

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA REGIÃO
CÁRSTICA DA SERRA ANDRÉ LOPES,
VALE DO RIBEIRA, SP

André Polistchuck

Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique Grohmann de Carvalho

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF -2011/06)

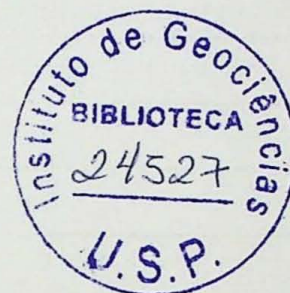
SÃO PAULO
2011

TF
P768
A.c

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA REGIÃO
CÁRSTICA DA SERRA ANDRÉ LOPES,
VALE DO RIBEIRA, SP

André Polistchuck



Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique Grohmann de Carvalho

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF -2011/06)

DEDALUS - Acervo - IGC



30900030335

SÃO PAULO
2011

TF
P768
A.c

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CARACTERIZAÇÃO MORFOMETRICA DA REGIÃO
CARSTICA DA SERRA ANDES LÓPEZ
VALE DO RIBEIRA SP



Autores: [Illegible]

Coordenador: Prof. Dr. Carlos Henrique de Carvalho

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE GRADUAÇÃO
[Illegible]

SÃO PAULO
1977

Sumário

1. Agradecimentos	5
2. Resumo	7
3. Abstract.....	7
4. Introdução.....	8
5. Metas e Objetivos.....	9
6. Trabalhos prévios	9
7. Materiais e Métodos	12
7.1 Modelo digital de terreno	12
7.2 Análise morfométrica.....	12
7.2.1 Distribuição e orientação de lineamentos.....	12
7.2.2 Declividade e Orientação de vertentes	13
7.2.3 Rugosidade de relevo.....	13
7.2.4 Desnivelamento Altimétrico.....	13
7.2.5 Integral hipsométrica.....	13
7.2.6 Perfis em varredura.....	14
7.2.7 Superfícies de base (isobases)	15
7.3 Análise estrutural.....	15
8. Desenvolvimento	16
9. Resultados.....	17
9.1 Análise Morfométrica.....	17
9.1.1 Análise de Lineamentos	17
9.1.2 Declividade.....	18
9.1.3 Orientação de Vertentes	18
9.1.4 Rugosidade de relevo.....	19
9.1.5 Desnivelamento altimétrico.....	19
9.1.6 Integral hipsométrica.....	20
9.1.7 Perfis em varredura.....	20
9.1.8 Isobases.....	20

9.2	Análise estrutural.....	21
9.2.1	Foliação metamórfica principal (Sn)	21
9.2.2	Faturas conjugadas.....	22
9.2.3	Faturas Subverticais.....	23
9.2.4	Faturas E-W.....	24
10.	Discussão e conclusões	25
11.	Referências Bibliográficas	26

Figuras

Figura 1:	Contexto geológico regional segundo Karmann, 1994.....	10
Figura 2:	Contexto geológico local da Serra André Lopes (adaptado de Campanha <i>et al.</i> , 1985).....	11
Figura 4:	Diagramas de Roseta com frequências de azimute (acima) e extensão (abaixo).	17
Figura 5:	Histograma gerado a partir do mapa de orientação de vertentes.....	18
Figura 6:	Esquema da crista e suas vertentes	19
Figura 7:	Foliação principal Sn medida em campo.....	21
Figura 8:	Estereograma de foliações do mármore e guirlanda calculada.....	22
Figura 10:	Mapa simplificado Da Caverna do Diabo (Le Bret, 1966).....	23
Figura 11:	Estereograma das faturas subverticais.....	24
Figura 12:	Estereograma das faturas E-W.....	24

ANEXOS

- ANEXO A – Modelo Digital de Terreno (MDT)
- ANEXO B – Mapa de declividade
- ANEXO C – Modelo de orientação de vertentes
- ANEXO D – Mapa de Rugosidade
- ANEXO E – Mapa de desnivelamento altimétrico
- ANEXO F – Mapa de integral hipsométrica
- ANEXO G – Perfil em varredura
- ANEXO H – Mapa da área do perfil em varredura
- ANEXO I – Mapa de superfície de base (Isobase)
- ANEXO J – Mapa de análise de lineamentos

1. Agradecimentos

“Eu quis desistir no final do meu curso!”, foi uma frase que minha irmã Lígia me disse em uma das primeiras vezes que entrei em crise ao longo do curso. Não sabia se essa era a área pra mim. Nunca havia passado pela minha cabeça entrar num curso de geologia na minha vida.

Pelo jeito a frase dela fez mais efeito do que ela jamais imaginou, uma vez que hoje agradeço a ela num trabalho de formatura em Geologia.

Em meio a uma brincadeira, fui inscrito nesse curso por um ser humano chamado Samar Steiner, marido de minha irmã. Hoje, uma pessoa que posso considerar um mentor pra vida pessoal e profissional, pois sempre esteve presente em vários momentos importantes e sempre falando o que fosse preciso, me tornando uma pessoa mais humilde e melhor.

Minha mãe Deise, sempre esteve presente quando precisei, passamos muitas coisas difíceis juntos e sempre me apoiou, sempre topando uma cerveja depois de um dia difícil.

Meu pai Edson nunca imaginou que eu faria geologia (nem ninguém na verdade) mas nunca deixou de me apoiar do seu jeito babão de ser, me dando até um livro de geologia geral tão antigo quanto o éter como estado da matéria.

Meu irmão, lambão, Daniel, de uma forma que ele nem faz idéia, também me ajudou a chegar onde me encontro hoje. Ensinou-me que começar do zero era possível, antes mesmo de fazê-lo.

Meu orientador, Professor Doutor Carlos Henrique Grohmann, Guano, que topou me orientar, (mesmo me conhecendo antes mesmo de ser professor), sabendo que eu não era um aluno tão brilhante quanto eu o acho. Provando sempre que geologia é uma ciência feita com amigos e uma cerveja gelada no bar.

Ao Alexandre Iamamoto Ciuffa Diretor da Gerência de Cartografia, Instituto Geográfico e Cartográfico que gentilmente forneceu as curvas topográficas, que foram o esqueleto de todos os mapas desse projeto.

Aos caras da minha sala, que desde sempre fizeram com que a geologia fosse muito mais “maneira”.

Meus irmãos de coração, Chumbo e Thiago que sempre em me ajudaram sair da rotina em prosas infinitas.

Nani, que me acompanhava pelo telefone a várias idas solitárias à minha casa.

Às pessoas do estágio, que sempre foram amigas até antes de trabalharmos juntos e que deram um apoio sem tamanho nessa corrida final.

E não poderia deixar de agradecer à Danielle, uma pessoa que, apesar de recente na minha história, fez com que eu voltasse a ser o que eu era quando o tinha esquecido.

A todos aqueles que fizeram parte dessa jornada comigo de uma forma ou de outra, eu só tenho a agradecer.

3 Abstract

Digital image analysis and object tracking history in digital image analysis is a discipline that uses tools from the Earth Sciences, mathematics, engineering and computer sciences for quantification of variables and parameters related to the topographic aspect. The advent of software related to dynamic activity (morphometric) had as geomorphometry one of its main tools. By calculating morphometric variables and creating input data for the application of morphometric maps.

2. **Resumo**

A análise digital de terreno, também chamada de geomorfometria, modelagem digital de terreno, ou geomorfologia quantitativa, é uma disciplina que faz uso de ferramentas das ciências da Terra, matemática, engenharia e ciência da computação para a quantificação de variáveis e parâmetros relacionados à superfície topográfica. A análise de formas de relevo ligadas à atividade tectônica (morfotectônica) tem na geomorfometria uma de suas principais ferramentas, por possibilitar a determinação de variáveis topográficas e o cruzamento desses dados para a construção de mapas morfotectônicos.

A Serra André Lopes, localizada na região sudeste do Estado de São Paulo, abriga a Gruta da Tapagem (Caverna do Diabo), uma das maiores cavernas do Estado em extensão e que apresenta volume de seus salões internos muito superior ao encontrado nas outras cavernas da região, apesar de se desenvolver em mármore dolomítico, de baixa solubilidade. Esse fato poderia ser explicado por ação tectônica concomitante ao desenvolvimento da caverna, que seria responsável pelo soerguimento da porção norte da Serra André Lopes, com conseqüente aumento de gradiente hidráulico e incremento na taxa de erosão fluvial e de entalhamento vadoso.

Neste trabalho buscou-se investigar tal hipótese a partir da análise de mapas geomorfométricos e de dados estruturais adquiridos em campo e nos relatórios do projeto IPT-Pró minério. Foram gerados mapas de declividade, orientação de vertentes, rugosidade, desnivelamento altimétrico, integral hipsométrica, perfil em varredura e isobases

O mapa de isobases, o perfil em varredura e a presença de fraturas conjugadas de alto mergulho, compatíveis com esforços compressivos verticais, foram os argumentos chaves para o suporte da argumentação de que tenha ocorrido a influência de neotectônica no desenvolvimento do relevo da região, com soerguimento da porção NE da Serra por falha normal de direção NW-SE e mergulho para SW.

3. **Abstract**

Digital terrain analysis, also called geomorphometry or digital terrain modeling, is a discipline that uses tools from the Earth Sciences, mathematics, engineering and computer sciences for quantification of variables and parameters related to the topographic surface. The analysis of landforms related to tectonic activity (morphotectonics) has in geomorphometry one of its main tools, by calculating topographic variables and crossing such data for the construction of morphotectonic maps.

The André Lopes Range, at the southeastern region of São Paulo State, hosts the Tapagem Cave (Devil's Cave), one of the largest caves of the state, with horizontal development and internal volume much higher than the surrounding caves, despite being in low-solubility dolomitic marbles. This could be explained by tectonic influence during the cave's development, where an uplift of the northern portion of the range would increase the hydraulic gradient and rates of fluvial and vadose erosion.

In this work, this hypothesis was investigated through the analysis of geomorphometric maps and structural data measured in the field and from the literature. Maps of slope, aspect, surface roughness, altimetric leveling, hypsometric integral, isobases and swath profiles were analyzed.

The lineaments interpreted from the isobase map, the swath profile and the presence of conjugated fractures (compatible vertical compressive stress) are the main factors that support the initial idea of neotectonic influence during the development of the landscape, with an uplift of the northern portion of the range by a NW-SE normal fault dipping towards SW.

4. Introdução

A Serra André Lopes, localizada na região sudeste do Estado de São Paulo, abriga a Gruta da Tapagem (Caverna do Diabo), uma das maiores cavernas do Estado em extensão e que apresenta volume de seus salões internos muito superior ao encontrado nas outras cavernas da região, apesar de se desenvolver em mármore dolomítico, de baixa solubilidade (Grohmann, 1999).

Tal fato poderia ser explicado por ação tectônica concomitante ao desenvolvimento da caverna, que seria responsável pelo soerguimento da porção norte da Serra André Lopes, com conseqüente aumento de gradiente hidráulico e incremento na taxa de erosão fluvial e de entalhamento vadoso.

Neste trabalho buscou-se investigar essa hipótese a partir da análise de mapas geomorfométricos e de dados estruturais adquiridos em campo e nos relatórios do projeto IPT-Pró Minério (Campanha *et al.*, 1985). Foram gerados mapas de declividade, orientação de vertentes, rugosidade, desnivelamento altimétrico, integral hipsométrica, perfil em varredura e isobases.

Os mapas morfométricos derivados do MDT possibilitaram observar o contraste geomorfológico entre as porções nordeste e centro sul do planalto.

O perfil de varredura ilustra claramente as diferenças morfológicas entre a porção centro sul do planalto, com formas de relevo mais suave e de baixa amplitude, e a porção nordeste que apresenta desnivelamentos de centenas de metros.

Anomalias observadas no mapa de isobases apresentam direções NE-SW e NW-SE. Destas, aquelas de direções NW-SE aparentam ter uma influência muito maior na paisagem. Fraturas conjugadas com direções NW-SE de alto mergulho são compatíveis com esforços compressivos verticais e reforçam a hipótese da ação de falha normal.

5. **Metas e Objetivos**

Neste projeto foi construído um modelo digital de terreno em escala 1:10.000 da Serra André Lopes. Esse modelo foi utilizado para caracterização do relevo e identificação de áreas que apresentem evidências de ação neotectônica. Tais indícios foram utilizados para avaliar a hipótese da possível influência tectônica na evolução geomorfológica do sistema cárstico.

6. **Trabalhos prévios**

Na região sul-sudeste do Estado de São Paulo ocorrem três faixas de rochas carbonáticas: Itaiacoca, Lajeado e André Lopes (figura 1).

A faixa carbonática Itaiacoca é limitada a noroeste pelos sedimentos da Bacia do Paraná e a sudeste pelo Lineamento Itapirapuã. Constitui-se principalmente de metadolomitos maciços e metadolomitos calcários laminados (Souza, 1990).

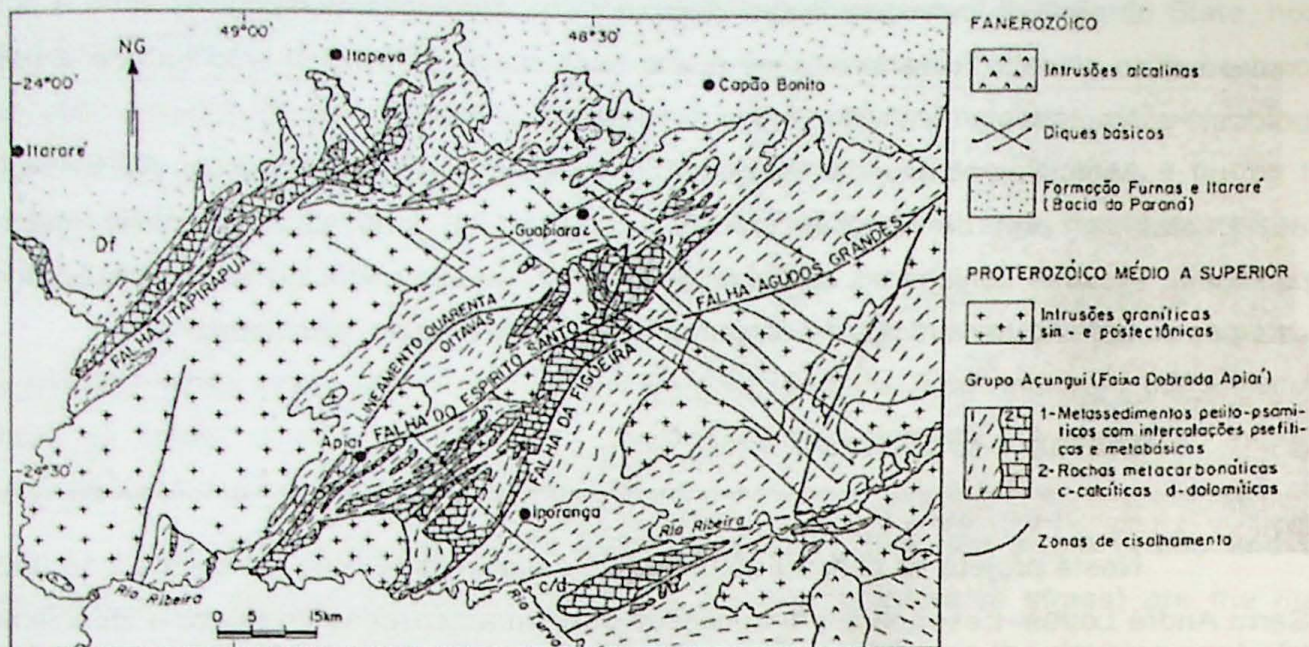


Figura 1: Contexto geológico regional segundo Karmann (1994).

A faixa carbonática Lageado limita-se a noroeste pelo Lineamento Quarenta Oitavas e a sudeste pelo Lineamento da Figueira. A paisagem cárstica mostra-se bem desenvolvida, com sistemas integrados de cavernas acessíveis e importante entalhamento subterrâneo (Karmann, 1994).

A faixa carbonática André Lopes (figura 2) ocupa quase totalmente a área da serra homônima (situada aproximadamente entre as coordenadas 24°37'N, 48°21'W e 24°40'N, 48°33'W), com exceção de suas bordas, constituídas de filitos e xistos finos, pertencentes à sequência serra das Andorinhas, complexo Setuva (Campanha et. al., 1985; Campanha, 1991). Distingue-se das demais faixas carbonáticas do sudeste do Estado de São Paulo pelo fato de constituir um relevo positivo em relação às rochas metapelíticas encaixantes, à exceção de alguns setores em sua borda sul, que contribuem com uma pequena recarga alogênica ao sistema cárstico.

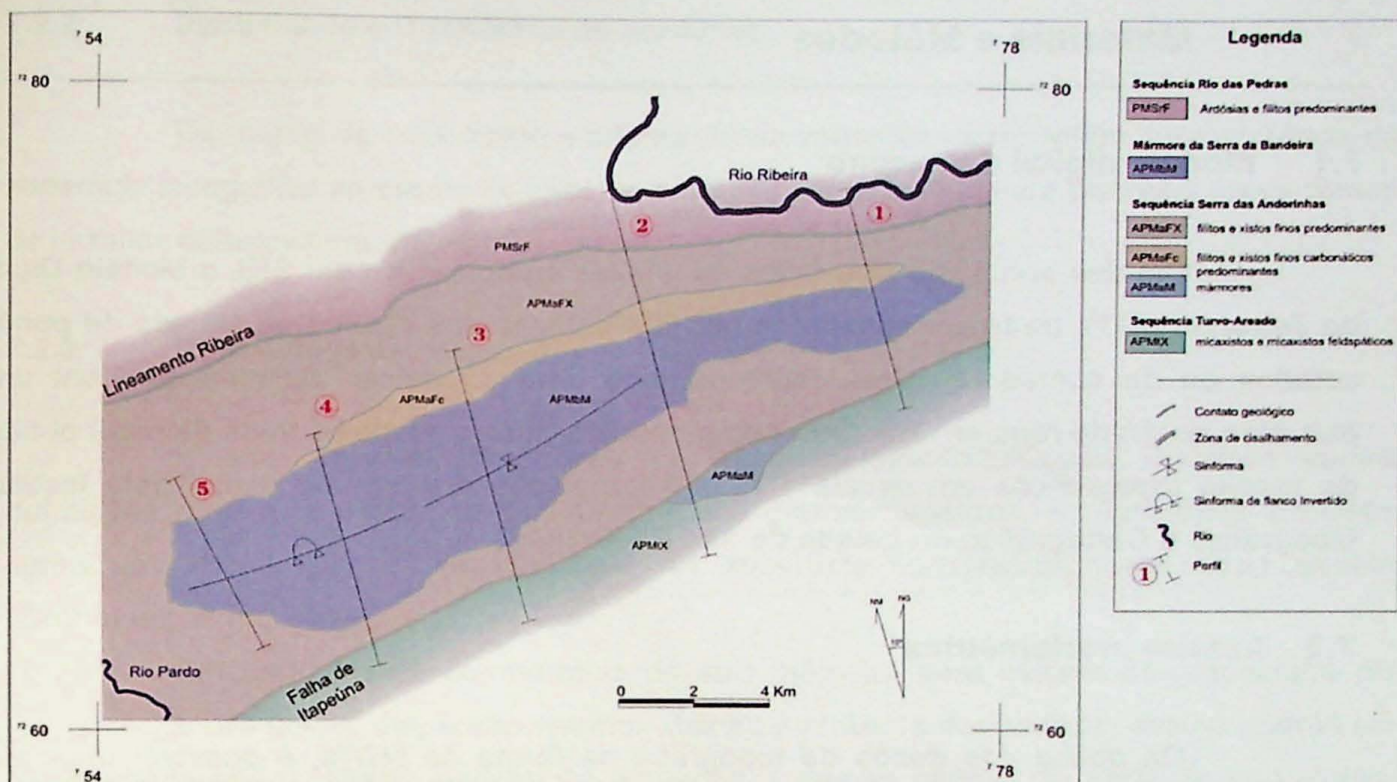


Figura 2: Contexto geológico local da Serra André Lopes (adaptado de Campanha *et al.*, 1985).

O relevo da Serra André Lopes, de uma maneira geral, se expressa na forma de um planalto cárstico com altitudes entre 700 e 850 m (Planalto da Tapagem), elevado em comparação à faixa carbonática Lageado, onde a altitude média dos morros encontra-se em torno de 600 metros (Campanha *et al.*, 1985).

A Gruta da Tapagem (Caverna do Diabo) é uma das maiores do estado de SP, com projeção horizontal de 5.720m se encontra inserida no sistema hidrológico do Alto Ribeira de Iguape, na faixa André Lopes (Auler *et al.*, 2005).

Foi uma das primeiras cavernas turísticas do Brasil, na qual foram desenvolvidos, na segunda metade da década de 60, vários projetos de instalação de infra-estrutura incluindo passarelas e iluminação.

O trecho turístico compreende apenas 800m a partir da entrada da Tapagem, onde é possível observar grandes espeleotemas como estalactites, estalagmites, colunas e cortinas. O setor não turístico pode ser dividido em duas partes, sendo o primeiro com um nível superior ainda nos limites turísticos, que pode ser acessado por meio de escalada e possui dois salões principais, Erectus, devido à grande quantidade de estalagmites tipo vela e salão Ping-Pong, nomeado em função a vários espeleotemas circulares formados em ambiente submersos. (Auler *et al.*, 2005). O segundo nível se desenvolve em sua maioria ao longo do rio, com corredores variando de largura e altura e vários obstáculos, como trechos de natação, cachoeiras e locais de escalada (Valle, 2005).

7. Materiais e Métodos

7.1 Modelo digital de terreno

Um dos principais elementos na análise morfométrica em SIG, o Modelo Digital de Terreno (MDT), pode ser construído por interpolação dos valores de altitude de pontos cotados ou de curvas de nível, representando uma superfície tridimensional em uma estrutura de grade regular. No caso deste trabalho, foram usadas curvas de nível obtidas de mapas topográficos em escala 1:10.000 fornecidos em formato digital pelo Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo (IGC).

7.2 Análise morfométrica

De posse dos dados de topografia na forma de MDTs, é possível realizar a análise morfométrica em Sistema de Informações Geográficas (SIGs), de forma ágil e precisa (Hiruma & Riccomini 1999, Grohmann 2004).

Os seguintes índices morfométricos foram estudados: distribuição e orientação de lineamentos (Liu 1987, Riccomini & Crósta 1988), declividade, orientação de vertentes, perfis em varredura (Baulig 1926, Tricart & Cailleux 1958), rugosidade de relevo (Hobson 1972, Day 1979, Grohmann *et al.* 2010), superfícies de base (Filosofov 1960, Golts & Rosenthal 1993, Grohmann *et al.* 2011), integral hipsométrica (Strahler 1952) e desnivelamento altimétrico (Smith 1935, Meis *et al.* 1982, Ahnert 1984, Summerfield 1991).

7.2.1 Distribuição e orientação de lineamentos

Para o mapa de lineamentos foram geradas imagens de relevo sombreado com a ferramenta *Hillshade* (ArcGIS versão 9.3) nos azimutes 0°, 45°, 90° e 315° com altitude constante de 45° para melhor caracterização dos lineamentos.

A partir do mapa foram gerados tabelas de azimuth e comprimento, se utilizando do programa *Graphics and Shapes* (Jenness, 2011), as quais foram plotadas no programa *OpenStereo* versão 0.1.2 (Grohmann & Campanha, 2010) com o intuito de definir a frequência de direções e tamanhos dos lineamentos caracterizados no mapa da região de estudo.

7.2.2 Declividade e Orientação de vertentes

Os mapas de declividade e orientação de vertentes representam a variabilidade da superfície topográfica na escala de trabalho e podem ser utilizadas para distinguir áreas planas de terrenos de relevo movimentado.

7.2.3 Rugosidade de relevo

É uma variável importante em estudos geomorfológicos. Existem várias definições para rugosidade, porém no contexto geomorfométrico, a rugosidade é usada como uma expressão da variabilidade da superfície topográfica numa dada escala (Grohmann *et al.*, 2011).

Em uma análise comparativa de seis métodos para cálculo da rugosidade de relevo (razão de áreas, dispersão vetorial, desvio padrão da declividade, desvio padrão da topografia residual, desvio padrão da elevação e desvio padrão do perfil de curvatura), Grohmann *et al.* (2011) concluíram que os melhores resultados foram a partir do desvio padrão da declividade pois este método identificou superfícies inclinadas suaves e quebras de declividade, demonstrando bons resultados em várias escalas e ainda sendo muito simples de calcular.

7.2.4 Desnivelamento Altimétrico

O desnivelamento altimétrico é uma variável que mede a diferença de altitudes máximas e mínimas na vizinhança e representa um índice de dissecação do relevo (Silva *et al.*, 1993), ou volume de matéria para erosão, com referência à níveis de base locais (Dury, 1951).

7.2.5 Integral hipsométrica

A integral hipsométrica é observada através de um gráfico da altitude nas ordenadas e pela frequência acumulada nas abscissas. Com esse gráfico é possível, segundo Strahler (1952), interpretar a partir das integrais das curvas geradas termos de grau de dissecação e idade relativa de formas de relevo como indicado na figura 3

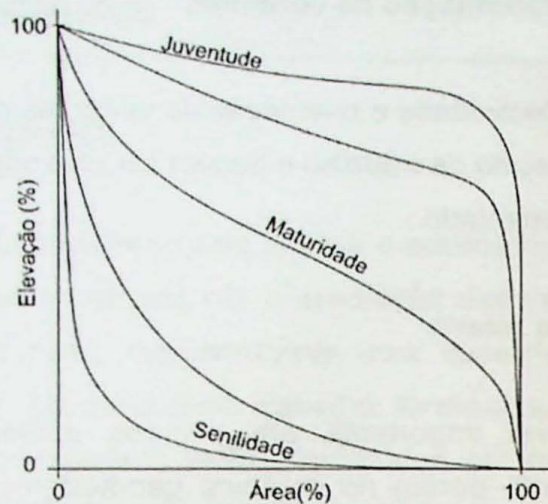


Figura 3: Gráfico da integral hipsométrica, adaptado de Strahler, (1952).

Strahler (1952) diz também que a integral hipsométrica é inversamente correlacionada aos valores de declividade, densidade de drenagens, desnivelamento altimétrico, densidade de drenagens e gradientes de canais de drenagens. Uma vez que essas variáveis são diretamente correlacionadas com taxas de erosão, a integral hipsométrica deve ser inversamente proporcional à erosão da área estudada (Rosenau, 2004)

Uma forma muito mais simples de se calcular a integral hipsométrica foi demonstrada por Pike & Wilson (1971). Eles mostram que a razão altitude-desnivelamento (E) é idêntica a integral em estudo, e é definida como:

$$E = \frac{(\text{elevação média} - \text{elevação mínima})}{(\text{elevação máxima} - \text{elevação mínima})}$$

7.2.6 Perfis em varredura

Perfis topográficos em varredura são construídos utilizando-se de várias linhas de perfil paralelas com espaçamentos iguais entre elas, em uma faixa de varredura. Essa técnica proporciona uma visão do comportamento altimétrico, podendo ser útil para determinação da inclinação de feições topográficas regionais (Meis *et al.*, 1982).

7.2.7 Superfícies de base (isobases)

Powell (1875, 1895) definiu nível de base como o limite inferior da paisagem, onde não há erosão abaixo do mesmo.

O método das isobases relaciona ordem dos canais drenagens e o relevo sendo que as intersecções entre topografia e drenagens de mesma ordem formam uma superfície hipotética que representa o nível de base associado a uma mudança na organização das drenagens devido a um evento tectono-erosional (Filosofov, 1960).

A posição relativa dos canais dentro de uma bacia é descrita pela ordenação da drenagem (Strahler, 1952). Segundo Golts & Rosenthal, (1993) é possível relacionar drenagens de ordem similar aos mesmos eventos geológicos, consequentemente de idades semelhantes.

O principal objetivo desse método é a possibilidade de identificar áreas com possíveis influências tectônicas, mesmo quando a área de estudo seja litologicamente homogênea (Grohmann *et al.*, 2011).

Para a construção do mapa de isobases foi feita a extração de drenagens a partir do MDT, classificadas em suas respectivas ordens e selecionadas as de 2ª e 3ª ordem. Os pontos das interpolações entre as drenagens selecionadas e as curvas de nível foram extraídas no programa *QuantumGIS*. Esses pontos foram interpolados no programa *ArcGIS* pelo método de *splines*, para gerar um raster com célula de 50 metros.

7.3 Análise estrutural

A análise estrutural foi realizada, inicialmente, a partir de medidas levantadas em campo. Devido às dificuldades surgidas em consequência da região ser uma área constituída em sua maioria de metadolomitos maciços (Karmann, 1994), foi feito um levantamento dos dados estruturais do projeto IPT-Pró Minério (Campanha *et al.*, 1985) na região em estudo no intuito de enriquecer a análise estrutural.

8. Desenvolvimento

Conforme proposto no início do projeto, este programa se iniciou com a integração de dados topográficos em ambiente SIG (ArcGIS versão 9.3) para a geração de um Modelo Digital de Terreno na escala 1:10.000.

A partir do MDT foi realizada a análise de lineamentos e foram gerados mapas de declividade, orientação de vertentes, rugosidade de relevo, isobases, desnivelamento altimétrico, integral hipsométrica e perfis em varredura.

Foi realizada uma atividade de campo em maio de 2011 na região da Caverna do Diabo onde foram levantados dados estruturais em apenas duas localidades, devido à falta de afloramentos na região: um nas imediações da entrada da caverna e outro na Cachoeira do Araçá. Foi feito um caminhar ao longo do Rio das Ostras seguindo a direção SE, porém não foi encontrado nenhum afloramento.

Um segundo trabalho de campo na região estava previsto, porém devido à falta de tempo hábil, não foi possível cumpri-lo. Assim sendo, com o intuito de adquirir mais dados estruturais foi feito um levantamento dos dados estruturais do projeto IPT-Pró Minério (Campanha *et al.*, 1985) na Folha Braço (SG-22-X-B-VI-1) para enriquecimento da análise estrutural da área.

Os dados estruturais foram tratados na forma de estereogramas projetados em rede de igual área com o hemisfério inferior como referência. Os diagramas foram confeccionados utilizando-se do *software* livre *OpenStereo* versão 0.1.2 (Grohmann & Campanha, 2010).

9. Resultados

9.1 Análise Morfométrica

A análise morfométrica foi realizada a partir de mapas derivados do MDT em escala 1:10.000 (anexo A), sendo eles imagens de relevo sombreado para a análise de lineamentos, mapas de declividade, orientação de vertentes, rugosidade de relevo, desnivelamento altimétrico, integral hipsométrica, isobases e perfis em varredura.

9.1.1 Análise de Lineamentos

No diagrama de direções dos lineamentos (figura 4) é possível observar que a maior frequência é a direção NW-SE, porém os lineamentos de maior tamanho se encontram na direção NE-SW, a qual é caracterizada pelas Zona de Cisalhamento Ribeira e Lancinha, e pela direção da Serra André Lopes.

O mapa de lineamentos pode ser observado no anexo J.

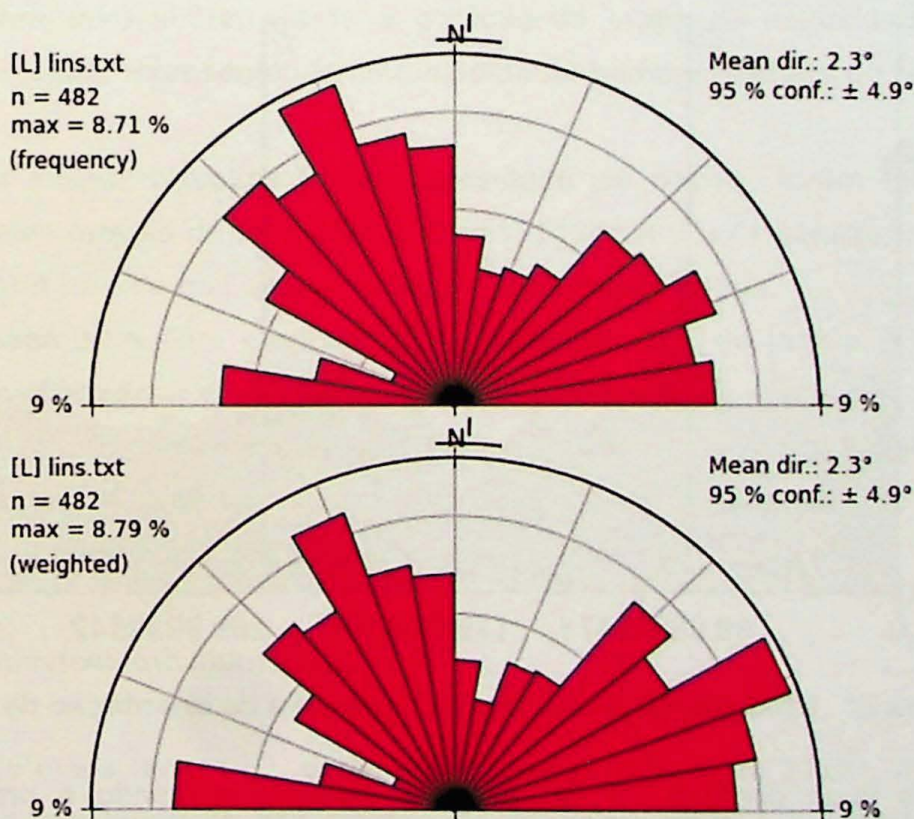


Figura 4: Diagramas de Roseta com frequências de azimute (acima) e extensão (abaixo).

9.1.2 Declividade

Uma vez gerado o mapa de declividade, foi feita uma análise por janelas móveis de 71x71 células (anexo B) onde é possível observar com maior clareza que a maior parte do Mármore da Tapagem se mostra aplainada com uma exceção da porção NE do mesmo (região da Serra do Sapatu) que apresenta declividades maiores. É possível observar um corpo com direção NE-SW cruzando a região aplainada do mármore.

9.1.3 Orientação de Vertentes

No caso do mapa de orientação de vertentes, inicialmente, não foi possível obter nenhum dado de importância relevante ao objetivo do projeto por ter sido gerado a partir de uma área muito extensa. Para melhor análise, foi feito um corte na área indicada no anexo C e gerado um histograma apenas desta área (figura 5).

Com a área delimitada, foi possível observar uma trimodalidade de direções, 77°, 235° e 355°.

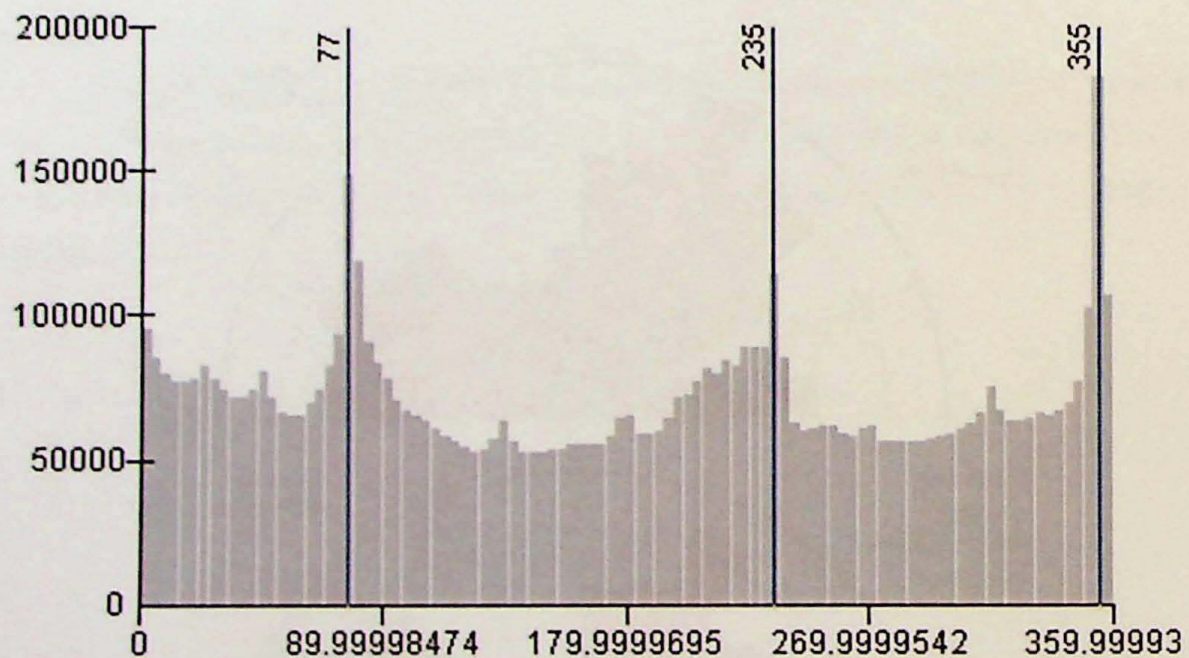


Figura 5: Histograma gerado a partir do mapa de orientação de vertentes

As duas direções 77° e 235° são opostas, indicando a presença de cristas alinhadas a NNW-SSE (figura 6). Já a direção 355° não aparenta ter correlação a nenhuma estrutura aparente.

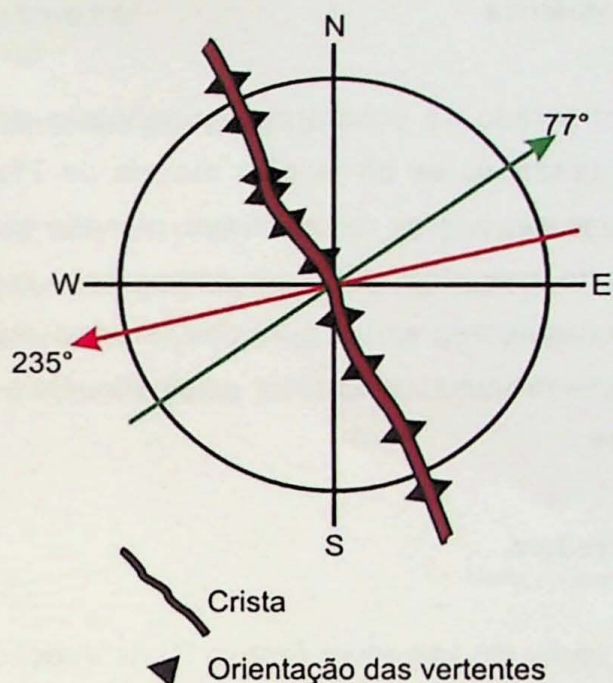


Figura 6: Esquema da crista e suas vertentes

9.1.4 Rugosidade de relevo

O parâmetro utilizado para a geração do mapa de rugosidade foi o desvio padrão da declividade, representando uma medida da homogeneidade do relevo na escala trabalhada.

Para melhor visualização da rugosidade do relevo, foram feitos testes com médias em janelas móveis de 7x7, 15x15, 31x31, 51x51 e 71x71 células, chegando a um resultado melhor à medida que se aumentava o tamanho da janela.

O mapa de melhor visualização foi considerado o de janela 71x71 (anexo D), onde fica possível observar em tons de vermelho a rugosidade acentuada nas laterais da Serra e na porção NE do planalto carbonático. Já o centro do planalto se encontra mais esverdeado, indicando uma região menos rugosa, com a exceção do corpo NE-SW observado anteriormente no mapa de declividade.

9.1.5 Desnivelamento altimétrico

Neste mapa (anexo E), gerado com janelas móveis de 71x71, regiões em tons de vermelho indicam locais de alta dissecação do relevo onde é possível delimitar mais claramente a Serra André Lopes e colocando em evidência a diferença de relevo entre sua borda e seu interior que se encontra quase que totalmente em tons de azul, exceto pelo corpo NE-SW visualizado anteriormente nos outros mapas morfométricos.

9.1.6 Integral hipsométrica

Este mapa foi gerado de acordo com a definição de E (Pike & Wilson, 1971) indicada anteriormente, utilizando-se de janelas moveis de 71x71 células (anexo F). As áreas de cores alaranjadas nas bordas da serra e no planalto carbonático têm um valor de E alto, sendo regiões muito mais dissecadas em comparação com o centro-sul do planalto carbonático que apresentam cores azuis e verdes em sua maioria, indicando um grau baixo de E , conseqüentemente um terreno mais aplainado. Nota-se uma maior dissecção na região NE do mármore.

9.1.7 Perfis em varredura

Foram feitos perfis em varredura (anexo G) na direção NE-SW na área indicada no mapa (anexo H), condizente com a direção do Mármore da Tapagem para análise morfométrica. Na observação morfométrica, foi possível observar claramente o planalto da Tapagem na porção SW do perfil. Uma vez que há uma mudança morfológica abrupta na porção mais a NE, foi interpretada uma falha normal nesse contato entre as duas morfologias, sendo que a porção ao extremo NE apresenta um relevo mais rejuvenescido na região da Serra do Sapatu.

9.1.8 Isobases

No mapa de isobases foi possível interpretar várias anomalias (anexo I) numa variação bimodal, NE-SW e NW-SE. As anomalias mais em evidência se encontram a NW-SE, as quais podem ser correlacionadas com a direção geral do arco de Ponta Grossa.

Uma dessas estruturas NW-SE separa duas áreas morfologicamente distintas, o planalto carbonático e a zona de relevo mais juvenil onde se encontra a Serra do Sapatu.

Na análise estrutural (item 9.2.2) foi possível observar fraturas conjugadas de direções semelhantes às anomalias NW-SE.

Outra anomalia se encontra na região onde foi observado o corpo NE-SW que cruza a área centro sul do planalto, caracterizado nos mapas anteriores.

9.2 Análise estrutural

9.2.1 Foliação metamórfica principal (S_n)

Com os dados coletados em campo foi possível caracterizar a foliação S_n e correlacionar a estruturação da região do Mármore da Tapagem, a qual é uma sinclinal, com traço axial aproximadamente a NE-SW (Campanha *et al.*, 1985). A foliação medida em campo tem direção NNE-SSW com um mergulho para WNW (figura 7) e pode estar relacionada a um dos flancos dessa dobra.

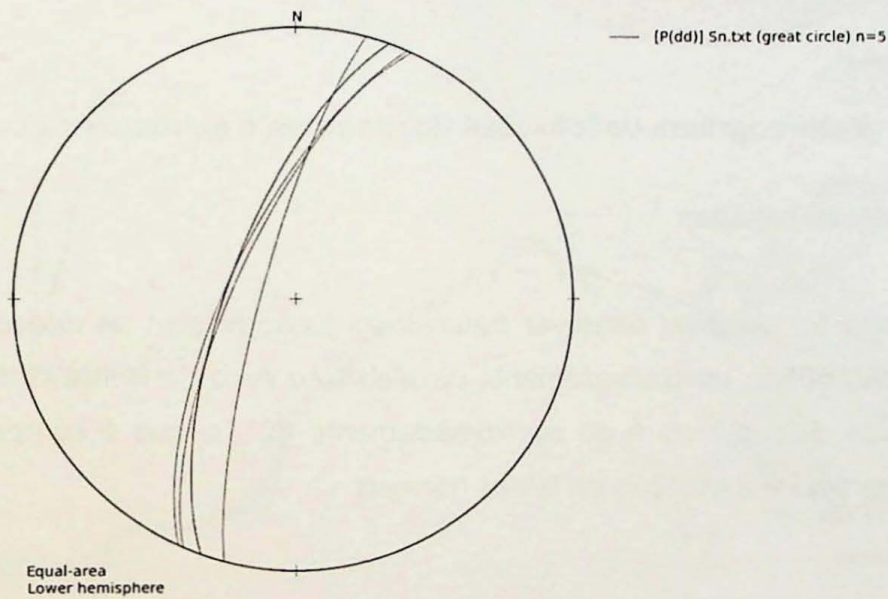


Figura 7: Foliação principal S_n medida em campo

Juntamente com os dados adquiridos do IPT, foi possível juntar os dados anteriores e caracterizar uma guirlanda de eixo N235/25 e círculo máximo de direção N35W/65NE como observado na figura 8.

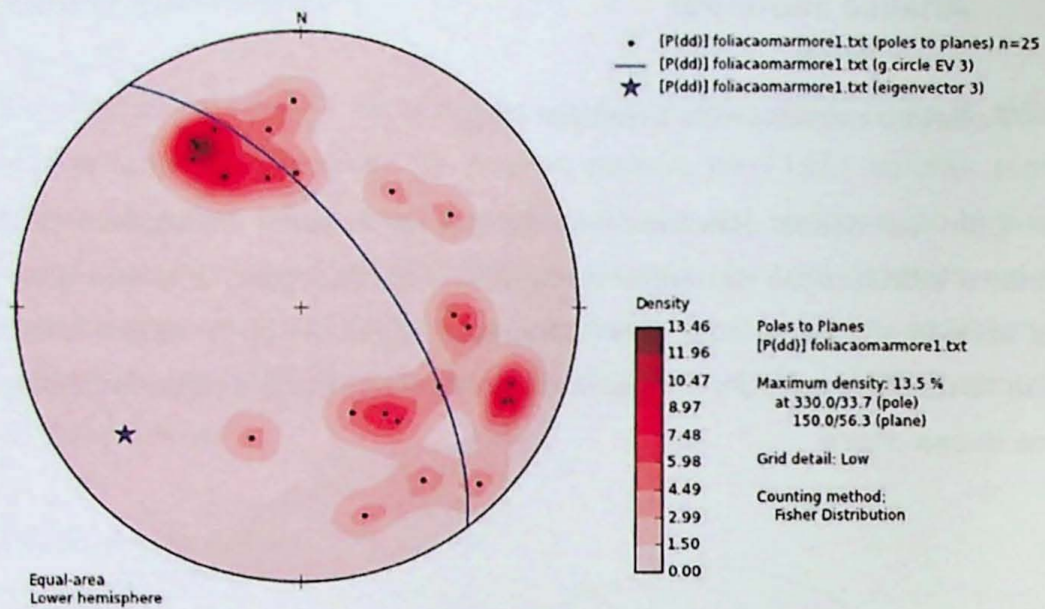


Figura 8: Estereograma de foliações do mármore e guirlanda calculada.

9.2.2 Fraturas conjugadas

No campo foi possível observar fraturas conjugadas com as direções médias de N30W/60SW e N05W/50NE, aproximadamente paralelas ao Arco de Ponta Grossa. O ângulo agudo formado pelos dois planos é de aproximadamente 60°, o que é compatível com um esforço próximo à vertical e à geração de falhas normais.

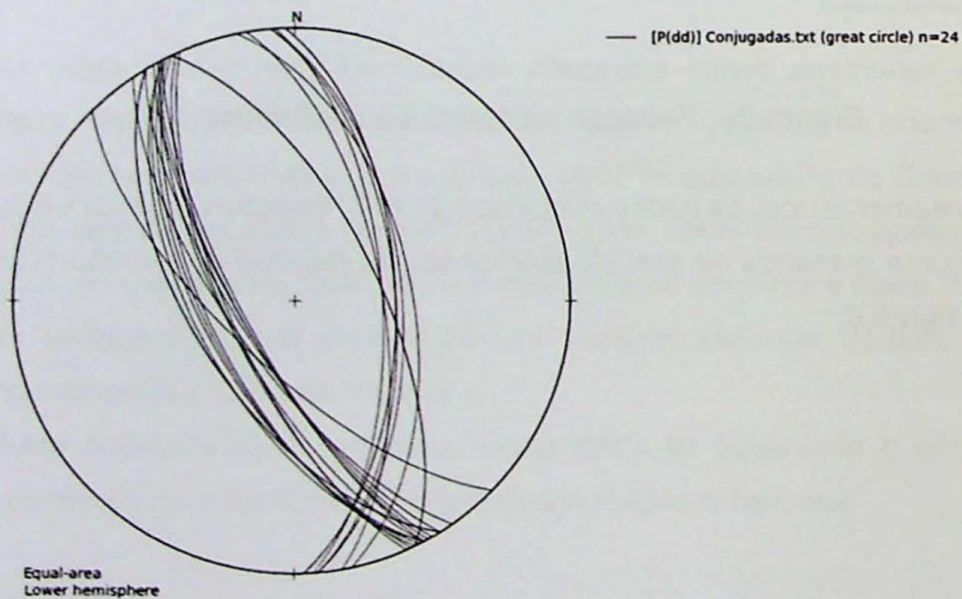


Figura 9: Estereograma das fraturas conjugadas

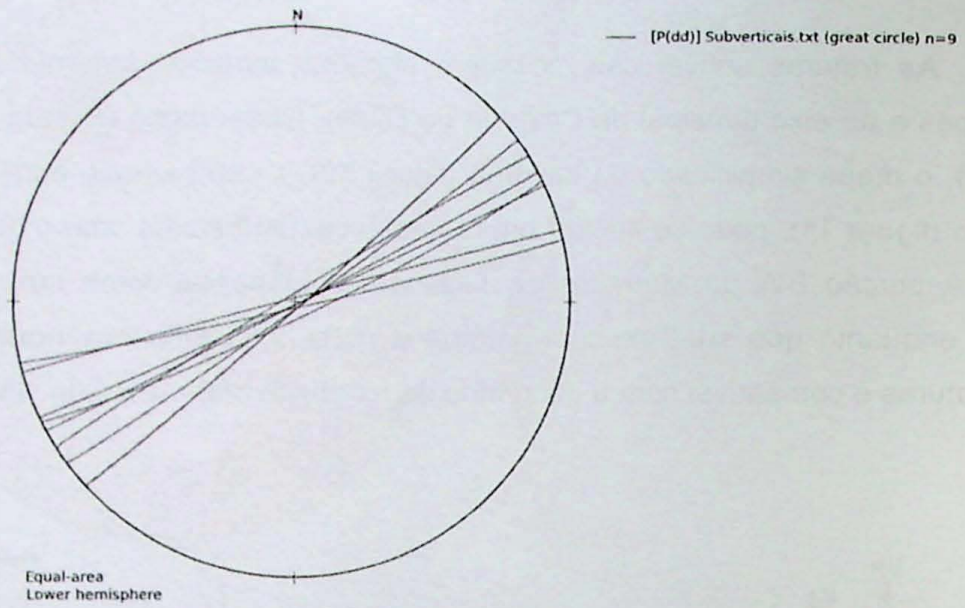


Figura 11: Estereograma das fraturas subverticais

9.2.4 Fraturas E-W

Fraturas com direções medidas em campo que variam entre N82E/50SE e S75E/51SW podem ser observadas no estereograma da figura 12. Foram adquiridas várias medidas a partir do relatório do IPT, porém não possível correlacionar a nenhuma estrutura regional ou local.

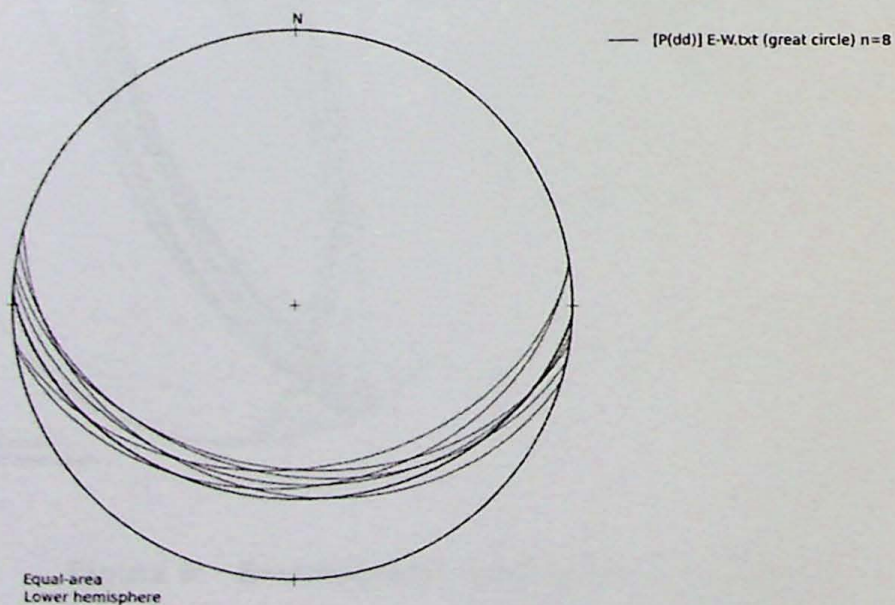


Figura 12: Estereograma das fraturas E-W

10. Discussão e conclusões

O forte contraste das formas de relevo existentes na Serra da Tapagem, dissecado na porção NE e mais suave na porção centro sul, aliado ao desenvolvimento e volume dos condutos da Gruta da Tapagem (Caverna do Diabo), muito superiores à média das cavidades naturais existentes na região, levou a formulação da hipótese de influência neotectônica na evolução do relevo e do sistema cárstico.

Os mapas morfométricos derivados do MDT ressaltam essas diferenças. O perfil de varredura ilustra claramente que a porção centro sul do planalto possui formas de relevo suaves e de baixa amplitude, enquanto que a porção nordeste apresenta um desnivelamento da ordem de centenas de metros.

No mapa de isobases foram identificadas anomalias de direção NW-SW e NW-SE. Destas, aquelas direções NW-SE parecem ter uma influência maior na paisagem, a exemplo do lineamento interpretado no limite entre os domínios morfológicos nordeste e centro sul do planalto, indicado como estrutura 1 no mapa de isobases (anexo I).

Os dados estruturais levantados em campo mostram a presença de fraturas conjugadas com direção aproximada NW-SE e alto mergulho (figura 9), condizentes com um campo de esforços de compressão vertical e geração de falhas normais.

Esses dados, quando analisados em conjunto, suportam a hipótese de ação neotectônica na formação do relevo do Planalto da Tapagem, com soerguimento da porção NE da Serra por falha normal de direção NW-SE com mergulho para SW.

11. Referências Bibliográficas

- AHNERT, F. (1984). Local relief and the height limits of mountain ranges. *American Journal of Science*, 284, 1035-1055.
- AULER, A.; RUBIOLLI, E.; BRANDI, R. (2005). *As Grandes Cavernas do Brasil*, Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas, Belo Horizonte, 228p.
- BAULIG, H. (1926). Sur une méthode d'analyse altimétrique appliquée à la Bretagne. *Bulletin de l'Association de Géographie Française*. 10:7-9.
- CAMPANHA, G.A.; GIMENES FILHO, A.; VIEIRA CAETANO, S.L.; ALVES PIRES, F.; LUCAS DANTAS, A.S.; TEIXEIRA, A.L.; DEHIRA, L.K.; HACHIRO, J.; STEFANI, F.L. (1985). *Geologia das Folhas Iporanga (SG.22-X-B-V-2) e Gruta do Diabo (SG.22-X-B-VI-I), Estado de São Paulo*. São Paulo, IPT/Pró Minério. (Relatório no 22.352).
- CAMPANHA, G.A. (1991). *Tectônica Proterozóica nos alto e médio vale do rio Ribeira de Iguape, Estados de São Paulo e Paraná*. São Paulo, 296p. (Tese de Doutorado - Instituto de Geociências - USP).
- DAY M. J. (1979). "Surface roughness as a discriminator of tropical karst styles," *Zeitschrift für Geomorphologie*, vol. Suppl.-Bd. 32, pp. 1-8.
- DURY, G. H. (1951). Quantitative measurement of available relief and of depth of dissection. *Geological Magazine*, 88:339-343.
- FILOSOFOV, V.P. (1960). Brief guide to morphometric methods in search of tectonic structures. Saratov, Saratov Univ. Publ. House. [in Russian]
- GOLTS, S.; ROSENTHAL, E. (1993). A morphotectonic map of the northern Arava in Israel, derived from isobase lines. *Amsterdam: Geomorphology*, 7:305-315.
- GROHMANN, C.H.; RICCOMINI, C.; CHAMANI, M.A.C. (2011). Regional scale analysis of landform configuration with base-level (isobase) maps. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15:1493-1504.

GONÇALVES, S. R. B. (2004). Patrimônio Geológico: conceito e aplicação para a área da Serra André Lopes. Monografia de Trabalho de Formatura, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

GROHMANN, C.H. (1999). O carste da Serra André Lopes. Relatório Final de Iniciação Científica PIBIC/CNPq. 17p.

GROHMANN, C. H. (2004). Morphometric analysis in Geographic Information Systems: applications of free software GRASS and R. *Computers & Geosciences*, 30, 1055-1067.

GROHMANN, C. H., RICCOMINI, C., ALVES, F. M. (2007). SRTM-based morphotectonic analysis of the Poços de Caldas Alkaline Massif, southeastern Brazil. *Computers & Geosciences*, 33, 10-19.

GROHMANN, C.H.; RICCOMINI, C.; SMITH, M.J. (2011). Multiscale Analysis of Topographic Surface Roughness in the Midland Valley, Scotland. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 49:1200-1213.

HIRUMA, S.T.; RICCOMINI, C. (1999). Análise morfométrica em neotectônica: o exemplo do Planalto de Campos do Jordão, SP. *Revista do Instituto Geológico*. 20:5-19.

HOBSON, R.D. (1972). Surface roughness in topography: quantitative approach. In: Chorley, R.J. (ed) *Spatial analysis in geomorphology*. Methuen, London, p.225-245.

JENNESS, J. (2011). *Tools for Graphics and Shapes: Extension for ArcGIS*. Jenness Enterprises. (disponível em http://www.jennessent.com/arcgis/shapes_graphics.htm, último acesso em 12/08/2011).

KARMANN, I. (1994). Evolução e Dinâmica Atual do Sistema Cárstico do Alto Vale do Rio Ribeira de Iguape, Sudeste do Estado de São Paulo. São Paulo, 214p. (Tese de Doutorado - Instituto de Geociências - USP).

LE BRET, M. (1966). Estudos Espeleológicos no Vale do Alto Ribeira. Boletim no 47 - Instituto Geográfico e Geológico. São Paulo. Secretaria da Agricultura.

LIU, C.C. (1987). A geologia estrutural do Rio de Janeiro vista através de imagens MSS do Landsat. Anais do I Simpósio de Geologia Regional RJ-ES, SBG, p.164-188.

MEIS, M. R., MIRANDA, L. H., & FERNANDES, N. F. (1982). Desnivelamentos de altitude como parâmetros para a compartimentação de relevo: bacia do médio-baixo Paraíba do Sul. In Congresso Brasileiro de Geologia, XXXII, Salvador, SBG/BA, Anais: v. 4 (pp. 1489-1503).

PIKE, R. J. & WILSON, S. E. (1971). Elevation-relief ratio, hypsometric integral, and geomorphic area-altitude analysis. Geological Society of America Bulletin, 82(4):1079-1083.

POWELL, J. W., (1875). Exploration of the Colorado River of the West and its tributaries. Explored in 1869, 1870, 1871, and 1872 under the direction of the secretary of the Smithsonian Institution. Government Printing Office, Washington.

POWELL, J. W., (1895). Canyons of the Colorado. Flood & Vincent.

RICCOMINI, C.; CRÓSTA, A.P. (1988). Análise preliminar de lineamentos em imagens de sensores remotos aplicada à prospecção mineral na área dos granitóides Mandira, SP. Bol.Inst.Geoc. USP. Série Científica. 19:23-37.

ROSENAU, M. R. (2004). Tectonics of the Southern Andean Intra-arc Zone (38o- 42oS). Tese de Doutorado, Freie Universität Berlin.

SILVA, T. M., MELLO, C. L., & MOURA, J. R. S. (1993). Compartimentação morfoestrutural do médio vale do Rio Pararaíba do Sul e áreas serranas adjacentes (RJ/SP/MG). In: Simpósio de Geologia do Sudeste, 3, Rio de Janeiro, Anais, p. 103-109.

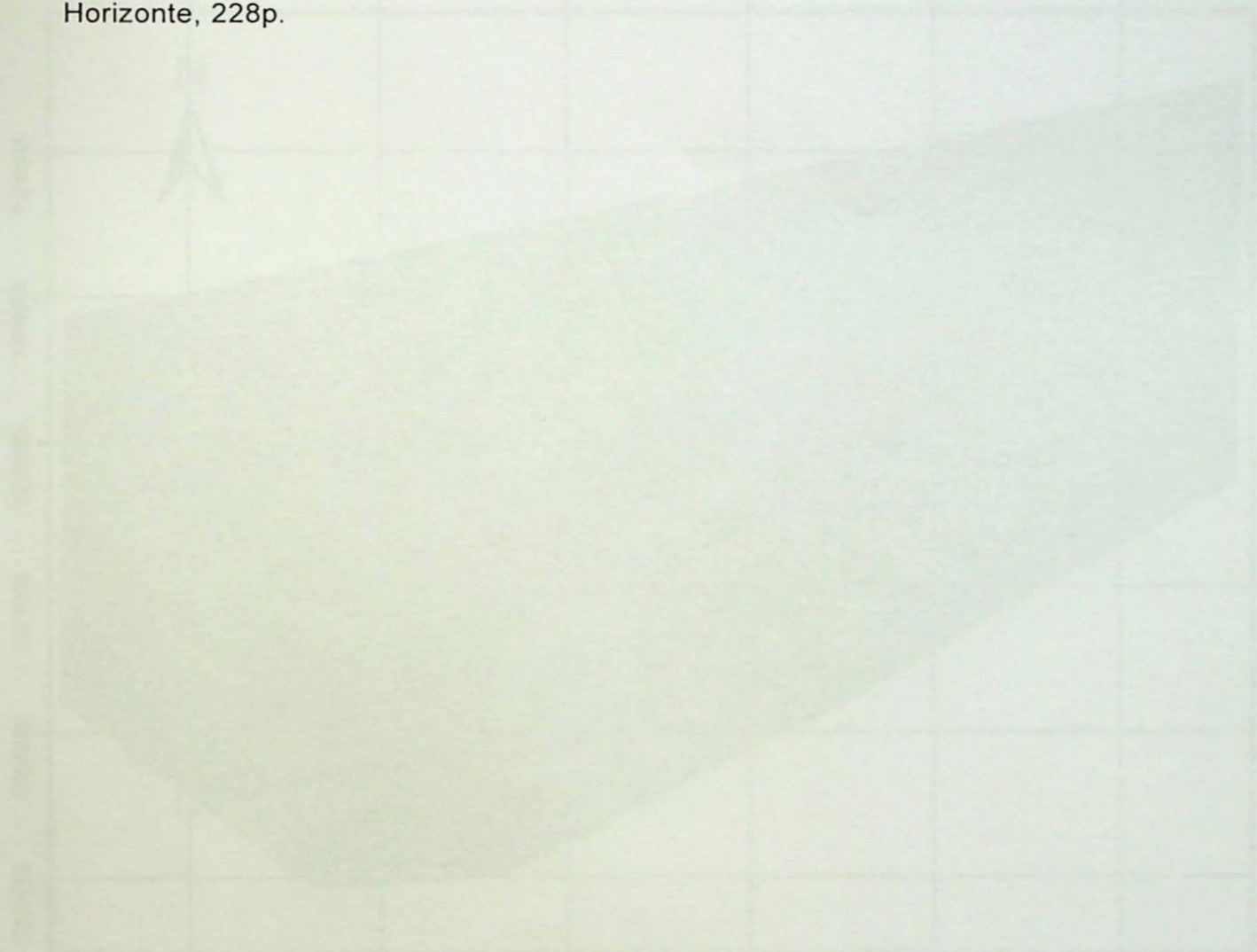
SMITH, G. H. (1935). The relative relief of Ohio. Gographic Review, 25, 272.

STRAHLER, A. N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. Bulletin of the Geological Society of America, 63:1117-1142.

SUMMERFIELD, M. A. (1991). Sub-aerial denudation of passive margins: regional elevation versus local relief models. Earth and Planetary Science Letters, 102, 460-469.

TRICART, J.; CAILLEUX, A. (1957). Cours de Geomorphologie I: Geomorphologie Structurale. C.D.U. Paris. 252p.

VALLE. (2005). Gruta da Tapagem (Caverna do Diabo), In: Auler, A.; Rubioli, E.; Brandi, R. As Grandes Cavernas do Brasil, Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas, Belo Horizonte, 228p.



1:50000
Escala

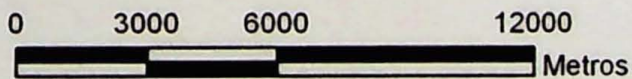
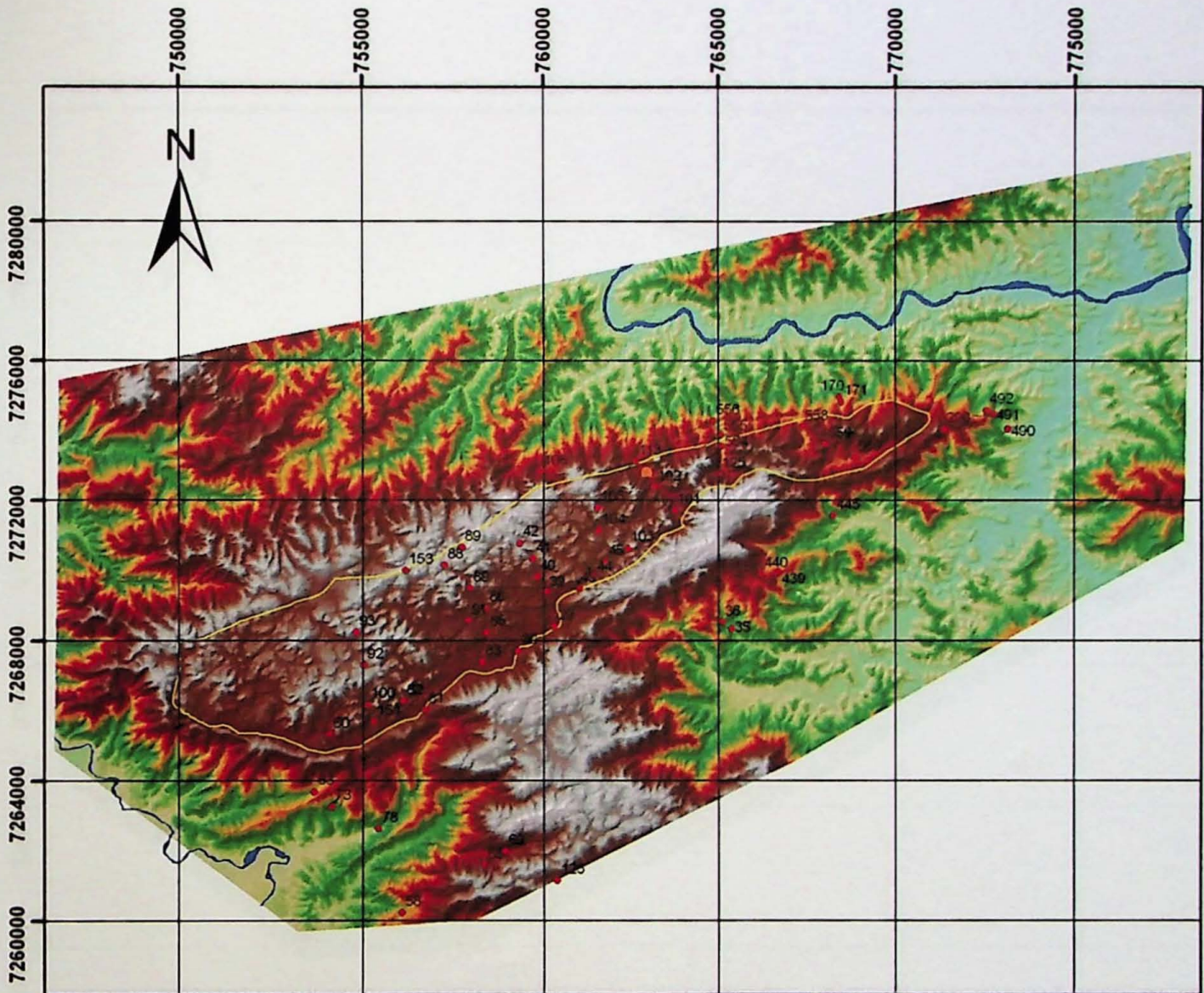
Legenda

- Topografia
- 100m
- 50m
- 0m
- Localização da Gruta da Tapagem
- Caverna do Diabo
- Gruta da Tapagem
- Na Planície

Sistema de coordenadas UTM-22J

ANEXO A

Modelo digital de terreno (MDT)



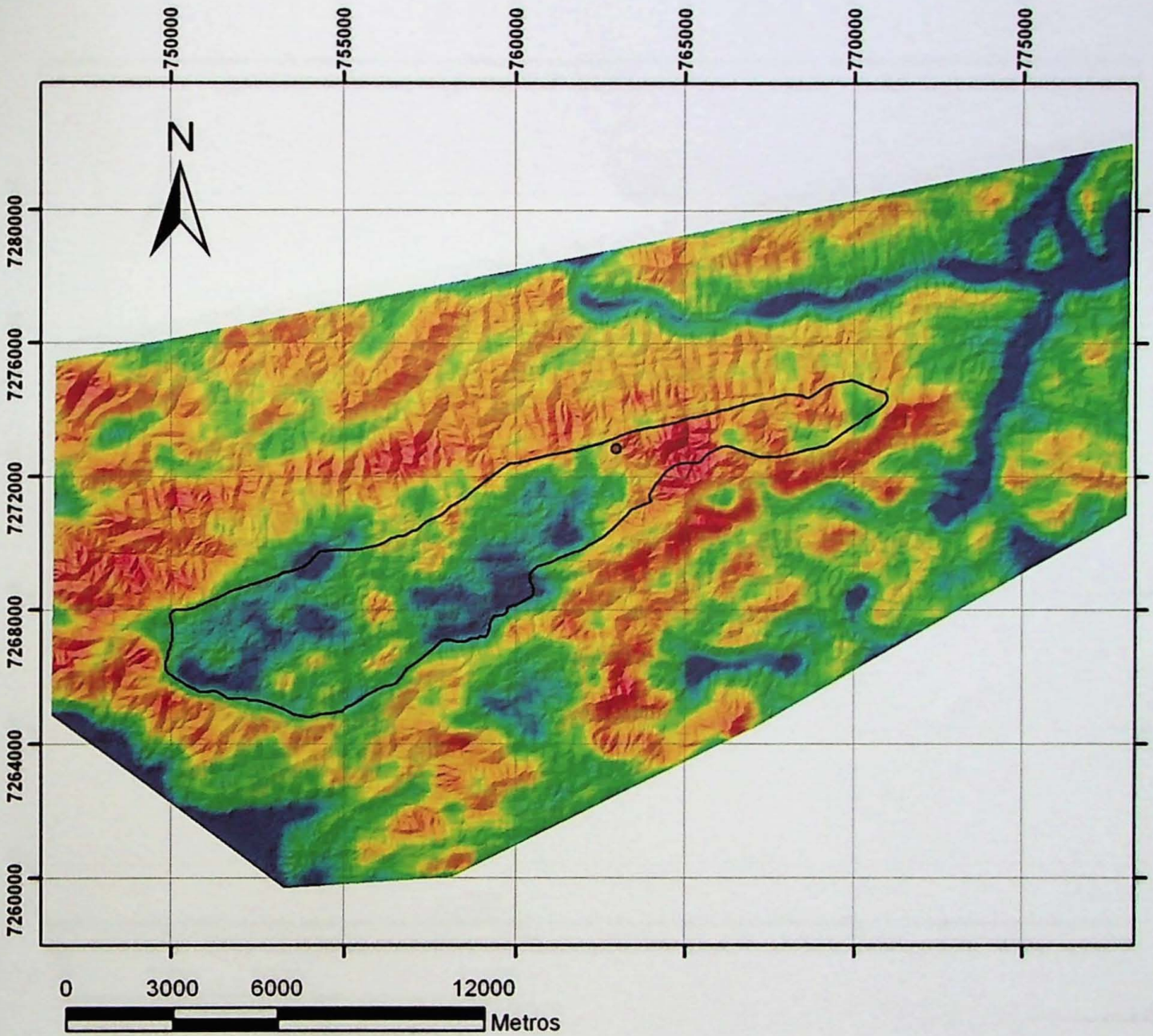
Legenda

- Topografia**
- Localização da Gruta da Tapagem (Caverna do Diabo)
 - Medidas de foliação
 - Mármore da Tapagem
 - Rio Ribeira
- 1011m
15m

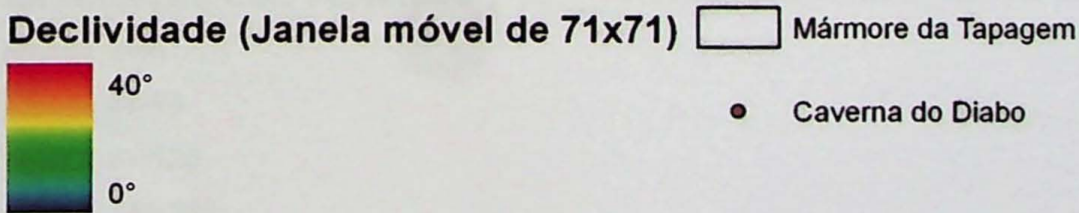
(Sistema de coordenadas UTM-22)

ANEXO B

Mapa de Declividade



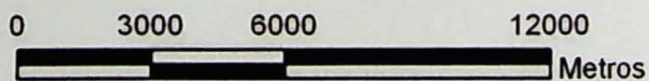
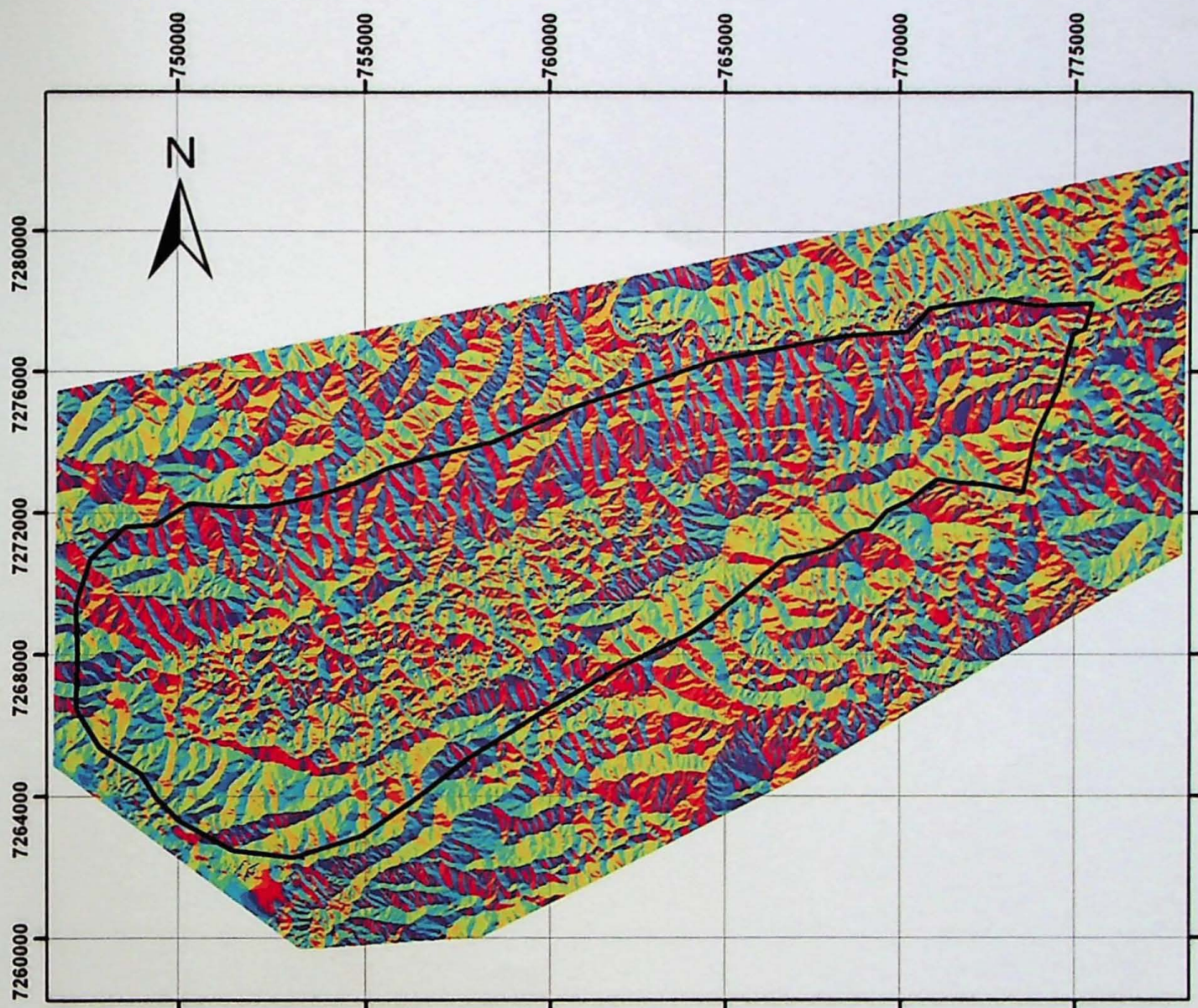
Legenda




(Sistema de coordenadas UTM-22)





ANEXO C

Mapa de Orientação de Vertentes



Legenda

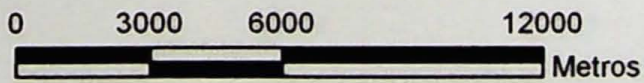
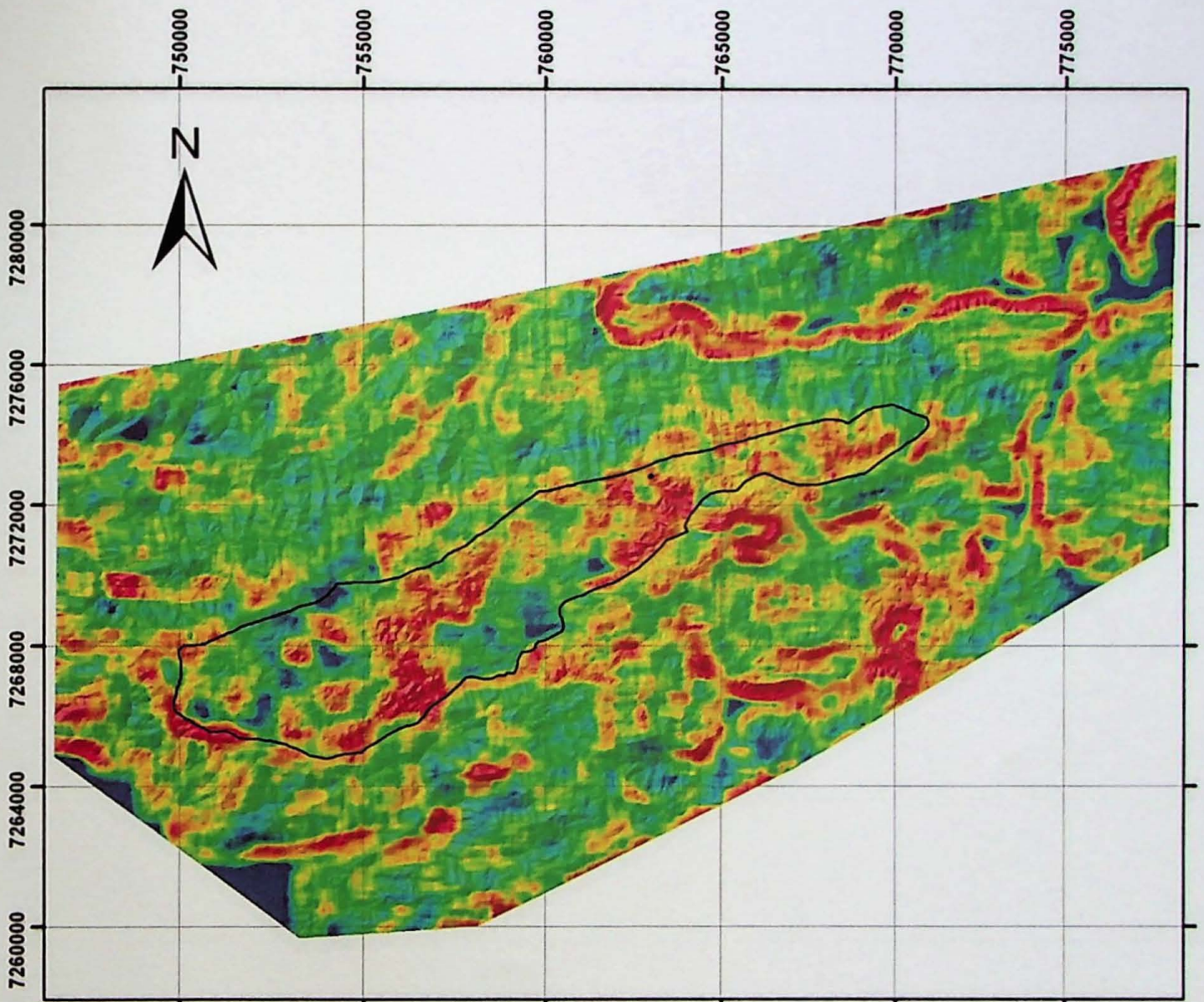
Orientação das vertentes (°)  Área de geração do histograma de direção de vertentes

-  1-45
-  46-90
-  91-135
-  136-180
-  181-225
-  226-270
-  271-315
-  316-360

(Sistema de coordenadas UTM-22)

ANEXO D

Mapa de Rugosidade



Legenda

Rugosidade (Janela móvel de 71x71)

Value



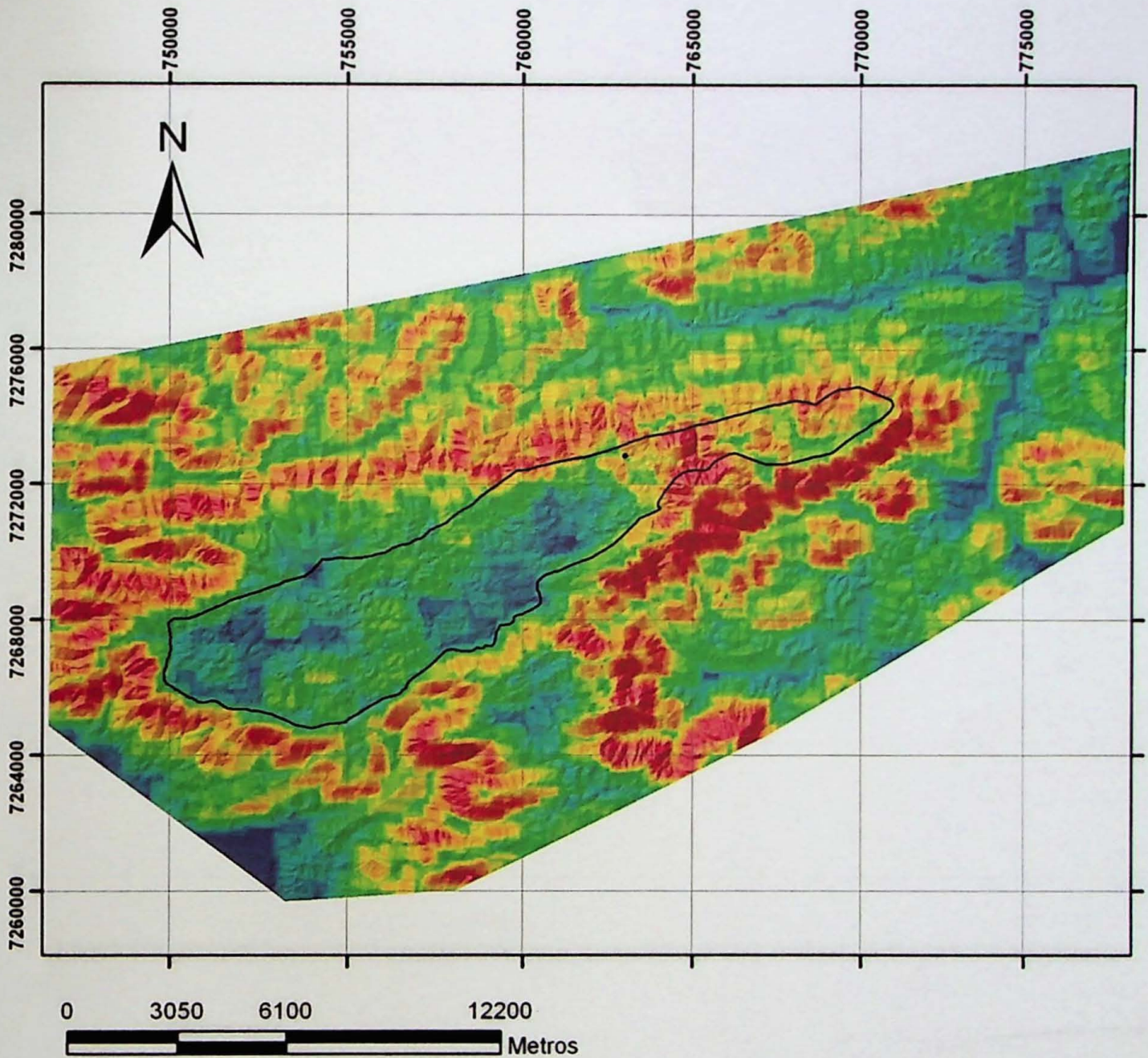
• Caverna do Diabo

□ Mármore da Tapagem





(Sistema de coordenadas UTM-22)

ANEXO E

Mapa de Desnívelamento Altimétrico



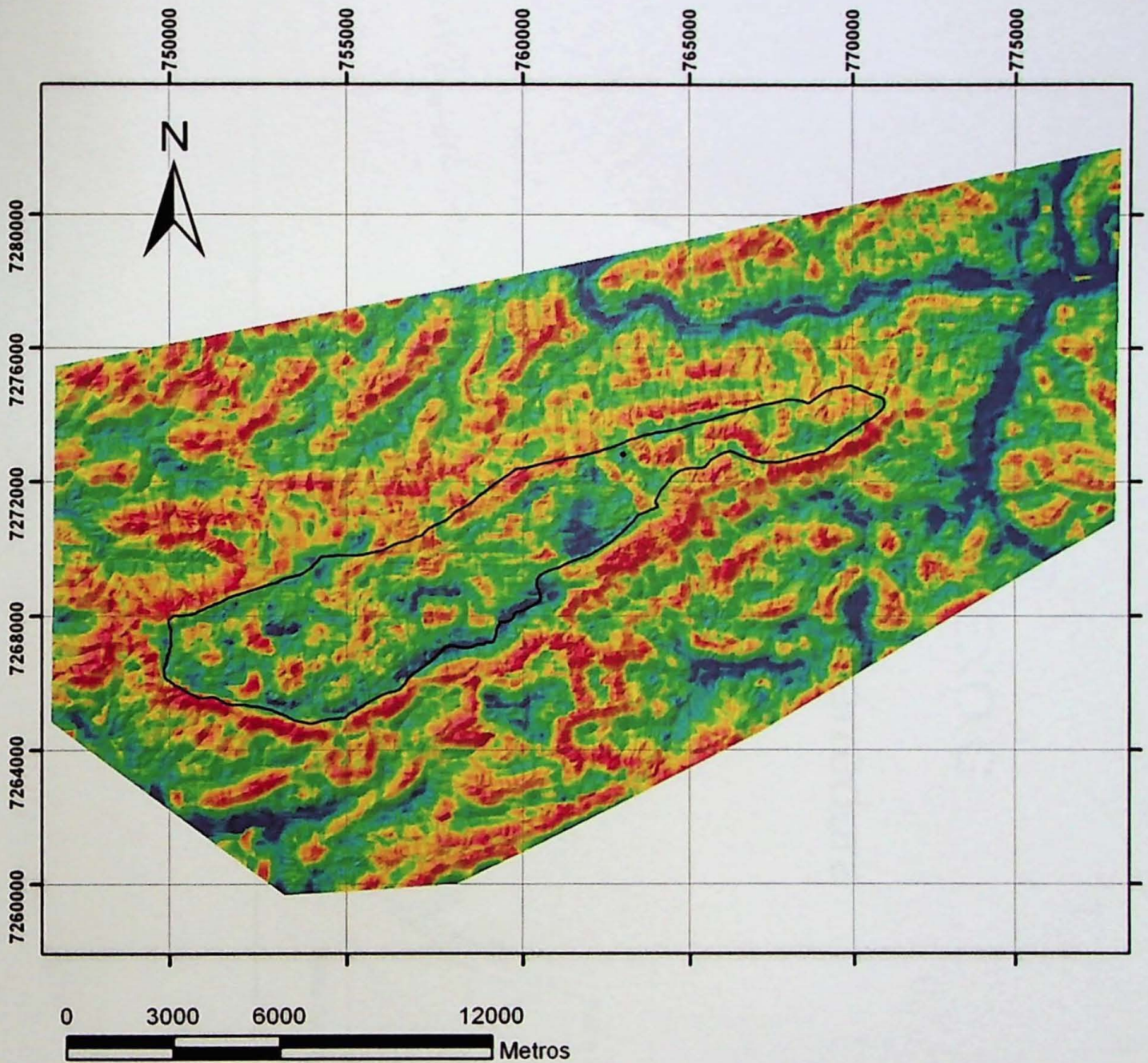
Legenda

- Densidade altimétrica (Janela móvel de 71x71)**
-  Mais dissecado
 -  Menos dissecado
-  Mármore da Tapagem
-  Caverna do Diabo

(Sistema de coordenadas UTM-22)


ANEXO F

Mapa de Integral Hipsométrica (E)




Legenda

Integral hipsométrica (E) (Janela móvel de 71x71)

 Mármore da Tapagem

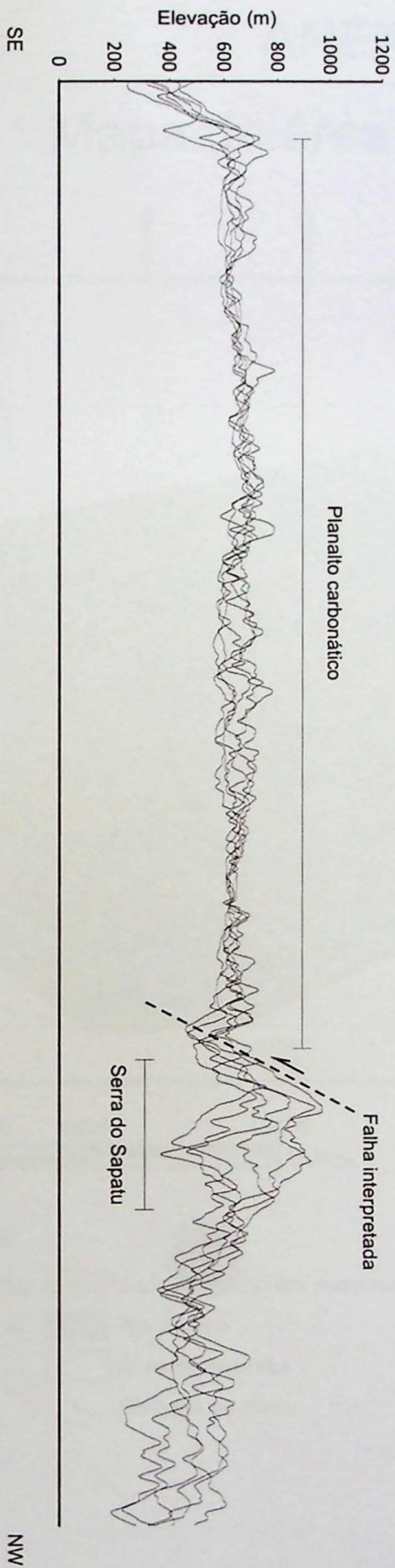


 Caverna do Diabo

(Sistema de coordenadas UTM-22)

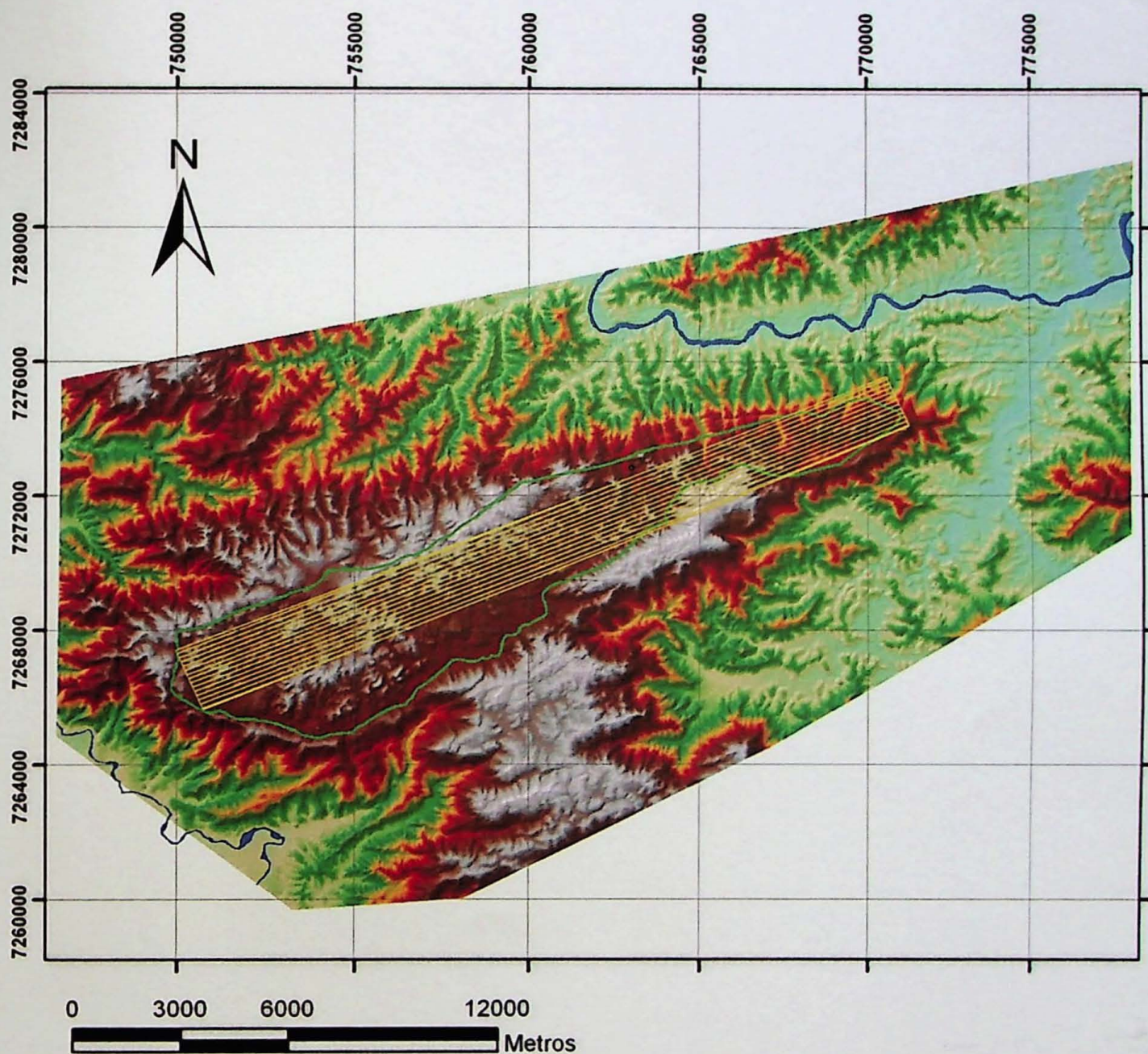
ANEXO G

Perfil em varredura









ANEXO H

Mapa da área de varredura



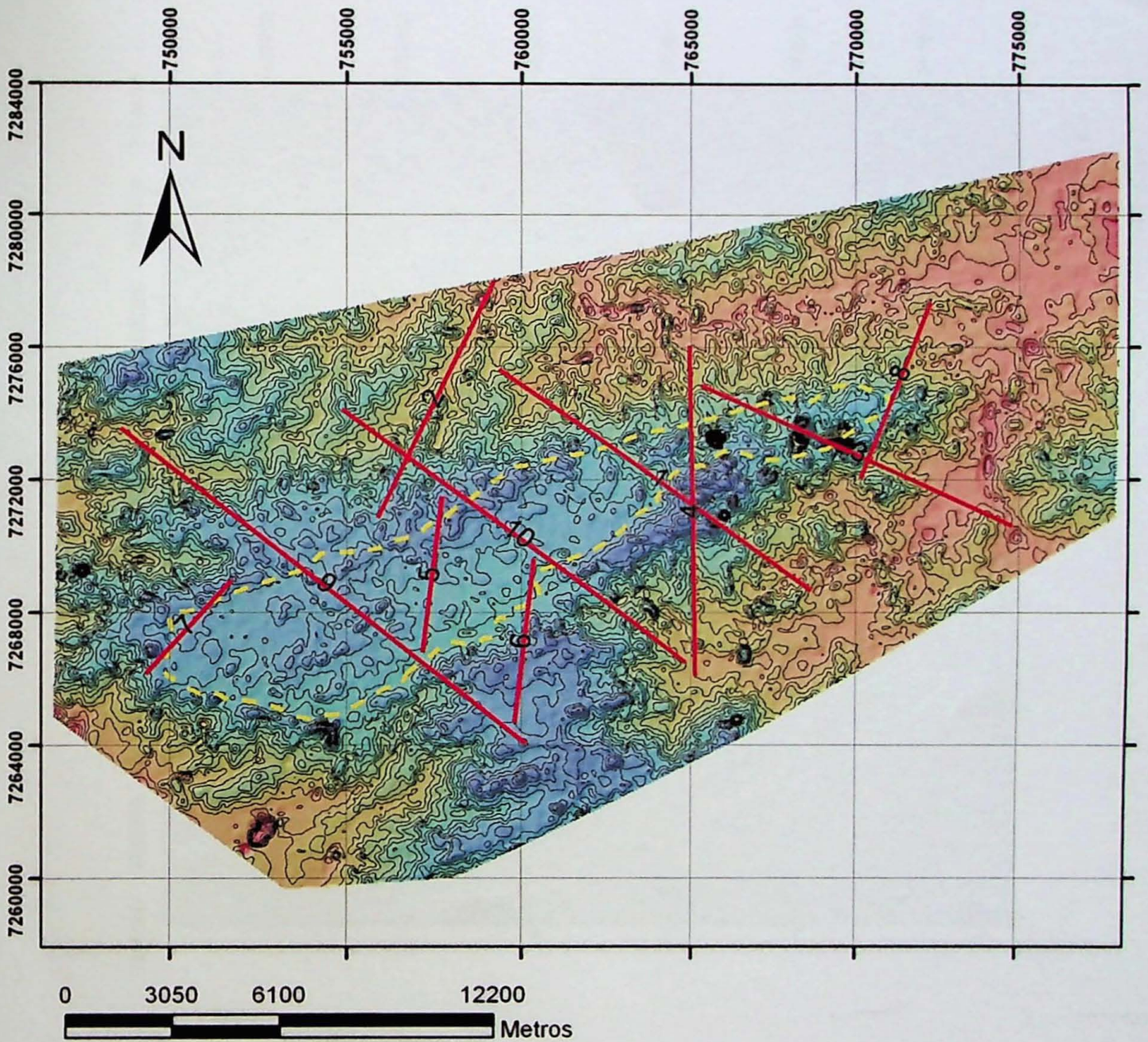
Legenda

Topografia		Área dos perfis em varredura
	1011m	 Rio Ribeira
	15m	 Área do mármore
		 Caverna do Diabo

(Sistema de coordenadas UTM-22)

ANEXO J

Mapa de nível de base (Isobase)



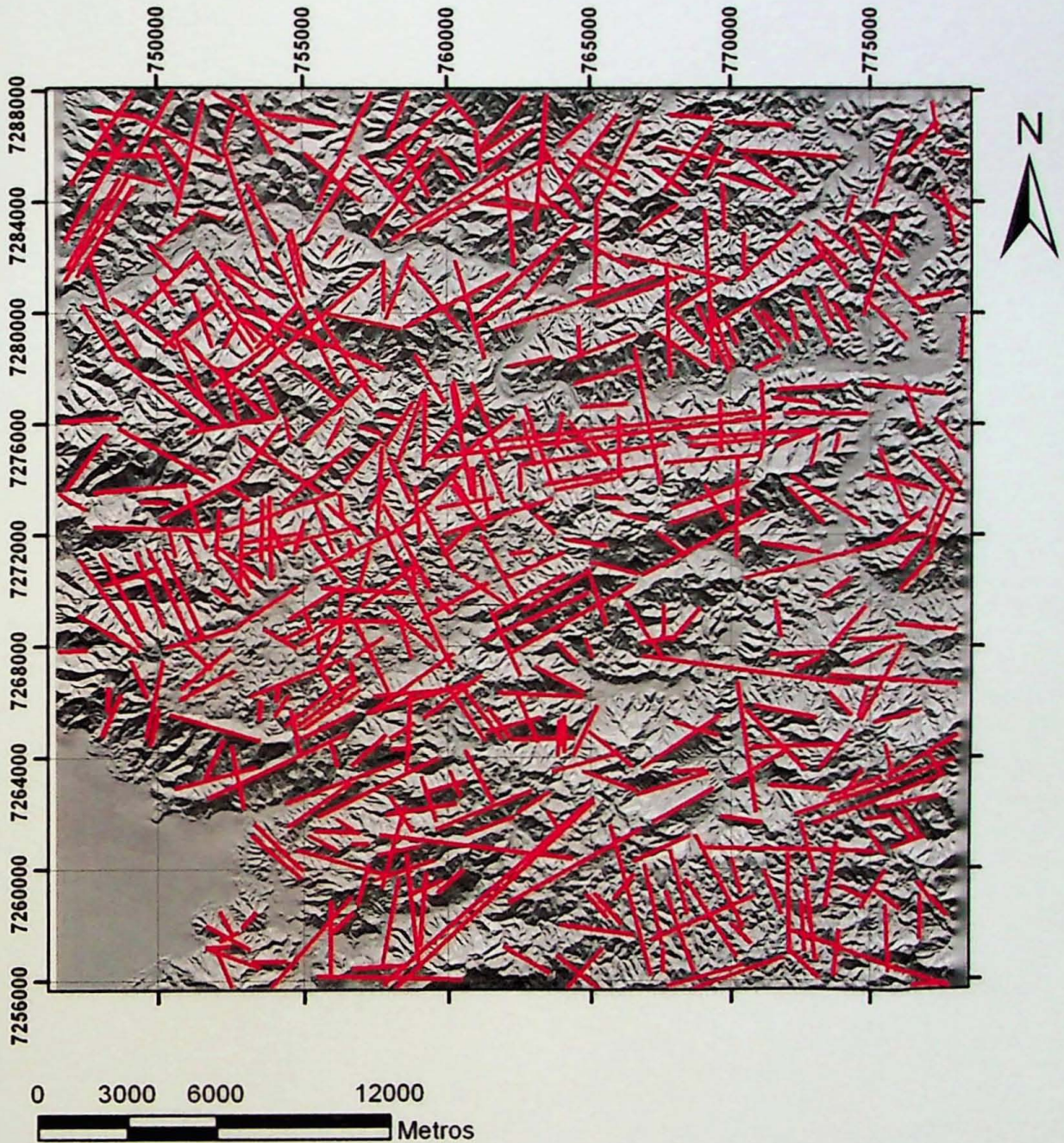
Legenda

- Curvas de isobase
- Anomalias interpretadas
- - - Área do mármore

(Sistema de coordenadas UTM-22)

ANEXO J

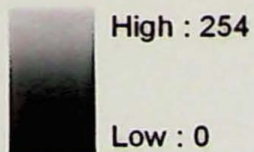
Análise de lineamentos



Legenda

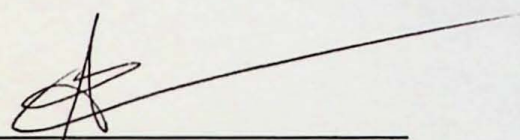
Hillshade (Azi 0° - Alt 45°)

Value



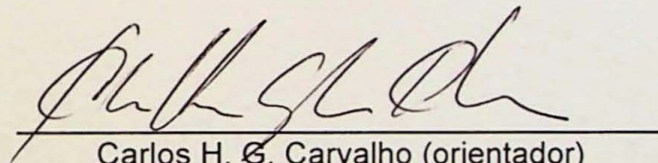
— Lineamentos

(Sistema de coordenadas UTM-22)

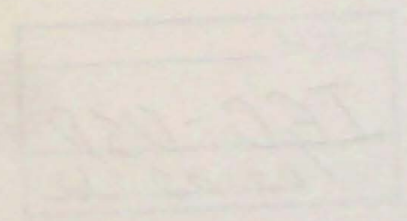


André Polistchuck

De acordo:



Carlos H. G. Carvalho (orientador)



DOAÇÃO _____
IGC-USP
Data: 02/02/12

