiradas sempre do mesmo ponto (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

Em geral, o índice anual de avanço de uma voçoroca é variável, sendo mais rápido em alguns estádios de seu ciclo de desenvolvimento que em outros; as observações indicam que a velocidade de avanço decresce progressivamente nos estádios finais de desenvolvimento (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

A previsão do índice do avanço de uma voçoroca baseada somente na intensidade de seu desenvolvimento pode conduzir a sérios erros de avaliação, a menos que se dê adequada consideração aos fatores que podem ter maior influência no índice de avanço. Os fatores condicionantes, tais como as características dos materiais geológicos, topografia, uso do solo e volume de enxurrada, são os que alteram a intensidade de desenvolvimento da voçoroca; uma mudança nas condições acima, nas cabeceiras da voçoroca, muda completamente o índice de avanço (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

2.4 – Análise e classificação das vertentes de formas erosivas

Segundo IMESON & KWAAD (1980) e STOCKING (1981) (apud CROUCH & BLONG, 1989:291), as variações nas formas das vertentes podem revelar os processos ativos que lhes deram origem.

Sendo assim, com base no artigo "Gully sidewall classification: methods and applications" de R. J. CROUCH e R. J. BLONG (1989), passamos a expor um esquema de classificação relativa para vertentes de canais gerados por erosão, no qual, as diferenças na formas são tomadas para inferência da importância e/ou intensidade relativa em diferentes condições de voçorocamento.

CROUCH & BLONG (1989:292) apontam que as vertentes de formas erosivas são modificadas por forças impostas pela água corrente, pelo impacto das gostas de chuva e pela gravidade para produzir formas características dependentes da resposta do solo.

Sendo assim, várias formas de voçorocas associadas a processos específicos têm sido previamente descritas, tais como:

a) vertentes produzidas por movimentos de massas após cada deslizamento em função da saturação da base do solo (BRADFORD & PIEST, 1977 apud CROUCH & BLONG, 1989:292), ou solapamento do solo a partir da base da vertente pelo escoamento da drenagem no interior do canal;

b) pilares, catedrais, ou vertentes ravinadas provocadas pelo impacto das gotas de chuva e carreamento de solos susceptíveis (CHARMAN 1969, VENESS 1980, LINDQUIST 1980 apud CROUCH & BLONG, 1989:292);

c) subsidência ou vertentes com túneis causados pelo movimento da água subterrânea e dispersibilidade do solo (HEED 1971, CROUCH *et al.* 1986 apud CROUCH & BLONG, 1989:292);

d) vertentes declivosas formadas pelo escoamento concentrado das águas pluviais, rastejamento e desenvolvimento da drenagem (SCHUMM 1956, ENGELEN, 1973 apud CROUCH & BLONG, 1989:292).

A classificação das formas supracitadas propõe quatro níveis de caracterização, a saber:

1) Atividade erosiva em vertentes segundo a área de cobertura vegetal

Processos de deslizamento e remoção de solo em superfícies declivosas estão relacionados com a área de cobertura vegetal do solo, sendo que, muitos estudos identificaram que 20% de cobertura vegetal tem sido estabelecido como um mínimo crítico abaixo do qual as taxas de erosão aumentam fracamente, e 70% é estabelecido como um máximo sobre o qual as taxas decrescem fracamente (NOBLE, 1965, LANG & MCFFREY, 1984 apud CROUCH & BLONG, 1989:292). Assim, três categorias de atividade erosiva em vertentes são apresentadas no quadro 04.

Quadro 04 – Categorias de atividade erosiva em vertentes segundo a % de cobertura vegetal

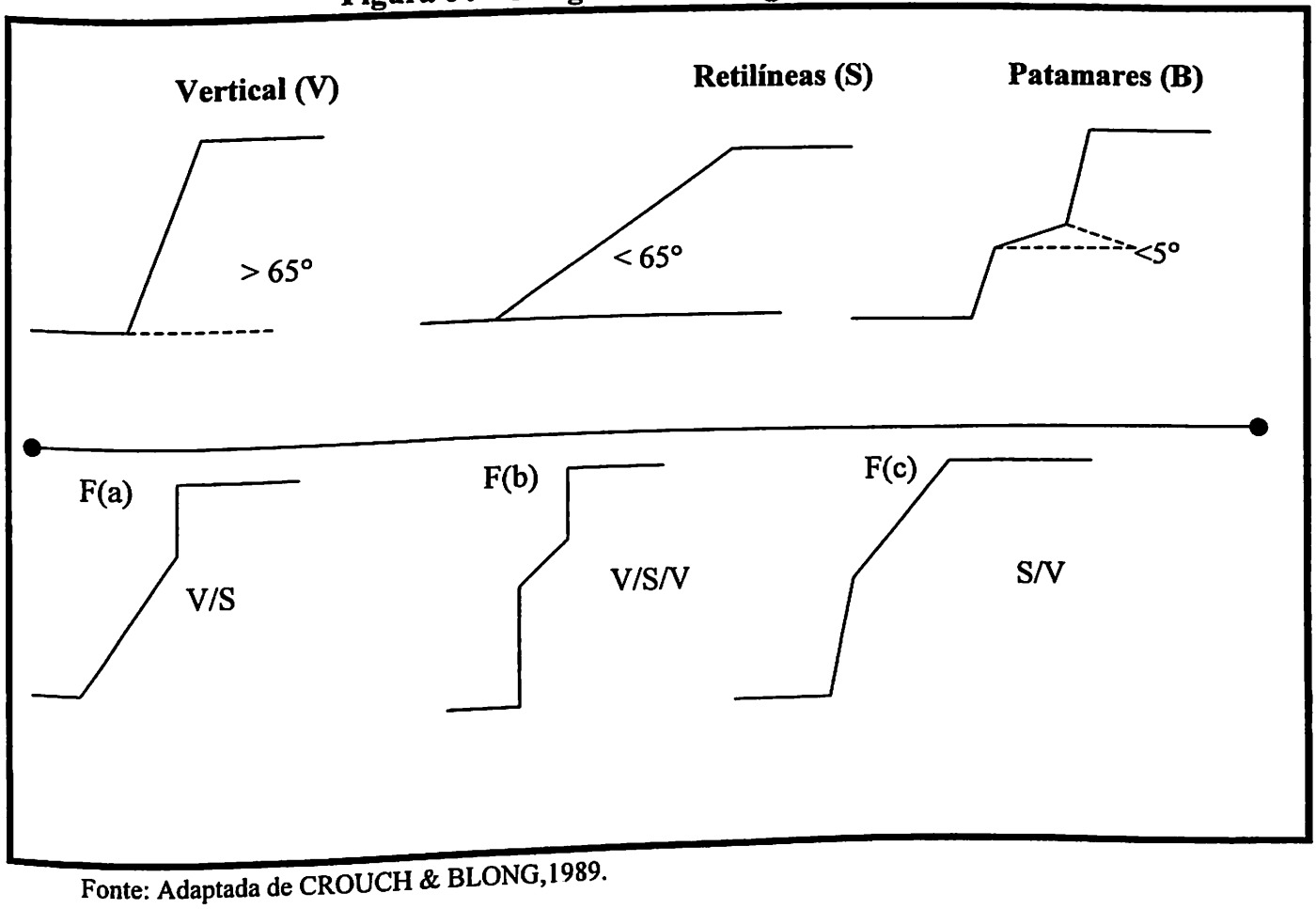
Abreviatura	Estado	Porcentagem da cobertura vegetal
A	Ativa	< 20% de cobertura vegetal
AS	Semi-Ativa	20 – 70% de cobertura vegetal
E	Estável	> 70% de cobertura vegetal

Fonte: Adaptada de CROUCH & BLONG, 1989.

2) Morfologia da vertente

Aqui, são considerados os perfis de vertentes – neste caso, são descritas duas formas dimensionais ao longo de planos verticais (YONG 1972 apud CROUCH & BLONG, 1989). Como sugerido recentemente, a formas dos perfis são uma função dos processos de modelagem passados e presentes da vertente, as quais, são classificadas e apresentadas na figura 04 .

Figura 04 - Categorias morfológicas de vertentes



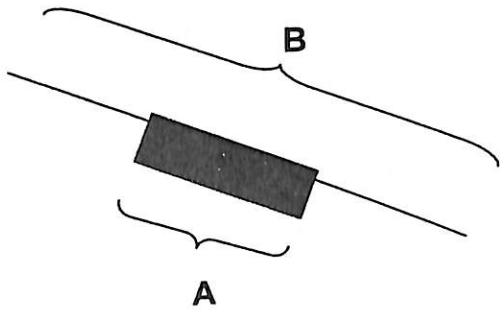
Fonte: Adaptada de CROUCH & BLONG,1989.

3) Processos dominantes na vertente

Voçorocas exibem feições que são desenvolvidas em resposta a grupos de eventos incidentes sobre um solo com propriedades específicas. Sendo assim, a classificação destas feições permite analisar segmentos da vertente que apresentem as mesmas, ou mesmo, características/feições similares. Tais características das formas da vertente podem indicar quais os processos que estão atuando no processo de voçorocamento, como por exemplo, estriamentos, paredes falhadas por deslizamento e escorregamento circular, caveamento devido ao solo saturado, rebaixamento por fluxos internos à vertente e formação de canais, os quais, vão sendo preenchidos pelo volume de sedimentos deslocado em fluxos concentrados em função dos eventos de deslizamentos na vertente.

Foram definidos 8 estágios no processo de estriamento/ravinamento foram por VENESS (1980 apud CROUCH & BLONG, 1989:294). Porém, nesta proposta, estes são resumidos como estriado/ravinado, parcialmente preenchidas e estrias rebaixadas. BLONG (1985 apud CROUCH & BLONG, 1989) apontou que a erosão por ravinamento, provavelmente, varia em proporção à área superficial exposta. Isto pode ser melhor avaliado em termos da razão de crenulação (extensão da vertente ignorando saliências menores que 0,15 m), a qual, está representada na figura 05. Conseqüentemente, o ravinamento pode ser definido como fraco, moderado e forte em função da razão do espaçamento de cada saliência (estria).

Figura 05 – Razão de Crenulação



A = extensão da ravina

B = extensão da vertente

$= \frac{A}{B}$ = Razão de Crenulação

Fonte: Adaptada de CROUCH & BLONG, 1989.

As vertentes com declividades acentuadas geralmente superam ângulos estáveis para retenção de solos saturados. Além disso, temos que, a saturação que se faz presente em um determinado ponto da vertente ou em um horizonte de solo, comumente resulta em formação de sulcos. Para esta classificação, a infiltração foi separada em difusa (ou no horizonte) e infiltração concentrada.

Os processos dominantes na vertente estão resumidos no quadro 05.

Quadro 05 – Processos dominantes nas vertentes

Símbolo	Definição
Sulco	
Fw	Fraca crenulação – razão 1:1,5
Fm	Moderada crenulação – razão 1:1,5-3,0
Fs	Forte crenulação – razão 1:>3,0
Fp	Parcialmente drenada (0-50 %)
Fd	Drenada (50-90 %)
Falhas na encosta	
Wt	Desmoronamento (talude vertical e blocos caídos)
Wc	Escorregamento circular
Ws	Bloco deslizado
Wf	Queda de solo
Infiltração	
Sd1	Difusa – Horizonte A2
Sd2	Parte inferior do horizonte A2 (profundidade em m)
Sc1	Concentrada – horizonte A2
Sc2	Parte inferior do horizonte A2 (profundidade em m)
Quedas d'água	
Ov	Talude vertical, saltando do topo
Ou	Minando (por mais que 0,15m)
Os	Canal de escoamento
Oc	Cava desenvolvida em uma camada de solo

Fonte: Adaptada de CROUCH & BLONG, 1989.

4) Feições Especiais do Processo Erosivo

As feições especiais apresentadas por CROUCH & BLONG, (1989) são, geralmente, encontradas nas feições erosivas pesquisadas no Leste da Austrália, as quais, estão listadas no quadro 06.

Quadro 06 – Feições Especiais do Processo Erosivo

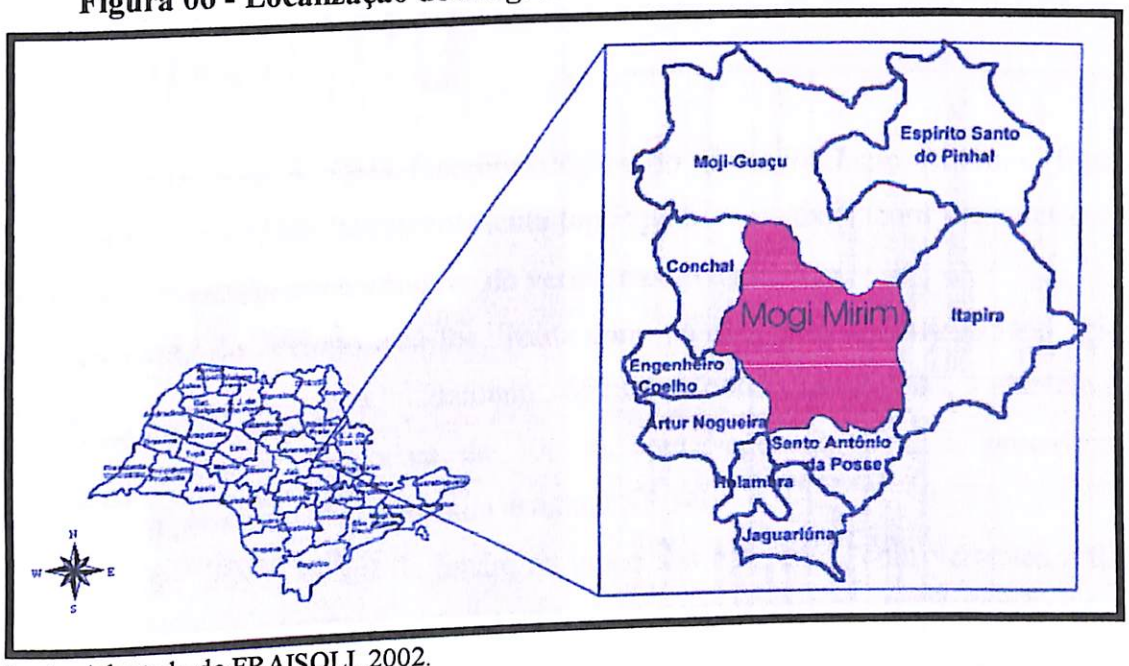
Afloramentos Rochosos
Incisões Lineares (canais)
Vestígios de Animais
Sulcos Principais
Canais (> 0,1 m de diâmetro com evidência de fluxo d'água)
Cavidades (> de 0,2 m de diâmetro)
Rachaduras no topo das vertentes (> que 0,15 metros)
Picos Esculpidos (> 0,3 metros de altura)
Blocos caídos
Canais escavados na vertente
Ilhas
Maiores sulcos estriados

Fonte: Adaptada de CROUCH & BLONG, 1989.

Capítulo 3 – Caracterização da área de Estudo

O município de Mogi Mirim (SP) (figura 10) está situado entre as coordenadas 22° 25' 54" de latitude Sul e 46° 56' 58" de longitude, distando 54 km de Campinas (SP) e 180 km de São Paulo (SP). Possui uma área de cerca de 463 km², com altitude média de 611 m. O município está situado no domínio geomorfológico da Depressão Periférica Paulista, mais precisamente, na Depressão de Mogi Guaçu.

Figura 06 - Localização de Mogi Mirim no Estado de São Paulo



Fonte: Adaptado de FRAISOLI, 2002.

3.1 – Caracterização da Bacia do Córrego Santo Antônio

A bacia hidrográfica do Córrego Santo Antônio faz parte da bacia hidrográfica do Rio Mogi Mirim, afluente do Rio Mogi Guaçu. O Córrego encontra-se situado entre as coordenadas 22° 27' 30" de latitude sul e 47° 00' 00" de longitude oeste de Greenwich e 22° 25' 00" de latitude sul e 47 00' 00" longitude oeste de Greenwich, dentro do perímetro urbano do município de Mogi Mirim (SP) (figura 07, p.47).

De acordo com o Mapa de Uso e Ocupação do Solo (figura 08, p.48), o Córrego Santo Antônio tem suas nascentes localizadas em áreas de uso agrícola, as quais, apresentam grande diversidade de culturas, como por exemplo: cana-de-açúcar, citricultura, fruticultura, etc. No médio curso, seguindo em direção a foz, o Córrego passa por áreas pouco ocupadas nas vertentes com face norte do curso, áreas densamente ocupadas ao sul do curso, onde, o uso do solo está sendo, predominantemente, para moradia e, mais recentemente, para a instalação do comércio de autopeças e atendimento automotivo. Ao norte da bacia está localizada a voçoroca que é objeto de estudo deste trabalho, a qual, segundo a informação de moradores do município, teve origem antes mesmo do processo de ocupação desta localidade.

3.2 - Geomorfologia[3]

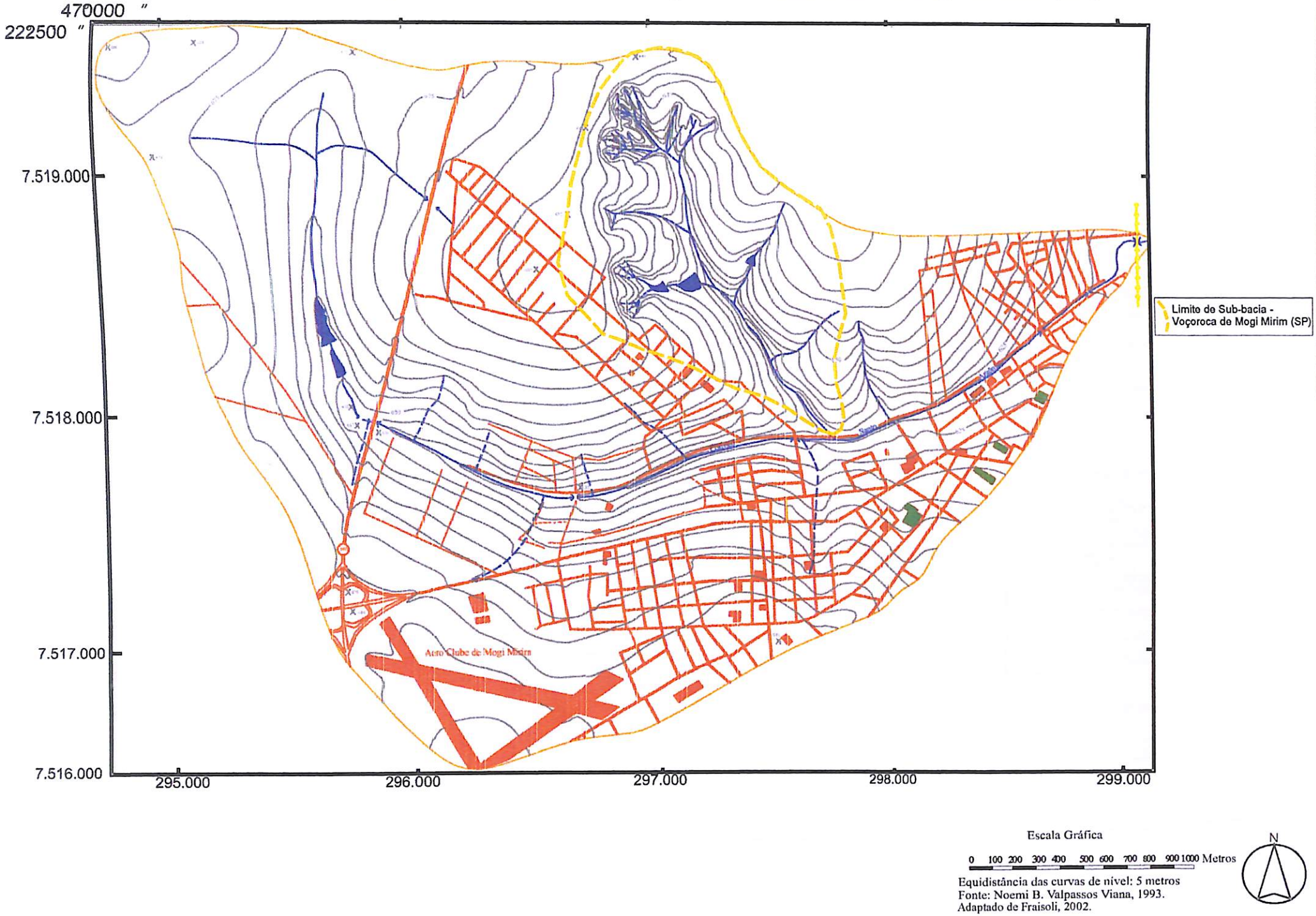
De acordo com a Carta Geomorfológica do Córrego Santo Antônio (figura 09, p.49), temos que, o seu alto curso apresenta topos plano-convexos, com vertentes côncavas e convexas que fazem contato côncavo de vertente com a planície.

A nascente do córrego está localizada entre as coordenadas 23K 295468, 7519126 UTM, a uma altitude de, aproximadamente, 667 m. A norte das represas, a planície fluvial apresenta uma extensão de cerca de 300 m com vegetação a qual, posteriormente, desaparece até a proximidade da estrada estadual SP 340.

No médio curso, ao sul da bacia, os topos são convexos, com vertentes retilíneas, côncavas e convexas, que fazem contato côncavo de vertente com a planície. Nessa área são encontrados ressaltos topográficos e sulcos erosivos, principalmente próximos ao aeroclube da cidade e em outras áreas urbanizadas. Ao norte da bacia está localizada a voçoroca, com uma área de cerca de 1,234 km². Nessa área encontram-se topos convexos, com vertentes côncavas e convexas, além de sulcos erosivos e processos de ravinamento.

[3] As características físicas da Bacia do Córrego Santo Antônio foram obtidas dos trabalhos cartográficos de VIANA (1993) e em trabalhos de campo realizados durante a pesquisa.

Figura 07 - Mapa Topográfico - Bacia do Córrego Santo Antônio - Mogi Mirim (SP)



Equidistância das curvas de nível: 5 metros
Fonte: Noemi B. Valpassos Viana, 1993.
Adaptado de Fraisoli, 2002.

Figura 08 - Carta de Uso e Ocupação do Solo - Bacia do Córrego Santo Antônio - Mogi Mirim (SP)

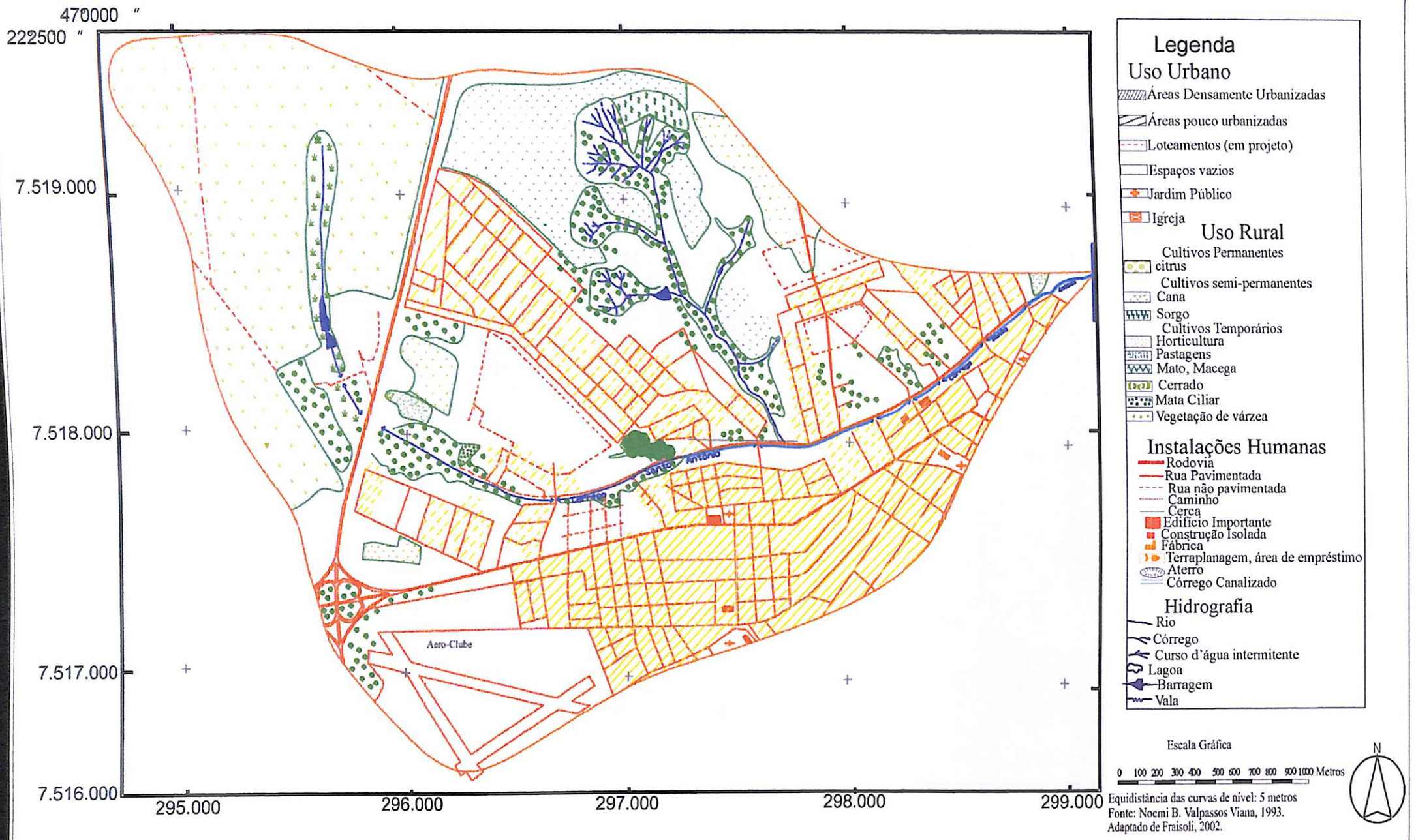
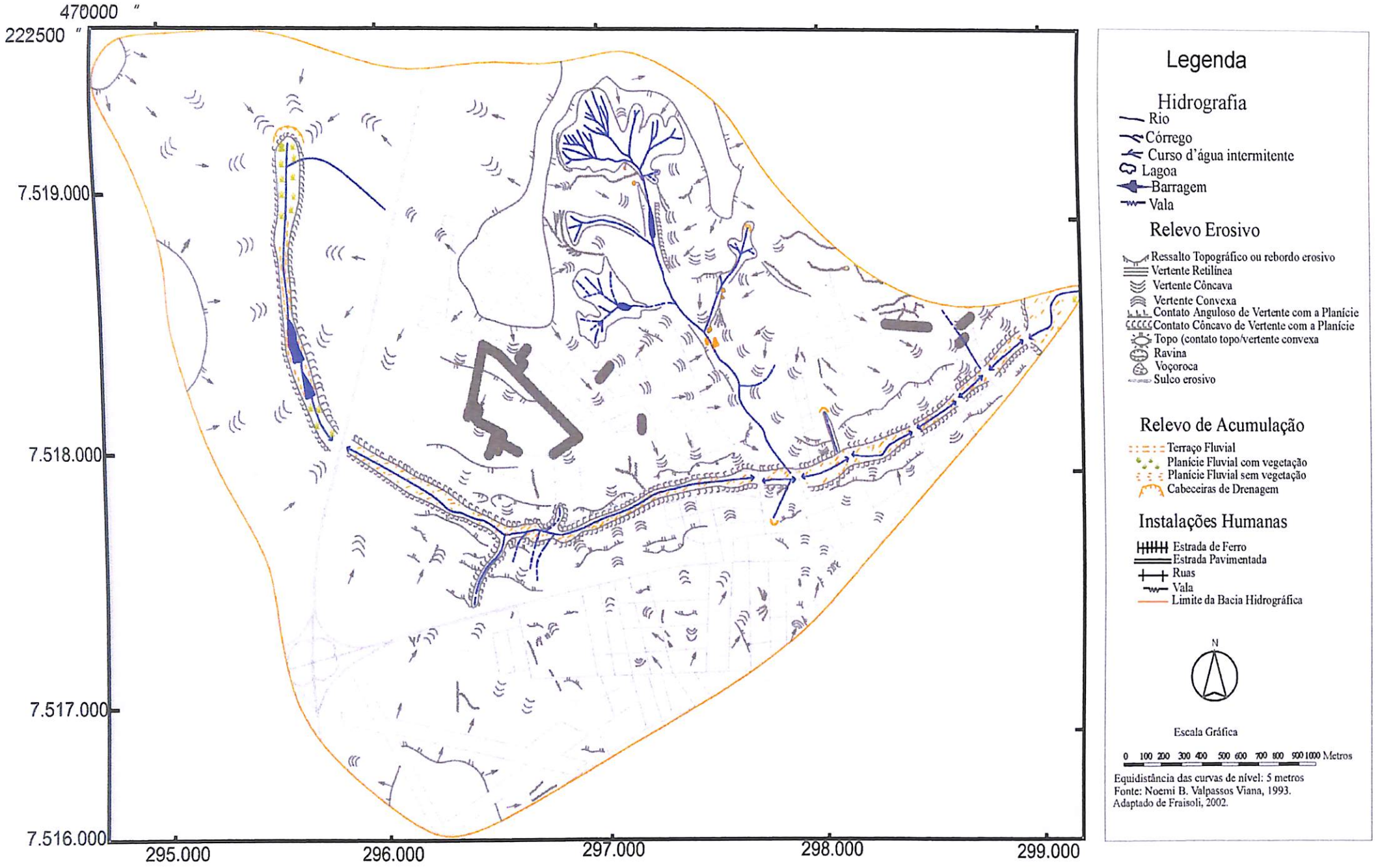


Figura 09 - Carta Geomorfológica da Bacia do Córrego Santo Antônio - Mogi Mirim (SP)



Com relação aos tipos de solos encontrados e sua distribuição, temos que, segundo a carta geopedológica (figura 10, p.51), à jusante da bacia, o solo encontrado é o latossolo vermelho distrófico ou álido, com A moderado e textura argilosa ou muito argilosa, constituindo a Unidade Barão Geraldo. À montante, os solos encontrados na voçoroca foram os Latossolos Vermelho – Amarelo, distrófico ou álido, com textura média, constituinte da unidade Laranja Azeda.

No baixo curso as vertentes de ambos os lados são côncava – convexas. As formas predominantes são os vales com ocorrência de várzeas e níveis de terraço amplos e descontínuos, no vale principal e menos desenvolvido nos cursos d'água secundários. Os vales são em calha com encaixamento entre os terraços.

Os solos encontrados são os Latossolos Vermelho – Amarelo, distrófico ou álido com A húmico, textura média ou argilosa leve, constituinte da Unidade Camarguinho.

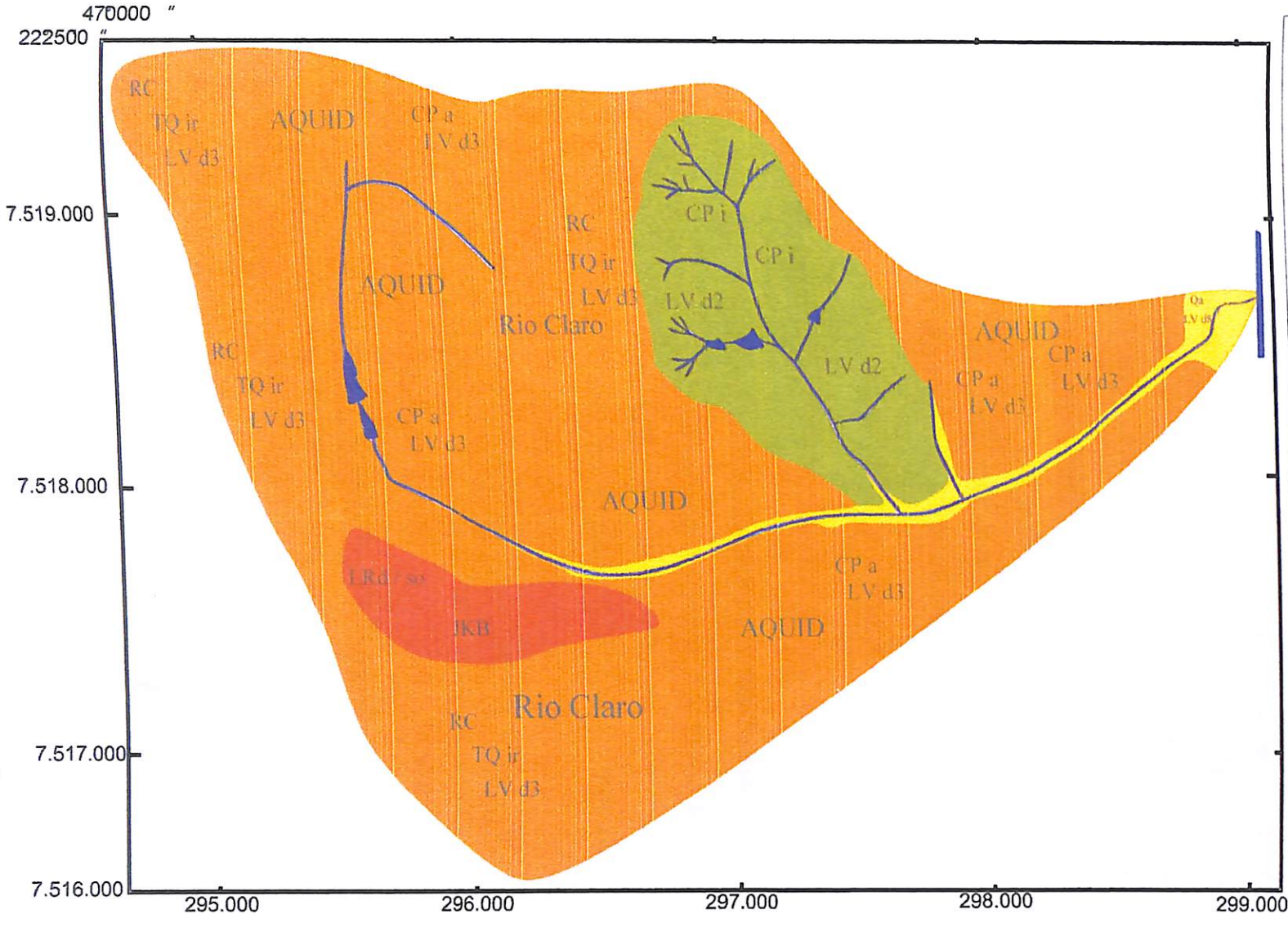
3.3 – Geologia

A Bacia Hidrográfica do Córrego Santo Antônio, segundo o Mapa Geopedológico (figura 10, p.51), é constituída de três formações geológicas principais: Sub-Grupo Itararé (CPi), Formação Aquidauna (CPa) e Formação Rio Claro (depósitos correlatos – TQir).

Nas áreas de nascentes predominam as formações Aquidauana do Permo-Carbonífero e a Rio Claro referente ao Plio-Pleistoceno, com sedimentos correlatos, areias com matriz argilosa e cascalho de limonita e quartzo na base e deposição coluvial de espigão, mantendo esse padrão por quase toda a bacia.

A Formação Rio Claro foi definida por BJÖNBERG & LANDIM (1966 apud Mapa Geológico do Estado de São Paulo, IPT, 1981), a partir da investigação efetuada numa área de 13.000 km² entre os rios Piracicaba e Pardo. Aí reconheceram três níveis capeados por sedimentos de diferentes espessuras: um mais elevado, a 900 – 1000 metros de altitude, um intermediário, a 800 – 900 metros e um inferior, a 600 – 800 metros, sendo que, aos sedimentos correspondentes a este último nível, propuseram a designação de Formação Rio Claro.

Figura 10 - Carta Geopedológica da Bacia do Córrego Santo Antônio - Mogi Mirim (SP)



LEGENDA

Hidrografia

Rio
Córrego
Curso d'água intermitente
Lagoa
Barragem
Vala

Convenções Litoestratigráficas

FANEROZÓICO

Cenozóico — Quaternário

Sedimentos inconsolidados - Areias de granulometria variada, silte e argila, em aluviões atuais, relacionados às planícies de inundação.

Sedimentos correlatos à Formação Rio Claro - Areias com matriz argilosa e cascalho de limonita e quartzo na base, de deposição coluvial de espigão.

Mesozóico — Terciário

Paleozóico — Jurássico sup e Cretácio sup — Quaternário — Permo-Carbonífero

Intrusivas Basálticas - "sills" e diques em geral de composição básica, incluindo diabásio, dionto pórfiro, monzonito pórfiro, andezito pórfiro, traquiandezito, gabro e lamprófiro.

Sub-Grupo Itararé — Formação Aquidauana

i- arenitos finos e grossos, siltitos, diamictito;

a- arenitos e argilitos, cor vermelha.

Convenções Geológicas

Contato Geológico Definido

Contato Geológico Aproximado

Fonte: IPT - Carta Geológica do Estado de São Paulo
Folha Mogi Guaçu SF-23-Y-A-III-3.Escala 1:50.000 - 1985.

PEDOLOGIA

LRd- Latossolo Vermelho distrófico ou álido, A moderado, textura argilosa ou muito argilosa. Unidade Barão Geraldo.

LRd- Latossolo Vermelho-Amarelo, distrófico ou álido, A moderado, textura média. Unidade Laranja Azeda.

LVd3- Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico ou álido, A moderado,textura argilosa leve. Unidade Mato Dentro.

LVd8- Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico ou álido, A húmico,textura média ou argilosa leve. Unidade Camarguinho.

Fonte: IAC - Campinas. Carta Semi-Detalhada do Estado de São Paulo. Quadrícola Mogi Mirim (1992). Escala 1:100.000

Escala Gráfica

0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 Metros

N

Equidistância das curvas de nível: 5 metros
Fonte: Noemi B. Valpassos Viana, 1993.
Adaptado de Fraisoli, 2002.

Litologicamente, BJÖNBERG & LANDIM (*op. cit.*) caracterizam a Formação Rio Claro como constituída por sedimentos predominantemente areníticos, por vezes conglomerátidos, com lâminas e leitos de argilas subordinados, com até 30 metros de espessura.

A Formação do Sub-Grupo Itararé é formada por arenitos finos e grossos, siltitos e diamictitos, intrusões basálticas (Jurássico/Cretáceo superior) com "sills" e "diques" de constituição básica, sedimentos inconsolidados, com areias de granulometria variada, silte e argila, relacionados às planícies de inundação constituem a área em que se desenvolveu a voçoroca.

Os diamictitos são os componentes mais característicos da Formação Itararé, estando direta ou indiretamente ligados aos processos glaciais. Constituem corpos de formas e dimensões variadas, com espessuras de metros a várias dezenas, senão mais de uma centena de metros. Compõem-se de clastos de diversas litologias, formas e dimensões, caoticamente dispersos em matriz abundante.

Os clastos constituem-se em maior parte de granitos, gnaisses, migmatitos e quartzitos, mas também de grande variedade de outras rochas do embasamento, podendo ainda ocorrer clastos (subcentimétricos a decimétricos) e megaclastos (métricos) de arenito e siltito.

3.4 –Caracterização Climática

Com base no Relatório Zero do Comitê de Bacias do Estado de São Paulo – Bacia do Rio Mogi Guaçu (1999), quanto ao clima, segundo o Sistema Internacional de Köeppen, o Município de Mogi Mirim (SP) apresenta clima mesotérmico de inverno seco em que a temperatura média do mês mais frio é inferior a 18°C e a do mês mais quente ultrapassa 22°C.

O total de chuvas do mês mais seco não ultrapassa 30 mm. O índice pluviométrico desse tipo climático varia entre 1100 mm e 1700 mm diminuindo a precipitação de leste para oeste.

A estação seca nessa região ocorre nos meses de abril a setembro, sendo julho o mês em que atinge a máxima intensidade. O mês mais chuvoso oscila entre janeiro e fevereiro. A temperatura do mês mais quente oscila entre 22°C e 24°C.

3.5 – Caracterização Pluviométrica

Para a caracterização climática do Município de Mogi Mirim utilizaram-se os dados pluviométricos dos postos: D3 009 – Martin Francisco, D3 033 – Horto Florestal, D3 008 – Mogi Mirim e D3 004 – Usina Esmeralda. Foi escolhido para o estudo dos índices pluviométricos da bacia o período de 1967 a 1997.

A partir dos dados obtidos foram calculadas médias mensais entre os postos e, posteriormente, foram calculadas as médias anuais para o período de 1967 – 1997 para cada posto (quadro 07, p.54).

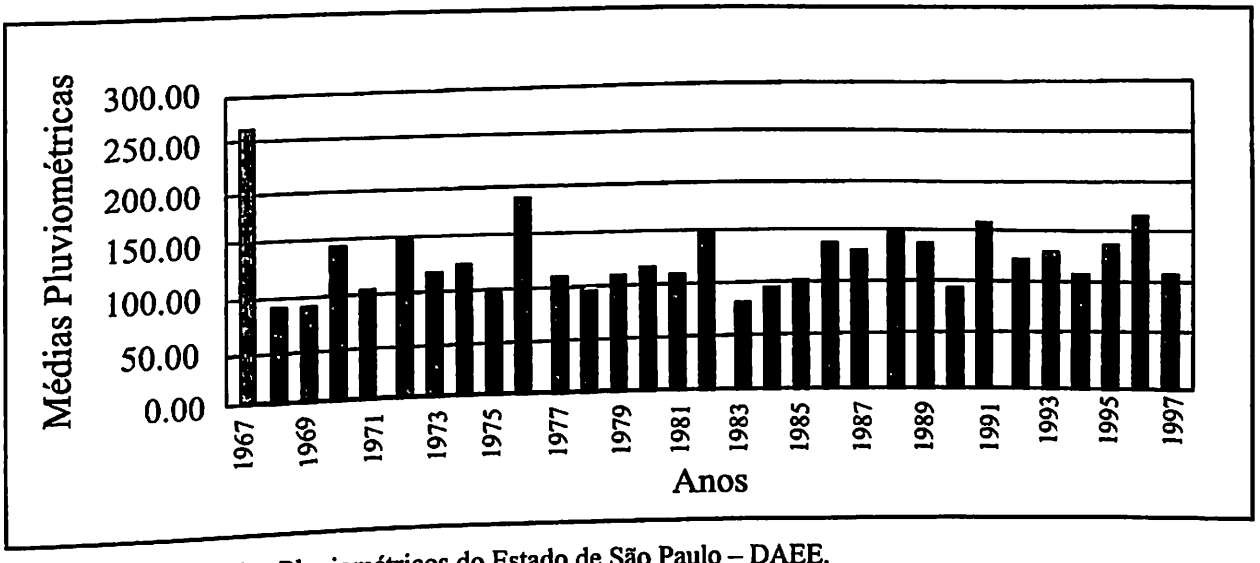
Quadro 07 – Médias Anuais Pluviométricas para a Bacia do Córrego Santo Antônio – Mogi Mirim (SP), período de 1967 a 1997.

Anos	Médias Anuais (mm)
1967	263.66
1968	91.58
1969	91.65
1970	144.86
1971	103.53
1972	153.47
1973	116.36
1974	125.77
1975	98.43
1976	184.94
1977	111.28
1978	98.36
1979	110.07
1980	116.03
1981	110.54
1982	153.12
1983	80.38
1984	94.81
1985	103.13
1986	134.21
1987	129.41
1988	149.04
1989	131.81
1990	89.51
1991	157.19
1992	120.05
1993	127.99
1994	108.52
1995	133.23
1996	162.78
1997	105.66

Fonte: Banco de dados Pluviométricos do Estado de São Paulo – DAEE.

Baseado nos valores encontrados para as médias pluviométricas mensais, foi construído um gráfico de índices pluviométricos para o período proposto (gráfico 01).

Gráfico 01 – Médias Pluviométricas Anuais para a Bacia do Córrego Santo Antônio-Mogi Mirim (SP) – 1967 a 1997



Fonte: Banco de dados Pluviométricos do Estado de São Paulo – DAEE.

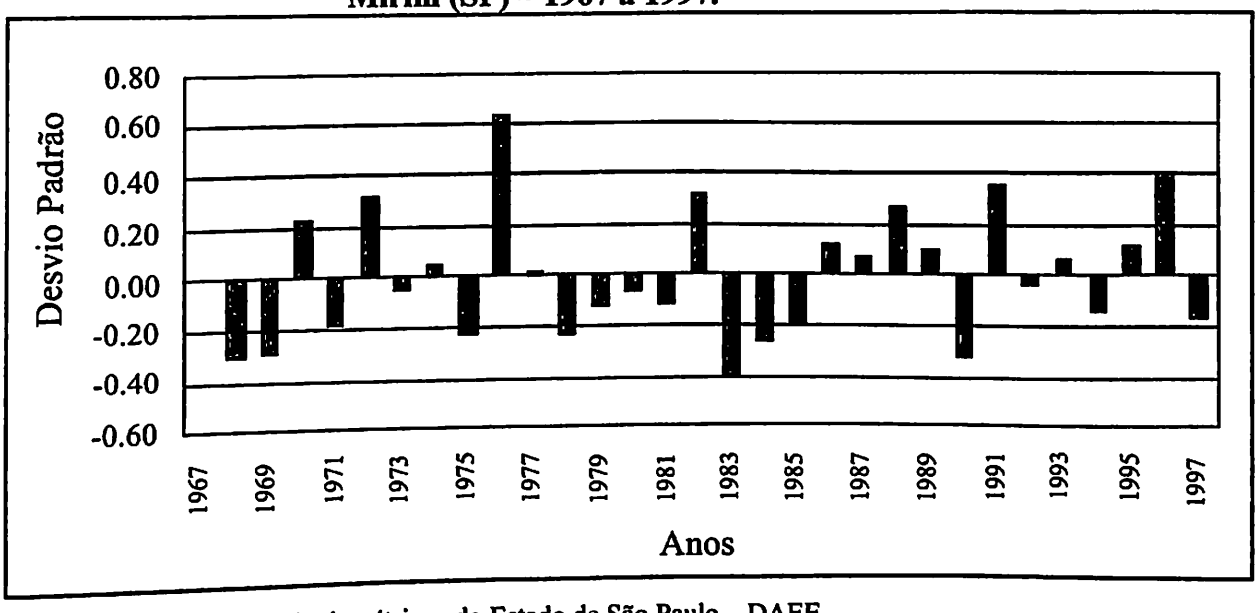
Assim, conforme demonstra o gráfico acima, podemos afirmar que os períodos de maior fenômeno pluviométrico se deram em 1967, com índices médios alcançando cerca de 250 mm/ano, 1972, com índices médios que quase alcançaram a marca de 200 mm/ano e 1982, 1991 e 1996 com índices anuais médios de cerca de 150 mm/ano.

Porém, como aponta TAVARES (1997), para melhor identificação de fenômenos extremos de chuva é necessário calcular o desvio padrão em torno da média, padronizando os dados de chuva por meio da fórmula:

$$Z = xi - MA/S$$

Onde **xi** é o valor de chuva registrado, **MA** é a média aritmética do período e **S** é o desvio padrão. Segundo TAVARES (1997), são considerados anos anômalos aqueles cujo **Z** afastam-se do valor zero, podendo ser uma anomalia positiva ou negativa conforme aponta o gráfico 02:

Gráfico 02 – Desvios Pluviais Anuais da Bacia do Córrego Santo Antônio – Mogi Mirim (SP) – 1967 a 1997.



Fonte: Banco de dados Pluviométricos do Estado de São Paulo – DAEE.

A partir da análise do gráfico acima, percebe-se que os anos de maior anomalia pluviométrica são os anos de 1976 e 1996, com os maiores índices de desvio padrão, apresentando anomalia positiva, ou seja, foram anos em que ocorreram elevadas precipitações. A maior parte dos índices representados pelo gráfico 02 apresentam desvios negativos alocados entre 0 e 0,4 , podendo ser considerados como anos úmidos. Também cabe ressaltar o ano de 1983, o qual, apresenta a maior anomalia negativa, ou seja, com tendência a períodos mais intensos de seca.

Capítulo 4 – Resultados e Análise

4.1 – Susceptibilidade erosiva do solo

LAL (1988:141-142), como ressaltado anteriormente no capítulo 02, aponta a textura do solo como um fator importante que influencia a erodibilidade afetando os processos de desagregação e transporte. Pois, enquanto grandes partículas de areia resistem ao transporte, e os solos de textura fina (argilosos) resistem à desagregação, temos que, a textura mais suscetível à desagregação e transporte é a areia fina e o silte.

Como mostrado no Mapa Geopedológico (figura 10, p.51), na área da voçoroca é encontrado, predominantemente, o Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico ou álico (A moderado, textura média. Unidade Laranja Azeda – LVd2), ou seja, o solo de textura média apresenta o teor de argila + silte maior ou igual a 15% e também o teor de argila não supera 35%.

PRADO (1995:4) caracteriza os solos de textura média como de baixa à moderada suscetibilidade à erosão.

Segundo BERTONI & LOMBARDI NETO (1990:89), os solos com B latossólico, de modo geral, são profundos e sem diferenciação estrutural acentuada entre os horizontes A e B, apresentando boa drenagem interna e, portanto, seus limites de tolerância de perdas de solo são mais elevados.

4.1 – Susceptibilidade erosiva do material rochoso

O material rochoso em que se desenvolveu a voçoroca é da Formação do Sub-Grupo Itararé, o qual, é constituído por arenitos finos e grossos, siltitos e diamictitos, sedimentos inconsolidados, com areias de granulometria variada, silte e argila, relacionados às planícies de inundação.

Os diamictitos são os componentes mais característicos da Formação Itararé, estando direta ou indiretamente ligados aos processos glaciais. Constituem corpos de formas e dimensões variadas, com espessuras de metros a várias dezenas, senão mais de

uma centena de metros. Compõem-se de clastos de diversas litologias, formas e dimensões, caoticamente dispersos em matriz abundante.

Os clastos constituem-se em maior parte de granitos, gnaisses, migmatitos e quartzitos, mas também de grande variedade de outras rochas do embasamento, podendo ainda ocorrer clastos (subcentimétricos a decimétricos) e megaclastos (métricos) de arenito e siltito.

Sendo assim, trata-se de um material friável e/ou de maior susceptibilidade à desagregação e ao transporte em função da heterogeneidade granulométrica de suas camadas. Conseqüentemente, sendo um elemento potencializador do desenvolvimento do processo de voçorocamento, o qual, conforme observado no mapa geopedológico (fig. 10, página 49), ocorre, predominantemente, na área de abrangência da Formação Itararé.

Além disso, segundo BERTONI & LOMBARDI (1990:77), quando o material do subsolo ou de horizontes mais profundos for mais resistente que o horizonte superficial, as voçorocas tendem a apresentar paredes em forma de "V", o que é observado nos perfis transversais 1, 2 e 3 (páginas 77, 78 e 79, respectivamente).

4.2 – Dados Morfométricos

As medições que caracterizam morfometricamente os segmentos (vertentes e patamares) encontrados nos três perfis transversais (figuras 11, 12 e 13) e no perfil longitudinal (figura 14) são apresentadas nas tabelas 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13, 14 e15:

Tabela 02 - Perfil Transversal 01 (A-B): Alto Curso da Voçoroca – Mogi Mirim (SP).

	Segmentos	Altura (metros)	Ângulo (graus)	Comprimento (metros)
Margem Direita	1	35,00	68°	54,70
	2	30,00	79°	50,80
	3	25,00	65°	55,80
	4	20,00	0°	6,50
	5	18,00	76°	51,00
	6	15,00	0°	23,00
	7	14,00	68°	12,50
	8	13,00	57°	46,00
	9	10,00	0°	5,00
	10	9,00	66°	40,50
	11	7,00	0°	15,00
	12	6,00	69°	35,50
	13	5,00	0°	30,00
	14	5,00	77°	50,00
			Total	476,30
Margem Esquerda	15	28,00	13°	41,00
	16	27,00	47°	30,00
	17	25,00	74°	103,00
	18	15,00	0°	65,00
	19	14,00	64°	54,50
	20	10,00	0°	69,00
	21	8,00	63°	53,40
	22	5,00	68°	40,00
	23	1,00	66°	11,40
			Total	467,30

Tabela 03 – Classes dos Comprimentos dos Segmentos -Perfil Transversal 01 (A-B): Alto Curso da Voçoroca – Mogi Mirim (SP).

Classes dos Segmentos (metros)	Número absoluto dos segmentos	Porcentagem (%)
10m - 25m	6	26,00
25m - 50m	8	35,00
50m - 75m	8	35,00
75m-100m	0	0,00
Maior que 100m	1	4,00
Total	23	100,00

Gráfico 03 - Classes dos Comprimentos dos Segmentos - Perfil Transversal 01 (A-B): Alto Curso da Voçoroca – Mogi Mirim (SP).

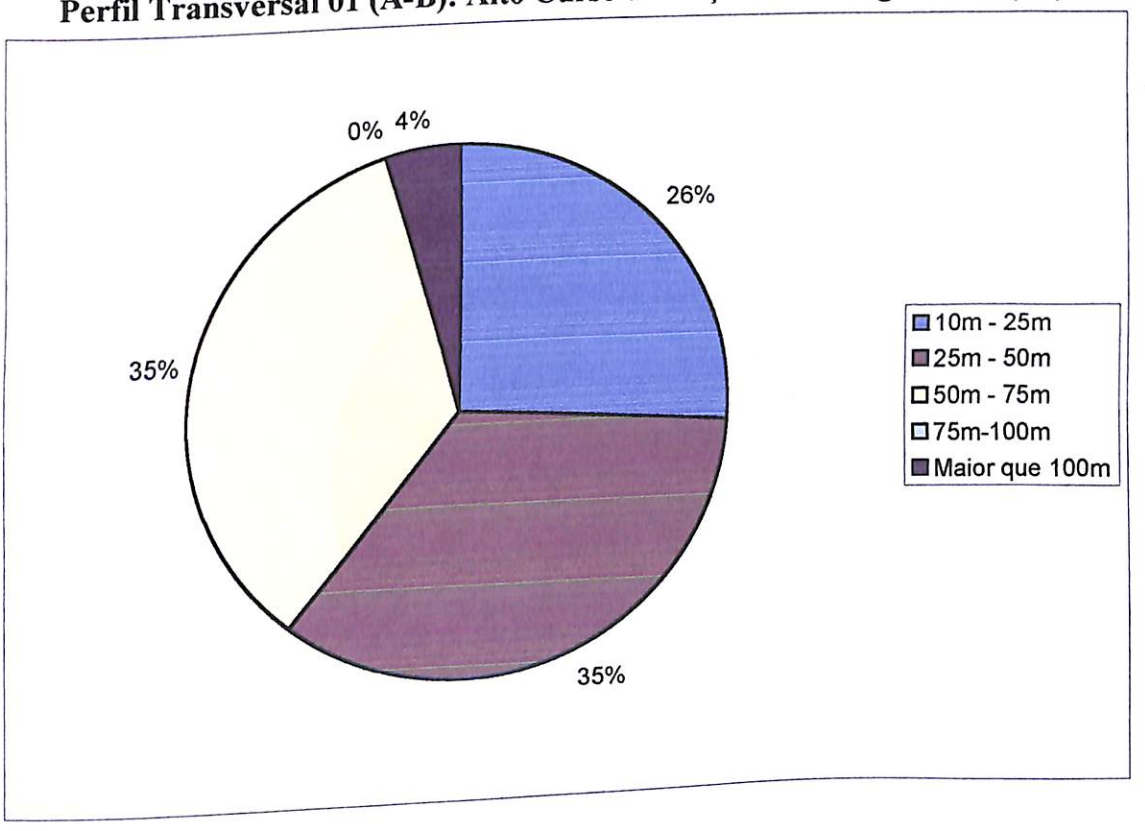


Tabela 04 – Classes de Declividade dos Segmentos - Perfil Transversal 01 (A-B): Alto Curso da Voçoroca – Mogi Mirim (SP).

Classes de ângulos (graus)	Número absoluto dos segmentos	Porcentagem (%)
0° - 15°	8	35,00
15° - 30°	0	0,00
30° - 50°	1	4,00
50° - 60°	1	4,00
60° - 70°	9	40,00
+ de 70°	4	17,00
Total	23	100,00

Gráfico 04 – Classes de Declividade dos Segmentos - Perfil Transversal 01 (A-B): Alto Curso da Voçoroca – Mogi Mirim (SP).

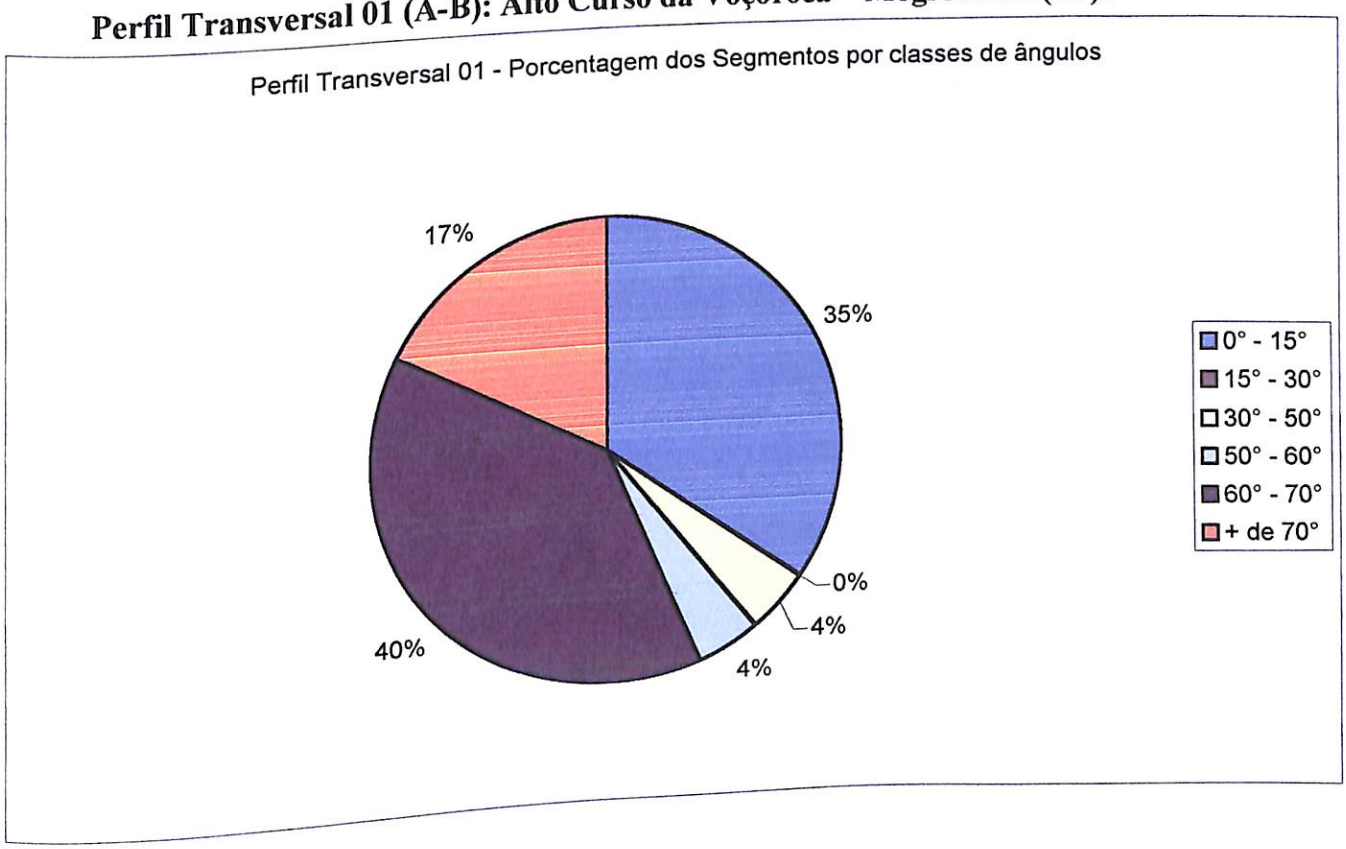


Tabela 05 – Declividade Média - Perfil Transversal 01 (A-B): Alto Curso da Voçoroca – Mogi Mirim (SP).

	Segmentos	Ângulo (graus)
Margem Direita	1	68°
	2	79°
	3	65°
	4	0°
	5	76°
	6	0°
	7	68°
	8	57°
	9	0°
	10	66°
	11	0°
	12	69°
	13	0°
	14	77°
Ângulo Médio (graus)		44,60°
Margem Esquerda	15	13°
	16	47°
	17	74°
	18	0°
	19	64°
	20	0°
	21	63°
	22	68°
	23	66°
Ângulo Médio (graus)		44,00°

Tabela 06 - Perfil Transversal 02 (C-D): Médio Curso da Voçoroca – Mogi Mirim (SP).

	Segmentos	Altura (metros)	Ângulos (graus)	Comprimento (metros)
Margem Direita	1	57	35°	85,00
	2	53	58°	114,00
	3	40	53°	61,00
	4	35	62°	59,00
	5	30	73°	53,50
	6	25	61°	55,00
	7	20	0°	55,00
	8	19	47°	67,00
	9	15	0°	65,00
	10	14	33°	86,00
	11	10	59°	58,00
	12	5	78°	48,00
			Total	806,50
Margem Esquerda	13	45	30°	53,50
	14	42	44°	73,50
	15	37	60°	59,70
	16	30	0°	35,00
	17	29	60°	58,50
	18	25	0°	42,00
	19	24	65°	55,00
	20	20	0°	27,00
	21	19	69°	27,00
	22	18	49°	35,00
	23	15	0°	47,00
	24	14	68°	52,60
	25	10	0°	35,00
	26	9	74°	27,60
	27	8	21°	26,00
	28	5	63°	76,00
			Total	730,40

Tabela 07 - Classes dos Comprimentos das vertentes e patamares - Perfil Transversal 02 (C-D): Médio Curso da Voçoroca – Mogi Mirim (SP).

Classes dos Comprimentos de Vertentes e Patamares (metros)	Número absoluto dos Segmentos	Porcentagem (%)
10m - 25m	7	25,00
25m - 50m	5	18,00
50m - 75m	12	42,00
75m-100m	3	11,00
Maior que 100m	1	4,00
Total	28	100,00

Gráfico 05 - Classes dos Comprimentos dos Segmentos - Perfil Transversal 02 (C-D): Médio Curso da Voçoroca – Mogi Mirim (SP).

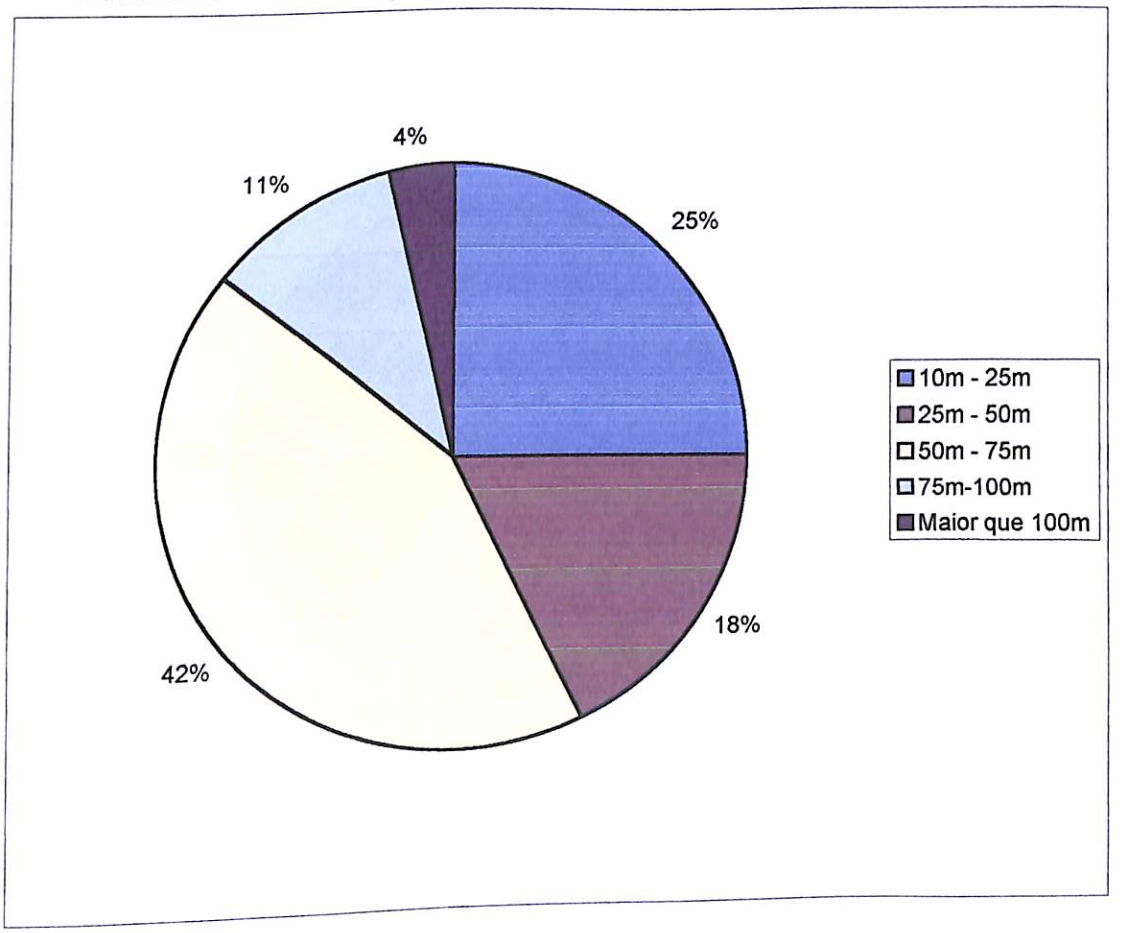


Tabela 08 - Classes de Declividade dos segmentos - Perfil Transversal 02 (C-D): Médio Curso da Voçoroca – Mogi Mirim (SP).

Classes de ângulos (graus)	Número absoluto de vertentes e patamares	Porcentagem (%)
0° - 15°	7	25,00
15° - 30°	1	4,00
30° - 50°	6	21,00
50° - 60°	3	11,00
60° - 70°	8	28,00
+ de 70°	3	11,00
Total	28	100,00

Gráfico 06 – Classes de Declividade dos segmentos - Perfil Transversal 02 (C-D): Médio Curso da Voçoroca – Mogi Mirim (SP).

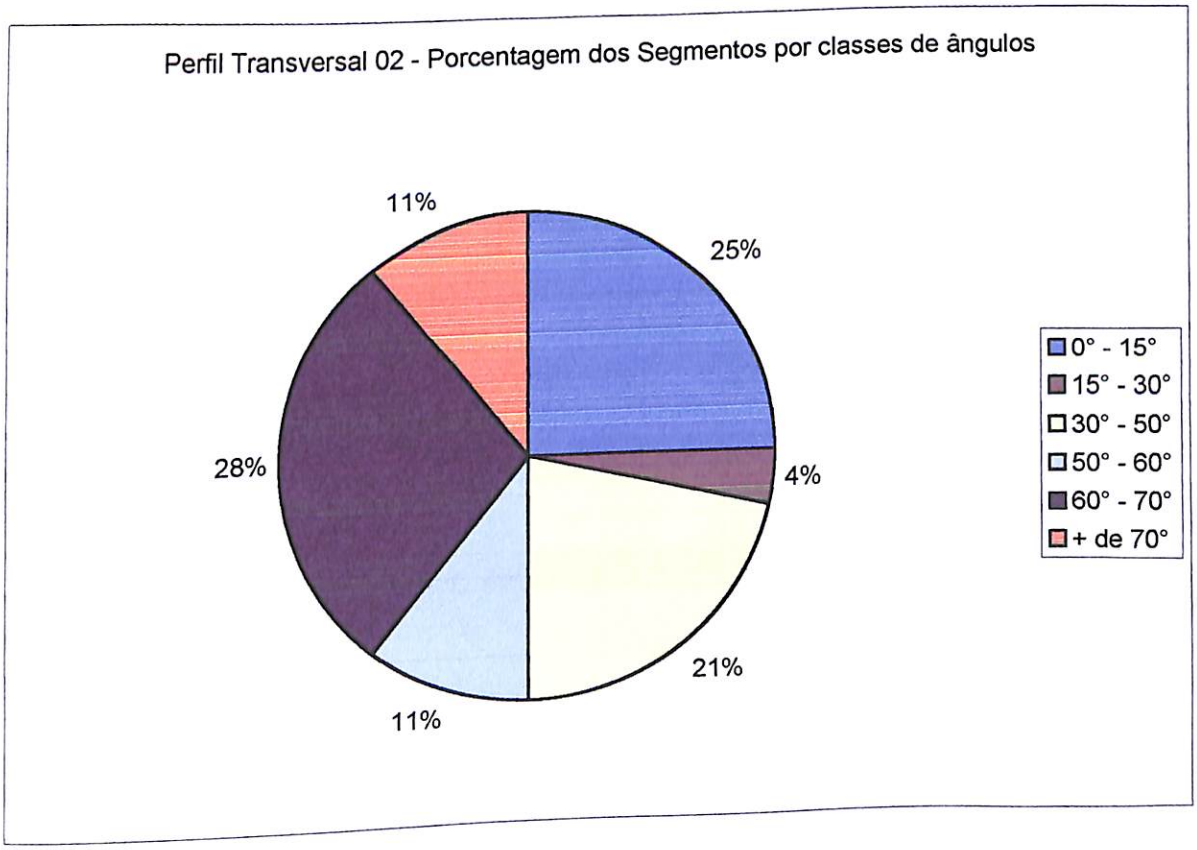


Tabela 09 – Declividade Média - Perfil Transversal 02 (C-D): Médio Curso da Voçoroca – Mogi Mirim (SP).

	Segmentos	Ângulos (graus)
Margem Direita	1	35°
	2	58°
	3	53°
	4	62°
	5	73°
	6	61°
	7	0
	8	47°
	9	0
	10	33°
	11	59°
	12	78°
Ângulo Médio (graus)		46°
Margem Esquerda	11	30°
	12	44°
	13	60°
	14	0
	15	60°
	16	0
	17	65°
	18	0
	19	69°
	20	49°
	21	0
	22	68°
	23	0
	24	74°
	25	21°
	26	63°
	27	30°
	28	44°
Ângulo Médio (graus)		36°

Tabela 10 - Perfil Transversal 03 (E-F): Baixo Curso da Voçoroca – Mogi Mirim (SP).

	Segmentos	Altura (metros)	Ângulos (graus)	Comprimento (metros)
Margem Direita	1	33	10°	143,00
	2	30	45°	71,70
	3	25	38°	79,00
	4	20	48°	64,00
	5	15	67°	56,00
	6	10	53°	62,00
	7	5	76°	51,00
			Total	526,70
Margem Esquerda	8	42	27°	134,50
	9	37	47°	13,00
	10	35	32°	92,50
	11	30	57°	59,00
	12	25	66°	60,00
	13	20	0°	14,00
	14	19	57°	58,00
	15	15	0°	28,00
	16	13	53°	58,00
	17	10	0°	23,00
	18	8	47°	70,00
	19	5	56°	59,00
			Total	669,00

Tabela 11 – Classes dos comprimentos de rampas - Perfil Transversal 03 (E-F): Baixo Curso da Voçoroca – Mogi Mirim (SP).

Classes dos Comprimentos dos segmentos (metros)	Número absoluto de vertentes e patamares	Porcentagem (%)
10m - 25m	2	11,00
25m - 50m	2	11,00
50m - 75m	11	57,00
75m-100m	2	11,00
Maior que 100m	2	11,00
Total	19	100,00

Gráfico 07 - Classes dos Comprimentos dos segmentos - Perfil Transversal 03 (E-F): Baixo Curso da Voçoroca – Mogi Mirim (SP).

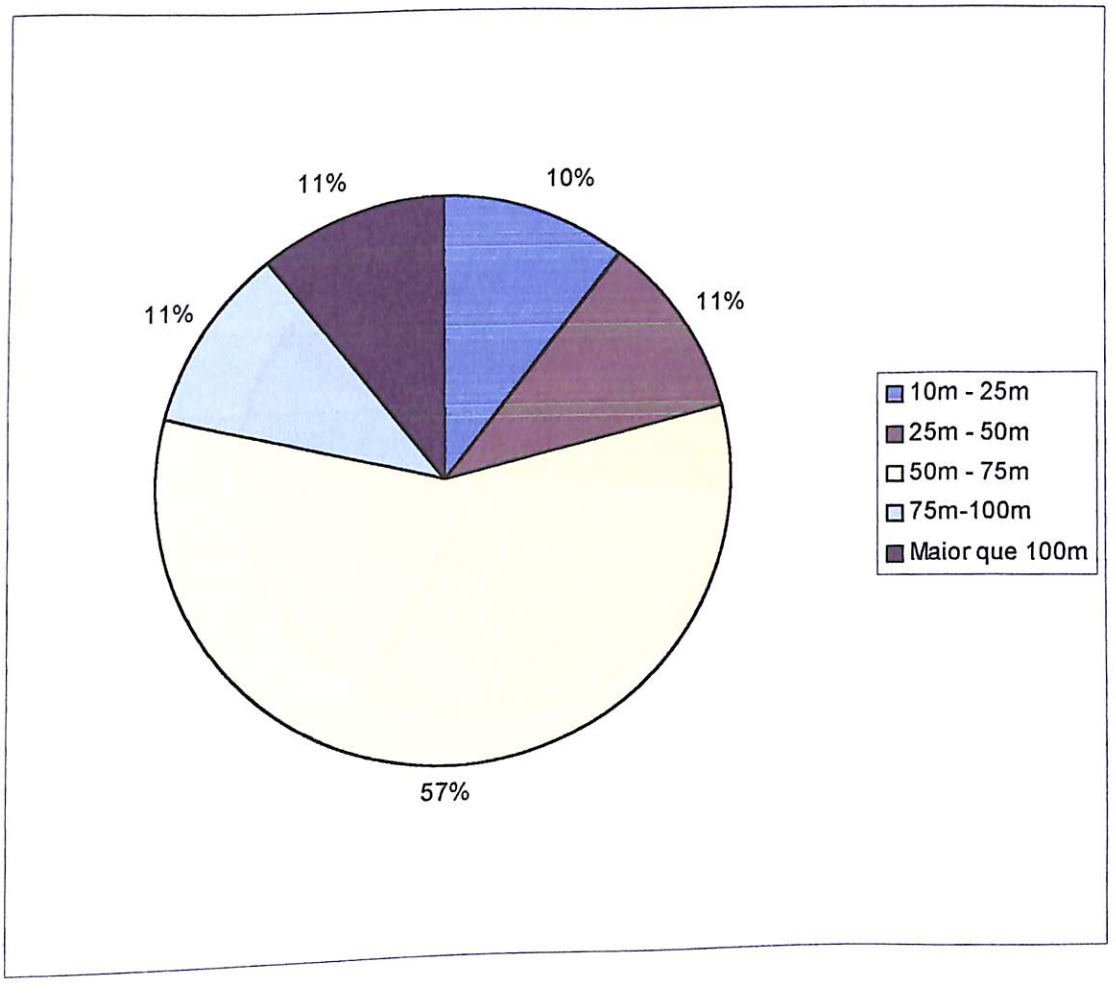


Tabela 12 – Classes de Declividade dos segmentos - Perfil Transversal 03 (E-F): Baixo Curso da Voçoroca – Mogi Mirim (SP).

Classes de ângulos (graus)	Número absoluto dos segmentos	Porcentagem (%)
0° - 15°	4	6,00
15° - 30°	1	6,00
30° - 50°	6	38,00
50° - 60°	5	31,00
60° - 70°	2	13,00
+ de 70°	1	6,00
Total	19	100,00

Gráfico 08 – Classes de Ângulos de inclinação dos segmentos - Perfil Transversal 03 (E-F): Baixo Curso da Voçoroca – Mogi Mirim (SP).

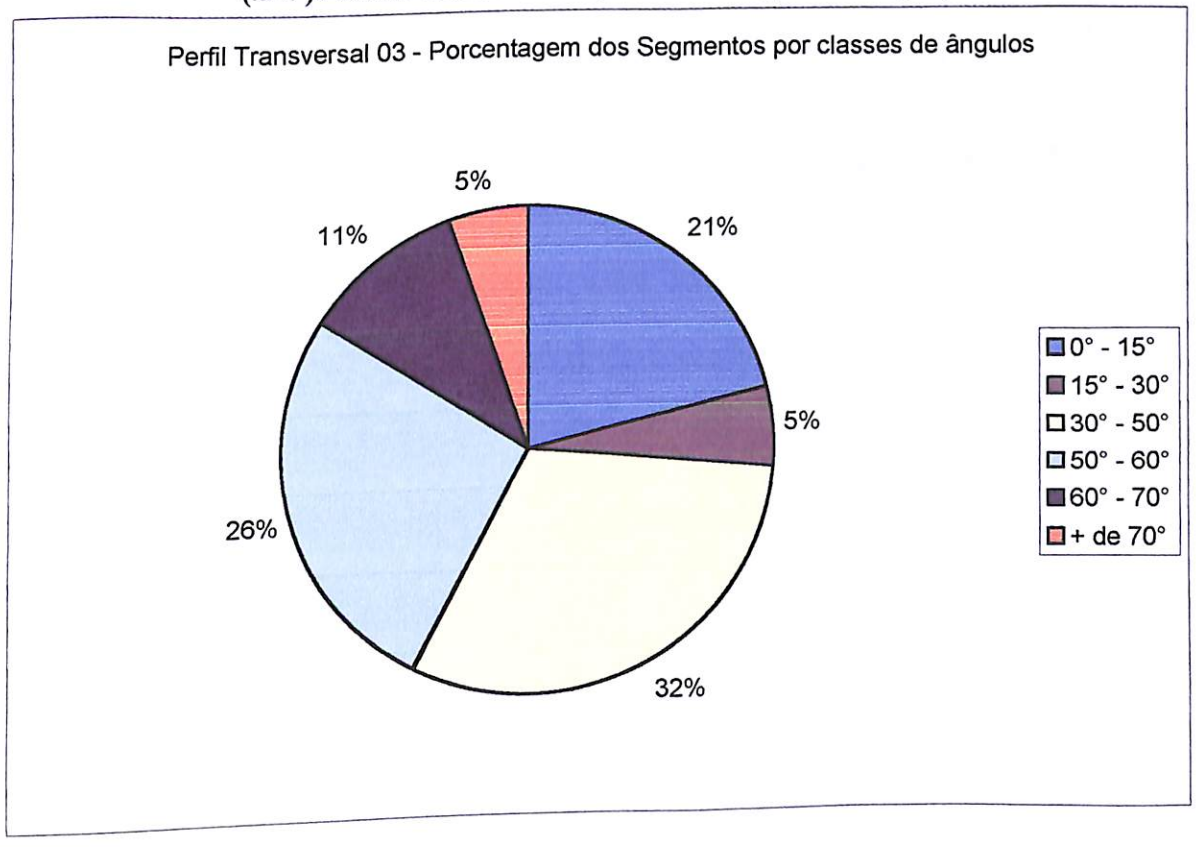


Tabela 13 – Declividade Média -Perfil Transversal 03 (E-F): Baixo Curso da Voçoroca – Mogi Mirim (SP).

	Segmentos	Ângulos (graus)
Margem Direita	1	10,00
	2	45,00
	3	38,00
	4	48,00
	5	67,00
	6	53,00
	7	76,00
Ângulo Médio (graus)		48,00
Margem Esquerda	8	47
	9	32
	10	57
	11	66
	12	0
	13	57
	14	0
	15	53
	16	0
	17	47
	18	56
	19	47
Ângulo Médio (graus)		37,7

A altura relativa, o comprimento e os ângulos dos patamares do perfil longitudinal (figura 14, p.80) são apresentados na tabela 13, e o ângulo médio da declividade está na tabela 15:

Tabela 14 - Perfil Longitudinal 01 (A'-B'): Voçoroca – Mogi Mirim (SP).

Segmentos	Altura (metros)	Ângulos (graus)	Comprimento (metros)
1	60	68°	47,00
2	55	83°	52,00
3	50	0°	32,00
4	47	76°	52,00
5	45	0°	14,00
6	43	78°	108,00
7	35	61°	68,00
8	32	0°	54,00
9	30	69°	230,00
10	27	0°	58,00
11	25	63°	131,00
12	23	0°	64,00
13	20	52°	145,00
14	17	0°	57,00
15	15	59°	16,00
16	12	0°	54,00
17	10	67°	267,00
18	6	0°	56,00
19	5	63°	244,00
20	5	65°	14,00
21	4	20°	91,00
		Total	1854,00

Tabela 15 – Declividade Média -Perfil Longitudinal 01 (A'-B'):Voçoroca – Mogi Mirim (SP).

Segmentos	Ângulos (graus)
1	68
2	83
3	0
4	76
5	0
6	78
7	61
8	0
9	69
10	0
11	63
12	0
13	52
14	0
15	59
16	0
17	67
18	0
19	63
20	65
21	20
Ângulo Médio (graus)	34,24

Com base na classificação da morfologia de vertentes proposta por CROUCH & BLONG (1989), o padrão morfológico apresentado pelos segmentos (vertentes e patamares) nos perfis transversais (1), (2) e (3) e no perfil longitudinal (4) pode ser classificado como o de patamares, o que, estaria diretamente relacionado, também segundo CROUCH & BLONG (1989), aos processos de modelagem passados e presentes nos segmentos que, neste caso, sofrem a influência da diferença estrutural dos materiais que as constituem (Formação Sub-Grupo Itararé) em função da existência de camadas mais friáveis intercaladas por camadas menos friáveis, o que, propicia um processo erosivo diferencial evidenciado pelas formas em "V" do canal e pela presença do padrão em patamares observado nos perfis transversais e no longitudinal.

De acordo com IRELAND (1939 apud BERTONI & LOMBARDI, 1990:170), as voçorocas podem ser classificadas como profundas quando apresentam mais de 5 metros do topo ao canal; e podem ser classificadas como grandes, quando a área da bacia em que se

encontra a voçoroca tiver mais de 20 hectares. Então, sendo a média das alturas dos perfis transversais em torno de 40 metros e a área da sub-bacia em que se encontra a voçoroca de, aproximadamente, 123 ha, a voçoroca de Mogi Mirim (SP) pode ser classificada como profunda e grande.

Quanto ao relevo, BERTONI & LOMBARDI NETO (1990:259) enfatizam que a intensidade de erosão pela água é grandemente afetada tanto pelo comprimento do declive como pelo seu gradiente.

Como ressaltado no capítulo 2, as vertentes mais íngrimes facilitam a erosão dos solos na medida em que aumentam o escoamento superficial. ROOSE (1977, apud TAVARES & VITTE, 1993), cita trabalhos de diversos pesquisadores demonstrando que as perdas de terra crescem de modo exponencial em função do aumento da inclinação das vertentes. Por outro lado, experimentos de campo realizados por BERTONI et al. (1972, apud BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990:55), apresentados na tabela 01 (p.29), demonstram que quanto maior o comprimento das rampas (vertentes), maior será a perda de solo por hectare. Além disso, pode-se estimar que um terreno com 20 metros de comprimento e 20% (9°) de declividade tem a mesma perda de terra que um de 180 metros de comprimento e com apenas 1% (0,45°) de declividade. Ou seja, o comprimento das vertentes e a declividade das mesmas se complementam e se compensam na determinação da intensidade dos processos erosivos.

Ao tomarmos os valores da distribuição porcentual dos comprimentos dos patamares (tabelas 03, 07 e 11) e os compararmos com os valores de perda de solo apresentados na tabela 01 (p.31), ou seja, procurando integrar as medidas morfométricas com dados da bibliografia, apresentamos as seguintes relações:

No alto curso 26% dos segmentos apresentam comprimentos entre 10 m e 25 m, no médio curso 25% e no baixo curso são 11%, sendo assim, podendo ocorrer uma perda de solo em torno de 13,9 t/ha.

No alto curso 35% dos segmentos possuem comprimentos entre 25 m a 50 m, no médio curso são 18% e no baixo curso 11%, o que, possibilita uma perda de solo em torno de 25,9 t/ha.

No alto curso 35% dos segmentos apresentam comprimentos entre 50 m e 75 m, no médio curso são 42% e no baixo curso são 57%, podendo ocorrer uma perda de solo em torno de 38,8 t/ha.

No alto curso 0% dos segmentos apresentam comprimentos entre 75 m e 100m, no médio curso são 11% e no baixo curso são 11%, sendo assim, apontando para uma perda de solo em torno de 51,4 t/ha.

Por fim, no alto curso 4% dos segmentos apresentam comprimentos maiores que 100 m, no médio curso são 4% e no baixo curso são 11%, podendo ocorrer uma perda de solo maior que 51,4 t/ha.

Ao analisarmos os dados das tabelas de declividade média (tabelas 05, 09 e 13), de classes de declividade (tabelas 04, 08 e 12), dos comprimentos dos segmentos (tabelas 02, 06 e 10) e das classes dos comprimentos dos segmentos (tabelas 03, 07 e 11) dos perfis transversais (1), (2) e (3), de maneira geral, os ângulos de declividade diminuem no sentido do alto curso para o baixo curso do canal ao passo que os comprimentos dos segmentos tendem a aumentar, sendo assim, enquanto na cabeceira da voçoroca os processos erosivos nas vertentes se dão por desmoronamento, escorregamento circular, quedas de solo e forte crenulação (vide quadro 05, p. 43), o médio e baixo curso apresentam sulcos erosivos desenvolvidos em vertentes convexas suavizadas (foto 01), os quais estão, em sua maior parte, estabilizados.

Os dados dos perfis transversais 1, 2 e 3, organizados nas tabelas acima, mostram que os comprimentos predominantes dos segmentos estão entre 50 m e 70 m, os ângulos de declividade predominantes no alto e médio curso da voçoroca pertencem a classe de 60° a 70°, porém, no baixo curso, a classe de declividade predominante é de 30° a 40°. Além disso, com exceção do alto curso que apresenta ângulos médios da declividade para a margem direita (44,6°) e esquerda (44°), praticamente, iguais, temos que, no médio curso a margem direita apresenta uma declividade média de 46° e a esquerda de 36° e no baixo curso a margem direita apresenta 48° para a margem direita e 37° para a margem esquerda.

Como observado na comparação das fotografias aéreas de 1972 (fig.15, p.84) e de 2000 (fig.16, p.85), o entorno da voçoroca vem passando por um processo de urbanização, o qual pode ser considerado como um fator que pode intensificar, ou mesmo, reativar o processo erosivo na voçoroca. A proximidade da área urbana em relação à voçoroca pode

ser observada na fotografia aérea de 2000 (figura 16, p.85), onde, assinalamos um dos braços da voçoroca que está a menos de 20 metros da área residencial.

No trabalho de campo realizado em setembro de 2003, encontramos na cabeceira da voçoroca, vestígios de terraços nas vertentes e entulho jogado na borda da mesma como medidas para controlar e/ou diminuir o processo erosivo (foto 02).

Foto 01 – Braço Estabilizado – Médio Curso da Voçoroca – Mogi Mirim (SP)

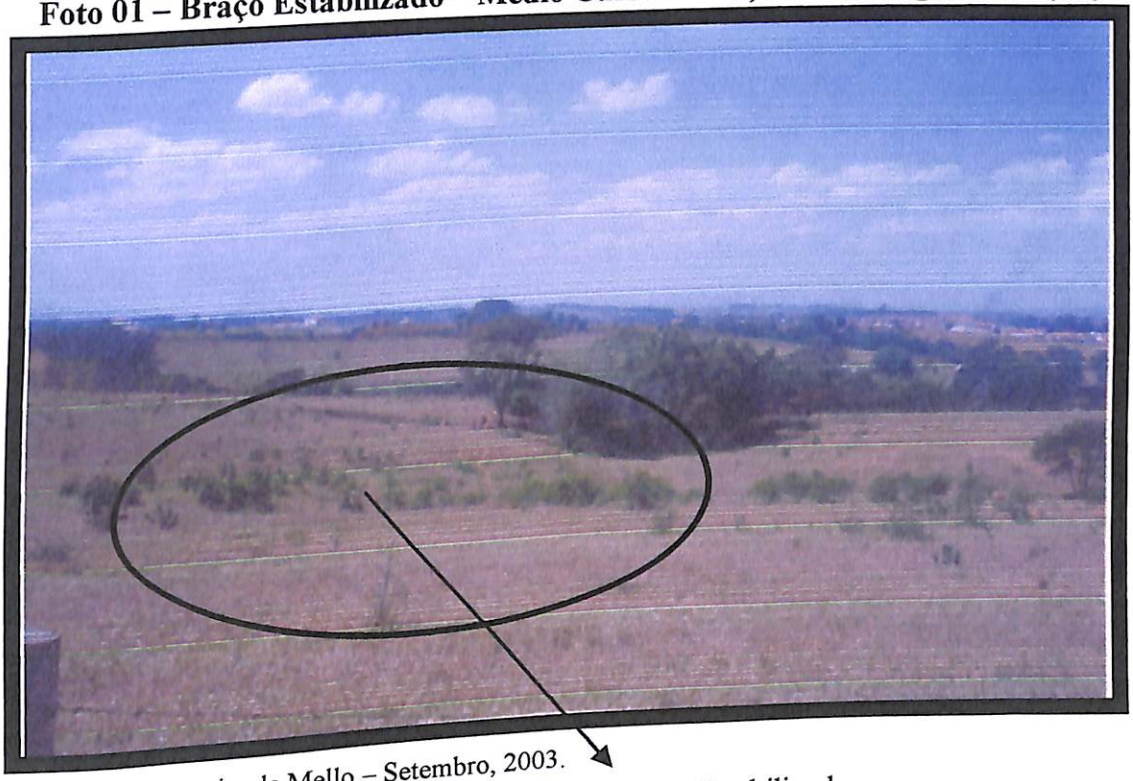


Foto: Juliano Pereira de Mello – Setembro, 2003.

Foto 02 – Práticas de contenção – Alto Curso da Voçoroca – Mogi Mirim (SP)

Foto: Juliano Pereira de Mello – Setembro, 2003.

Figura 11 -Perfil 01 - Cabeceira da Voçoroca - Mogi Mirim (SP)

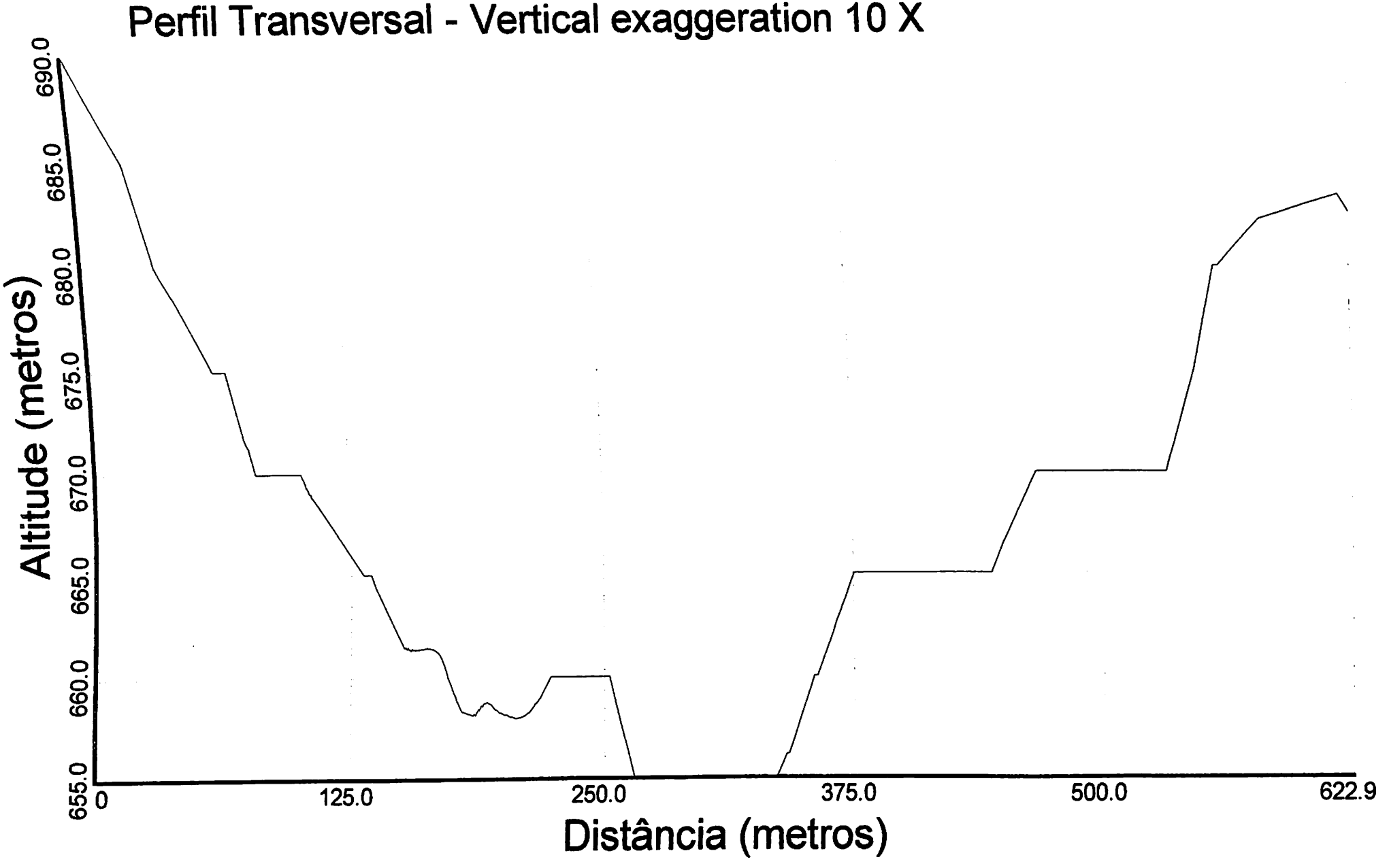


Figura 12 - Perfil 02 - Médio Curso da Voçoroca - Mogi Mirim (SP)

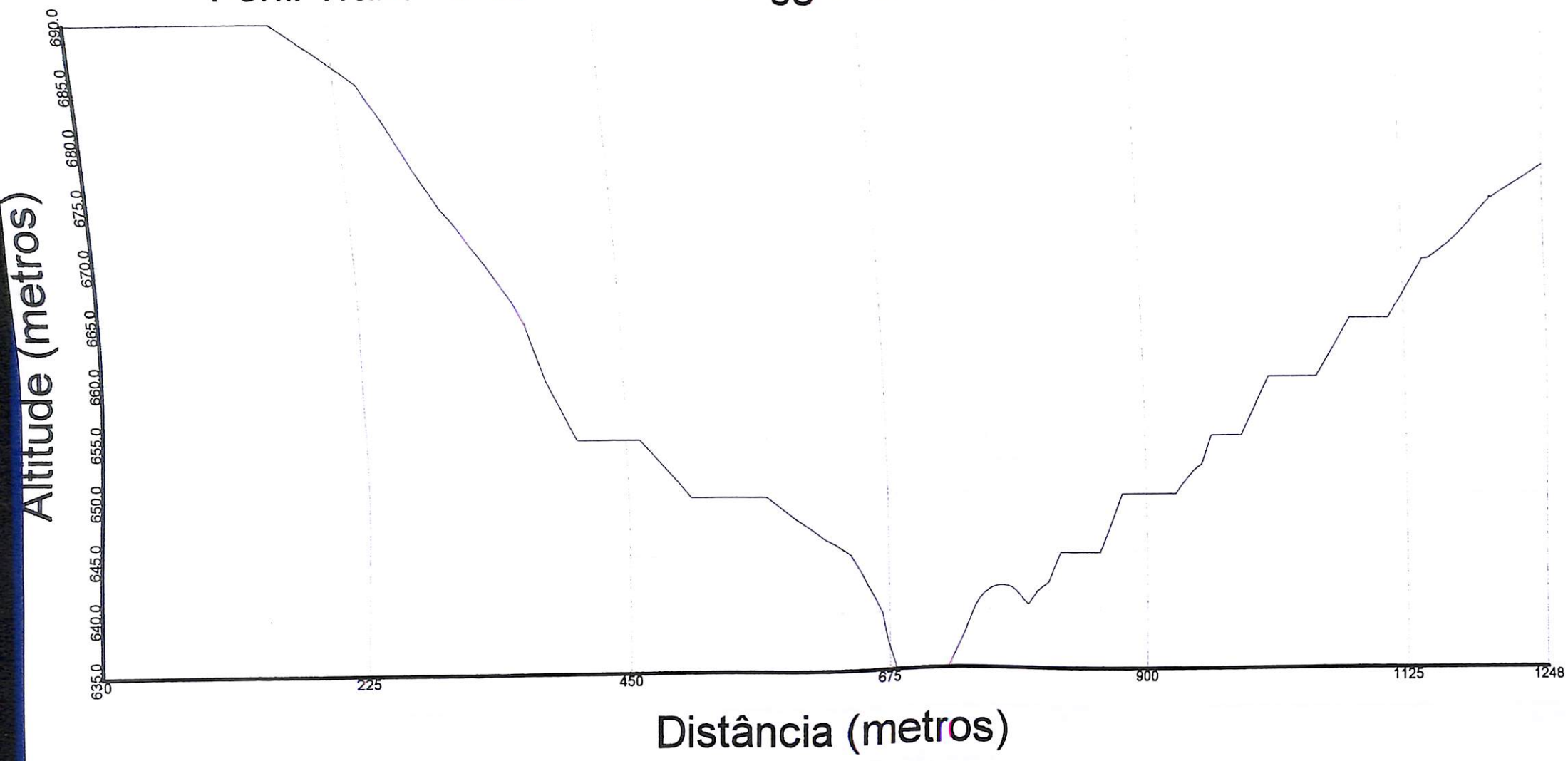


Figura 13 -Perfil 03 - Baixo Curso da Voçoroca - Mogi Mirim (SP)

Perfil Transversal - Vertical exaggeration 10 X

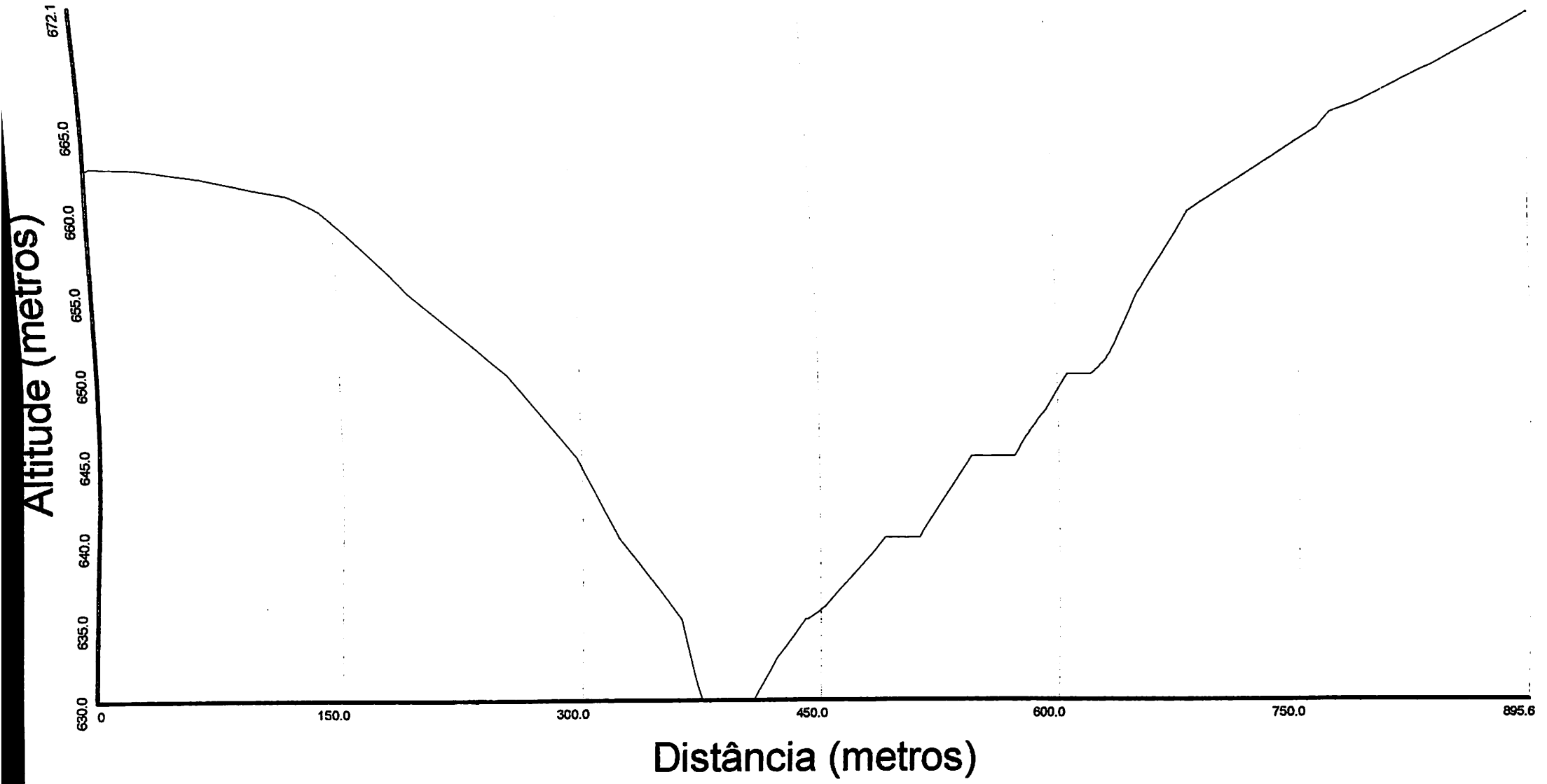
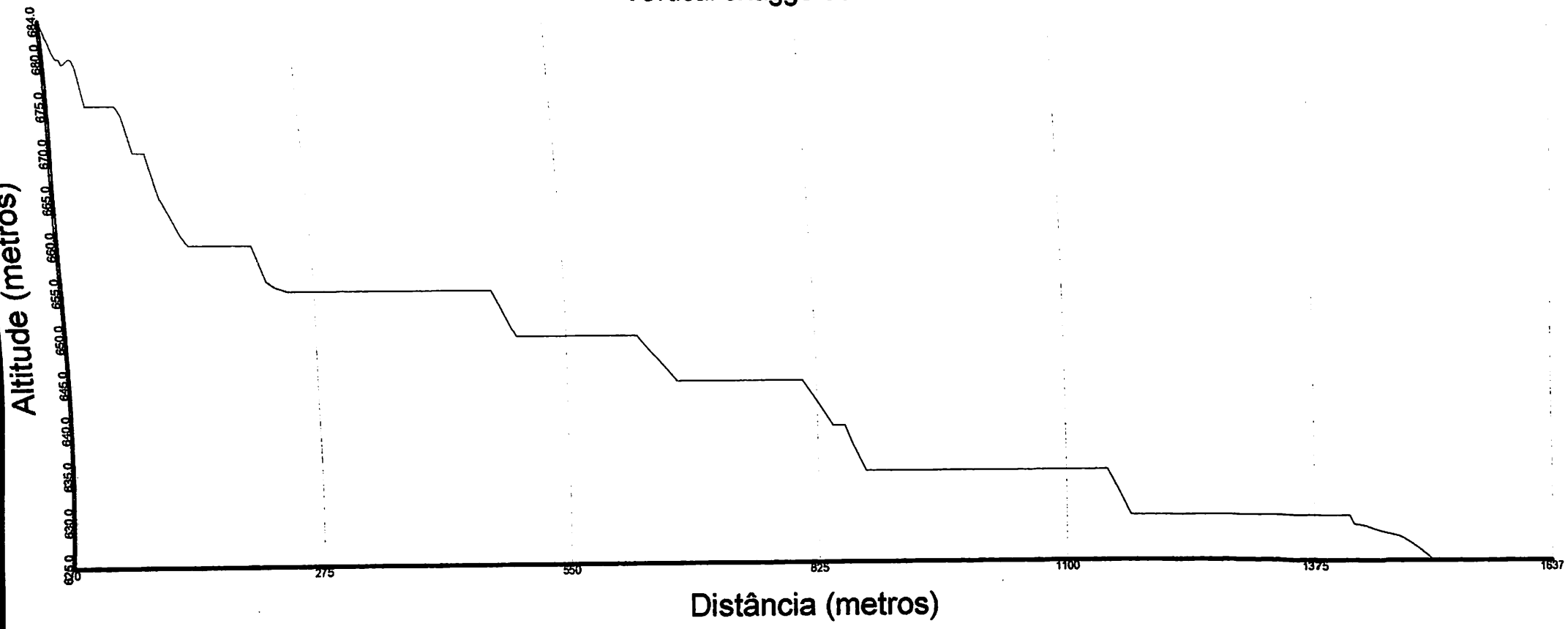


Figura 14 -Perfil 04 - Perfil Longitudinal da Voçoroca - Mogi Mirim (SP)

Vertical exaggeration 10 X



4.3 – Cobertura Vegetal

Segundo NOBLE (1965) e LANG & MCFFREY (1984) (apud CROUCH & BLONG, 1989:292), os processos de deslizamento e remoção de solo em superfícies declivosas estão relacionados com a área de cobertura vegetal do solo conforme as três categorias de atividade erosiva em vertentes apresentadas no quadro 04 (p.40).

Sendo assim, a partir do cálculo aproximado das áreas dos fragmentos de vegetação na área da voçoroca, os quais, são observados nas fotografias aéreas de 1972 e 2000 (figuras 15 e 16, páginas 84 e 85, respectivamente), foram obtidos os dados da evolução da cobertura vegetal apresentados no quadro 08:

Quadro 08 – Evolução da Cobertura vegetal na área da voçoroca – Mogi Mirim (SP).

	Aerofotografia 1972	**Aerofotografia 2000**
Total das áreas cobertas com vegetação	94.000 m²	247.000 m²
Porcentagem em relação à área da bacia (1.234.156 m²)	8%	20%

Ao analisarmos os dados do quadro 08, de 1972 a 2000, conforme a classificação de NOBLE (1965) e LANG & MCFFREY (1984) (apud CROUCH & BLONG, 1989:292), a voçoroca passou de ativa para semi-ativa, além do que, a cobertura vegetal teve um crescimento de 150% no período considerado.

Segundo VIEIRA (1975:28), em áreas totalmente cobertas pela vegetação, o fenômeno que ocorre sobre solos das vertentes das colinas é o escoamento difuso, nas áreas sem vegetação, o escoamento superficial apresenta-se com maior velocidade devido à falta de obstáculos, ficando mais volumoso, pois, a água, sem tempo de se infiltrar, tende a se concentrar em ravinas.

BAILEY (1941 apud VIEIRA, 1975:28), quanto à influência dos agentes erosivos em relação às áreas protegidas ou não pela vegetação, mediu o máximo ângulo de repouso das encostas, revestidas e nuas, demonstrando que os ângulos de repouso de determinados

detritos cobertos de vegetação é da ordem de 60°, enquanto no mesmo tipo de solo sem vegetação é de, aproximadamente, 36°, concluindo que a vegetação é a chave da estabilidade das encostas.

A vegetação rasteira que cobre parte das vertentes da área da voçoroca tem sofrido queimadas como pode ser observado na foto 03 (p.83), o que, conseqüentemente, potencializa o processo de desagregação e remoção do solo que perde matéria orgânica e fica desprotegido ao impacto das gotas de chuva.

Foi notado nas áreas mais próximas da voçoroca o uso do plantio de bambu como medida de conservação, o que, contribuiu para o aumento supracitado da área vegetada.

Como ressaltado por DE PLOEY (1981:171), também há que se considerar o efeito ambivalente de alguns fatores diretamente relacionados aos processos erosivos, mais especificamente, com relação à cobertura vegetal e da interferência do embasamento rochoso nas vertentes que apresentam processos erosivos.

A vegetação e o embasamento rochoso, de uma maneira geral, são considerados elementos protetores das vertentes contra a erosão, o que, baseia-se, principalmente, na suposição de que a força da gravidade é neutralizada pela resistência oferecida pelos afloramentos rochosos e que a vegetação e a cobertura rochosa desviam a água da superfície do solo, absorvem a água e parte da energia erosiva de origem climática. Porém, segundo DE PLOEY (1981), resultados experimentais apontaram para um efeito ambivalente destes fatores. De fato, parece que a vegetação poderia também ativar erosão sob circunstâncias específicas, ou, no mínimo, que um balanço delicado pode ser obtido entre efeitos opostos, os quais, ainda não são bem conhecidos.

Sendo assim, cabe futuros estudos experimentais para, de forma objetiva, analisar a existência ou não da ambivalência supracitada.

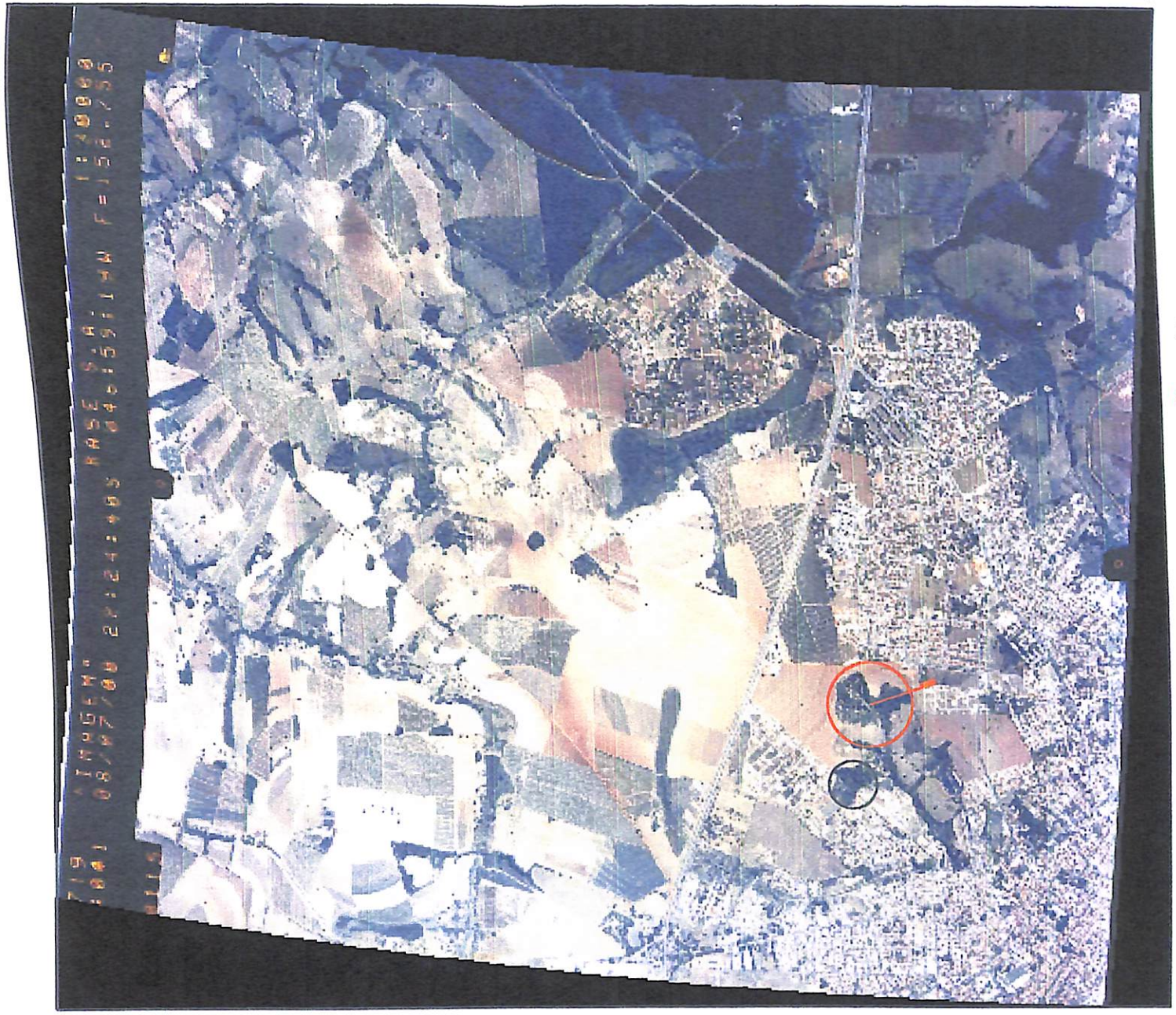
Foto 03 – Queimada em Vertente – Voçoroca – Mogi Mirim (SP)

Foto: Juliano P. de Mello - Setembro, 2003.

Figura 15 - Fotografia Aérea 1972 - Mogi Mirim (SP).

Área
da
Voçoroca

Figura 16 - Fotografia Aérea da Voçoroca (1970) - Mogi Mirim (SP)



Legenda

- Círculo com 300 m de raio - cabeceira da voçoroca
- Círculo que marca o contato entre um braço da voçoroca e a área urbana

4.4 – Processos dominantes na vertente e feições especiais

Para ilustrarmos alguns dos processos apontados no quadro 05 (p.43) e observados em trabalho de campo realizado no mês de setembro de 2003, na voçoroca de Mogi Mirim (SP), são apresentadas as fotos a seguir:

Foto 04 – Desmoronamento - Voçoroca – Mogi Mirim (SP)

Foto: Juliano P. de Mello - Setembro, 2003.

Foto 05 – Desmoronamento - Voçoroca – Mogi Mirim (SP)

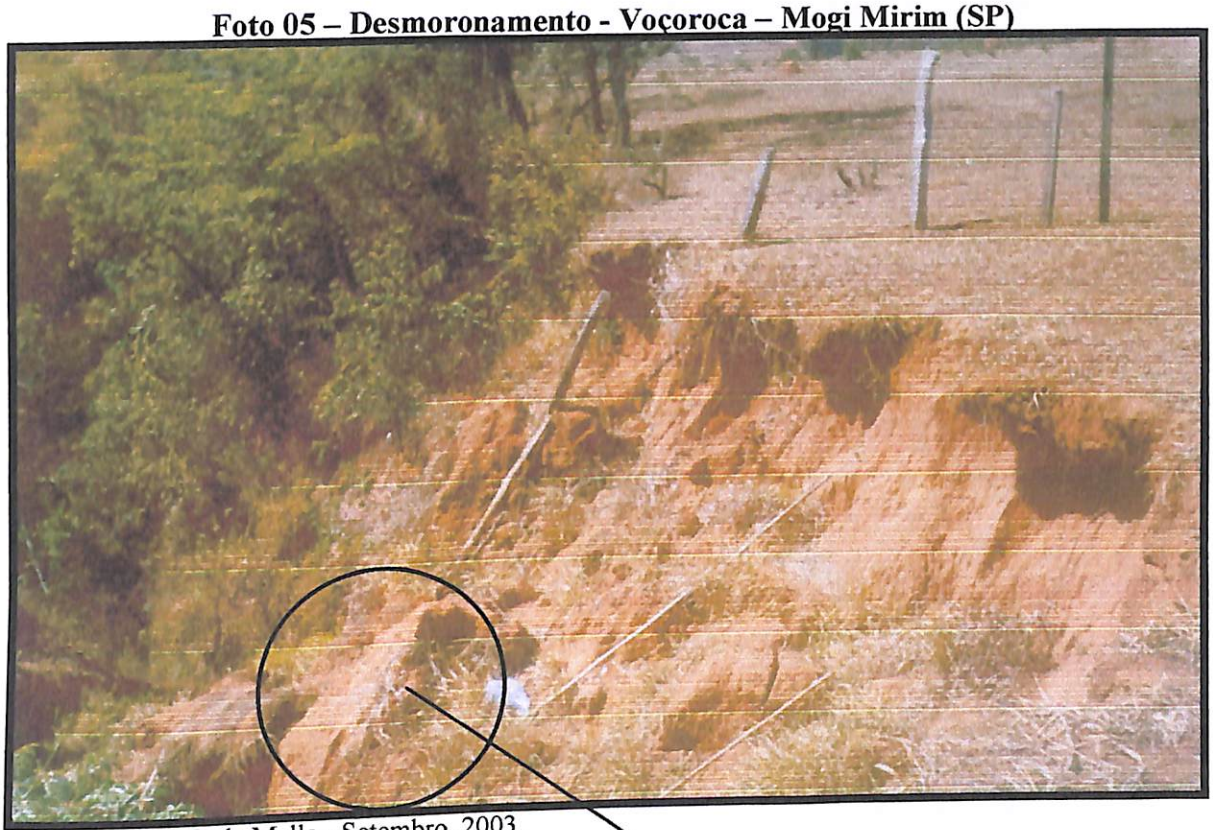


Foto: Juliano P. de Mello - Setembro, 2003.

Foto 06 – Ravina escavada na vertente – Voçoroca – Mogi Mirim (SP).

Foto: Juliano P. de Mello - Setembro, 2003.

Foto 07 – Picos esculpidos – Voçoroca – Mogi Mirim (SP).

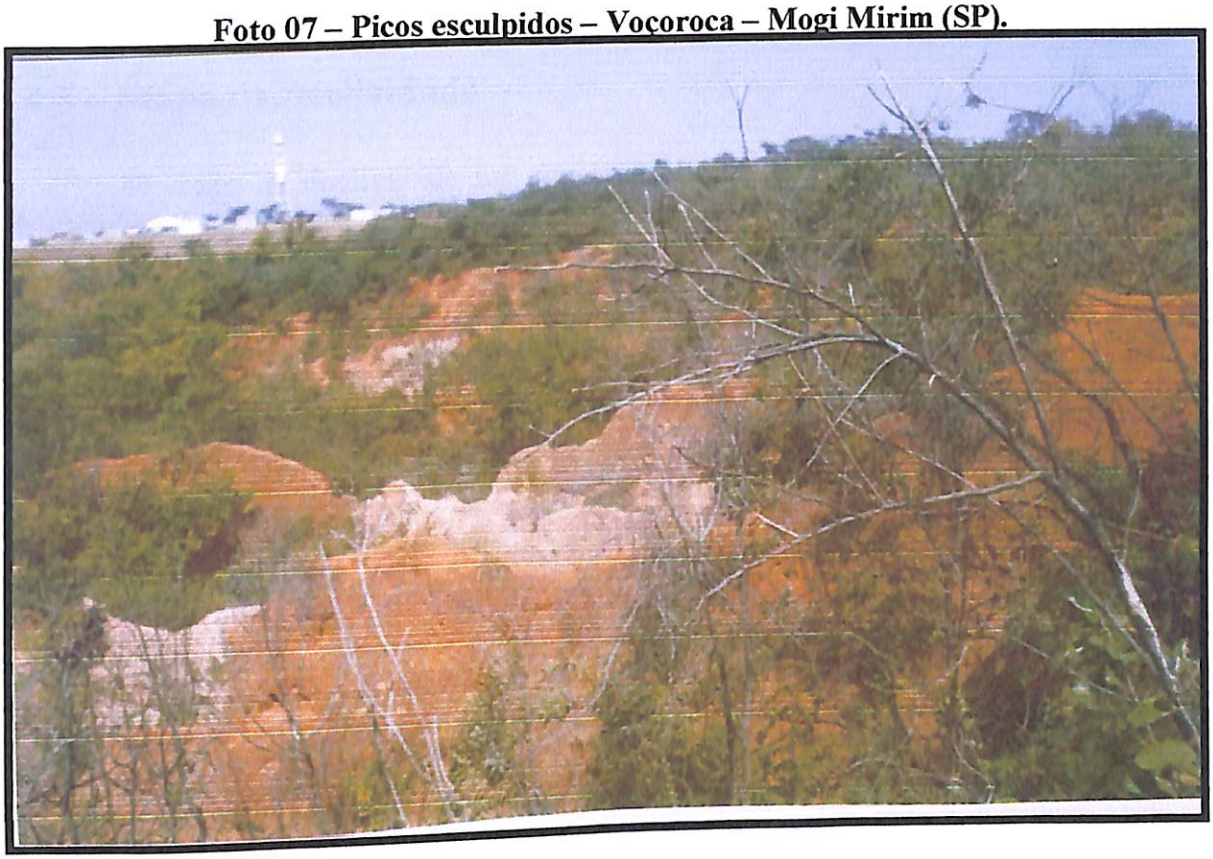


Foto: Juliano P. de Mello - Setembro, 2003.

Os mapas de declividade (figura 18, p.94), dissecação horizontal (figura 19, p.95), dissecação vertical (figura 20, p.96), o hipsométrico (figura 21, p.97) e o modelo digital do terreno (fig.22, p.98), relativos à área da voçoroca foram obtidos a partir do mapa topográfico trabalhado na escala 1:2000 (figura 17, p.93).

4.5 – Mapa de Declividade

O mapa de declividade foi gerado no *software Arc View 3.2* a partir do modelo digital do terreno da área da voçoroca com o uso de interpolação por triangulação (função TIN).

A declividade de um terreno tem interferência direta no volume e na velocidade das águas pluviais que escoam pelas vertentes (BERTONI&LOMBARDI, 1990). Sendo assim, o grau de declividade é fator fundamental na análise da dinâmica dos elementos que compõem a bacia.

O mapa de declividade (fig.18, p.94) vem reforçar a informação obtida com os perfis transversais, ou seja, revela um padrão de distribuição da declividade que apresenta uma concentração de áreas com valores pertencentes às classes de declividade mais elevadas no alto curso (cabeceira da voçoroca), sendo que, no médio e baixo curso as áreas apresentam, predominantemente, declividades em torno de 0° a 10° e algumas manchas das classes superiores.

Porém, faz-se necessário ressaltar a diferença entre a margem direita e esquerda da voçoroca, pois, a margem direita apresenta tanto no mapa de declividade como nos perfis transversais (vide valores médios da declividade – tabelas 05, 09 e 13) valores de declividade de suas vertentes superiores aos valores da margem esquerda, o que, pode ser um fator condicionante do fato de na margem direita o processo erosivo ser mais intenso e/ou estar mais presente que na margem esquerda. Além do que, de acordo com o mapa de uso e ocupação do solo (fig.08, p.48) e observando a fotografia aérea de 2000 (fig.16, p.85), percebemos que a margem direita da voçoroca é aquela que está mais próxima da área urbanizada, conseqüentemente, podendo ser mais um elemento condicionador do processo erosivo.

4.6 – Mapas de Dissecação Horizontal e Vertical

A carta de dissecação horizontal e vertical do relevo foi elaborada segundo o método desenvolvido por SPIRIDONOV (1981).

O mapa de dissecação horizontal (figura 19, p.95) permite identificar, na área da bacia, classes de extensão de interflúvios, ou seja, a distância (horizontal) que separa os divisores d'água e os talvegues segundo as quebras dos níveis de base ao longo de cada canal fluvial.

O mapa de dissecação vertical (figura 20, p.96) indica a altitude relativa entre os topos e o talvegue, conseqüentemente, mostrando o quanto o canal fluvial conseguiu entalhar verticalmente.

A partir dos mapas de dissecação horizontal e vertical foram calculadas as proporções areais que as classes estabelecidas nos respectivos mapas ocupam em relação à área total da sub-bacia onde se encontra a voçoroca, o que, é apresentado nas tabelas 16 e 17.

Tabela 16 - Áreas ocupadas pelas classes do mapa de Dissecação Horizontal

Classes da Dissecação Horizontal (metros)	Área ocupada (em porcentagem)
Menor que 10 m	5,0 %
20 m – 40 m	8,5%
40 m – 80 m	3,1%
80 m – 160 m	35,5%
160 m – 320 m	34,5%
320 m – 640 m	13,4%
Total	100%

Tabela 17 - Áreas ocupadas pelas classes do mapa de Dissecação Vertical

Classes da Dissecação Vertical (metros)	Área ocupada (em porcentagem)
Menor que 5 m	15,7%
5 m – 15 m	39,2%
15 m – 20 m	13,2%
20 m – 25 m	10,0%
25 m – 30 m	8,3%
30 m – 35 m	7,0%
35 m – 40 m	3,0%
Maior que 40 m	3,6%
Total	100%

Ao analisarmos os valores da dissecação horizontal e vertical e a distribuição dos mesmos nos respectivos mapas (figuras 19 e 20), temos que, do alto para o baixo curso tais valores vão aumentando em função do processo de entalhamento do canal, o qual, apresenta maior profundidade e extensão dos seus interflúvios a partir do médio curso. Além disso, a margem direita da voçoroca apresenta maior diversidade de classes, conseqüentemente, evidenciando uma maior intensidade dos processos de dissecação vertical e horizontal na margem direita em relação à margem esquerda.

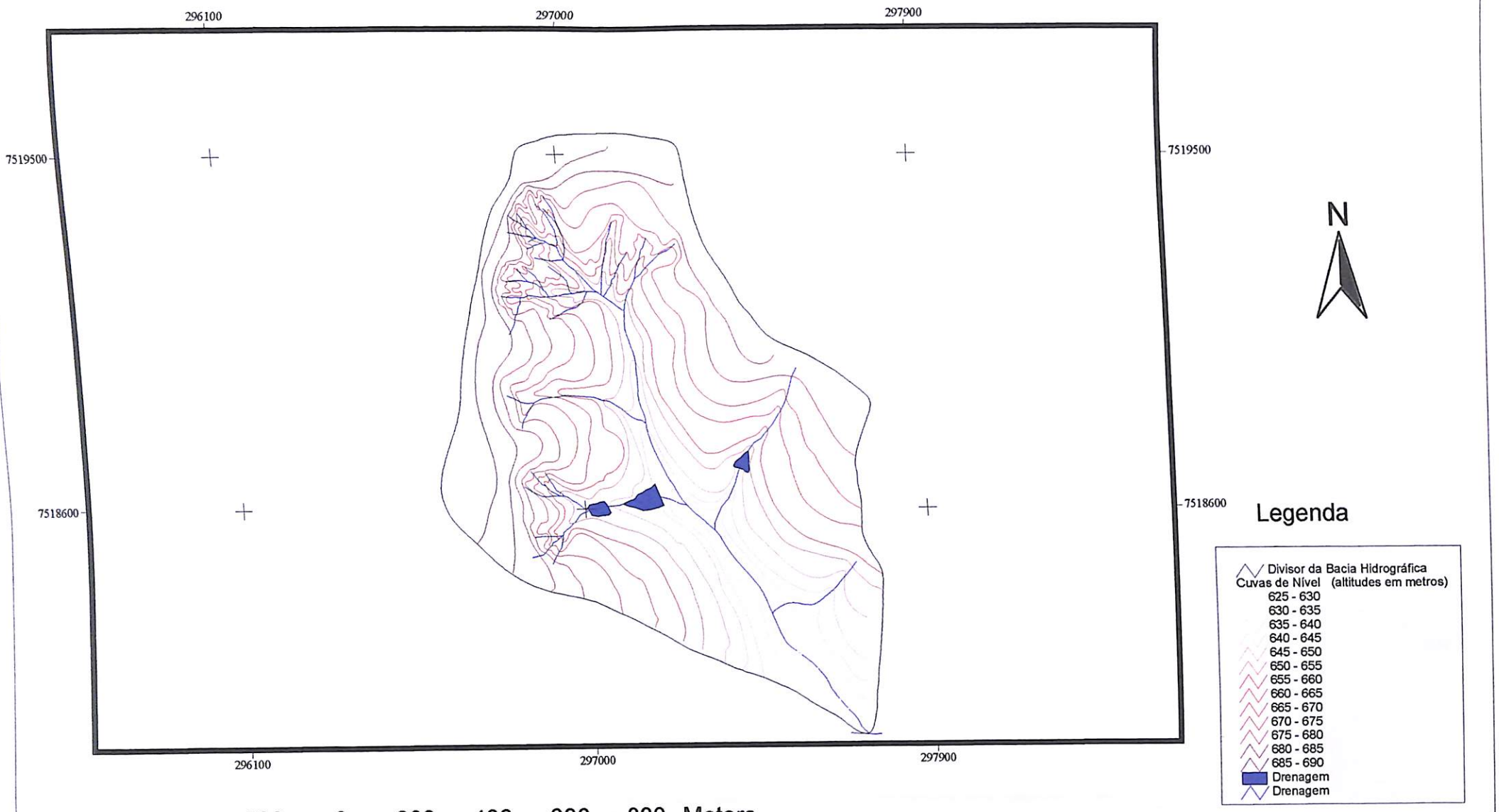
4.6 – Mapa Hipsométrico e Modelo Digital do Terreno

O mapa hipsométrico (fig.21, p.95) foi gerado no *software Arc View 3.2* por triangulação e o modelo digital do terreno foi gerado no *Surfer 8* utilizando mínima curvatura (figura 22, p.98).

CHRISTOFOLETTI (1980) define a análise hipsométrica como o estudo das inter-relações existentes em determinada unidade horizontal de espaço no tocante à sua distribuição em relação às faixas altitudinais, indicando a proporção ocupada por determinada área da superfície terrestre em relação às variações altimétricas a partir de determinada isoípsa base.

A produção do mapa hipsométrico (figura 21, p.97) se deu a partir das curvas altimétricas com eqüidistância de 5 metros (figura 17, p. 93).

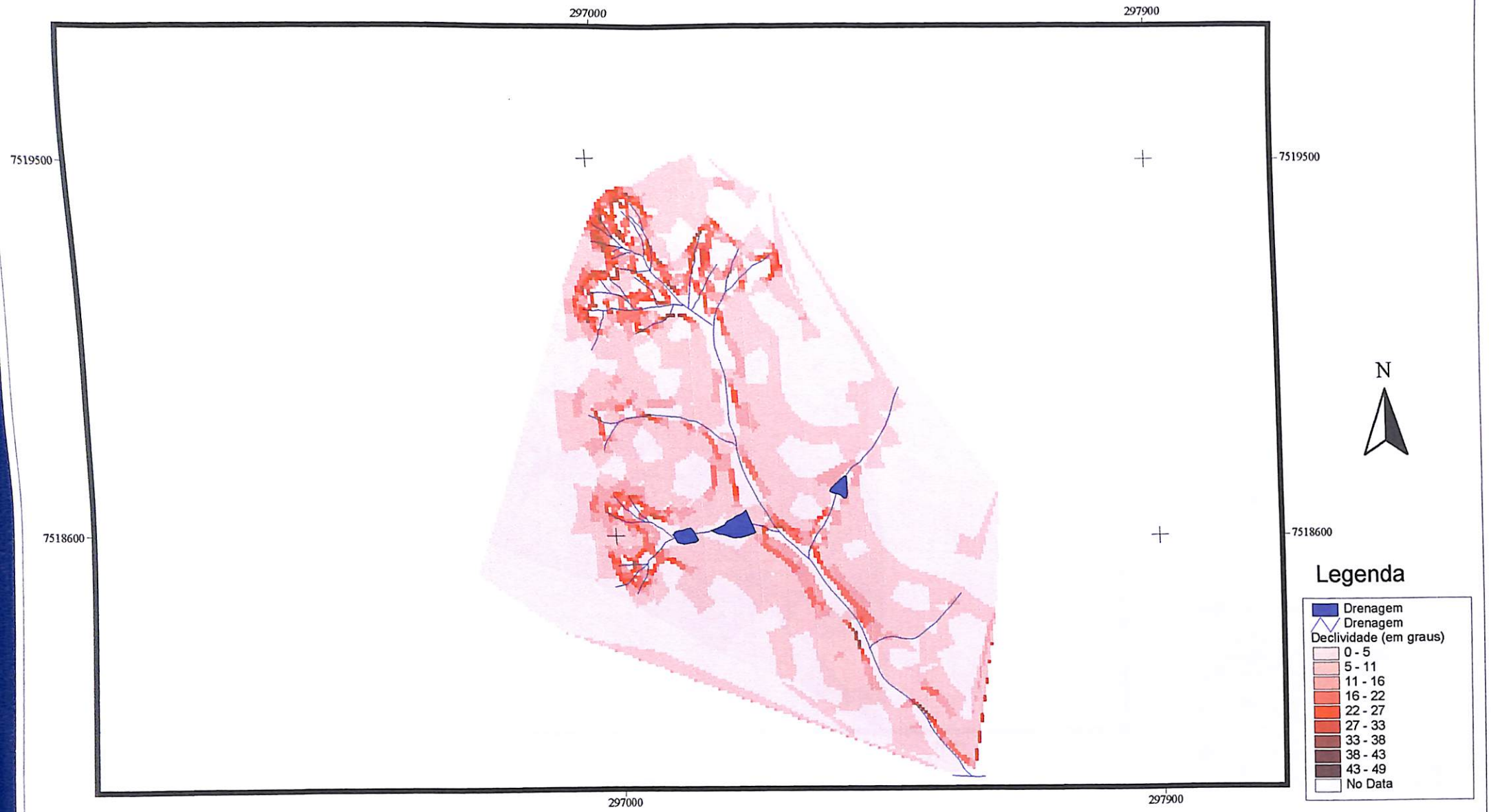
Figura 17 -Carta Topográfica - Voçoroca - Mogi Mirim (SP)



Composição Cartográfica: Juliano Pereira de Mello, 2003.

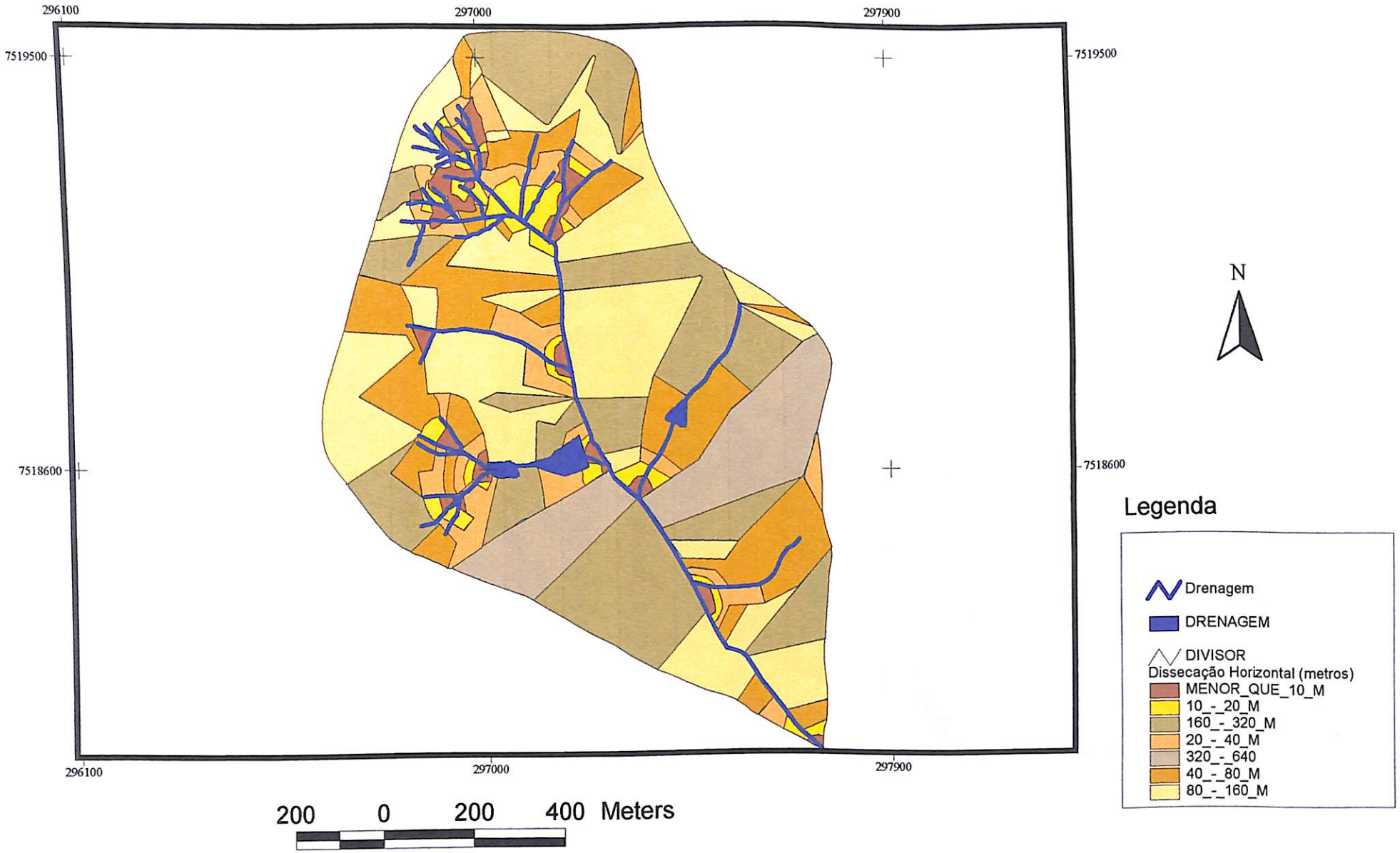
Fonte: Folha Topográfica 1:10.000

Figura 18 - Mapa de Declividade - Voçoroca - Mogi Mirim (SP)



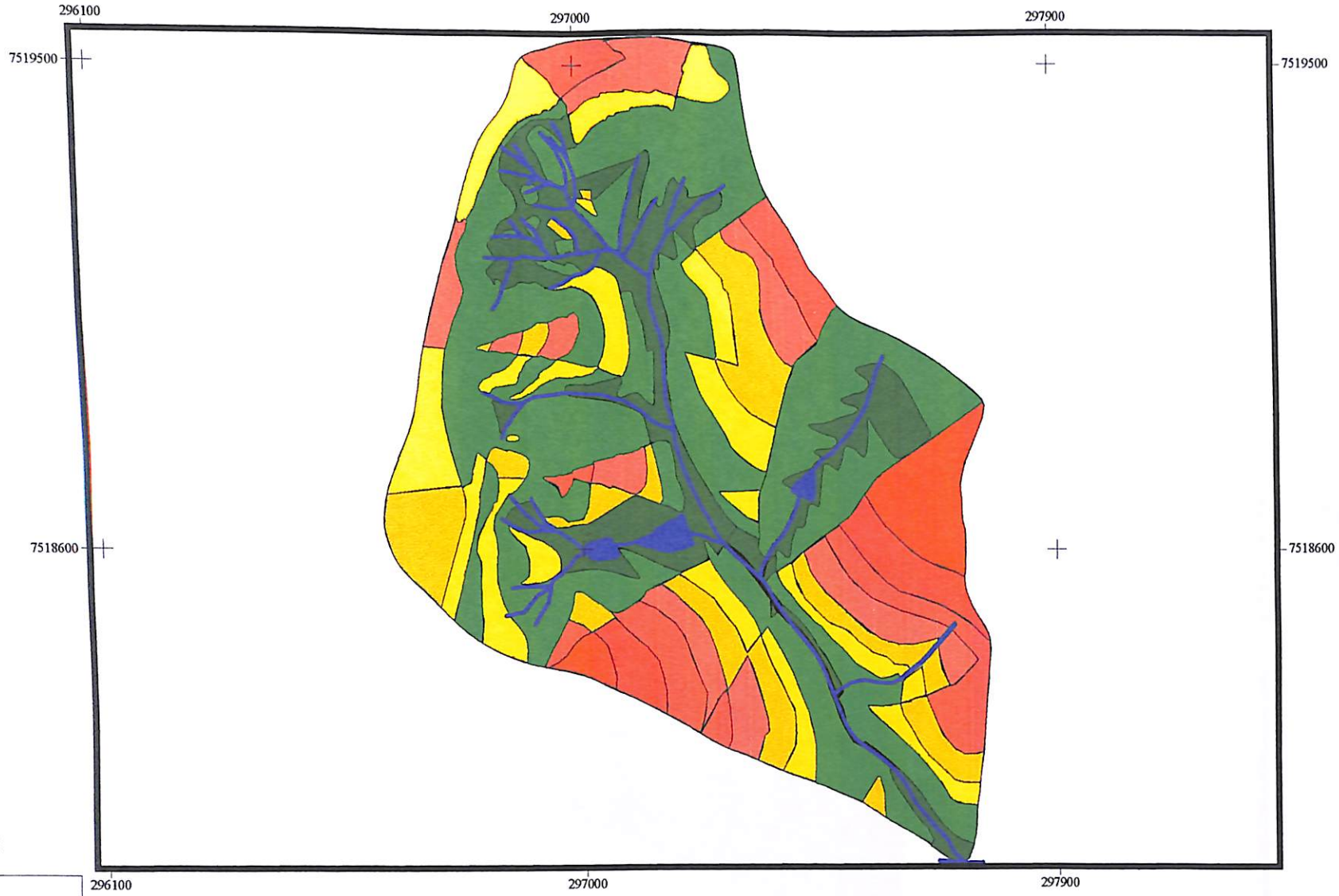
Composição Cartográfica: Juliano Pereira de Mello, 2003.

Figura 19 - Dissecação Horizontal - Voçoroca - Mogi Mirim (SP)



Composição Cartográfica: Juliano Pereira de Mello, 2003

Figura 20 - Dissecação Vertical - Voçoroca - Mogi Mirim (SP)



Composição Cartográfica: Juliano Pereira de Mello, 2003

Figura 21 - Mapa Hipsométrico (Modelo Digital do Terreno) - *Voçoroca - Mogi Mirim (SP)*

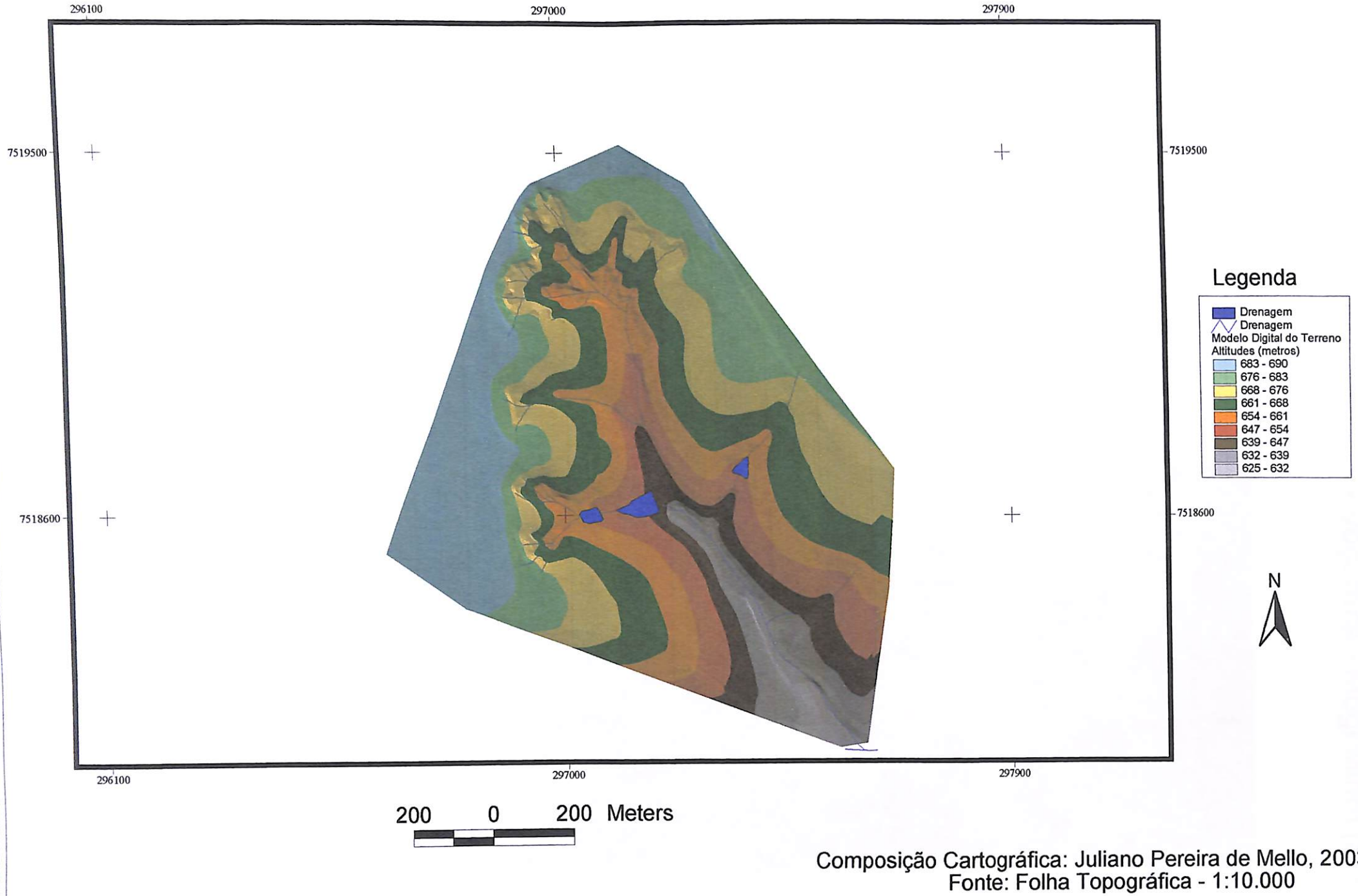
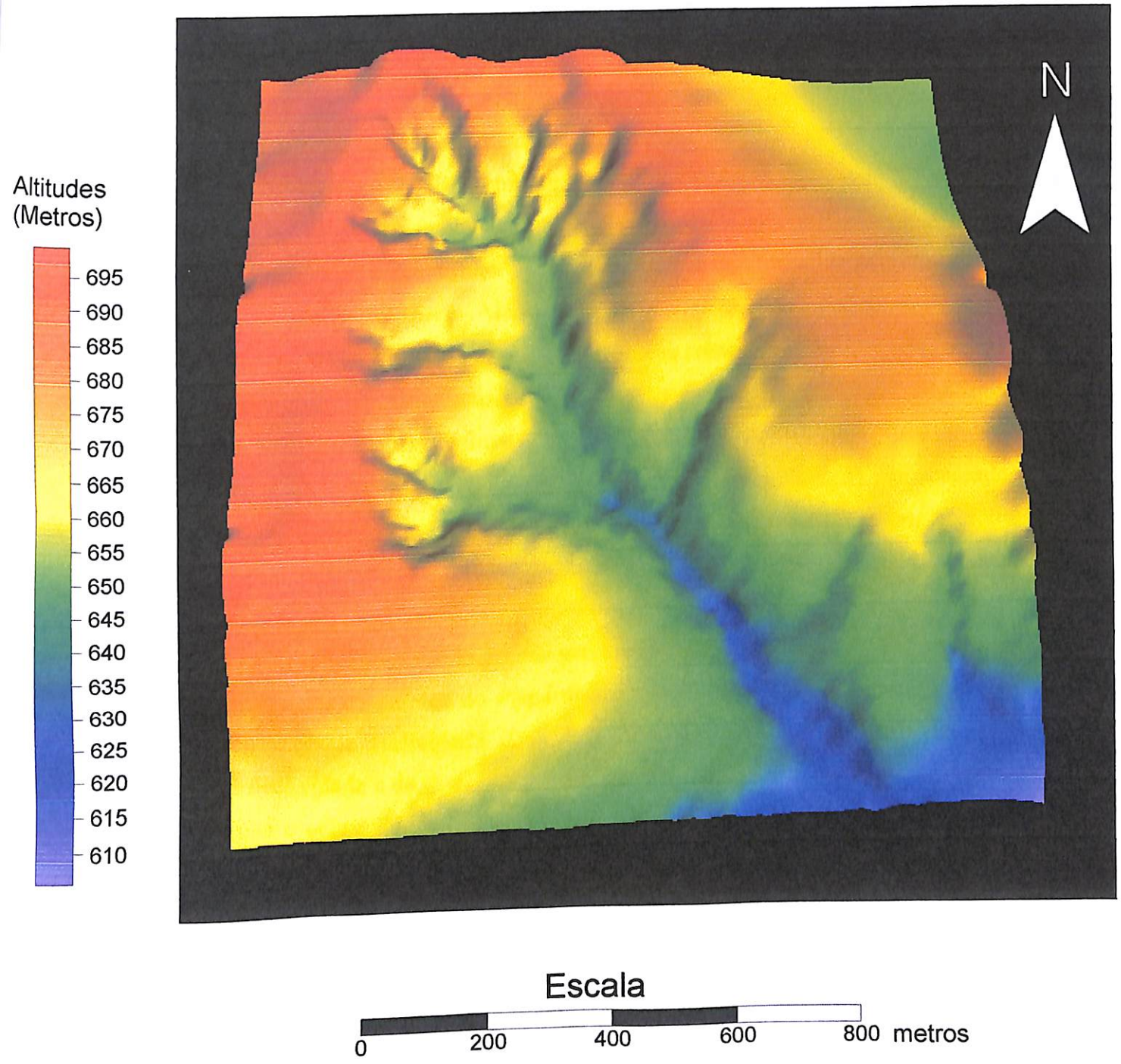


Figura - 22 - Modelo Digital do Terreno - Voçoroca - Mogi Mirim (SP)



Composição cartográfica - Juliano Pereira de Mello. 2003

Considerações Finais

Como ressaltado na introdução, o objetivo deste trabalho é aplicar técnicas morfométricas para a análise do processo de voçorocamento, o qual, é entendido como um conjunto de processos morfogenéticos subordinados tanto a fatores climáticos, litológicos, pedológicos, topográficos, fitogeográficos e antrópicos.

EBISEMIJU (1989:308) enfatiza que a morfologia dos sistemas fluviais reflete muito fielmente os mecanismos e dinâmicas dos processos que os iniciaram assim como os processos atuais e as propriedades dos materiais superficiais que também influenciam os mecanismos de tais processos. Além disso, HEED (1970 apud EBISEMIJU, 1989:308) aponta o entendimento da morfologia das voçorocas como um primeiro passo na avaliação dos processos de voçorocamento e uma conexão entre passado, presente e futuro dos eventos de voçorocamento. Esforços em predições acerca do desenvolvimento futuro de voçorocas, portanto, obtêm, provavelmente, melhores resultados se baseados em conhecimentos detalhados e análise da morfologia das mesmas. Assim, este trabalho constitui-se num esforço de análise quantitativa a partir de técnicas morfométricas para que os resultados sejam significativamente aplicados.

A partir da análise e relação das propriedades das variações estratigráficas do Sub-Grupo Itararé com os valores do mapa de dissecação horizontal, do mapa de dissecação vertical, do mapa de declividade, das tabelas das classes de comprimento de rampa, das classes de declividade e da declividade média dos perfis transversais (1), (2) e (3), além do mapa de uso e ocupação, das fotografias aéreas de 1972 e de 2000 e das informações e fotografias de trabalho de campo, podemos fazer as seguintes considerações:

a) A morfologia das vertentes (perfis transversais e perfil transversal) pode ser classificada como a de patamares e os perfis transversais como em forma de "V", o que, é condicionado pela presença de camadas com friabilidade diferenciada em função das características de composição dos materiais do Sub-Grupo Itararé;

b) A diferença estratigráfica encontrada no material do Sub-Grupo Itararé, o qual, constitui o embasamento da área em que se encontra a voçoroca, é condicionadora da variação do lençol suspenso nas vertentes, conseqüentemente, também condicionando o afloramento do aqüífero;

c) Foi observada e fotografada prática de queimada em vertente, o que, desprotege o solo do impacto das gotas de chuva e favorece seu empobrecimento pela perda de matéria orgânica, podendo implicar em perda de coesão dos agregados do solo e da fertilidade do mesmo;

d) Foram observados e fotografados processos como os de desmoronamento, ravinamento e picos esculpidos, as quais, constituem-se, segundo CROUCH & BLONG, (1989), em processos dominantes característicos de vertentes onde o processo erosivo se encontra ativo;

e) A margem direita da sub-bacia em que se encontra a voçoroca de Mogi Mirim (SP) apresenta os maiores valores de declividade, maior diversidade na dissecação horizontal e vertical, os maiores valores da declividade média e os maiores valores dos comprimentos de rampa. Sendo assim, tais elementos podem ser considerados na justificativa e explicação da presença de formas e processos erosivos ativos nesta margem, ao passo que, a margem esquerda se encontra estável;

f) Há que se ressaltar o papel estabilizador exercido pelo aumento de, aproximadamente, 150% da cobertura vegetal de 1972 a 2000;

g) A margem direita da voçoroca apresenta maior proximidade com a área urbana em relação à margem direita, o que, pode intensificar, ou mesmo, reativar o processo erosivo, conseqüentemente, prejudicando, caso não sejam tomados os devidos cuidados, o uso e ocupação desta área.

Biblioteca
Instituto de Geociências
UNICAMP

c) Foi observada e fotografada prática de queimada em vertente, o que, desprotege o solo do impacto das gotas de chuva e favorece seu empobrecimento pela perda de matéria orgânica, podendo implicar em perda de coesão dos agregados do solo e da fertilidade do mesmo;

d) Foram observados e fotografados processos como os de desmoronamento, ravinamento e picos esculpidos, as quais, constituem-se, segundo CROUCH & BLONG, (1989), em processos dominantes característicos de vertentes onde o processo erosivo se encontra ativo;

e) A margem direita da sub-bacia em que se encontra a voçoroca de Mogi Mirim (SP) apresenta os maiores valores de declividade, maior diversidade na dissecação horizontal e vertical, os maiores valores da declividade média e os maiores valores dos comprimentos de rampa. Sendo assim, tais elementos podem ser considerados na justificativa e explicação da presença de formas e processos erosivos ativos nesta margem, ao passo que, a margem esquerda se encontra estável;

f) Há que se ressaltar o papel estabilizador exercido pelo aumento de, aproximadamente, 150% da cobertura vegetal de 1972 a 2000;

g) A margem direita da voçoroca apresenta maior proximidade com a área urbana em relação à margem direita, o que, pode intensificar, ou mesmo, reativar o processo erosivo, conseqüentemente, prejudicando, caso não sejam tomados os devidos cuidados, o uso e ocupação desta área.

Biblioteca
Instituto de Geociências
UNICAMP

Bibliografia

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo.** São Paulo: Ícone, 1990;

BERTRAND, G. **Paisagem e Geografia Física Global: Um Esboço Metodológico.** Revista IG-USP, Caderno Ciências da Terra, SP, n. 13, 1971;

BOTELHO, R. G. M. Planejamento Ambiental em Microbacia Hidrográfica. In: GUERRA, A. J. T., SILVA, A. S., BOTELHO, R. G. M. **Erosão e Conservação dos Solos.** Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 1999, p. 269 - 293;

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** São Paulo: Edgard Blücher, 2ª.Edição, 1980;

_____, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais.** São Paulo: Edgard Blücher, 2ª.Edição, 1999;

CHRISTOFOLETTI, A. L. H. **Análise fractal e multifractal da estrutura de estações chuvosas em localidades do Estado de São Paulo.** Tese de Doutorado. Rio Claro, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, 1997;

CROUCH, R.J. & BLONG, R.J. **Gully sidewall classification: methods and applications.** Z. Geomorph. N. F., v. 33, 1989, p.291-305;

CUNHA, Cenira M. L da. **Quantificação e mapeamento das perdas de solo por erosão com base na malha fundiária.** Instituto de Geociências e Ciências Exatas. UNESP, Rio Claro, 1997;

DAEE. **Banco de dados pluviométricos do Estado de São Paulo (atualizado até 1997).** DAEE, Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras, Governo do Estado de São Paulo, CD ROM, 1999;

DE PLOEY, J. **The ambivalent effects of some factors of erosion.** Mém. Inot. Géol. Univ. Louvain, t. XXXI, p.171-181;

DOLLFUS, O. **O Espaço Geográfico.** SP, DIFEL, 1973;

EBISEMIJU, F. S. **A morphometric approach to gully analysis.** Z. Geomorph. N. F., v.33, 1989, p.307-322;

FACINCANI, E. M. **Influência da estrutura e tectônica no desenvolvimento das boçorocas da região de São Pedro, SP: Proposta de reabilitação e aspectos jurídico-institucionais correlatos.** Dissertação de Mestrado. Rio Claro, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, 1995;

FRAISOLI, Camila. **Formação Territorial, Valorização do Espaço e Fragilidade Ambiental na Bacia do Córrego Santo Antônio, Município de Mogi Mirim, Estado de São Paulo.** Monografia. Campinas (SP), Instituto de Geociências, UNICAMP, 2002;

GUERRA, A. J. T. Processos Erosivos nas Encostas. In: GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** 3ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995, p.149-209;

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A. J. T., SILVA, A. S., BOTELHO, R. G. M. **Erosão e Conservação dos Solos**. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 1999;

IPT. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo,** 1981;

LAL, R. Erodibility and erosivity. In: LAL, R. *et al.* **Soil Erosion Research Methods.** Soil and Water Conservation Society, Washington, 1988, p.141-160;

MONTEIRO, C. A. F. **Geossistemas: a história de uma procura.** São Paulo: Contexto, 2001;

PENTEADO, M.M. **Fundamentos de Geomorfologia.** Rio de Janeiro: IBGE, 1980;

PRADO, Hélio do. **A Pedologia Simplificada.** Revista IAC (SP), Arquivo do Agrônomo n. 01, 1995, p. 01 – 16;

SIGRH. **Diagnóstico da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu: "Relatório Zero",** CBH – MOGI, UGRHI (9), 1999;

SILVEIRA, A. L. L. **Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica.** In TUCCI, C.E.M. (org.). Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH: EDUSP, 1993, p.35-51;

SOTCHAVA, V.B. **O Estudo de Geossistemas.** Revista IG-USP, Série Métodos em Questão, SP, n. 16, 1977, p.1 - 49;

_____. **Por uma Teoria de Classificação de Geossistemas da Vida Terrestre.** Revista IG-USP, Série Biogeografia, SP, n. 14, 1978, p.1-24;

SPIRIDONOV, A.I. **Principios de la Metodología de las Investigaciones de Campo y el Mapeo Geomorfologico.** Habana, Universidad de la Habana, Facultad de Geografía,1981;

TAVARES, A. C., VITTE, A. C. **Erosão dos solos e assoreamento de represas: o caso de Monte Aprasível (SP).** Geografia, 18 (1), 1993, p.51 – 95;

TRICART, J. & CAILLEUX, A Le problème de la classification des faits géomorphologiques. **Annales de Géographie**, n. 65: 162-186, 1956;

TRICART, J. **Ecodinâmica**. RJ, IBGE/SUPREN, 1977;

TROPPMAIR, H.**Geossistemas e Geossistemas Paulistas**.UNESP, Rio Claro, 2000;

VIEIRA, N. M. **Os processos morfogenéticos atuantes nas boçorocas de Franca (SP, Brasil).** Notícia Geomorfológica, Campinas, 15 (29), 1975, p.03 – 52;

VILELA FILHO, L. R. **Estimativa da perda de solos em uma bacia hidrográfica sob o cultivo de frutíferas, no município de Valinhos (SP).** Monografia. Campinas (SP), Instituto de Geociências, UNICAMP, 2002;

VITTE, A. C. **Metodologia para Cálculo de Perdas de Solo em Bacias de Drenagem**.Bol. Par. de Geociências, nº 45.Ed. da UFPR, 1997, p. 59-65;