

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
ROBERTA DE OLIVEIRA COSTA

**APLICAÇÃO DO MODELO DE ESPAÇO DE CORES RGB COMO
PROPOSTA METODOLÓGICA PARA MAPEAMENTO
GEOMORFOLÓGICO**

**Rio de Janeiro
2015**

ROBERTA DE OLIVEIRA COSTA

**APLICAÇÃO DO MODELO DE ESPAÇO DE CORES RGB COMO
PROPOSTA METODOLÓGICA PARA MAPEAMENTO
GEOMORFOLÓGICO**

Tese apresentada ao curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Doutora em Geografia.

Orientadora: Prof^a Dr^a Telma Mendes da Silva (UFRJ)

Co-orientação: Prof. Dr. Luiz Felipe Coutinho Ferreira da Silva (IME)

**Rio de Janeiro
2015**

COSTA, Roberta de Oliveira

Aplicação do modelo de espaço de cores RGB como proposta metodológica para mapeamento geomorfológico / Roberta de Oliveira Costa - 2015. 153p.

Tese de Doutorado (Área de Concentração: Planejamento e Gestão Ambiental) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Rio de Janeiro, 2015.

Orientadora: Telma Mendes da Silva (UFRJ)

Co-orientador: Luiz Felipe Coutinho Ferreira da Silva (IME).

Palavras-Chave: 1. Mapeamento geomorfológico. 2. Espaço de Cores RGB. 3. Álgebra de Cores.

I. Silva, Telma Mendes da (Orientadora); Silva, Luiz Felipe Coutinho Ferreira da (Co-orientador). II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Geociências. Departamento de Geografia. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título

ROBERTA DE OLIVEIRA COSTA

**APLICAÇÃO DO MODELO DE ESPAÇO DE CORES RGB COMO
PROPOSTA METODOLÓGICA PARA MAPEAMENTO
GEOMORFOLÓGICO**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Federal do Rio de Janeiro como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Geografia.

Aprovada em: 18 de agosto de 2015

BANCA EXAMINADORA:

Telma Mendes da Silva

Prof^a. Dr^a. Telma Mendes da Silva
Orientadora – PPGG / UFRJ

Prof. Dr. Luiz Felipe Coutinho Ferreira da Silva
Coorientador – PMED / IME

Prof. Dr. Antônio José Teixeira Guerra
PPGG/ UFRJ

Prof^a. Dr^a. Elizabeth Maria Feitosa da Rocha de Souza
PPGG / UFRJ

Prof^a. Dr^a. Cristiane Nunes Francisco
PGEB / UFF

Prof. Dr. Leonardo Castro de Oliveira
PMED / IME

Aos meus amores...

Desculpe:

a ausência, a falta de paciência e o egoísmo.

E recebam o meu mais profundo e genuíno agradecimento:

pelo amor incondicional recebido;

por me permitirem amar de verdade; e

simplesmente, por vocês existirem ou terem existido.

***Amo vocês até a estrela mais distante, localizada na
galáxia mais remota do universo ainda desconhecido!!!!!!!!!!***

*Aos meus filhos, Fabiano e Guilherme, por todo amor,
ao Bruno, meu marido, pela paciência e apoio,
a meus pais, Jane e Helcio,
dedico.*

AGRADECIMENTOS

A Deus por estar sempre iluminando meu caminho e por me fazer acreditar que o primeiro passo para resolver um problema é confiar que a solução existe.

A minha querida e amada família, por todo amor, carinho, atenção, auxílio e, principalmente, incentivo. Acreditaram e me fizeram acreditar que bastava eu me esforçar só mais um pouquinho para alcançar esse degrau.

Aos meus orientadores Prof. Dra. Telma Mendes da Silva e Prof. Dr. Luiz Felipe Coutinho Ferreira da Silva por toda atenção, incentivo, crítica e apoio, que não só contribuiu para o desenvolvimento deste trabalho como para o meu crescimento profissional.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Geografia – PPGG – que ao proporcionarem ricos debates e reflexões científicas contribuíram para meu aperfeiçoamento profissional.

À amiga Dr. Tatiana Melo, pela bela e fiel amizade, companheirismo e conhecimentos compartilhados.

Ao amigo Felipe por todo incentivo, apoio, amizade e por seu espírito inovador, que possibilitou o despertar da minha criatividade.

À Danielle Maia, Ivanildo Barbosa e a todos que contribuíram com esta pesquisa, seja nas questões técnicas, acadêmicas ou no conforto amigo.

COSTA, Roberta de Oliveira. Aplicação do modelo de espaço cores RGB como proposta metodológica para mapeamento geomorfológico. Rio de Janeiro. Tese de Doutorado (Geografia) – PPGG – UFRJ – 2015

RESUMO

Os avanços tecnológicos observados nos Sistemas de Informações Geográficas proporcionaram alterações significativas no modo de pensar e desenvolver algumas áreas da ciência geomorfológica, principalmente, a voltada para realização de mapeamentos das feições do relevo. A retomada da questão de como realizar um mapeamento dos fatos geomorfológicos nesta pesquisa vem de encontro à possibilidade de utilização de técnicas mais modernas de geoprocessamento, tais como processamento digital de parâmetros morfométricos, transformação do espaço de cores RGB e álgebra de mapas. Estas técnicas serão utilizadas neste trabalho para aprimorar o mapeamento geomorfológico do estado do Rio de Janeiro, em escala regional, já produzido por outros autores, tais como, o mapeamento realizado por Ross (1992), IBGE (1995), CPRM (2000) e por Silva (2002). No mapeamento geomorfológico, principalmente na pesquisa nacional, poucos são os trabalhos realizados a partir do modelo espaço cor RGB e nenhum trabalho referente a delimitação das feições do relevo a partir do valor da cor do pixel foi encontrado. Desta forma, esta proposta metodológica se desenvolveu diferindo frontalmente das metodologias comumente empregadas em estudos de confecção de mapas geomorfológicos. O primeiro passo do projeto foi desenvolver uma técnica que permitisse o cruzamento das variáveis de análise da morfometria, elevação, declividade e curvatura, que fornecesse como produto final uma imagem que traduzisse o resultado desses cruzamentos em cores distintas. O próximo passo foi selecionar a técnica para delimitar as feições a partir das cores. Diversas técnicas foram pesquisadas e três foram selecionadas para aplicação na geração dos mapas geomorfológicos: a digitalização manual, a técnica orientada a objetos e a segmentação. Os resultados gerados na aplicação da metodologia na área de estudo, a bacia do rio Guapiaçú, foram satisfatórios comparados aos mapeamentos existentes. Os resultados comprovaram a eficiência do método proposto para geração de mapeamentos geomorfológicos e foi provado a real possibilidade de realização de mapeamentos geomorfológicos a partir do atributo cor do pixel de maneira automatizada.

PALAVRAS-CHAVES: Mapeamento geomorfológico; Espaço de cores RGB; Álgebra de mapas.

COSTA, Roberta de Oliveira. Application of the RGB color space model as a methodological proposal for geomorphological mapping. Rio de Janeiro. Doctoral Thesis (Geography) – PPGG – UFRJ – 2015

ABSTRACT

Technological advances observed in Geographic Information Systems provided significant changes in thinking and develop some areas of geomorphological science mainly focused on the realization of the relief features of the mappings. The return to question of how to map the geomorphological facts in this research comes against the possibility of using more modern techniques of GIS, such as digital processing of morphometric parameters, transforming the RGB color space and map algebra. These techniques are used to try to improve the geomorphological mapping on a regional scale, the state of Rio de Janeiro already produced by others, such as the Ross (1992), IBGE (1995), CPRM (2000) and Silva (2002), thus developing a methodology to obtain a better accuracy in the cartographic representation of areas that have a contrasting morphology, as coastal plains and elevations of the Sierras. In geomorphological mapping, especially in the national survey, few are the works done from the RGB color space model and no work was found that concerning the delimitation of the relevant features from the pixel color value. Thus, this methodological approach developed frontally differing methodologies commonly used in studies of making geomorphology maps. The first step of the project was to develop a technique that would allow the crossing of the morphometric analysis variables, elevation, slope and curvature, and provide as a final product a picture to translate the results of these junctions in different colors. The next step was to select the technique to define the features from the colors. Many techniques were tested and three technique selected for application: a manual scan, the object-oriented technique and segmentation. With the methods and techniques selected was possible to generate geomorphological maps. The results arising from the implementation of the methodology in the study area, the river basin Guapiaçú were satisfactory. The results showed the efficiency of the proposed method to generate geomorphological mapping and it proved the real possibility of carrying out geomorphological mapping from pixel color attribute in an automated manner.

KEYWORDS: Geomorphological mapping; RGB color space; Map algebra.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

- Figura 1** - (A) Ilustração artística da experiência de Newton (1642 -1727), na qual ele verifica a decomposição da luz branca nas cores de seu espectro. (B) Prisma decompondo a luz branca. (Fonte - SANT'ANNA, 2010)7
- Figura 2** - (A) Diagrama CIE de cromaticidade. (B) e (C) Diagrama CIE sob a caracterização do modelo RGB (Fonte - Adaptado de FILIZOLA, 1999)9
- Figura 3** - Modelo Matiz (Fonte - Adaptado de FILIZOLA, 1999)10
- Figura 4** - Exemplo de escala de saturação (Fonte - amopintar.com)11
- Figura 5** - Exemplo de escala de brilho (Fonte - amopintar.com)11
- Figura 6** - Representação do modelo cúbico de cores RGB (Fonte - SANT'ANNA, 2010)12
- Figura 7** - Modelo RGB (Fonte - Adaptado de CUNHA, 2001)12
- Figura 8** - Representação de uma imagem digital bidimensional e o processo de discretização (Fonte - Adaptado de SCURI, 2002)17
- Figura 9** - Representação de planos monocromáticos de uma imagem e o resultado da composição dos três planos (Fonte - QUEIROZ *et al.*, 2001)18
- Figura 10** - Representação geral para o processo de classificação (Fonte - QUEIROZ *et al.*, 2001)20

CAPÍTULO 3

- Figura 11** - Procedimentos básicos de um mapeamento geomorfológico. Fonte - IBGE, 2009.....29
- Figura 12** - Classes de amplitude altimétrica com representação do perfil topográfico e significado geomorfológico correspondente. Fonte - SILVA (2002).....35
- Figura 13** - Representação da morfologia denominada de serra. Fonte - Adaptado de ROSSATO et al. (2003).....36
- Figura 14** - Representação de uma morfologia denominada de morro. Fonte - Adaptado de ROSSATO et al. (2003).....37
- Figura 15** - Representação de uma morfologia denominada de colina. Fonte - Adaptado de ROSSATO et al. (2003).....38

Figura 16 - Representação de uma morfologia denominada de colina. Fonte - Adaptado de ROSSATO et al. (2003).....38

CAPÍTULO 4

Figura 17 - Procedimentos gerais para o desenvolvimento do estudo geomorfológico.....41

Figura 18 - Procedimentos metodológicos para geração dos mapas das feições geomorfológicas.....44

Figura 19 - Apresentação dos valores de declividade em graus e porcentagem. Adaptado Manual ArcGIS 10 (Disponível em www.resource.arcgis.com/help).....48

Figura 20 - Tipos de vertentes em relação ao perfil. Fonte - Schmidt & Hewitt, 2004....49

Figura 21 - Alternância das variáveis em cada canal do modelo RGB.....50

Figura 22 - Imagem apresentada no sistema RGB com a composição 1 -2 -3.....52

Figura 23 - Imagem apresentada no sistema RGB com a composição 2 -1 -3.....53

Figura 24 - Imagem apresentada no sistema RGB com a composição 3 -2 -1.....53

Figura 25 - Ilustração da utilização do valor do ponto mais próximo do nó.....56

Figura 26 - Imagem apresentada no formato matricial.....58

Figura 27 - Imagem apresentada no formato vetorial.....58

Figura 28 - Apresentação das 253 cores utilizadas na vetorização dos elementos. Destaque para as 81 cores em tons de verde.....59

Figura 29 - Agrupamento de 81 cores em tons de verde.....59

CAPÍTULO 5

Figura 30 - Trecho do estado do Rio de Janeiro correspondente a área pré -selecionada para estudo - A -Articulação das cartas topográficas em escala 1 -50.000 (IBGE); B - Modelo Digital de Elevação ASTER -GDEM mostrando o contraste morfológico da área a ser analisada, a bacia do rio Guapiaçú.....63

Figura 31 - MDE ASTER -GDEM da bacia do rio Guapiaçú.....64

Figura 32 - Histograma relativo aos dados discretos da variável elevação.....65

Figura 33 - Mapa hipsométrico da bacia do rio Guapiaçú.....66

Figura 34 - Histograma relativo aos dados discretos da variável declividade.....67

Figura 35 - Mapa da declividade da bacia do rio Guapiaçú.....	68
Figura 36 - Histograma relativo aos dados discretos da variável curvatura.....	69
Figura 37 - Mapa de curvatura da bacia do rio Guapiaçú.....	70
Figura 38 - Mapa de elevação sendo representado nos canais Vermelho (A), Verde (B) e Azul (C).....	72
Figura 39 - Mapa de declividade sendo representado nos canais Vermelho (A), Verde (B) e Azul (C).....	73
Figura 40 - Mapa de curvatura sendo representado nos canais Vermelho (A), Verde (B) e Azul (C).....	74
Figura 41 - Mapa da composição E - D - Ø.....	76
Figura 42 - Mapa da composição D - E - Ø.....	77
Figura 43 - Mapa da composição D - C - Ø.....	78
Figura 44 - Mapa da composição E - C - Ø.....	79
Figura 45 - Mapa da composição C - E - Ø.....	80
Figura 46 - Mapa da composição C - D - Ø.....	81
Figura 47 - Mapa da composição C - Ø - E.....	82
Figura 48 - Mapa da composição C - Ø - D.....	83
Figura 49 - Mapa da composição D - Ø - E.....	84
Figura 50 - Mapa da composição D - Ø - C.....	85
Figura 51 - Mapa da composição E - Ø - D.....	86
Figura 52 - Mapa da composição E - Ø - C.....	87
Figura 53 - Mapa da composição Ø - D - C.....	88
Figura 54 - Mapa da composição Ø - D - E.....	89
Figura 55 - Mapa da composição Ø - E - D.....	90
Figura 56 - Mapa da composição Ø - E - C.....	91
Figura 57 - Mapa da composição Ø - C - 1.....	92
Figura 58 - Mapa da composição Ø - C - D.....	93

Figura 59 - Mapa da composição E -D -C.....	94
Figura 60 - Mapa da composição D -E -C.....	95
Figura 61 - Mapa da composição C -E -D.....	96
Figura 62 - Mapa da composição E -C -D.....	97
Figura 63 - Mapa da composição D -C -E.....	98
Figura 64 - Mapa da composição C -D -E.....	99
Figura 65 - Relação entre o número de amostras relacionadas a cor e suas respectivas qualificações (B - Bom; M - Média; R - Ruim).....	101
Figura 66 - Relação entre o número de amostras relacionadas a textura e suas respectivas qualificações (B - Bom; M - Média; R - Ruim).....	102
Figura 67 - Relação entre o número de amostras relacionadas a forma e suas respectivas qualificações (B - Bom; M - Média; R - Ruim).....	102
Figura 68 - Relação entre o número de amostras relacionadas a percepção das áreas de transição e suas respectivas qualificações (B - Bom; M - Média; R - Ruim).....	102

CAPÍTULO 6

Figura 69 - Mapas geomorfológicos da bacia do rio Guapiaçu a partir da classificação manual - A - Mapa geomorfológico da bacia do rio Guapiaçu; B - Mapa geomorfológico da bacia do rio Guapiaçu sobreposto ao MDE ASTER -GDEM.....	106
Figura 70 - Mapas geomorfológicos da bacia do rio Guapiaçu a partir da classificação não supervisionada - A - Mapa geomorfológico da bacia do rio Guapiaçu; B - Mapa geomorfológico da bacia do rio Guapiaçu sobreposto ao MDE ASTER -GDEM.....	110
Figura 71 - Segmentação a partir do atributo cor pelo processo de similaridade.....	111
Figura 72 - Mapas geomorfológicos da bacia do rio Guapiaçu a partir da segmentação atributo cor pixel - A - Mapa geomorfológico da bacia do rio Guapiaçu; B - Mapa geomorfológico da bacia do rio Guapiaçu sobreposto ao MDE ASTER -GDEM.....	112
Figura 73 - Mapas geomorfológicos da bacia do rio Guapiaçu proposto por SILVA (2002) - A - Mapa geomorfológico da bacia do rio Guapiaçu; B - Mapa geomorfológico da bacia do rio Guapiaçu sobreposto ao MDE ASTER -GDEM.....	114
Figura 74 - Apresentação dos perfis topográficos utilizados para realização da comparação entre os diferentes mapeamentos geomorfológicos.....	115
Figura 75 - Representação do perfil topográfico A.....	117

Figura 76 - Representação do perfil topográfico B.....	119
Figura 77 - Perfil topográfico destacando a feição B4. A linha contínua vermelha representa 8% de declividade da encosta.....	121
Figura 78 - Representação do perfil topográfico C.....	123
Figura 79 - Representação do perfil topográfico D.....	125
Figura 80 - Representação do perfil topográfico E.....	127
Figura 81 - Perfil topográfico destacando a feição E4. A linha contínua vermelha representa 83,2% de declividade da encosta.....	128
Figura 82 - Representação do perfil topográfico F.....	130
Figura 83 - Perfil topográfico destacando a feição F4. A linha contínua vermelha representa 41,5% de declividade da encosta.....	132
Figura 84 - Representação do perfil topográfico G.....	134
Figura 85 - Perfil topográfico destacando a feição G4. A linha contínua vermelha representa 20% de declividade da encosta.....	135
Figura 86 - Representação do perfil topográfico H.....	137
Figura 87 - Apresentação da similaridade entre números de pontos analisados na proposta resultante da classificação manual e os obtidos nos mapeamentos OO e SACP.....	138
Figura 88 - Apresentação da similaridade entre números de pontos analisados na proposta de SILVA (2002) e os obtidos nos mapeamentos Manual, OO e SACP.....	141

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 4

Tabela 1 – Combinações entre as três variáveis.....	51
--	----

CAPÍTULO 5

Tabela 2 – Elementos de análise para auxílio da compartimentação do relevo. Em hachura cinza o resultado das melhores composições e em amarelo o resultado das piores.....	100
---	-----

CAPÍTULO 6

Tabela 3 – Dados sobre os pontos destacados no perfil topográfico A.....	116
Tabela 4 – Dados sobre os pontos destacados no perfil topográfico B.....	120
Tabela 5 – Dados sobre os pontos destacados no perfil topográfico C.....	122
Tabela 6 – Dados sobre os pontos destacados no perfil topográfico D.....	124
Tabela 7 – Dados sobre os pontos destacados no perfil topográfico E.....	126
Tabela 8 – Dados sobre os pontos destacados no perfil topográfico F.....	129
Tabela 9 – Dados sobre os pontos destacados no perfil topográfico G.....	133
Tabela 10 – Dados sobre os pontos destacados no perfil topográfico H.....	136

LISTA DE QUADROS

CAPÍTULO 3

Quadro 1: Unidades taxonômicas. Fonte: de Ross, 1992 (apud MARTINS, 2013).....31

Quadro 2: Etapas realizadas na metodologia para geração do mapa geomorfológico do estado do Rio de Janeiro. Adaptado de: CPRM (2000).....32

CAPÍTULO 4

Quadro 3: Classes de amplitudes altimétricas encontradas a partir do cálculo de Δh e os significados morfológico no terreno (SILVA, 2002).....46

Quadro 4: Classes de declividade segundo Embrapa (1999).....47

CAPÍTULO 6

Quadro 5: Relação entre números de pontos analisados e número de pontos similares a classificação manual.....139

Quadro 6: Relação entre números de pontos analisados e número de pontos similares a classificação similar proposta por SILVA (2002).....140

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Contexto e Justificativa da Pesquisa.....	1
1.2. Hipótese e Objetivos.....	3
1.3. Estrutura e Apresentação do Trabalho.....	5
2. A INFLUÊNCIA DAS CORES NA PERCEPÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE OBJETOS	6
2.1. Formação das Cores.....	6
2.2. O Espaço Cor.....	9
2.3. Utilização Simbólica e Linguística das Cores na Transmissão de Informações.....	13
2.4. A Imagem Digital e o Processo de Segmentação por Cor.....	17
3. GEOMORFOLOGIA	22
3.1. Geomorfologia e Paisagem.....	22
3.2. Os Mapas Geomorfológicos.....	25
3.2.1. Proposta de mapeamento geomorfológico do IBGE (2009).....	28
3.2.2. Proposta de mapeamento geomorfológico proposta por Ross (1992).....	30
3.2.3. Proposta de mapeamento geomorfológico do CPRM (2000).....	32
3.2.4. Proposta de mapeamento geomorfológico proposto por Silva (2002).....	33
3.3. Conceituação de feições Morfológicas – O que deve ser entendido por serra, morro, colina e planície.....	36
4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	40
4.1. Materiais.....	42
4.2. Metodologia.....	43
4.2.1. Processamento das variáveis.....	45
4.2.2. Álgebra de cores.....	49
4.2.3. Análise dos mapas de cores.....	54
4.2.4. Classificação manual.....	55
4.2.5. Classificação Não Supervisionada.....	56
4.2.6. Segmentação Atributo Cor Pixel (SACP).....	57

5. ÁLGEBRA DE CORES APLICADA A UMA ÁREA DE FORTE CONTRASTES MORFOLÓGICOS – A BACIA DO RIO GUAPIAÇÚ.....	60
5.1. Bacia do Rio Guapiaçú – Área Teste.....	60
5.2. A Representação das Variáveis Morfológicas da Bacia.....	64
5.3. Aplicação da Álgebra de Cores.....	71
5.3.1. Composição E - D - Ø – Modelo RGB.....	76
5.3.2. Composição D - E - Ø – Modelo RGB.....	77
5.3.3. Composição D - C - Ø – Modelo RGB.....	78
5.3.4. Composição E - C - Ø – Modelo RGB.....	79
5.3.5. Composição C - E - Ø – Modelo RGB.....	80
5.3.6. Composição C - D - Ø – Modelo RGB.....	81
5.3.7. Composição C - Ø - E – Modelo RGB.....	82
5.3.8. Composição C - Ø - D – Modelo RGB.....	83
5.3.9. Composição D - Ø - E – Modelo RGB.....	84
5.3.10. Composição D - Ø - C – Modelo RGB.....	85
5.3.11. Composição E - Ø - D – Modelo RGB.....	86
5.3.12. Composição E - Ø - C – Modelo RGB.....	87
5.3.13. Composição Ø - D - C – Modelo RGB.....	88
5.3.14. Composição Ø - D - E – Modelo RGB.....	89
5.3.15. Composição Ø - E - D – Modelo RGB.....	90
5.3.16. Composição Ø - E - C – Modelo RGB.....	91
5.3.17. Composição Ø - C - E – Modelo RGB.....	92
5.3.18. Composição Ø - C - D – Modelo RGB.....	93
5.3.19. Composição E - D - C – Modelo RGB.....	94
5.3.20. Composição D - E - C – Modelo RGB.....	95
5.3.21. Composição C - E - D – Modelo RGB.....	96
5.3.22. Composição E - C - D – Modelo RGB.....	97
5.3.23. Composição D - C - E – Modelo RGB.....	98
5.3.24. Composição C - D - E – Modelo RGB.....	99
5.4. Análise dos Mapas de Cores.....	102
6. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DO MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DA BACIA DO RIO GUAPIAÇÚ.....	103
6.1. Os Mapeamentos Geomorfológicos da Bacia do Rio Guapiaçú.....	105

6.2. Análise dos Mapas Geomorfológicos.....	113
6.3. Discussão dos Resultados.....	138
7. CONCLUSÕES.....	143
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	146

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contexto e Justificativa da Pesquisa

Desde as primeiras civilizações, o grande desafio enfrentado pelo homem foi o de habitar o planeta Terra com as características e dificuldades inerentes à superfície topográfica e as suas irregularidades físicas. Diante disso, e ao longo dos séculos, com o avanço do conhecimento em cartografia, foi possível avaliar e escolher os melhores locais onde pudessem se instalar e desenvolver atividades essenciais a sua sobrevivência. O estudo geomorfológico, que segundo Christofolletti (1980), compreende o estudo das formas que representam a expressão espacial de uma superfície compondo as diferentes configurações da paisagem morfológica, de certa forma, já era realizado conjuntamente com o estudo da paisagem.

O conceito de paisagem é complexo, muito discutido na Geografia e algumas vezes subjetivo. Santos (1981), sintetizou o termo paisagem como um conjunto heterogêneo de formas naturais e artificiais, passível de mudança a todo tempo, refletindo profundas relações entre seus elementos. Em quase todas as discussões sobre este conceito percebe-se que explicita ou implicitamente ele está relacionado à própria Ciência Geomorfológica, uma vez que as propriedades morfológicas são consideradas elementos de uma paisagem.

A representação cartográfica das formas de relevo das paisagens, sintetizada nas cartas topográficas remontam à época dos egípcios que utilizavam a geometria plana para delimitar as propriedades em torno do rio Nilo. Esses métodos foram repassados aos gregos que desenvolveram métodos de divisão de terras em triângulos, tendo como objetivo desenhar a planta topográfica. Porém, somente no século XVIII iniciou-se as primeiras tentativas em mostrar o modelado terrestre como visto no espaço, através da representação altimétrica a partir dos pontos cotados e das curvas de nível, como conhecemos hoje nas cartas topográficas (CORDINI, 2004).

Embora a superfície topográfica já estivesse sendo representada de diversas formas desde os primórdios da civilização, a ciência geomorfológica propriamente dita nasce somente no século XIX, mais especificamente em 1899, quando o cientista William M. Davis publica o "*The Geographical Cycle*" - uma obra pioneira onde foi capaz de explicar sistematicamente a gênese e os processos evolutivos do relevo terrestre (MARQUES, 2007).

Com a evolução da Geomorfologia como ciência, essa passou a centrar-se no estudo das formas geométricas da superfície da Terra, sua gênese, composição, evolução e os processos que nelas atuam (CHORLEY *et al.* 1984), e é a partir da interação dos elementos de uma paisagem (litosfera, atmosfera, hidrosfera e biosfera) que o relevo adquire suas principais características. Desta forma, a acurácia dos estudos geomorfológicos torna-se cada vez mais necessária para a Geografia e ciências afins, principalmente, no que concerne à elaboração de mapeamentos das feições geomorfológicas. Este é um documento cartográfico capaz de auxiliar a desvendar tanta as relações passadas ocorridas na paisagem quanto prever futuras tendências evolutivas de uma feição morfológica que compõe esta mesma paisagem.

Segundo Gomes e Bicalho (2009), a Geografia existe em qualquer fenômeno em que haja uma ordem de dispersão espacial. A busca da ciência geográfica em apresentar e explicar a lógica na distribuição ou organização dos objetos no espaço geográfico e, assim, compreender os processos que ocorreram ou ocorrem sobre este espaço exprime de forma clara o que estimula o desenvolvimento desta pesquisa. O viés geográfico do presente trabalho está atrelado, portanto, à questão da representação da distribuição espacial das feições geomorfológicas existente em um trecho do estado do Rio de Janeiro.

Goulart (2001) salienta que na ciência geomorfológica a representação cartográfica da morfologia objetiva reconhecer e interpretar os fenômenos que tenham como expressão as formas do relevo, e buscam o entendimento entre a topografia, o conjunto de formas do relevo e seus processos formadores, numa tentativa de reconhecimento da história de evolução da paisagem. O mapeamento geomorfológico é assunto fortemente debatido e almejado por pesquisadores das mais diversas universidades nacionais e internacionais desde o século passado. Especificamente, em 1956, durante 18º Congresso Internacional da União Geográfica Internacional (UGI), realizado no Rio de Janeiro, reconheceu-se a importância das cartas geomorfológicas, tornando-se uma tarefa importante a inserção deste debate na Comissão de Geomorfologia Aplicada (COLTRINARI, 2011).

Ainda segundo Coltrinari (2011), em 1960, no 19º Congresso da UGI, no âmbito da discussão sobre cartografia geomorfológica, foram apresentados uma diversidade de conteúdos e formas de representação do relevo resultantes de concepções diversas e princípios independentes para a construção de cartas geomorfológicas. Este fato, culminou na formação de uma Subcomissão de Cartografia Geomorfológica, que detinha

o objetivo de propor e discutir princípios gerais unificadores para a realização de mapas comparáveis entre os países.

Atualmente, a *International Association of Geomorphologists* (IAG) detém um grupo de trabalho especializado em mapeamento geomorfológico tendo por objetivos gerais: desenvolver uma sistemática de estudo comparativo das diferentes metodologias e aplicações cartográficas; desenvolver distintos sistemas de legenda, em função das diferentes aplicações e escalas de um mapa geomorfológico; e fomentar o intercâmbio científico de experiências de mapeamento; e promover uma normalização de mapeamento entre os procedimentos de não-especialistas (IAG, 2015).

No Brasil muitos autores vêm debatendo a cartografia geomorfológica, com um vasto conjunto de estudos abordando o tema, como p. ex., trabalhos de Ab'Saber (1967, 1969, 1970, 1977), Ab'Saber e Bigarella (1961), Bigarella *et al.* (1965), King (1956), Ross (1992, 2003) e tantos outros autores. A retomada da questão de como realizar um mapeamento dos fatos geomorfológicos nesta pesquisa vem de encontro à possibilidade de utilização de técnicas mais modernas de geoprocessamento, tais como processamento digital de parâmetros morfométricos, transformação do espaço de cores RGB e álgebra de mapas. Estas técnicas são utilizadas para aprimorar o mapeamento geomorfológico, em escala regional, do estado do Rio de Janeiro já produzido por outros autores, tais como o do Ross (1992), IBGE (1995), CPRM (2000), e por Silva (2002) desenvolvendo assim uma metodologia que permita obter uma melhor acurácia na representação cartográfica do relevo da paisagem tão particular e complexa do Rio de Janeiro, que contrasta entre baixadas litorâneas e elevações das serras.

1.2. Hipótese e Objetivos

Mapas são considerados veículos no processo de comunicação cartográfica e para que cumpram sua finalidade de comunicação, devem ser expressivos, legíveis, apresentando simbologias que facilitem a assimilação da informação. Sabendo da sua importância e influência na transmissão da informação, a responsabilidade do autor se torna cada vez mais expressiva, uma vez que este deve ter o cuidado de atender aos objetivos iniciais propostos para confecção deste meio de comunicação (QUEIROZ, 1994).

Da mesma forma, é imprescindível ter em mente que nenhum mapa pode representar fielmente a realidade, pois todo e qualquer mapa é um modelo, uma abstração da realidade. A restrição da terceira dimensão, a redução da escala, o artifício humano na criação de convenções, a falta de capacidade de ler a representação de forma satisfatória são alguns dos motivos pelos quais não se pode considerar o mapa uma cópia perfeita da realidade (BOARD, 1975).

Neste contexto, esta pesquisa tem como premissa que a ocorrência das distintas feições morfológicas da paisagem pode ser representada pela interação de fatores naturais, tais como elevação, declividade e curvatura. Desta forma, com a hipótese de que a partir das variáveis naturais, citadas anteriormente, pode-se estabelecer uma relação entre elas, a fim de gerar um mapa geomorfológico, com uma representatividade adequada das feições para a bacia do rio Guapiaçu, por esta ser uma área bastante representativa das feições morfológicas que caracterizam o relevo do estado do Rio de Janeiro.

O principal objetivo deste trabalho consiste em desenvolver e aplicar uma proposta metodológica de reconhecimento de feições geomorfológicas a partir de variáveis morfométricas, estabelecendo uma relação entre elas, utilizando-se para isto algoritmos de processamento de cores, como a combinação RGB.

Assim, os seguintes objetivos específicos serão tratados:

- a. Avaliar a questão da utilização da álgebra de cores na confecção de mapas geomorfológicos a partir de um levantamento bibliográfico de trabalhos científicos pré-existentes.
- b. Analisar individualmente e de forma conjunta os produtos oriundos das combinações a partir do espaço cores RGB a fim de avaliar aplicabilidade em mapeamentos geomorfológicos.
- c. Testar diferentes técnicas de mapeamento dos contornos das distintas feições geomorfológicas produzidas na área teste.
- d. Realizar uma comparação entre os produtos gerados a partir da metodologia proposta e a empregada no mapeamento geomorfológico de referência para o estado do Rio de Janeiro desenvolvida por Silva (2002).
- e. Identificar e discutir as representações de trechos de transição entre feições morfológicas distintas.

1.3. Estrutura de Apresentação do Trabalho

Para melhor compreensão da estrutura pensada para a tese ora apresentada, a organização da redação foi subdividida nos seguintes capítulos:

O primeiro capítulo consta a parte introdutória do trabalho, expondo o tema central em torno do qual será desenvolvida a pesquisa, os objetivos gerais e específicos além da justificativa e estrutura do trabalho proposto.

O segundo capítulo vem apresentar o embasamento teórico necessário para o desenvolvimento de toda pesquisa, pois é a partir dele que se baseia o desenvolvimento da metodologia, indo ao encontro ou desencontro do que está sendo apresentado na literatura consultada, além de registrar as referências bibliográficas realizadas através de livros, artigos, periódicos, internet, etc. sobre os principais assuntos que serão abordados neste trabalho. Os principais tópicos apresentados nesta parte da tese foram: Sistemas de Cores e Mapeamento Geomorfológico.

O terceiro capítulo traz o registro dos materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento e validação da metodologia. São mostradas todas as ferramentas necessárias para a construção do trabalho e como foram utilizadas, de forma detalhada.

O quarto capítulo apresenta um estudo de caso na área da Bacia do Guapiaçú, onde será representada a aplicação de toda metodologia proposta.

O quinto capítulo apresenta os resultados e discussões sobre a aplicação da metodologia proposta. As discussões giram em torno do que foi apresentado no embasamento teórico, com o que foi proposto e finalmente o que realmente foi obtido. Desta maneira tem-se o sexto capítulo onde as conclusões apresentadas. O sétimo e último capítulo traz a apresentação das referências bibliográficas.

2. A INFLUÊNCIA DAS CORES NA PERCEPÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE OBJETOS

Considerando a amplitude e importância da cor na transmissão de informações e identificação de objetos, este capítulo objetiva demonstrar a relevância do estudo das cores aplicado ao processo que engloba, principalmente, a geração de informações. Busca-se evidenciar a capacidade informativa das cores através da análise dos estímulos, da percepção e da sintaxe das cores, assim como através da sua utilização simbólica e linguística na transmissão de mensagens e informação, revelando, também, a importância das cores no mapeamento realizado a partir delas. Alguns métodos que utilizam a cor como princípio de reconhecimento de um elemento também serão descritos.

2.1. Formação das cores

Não se pode começar a trabalhar com mapeamento a partir das cores sem antes realizar um breve relato sobre o complexo universo das cores.

“A cor não tem existência material. Ela é, tão somente, uma sensação provocada pela ação da luz sobre o órgão da visão. Em linguagem corrente, a palavra cor tanto designa a sensação cromática, como o estímulo (a luz direta ou o pigmento capaz de refleti-la) que a provoca. Mas, a rigor, esse estímulo denomina-se matiz, e a sensação provocada por ele é que recebe o nome de cor”.
(PEDROSA, 2003, p.12)

A cor desempenha um papel importante na visualização de propriedades associadas aos objetos observados. A cor permite visualizar o não visível adicionando informação aos elementos representados, como é o caso dos mapas de temperatura, em que as cores avermelhadas assinalam as zonas mais quentes e as cores com tons azuis as áreas mais frias. A coloração de um objeto pode desempenhar também a função de destacar e chamar a atenção para a informação e dar significado a ela, como por exemplo, quando o vermelho significa perigo e o amarelo cuidado.

Atualmente, imagens coloridas são observadas diariamente através de fotografias, televisão, monitores de computador, filmes entre outros. A cor é percebida pelas pessoas como uma sensação que permite diferenciar os objetos do espaço, tornando-se um dos elementos essenciais na compreensão de um ambiente e de seus componentes. Grande parte das considerações descritas a seguir sobre cores advém, principalmente, da obra de Farina (1990), Guimarães (2001), Pedrosa (2003) e Silva *et al.* (1996).

Farina (1990) aborda as cores nas mais diversas áreas do conhecimento (física, neurologia, psicologia) e discorre sobre seus efeitos nos seres humanos. Farina é considerado um dos principais pesquisadores que apresenta, por meio da percepção, a cor como ocupante de um papel vital no processo de comunicação visual. Numa abordagem interdisciplinar, os estudos de Pedrosa (2003 e 2004) fornecem um embasamento teórico de extrema relevância para compreender as combinações de cores e suas influências no ser humano.

As cores que o sistema visual humano consegue perceber estão relacionadas à energia radiante que se propaga por meio de onda eletromagnética. Porém, a sensação de cor somente existe na nossa mente, após o sistema visual humano obter resposta de um determinado comprimento de onda. Embora o processo seguido pelo cérebro humano na percepção de cores seja um fenômeno fisiopsicológico, que ainda não é completamente compreendido, a natureza física das cores pode ser expressa em uma base formal suportada por resultados experimentais e teóricos (GUIMARÃES, 2001).

O termo cor, segundo Silva e Martins (1996), surgiu na Roma antiga e, desde então, vem sendo utilizado como forma de expressar a sensação visual obtida da natureza através dos raios de luz. A partir do século XV, surgem estudos sobre as cores e seu uso, através de nomes como Leonardo Da Vinci, Kepler, Descartes, Boyle, entre outros. Em 1666, Isaac Newton fundamentou a ciência das cores, quando observou que a luz do sol é composta por uma mistura de todas as cores de um espectro. Ele descobriu que quando um feixe de luz solar é passado através de um prisma de vidro, este feixe emergente não é branco, mas, ao contrário, consiste de um espectro de cores contínuo variando do violeta ao vermelho. O espectro de cores pode ser dividido em sete amplas regiões: violeta, azul, anil, verde, amarelo, laranja e vermelho, conforme apresentado na figura 1. Quando visualizado em cores reais nenhuma cor no espectro termina abruptamente, mas cada cor mistura-se suavemente com a próxima.

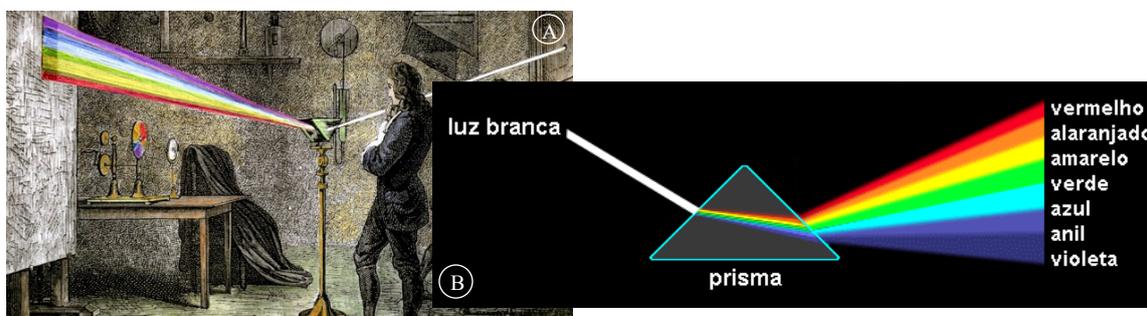


Figura 1: (A) Ilustração artística da experiência de Newton (1642 - 1727), na qual ele verifica a decomposição da luz branca nas cores de seu espectro. (B) Prisma decompondo a luz branca. (Fonte: SANT'ANNA, 2010).

Farina (1990), salienta que a cor era caracterizada como uma produção do nosso cérebro, uma sensação visual colorida obtida através de uma onda luminosa (de luz branca) que atravessa nossos olhos, permitindo que seja possível visualizar uma gama de cores. Porém, hoje já se sabe que a cor é uma percepção visual provocada pela ação de um feixe de fótons sobre células especializadas da retina, que transmitem, através de informações pré-processadas no nervo óptico, impressões para o sistema nervoso (GUIMARÃES, 2001).

O olho humano pode ser comparado a uma câmera fotográfica, a lente seria o cristalino, a cama sensível a luz pode ser comparada a retina e o diafragma ser relacionado a pupila e a íris, que acabam por controlar a intensidade da luz e o cérebro, que decodifica e corrige a imagem. Milhões de receptores, distribuídos pela retina, transformam a luz recebida em sinais elétricos que são transportados em forma comprimida, através do nervo óptico, para o centro da visão no cérebro, formando a imagem visualizada (FILIZOLA, 1999).

Em muitos casos, as pessoas optam por cores diferentes para um mesmo elemento. Farina (1990) diz que existe sempre algo relativo na preferência desta ou daquela cor, mas é possível verificar também um peso psicológico. Cada pessoa capta os detalhes do mundo exterior conforme a estrutura de seus sentidos que, apesar de serem os mesmos em todos os seres humanos, existe sempre uma diferenciação biológica, que leva a certos graus de sensibilidade bastante desiguais.

A escolha da cor depende da definição dada pela sua área de aplicação e, deste modo, é possível definir a cor como uma informação visual, causada por um estímulo físico, percebida pelos olhos e decodificada pelo cérebro (FARINA, 1990). Na definição de Pedrosa (2003), “a cor não tem existência material: é apenas sensação produzida por certas organizações nervosas sob a ação da luz”, podendo ser, desta forma, a cor compreendida como um dos elementos da sintaxe da linguagem visual e a linguagem verbal como um dos diversos códigos da comunicação humana.

A cor é uma linguagem individual e o homem reage a ela de acordo com as condições físicas e influências culturais as quais ele está submetido. O valor de expressão da cor a torna um elemento importante na transmissão de informações e o impacto resultante dela não sofre as barreiras impostas pela língua. Mesmo que a reação à cor seja algo instintivo, não se pode negar as experiências que o homem vai acumulando em sua memória no decorrer de sua vida que o define e o faz agir de determinadas maneiras. Esta constatação é algo fundamental para o trabalho desenvolvido.

Os fatos descritos anteriormente, acerca da percepção e identificação das cores, se tornam muito importantes nesta pesquisa, uma vez que um determinado modelo de cor será selecionado a partir da percepção visual. A maneira como o estudo da cor será conduzida neste trabalho diz respeito à capacidade e potencialidade em produzir informações a partir da cor em mapeamentos.

2.2. O espaço cor

Há diversas definições para o espaço de cores na literatura científica (BRAINARD, 2003; BACKHAUS *et al.*, 1998 e HELM, 1968). Espaço de cor é uma representação geométrica, tri-dimensional, onde as cores podem ser visualizadas utilizando determinado modelo de cor. Cada dispositivo gera as cores dentro do seu próprio espaço de cor. Portanto, alguns dispositivos conseguem representar mais cores do que outros (CUNHA, 2001).

As cores podem ser definidas, descritas ou organizadas através dos métodos de espaço de cores, sistemas de cores ou modelos coloridos. Segundo Filizola (1999), a *Commission Internationale de l'Eclairage* ou ainda Comissão Internacional de Iluminação (CIE), no ano de 1931, criou um padrão global de cores a fim de definir as cores em termos matemáticos e auxiliar na comunicação de informações sobre cor. Esse espaço de cor, conhecido como CIE XYZ, baseia-se em pesquisas sobre a natureza da percepção das cores. É o tipo de sistema usado na descrição e renderização da cor de uma imagem. O sistema de cores CIE 1931 (XYZ) é conhecido pelo seu diagrama de cromaticidade, que é um modelo bidimensional da visão colorida (Figura 2).

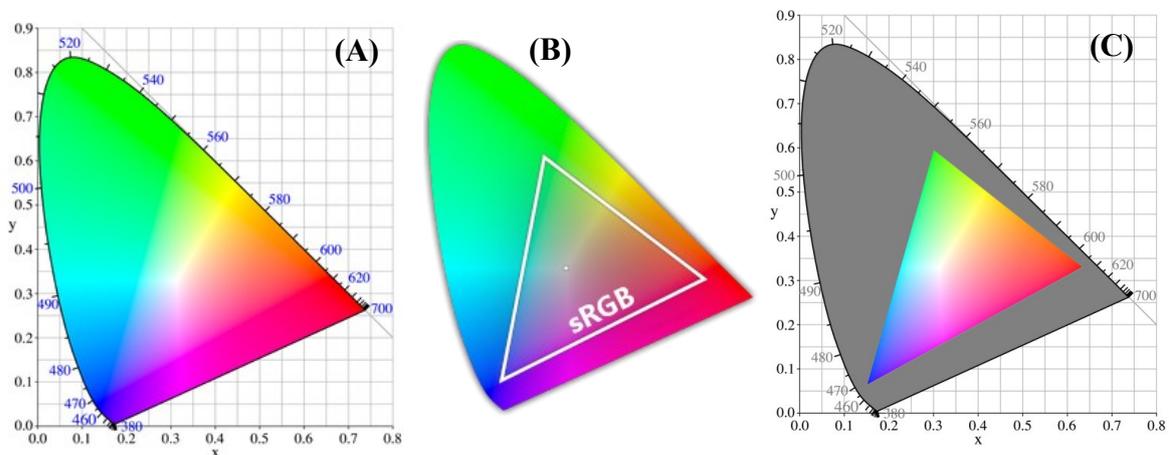


Figura 2: (A) Diagrama CIE de cromaticidade. (B) e (C) Diagrama CIE sob a caracterização do modelo RGB (Fonte: Adaptado de FILIZOLA, 1999).

Modelos de cores são utilizados para classificar e qualificar as cores de acordo com a tonalidade, saturação, luminosidade ou brilho. Existem vários outros sistemas de cores, sejam de aparência de cores ou de diferenças, alguns deles são: o RGB (*Red – Green – Blue*), o CMY (*Cyan – Magenta – Yellow*), o NCS (*Swedish Natural Colour System*), CIELab (L^*a^*b ou ainda luminosidade * tom * saturação), CIE 1976, entre outros. (BACKHAUS (1998); HELM (1968); BASTOS (2001 e 2004); CASTANHO (1998); LEÃO (2005) e HOLDSCHIP (2008))

Os modelos de cores RGB (do inglês *Red – vermelho, Green – verde e Blue – azul*) e CMY (do inglês *Cyan – ciano, Magenta – magenta e Yellow – amarelo*) são essenciais à computação gráfica, porém cada dispositivo gera a sua cor conforme as suas características físicas e químicas. Na necessidade de criar modelos de cores com espaço de cor independente do dispositivo, o comitê da CIE criou o modelo de cores: HSB (*hue, saturation and brightness* ou matiz, saturação e brilho) e o HLS (*hue, lightness and saturation* ou tonalidade, luminosidade e saturação). As funções destes modelos definem as cores nos programas gráficos de computadores de forma que combine com a percepção das cores pelo sistema visual humano e utilizando para isto três eixos similares para definirem a cor.

As definições para cor, independente do modelo, tem três dimensões (coordenadas tricromáticas), conhecidos como matiz, saturação e brilho, que constituem o que é chamado de espaço de cor.

Matiz refere-se a característica que diferencia uma cor da outra. É a cor em sua máxima intensidade, em resumo podemos afirmar que é a própria cor (Figura 3). O tom está diretamente relacionado o matiz. O tom é a gradação cromática do matiz, portanto tom é a variação qualitativa da cor, e está diretamente relacionado aos vários comprimentos de onda. De uma forma geral, matiz se refere a uma gradação sutil, quase imperceptível. São os diferentes comprimentos de onda responsáveis pela nossa percepção das cores. Podemos dizer, então, matiz vermelho, matiz azul, matiz amarelo, etc.



Figura 3: Modelo Matiz (Fonte: Adaptado de FILIZOLA, 1999).

A saturação refere-se à vivacidade do matiz ou a pureza da cor. Quanto mais pura a cor, mais saturada ela será, isto significa mais vivacidade. Uma cor saturada é obtida quando não estão presentes o branco ou preto, mas está exatamente dentro do comprimento de onda que lhe corresponde no seu espectro solar. Na comunicação visual, minimiza-se o grau de saturação de uma cor adicionando a ela o cinza, ou seja, quanto mais cinza é misturado a uma cor, menos pura ela será considerada (Figura 4).



Figura 4: Exemplo de escala de saturação (Fonte: amopintar.com).

Brilho refere-se ao índice de luminosidade da cor e está relacionado à tonalidade, que é definida pelo comprimento de onda dominante (Figura 5). A tonalidade também indica que uma cor só pode tender às suas cores vizinhas; em suma, o brilho é a altura do tom. Portanto, uma cor é mais luminosa na medida que reflete mais luz. A cor mais luminosa é o branco e a menos luminosa é o preto. O amarelo, por exemplo, é mais luminoso que o azul. O brilho é a altura do tom, que vai nos indicar se uma cor é mais clara ou mais escura; é a vivacidade da cor, que se altera na medida que você adiciona o branco, tornando-a mais luminosa, ou o preto, tornando-a mais escura.



Figura 5: Exemplo de escala de brilho (Fonte: amopintar.com).

Modelos de cores, como todas as representações matemáticas de fenômenos físicos, pode ser expressa de muitas formas diferentes, cada um com suas vantagens e desvantagens. O modelo utilizado em um aplicativo em particular determina os métodos disponíveis para se escolherem as cores em uma imagem, assim como os dados de cores são armazenados em um arquivo de imagem.

O modelo selecionado para o desenvolvimento desta pesquisa foi o RGB. Os estudos serão concentrados sobre esse processo aditivo, pois a luz que chega aos nossos olhos se combina aditivamente e todos os estudos de colorimetria também abordam esse processo. O espaço RGB é o modelo mais usual e pode ser geometricamente representado como um cubo, onde cada cor é definida pelas suas coordenadas, como mostra a figura 6. Na origem dos três eixos há ausência de cores, e quando são adicionadas iguais quantidades das cores vermelho, verde e azul, formam-se diferentes níveis de cinza, cada vez mais claros, até chegar à cor branca. Neste caso, o valor de 120 vai gerar um tom de cinza, e quando se utilizarem valores extremos, tal qual o 255, o resultado é branco puro e, quando o valor for 0 (zero), preto puro (BASTOS, 2004).

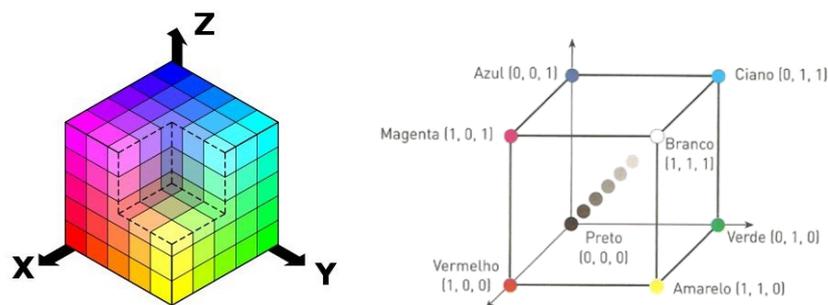


Figura 6: Representação do modelo cúbico de cores RGB (Fonte: SANT'ANNA, 2010).

O modelo RGB (Figura 7) utiliza a luz para criar cores geralmente descritas com valores de intensidade para cada pixel, variando de 0 a 255 para cada um dos componentes de RGB. O sistema é denominado aditivo por adicionar o total (255) de todas as cores

para se obter luminosidade. Sendo assim, para descrever uma cor verde qualquer seria necessário um valor de vermelho de 28, um valor de verde de 133 e um valor de azul de 2.

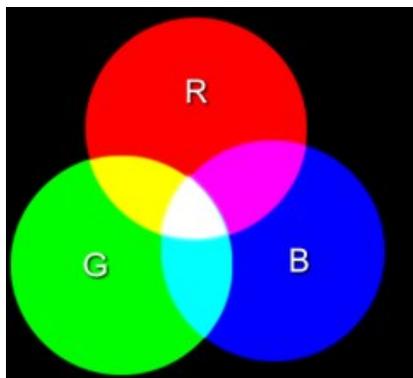


Figura 7: Modelo RGB (Fonte: Adaptado de CUNHA, 2001).

RGB é o nome do espaço de cor gerado pelos componentes luminosos utilizado por dispositivos que trabalham com luz como escâneres, máquinas digitais, gravadores de filme/cromos, monitores e projetores. As imagens que utilizam o processo de RGB têm por sua vez três canais de cores que podem reproduzir até 16,7 milhões de cores na tela, conhecidas também como imagens de 24 bits por serem compostas por canais de oito bits de informações de cores por pixel. Ou seja, cada pixel pode ter 256 informações diferentes de vermelho, verde e azul (em imagens de 16 bits por canal, isso é ampliado para 48 bits, abrangendo ainda mais o número de cores reproduzidas).

A preocupação com a transmissão e o armazenamento da informação da cor é regido por códigos culturais que sofrem interferências de outros tipos de códigos da comunicação humana, como a linguagem verbal, por exemplo (GUIMARÃES, 2001).

Especialmente, hoje, com o aperfeiçoamento dos SIGs, as transformações no espaço de cores estão sendo extensivamente investigadas para integração de dados e realce visual ou para o aperfeiçoamento das técnicas de classificação de imagens, tal como mostram os estudos de Harris *et al.* (1994), Grasso (1993), Munechika *et al.* (1993).

Diversos autores, como Hermuche *et al.* (2002), Borges *et al.* (2007), Vasconcelos *et al.* (2012), Sena-Souza *et al.* (2013), entre outros, vem utilizando o processo de composições coloridas na compartimentação geomorfológica, uma vez que esse processo possibilita distinguir as unidades do relevo através de variações texturais e tonais.

2.3. A Utilização Simbólica e Linguística das Cores na Transmissão de Informações

A cor tem o poder de captar rápida e emotivamente a atenção do observador e, por isso, a perfeita adequação dela à sua finalidade deve ser o mais próxima possível do real. Do contrário, poderá anular o valor de qualquer veículo de comunicação. As cores como veículos de informação são dados visuais dotados de significação, capazes de ocasionar o processo de informação para o indivíduo, o que pode resultar no desenvolvimento de novos conhecimentos possíveis de serem comunicados.

A variedade de significados de cada cor, ao longo dos tempos, está intimamente ligada em nível de desenvolvimento social e cultural das sociedades que os criam. Segundo Pastoreau (1997), dentre os diversos elementos da simbologia das cores estão os códigos (visuais, gestuais, sonoros ou verbais), resultados da adoção consciente de padrões representativos, designativos ou diferenciadores em uma sociedade. Com efeito, o que dá qualidade e significado ao símbolo é sempre sua utilização. Por isso a criação dos símbolos é um ato coletivo de função social, para satisfazer certas necessidades de representação e comunicação de um grupo.

Segundo Pedrosa (2004), historicamente muitos dos significados das cores guardam o seu sentido original, enriquecidos com a evolução espiritual dos povos, pois, em cada diferente sociedade, os símbolos tornam-se mais requintados e abstratos, acompanhando de perto o vôo da fantasia e das aspirações humanas.

Assim, o significado das cores nunca teve uma visão autônoma, que iniciasse e terminasse o seu ciclo de ação no próprio âmbito das ideias. Ao contrário, as ideias originadas por certos estímulos exteriores só conseguiram transformar-se em símbolos no retorno ao mundo objetivo, quando testadas pela prática. Decorre daí a importância do símbolo na origem e veiculação de conceitos, base de sua integração nos variados elementos da estrutura social.

A cor está inserida em um contexto de objetividade e subjetividade ao mesmo tempo. Para apreendermos este fato é só levar em consideração o que significa a cor para um físico e para um pintor. Para o físico, a cor implica em uma onda eletromagnética determinável e já para o pintor ela é uma substância brilhante em sua paleta. Segundo Pedrosa (2004), a palavra cor designa a sensação cromática, como o estímulo que a provoca. Esta definição é prática e objetiva, apoiada na física. Farina (1990) define a cor como o elemento sugestivo e indispensável que representa a natureza e os objetos criados

pelo homem e a imagem completa da realidade, afirmando que a natureza toda impõe suavemente o império da cor. Já, para Guimarães (2001), a cor é uma informação visual, causada por um estímulo físico, percebida pelos olhos e decodificada pelo cérebro. Essas definições se complementam e acabam por trazer a cor como informação visual e objeto de investigação.

Para Pedrosa (2003), ao considerarmos a cor como uma forma de linguagem capaz de comunicar e transmitir informação, sua aplicação é responsável pelo significado que pretende atribuir. O autor ressalta que a cor pode incorporar significados diferentes às informações que pretende passar, destacando sua função como comunicadora social responsável pelas intenções embutidas em diretrizes de comunicação. Isto porque muitas vezes a precisão de determinada informação dependerá da cor e do significado que se espera que ela venha a formar, já que a mesma pode incorporar valores, regras e códigos constituídos por sistemas ou por campos semânticos de origens diversas (religiosa, política, técnica, etc.).

Assim, na investigação de determinada informação em que a cor é elemento importante de significação, é preciso observar se o caso em análise está voltado para um recorte de tempo específico, no qual seja necessário obter o sistema simbólico e os filtros de ação válidos. Caso contrário, corre-se o risco de utilizar um sistema obsoleto ou inadequado para a investigação.

A denominação das cores também não é suficiente para a identificação das mesmas no espectro, pois, se pegarmos a língua portuguesa como exemplo veremos que, embora existam adjetivos como claro e escuro, consegue-se pouco mais de 30 denominações de cores no vocabulário e ainda assim eles não possuem capacidade de precisão. Albers (1975) afirma que, se alguém diz a palavra vermelho, como nome de uma cor, e há cinquenta pessoas ouvindo, pode-se esperar que hajam cinquenta vermelhos nas mentes e, possivelmente, estes vermelhos todos serão bem diferentes. É pelo fato de que cada indivíduo tem sua percepção própria das cores, além de ser difícil denominar todos os tons existentes no espectro, acabam por inviabilizar essa forma de especificação

Os dados visuais transmitem informação em presença dos dados textuais ou isoladamente, como na utilização de símbolos gráficos (pictogramas). Neste contexto, a cor se configura como um importante elemento em qualquer meio visual de comunicação, devido à sua influência sobre os indivíduos, suas emoções e seu processo cognitivo.

Desta maneira, é necessário definir, através de um estudo interdisciplinar, envolvendo disciplinas como a teoria da cor, semiótica, interação usuário-sistema, a fim

de estabelecer critérios de para o uso de cores em interfaces com o objetivo de possibilitar uma maior compreensão das mensagens veiculadas na internet por parte do usuário.

A especificação da linguagem visual é feita a partir de decisões ocasionais, dificultando o processo de compreensão do usuário sobre o conteúdo do sistema. E, sendo a cor um elemento de grande importância dentro de uma composição visual, suas potencialidades devem ser reconhecidas e utilizadas com a finalidade de possibilitar uma comunicação eficiente entre o sistema e o usuário. Do contrário, a cor, sendo utilizada indiscriminadamente, pode ter um efeito negativo ou de distração, afetando a reação do usuário em relação às informações das páginas web. Sendo assim, a produtividade também é afetada, pois, torna-se difícil codificar e focalizar a mensagem. Pois a aplicação incorreta das cores em interfaces pode aumentar significativamente o tempo de resposta do usuário.

As cores podem ser obtidas de várias maneiras na utilização de diversos modelos. Porém, a visualização das cores e sua interpretação pertencem a uma área da ciência que ainda não está totalmente compreendida. Isso se deve ao fato das pessoas não possuírem a mesma sensação a um determinado estímulo, tornando-se difícil a definição das cores. Como Filizola (1999) salienta em seu texto sobre Gerenciamento de Cores, fatores físicos e psicológicos interferem na maneira de determinar as cores. Uma das técnicas para minimizar esta interferência se refere a pesquisas sobre identificação de determinado objeto com um grupo selecionados de pessoas, referente a temática estudada.

Outro fato importante a ser levantado é que existe uma defasagem entre o número de cores que o olho humano enxerga, os que um processador consegue trabalhar e as que são possíveis de imprimir (GUIMARÃES, 2001). Deve se lembrar que as cores podem ser classificadas em dois tipos diferentes, as emitidas e as refletidas. As cores refletidas necessitam receber a luz do sol ou de outra fonte para serem recebidas, como por exemplo, as revistas e as escalas de cores. Já nas cores emitidas a fonte já sai colorida, tal qual os semáforos e monitores.

As realizações de alguns estudos provam que a luz que o monitor mostra não se altera com as mudanças na iluminação de uma sala. Já o que se observa em um papel altera completamente, pois depende da luz ambiente. Por outro lado, se os monitores não sofrem influência da luz, pode passar por uma série de outras interferências, tais como a integridade da placa de vídeo, o desgaste do aparelho, etc.

A cor deve transmitir ao observador sensações que agradem ao observador e ainda lhe facilitem a tarefa de observação. Ela deve criar no observador um estímulo para dar

continuidade na realização das tarefas a que se propôs. O emprego da cor deve ser planeado em função das preferências dos observadores se preocupando com os fins que a imagem pretende transmitir. Desta forma, a cor deve atrair a atenção do observador para a informação e a realçar conteúdos importantes e a natureza dessa informação. A informação em causa poderá ser um texto importante ou uma área dentro de uma imagem com cores falsas para realçar a conformidade ou inconformidade com determinados objetivos dos elementos que estão sendo visualizados.

Entender o desenvolvimento da teoria da cor permite uma compreensão melhor desse fenômeno no contexto atual. Ao examinar o desenvolvimento da teoria a cor, percebe-se que a natureza impulsionou o interesse dos filósofos, cientistas e artistas, pelo entendimento das cores e que a busca decorreu, e continua ainda hoje, da necessidade de organizar, controlar e reproduzir as cores, além de entender os seus efeitos sobre o ser humano na percepção e decodificação da informação.

A cor destina-se a associar áreas da imagem e a destacar a organização dos elementos contidos nessa imagem e o seu significado. É uma forma de interpretação muito interessante dos comprimentos de onda pelo sistema visual humano e suscita muitas pesquisas com intuito de ampliar o entendimento a respeito deste assunto. Para conseguir implementar o mapeamento de cores para imagens digitais é fundamental um amplo conhecimento sobre as fontes de luz, o efeito da luz sobre os objetos, o sistema visual humano com suas limitações, os sistemas e modelos de cores e por fim a maneira utilizada para conseguir uma interpretação a partir da cor. Desta forma, obtêm-se informações da cor, possibilitando transformá-la em valores compreensíveis e aplicáveis tanto para realização de mapeamentos.

2.4. A imagem digital e o processo de segmentação por cor

Este trabalho se baseia em dois tipos de informações, a visual e a descritiva. Podemos configurar a informação visual como a imagem vista na tela do computador. Já a informação descritiva será a referente ao modelo que representa os objetos visualizados.

De acordo com Russ (2000) uma imagem monocromática é uma função bidimensional contínua $f(x, y)$, na qual x e y são coordenadas espaciais e o valor de f em qualquer ponto (x, y) é proporcional à intensidade luminosa (brilho ou nível de cinza) no ponto considerado. Como os computadores não são capazes de processar imagens contínuas é necessário representar imagens como arranjos bidimensionais de pontos.

Cada ponto na grade bidimensional que representa a imagem digital é denominado elemento de imagem ou pixel que é a menor unidade de uma imagem digital, geralmente de forma quadrada, onde são descritos a cor e o brilho específico de uma célula da imagem (Figura.8).

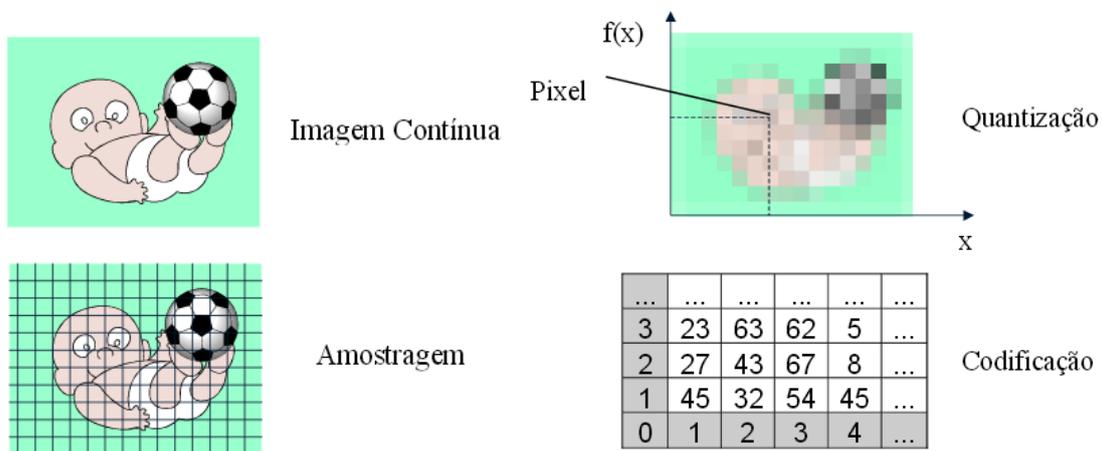


Figura 8: Representação de uma imagem digital bidimensional e o processo de discretização (Fonte: Adaptado de SCURI, 2002).

A figura 8 apresenta a notação matricial usual para a localização de um pixel no arranjo de pixels de uma imagem bidimensional. Cada pixel é criado quando a cor e brilho de uma dada posição na matriz 2D são medidos e gravados como uma quantidade discreta. O Processamento Digital de Imagens (PDI) permite a realização do tratamento de informações visuais e descritivas e, em geral, abrange operações que são realizadas sobre imagens e que resultam em imagens. O PDI trabalha com modelo matricial e computação gráfica. O modelo matricial utiliza uma matriz de dados para armazenar a informação de cor em cada ponto da imagem, onde o sistema de coordenadas é uma grade de números inteiros que descrevem a posição na matriz. Portanto, no modelo matricial não há distinção dos objetos contidos na imagem (BAXES, 1994).

Em uma imagem digital colorida no sistema RGB, um pixel pode ser visto como um vetor cujas componentes representam as intensidades de vermelho, verde e azul de sua cor. A imagem colorida pode ser vista como a composição de três imagens monocromáticas, onde cada uma representam, respectivamente, as intensidades luminosas das componentes vermelha, verde e azul da imagem, no ponto (x, y) . Segundo exemplo (Figura 9) apresentado por Queiroz *et al.* (2001), os mesmos conceitos formulados para uma imagem digital monocromática aplicam-se a cada plano de uma imagem colorida.

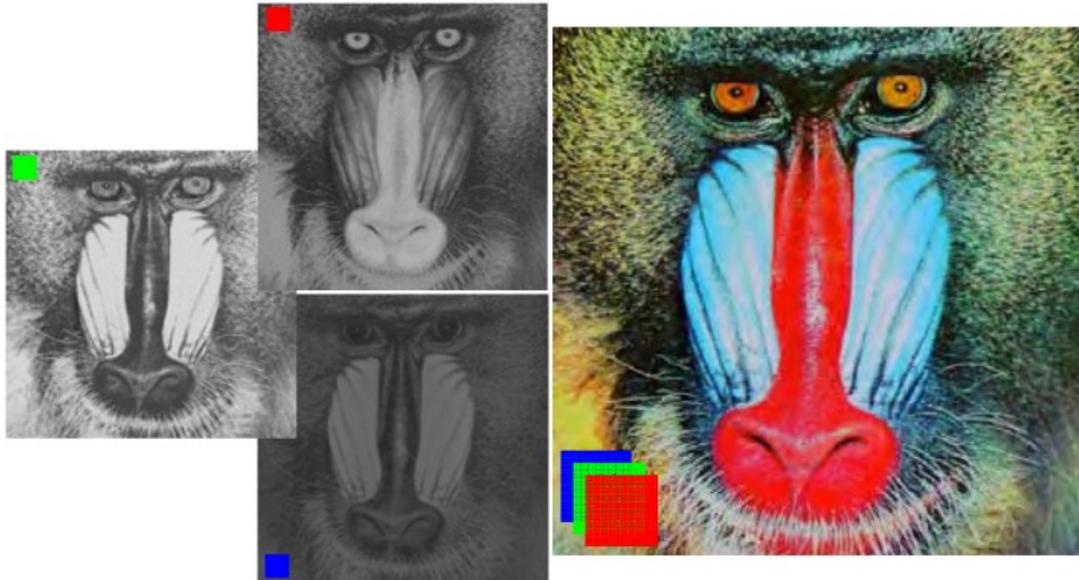


Figura 9: Representação de planos monocromáticos de uma imagem e o resultado da composição dos três planos (Fonte: QUEIROZ *et al.*, 2001).

Segundo Queiroz *et al.* (2001) e Baxes (1994) as cores no sistema digital de representação são representadas por números. O dispositivo que faz a leitura da cor transforma as informações em valores numéricos, que poderão ser analisados e alocados no modelo de cor pré-determinado. Em uma imagem em tons de cinza cada pixel independente tem uma quantidade discreta de brilho que pode variar em 256 níveis de intensidade diferentes e em uma imagem RGB cada pixel independente tem uma cor resultante de uma mistura de vermelho, azul e verde. Cada uma destas cores tem um valor numérico em uma escala de 0 a 255 níveis de brilho - em uma imagem de 8 bits por canal - onde os três canais juntos resultarão numa imagem com 24 bits. A cor de um pixel pode, então, ser descrita como, por exemplo: R: 32 G: 56 B: 74.

Na análise de imagens, faz-se necessária a extração de medidas, características ou informação de uma dada imagem por métodos automáticos ou semi-automáticos. A primeira etapa da análise de imagem é, em geral, caracterizada por sua segmentação, que consiste na subdivisão da imagem em partes ou objetos constituintes. Algoritmos de segmentação possibilitam a identificação de diferenças entre dois ou mais objetos, assim como a discriminação das partes, tanto entre si quanto entre si e o plano de fundo. A fundamentação na descontinuidade consiste no particionamento da imagem em zonas caracterizadas por mudanças bruscas dos níveis de cinza. A fundamentação na

similaridade consiste na limiarização e no crescimento de regiões (QUEIROZ *et al.*, 2001).

Para Scuri (2002) segmentação de imagens, ou seja, identificação de regiões homogêneas na imagem, tem sido objeto de consideráveis atividades de pesquisa nas últimas três décadas. Muitos algoritmos têm sido elaborados para imagens em escalas de cinza. Entretanto, o problema da segmentação em imagens coloridas, que carregam muito mais informação sobre objetos em cenas, tem recebido muito menos atenção da comunidade científica. Enquanto inúmeros levantamentos de técnicas para segmentação de imagens monocromáticas foram publicados, levantamentos similares para imagens coloridas são poucos os artigos encontrados.

Segundo Baxes (1994), segmentação de imagens coloridas é um processo pelo qual se extraem, do domínio da imagem, uma ou mais regiões conectadas que satisfaçam o critério de uniformidade (homogeneidade), o qual é baseado em características derivadas de componentes do espectro. Esses componentes são definidos em um modelo de espaço de cores escolhido. O processo de segmentação pode ser melhorado através de alguns conhecimentos adicionais sobre os objetos em cena tais como as suas propriedades ópticas e geométricas.

Uma das características mais importantes do método de segmentação apresentado é a definição de região. De acordo com Queiroz *et al.* (2001), região é um componente conectado de um grupo de pixels, especificado por uma função de pertinência de classes definida num espaço de cores. Em geral, as funções de pertinência em espaços de cores definem grupos de pixels com muitos componentes. Entretanto, se o volume no espaço de cor especificando a pertinência é pequeno, intuitivamente, a região é uniforme.

A região quando corresponde a uma superfície ou a um objeto de material homogêneo, ou seja, regiões representam o material conectado em cena, como por exemplo, o degrade, a sombra e o reflexo não possuem influência no resultado de uma segmentação de imagem, porém, eles mudam os valores de cor na imagem.

Outro aspecto importante dos métodos de segmentação é o espaço de cor do qual as características da cor são computadas. A maioria das técnicas de segmentação leva em consideração algo sobre a cena que é visto na imagem. Frequentemente, o método de segmentação especificado é projetado para alguma aplicação real. Em resumo, os seguintes atributos devem ser avaliados pelas técnicas de segmentação: a definição de região, o método matemático básico, o espaço de cor e os conhecimentos adicionais (SCURI, 2002).

Após o processo de segmentação, de acordo com Queiroz *et al.* (2001), o próximo passo é o reconhecimento dos objetos ou regiões resultantes. O objetivo do reconhecimento de padrões é identificar objetos na cena a partir de um conjunto de medições. Cada objeto é um padrão e os valores medidos são as características desse padrão. Um conjunto de objetos similares, com uma ou mais características semelhantes, é considerado como pertencente à mesma classe de padrões. Há diversos tipos de características, cada uma das quais é obtida a partir de uma técnica específica.

Scuri (2002) corrobora com o que Queiroz *et al.* (2001) descreve e acrescenta que o reconhecimento de padrões estatísticos começa com unidades, como uma região ou segmento projetado de uma imagem, nas quais uma variedade de medidas pode ser feita. O propósito do reconhecimento é classificar cada unidade com base neste vetor de medidas. A classificação encontra a unidade com esta característica de vetor para a categoria. Isto é feito por meio de uma regra de decisão. A regra de decisão é projetada opcionalmente para associar cada unidade a uma classe da categoria com base no vetor de medidas.

Queiroz *et al.* (2001) ainda discorre sobre os processos classificatórios em uma imagem e salienta que para realizar o reconhecimento de objeto, existe uma grande variedade de técnicas de classificação. Este autor, propõe uma representação geral para o processo de classificação, conforme ilustrada na figura 10.

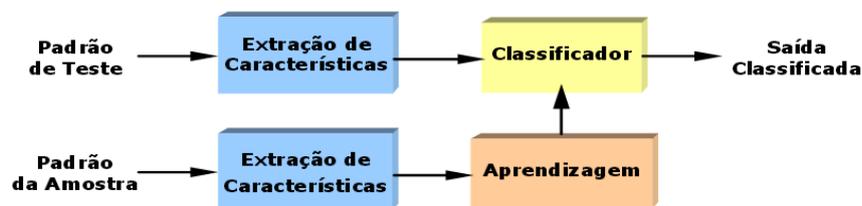


Figura 10: Representação geral para o processo de classificação (Fonte: QUEIROZ *et al.*, 2001).

As técnicas de reconhecimento de padrões podem ser divididas em dois tipos principais: classificação baseada em aprendizagem supervisionada e não-supervisionada. Os algoritmos de classificação supervisionada subdividem-se em paramétricos e não-paramétricos. O classificador paramétrico é treinado com uma grande quantidade de amostras rotuladas para que possa estimar os parâmetros estatísticos de cada classe de padrão. Um dos exemplos de classificadores supervisionados são os de distância mínima e o de máxima verossimilhança. Na classificação não-paramétrica, os parâmetros

estimados do conjunto de treinamento não são levados em consideração. Um exemplo de classificador não paramétrico é o dos K-vizinhos mais próximos (CESAR *et al.*, 2001).

Já na classificação não supervisionada, o classificador particiona o conjunto de dados de entrada a partir de algum critério de similaridade, resultando em um conjunto de clusters ou grupos, cada um dos quais normalmente associado a uma classe. Na classificação supervisionada, o classificador particiona o conjunto de dados de entrada a partir de algum critério de similaridade, resultando em um conjunto de clusters ou grupos, cada um dos quais normalmente associado a uma classe. Na área de reconhecimento de objetos, destacam-se os algoritmos e técnicas baseadas em redes neurais e os classificadores bayesianos. Para um aprofundamento na área de classificação de padrões, trabalhos como os Duda (2000), Gonzalez *et al.* (2002) e Cesar *et al.* (2001) podem ser pesquisados.

A cor facilita a percepção pois tem normalmente o efeito de reforçar a identificação da forma dos objetos através da descontinuidade da luminosidade nas arestas destes elementos. Essa revisão permitiu uma visão geral sobre o vasto universo científico das cores. Por se tratar de uma área bastante ampla, foi incluído neste capítulo somente os tópicos relevantes a pesquisa desenvolvida, procurando fornecer um mínimo de detalhes associado a cada etapa do projeto.

“A cor, quando ocupa o espaço destacado e adequado, adquire uma simbologia e pode ser utilizada a favor da informação e da comunicação. Assim ela se diferencia da apresentação natural e sem significação da informação aleatória” (GUIMARÃES, 2001, p. 134).

É possível ressaltar que o trajeto de investigação a respeito da aplicação de cores em mapeamentos reforçou algumas preposições sobre as cores, tais como, a cor tem um papel de grande importância na transmissão de informação em mapas, e esse potencial pode ser mais bem aproveitado pelos diversos pesquisadores; o desconhecimento do papel informativo da cor torna a informação suscetível à manipulação; e o conhecimento desse caráter torna a informação mais rica, dá ao produtor e ao receptor autodeterminação e enriquecimento do repertório.

3. GEOMORFOLOGIA

Este capítulo trata do conceito de paisagem e a inserção dos estudos geomorfológicos dentro dele, discorre sobre aspectos vinculados ao mapeamento geomorfológico, ressaltando sua importância para os estudos das formas do relevo e defini os táxons utilizados na classificação dos mapas proposta na metodologia desenvolvida.

3.1. Geomorfologia e Paisagem

No Novo Dicionário Geológico Geomorfológico (GUERRA e GUERRA, 2001), o termo geomorfologia é explicado como:

“A ciência que estuda as formas do relevo, tendo em vista a origem, estrutura, natureza das rochas, o clima da região e as diferentes forças endógenas e exógenas que, de modo geral, entram como fatores construtores e destruidores do relevo terrestre”. (GUERRA e GUERRA, 2001, p.303)

Embora, o termo geomorfologia seja uma expressão datada do final do século XIX, de certa forma, ele já era trabalhado nos pensamentos, ideias e conceitos sobre a paisagem. Os estudos sobre as paisagens têm fontes muito antigas, e possuem registros disponíveis a partir da época de Aristóteles (384-322 a.C.) (SUMMERFIELD, 1991). Segundo Troll (1982), a palavra paisagem existe há mais de um milênio e teve sua origem na linguagem alemã, conhecida como *Landschaft*.

Ao longo das últimas décadas, o conceito de paisagem tem sido muito discutido por vários autores. Em 2009, os autores Pereira e Silva afirmam que a discussão sobre a paisagem é divergente em função das múltiplas abordagens que surgem, e a compreensão do conceito depende das influências culturais e discursivas entre geógrafos. Já os autores Guerra e Marçal (2006) defendem a divergência da discussão sobre a paisagem decorrente das perspectivas de análise, da abordagem e das orientações teórico-metodológicas das várias disciplinas e escolas que tratam este conceito. Assim, conforme aponta vários autores, o conceito em questão pode variar da abordagem estético-descritiva até a científica.

Uma das primeiras concepções de paisagem, e que é considerada uma das mais antigas, estuda a paisagem predominando as análises descritivas e regionais. Destacam-se os trabalhos de Kant, Humboldt e Ritter nesta linha de pensamento, em busca de uma

visão totalizadora da natureza (GUERRA e MARÇAL, 2006). Segundo Troll (1982), dependendo da intervenção humana, as paisagens se distinguem em naturais e culturais. Para este autor, todas as paisagens refletem transformações temporais e conservam testemunhos de tempos pretéritos. Pode-se assim afirmar que esta é uma postura inovadora na escola alemã.

Já no século XX e XXI, autores alemães como Haase, Neef e Barsch, na década de 1960; Richter e Schmihusen, na década de 1970; Leser em 1991 e Rodriguez, Silva e Cavalcanti em 2007, deram andamento às ideias da Ecologia da Paisagem de Troll. Esses autores fundamentaram teórica e metodologicamente a Geoecologia da Paisagem, que faz parte da Geoecologia ou Geografia Ambiental, e é caracterizada pelo estudo da interação e das relações objeto-sujeito.

Há muitas concepções acerca do conceito de paisagem, tais como das escolas alemã, russa, francesa, norte-americana, ibérica e brasileira. O debate do conceito de paisagem é extenso e, no contexto desta pesquisa, nos interessa para mostrar a relevância da geomorfologia dentro de uma paisagem. Assim, para maiores detalhes sobre o conceito de paisagem defendido por autores de escolas diversas vide: Passarge (1931); Troll (1982); Summerfield (1991); Polette (1999); Frolova (2001); Rodrigues *et al.* (2004); Casseti (2005); Passos (2006); Guerra e Marçal (2006); Pereira e Silva (2009); dentre outros.

Diversas tentativas científicas para entender e documentar a paisagem, foram desenvolvidas e, até hoje, resultam em diversos registros com ênfase na geomorfologia. Tratando agora especificamente da ciência geomorfológica, esta é considerada como a ciência que estuda a superfície do modelado terrestre, suas feições e processos ocorrentes. Para Casseti (2006), a geomorfologia é um conhecimento específico, sistematizado, que tem por objetivo analisar as formas do relevo, buscando compreender os processos pretéritos e atuais. Seu objeto de estudo é a superfície da crosta terrestre, apresentando uma forma específica de análise que se refere ao relevo.

A análise geomorfológica de uma determinada área implica obrigatoriamente no conhecimento da evolução que o relevo apresenta, o que é possível se obter através do estudo das formas e das sucessivas deposições de materiais preservados, resultantes dos diferentes processos morfogenéticos a que foi submetido (CASSETI, 2006).

Para Guerra e Guerra (2001) a geomorfologia foi dividida em duas áreas, uma considerada descritiva e outra evolutiva. De forma geral, a geomorfologia descritiva estuda as formas topográficas e as suas características; já a geomorfologia evolutiva,

desenvolve estudos em torno das diversas etapas pelas quais uma morfologia passa até chegar a forma atual.

Estes autores também destacam a divisão da geomorfologia segundo Passarge, que a divide em morfografia (baseado na descrição das formas), morfologia geológica (baseado em estudos geomorfológicos) e morfologia fisiológica (baseado na atuação dos agentes erosivos). Esta pesquisa, focada no desenvolvimento de um mapeamento geomorfológico, irá se desdobrar no âmbito da morfografia, mais, especificamente trabalhando com a morfometria, que se preocupa com o estudo das formas do relevo segundo a topografia.

Morfografia é uma combinação das palavras gregas *morpho* (que significa forma) e *grafia* (que significa desenho). A geomorfologia descrita a partir da morfografia e/ou morfometria. A morfografia pode ser considerada como a descrição científica da forma, utilizando para isto a descrição qualitativa da forma e a documentação da morfologia. Na morfometria é utilizado uma documentação mensurável, quantitativa da morfologia para realizar o estudo quantitativo das formas do relevo (TRICART, 1965; e SUMMERFIELD, 1991).

Segundo Tricart (1965), a morfometria, a morfologia, a gênese e o comportamento dinâmico são representações abordadas nos mais diversos mapeamentos geomorfológicos. A morfometria, correspondendo à altimetria, dimensões, desníveis, extensões entre outros itens associados à mensuração das unidades do relevo. A morfologia, agregada à forma das vertentes, vales, topos, etc. A gênese ligada à desnudação e/ou agradação e à cronologia (idade relativa e datação absoluta das formas). E, por fim, o comportamento morfodinâmico das feições (CASSET, 2005; e GUSTAVSSON *et al.*, 2006).

O mapa geomorfológico pode ser portanto considerado como um dos mais importantes instrumentos na pesquisa da paisagem. Ele é a base da pesquisa, e não apenas a sua concretização gráfica, ou seja, é simultaneamente o instrumento que direciona a pesquisa e a sua síntese. Desta forma, o item a seguir apresenta maiores desdobramentos sobre a questão dos mapeamentos geomorfológicos.

3.2. Os Mapas Geomorfológicos

A sistematização cartográfica do relevo é um importante instrumento na espacialização dos fatos geomorfológicos. Mapas geomorfológicos, assim como os estudos geomorfológicos, são de fundamental importância para a compreensão dos ambientes naturais e das alterações desencadeadas pela ocupação humana, que, por sua vez, conduz a desequilíbrios ambientais com um aumento na fragilidade dos ecossistemas. Os mapas geomorfológicos buscam, especificamente, mostrar as formas de relevo mais próximas à percepção visual humana em função de sua escala de visualização e formas de representação. Segundo Tricart (1959), o mapeamento geomorfológico atua como embasamento da pesquisa sobre o relevo, sendo, ao mesmo tempo, um instrumento que direciona a pesquisa e, quando concluído, pode representar uma síntese e produto desta.

Porém, quando se fala de forma geral em mapeamento busca-se fundamentar uma ordenação de fatos no mundo, desde aqueles sobre o desenvolvimento dos sistemas ou processos naturais, sociais e/ou econômicos quanto de sua representação cartográfica. No entanto, questiona-se o real significado dos fenômenos/fatos mapeados. Ou seja, ao mesmo tempo em que os mapas mostram categorias de densidade populacional, cobertura vegetal, uso do solo, o que poderiam estar omitindo? Poderia omitir, por ex., a vivência deste ou daquele fato e/ou indivíduo, seus hábitos em geral. O que ocorre é que se tomam milhões de indivíduos como um conjunto, e parte desta sabedoria adquirida individualmente acaba sendo omitida na categoria representada.

Para Lacoste (1988) as múltiplas representações espaciais correspondem à necessidade de se referenciar um número cada vez maior de conjuntos, constituídos por elementos que mantêm entre si relações complexas, através das quais poderemos nos orientar, deslocar, distrair, conceber uma estratégia, etc.; constituindo, assim, um instrumento indispensável de pensamento e de expressão. Saber pensar o espaço para poder saber nele se organizar e para saber nele combater.

Desta forma, e com base na literatura acadêmica acessada, muitos autores se debruçaram sobre a temática mapeamento geomorfológico. Dentre esses, destaca-se Tricart (1965), Demek (1972), Klimaszewski *et al.* (1963), Hayden (1986), Gustavsson (2006), Verstappen (1983 *apud* Florenzano, 2008), Meijerink (1988 *apud* Florenzano, 2008), entre outros.

Klimaszewski (1963) afirma que mapas topográficos são elaborados desde os tempos mais remotos, sendo utilizada a técnica da caricatura no século XVIII e a técnica de curvas de nível no século XIX. Para este autor, apesar de ser possível discernir aspectos morfométricos nesses mapas, os mesmos não informam a origem, a idade, a relação com a estrutura geológica etc.

No início do desenvolvimento da Ciência Geomorfológica, em meados do século XVIII, a proposta principal dos estudos seguia a tendência naturalista, voltados aos interesses do sistema de produção e com base no princípio do utilitarismo. Nos relatos da bibliografia existente, somente em 1930 o geógrafo alemão Carl Troll introduziu o uso de fotografias aéreas para o mapeamento de unidades de paisagem. Entre as décadas de 1940 e 1960, o desenvolvimento da teoria dos sistemas e fluxos e o uso da computação marcaram significativamente os estudos geomorfológicos. Porém, é após a Segunda Guerra Mundial que surge a cartografia geomorfológica como método fundamental para análise do relevo (FLORENZANO, 2008).

Para realizar estes mapeamentos geomorfológicos, sejam em escalas regionais ou de detalhe, são necessários dados sobre a investigação de elementos que possam subsidiar tanto a compreensão de sua formação, como sugerir idade e dinâmica dos processos atuantes na evolução da paisagem. A representação da superfície pode ser do tipo bi ou tridimensional, a base para iniciar um projeto para realização do mapeamento das formas do relevo.

Segundo Florenzano (2008), o mapa geomorfológico, como conhecido atualmente, teve início na Polônia, onde ele tem sido utilizado, desde a década de 1950, como suporte ao planejamento econômico. Nesta perspectiva, o mapa geomorfológico tem significativo valor, não apenas científico, mas também prático, especialmente o mapa de detalhe.

Nos últimos cinquenta anos, os avanços tecnológicos e científicos foram decisivos para que o ramo da Cartografia se desenvolvesse e evoluísse de modo a contribuir para os estudos e análises sobre representação e dinâmica da superfície terrestre dentre inúmeros outros estudos de cunho geográfico. Atualmente, há uma forte mudança na interpretação e nas pesquisas geomorfológicas e, não diferente, também há alterações nas metodologias de geração dos mapas desta ciência. Este fato já foi discutido desde o início deste século, por autores, tais como Church (2005) e Summerfield (2005).

Considerando o desenvolvimento no setor de geotecnologias, o Geoprocessamento trouxe inovações em técnicas e metodologias para a representação do

espaço em meio computacional, tornando a elaboração de mapas uma tarefa cada vez mais automatizada e interdisciplinar, permitindo mais agilidade e eficiência na elaboração de produtos e na tomada de decisões (FLORENZANO, 2008).

Neste trabalho, as técnicas de geoprocessamento estiveram presentes desde a etapa inicial do mapeamento, que constituiu a organização e tratamento das variáveis, até a etapa final com a produção do mapa geomorfológico, conforme estará descrito das etapas metodológicas da pesquisa.

Xavier da Silva em 1998 ressalta que em mapeamentos geomorfológicos apoiados por geotecnologias, as entidades geomorfológicas podem ser identificadas por sua geometria, localização e forma, e também através de correlações espaciais. Diante dessas considerações, percebe-se que a ligação entre a ciência da Geomorfologia e as Geotecnologias contribui para a realização de análises integradas e tomada de decisões a partir da obtenção, tratamento e análise de informações geográficas.

Por tentar representar uma superfície tridimensional, os mapas geomorfológicos são complexos, em função da necessidade de representação de uma grande quantidade de parâmetros e de feições que sintetizem a gênese, dinâmica e cronologia das formas de relevo. Embora diversos estudos apontem para esta direção, não há padronização internacional de identificação e classificação das formas de relevo, e, da mesma forma, não há uma taxonomia e simbologia de representação, ao contrário de outros mapeamentos, como por exemplo, o geológico.

Representar todas as informações necessárias ao entendimento do relevo em um único mapa torna-se uma tarefa difícil de ser executada, levando à diversidade de procedimentos técnicos os quais variam de acordo com as características da área pesquisada, a escala de trabalho e o objetivo do pesquisador

No Brasil, há muitas contribuições para a cartografia geomorfológica com distintas metodologias e abordagens para o mapeamento das feições do relevo. Dentre elas, podemos citar as metodologias desenvolvidas por Ponçano *et al.* (1981), pelo Projeto RADAMBRASIL (1983), Nunes *et al.* (1995), Ross e Moroz (1997) e Dantas (2004).

Algumas metodologias, tais como as propostas pelo IBGE em 2009, por Jurandy Ross em 1992, a desenvolvida pelo CPRM em 2000 e a traçada por Silva em 2002, merecem destaque nesta contextualização devido ao seu caráter de mapeamento em escala de semi-detalle e por utilizarem parâmetros morfométricos em suas metodologias, características que se aproximam de questões envolvidas no desenvolvimento desta metodologia.

3.2.1. Proposta de mapeamento geomorfológico do IBGE (2009)

O resultado do texto descrito a seguir é oriundo da pesquisa realizada em dois manuais técnicos desenvolvido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, o IBGE. A primeira versão do manual, data do ano de 1995, contém 111 páginas, e traz a abordagem de um relatório que veio apresentar normas e procedimentos para a produção e armazenamento de informações de geomorfologia em meio digital. Já o segundo manual data de 2009, contendo 175 páginas, e é versão atualizada do lançado em 1995 abordando ainda informações sobre as modificações e a evolução do mapeamento geomorfológico ocorridas no Brasil.

A geração do manual técnico para mapeamento geomorfológico sistemático do Brasil teve início na década de 1970, junto com a criação do projeto RADAMBRASIL e, segundo o instituto, essa metodologia foi a pioneira no país utilizando imagens de radar na escala de 1:250.000. A equipe técnica da Divisão de Geomorfologia do Projeto RADAMBRASIL desejava um documento de referência para realizar o mapeamento geomorfológico sistemático de todo o Território Nacional e é devido a este fato que o documento nasceu junto ao projeto RADAMBRASIL. A figura 11 apresenta os procedimentos básicos do mapeamento desenvolvido pelo instituto.

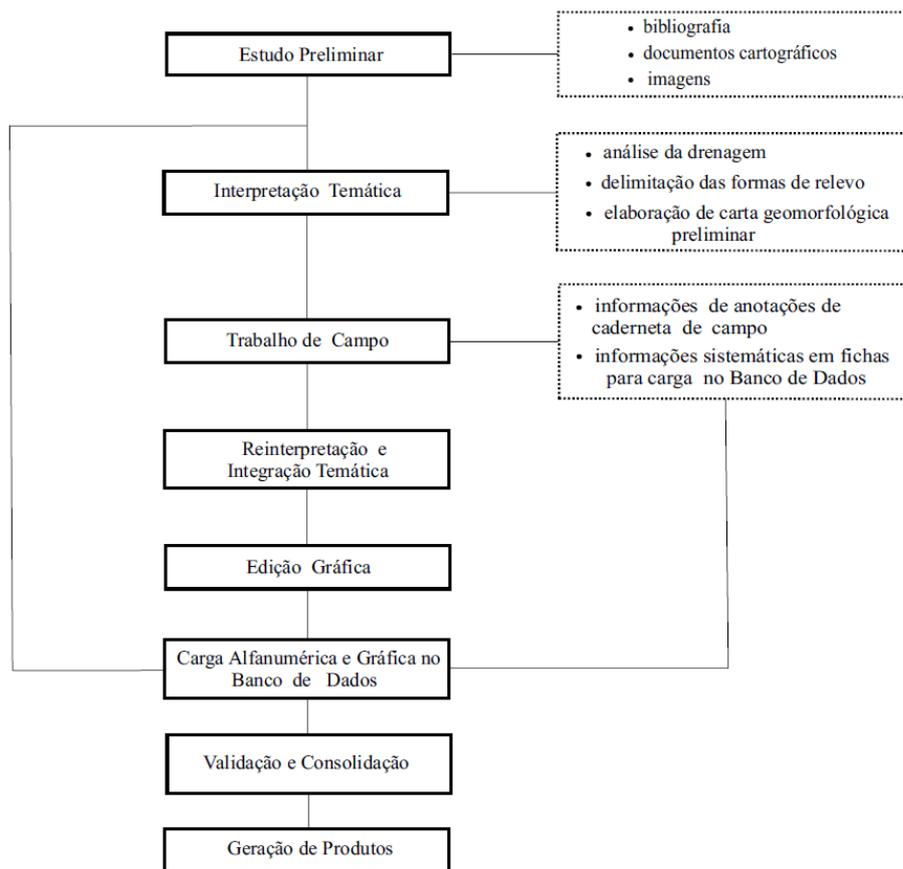


Figura 11: Procedimentos básicos de um mapeamento geomorfológico. Fonte: IBGE, 2009.

A primeira atividade corresponde aos estudos preliminares, a seleção de dados gráficos e textual e a interpretação de imagens. Já na segunda fase, ou atividade através da interpretação das imagens de radar, relaciona-se ao reconhecimento e fointerpretação: da drenagem (para posterior análise das propriedades de drenagem, hierarquização fluvial e interpretação dos padrões de sub-padrões de drenagem e do tipo de canal para a identificação e classificação da textura do terreno) e das formas de relevo (delineamento das acumulações, aplanamento, dissecação e dissolução). Após esta fase de estudos realiza-se a elaboração de uma carta geomorfológica preliminar (inserção das legendas correspondentes a cada modelado delimitado, desenhos de símbolos linear e pontual que representaram as feições de detalhe no mapeamento e articulação dos elementos mapeados com as áreas contíguas assegurando a continuidade).

A terceira etapa se materializa com a realização de trabalhos de campo para realizar as confirmações das feições anteriormente mapeadas. Logo após, vem a fase da reinterpretação e integração da temática, onde é incorporado ao mapeamento as alterações

e atualizações de campo e se processa toda a revisão das unidades geomorfológicas mapeadas, da taxonomia, dos símbolos e da integração com as folhas contíguas.

Na quinta etapa, referente a edição gráfica, utiliza-se técnicas e procedimentos de geoprocessamento para garantir a topologia na delimitação dos elementos gráficos; identificar e corrigir inconsistências de limites entre áreas contíguas, entre outros. A sexta fase corresponde a carga do banco de dados alfanuméricos (conjunto de dados textuais identificados na etapa do levantamento preliminar e/ou nas informações provenientes do trabalho de campo).

Na validação e consolidação, sétima e penúltima fase, ocorre a verificação da consistência e da correção dos dados carregados no banco de dados, através de procedimentos como a verificação da simbologia representada em confronto com a forma do relevo mapeado; a conformidade da cor com a unidade geomorfológica mapeada; entre outros.

Na oitava e última etapa, a geração de produtos, o principal produto de toda interpretação temática é o banco de dados de geomorfologia. A partir deste banco, podem ser gerados: a carta geomorfológica final, na escala 1:250 000; cartas derivadas desse mapeamento; carta de avaliação de relevo; e estatísticas e indicadores ambientais.

Desta forma, pode-se ter um conjunto de procedimentos gerais estabelecidos para o desenvolvimento das atividades de levantamento e produção de informações cujo alvo principal é identificar as formas de relevo.

3.2.2. Proposta de mapeamento geomorfológica proposta por Ross (1992)

Baseado na proposta de Gerasimov e Mescherikov de 1968, o trabalho de Jurandy Ross trata o mapeamento do relevo com base nos diferentes níveis taxonômicos, sendo assim compatível com a representação espacial dos fatos geomorfológicos de pequenas, médias e grandes escalas. Levando em consideração que o relevo é produto de forças (endógenas e exógenas), que interagem conjuntamente, Ross propôs a hierarquização do relevo em seis unidades taxonômicas (Quadro 1), que considera fundamentalmente o aspecto fisionômico das diferentes formas e tamanhos de relevo, baseado na gênese e na idade dessas formas, tendo em vista o significado morfogenético e as influências estruturais e esculturais do modelado (MARTINS, 2013).

Quadro 1: Unidades taxonômicas. Fonte: de Ross, 1992 (apud MARTINS, 2013).

<i>Hierarquia</i>	<i>Nomenclatura</i>	<i>Características</i>
1º Táxon	Unidades Morfoestruturais	É a maior forma de relevo, sua idade e história genética são mais antigas que as Unidades Morfoesculturais esculpidas em seu interior. Exemplos: Bacia Sedimentar do Paraná, Cráton do São Francisco.
2º Táxon	Unidades Morfoesculturais	São de dimensões inferiores às das Unidades Morfoestruturais, e com idade bem menor. Exemplos: Planalto Paranaense, Depressão Periférica paulista.
3º Táxon	Unidades Morfológicas ou de Padrões de Formas Semelhantes	Estas retratam um determinado aspecto fisionômico decorrente das influências dos processos erosivos mais recentes e posteriores àqueles que esculpiram os planaltos e depressões. Exemplos: Padrão em morros, Padrão em colinas.
4º Táxon	Tipos de formas de relevo	Referem-se a cada uma das formas de relevo encontradas nas Unidades Morfológicas ou de Padrões de Formas Semelhantes. Exemplo: Em um Padrão em morros, cada morro que faz parte desse padrão possui características que o diferencia dos demais.
5º Táxon	Tipos de Vertentes	Representa os tipos de vertentes contidas em cada forma de relevo, sendo assim, de gênese e idade mais jovens. Exemplos: vertentes côncavas, convexas, aguçadas, etc.
6º Táxon	Formas e processos atuais	Refere-se às formas de relevo bem menores e muito mais recentes, que surgem ao longo das vertentes por processos geomórficos e até mesmo por ação antrópica. Exemplos: sulcos, ravinas, voçorocas.

Ross (1992) a partir da interação dos táxons afirma que é possível fazer a leitura dos índices dos graus de entalhamento dos vales e estabelecer a dimensão interfluvial média dos mesmos. Inspirado no projeto do RADAMBRASIL, este autor elaborou a matriz dos índices de dissecação do relevo, que está baseada em informações da dimensão interfluvial média, nas colunas horizontais e entalhamento médio dos vales nas colunas verticais.

Os padrões de formas semelhantes, que podem ser de acumulação (planícies de diversas gêneses) ou de denudação (morros, colinas, serras entre outros) foram classificados segundo conjunto de letras e símbolos acompanhados por um conjunto numérico, como por exemplo, Da32 que significa forma denudacional de topo aguçado com entalhamento de vale de índice 3 (40 a 80 metros) e dimensão interfluvial de tamanho grande (índice 2 – 1750 a 3750 metros).

Considerando tal flexibilidade escalar e relativa facilidade na aplicabilidade, vários outros autores utilizaram esta proposta no mapeamento geomorfológico em diversas áreas do país como Ross e Moroz (1997), Rodrigues e Brito (2000), Santos *et al* (2006), Oliveira e Rodrigues (2007), Soares e Fujimoto (2009), Oliveira *et al.* (2012), entre outros.

3.2.3. Proposta de mapeamento geomorfológico do CPRM (2000)

O Serviço Geológico do Brasil, ou simplesmente CPRM, nome de fantasia advindo da razão social Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, associou-se à parceiros como a EMBRAPA (Empresa Brasileira de Agropecuária) e ao DRM/RJ (Departamento de Recursos Minerais) para desenvolver o projeto Rio de Janeiro, que tratou da classificação das formas do relevo de uma abordagem sistêmica de estudos geológicos e geomorfológico, entre outros, nos limites do estado do Rio de Janeiro (CPRM, 2000).

Tratando especificamente do tema de mapeamento geomorfológico dentro do Projeto Rio de Janeiro, este mapa foi produzido na escala 1:250.000, para todo estado do Rio de Janeiro, abrangendo uma área de 44.000km². Todas as informações referentes a este projeto foram obtidas diretamente do manual técnico de 2000 do Projeto Rio de Janeiro – Geomorfologia, disponibilizado na página do CPRM.

A metodologia desenvolvida para geração do mapa geomorfológico do estado do Rio de Janeiro compreendeu uma sequência de cinco etapas que são apresentadas no quadro 2.

Quadro 2: Etapas realizadas na metodologia para geração do mapa geomorfológico do estado do Rio de Janeiro. Adaptado de: CPRM (2000).

Etapa	Descrição
1	Pesquisa bibliográfica
2	Interpretação das unidades geomorfológicas
3	Interpretação preliminar dos sistemas de relevo
4	Aferição de modelos em campo
5	Interpretação final dos sistemas do relevo

Na etapa 1, de pesquisa bibliográfica, foram levantados dados de ordem descritiva e também cartográficos, principalmente sobre os mapeamentos em escalas regionais. Ao final da análise da bibliografia, a base metodológica selecionada e adotada para a definição das unidades geomorfológicas foi extraída da metodologia de Ross.

Na interpretação das unidades geomorfológicas, já na etapa 2, somente os dois primeiros táxons propostos por Ross foram utilizados. Esses dois táxons permitiram a interpretação das unidades morfoestruturais - bacias sedimentares e as unidades morfoesculturais - planaltos e depressões. Segundo os autores do manual, esse mapa consistiu numa primeira aproximação dos conjuntos de relevo presentes no estado do Rio

de Janeiro. Cada unidade morfoestrutural compreende um conjunto de unidades morfoesculturais, que, por sua vez, compreende um conjunto de sistemas de relevo. As unidades morfoesculturais foram também subdivididas em unidades geomorfológicas, devido a variações morfológicas ou por sua própria localização geográfica.

Já a etapa que compreende a interpretação preliminar dos sistemas de relevo, foi baseada na metodologia de Ponçano de 1979, que consiste em determinar as feições a partir de informações morfométricas, em especial, amplitude de relevo e declividade. Para isto, utilizou-se imagens de satélite Landsat TM (banda 4), em escala 1:250.000, com o apoio de cartas topográficas (escala 1:50.000) e fotografias aéreas (USAF – escala 1:60.000), para identificar e delimitar os sistemas de relevo existentes no estado. O primeiro critério de individualização de sistemas de relevo consiste no agrupamento em relevos de agradação, onde predominam os processos deposicionais, e em relevos de degradação, onde predominam os processos erosivos. Após esta etapa, foi realizado o agrupamento de algumas formas, resultando nos sistemas de relevo que foram individualizados da seguinte maneira: Relevos de Degradação em Áreas Montanhosas; Maciços Costeiros e Interiores; Escarpas serranas; Escarpas Serranas degradadas; Degraus em Borda de Planaltos e Domínio Montanhoso.

A etapa quatro, correspondente a etapa de verificação dos modelos em campo, teve como objetivo principal o de refinar os modelos de sistemas de relevo interpretados em gabinete. Já a quinta, a interpretação final dos sistemas de relevo produziu o mapa geomorfológico.

3.2.4. Proposta de mapeamento geomorfológico proposto por Silva (2002)

A metodologia apresentada por Silva em 2002 realizou a compartimentação geomorfológica na escala 1:50.000 do estado do Rio de Janeiro, a partir da análise da amplitude altimétrica. A abordagem metodológica básica empregada teve origem no trabalho desenvolvido por Meis *et al.* (1982), que buscava avançar sobre o caráter extremamente descritivo dos mapas geomorfológicos clássicos. Meis *et al.* (1982) tentou fornecer elementos capazes de subsidiar um melhor conhecimento sobre a evolução geodinâmica do relevo, considerando as bacias de drenagem como unidade-básica para cálculo da amplitude altimétrica, que acabam por refletir o grau de encaixamento fluvial ou entalhamento erosivo das encostas, associa-se intimamente a variações lito-estruturais e/ou tectônicas.

Silva (2002) explica que em termos práticos e conceituais, nas bacias formadoras da rede de drenagem o valor entre a cota superior e a inferior, antes de atingir a drenagem coletora, corresponde ao trabalho de dissecação do relevo efetuado pela atuação de agentes erosivos ao longo do tempo geológico. O índice de dissecação topográfica vai variar ainda de acordo com a litologia e/ou com as diferentes histórias de movimentação geológica, refletindo, no modelado, domínios de relevo distintos.

Este cálculo é obtido para a drenagem afluyente (bacias de primeira e segunda ordens), extraído da amplitude altimétrica (Δh) dada pela diferença entre a altitude superior ($\Delta h_{\text{máx}}$) e a inferior ($\Delta h_{\text{mín}}$) de bacias de drenagem de primeira e segunda ordem até sua confluência com a rede coletora, utilizando-se para tanto uma carta topográfica.

Sobre as folhas topográficas trabalhadas são feitos os cálculos da amplitude altimétrica ($\Delta h = \Delta h_{\text{máx}} - \Delta h_{\text{mín}}$) obtida pela diferença de valores de altitude entre a curva de nível mais alta e mais baixa em todas as bacias de drenagem contidas nas respectivas cartas. Após esta análise, foram reconhecidas bacias de drenagem que possuem as mesmas classes, separando-se bacias com valores diferentes através da delimitação de interflúvios e divisores. E assim o mapa elaborado reflete o grau de encaixamento fluvial ou entalhamento erosivo das encostas, associando-se intimamente a variações lito-estruturais e/ou tectônicas (SILVA, 2002).

As classes de amplitude altimétrica adotadas associadas as feições geomorfológicas pode ser entendida a partir da análise da figura 12.

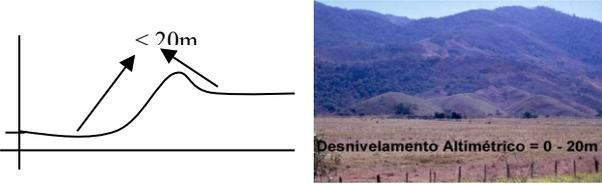
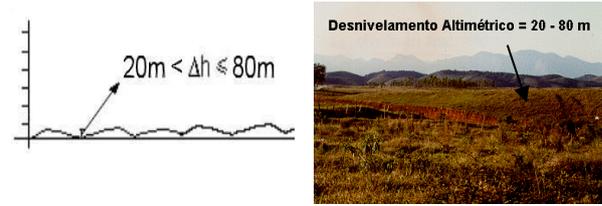
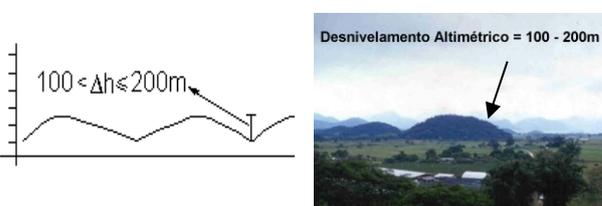
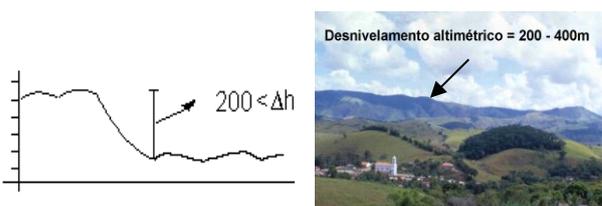
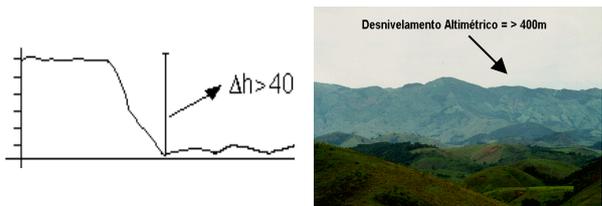
CLASSES DE DESNIVELAMENTO ALTIMÉTRICO	ASPECTO TOPOGRÁFICO (perfil esquemático e fotografia da feição correspondente)	SIGNIFICADO GEOMORFOLÓGICO
0 a 20m		<p>planícies fluviais ou fluvio-marinhas de topografia horizontal a sub-horizontal, localizadas em diferentes altitudes.</p>
20 a 100m		<p>colinas, caracterizados pelo entulhamento dos vales e das reentrâncias das cabeceiras de drenagem.</p>
100 a 200m		<p>morros isolados; com vales mais encaixados.</p>
200 a 400m		<p>degraus ou serras bastante reafeicoados; degraus de transição entre compartimentos diferentes.</p>
> 400m		<p>degraus e/ou serras elevados e/ou escarpados.</p>

Figura 12: Classes de amplitude altimétrica com representação do perfil topográfico e significado geomorfológico correspondente. Fonte: SILVA (2002).

Os diversos compartimentos morfoestruturais reconhecidos são posteriormente analisados pelos dados de orientação e contiguidade espacial, levando à identificação dos grandes conjuntos de formas de relevo que resultaram no mapeamento geomorfológico.

3.3. Conceituação de feições morfológicas – O que deve ser entendido por serra, morro, colina e planície?

Após analisar no item anterior diversas metodologias de mapeamento geomorfológico e entender as distintas classificações e as respectivas classes que correspondem as feições do relevo mapeadas por Silva (2002), este modelo foi o selecionado como mapa de referência para o presente trabalho. Assim, foram selecionadas como base para adaptação e desenvolvimento das classes das unidades geomorfológicas aqui utilizadas as classes de serra, morro, colina e planície. Estas classes se encontram de acordo com o objetivo deste trabalho, os de identificar feições morfológicas em escala de semi-detalhe.

As serras (Figura 13), segundo Rossato *et al.* (2003), é uma nomenclatura usada em geomorfologia um tanto quanto ampla e imprecisa para designar superfícies acidentadas com fortes desníveis.



Figura 13: Representação da morfologia denominada de serra. Fonte: Adaptado de ROSSATO *et al.* (2003).

Guerra e Guerra (2001) complementa a definição acima, com a informação de que muitas das chamadas serras são, geralmente, escarpas dissimétricas, possuindo vertentes com desníveis abruptos, enquanto a outra encosta é uma superfície fracamente inclinada. Estes autores consideram que o topo e a continuidade dessas feições também devem ser levados em consideração, e que não se deve pensar que todas as serras possuem picos e reentrâncias, pois tais aspectos são encontrados somente em elevações “jovens”. Exemplos como o da serra do Mar ou da Mantiqueira que apresentam topo pouco acidentado, por serem antigas superfícies de erosão, são exemplos de um relevo senil e

desgastado das terras do Brasil. Para finalizar os autores denominam a expressão serra isolada como elevações de rochas resistentes.

Os morros (Figura 14), constituem uma feição de relevo pouco elevada com altitudes, aproximadamente, em torno de 100 a 200 metros. Possuem formas bastante variadas, podendo apresentar topos planos ou convexos (ROSSATO *et al.*, 2003).

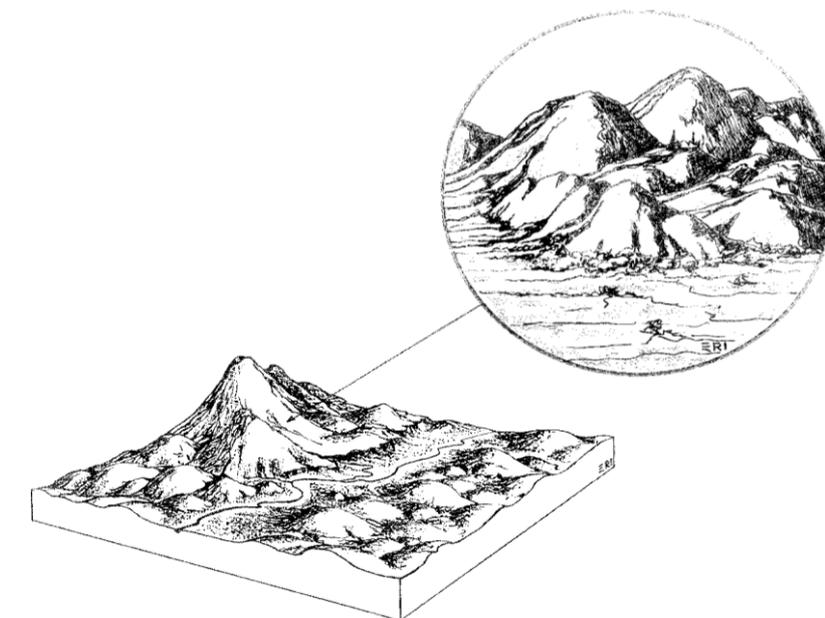


Figura 14: Representação de uma morfologia denominada de morro. Fonte: Adaptado de ROSSATO *et al.* (2003).

Pequenos morros cuja altitude varia entre 50 e 100 metros são denominados de outeiros. Esse termo é muito utilizado pelos topógrafos e os geomorfólogos o utilizam ao narrarem aspectos físicos de uma paisagem (GUERRA e GUERRA, 2001).

As colinas são consideradas pequenas elevações da superfície com declives suaves e, em geral, com altitudes inferiores a 50 metros (Figura 15). Rossato *et al.* (2003), ressalta que essas feições são encontradas em depressões e topos de planaltos e são bastante suavizadas em função dos processos erosivos. Guerra e Guerra (2001), acrescenta que as colinas são comumente parecidas com as montanhas, diferindo apenas no fato de estarem isoladas uma das outras e deter baixa altitude.

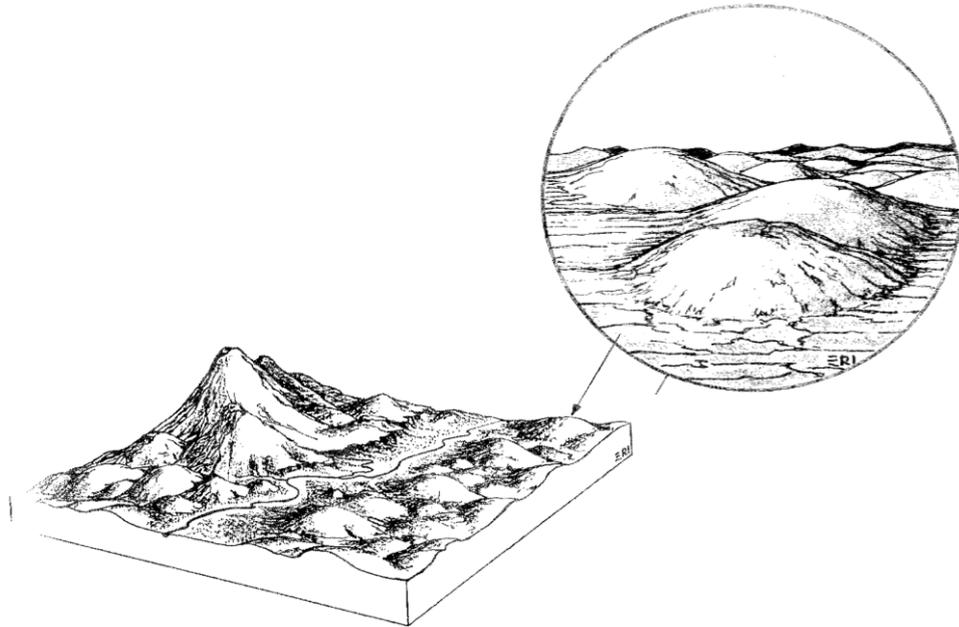


Figura 15: Representação de uma morfologia denominada de colina. Fonte: Adaptado de ROSSATO *et al.* (2003).

As planícies, segundo Guerra e Guerra (2001) são grandes extensões do terreno mais ou menos planas, sem grandes desnivelamentos relativos, onde os processos de deposição predominam em relação aos processos de desgaste ou dissecação da paisagem (Figura 16).

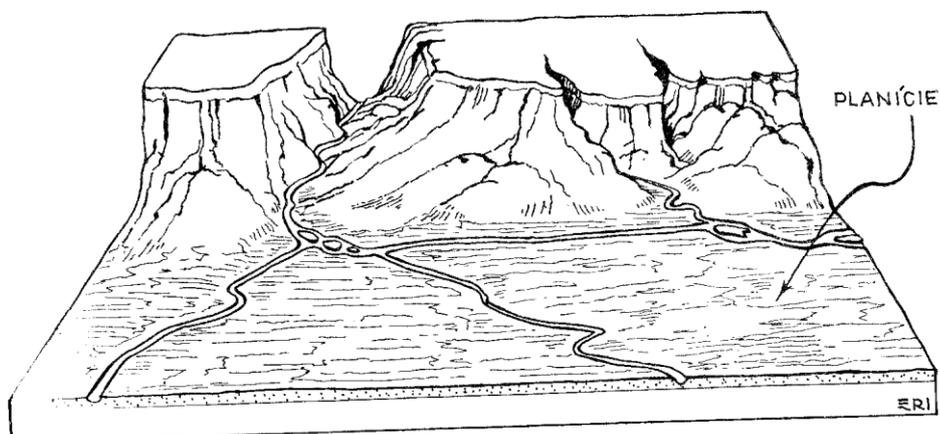


Figura 16: Representação de uma morfologia denominada de planície. Fonte: Adaptado de ROSSATO *et al.* (2003).

Essas feições são superfícies modeladas em rochas sedimentares. São comumente encontradas nas partes mais rebaixadas das bacias hidrográficas e nas regiões litorâneas. O tipo de sedimento, ou a origem deste sedimento, é o responsável pela diferenciação na classificação das planícies, como por exemplo, planície fluvial, lacustre, litorânea, entre outros.

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A ciência é caracterizada por ser uma forma de conceber o mundo, sendo o conhecimento advindo do raciocínio lógico em conjunto com a experimentação prática. Trata-se de um conjunto de modelos com base na observação, identificação, descrição, investigação experimental e explicação teórica de fenômenos recorrentes os quais são baseados em métodos que envolvem técnicas exatas, objetivas e sistemáticas (BODGAN *et al.*, 1994)

Levando em consideração os preceitos da ciência o objetivo da pesquisa deve ser o de produzir um conhecimento que possa servir de base para futuros desenvolvimentos metodológicos. Desta forma, esta pesquisa experimentará facilitar o reconhecimento da superfície topográfica e possibilitar previsões mais confiáveis acerca de fenômenos geomorfológicos.

O desenvolvimento da pesquisa foi baseado tanto em aspectos quantitativos, tais como a produção das variáveis morfológicas, quanto qualitativos, análise destas mesmas variáveis. A utilização de ambos aspectos permite a obtenção de maiores informações, ao contrário do que se fossem utilizadas isoladamente. A descrição dos procedimentos metodológicos e operacionais está dividida em duas partes: a primeira refere-se aos materiais utilizados na elaboração da tese e a segunda apresenta a metodologia empregada na confecção dos mapas geomorfológicos.

A elaboração do trabalho passa por diversas fases conforme os objetivos propostos. A metodologia para confecção dos mapas geomorfológicos, realizada neste trabalho, passou pela fase da pesquisa teórica, levantamento bibliográfico metodológico e da área de estudo, organização e análise de dados cartográficos (importantes para a representação das feições geomorfológicas) e apresentação de diferentes formas de representação do relevo.

Inicialmente, buscou-se os suportes para realização da fundamentação teórico-metodológica-conceitual acerca dos temas pertinentes à pesquisa e também ao contexto geral da área de estudo. Nesta etapa, foram realizadas pesquisas em bibliotecas e internet a fim de direcionar o foco principal da pesquisa. Utilizou-se para isso livros, artigos, periódicos, revistas, relatórios técnicos, dicionários, teses e dissertações acerca da temática pertinente. Dados referentes aos aspectos naturais (geologia, clima, aspectos hidrográficos, dentre outros) e, também, socioambientais no âmbito do planejamento territorial da bacia de estudo também foram levantados.

Em um segundo momento, houve a seleção das variáveis elevação, declividade e curvatura, que podem ser consideradas como os alicerces para a construção desta metodologia. Outro fator importante para execução da pesquisa foi a escolha da escala de trabalho, a qual, diante do MDE ASTER, permitiu derivar informações sobre o relevo da área de estudo selecionada, em 1: 25.000. Esta escala é considerada como sendo de semi-detalle, pois se trata de uma escala de transição entre mapas de detalhes e mapas de escala média. A escolha desta escala de trabalho foi devido ao fato da mesma possibilitar a visibilidade das feições geomorfológicas que se deseja representar.

Com o objetivo de uma proposta metodológica automatizada, foram pesquisadas e testadas ferramentas de geoprocessamento, que permitissem uma execução mais rápida e com maior precisão no reconhecimento das categorias de relevo reconhecidas através da materialização do mapa geomorfológico. A síntese de tal abordagem será dada pela representação cartográfica do mapa geomorfológico da área de estudo. A figura 17 demonstra de maneira resumida a ordem dos procedimentos realizados para a construção do estudo geomorfológico.

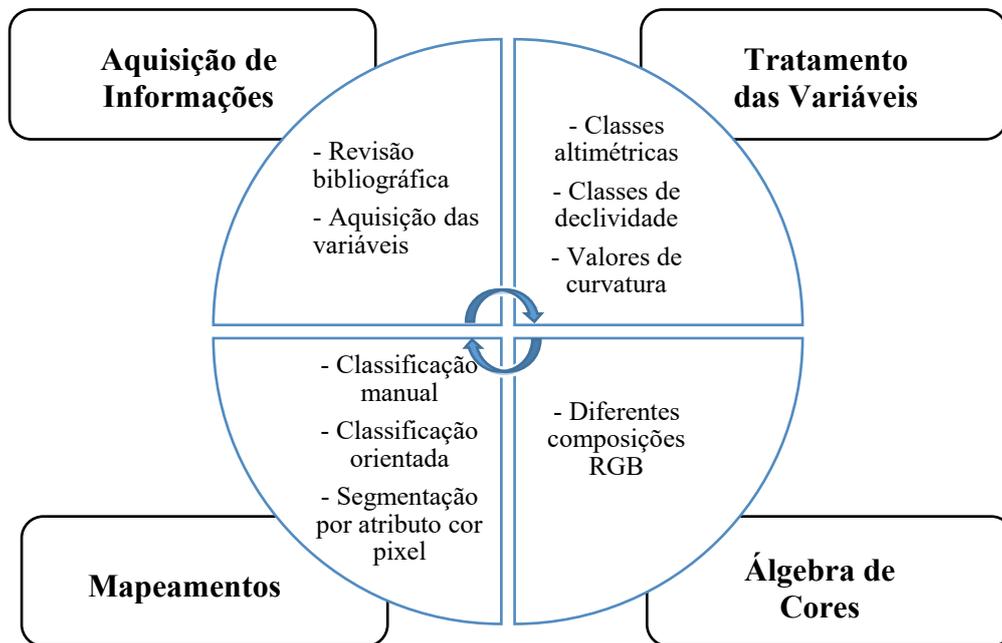


Figura 17: Procedimentos gerais para o desenvolvimento do estudo geomorfológico.

4.1. Materiais

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foram utilizados os materiais e equipamentos especificados a seguir.

Os *softwares* utilizados fazem parte de diversas filosofias de uso em geoprocessamento, pois são ligados aos SIG e ao Processamento de Imagem Digital. Todos os aplicativos citados foram utilizados no sistema operacional Windows 8. Um ponto que deve ser salientado é a possibilidade de interface entre os mais diversos tipos de arquivos e terminações e os *softwares* utilizados na pesquisa. Esse processo facilitou e otimizou o trabalho em relação a importação e exportação de arquivos de um aplicativo para outro. Por este motivo escolheu-se trabalhar somente com os aplicativos descritos neste item, pois possibilitaram uma grande complexidade de interfaces entre suas diversas extensões, principalmente na parte de construção e edição, assim como limitaram as incoerências e perdas de dados no processo de conversão.

- Família ArcInfo - ArcGis 9.3 (*SIG/Desktop Mapping*), licenciado e de propriedade do Laboratório.NEQUAT-IGEO-UFRJ (Núcleo de Estudos do Quaternário e Tecnógeno).
- Corel Draw X4, licenciado e de propriedade particular.
- Microsoft Office, licenciado e de propriedade particular.
- Global Mapper, licenciado e de propriedade particular.

Em relação aos dados utilizados, as fontes foram as seguintes:

- MDE ASTER-GDEM - O Modelo Digital de Elevação (MDE) ASTER-GDEM (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer – Global Digital Elevation Model*) da área de estudo foi obtido no site da USGS (<http://gdex.cr.usgs.gov/gdex/>), que já disponibiliza as imagens com a resolução espacial de 30 m e cobertura de praticamente 99% da superfície terrestre.

A primeira fase iniciou-se quando o Modelo Digital de Elevação (MDE) do ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) foi usado como dado de entrada para geração

das variáveis altimetria, declividade e curvatura. Os produtos ASTER GDEM (*Global Digital Elevation Model*), constituem informações altimétricas derivadas do instrumento estéreo ao longo da órbita do Satélite TERRA - EOS (*Earth Observing System*), fornecendo uma resolução horizontal de 30 metros e uma resolução vertical de 10 metros. O GDEM foi criado com o processamento e correlacionamento de 1,3 milhões de arquivos de cenas ASTER, de imagens ópticas, cobrindo a superfície terrestre entre as latitudes de 83°N e 83°S. Ao todo o mosaico possui 22.895 imagens de 1° por 1° (NASA, 2014). Efetuou-se o *download* das imagens ASTER GDEM, em formato GeoTIFF sem pontos de controle, 16 bits.

- Cartas Topográficas em meio digital do Mapeamento Sistemático Brasileiro, na escala 1:50.000 (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE), definida a priori como a escala para desenvolvimento do trabalho, uma vez que a proposta concerne no mapeamento geomorfológico de feições em caráter regional. Foram utilizados os dados das folhas topográficas de Nova Friburgo, Rio Bonito, Itaboraí, Teresópolis e Itaipava. Estes dados serviram como base para reconhecimento, seleção e delimitação da área da bacia hidrográfica selecionada para servir de base para aplicação da proposta desenvolvida: a bacia hidrográfica do rio Guapiaçu.

4.2. Metodologia

Serão descritos a seguir todos os procedimentos envolvidos na confecção dos mapas geomorfológicos. Cada uma das etapas será descrita detalhadamente, a fim de apresentar todos os procedimentos percorridos até a obtenção do resultado final, conforme no fluxograma apresentado pela figura 18.

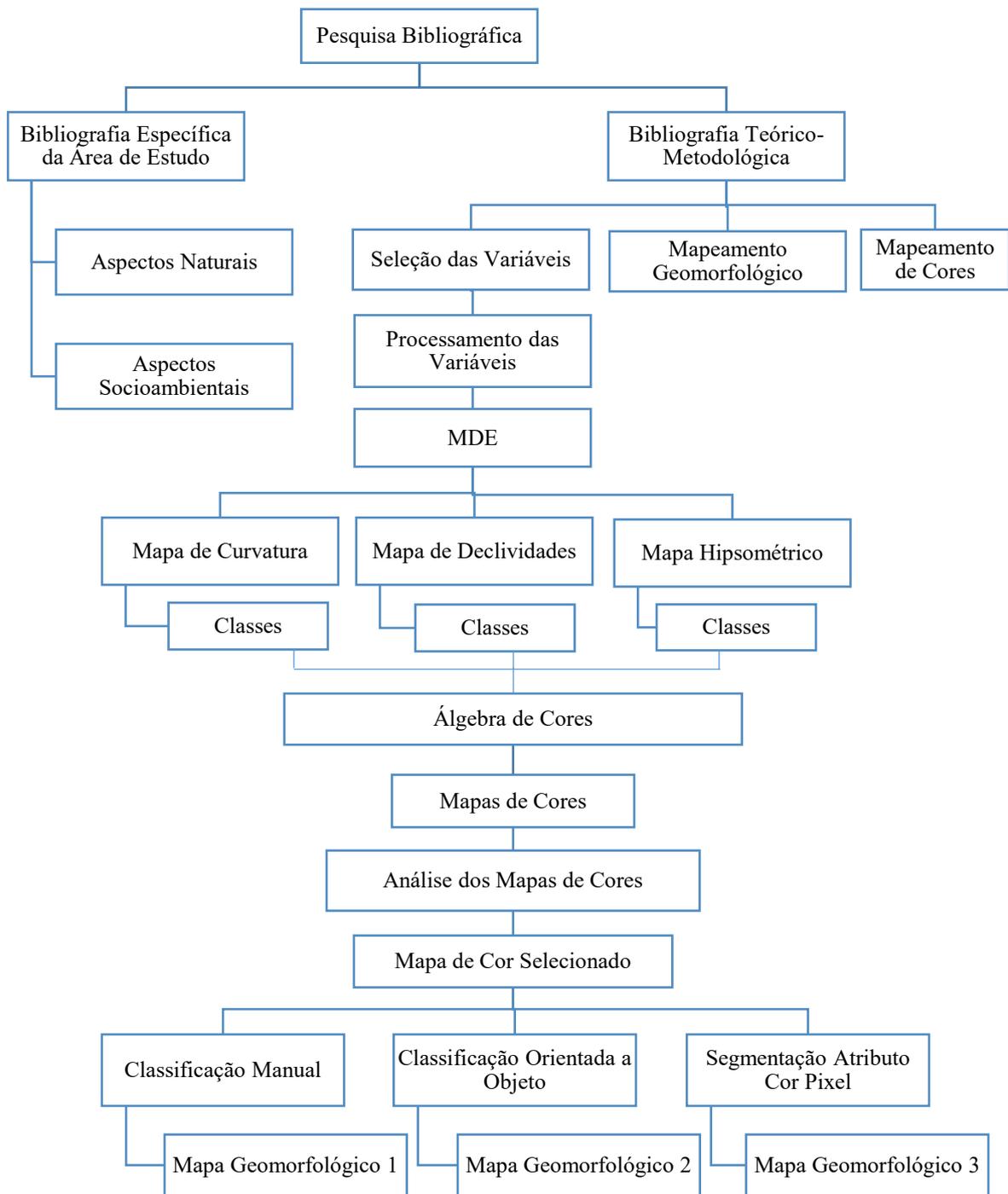


Figura 18: Procedimentos metodológicos para geração dos mapas das feições geomorfológicas.

4.2.1. Processamento das Variáveis

Com o avanço da informática nas últimas décadas houve também o avanço no armazenamento de banco de dados digitais espaciais e a facilidade de acesso e obtenção destes dados na rede mundial de computadores. Modelos Digitais de Elevação (MDE) do terreno, por exemplo, que antes eram dados complexos e de difícil acesso, atualmente estão disponíveis gratuitamente na internet em diversas resoluções e acurácias para todo o globo terrestre. Dados oriundos destes modelos permitem os mais diversos tipos de estudo do terreno e análise de variáveis geomorfológicas, fornecendo informações básicas para caracterizar os atributos topográficos do terreno.

Atualmente são disponibilizados vários produtos MDE com melhor resolução espacial e acurácia topográfica, dentre eles alguns são oferecidos gratuitamente na internet. O MDE ASTER-GDEM (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer – Global Digital Elevation Model*) é um desses produtos e foi utilizado para geração das variáveis utilizadas na pesquisa.

O ASTER-GDEM foi selecionado para gerar os parâmetros morfométricos digitais por já estar disponível gratuitamente com a resolução espacial de 30m o que permite o desenvolvimento do trabalho na escala de trabalho 1:25.000. Estes dados são adequados a pesquisa que pretende realizar para representação da variação das formas do relevo.

A partir do MDE do ASTER-GDEM obteve-se as derivações morfométricas. Essas operações permitem a obtenção de uma nova informação na mesma estrutura (registros numéricos em matrizes de células estruturadas em linhas e colunas georreferenciadas). A determinação de variáveis morfométricas se apoia na análise da vizinhança imediata do ponto a ser caracterizado.

Atualmente a caracterização morfométrica de bacias hidrográficas tem recebido grande contribuição dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) associados à geração e a disponibilidade de Modelos Digitais de Elevação (MDEs).

Os mapas de atributos morfométricos tais como elevação, declividade e curvatura mantiveram os mesmos valores de escala e coordenadas do MDE e foram utilizados como variáveis básicas para geração dos mapeamentos geomorfológicos.

a) Elevação

Os pixels do MDE ASTER-GDEM armazenam os valores de altitude. Ao obter o MDE e os respectivos valores de altitude, foi gerado um intervalo de classes de elevação. Esses intervalos definidos foram baseados na classificação da compartimentação do relevo proposta por Silva em 2002 (Quadro 3).

Quadro 3: Classes de amplitudes altimétricas encontradas a partir do cálculo de Δh e os significados morfológico no terreno (SILVA, 2002).

Classes de amplitude altimétrica x significado geomorfológico	
0 – 20 m	Planícies fluviais
20 – 100 m	Colinas
100 – 200 m	Morros
200 – 400 m	Serras
> 400 m	Serras escarpadas

A autora, na metodologia empregada utiliza a amplitude altimétrica para obter valores representativos das distintas formas das feições do relevo. Assim, a metodologia consegue relacionar, a componente altimetria com distintas feições morfológicas. Importante ressaltar que Silva (2002) trabalhou com amplitude altimétrica e não somente com altimetria.

Nesta pesquisa os valores utilizados são os valores diretos de altimetria que foram gerados a partir da derivação do modelo digital de elevação, com o objetivo de verificar em que faixas de elevação as feições morfológicas podem ser caracterizadas, é que foi gerada uma classificação inspirada na metodologia de Silva (2002).

Na classificação altimétrica cinco classes foram determinadas. A primeira abrangendo as áreas de 0 a 20 metros de altitude. A segunda com as áreas de 20 até 100 metros. A terceira de 100 até 200 metros. A quarta de 200 a 400 metros. Por fim, a quinta classe, que abrange as áreas com altitudes superiores a 400 metros.

Relacionando as classes de altitudes geradas com a classificação geomorfológica baseada na amplitude altimétrica desenvolvida por Silva (2002), pode se obter previamente uma orientação em relação a altitude do local e a feição geomorfológica que possa ali existir. A primeira classe (de 0 – 20m) orienta que há predomínio das feições suavemente planas. A classe entre 20 e 100m, as colinas. A classe entre 100 e 200m, obtém-se os morros. E a partir de 200m, as serras.

b) Declividade

A variável declividade foi utilizada por permitir a demonstração das inclinações de uma área em relação a um eixo horizontal servindo como fonte de informações das formas do relevo.

Os valores de declividade foram obtidos a partir da altimetria. Os resultados obtidos foram classificados e combinados para a produção de um mapa contendo intervalos que pudessem se relacionar com as formas do terreno. Com o objetivo de verificar a relação entre as faixas de declividade e as feições morfológicas foi utilizada a classificação de faixas de declividade desenvolvida pela Embrapa em 1999, conforme quadro 4.

Quadro 4: Classes de declividade segundo Embrapa (1999).

Classificação da declividade (%) do relevo segundo Embrapa	
0 - 3	Plano
3 - 8	Suave ondulado
8 - 20	Ondulado
20 - 45	Fortemente ondulado
45 - 75	Montanhoso
> 75	Fortemente montanhoso

Na classificação definida pela Embrapa, foram determinadas seis classes de declividade considerando o nível de inclinação do terreno. Esta classificação diferencia o relevo plano do suave ondulado. Segundo a especificação da empresa, ambos possuem muitas características semelhantes, tais como, baixa amplitude altimétrica, baixa densidade de drenagem com vales rasos e amplos, maior parte desprovida de água ou então contendo uma vazão muito baixa e águas lentas de baixa capacidade de transporte de sedimentos típicos de um relevo estável. Diante dessas semelhanças foi realizado o agrupando entre as classes planas (0 – 3%) e suave ondulado (3 – 8%). A partir desse agrupamento, a nova classificação das faixas de declividade passou a ter 5 classes, onde a primeira classe passou a ser de 0 – 8% sendo relacionada as feições suavemente planas.

O cálculo da declividade foi realizado automaticamente em ambiente SIG. Este cálculo pode resultar valores em graus, quando se calcula a partir da tangente de θ (Figura 19). Ou o cálculo da declividade (D) pode ser obtido em porcentagem conforme a equação abaixo:

$$D = \left(\frac{dV}{dH} \right) * 100$$

Essa equação corresponde a razão entre a distância vertical (dV) e a distância horizontal (dH), multiplicado por 100 para dar o valor percentual. A classificação em percentual varia de 0 a infinito e quanto maior a porcentagem maior será a declividade do terreno.

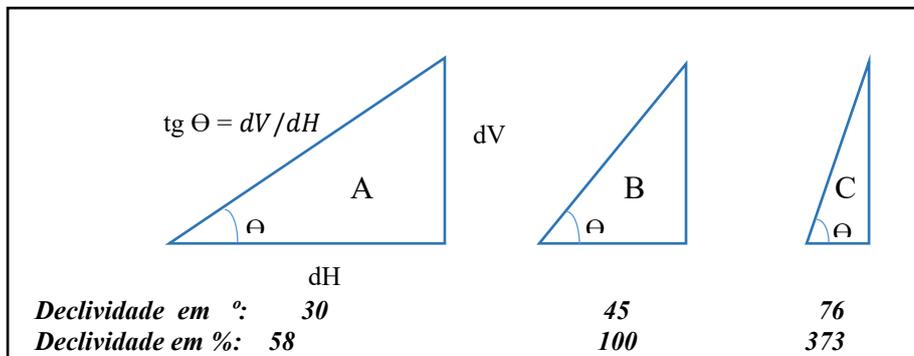


Figura 19: Apresentação dos valores de declividade em graus e porcentagem. Adaptado Manual ArcGIS 10 (Disponível em www.resource.arcgis.com/help).

c) Curvatura

Os valores numéricos de curvatura podem apresentar distribuições de frequência distintas entre as diferentes unidades do relevo. Os estudos de compartimentação topográfica apontaram a curvatura vertical das vertentes como uma das variáveis que possibilita a identificação de unidades homogêneas do relevo, e é por este motivo que este trabalho utilizará a curvatura vertical.

A metodologia se baseou em janelas móveis 3x3 pixels, variações da vizinhança que contorna o pixel. O valor da curvatura é dado por uma relação entre as derivadas de primeira e segunda ordem da variável altitude e calculado para cada elemento de acordo com os valores de seus vizinhos.

A curvatura vertical refere-se ao caráter côncavo/convexo do terreno, quando analisado em perfil. Esse método foi selecionado por representar a taxa de variação da declividade na direção da orientação da vertente e está relacionada aos processos de aceleração ou desaceleração do fluxo da água sobre o terreno, influenciando a erosão nas vertentes.

Sob o ponto de vista da curvatura em perfil, um terreno pode ser côncavo quando apresenta valor de curvatura positivo, convexo quando o valor é negativo ou retilíneo quando o valor de curvatura é nulo. É praticamente impossível encontrar na natureza uma vertente que possua um valor de curvatura literalmente nulo em relação ao perfil, assim

são consideradas vertentes retilíneas aquelas que apresentam valores muito próximos a zero, ou, mais especificamente, entre +0,6 e -0,6.

A figura 20 apresenta uma ilustração dos possíveis tipos de vertentes.



Figura 20: Tipos de vertentes em relação ao perfil. Fonte: Schimidt & Hewitt, 2004.

Os valores de curvatura gerados a partir dos cálculos automáticos oriundos do MDE apresentam valores negativos, positivos e nulos na representação numérica das formas verticais dos relevos.

4.2.2. Composição de Cores

Após a confecção dos mapas das variáveis elevação, declividade e curvatura utilizou-se a técnica de composição colorida para realçar as feições e os diferentes padrões do relevo.

A modelagem dos sistemas de cor é essencial para a visualização de imagens em dispositivos de saída gráfica, uma vez que é necessária uma informação coerente e precisa para a representação da cor dos objetos e cenas visualizados. Já na compartimentação geomorfológica, o processo de composições coloridas possibilita distinguir as unidades do relevo através de variações texturais e tonais.

As técnicas de processamento digital de imagens como composição colorida e manipulação de contrastes permitem realçar as feições e os distintos padrões do relevo, favorecendo uma posterior análise visual e uma melhor distinção das unidades.

Numa imagem RGB cada pixel é especificado por três valores. As variáveis morfométricas (elevação, declividade e curvatura) foram colocadas em diferentes canais nas distintas composições RGB. Ora o dado altimétrico irá preencher o canal do vermelho, ora o canal do azul e ora do verde. O mesmo procedimento será realizado para as variáveis declividade e curvatura (Figura 21).

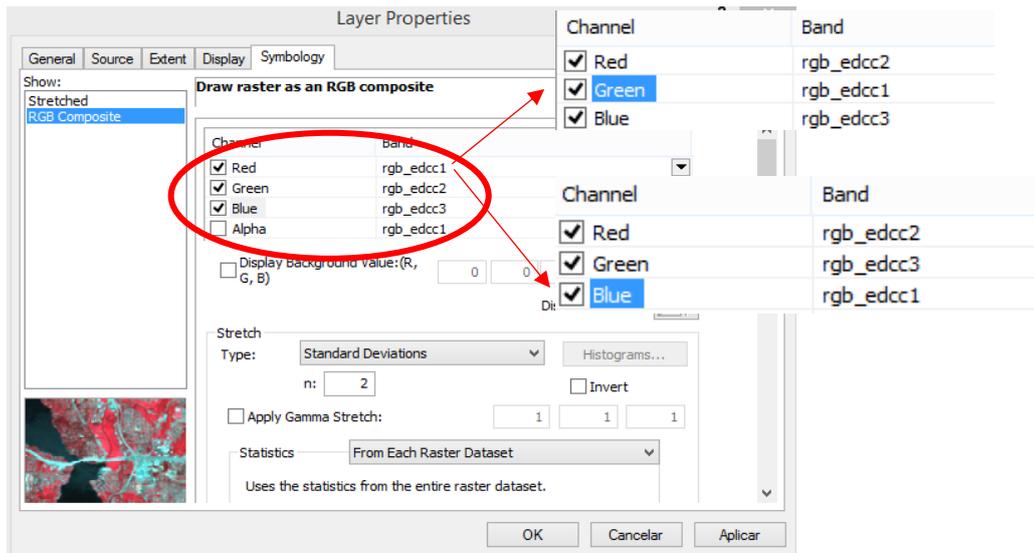


Figura 21: Alternância das variáveis em cada canal do modelo RGB.

A representação das variáveis em cada canal se tornou de extrema importância para verificar se as variáveis posicionadas em canais diferentes, a priori, apresentariam uma boa representação das feições morfológicas ou não. As combinações foram realizadas com a presença de dois e três canais, ora utilizando o R e o G do modelo RGB. Num segundo momento utilizou-se novamente duas variáveis utilizando o R e o B do modelo RGB. Num terceiro momento somente utilizou-se as variáveis no G e B do modelo RGB. E por fim, utilizou-se as três variáveis no R, G e B do modelo RGB.

A tabela 1 apresenta todas as possíveis combinações entre as três variáveis para serem trabalhadas no modelo RGB. A letra E representará o parâmetro Elevação. A letra D, declividade e a letra C, curvatura. Assim, ED significa que foram utilizadas as variáveis elevação e declividade, na ordem descrita, sendo que a ordem da composição estará representada na coluna descrita como composição. Dessa forma toda vez que a letra E for representado como primeira letra, significa que esta variável foi utilizada no canal vermelho (R). Caso apareça na posição da segunda letra, a variável foi utilizada no canal verde (G). E por fim, quando for descrita na terceira posição a variável está sendo representada no canal azul (B). Ao utilizar somente dois canais o símbolo Ø será descrito no canal omitido na representação.

Tabela 1: Combinações entre as três variáveis.

<i>Canais R e G</i>	<i>Descrição das Variáveis</i>
E-D-Ø	Elevação - Declividade
D-E-Ø	Declividade - Elevação
D-C-Ø	Declividade - Curvatura
E-C-Ø	Elevação - Curvatura
C-E-Ø	Curvatura - Elevação
C-D-Ø	Curvatura - Declividade
<i>Canais R e B</i>	
E-Ø-D	Elevação - Declividade
D-Ø-E	Declividade - Elevação
D-Ø-C	Declividade - Curvatura
E-Ø-C	Elevação - Curvatura
C-Ø-E	Curvatura - Elevação
C-Ø-D	Curvatura - Declividade
<i>Canais G e B</i>	
Ø-E-D	Elevação - Declividade
Ø-D-E	Declividade - Elevação
Ø-D-C	Declividade - Curvatura
Ø-E-C	Elevação - Curvatura
Ø-C-E	Curvatura - Elevação
Ø-C-D	Curvatura - Declividade
<i>Canais R, G e B</i>	
C-E-D	Curvatura – Elevação – Declividade
C-D-E	Curvatura – Declividade – Elevação
D-E-C	Declividade – Elevação – Curvatura
D-C-E	Declividade – Curvatura – Elevação
E-D-C	Elevação – Declividade – Curvatura
E-C-D	Elevação – Curvatura - Declividade

Com as distintas composições RGB das variáveis morfométricas pode se obter as características do relevo a partir do agrupamento dos valores apresentados.

A representação das composições em RGB das feições morfológicas estão baseadas na álgebra linear, uma vez que manipulação de imagens e alterações de cores são considerados operadores lineares. O modelo de cores RGB é um modelo de adição de cores e não diferentemente da teoria descritiva do modelo, neste trabalho, o vermelho, o verde e o azul são somados de várias maneiras para reproduzir uma ampla gama de cores, trabalhando com a mistura das frequências e fases deste sistema de cores a fim de que tais

valores produzam uma cor e uma tonalidades que possam destacar determinada feição geomorfológica. Por esse modelo trabalhar especificamente com a soma do valor da coloração de cada pixel e não o valor Z inicial da variável determinou-se esta fase da metodologia como álgebra de cores.

A seguir será apresentado algumas das possíveis combinações no espaço de cores RGB e demonstrado como as distintas combinações podem alterar a percepção e identificação de um objeto.



Figura 22: Imagem apresentada no sistema RGB com a composição 1-2-3.

Na apresentação da figura 22 as frutas, legumes e vegetais são de fácil identificação para pelo menos grande parte da população adulta brasileira. Elas estão sendo representadas no espaço cor RGB com a composição 1-2-3. Ao trocar a ordem dos canais, por exemplo, para 2-1-3 será obtida a imagem apresentada na figura 23.



Figura 23: Imagem apresentada no sistema RGB com a composição 2-1-3.

Se entregássemos a figura 23, com a composição 2-1-3, para um grupo de pessoas adultas brasileira e pedíssemos para identificar as ameixas, rabanetes, pêssegos, maçãs verde e pepinos, talvez esse grupo de pessoas demore um pouco mais para realizar a identificação desses elementos do que o grupo que poderia ter analisado a figura 22, com a composição 1-2-3.

Já na figura 24, a composição teve a seguinte ordem 3-2-1 e, desta vez, cada elemento teve sua coloração alterada novamente. Pedindo novamente a um novo grupo de pessoas adultas e brasileiras para identificar os alimentos, talvez não diriam que há tomates e rabanetes e ou falaria que as maçãs verdes são parecidas com as peras.



Figura 24: Imagem apresentada no sistema RGB com a composição 3-2-1.

Os exemplos acima tentam mostrar que dependendo do objeto ele poderá ser melhor identificado em determinadas composições e, em outras ocasiões, confundidos com outros objetos, tornando falsa a análise da situação. Esta metodologia tem sido aplicada e tende a cada vez mais ser utilizada em várias situações nas mais diversas áreas científicas. Nesta pesquisa, o que realmente se pretendeu foi através das três variáveis selecionadas encontrar qual composição fornece melhor identificação para as distintas feições do relevo.

4.2.3. Análise dos Mapas de Cores

Ao realizar a análise dos mapas de cores produzidos na fase anterior busca-se realizar a separação de um todo em seus elementos ou partes componentes. As variáveis visuais de análise utilizadas para a interpretação das feições geomorfológicas resultantes das composições realizadas foram as seguintes: cor, textura e forma.

A seleção das variáveis visuais de análise foi baseada na classificação proposta por Bertin em 1986. A afirmação de Bertin (1986) de que a comunicação é realizada a partir de marcas no papel e que as variações das características destas marcas (variáveis visuais) irão possibilitar a representação de um determinado elemento sintetiza o que esta análise almeja. Ou seja, a partir da representação final oriunda da álgebra de cores analisar as diferentes características que cada elemento possui para buscar um padrão e realizar a classificação almejada, que nesta pesquisa se refere a classificação geomorfológica. Importante ressaltar que a análise foi realizada de forma qualitativa e será explicada a seguir.

Para realizar a análise, o critério de avaliação dos mapas deve ser definido pelo especialista. Nesta pesquisa, para uma análise de mapeamento geomorfológico, os critérios utilizados foram qualitativos e definidos como bom, médio ou ruim. Esta análise, não influencia diretamente na metodologia desenvolvida, a partir da álgebra de cores, e sim na escolha de uma composição que ofereça uma visualização mais perceptível das formas que se deseja identificar.

A cor, de modo geral, é a percepção visual que a luz refletida ou absorvida pelos corpos produz nos olhos. Essa percepção visual, ao observar os objetos nos mapas, resultou da composição que foi realizada anteriormente no espaço RGB. É possível dizer que os objetos não têm cor definida e sim que nós, ao observá-los, obtemos uma informação do nosso cérebro sobre determinada cor. Desta forma, o que foi analisado

neste quesito foi se a coloração forneceu uma boa, média ou ruim percepção na identificação das feições.

A textura, geralmente é utilizada para agregar realismo a objetos 3D. No caso de mapeamentos 2D a textura produz uma sensação de profundidade. E é a partir dessa sensação que a textura permite a diferenciação entre os objetos, assim essa variável foi analisada de forma a ser considerada boa, média ou ruim na identificação de diferentes elementos.

A variável forma está intimamente relacionada a variável cor. O contraste das cores, acentua o contorno, ou seja, a forma dos objetos visualizados. Assim, a forma da feição foi analisada como sendo boa (percebe-se claramente a feição por possuir um contorno bem definido), média (em algumas feições pode ser identificado os contornos em outras não) e ruim (não é possível identificar o contorno de nenhuma das feições).

Além das três variáveis visuais analisadas outra variável, denominada área de transição, também foi estudada. Este item é de suma importância, uma vez que a maioria das feições não possuem uma quebra abrupta e muito bem definida entre uma classe e outra, fato este que é comumente representado na maioria dos mapeamentos geomorfológicos até hoje existentes. Assim, a identificação das áreas de transição foi analisada como boa (é possível ver as áreas de transição nesta composição), média (em alguns lugares pode ser percebida as áreas de transição) ou ruim (não se percebe área de transição em nenhuma parte da imagem).

4.2.4. Classificação Manual

O processo de classificação dos compartimentos do relevo foi realizado por meio de digitalização manual das feições identificadas nas composições coloridas, utilizando técnica de interpretação visual e dos conhecimentos sobre a área de estudo. Porém, mapear extensas áreas com esse método é bastante demorado e incorpora a subjetividade dos analistas envolvidos no processo de mapeamento.

De acordo com a composição colorida que cada feição do relevo obteve, foram identificadas as unidades geomorfológicas por meio da diferenciação das variáveis visuais que cada unidade apresentou. A cor foi a variável que melhor permitiu distinção entre os diferentes objetos (ou combinação destes) a partir do formato de cada feição.

Os procedimentos para a delimitação das feições do relevo foram executados em um ambiente SIG. Foi gerado um arquivo do aplicativo e por modo manual, utilizando a

ferramenta de edição, foram contornadas as feições. Cada feição foi classificada de acordo com sua coloração e textura, sendo determinada como uma das classes a seguir: planície, colina, morro e serra.

4.2.5. Classificação Não Supervisionada

A classificação é o processo de extração de informação em imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos com o objetivo de mapear as áreas da superfície terrestre. Cada cor ou conjunto de cores foi associado a uma classe (planície, colina, morro, serra e área de transição) definida anteriormente pelo usuário. Essa técnica foi selecionada por se mostrar eficiente para problemas de classificação de padrões, ou seja, este método tende a produzir classes com indivíduos que podem estar muito distantes entre si, mas, pertencendo a uma mesma classe. Na classificação não supervisionada há pouca intervenção do usuário, pois o mesmo definiu apenas o número de classes desejadas, agrupando os pixels com características semelhantes e organizando-os em grupos, conforme alguns critérios estatisticamente determinados.

O método estatístico utilizado nesta classificação foi o vizinho mais próximo. Este método apenas usa o valor do ponto mais próximo do nó, neste caso a cor do pixel, da grade para estimar o valor interpolado (Figura 25). Os valores observados não foram modificados, havendo apenas uma redistribuição dos mesmos em uma grade regular.

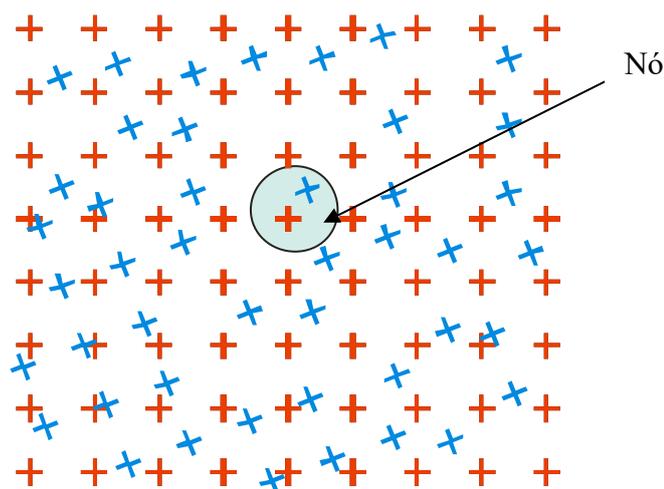


Figura 25: Ilustração da utilização do valor do ponto mais próximo do nó.

Esta classificação também foi realizada em ambiente SIG e o agrupamento das classes foi feito automaticamente, com auxílio do usuário, definindo as classes. Estas

classes de treinamento serviram de padrão para a comparação com os demais pixels da imagem e o posterior agrupamento.

Importante ressaltar, que na classificação não supervisionada, é necessário ter um conhecimento prévio da área de estudo, sendo que a qualidade da informação determinará o resultado da classificação.

4.2.6. Segmentação Atributo Cor Pixel

A segmentação nesta fase da pesquisa buscou particionar a imagem digital em regiões disjuntas, tais que um pixel pertença apenas a uma das regiões.

Para realizar esta segmentação, que foi feita de forma automática, utilizou-se um programa de tratamento de imagens digitais. Como a imagem selecionada através das distintas composições foi gerada em ambiente SIG, o primeiro passo foi converter a mesma imagem para extensão do programa para que a partir de então fosse possível realizar a segmentação.

O próximo passo foi então converter o bitmap em gráficos vetoriais editáveis. Para tal utilizou-se o método conhecido como preenchimento ou rastreamento de contornos. Este método permite a vetorização, ou seja, conversão da imagem em uma estrutura de dados matricial para uma estrutura vetorial – de edição mais simples, dos limites das regiões que possuem cores similares.

O método utilizado foi a segmentação baseada em similaridade, buscando agrupar as regiões que possuem características semelhantes. A característica utilizada para tal agrupamento foi a profundidade de cores de cada pixel. A profundidade da cor se refere ao número de cores que uma imagem pode conter. Com esse número maior de cores, fica mais fácil reproduzir as cores com precisão, revelar detalhes nas sombras e ajustar os níveis de brilho, conforme exemplificado nas figuras 26 e 27.



Figura 26: Imagem apresentada no formato matricial.



Figura 27: Imagem apresentada no formato vetorial.

No exemplo da figura 28 a imagem está representada com 253 cores. A partir destas cores muitas foram agrupadas em classes, como apresentado na figura 29. Como exemplo, pode-se agrupar todas as cores que estão representando os objetos verdes em uma única classe ou cor.

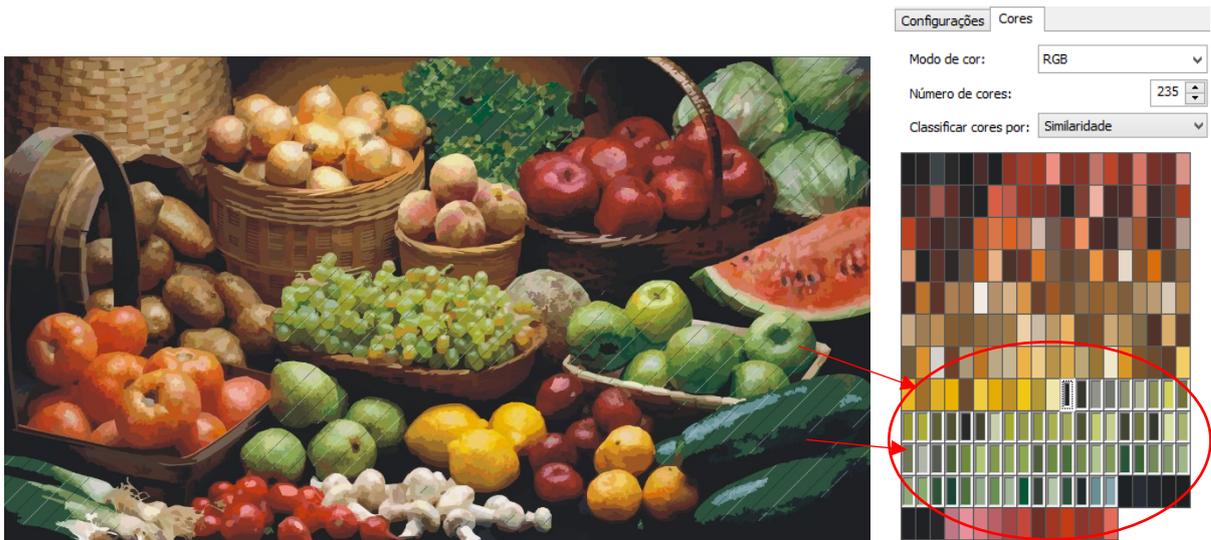


Figura 28: Apresentação das 253 cores utilizadas na vetorização dos elementos. Destaque para as 81 cores em tons de verde.

Na imagem apresentada pela figura 28, 81 classes foram agrupadas. Agora a imagem (figura 29) é representada por 172 cores, o que corresponde a uma redução do domínio das cores necessárias à representar a mesma imagem. Esse agrupamento foi essencial para metodologia para identificação das feições do relevo, pois permitiu alcançar o número de 4 classes, ou seja, 4 cores distintas, representando, no mapeamento geomorfológico, as serras, morros, colinas e planícies.



Figura 29: Agrupamento de 81 cores em tons de verde.

5. ÁLGEBRA DE CORES APLICADA A UMA ÁREA DE FORTES CONTRASTES MORFOLÓGICOS – A BACIA DO RIO GUAPIAÇÚ

Conforme abordado na revisão conceitual apresentada no segundo capítulo, o mapeamento geomorfológico corresponde às representações cartográficas de espacialização das formas do relevo, buscando elementos que auxiliem na melhor compreensão da dinâmica e evolução do relevo.

A metodologia, apresentada no capítulo anterior, foi desenvolvida com intuito de firmar um passo a passo para se obter uma melhor representação das feições morfológicas, utilizando para isto ferramentas de atuais tendências em diversos tipos de mapeamentos.

Desta forma, o estudo de caso analisado retrata a utilização das técnicas propostas na metodologia desta pesquisa, trazendo como exemplo de área uma bacia que detém um cenário geomorfológico típico do Planalto Atlântico do Sudeste Brasileiro, contendo as quatro feições propostas a serem mapeadas neste trabalho, sendo elas as planícies, as colinas, os morros e as serra. Assim, esta pesquisa tende a permitir um conhecimento mais amplo e detalhado da metodologia proposta e verificar a acurácia da nova técnica de abordagem para o mapeamento geomorfológico.

5.1. Bacia do Rio Guapiaçú – Área Teste

A bacia hidrográfica do rio Guapiaçú possui um total de 563 km² e se localiza em parte dos municípios de Guapimirim e Cachoeira de Macacu, no estado do Rio de Janeiro. Dessa área total, 445 km², cerca de aproximadamente 80%, pertencem ao município de Cachoeira de Macacu e os outros 118 km² pertence ao município de Guapimirim. A morfologia destes municípios apresenta características morfológicas suaves das baixadas litorâneas e, na parte mais ao norte, as elevações correspondentes à Serra do Mar.

Segundo o IBGE (2010), o município de Guapimirim possui uma área total de 360,813 km² e uma população de 51.487 habitantes. Situa-se em um vale no fundo da Baía de Guanabara, na base da Serra dos Órgãos, e tem 70% de seu território em área de proteção ambiental dividida em cinco Áreas de Proteção Ambiental (APA), dentre elas a conhecida como a Guapimirim. Já o município de Cachoeira de Macacu está dividido em três distritos, sendo eles Cachoeira de Macacu (sede), Japuíba e Subaio, abrangendo uma

área total de 956,8 km² e uma população de 54.370 habitantes (IBGE, 2010). Segundo estudo sobre a avaliação do índice de qualidade de uso e cobertura do solo no estado, realizado pela Fundação CIDE em 2002, demonstrou que entre os 91 municípios analisados, Cachoeira de Macacu foi o 5º (51,3%) e Guapimirim o 20º (27,6%) em % de áreas cobertas por Mata Atlântica.

A bacia hidrográfica do rio Guapiaçu foi selecionada como área de estudo para esta pesquisa por apresentar planícies, morros e áreas bastante acidentadas, configurando-se com um cenário representativo para a aplicação de uma modelagem geomorfológica voltada para representação do relevo típico do estado do Rio de Janeiro.

O clima desta área é do tipo quente e úmido a superúmido, com 2.000 a 2.500 mm de pluviosidade média anual e estação chuvosa nos meses de dezembro e janeiro. A região tem como principais domínios geológicos as rochas gnáissicas e graníticas pré-cambrianas e a formação Macacu (constituída em uma sucessão de camadas pouco espessas de sedimentos finos, predominantemente arenosos, pouco consolidados que representam colorações amarelas, a vermelhadas e arroxeadas).

Sobre estas condições climáticas e litologias foi esculpido um relevo, fortemente ondulado, escarpados e com morfologias de transição até as suaves planícies quaternárias. As altitudes variam de 60m, a sul, atingindo 2.350m, na Serra do Subaio, ao norte.

A proximidade do sopé da Serra dos Órgãos bem como o relevo formado por vales, morros e escarpas da própria Serra, permitem o aparecimento de vegetação bastante diferenciada, a florestal do tipo Ombrófila Densa, marcada pela temperatura elevada e disponibilidade hídrica. Essas formações vegetais estão distribuídas em mais de 50% da área da bacia. Atualmente, a bacia sofre com a forte tendência de urbanização do meio rural do Rio de Janeiro, enfatizando o risco de ocupação antrópica sobre os remanescentes florestais e a retificação dos rios.

Após, a revisão bibliográfica, obteve-se as bases cartográficas do estado do Rio de Janeiro referentes a bacia do rio Guapiaçu. Estas bases, oriundas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, se encontram na projeção Universal Transversa de Mercator, sistema geodésico de referência Córrego Alegre e escala 1:50.000. A escala 1:50000 foi definida como a escala para desenvolvimento do trabalho, uma vez que a proposta concerne no mapeamento geomorfológico em caráter de abrangência regional. Foram utilizados os dados das folhas topográficas de Nova Friburgo, Rio Bonito, Itaboraí, Teresópolis e Itaipava, oriundas do mapeamento sistemático do Rio de Janeiro na escala 1:50.000 (Figura 30).

Estes dados serviram como base para reconhecimento, seleção e delimitação da área da bacia hidrográfica selecionada para servir de base para aplicação da proposta desenvolvida: a bacia hidrográfica do rio Guapiaçu.

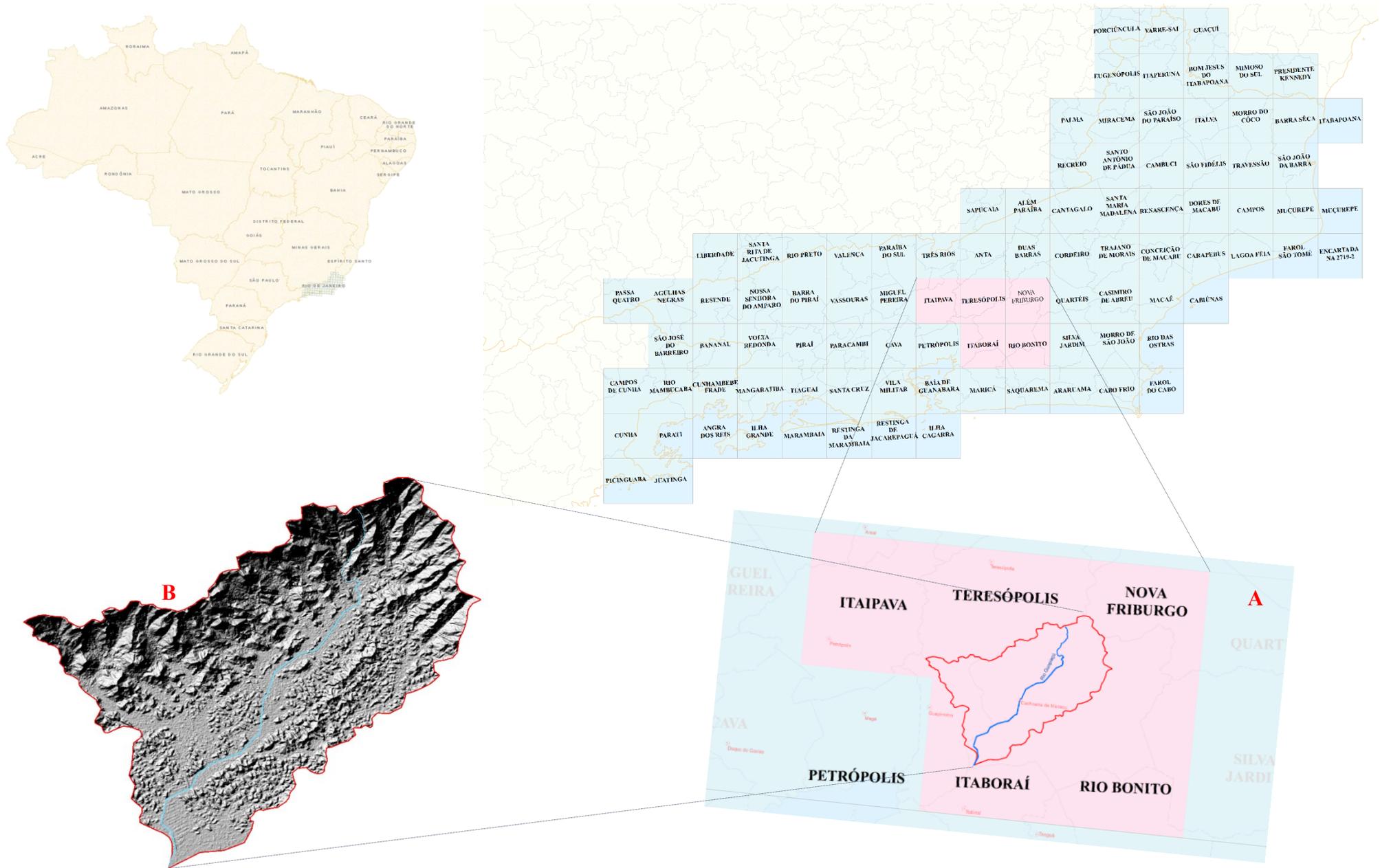


Figura 30: Trecho do estado do Rio de Janeiro correspondente a área pré-selecionada para estudo: **A** - Articulação das cartas topográficas em escala 1:50.000 (IBGE); **B** - Modelo Digital de Elevação ASTER-GDEM mostrando o contraste morfológico da área a ser analisada, a bacia do rio Guapiacú.

5.2. A Representação das Variáveis Morfológicas da Bacia

O estudo morfométrico de uma bacia de drenagem é a análise da forma em relação ao tamanho por meio de métodos numéricos, sendo utilizada na interpretação e comparação dos padrões de variação de caracteres quantitativos entre si. Esse tipo de estudo mostra-se relevante na identificação taxonômica, com o objetivo de identificar as distintas formas morfológicas do relevo.

As variáveis morfométricas, altimetria, declividade e curvatura foram extraídas automaticamente a partir do MDE ASTER-GDEM da bacia do rio Guapiaçú (Figura 31), com resolução de 30 metros, escala de 1:25.000 e sistema de coordenadas geográficas e WGS-84 como sistema geodésico de referência. Estas variáveis são comumente utilizadas como atributos auxiliares na predição espacial dos padrões da paisagem e contribuem para o aperfeiçoamento do mapeamento de classes e de propriedades do relevo (SHARY *et al.*, 2002).

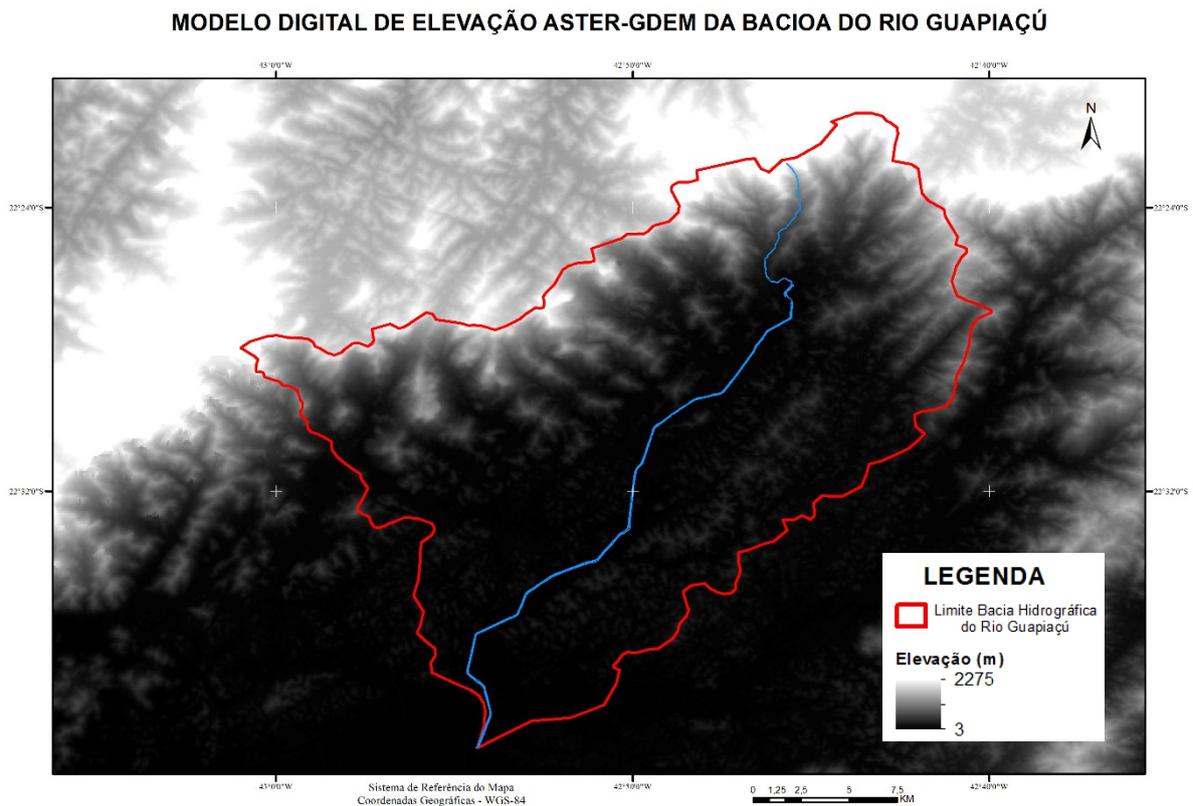


Figura 31: MDE ASTER-GDEM da bacia do rio Guapiaçú

a) Elevação

A elevação, representada em metros, obteve como cota mais baixa o valor 3 e a mais alta o valor 2.275. Por estes valores pode ser percebido que a bacia possui uma amplitude altimétrica bastante significativa. Com uma média dos valores de elevação de, aproximadamente, 435 metros, a distribuição das classes de elevação não pode ser considerada homogênea, conforme pode ser verificado no histograma (Figura 32).

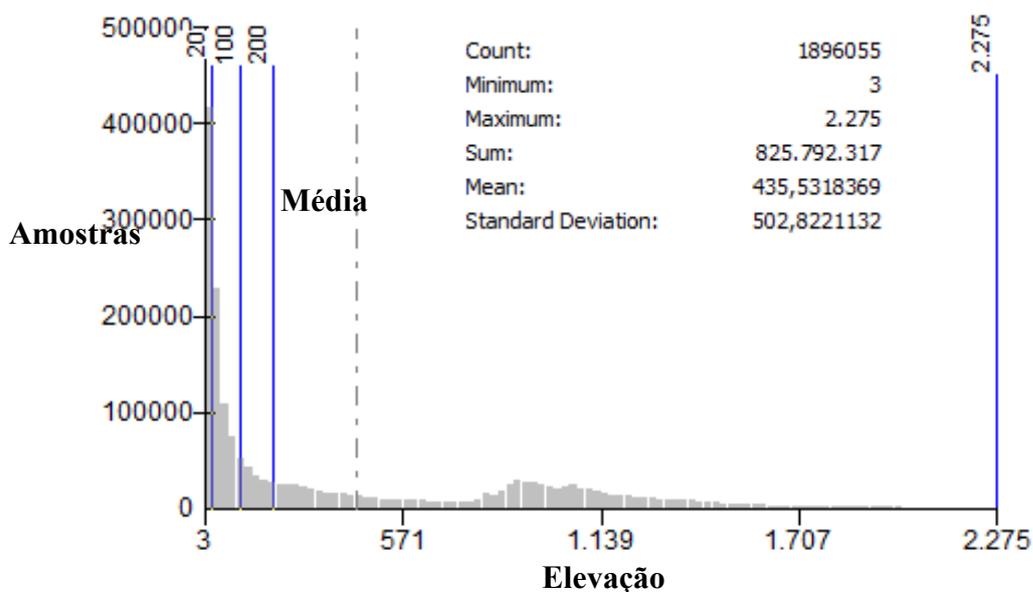


Figura 32: Histograma relativo aos dados discretos da variável elevação.

No processamento de imagens, na análise de um histograma, o lado esquerdo é a região que concentra os tons escuros da imagem, o meio mostra os tons médios e no lado direito ficam os tons mais claros, similar a uma escala que vai do preto ao branco, partindo da esquerda até a direita.

Ao analisar a imagem, o histograma e suas divisões nota-se que um pouco mais de 50% dos pixels se concentram no lado esquerdo do gráfico. Este fator remete que a imagem possui áreas com tons mais escuros, conhecidas como *low key* no processamento de imagens. Passando agora para visualização da imagem, percebe-se que as áreas mais baixas, realmente, possuem a maior proporção no mapa e estão representadas na tonalidade mais escura.

O mapa hipsométrico da bacia do Rio Guapiaçú foi representado a partir de quatro classes de elevação, conforme pode ser observado na figura 33.

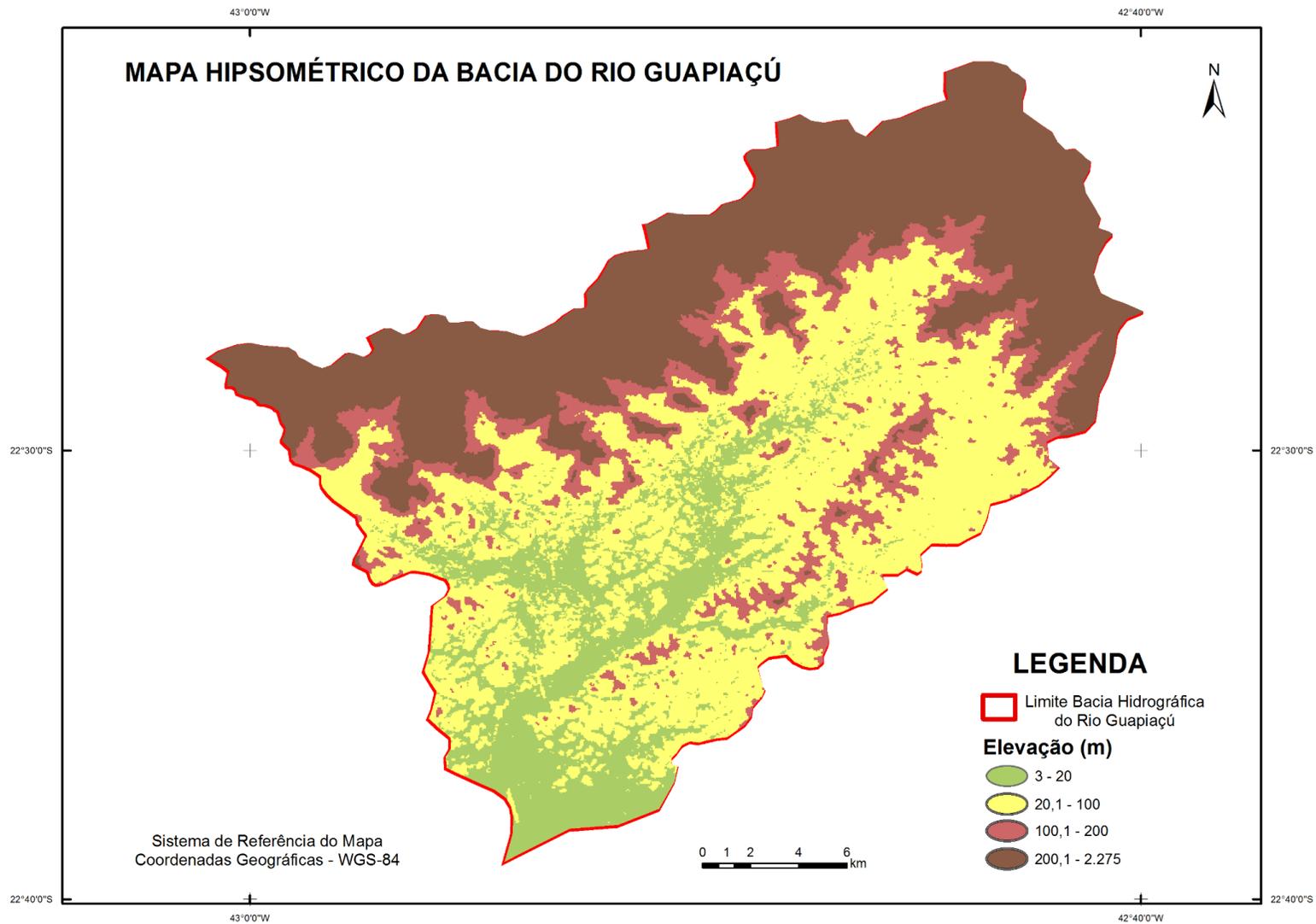


Figura 33: Mapa hipsométrico da bacia do rio Guapiaçú.

a) Declividade

A declividade da bacia do rio Guapiaçú (Figura 34), representada em porcentagem, obteve como valor mínimo 0 e como máximo, aproximadamente 476. Este fato, valores tão discrepantes de declives, apontam para a presença de feições planas, presença de 0% de declividade, e outras com características de áreas mais acidentadas, feições com declives maiores que 45%. Ao analisar o mapa apresentado na figura 35, o histograma (Figura 34) e suas divisões nota-se que um pouco mais que 50 % das amostras possuem valores abaixo de 45% de declividades.

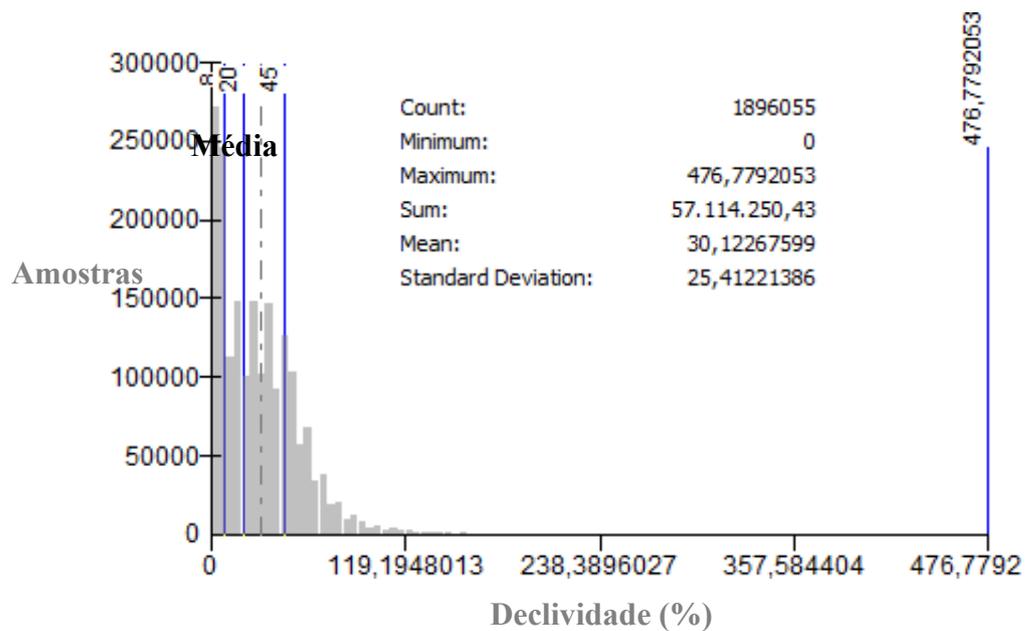


Figura 34: Histograma relativo aos dados discretos da variável declividade.

Segundo classificação da Embrapa as vertentes que ultrapassam 8% de declividade estão relacionadas as áreas de feições onduladas, os morros. Praticamente 80% dos dados oriundos do mapa de declividade gerado, se posicionam em valores maiores do que este, chegando a 476% de declividade, aproximadamente, calculado a partir do arco tangente da inclinação 88,7°. Esta declividade acentuada da bacia reflete claramente as condições de morfologias escarpadas dentro da bacia, ou seja a presença das serras. Ao obter valor mínimo de 0% de declividade este fato está diretamente relacionado as áreas planas da bacia.

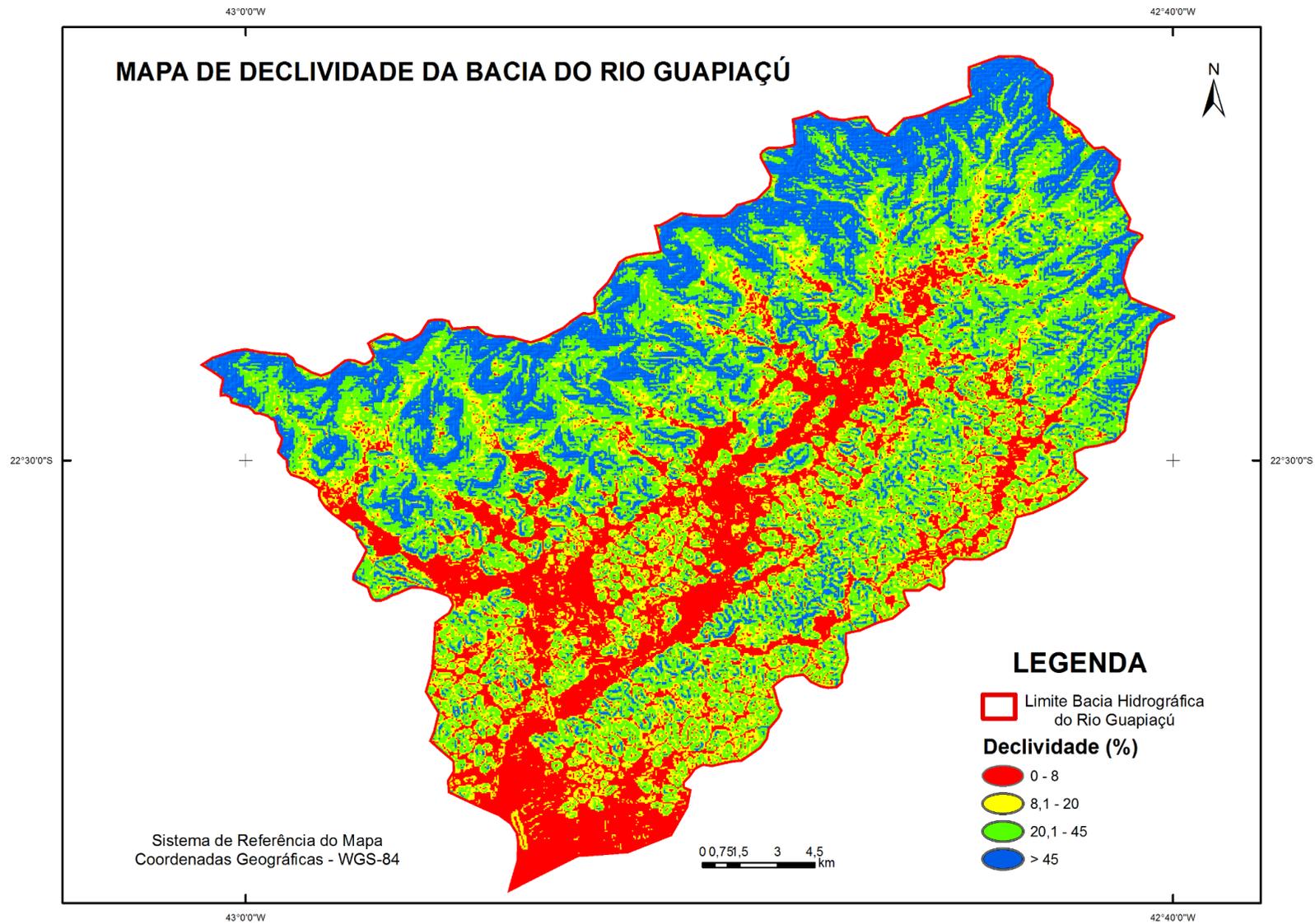


Figura 35: Mapa da declividade da bacia do rio Guapiaçú.

c) Curvatura

Para mapa de curvatura apresentado na figura 37 utilizou-se a metodologia de geração dos valores de curvatura em relação ao perfil. O método utilizado é baseado na ideia de que uma vertente pode apresentar-se, por exemplo, classificada, localmente, como côncava ou convexa para determinado espaçamento da malha interpolada. A partir desta metodologia, obteve-se valores negativos para as feições côncavas, positivos para as convexas e nulos para as feições retilíneas.

Na análise do mapa apresentado na figura 37 e do histograma (Figura 36) pode ser percebida grande concentração de vertentes côncavas e convexas. Além da baixa ocorrência das vertentes retilíneas. A presença de vertentes côncavas indica muita concentração de fluxo, podendo contribuir para que processos erosivos aconteçam. Já a presença de vertentes convexas acaba sendo dispersora de águas e são indicativas de vales muito entalhados, geralmente acima de 80 metros, podendo ultrapassar os 160m, e vertentes com inclinações entre 40- 60%, mas com setores que chegam a 70-80% (ROSS, 1991).

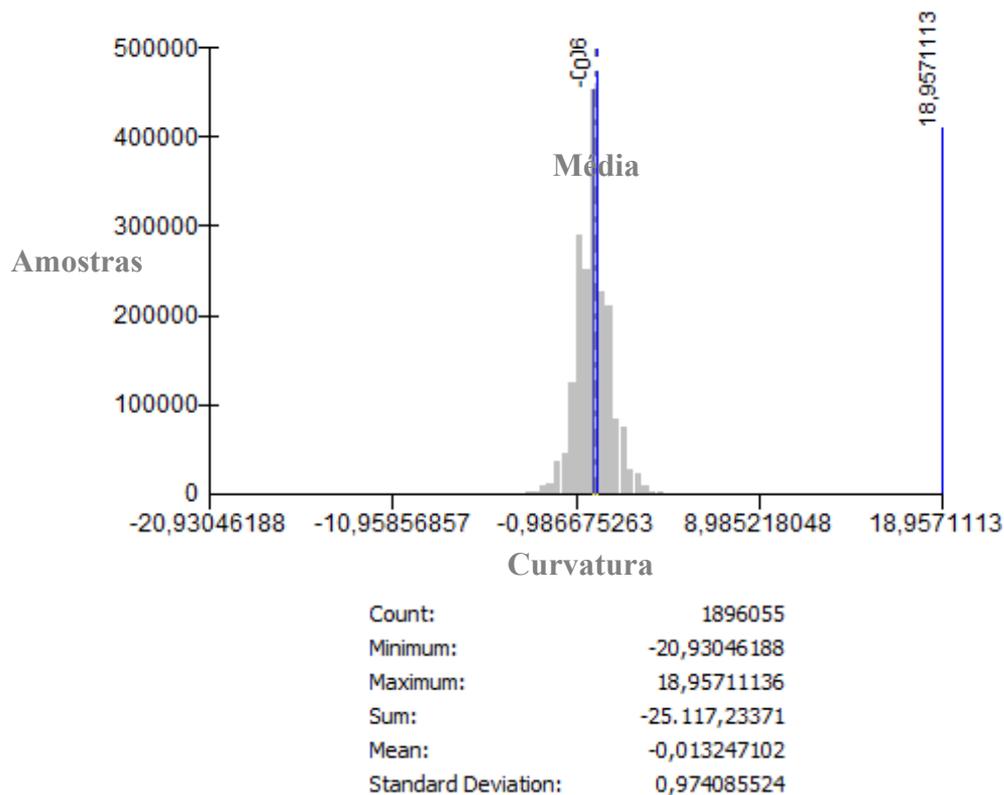


Figura 36: Histograma relativo aos dados discretos da variável curvatura.

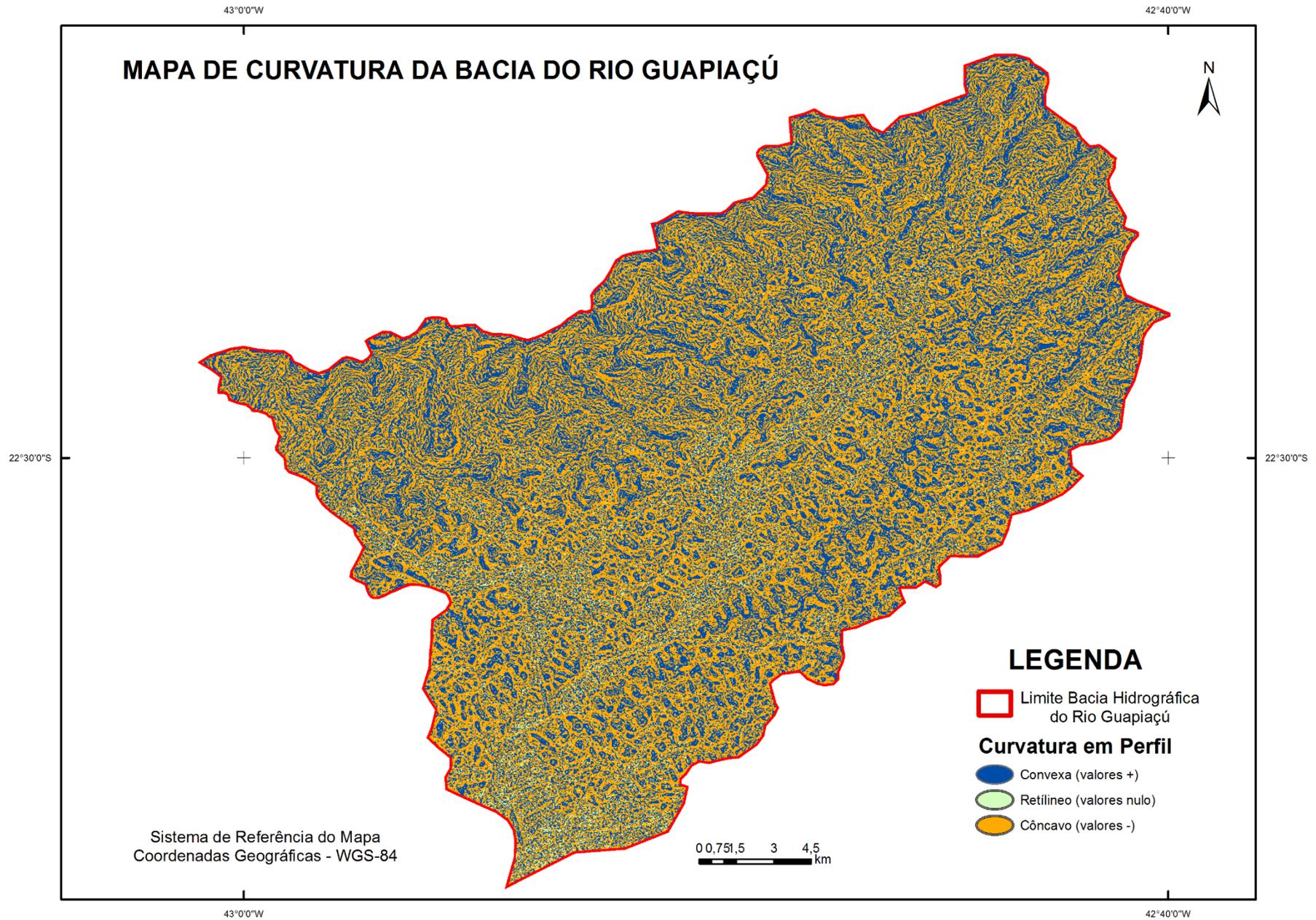


Figura 37: Mapa de curvatura da bacia do rio Guapiaçú.

5.3. Aplicação da Composição Colorida

A cor possui uma importância significativa por ser um elemento informativo e caracterizador, além de retratar a relevância dos aspectos psicodinâmicos e simbólicos das cores no nosso cotidiano, assim como a influência que a cor exerce quando empregada em alguns mapeamentos.

Após a confecção dos mapas das variáveis elevação, declividade e curvatura utilizou-se a técnica de composição colorida para realçar as feições e os diferentes padrões do relevo. Cada variável foi representada em distintos momentos nos canais vermelho, verde e azul. As figuras 38, 39 e 40 mostram as três variáveis sendo representadas nas três cores no espaço RGB. A partir de uma análise visual das classes dos mapas representados nos diferentes canais (R, G e B) já foi possível ter noção de qual ou quais canais poderia ressaltar melhor determinada variável. Porém o foco da pesquisa não está na análise separada de cada variável e sim produzir uma investigação a respeito da combinação das variáveis.

As combinações foram realizadas com a presença de duas e três bandas, hora utilizando o R e o G do modelo RGB. Num segundo momento utilizou-se novamente duas variáveis utilizando o R e o B do modelo RGB. Num terceiro momento somente utilizou-se as variáveis no G e B do modelo RGB. E por fim, utilizou-se as três variáveis no R, G e B do modelo RGB.

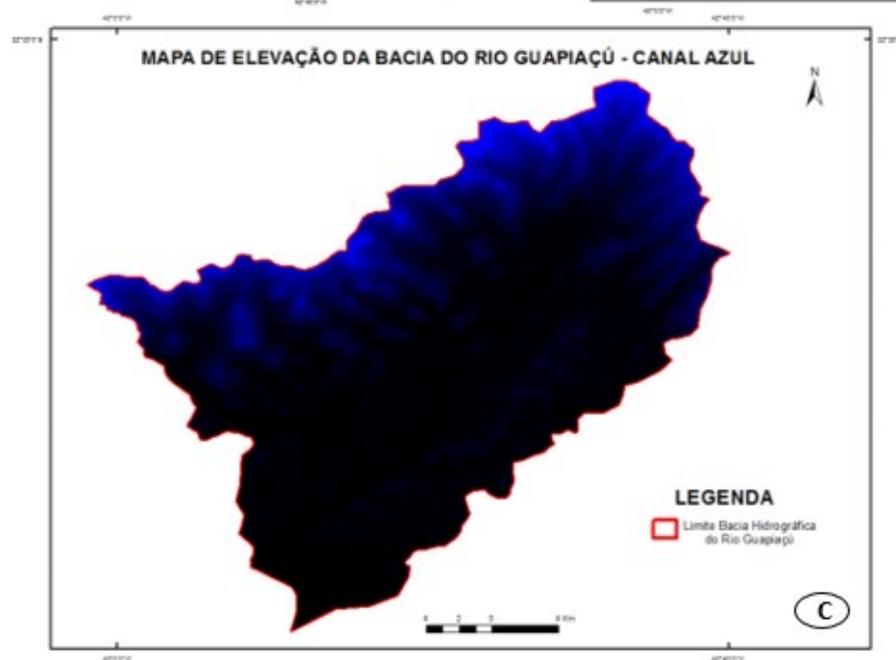
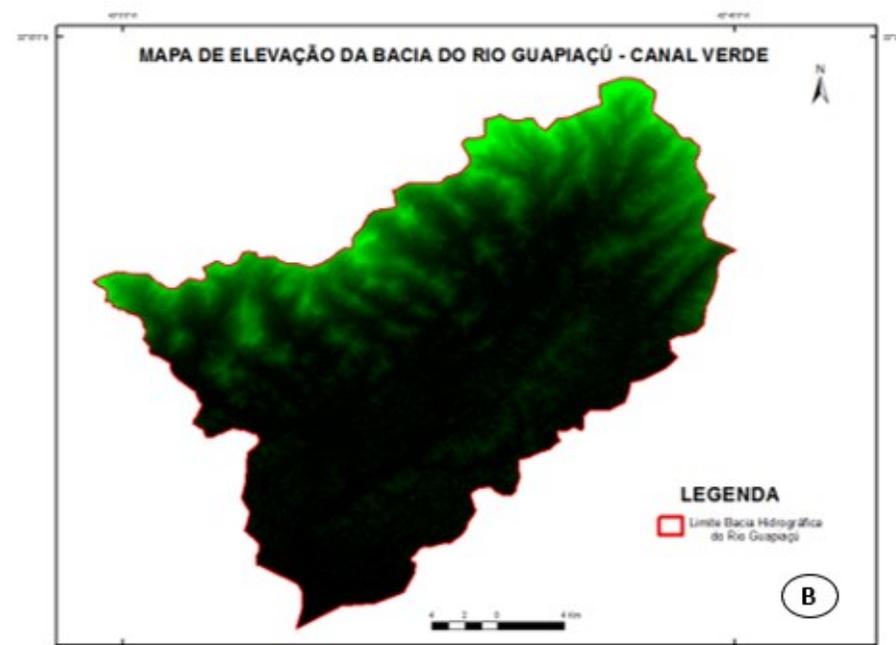
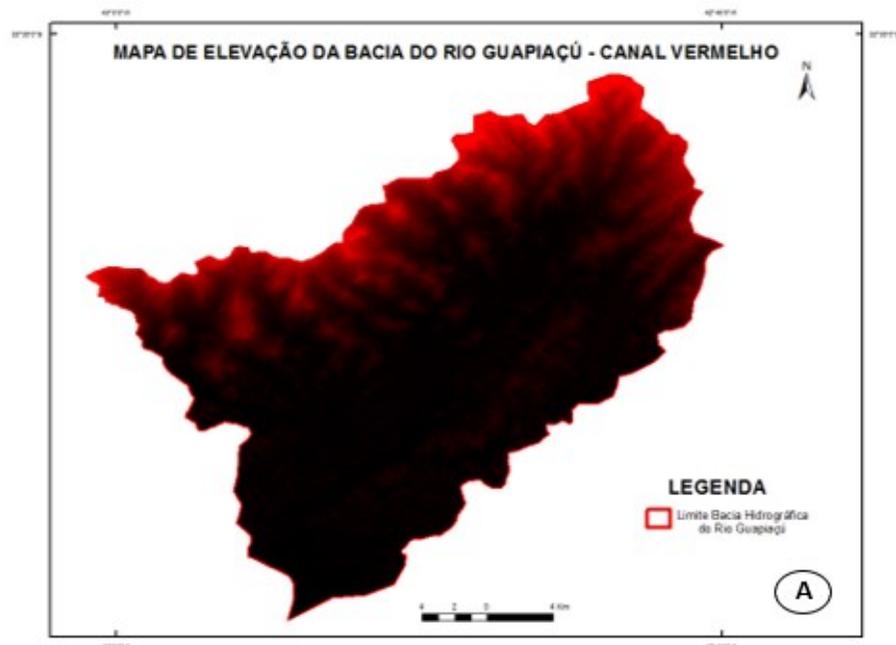


Figura 38: Mapa de elevação sendo representado nos canais Vermelho (A), Verde (B) e azul (C).

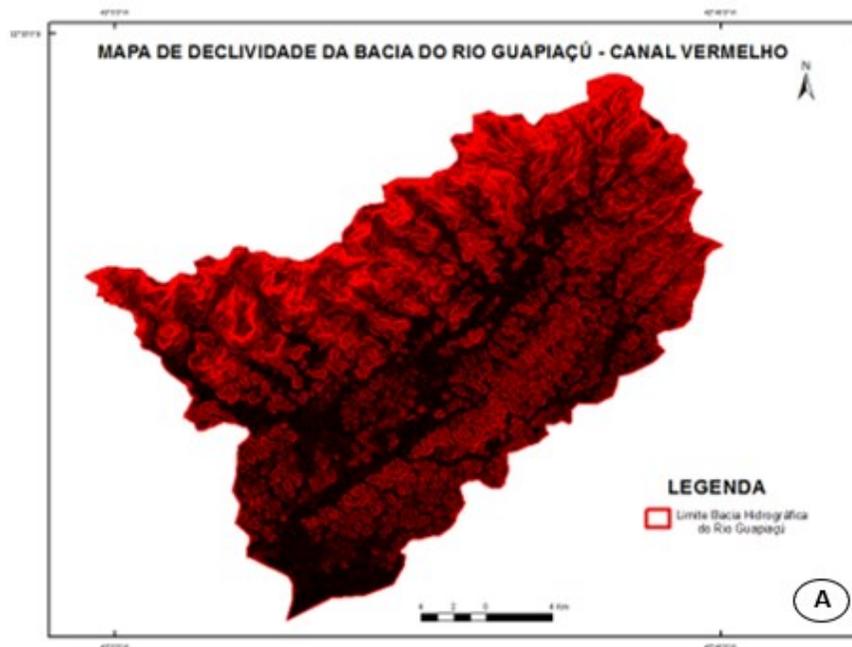


Figura 39 – Mapa de declividade sendo representado nos canais Vermelho (A), Verde (B) e Azul (C).

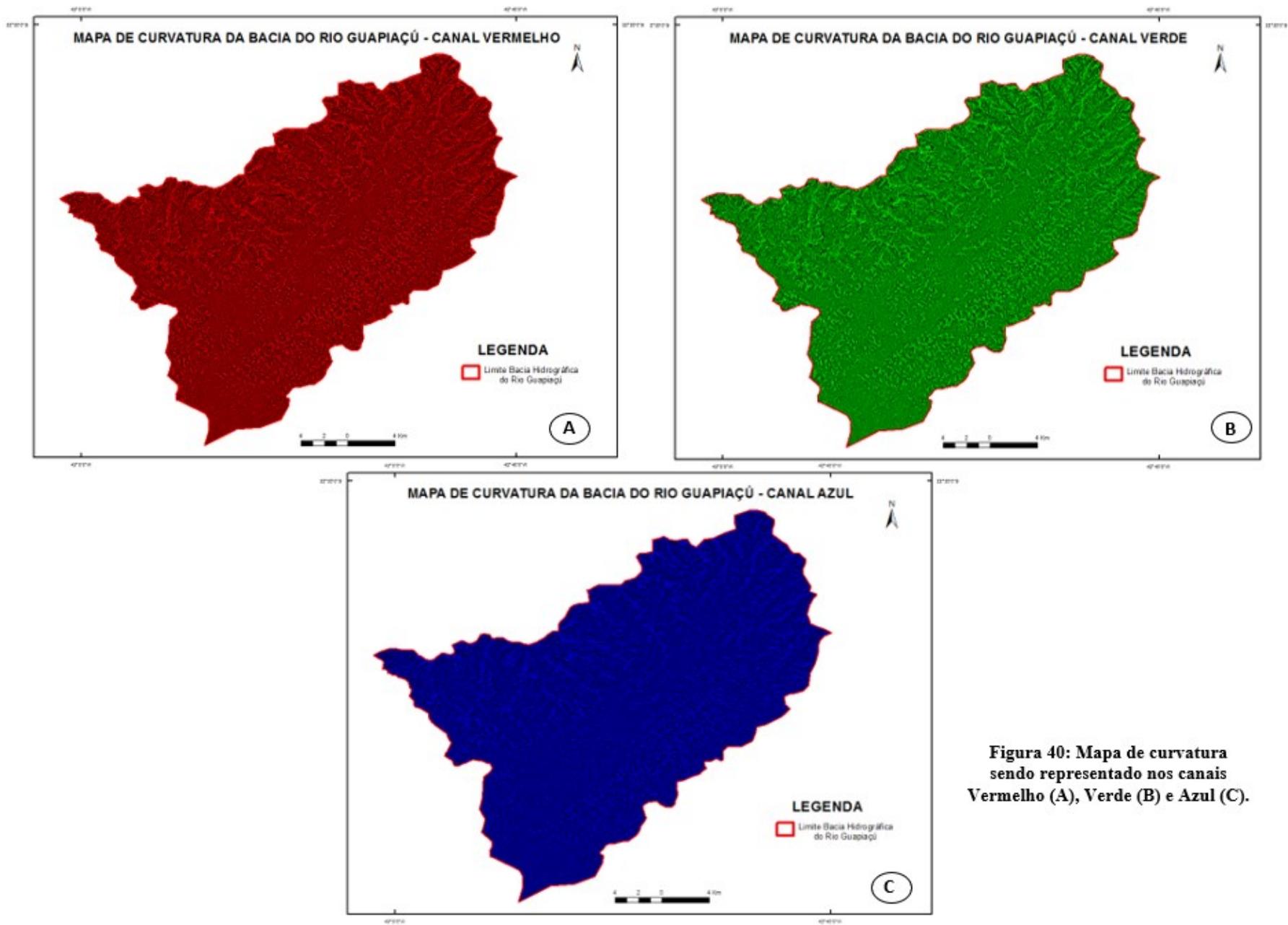


Figura 40: Mapa de curvatura sendo representado nos canais Vermelho (A), Verde (B) e Azul (C).

Ao final das diversas composições RGB foram gerados 24 mapas que, com suas diferentes colorações, representam o modelado do relevo da bacia.

As interpretações das combinações das imagens (elevação, declividade e curvatura), com diferentes arranjos da composição em RGB, alternando os canais possibilitou que determinadas combinações pudessem fornecer um forte contraste visual das unidades de relevo que adquiriram tonalidades e texturas distintas. Essas distintas tonalidades de cores e texturas indicam, junto às interpretações, o que de melhor é ressaltado na combinação realizada. Através, principalmente, das diferentes tonalidades foram identificadas quatro unidades dentro do limite da bacia, sendo elas planícies, colinas, morros e serras.

5.3.1. Composição E – D - Ø – Modelo RGB

Na composição representada na figura 41, o canal R foi representado pela variável elevação, o G pela declividade e o B não foi representado.

A imagem representa, principalmente, tons verdes. A coloração cinza representa as áreas mais baixas, ou ainda os fundos de vale, podendo ser delimitada como planície. A coloração verde passa pelas feições colinas e morros. As serras além das tonalidades verdes podem ser mais facilmente visualizadas pela pigmentação em tons de vermelho.

A princípio, sem uma análise mais detalhada, como por exemplo pela coloração de cada pixel, não é possível identificar as colinas e os morros apenas pela coloração. A tonalidade de verde entre essas duas classes está muito próxima, não permitindo a distinção de forma visual. Numa análise geral e visual essa composição apresenta-se boa para a identificação de planícies.

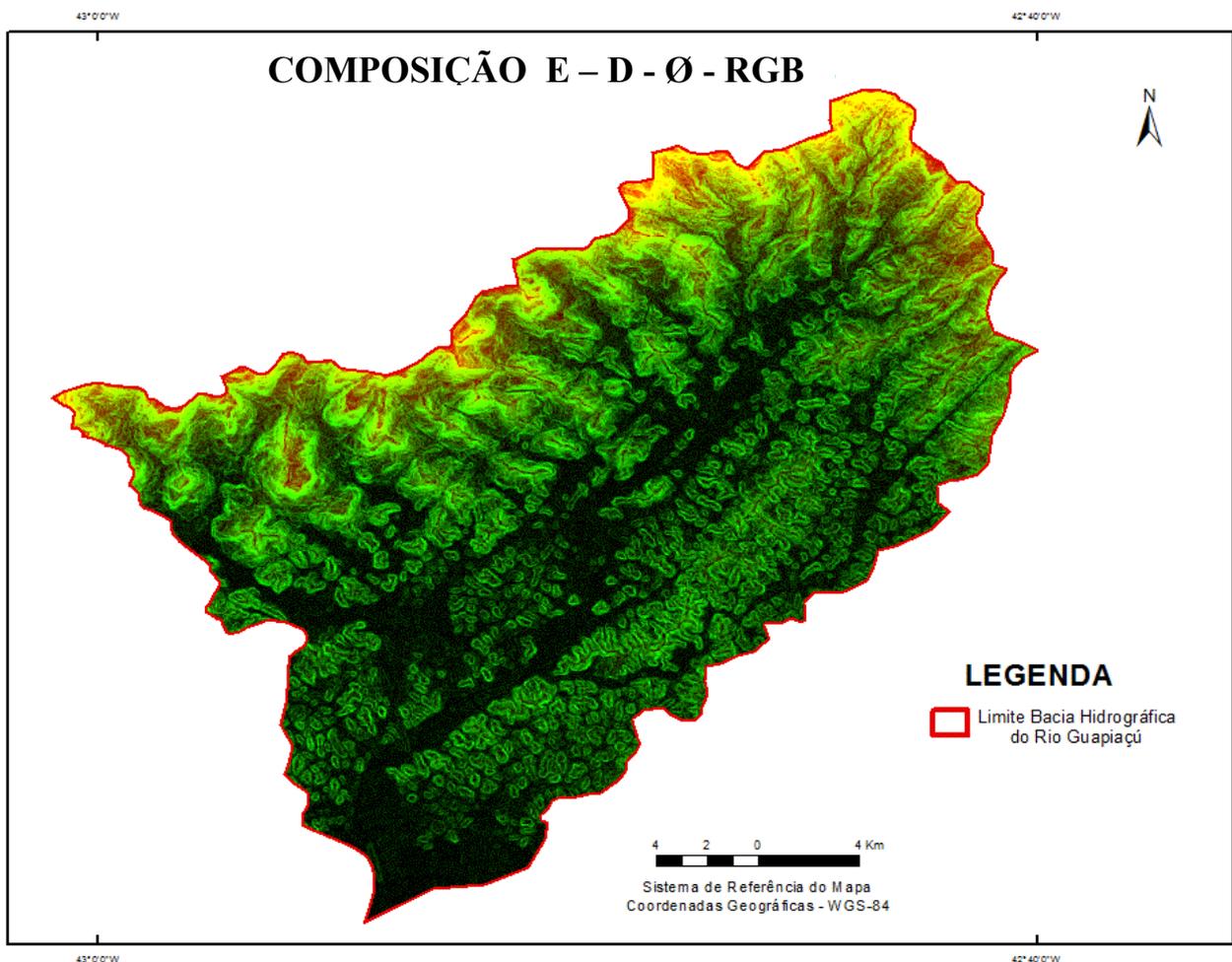


Figura 41 – Mapa da composição E-D-Ø.

5.3.2. Composição D – E - Ø – Modelo RGB

A composição representada na figura 42, apresenta a componente R representada pela variável declividade, a G pela elevação e a B não foi representado.

A imagem representa, principalmente, tons vermelhos. A coloração cinza representa as áreas mais baixas, ou ainda os fundos de vale, podendo ser delimitada como planície. A coloração vermelha passa pelas feições colinas e morros. As serras além das tonalidades vermelhas podem ser mais facilmente visualizadas pela pigmentação em tons de verde.

Como na composição anterior, pela coloração de cada pixel não é possível identificar as colinas e os morros apenas pela coloração, pois a tonalidade vermelha entre essas duas classes está também muito próxima, não permitindo a distinção de forma visual. Numa análise geral e visual, esta composição não ressaltou tanto as diferentes classes geomorfológicas. Essa composição apresenta-se também boa para a identificação de planícies.

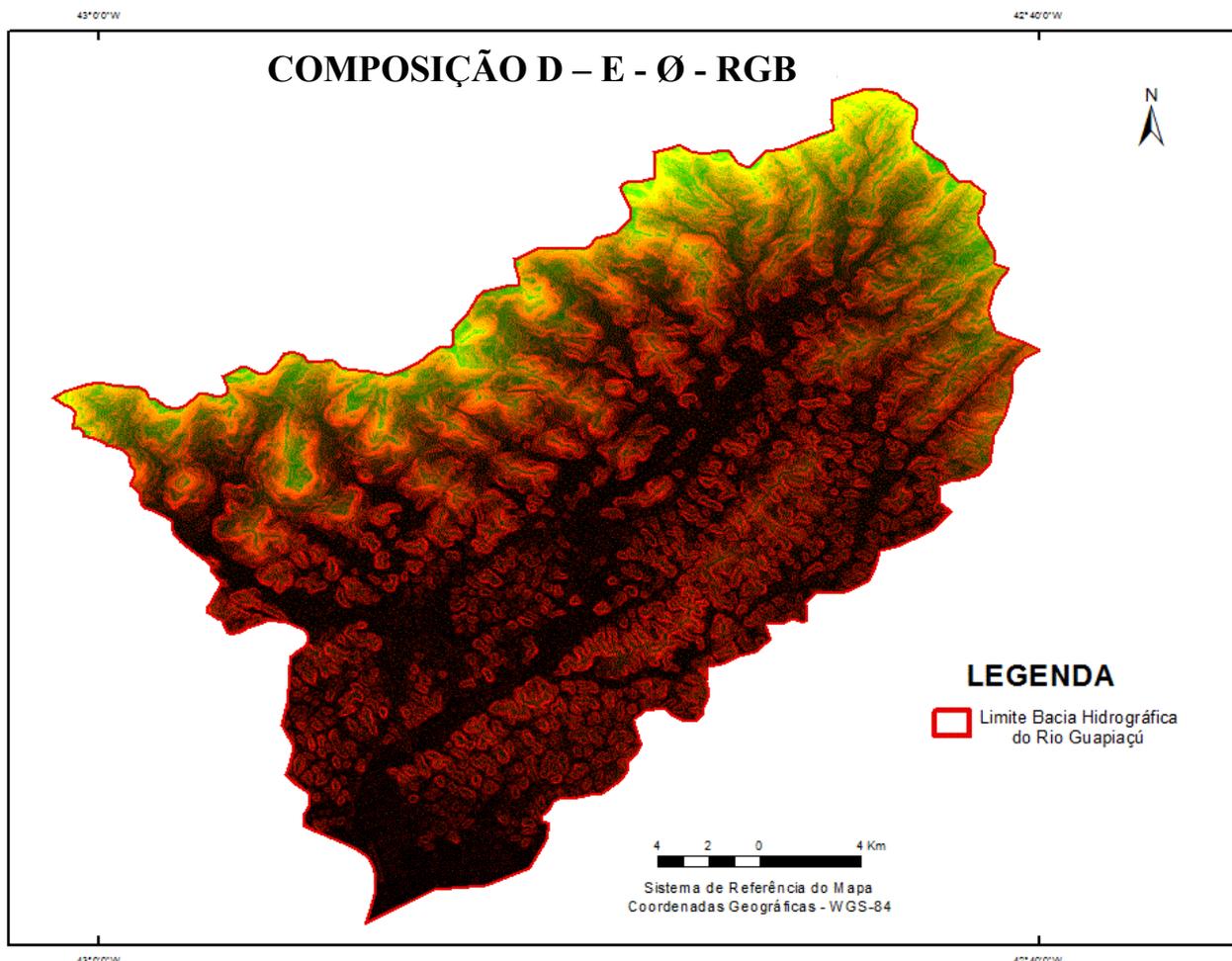


Figura 42 – Mapa da composição D – E - Ø.

5.3.3. Composição D-C-Ø – Modelo RGB

Na composição representada na figura 43, o R foi representado pela variável declividade, o G pela elevação e o B não foi representado.

A imagem representa, principalmente, tons verdes. A coloração verde está presente em todas as quatro classes de planície, colinas, morros e serras. As áreas mais baixas, ou ainda os fundos de vale, determinadas como planície podem ser melhor identificadas visualmente mais pela textura do que pela coloração. As serras além das tonalidades verdes podem ser mais facilmente visualizadas pela pigmentação em tons de vermelho, o que realmente deu destaque a essa classe.

A princípio, sem uma análise mais detalhada, como por exemplo pela coloração de cada pixel, não é possível identificar as colinas e os morros apenas pela coloração. As tonalidades verde e vermelha aparecem nas duas classes, não permitindo a distinção de forma visual. Numa análise geral e visual não é nítida a delimitação de nenhuma das 4 classes.

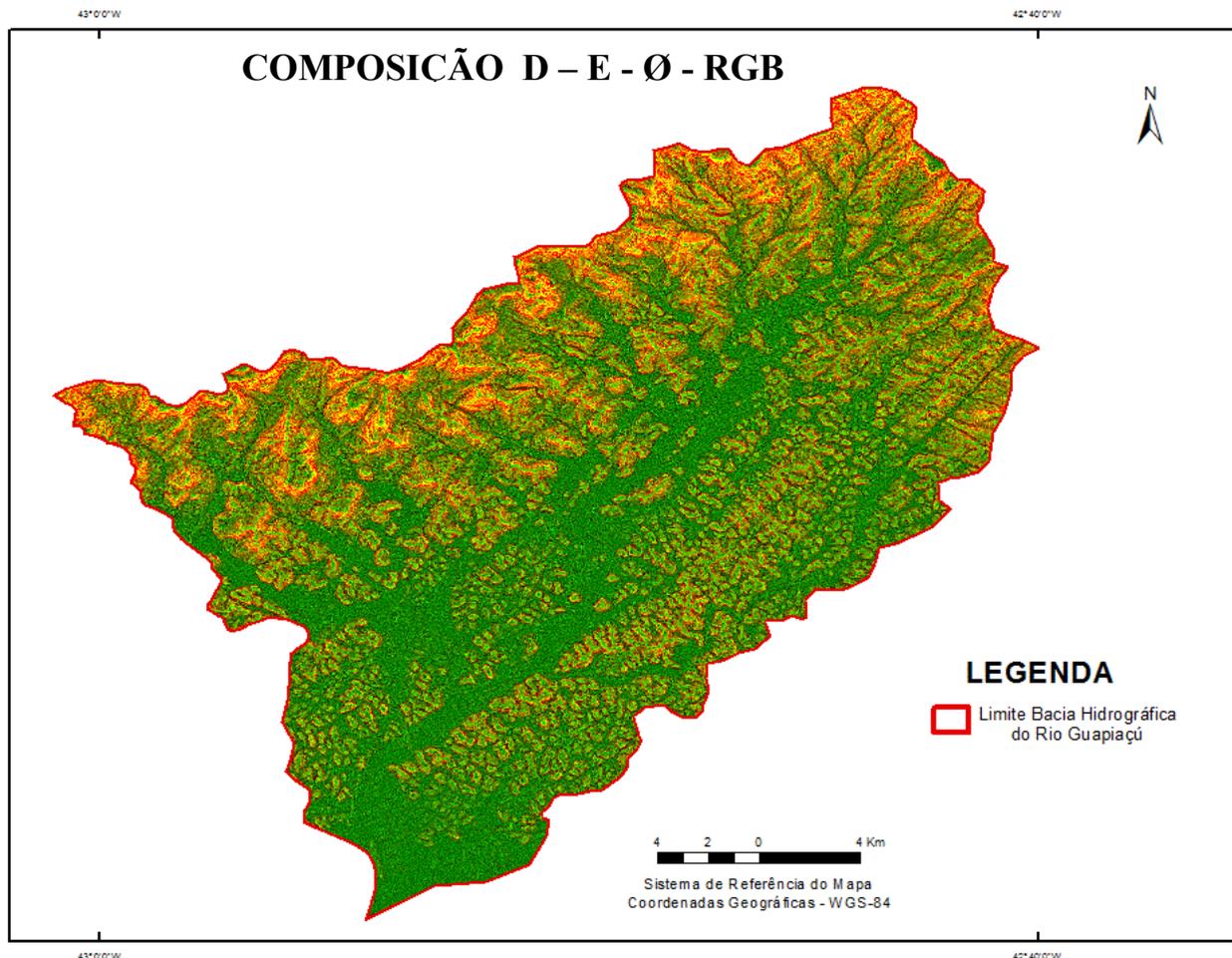


Figura 43 – Mapa da composição D – C - Ø.

5.3.4. Composição E - C - Ø – Modelo RGB

Na composição representada na figura 44, o canal R foi representado pela variável elevação, o G pela curvatura e o B não foi representado.

A imagem representa, principalmente, tons verdes. A coloração verde está presente em todas as quatro classes de planície, colinas, morros e serras. As áreas mais baixas, ou ainda os fundos de vale, determinadas como planície podem ser melhor identificadas visualmente mais pela textura do que pela coloração. As serras além das tonalidades verdes também podem ser mais facilmente visualizadas pela pigmentação em tons de vermelho, mas mesmo com a pigmentação vermelha, aparentemente parece haver um estreitamento das serras no resultado dessa composição.

Novamente apenas pela coloração de cada pixel, não é possível separar as colinas e os morros. A cor verde aparece em todas as classes com uma tonalidade muito próxima, não permitindo a distinção das classes de forma visual. Numa análise geral e visual também não é nítida a delimitação de nenhuma das 4 classes

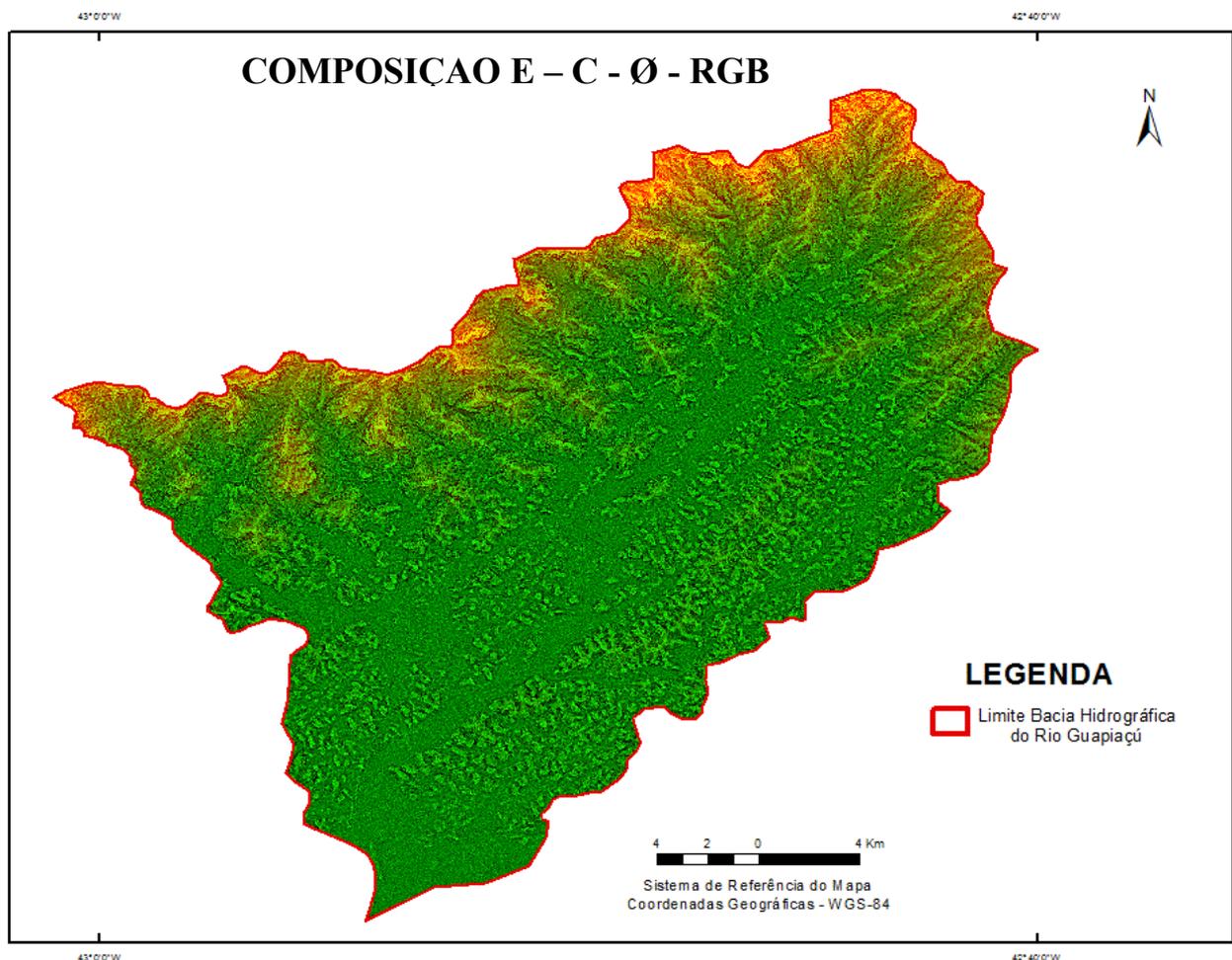


Figura 44 – Mapa da composição E - C - Ø.

5.3.5. Composição C - E - Ø – Modelo RGB

Na composição representada na figura 45, o canal R foi representado pela variável curvatura, o G pela elevação e o B não foi representado.

A imagem representa, principalmente, tons vermelhos. A coloração vermelha está presente em todas as quatro classes: planície, colinas, morros e serras. As áreas mais elevadas podem ser melhor identificadas visualmente, pois a intensidade de vermelho praticamente desaparece dando lugar a cor verde, o que faz com que essa classe se destaque do restante das outras, sendo assim identificada de forma um pouco mais nítida.

Em relação a morfologia das colinas e dos morros não é possível identifica-las apenas pela coloração. A tonalidade vermelha aparece nas duas classes, não permitindo a distinção de forma visual. A planície, embora sendo colorida também em vermelho, pode ser melhor identificada pela textura. Numa análise geral e visual não é nítida a delimitação de nenhuma das 4 classes. Porém, a morfologia de serras e planícies são um pouco mais evidentes devido a textura da planície e coloração das serras.

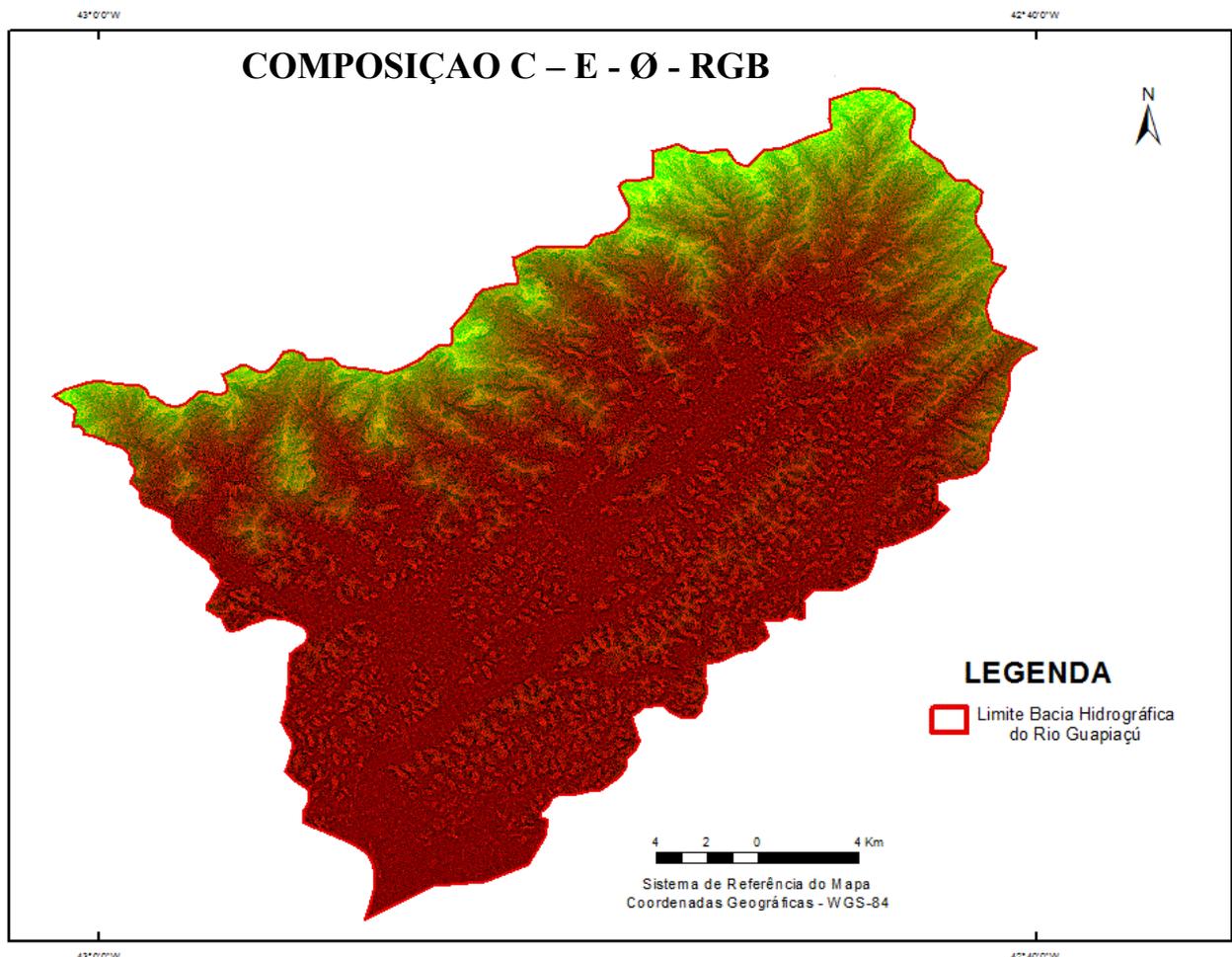


Figura 45 – Mapa da composição C - E - Ø.

5.3.6. Composição C – D - Ø – Modelo RGB

A composição representada na figura 46, o R foi representado pela variável curvatura, o G pela declividade e o B não foi representado.

A imagem representa tons vermelhos e verdes. A coloração vermelha está presente em todas as quatro classes, planície, colinas, morros e serras. O verde atua inversamente a coloração vermelha. Uma vez que, quanto mais alta a área maior a intensidade da cor verde e menor a vermelha e nas áreas mais baixas maior a intensidade da cor vermelha e menor, ou praticamente nula, é a intensidade da cor verde.

As áreas mais elevadas, as serras, podem ser melhor identificadas visualmente nesta figura pois a intensidade de vermelho praticamente desaparece dando lugar a coloração verde, o que faz com que essa classe se destaque. De todas as figuras analisadas anteriormente, essa composição, aliando coloração e textura, foi a que melhor produziu a distinção visual entre as colinas e os morros. A planície é facilmente identificada pela coloração predominante vermelha. Numa análise geral e visual a delimitação das 4 classes nessa composição resultou, de certa forma, numa razoável identificação das feições.

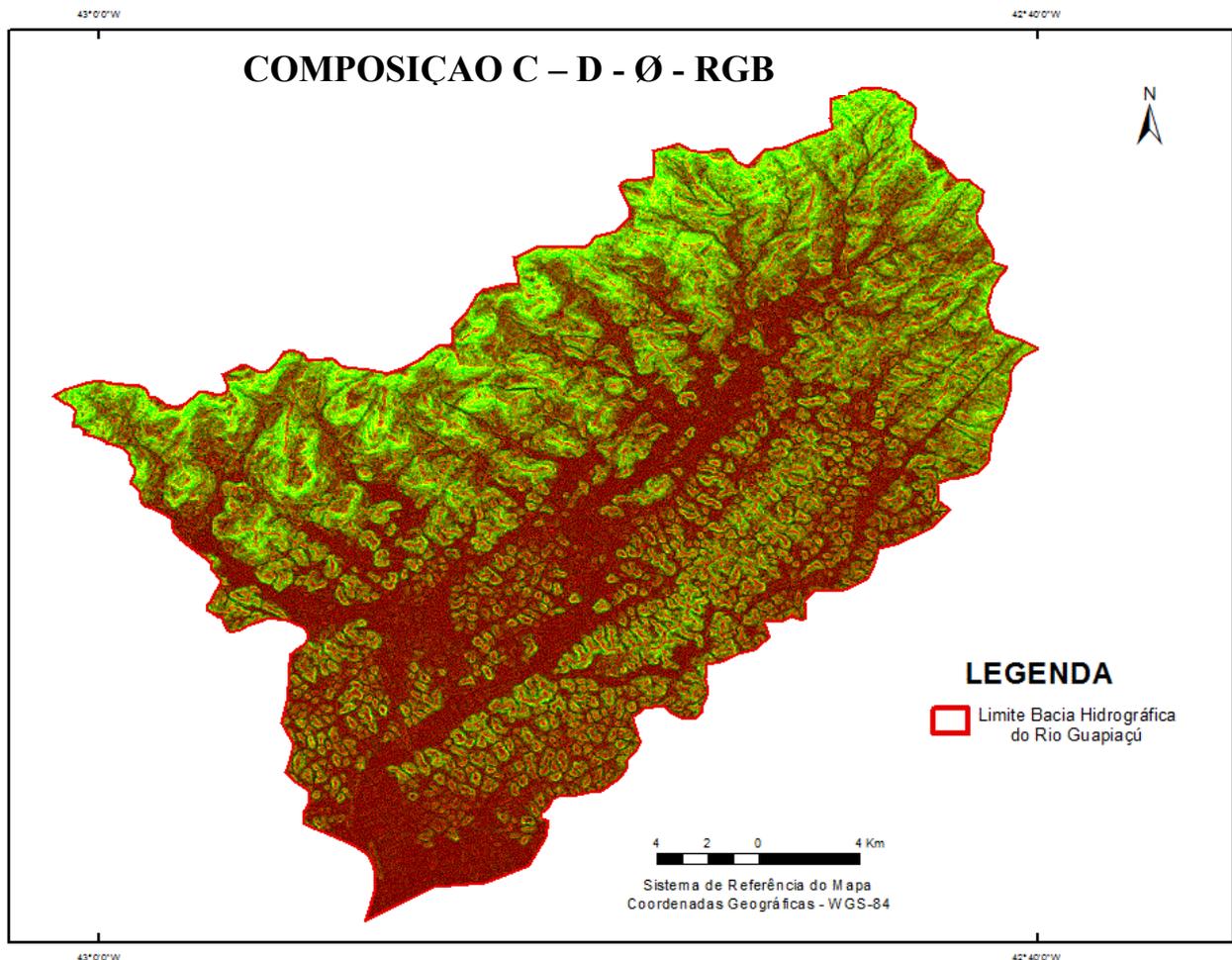


Figura 46 – Mapa da composição C - D - Ø.

5.3.7. Composição C - Ø - E – Modelo RGB

A composição representada na figura 47, o R foi representado pela variável curvatura, o G não foi representado e o B foi representado pela variável elevação.

A imagem representa, principalmente, tons vermelhos. A coloração vermelha está presente em todas as quatro classes de planície, colinas, morros e serras. A coloração não pode ser considerada como a melhor resposta para a identificação das feições, porém a textura está produzindo uma diferenciação entre as classes um pouco melhor.

Os fundos de vale, determinadas como planície podem ser melhor identificadas visualmente mais pela textura do que pela coloração, mesmo assim os limites entre as classes pouco aparecem. As serras além das tonalidades vermelhas também apresentam pigmentação rosa, mas, o delineamento das feições também é pouco perceptível. A princípio, sem uma análise mais detalhada, como por exemplo pela coloração de cada pixel, há uma certa dificuldade ao tentar separar as classes colinas, morros e planícies apenas pela coloração. A cor vermelha aparece em todas as classes com uma tonalidade muito próxima, não permitindo a distinção das classes de forma visual.

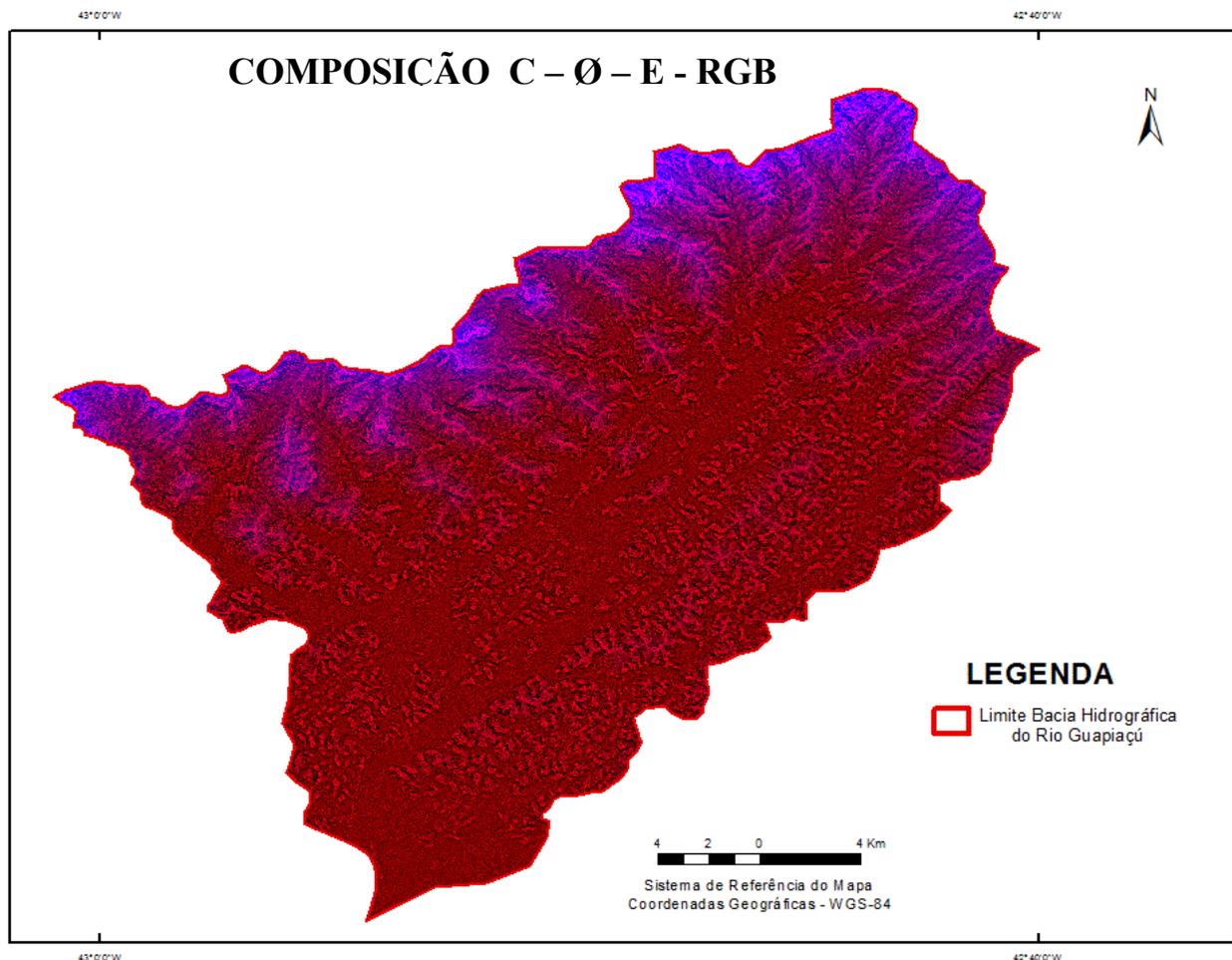


Figura 47 – Mapa da composição C - Ø - 1

5.3.8. Composição C - Ø - D – Modelo RGB

A composição representada na figura 48, o R foi representado pela variável curvatura, o G não foi representado e o B foi representado pela variável declividade.

A imagem representa, principalmente, tons vermelhos. Nessa composição a planície possui boa resposta e aparece na coloração vermelha. As colinas, morros e serras estão sendo representadas pelas tonalidades rosas e azuis. A cor rosa diminui sua intensidade de acordo com a elevação, dando lugar a coloração azul, o que permite melhor identificação das serras. A tonalidade rosa atua mais intensamente nas colinas e nos morros, o que não ajuda muito na distinção das duas classes nessa imagem.

As áreas mais elevadas, as serras, podem ser melhor identificadas visualmente nesta figura pois a coloração azul permite destaque a essa classe. E as planícies por sua coloração vermelha. Assim, numa análise geral e visual a delimitação das quatro classes nessa composição resultou, de certa forma, numa razoável identificação das feições.

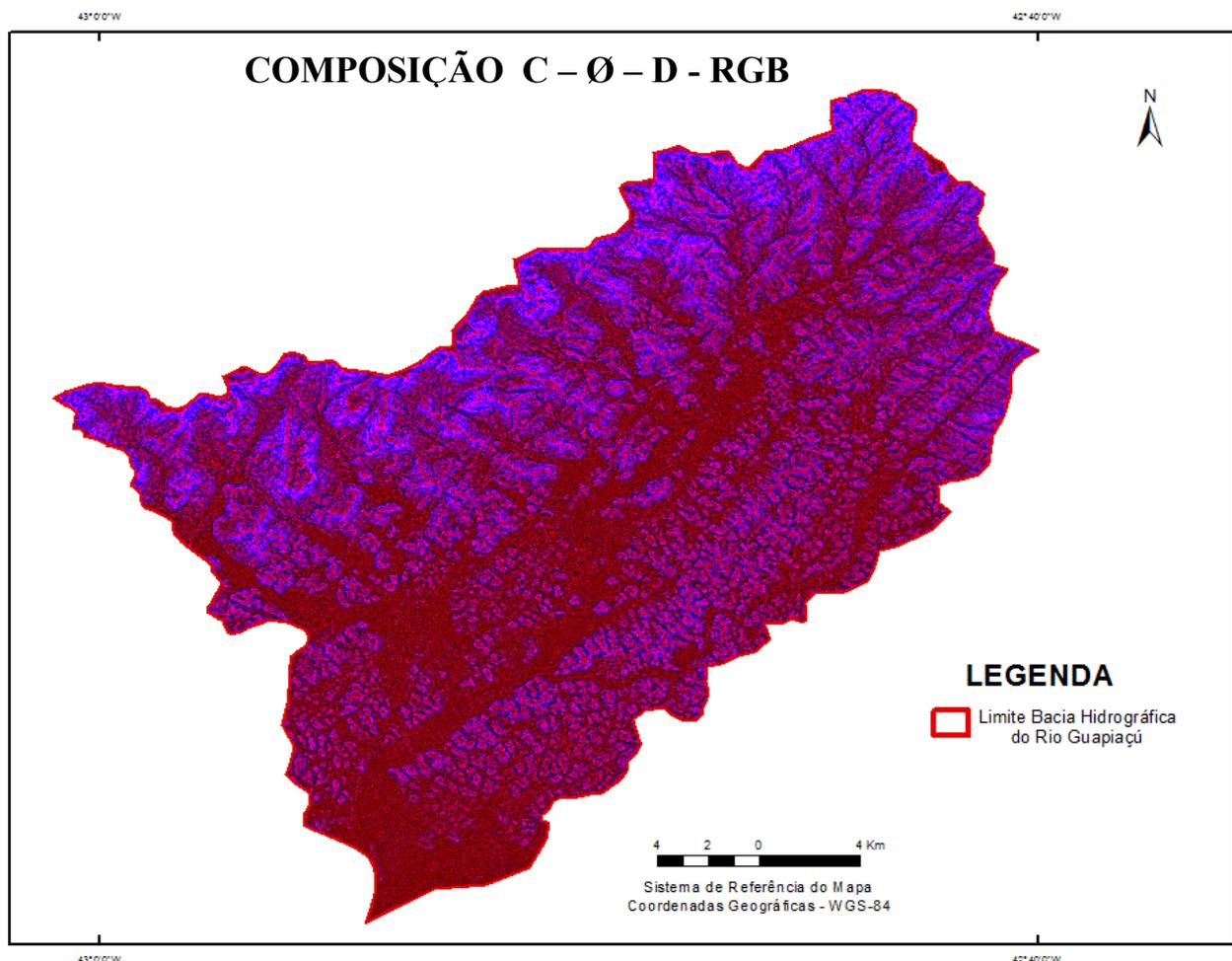


Figura 48 – Mapa da composição C - Ø - D.

5.3.9. Composição D - Ø - E – Modelo RGB

A composição representada na figura 49, o R foi representado pela variável declividade, o G não foi representado e o B foi representado pela variável elevação.

A imagem representa, principalmente, tons vermelhos. A coloração cinza produziu uma boa resposta para a percepção das áreas mais baixas, ou ainda os fundos de vale, permitindo a delimitação da planície. A coloração vermelha passa pelas feições de colinas e morros. As serras, além das tonalidades vermelhas, podem ser mais facilmente visualizadas pela pigmentação em tons de rosa.

A princípio, sem uma análise mais detalhada, como por exemplo pela coloração de cada pixel, não é possível diferenciar as colinas e dos morros apenas pela coloração e textura. A tonalidade vermelha entre as duas classes está muito próxima, não permitindo a distinção de forma visual. Já as serras também não apresentaram boa representatividade nessa composição. Embora não haja uma facilidade em distinguir algumas classes pode se perceber que os contornos das feições se apresentam muito bem delineados.

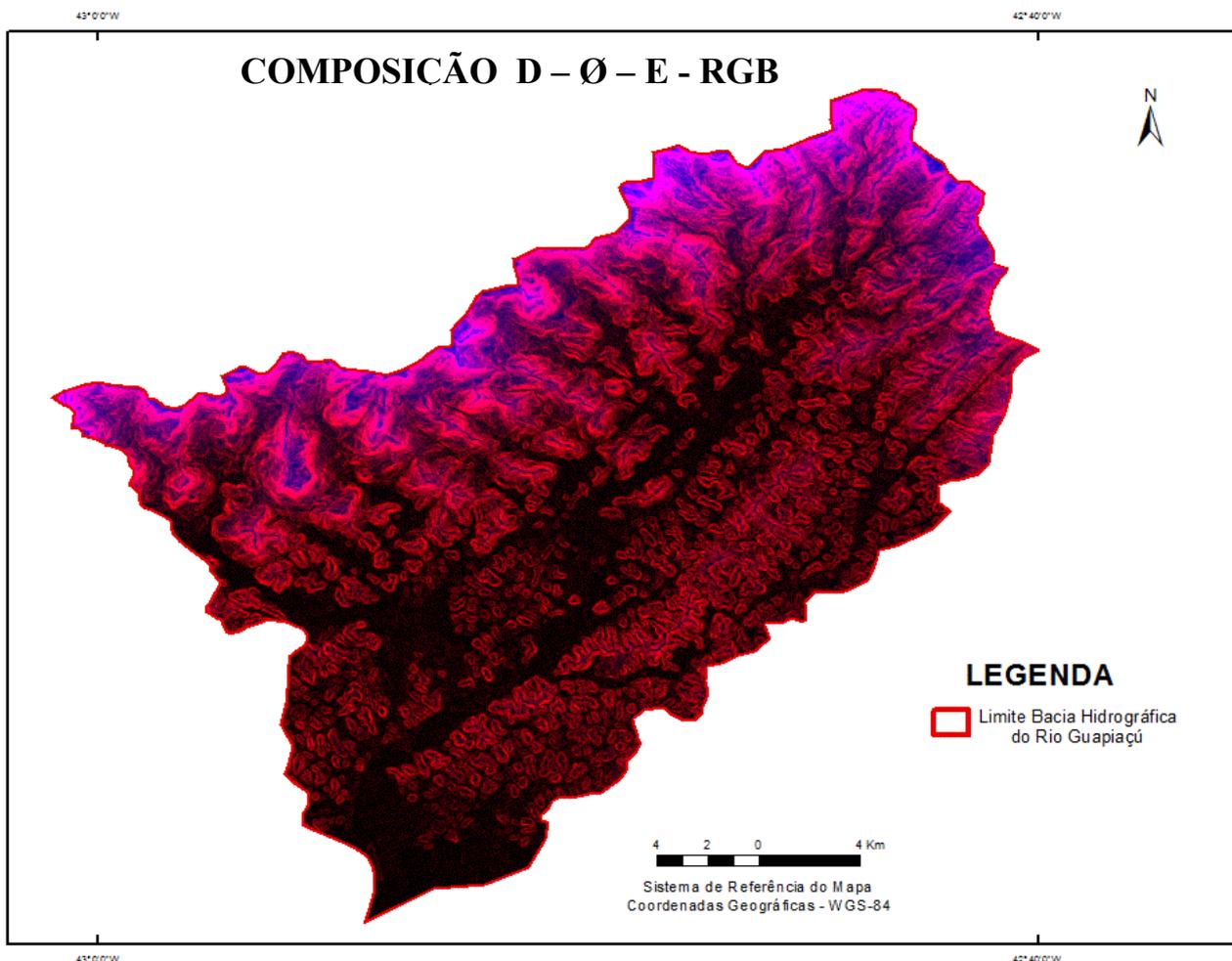


Figura 49 – Mapa da composição D - Ø - E.

5.3.10. Composição D - Ø - C – Modelo RGB

A composição representada na figura 50, o R foi representado pela variável declividade, o G não foi representado e o B foi representado pela variável curvatura.

A imagem representa, principalmente, tons vermelhos. A coloração rosa está presente em todas as quatro classes: planície, colinas, morros e serras. A coloração não pode ser considerada como a melhor resposta para a identificação das feições, porém a textura está produzindo uma melhor diferenciação entre determinadas classes.

As áreas mais baixas de planícies não estão bem delineadas visualmente. A textura também não ajuda na delimitação dessa classe. As serras apresentam tonalidades rosas mais marcantes, mas, o delineamento das feições também é pouco perceptível.

O delineamento de todas as feições não é bem marcado, dando a impressão que há sempre uma continuidade, ou melhor, uma transição mais suave entre uma classe e outra. A princípio, sem uma análise mais detalhada, como por exemplo pela coloração de cada pixel, há uma certa dificuldade ao tentar separar visualmente as quatro classes apenas pela coloração.

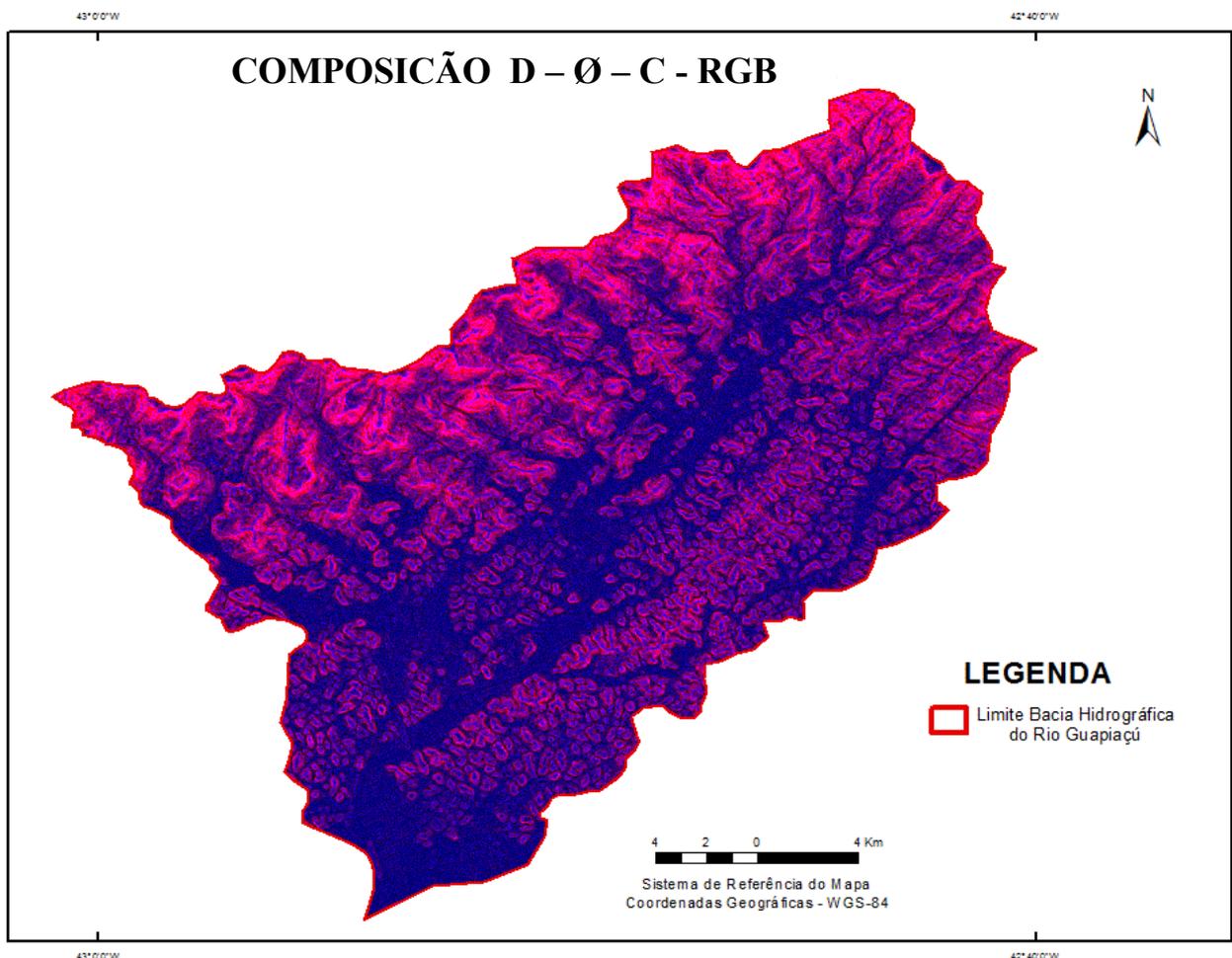


Figura 50 – Mapa da composição D - Ø - C.

5.3.11. Composição E - Ø - D – Modelo RGB

A composição representada na figura 51, o R foi representado pela variável elevação, o G não foi representado e o B foi representado pela variável declividade.

A imagem representa tons entre o azul e o rosa. As áreas mais baixas, as planícies, estão sendo representadas pela coloração mais escura, porém essa coloração juntamente na transição para o azul das colinas, morros e serras, não produz uma facilidade em delinear essa classe. As serras passam da tonalidade azul em sua base para a tonalidade rosa não resultando também, a partir dessas colorações, um bom delineamento.

A princípio, sem uma análise mais detalhada, como por exemplo pela coloração de cada pixel, não é possível separar as colinas e os morros apenas pela coloração. A cor azul aparece em todas as classes com uma tonalidade muito próxima, não permitindo a distinção das classes de forma visual. Numa análise geral e visual também não é nítida a delimitação de nenhuma das quatro classes.

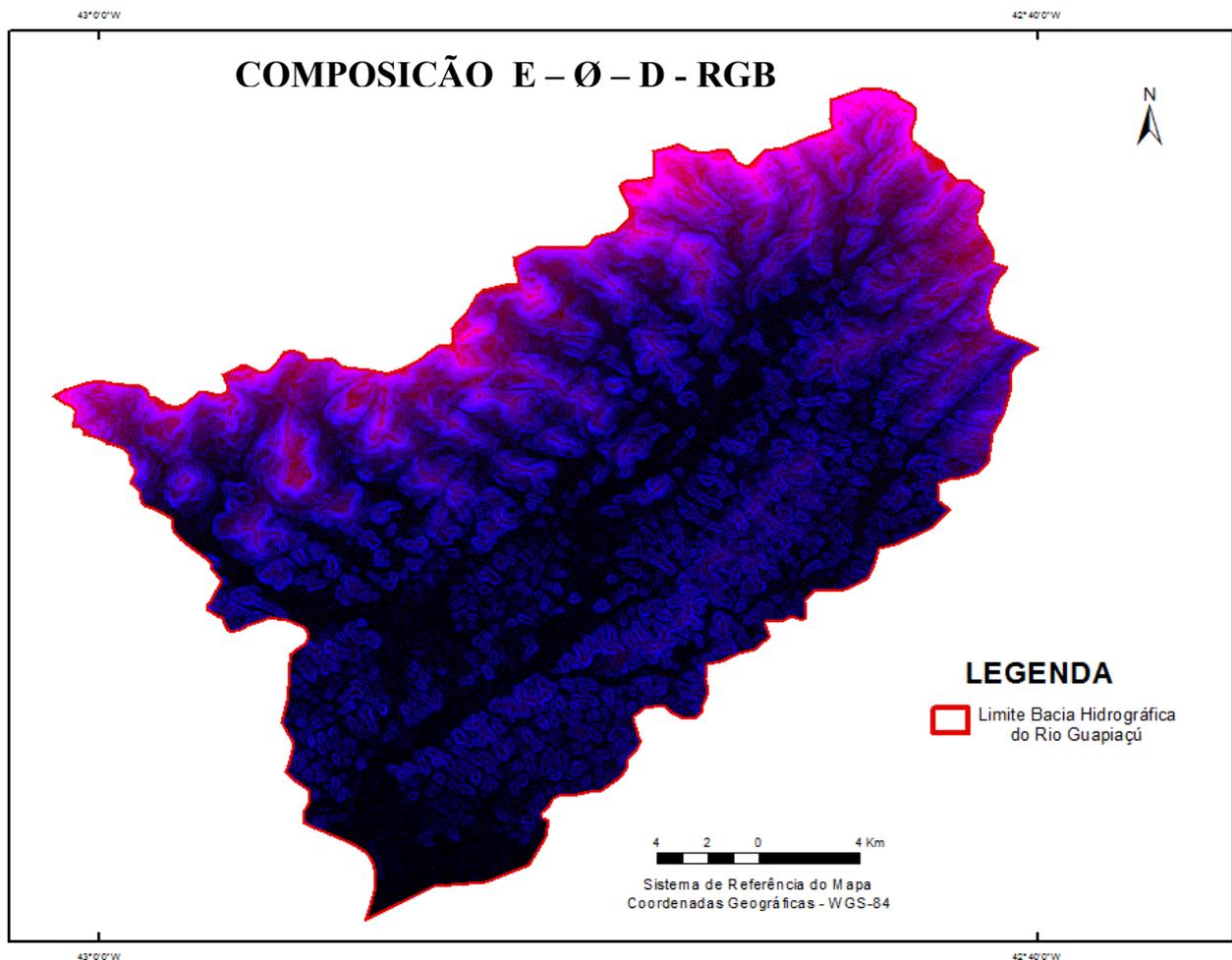


Figura 51 – Mapa da composição E - Ø - D.

5.3.12. Composição E - Ø - C – Modelo RGB

A composição representada na figura 52, o R foi representado pela variável elevação, o G não foi representado e o B foi representado pela variável curvatura.

A imagem representa, principalmente, tons verdes. A coloração verde está presente em todas as 4 classes de planície, colinas, morros e serras. As áreas mais baixas, as planícies, nesta composição não apresentam uma boa distinção. Embora fazendo uma análise entre coloração e textura a segunda fornece melhor percepção na visualização dessa classe. As serras, além das tonalidades verdes, também possuem mais para o topo uma pigmentação em tons de vermelho, mas mesmo com a pigmentação vermelha, aparentemente parece haver um estreitamento das serras no resultado dessa composição. As transições entre as classes também é de difícil percepção.

Não é possível separar as feições de colinas, morros e planícies apenas pela coloração, pois a cor verde aparece em todas as classes com uma tonalidade muito próxima, não permitindo a distinção das classes de forma visual. Numa análise geral e visual também não é nítida a delimitação de nenhuma das quatro classes.

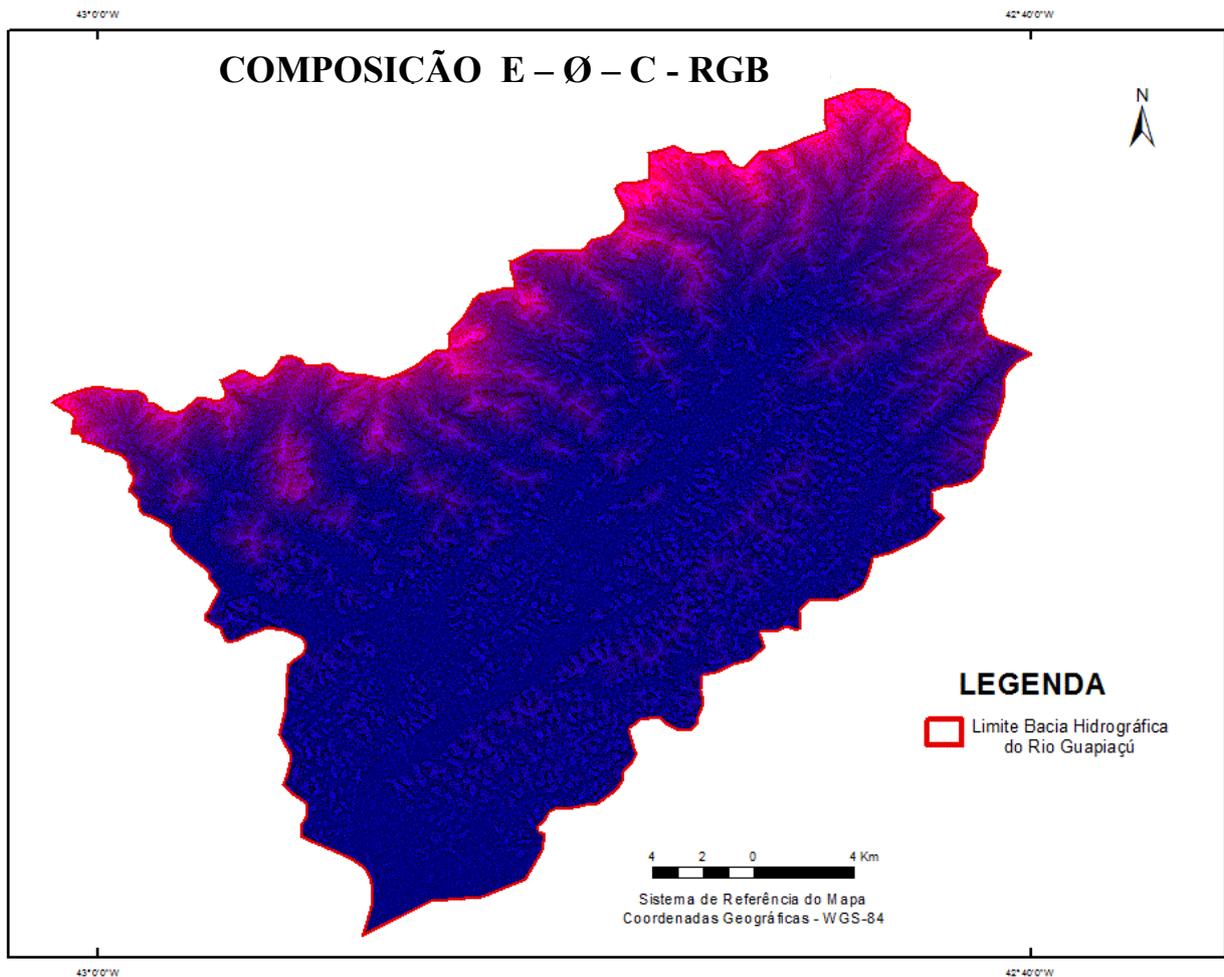


Figura 52 – Mapa da composição E - Ø - C.

5.3.13. Composição Ø - D - C – Modelo RGB

A composição representada na figura 53, o R não foi representado, o G foi representado pela variável declividade e o B foi representado pela curvatura.

A imagem representa, principalmente, tons verdes e azuis. A coloração azul representa as áreas mais baixas, delimitadas como planícies. A coloração azul passa por todas as feições, porém, com bastante intensidade nas planícies e menor intensidade nas serras. As serras além das tonalidades azuis podem ser mais facilmente visualizadas pela pigmentação em tons de verde.

Não é possível identificar as colinas e os morros apenas pela coloração e ou textura. A tonalidade de verde entre essas duas classes está muito próxima, não permitindo a distinção de forma visual.

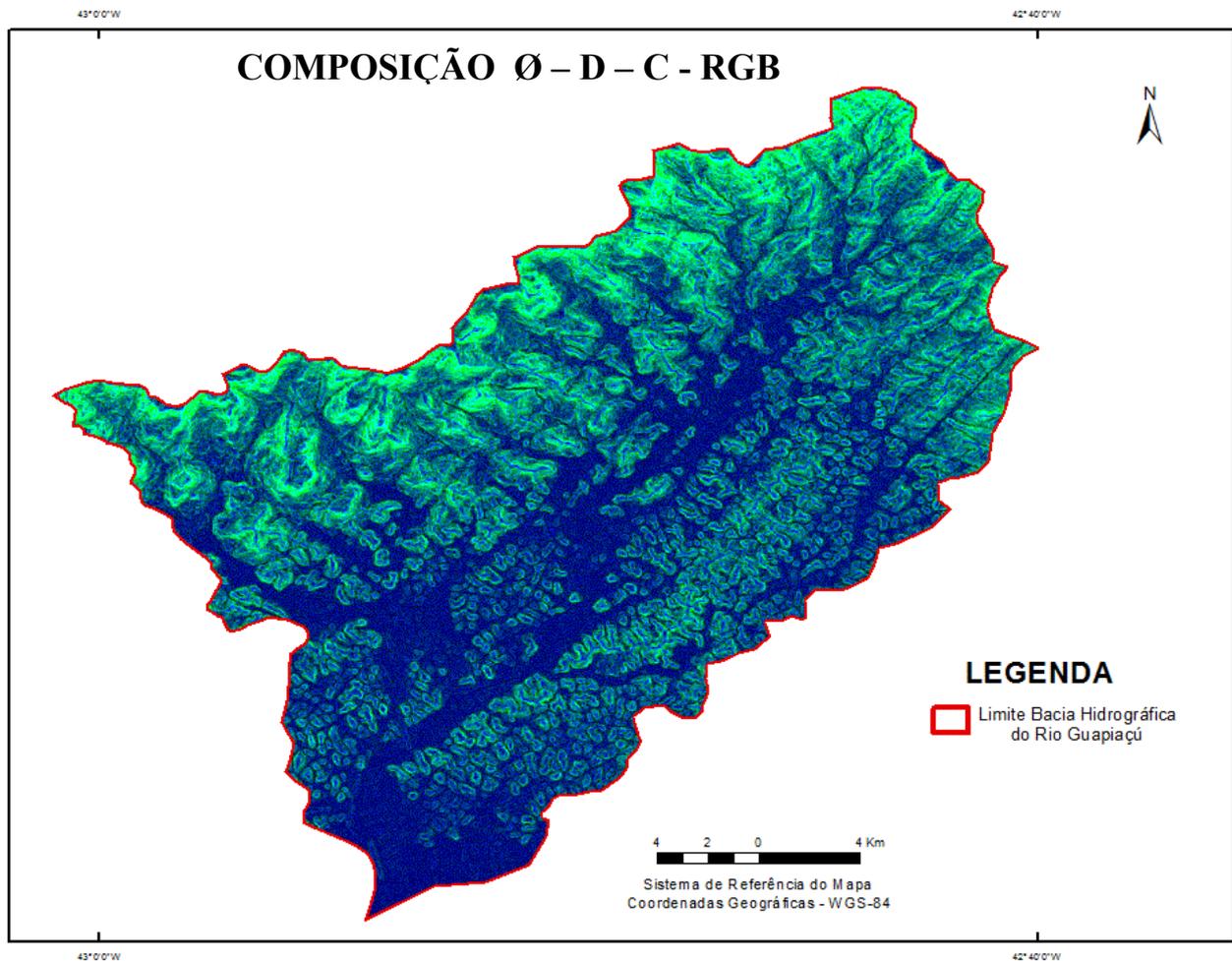


Figura 53 – Mapa da composição Ø - D - C.

5.3.14. Composição Ø - D - E – Modelo RGB

A composição representada na figura 54, o R não foi representado, o G foi representado pela variável declividade e o B foi representado pela elevação.

A imagem representa, principalmente, tons verdes. A coloração verde está presente em todas as quatro classes de planície, colinas, morros e serras. As áreas mais baixas, as planícies, nesta composição não apresentam uma boa distinção. Embora fazendo uma análise entre coloração e textura a coloração nesta composição fornece melhor percepção na visualização das classes. As serras além das tonalidades verdes também possuem mais para o topo uma leve pigmentação em tons de azul, mas essa pigmentação não traduz muita significância para o delineamento dessas feições. Aparentemente, a classe serra parece ser um pouco mais representativa no resultado dessa composição. As transições entre as classes também são bem suaves.

Não é possível separar as colinas e morros apenas pela coloração e/ou textura. A cor verde aparece em todas as classes com uma tonalidade muito próxima, não permitindo a distinção das classes de forma visual.

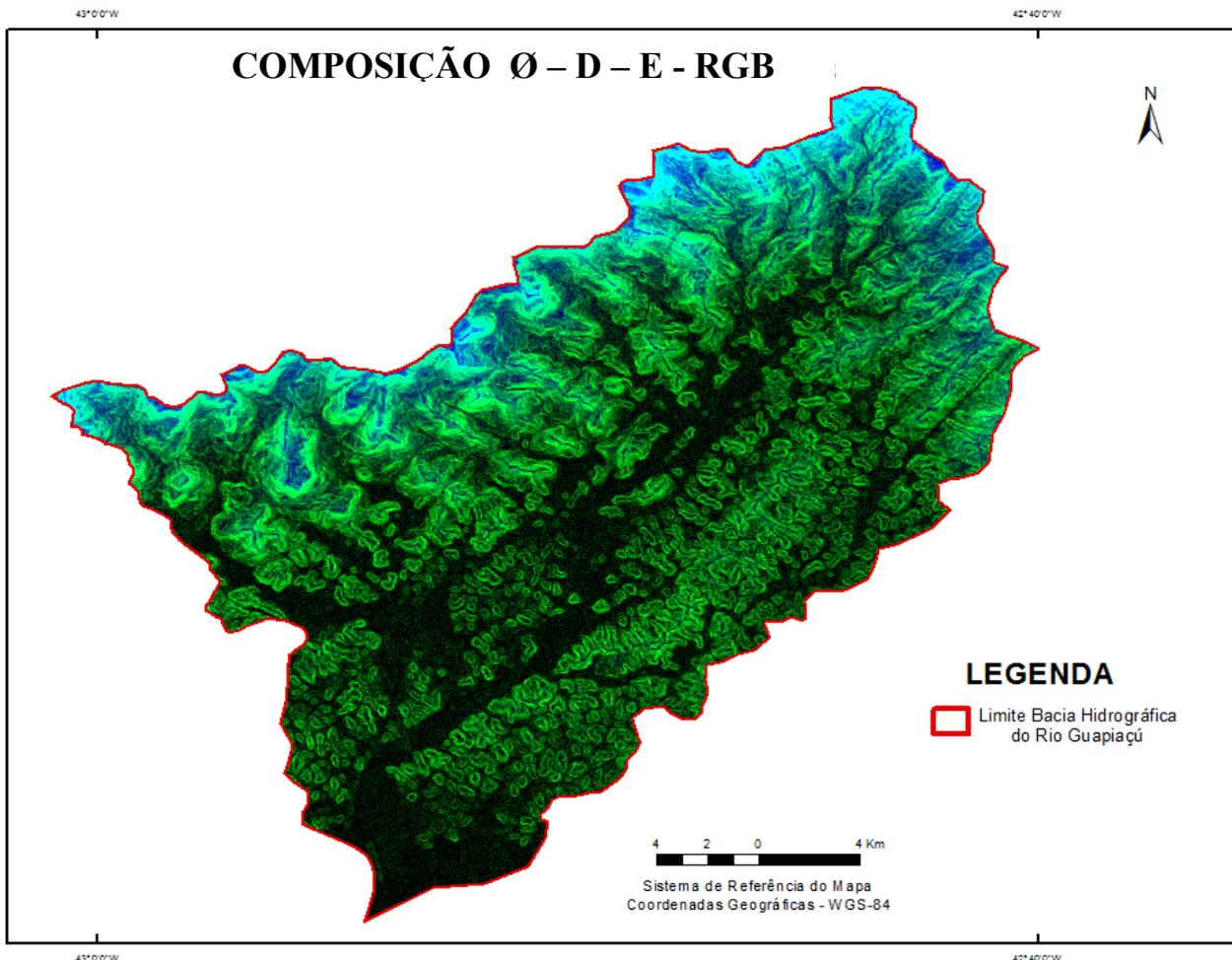


Figura 54 – Mapa da composição Ø - D - E.

5.3.15. Composição Ø - E - D – Modelo RGB

A composição representada na figura 55, o R não foi representado, o G foi representado pela variável elevação e o B foi representado pela declividade.

A imagem representa por tons verdes e azuis. A coloração azul está presente em três classes: colinas, morros e serras. As áreas mais baixas, as planícies, apresentam uma boa distinção, sendo representadas numa tonalidade mais escura. As bordas das 4 classes são bem delineadas, porém, parece haver uma diminuição, principalmente, das áreas representativas das serras e dos morros. Embora fazendo uma análise entre coloração e textura a coloração nesta composição fornece melhor percepção na visualização das classes. As serras além das tonalidades azul também possuem mais para o topo uma pigmentação em tons de verde, mas essa pigmentação não traduz muita significância para o delineamento dessas feições. As transições entre as classes são um pouco mais abruptas.

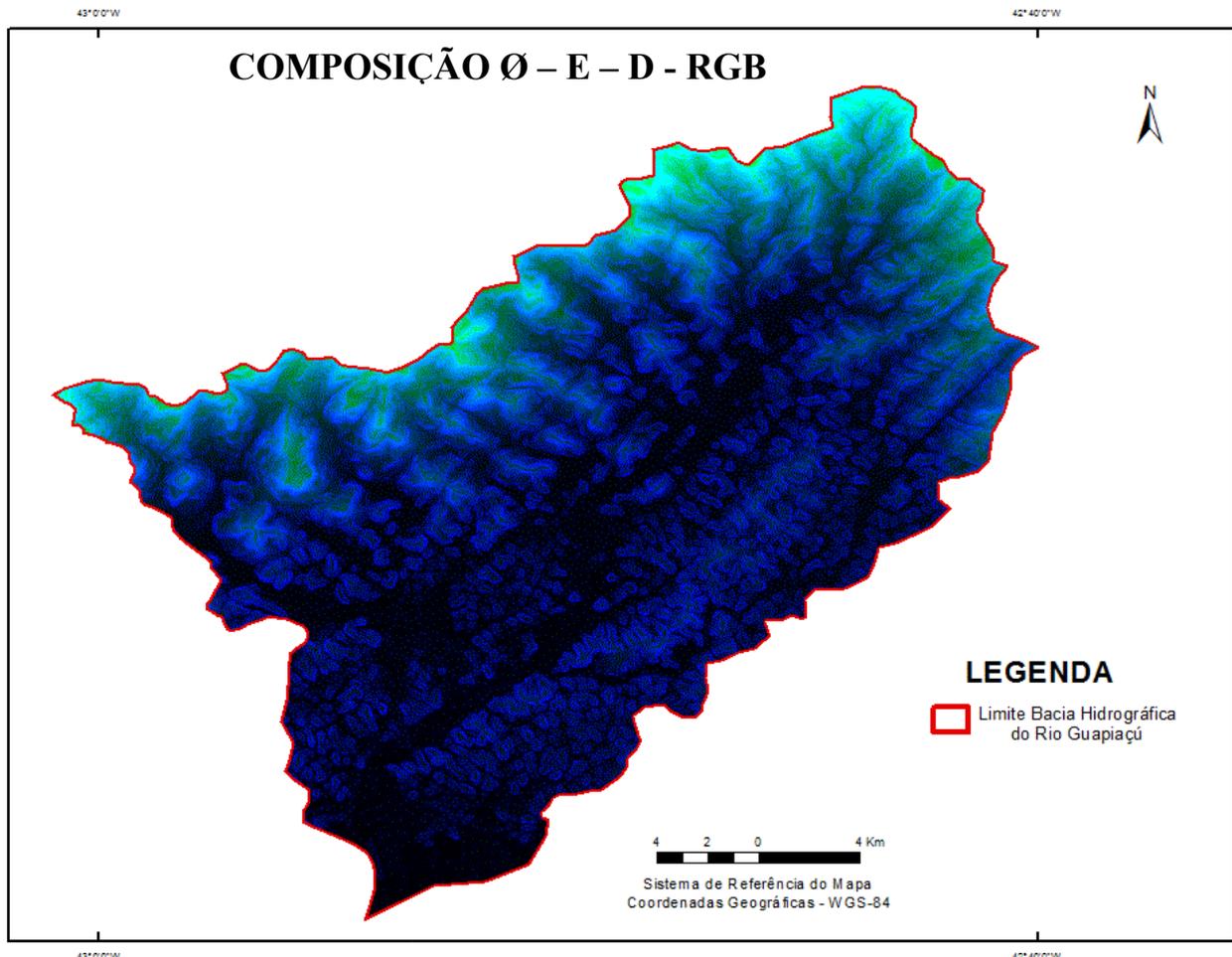


Figura 55 – Mapa da composição Ø - E - D.

5.3.16. Composição Ø - E - C – Modelo RGB

A composição representada na figura 56, o R não foi representado, o G foi representado pela variável elevação e o B pela curvatura.

A coloração azul está presente em todas as quatro classes, planície, colinas, morros e serras. As áreas mais baixas, as planícies, nesta composição não apresentam uma boa distinção. Fazendo uma análise entre coloração e textura a segunda fornece uma melhor percepção na visualização dessa classe. As serras, além das tonalidades azul, também possuem mais para o topo uma pigmentação em tons de verde, mas mesmo com a pigmentação verde, aparentemente parece haver um estreitamento das serras no resultado dessa composição. As transições entre as classes também é de difícil percepção.

Também não foi possível separar as colinas, morros e planícies apenas pela coloração. A cor azul está em todas as classes com uma tonalidade muito próxima, não permitindo a distinção das mesmas de forma visual. Numa análise geral e visual não é nítida a delimitação de nenhuma das 4 classes e nem das áreas de transição.

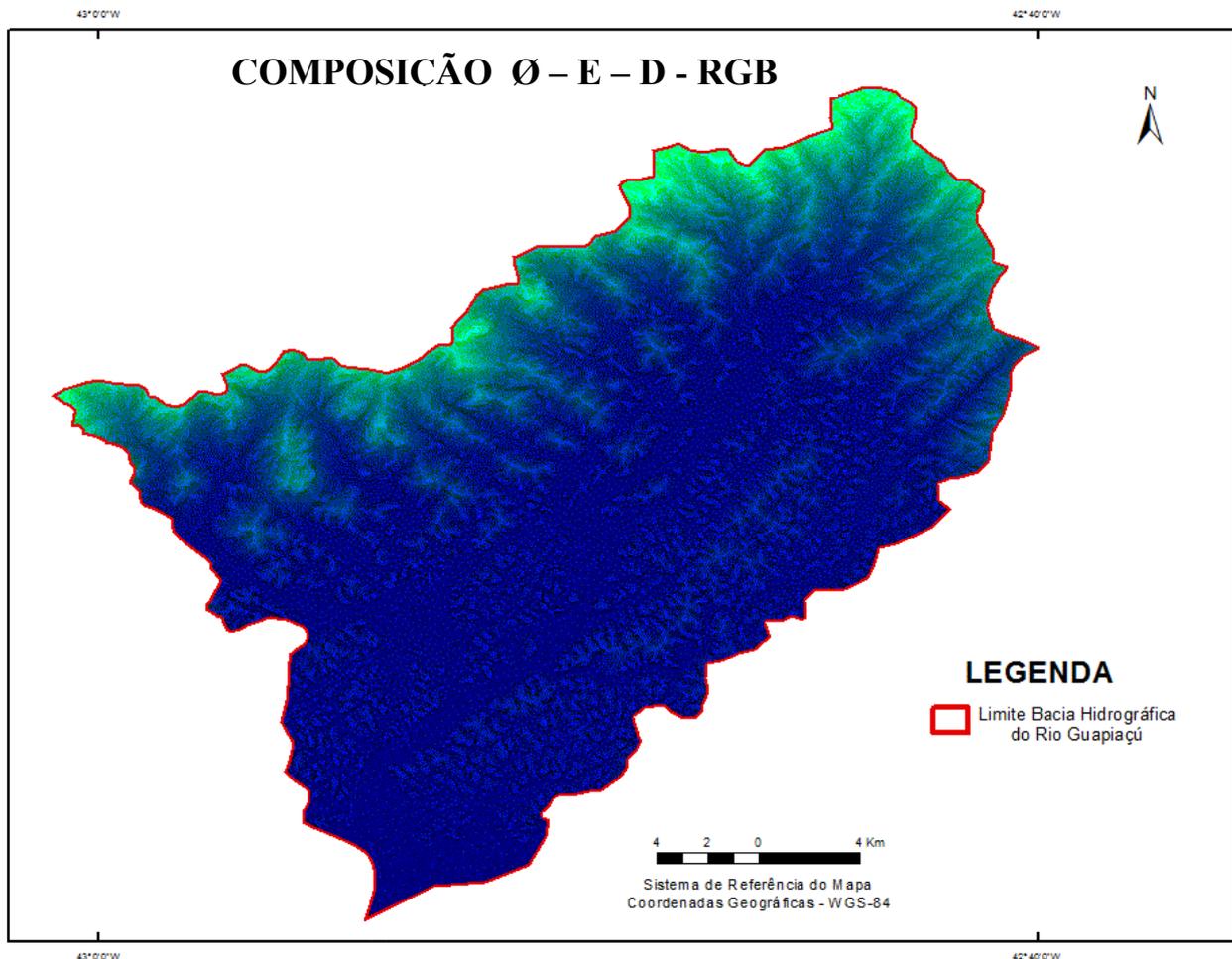


Figura 56 – Mapa da composição Ø - E - C.

5.3.17. Composição Ø - C - E – Modelo RGB

A composição representada na figura 57, o R não foi representado, o G foi representado pela variável curvatura e o B foi representado pela elevação.

A imagem representa, principalmente, tons verdes. Essa composição fornece uma impressão de uma rugosidade, talvez maior do que a superfície possua. A coloração verde está presente nas quatro classes: planícies, colinas, morros e serras. As áreas mais baixas, as planícies, nesta composição não apresentam uma boa distinção, sendo representadas numa tonalidade muito próxima a das outras classes. As bordas das quatro classes não são bem delineadas e parece haver uma diminuição, principalmente, das áreas representativas das serras e dos morros. Embora fazendo uma análise entre coloração e textura a segunda fornece uma melhor percepção na visualização das classes. As serras além das tonalidades verdes também possuem mais para o topo uma pigmentação em tons de azul, mas essa pigmentação não traduz muita significância para o delineamento dessas feições. As transições entre as classes são pouco representativas.

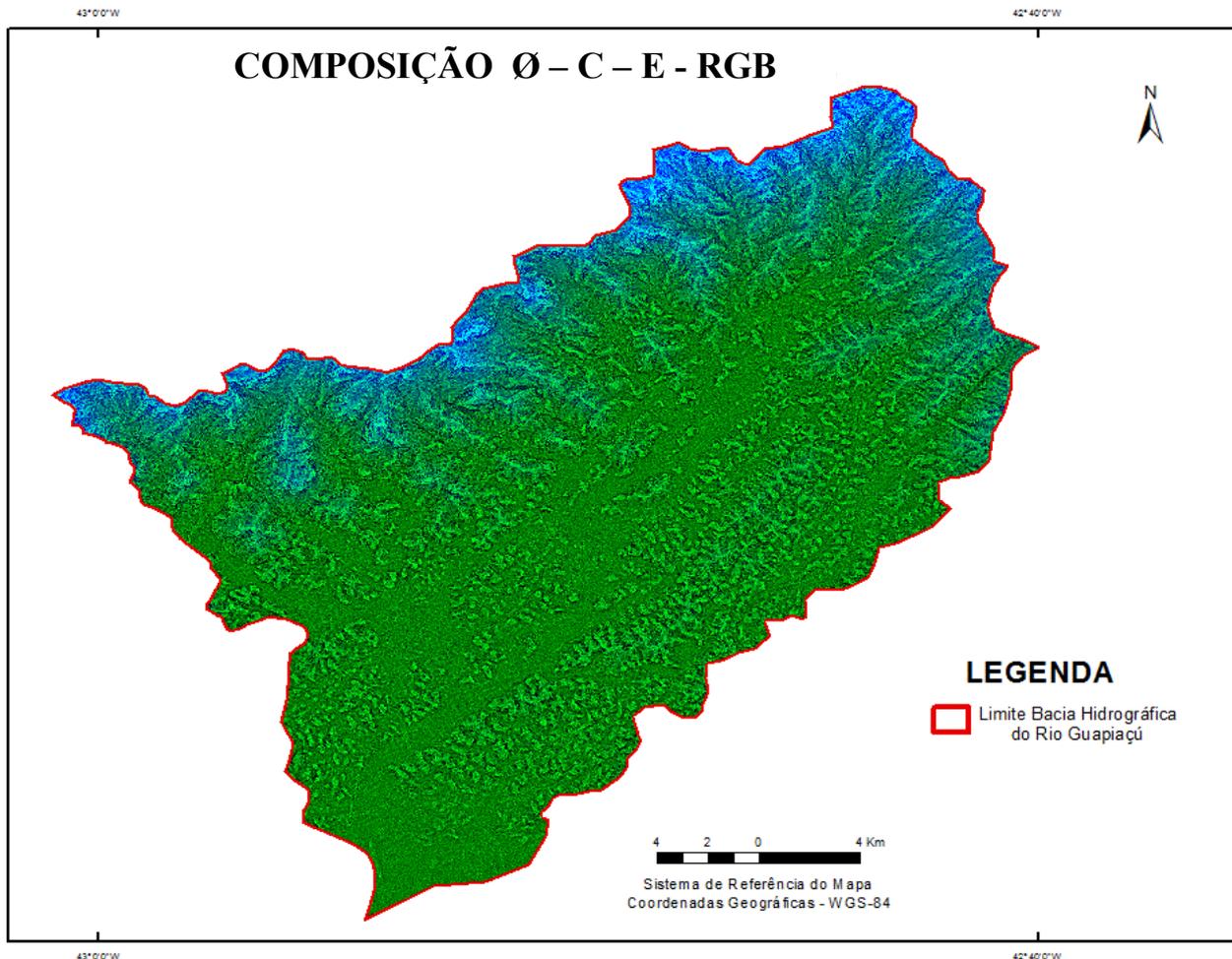


Figura 57 – Mapa da composição Ø - C - 1.

5.3.18. Composição Ø - C - D – Modelo RGB

A composição representada na figura 58, o R não foi representado, o G foi representado pela variável curvatura e o B foi representado pela declividade.

A imagem representa por tons verdes e azuis. Essa composição fornece também uma impressão de uma rugosidade, talvez maior do que a superfície possua. A coloração verde está presente nas quatro classes, planícies, colinas, morros e serras. As áreas mais baixas, as planícies, nesta composição, apresentam uma boa distinção, mesmo sendo representadas numa tonalidade muito próxima a das outras classes. As bordas das quatro classes não são bem delineadas e parece haver uma diminuição, principalmente, das áreas representativas das serras e dos morros. Embora fazendo uma análise entre coloração e textura a segunda fornece uma melhor percepção na visualização das classes. As serras além das tonalidades verdes também possuem mais para o topo uma pigmentação em tons de azul, e essa pigmentação nessa composição traduz uma significância maior para o delineamento dessas feições. As transições entre as classes são bastante suaves, porém, perceptíveis.

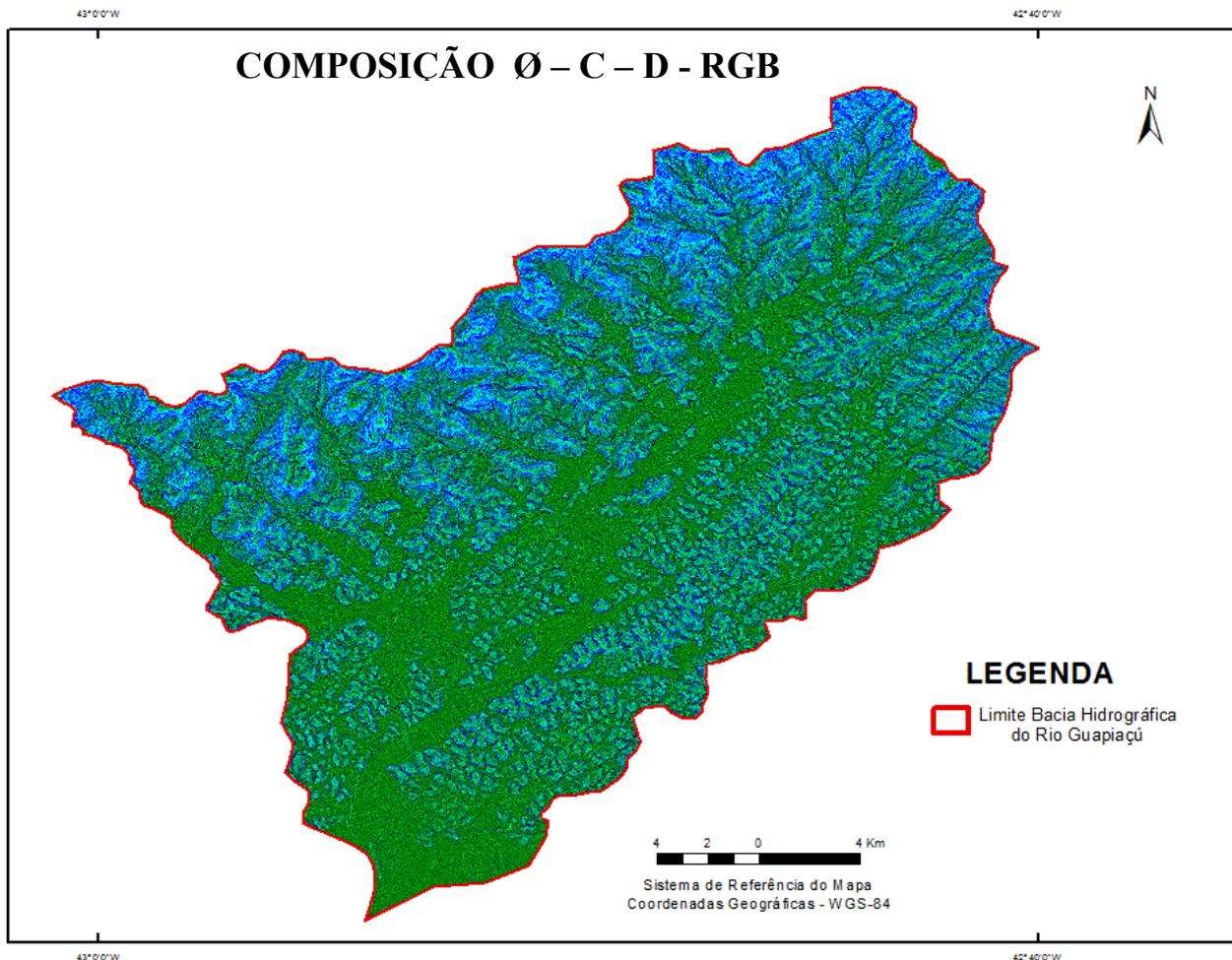


Figura 58 – Mapa da composição Ø - C - D.

5.3.19. Composição E - D - C – Modelo RGB

A composição representada na figura 59, o R foi representado pela variável elevação, o G foi representado pela declividade e o B foi representado pela curvatura.

A imagem representa, principalmente, tons verdes e azuis. A coloração azul representa as áreas mais baixas, delimitadas como planícies. A coloração azul passa por todas as feições, porém, com bastante intensidade nas planícies e menor intensidade nas serras. As serras além das tonalidades azuis podem ser mais facilmente visualizadas pela pigmentação em tons de verde e vermelho. A transição entre as classes é percebida de forma suave, porém, bem perceptível. Não há quebras abruptas entre uma classe e outra.

Esta composição, até o presente momento, fornece melhor diferenciação entre as colinas e os morros. Tanto a coloração quanto a textura favorecem aqui a distinção entre essas duas classes. Há uma diferença na tonalidade de verde entre essas duas classes, permitindo a distinção de forma visual. Numa análise geral e visual é nítida a delimitação das quatro classes. As áreas de transição apresentam-se de forma gradual, porém são percebidas facilmente.

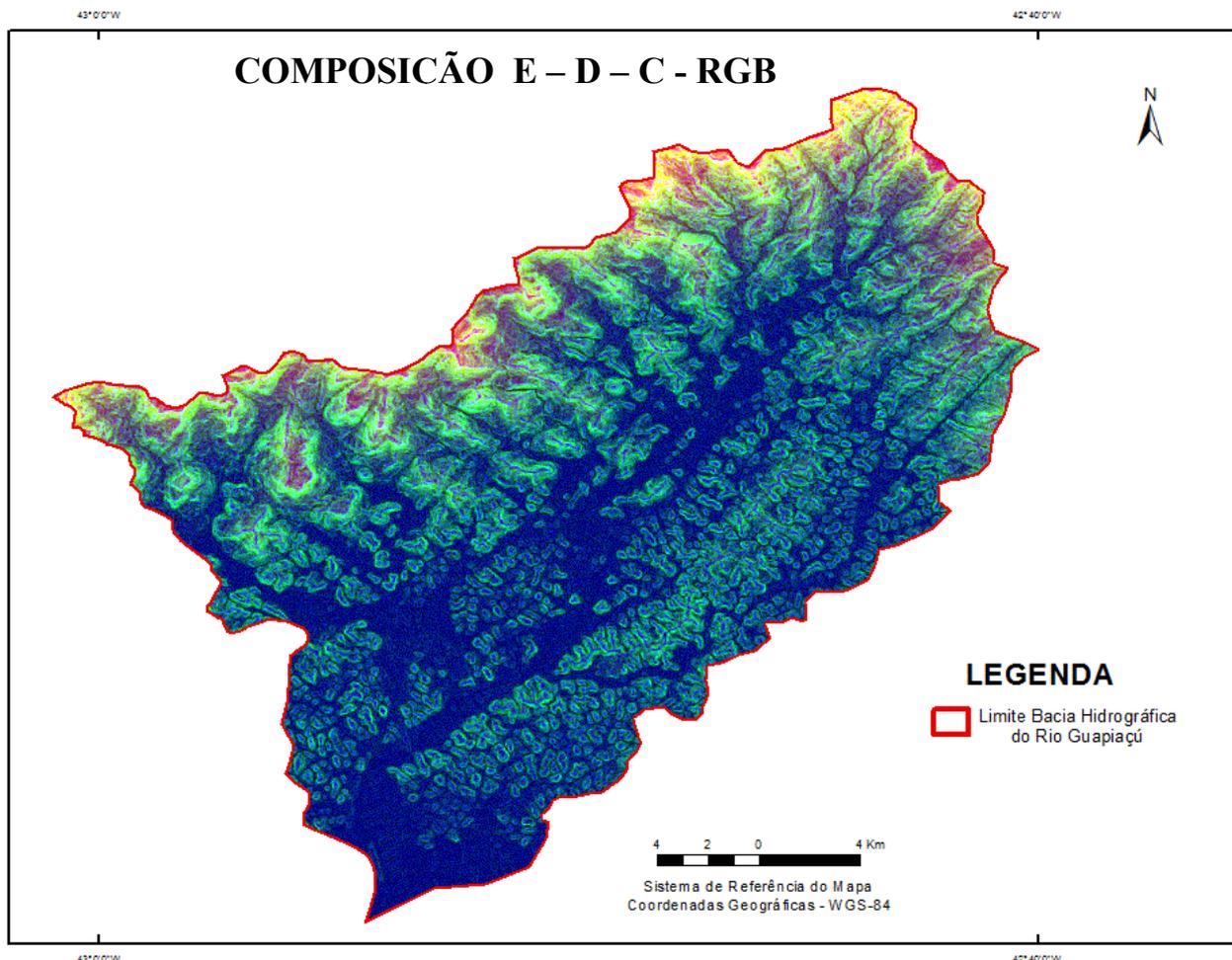


Figura 59 – Mapa da composição E - D - C.

5.3.20. Composição D - E - C – Modelo RGB

A composição representada na figura 60, o R foi representado pela variável declividade, o G pela elevação e o B foi representado pela curvatura.

A imagem representa, principalmente, tons azuis e vermelhos. A coloração rosa está presente em três classes: colinas, morros e serras. A coloração não pode ser considerada como a melhor resposta para a identificação das feições, porém a textura produz uma boa diferenciação entre determinadas classes.

As áreas mais baixas, as planícies são representadas na coloração azul e estão bem delineadas visualmente. As serras apresentam tonalidades rosas mais marcantes nas bases e no topo apresenta tonalidades verdes. O delineamento dessas feições é marcante nesta composição. Na verdade, o delineamento de todas as feições é bem marcado. As transições também são mais marcadas, embora, não muito delineadas.

A princípio, sem uma análise mais detalhada, é possível identificar a diferenciar as quatro classes, deixando bem visível as feições geomorfológicas.

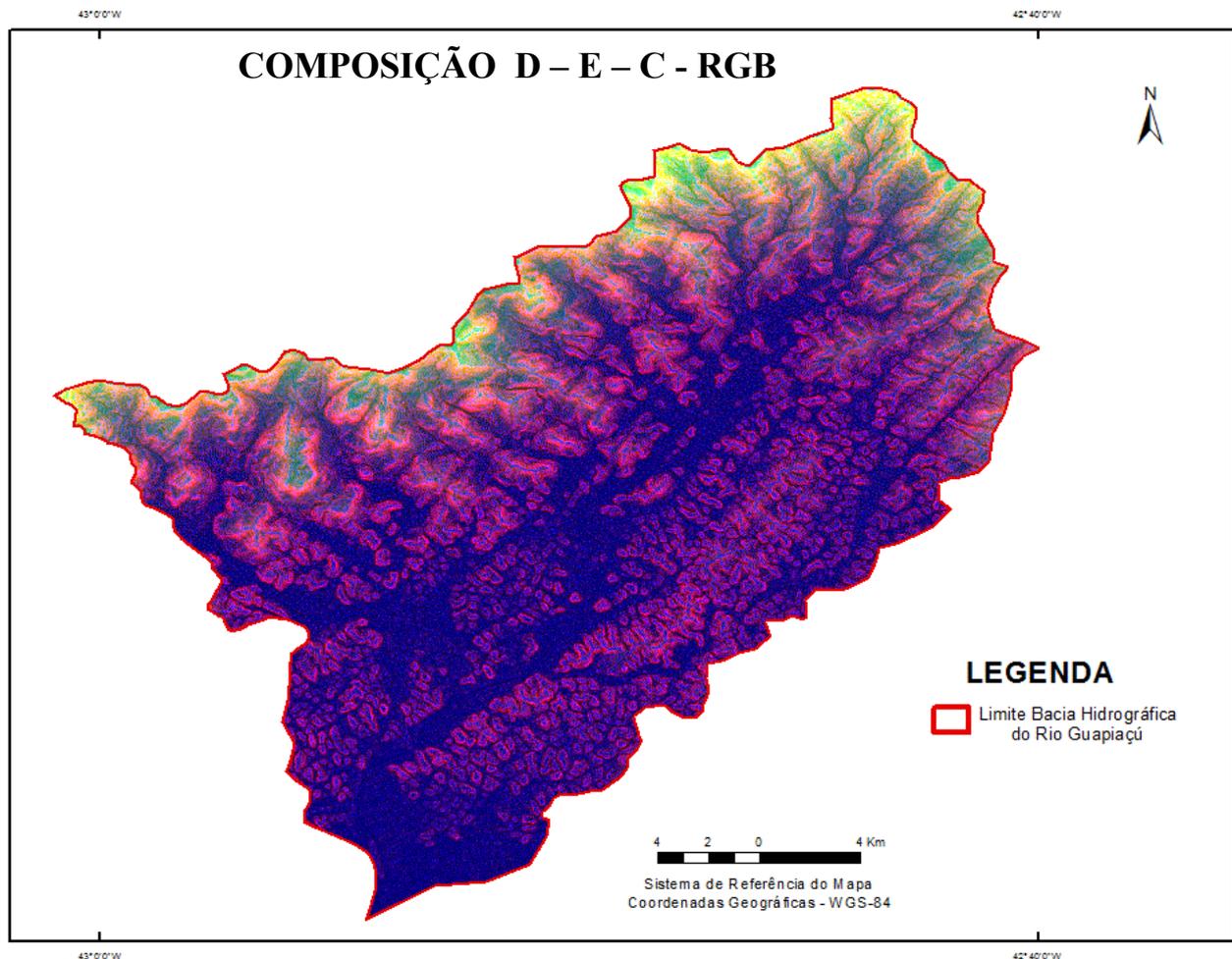


Figura 60 – Mapa da composição D - E - C.

5.3.21. Composição C - E - D – Modelo RGB

A composição representada na figura 61, o R foi representado pela variável curvatura, o G pela elevação e o B foi representado pela declividade.

A imagem representa, principalmente, tons vermelhos. A coloração rosa está presente em todas as quatro classes de planície, colinas, morros e serras. A coloração não pode ser considerada como a melhor resposta para a identificação das feições, porém a textura está produzindo uma melhor diferenciação entre determinadas classes.

As áreas mais baixas, as planícies não estão bem delineadas visualmente. Coloridas em tons vermelhos, as planícies podem ser visualizadas facilmente. As serras apresentam tonalidades rosas, azuis e verdes e o delineamento das feições é pouco perceptível. O delineamento de todas as feições não é bem marcado, dando a impressão que há uma continuidade, ou melhor transição quase nula entre uma classe e outra.

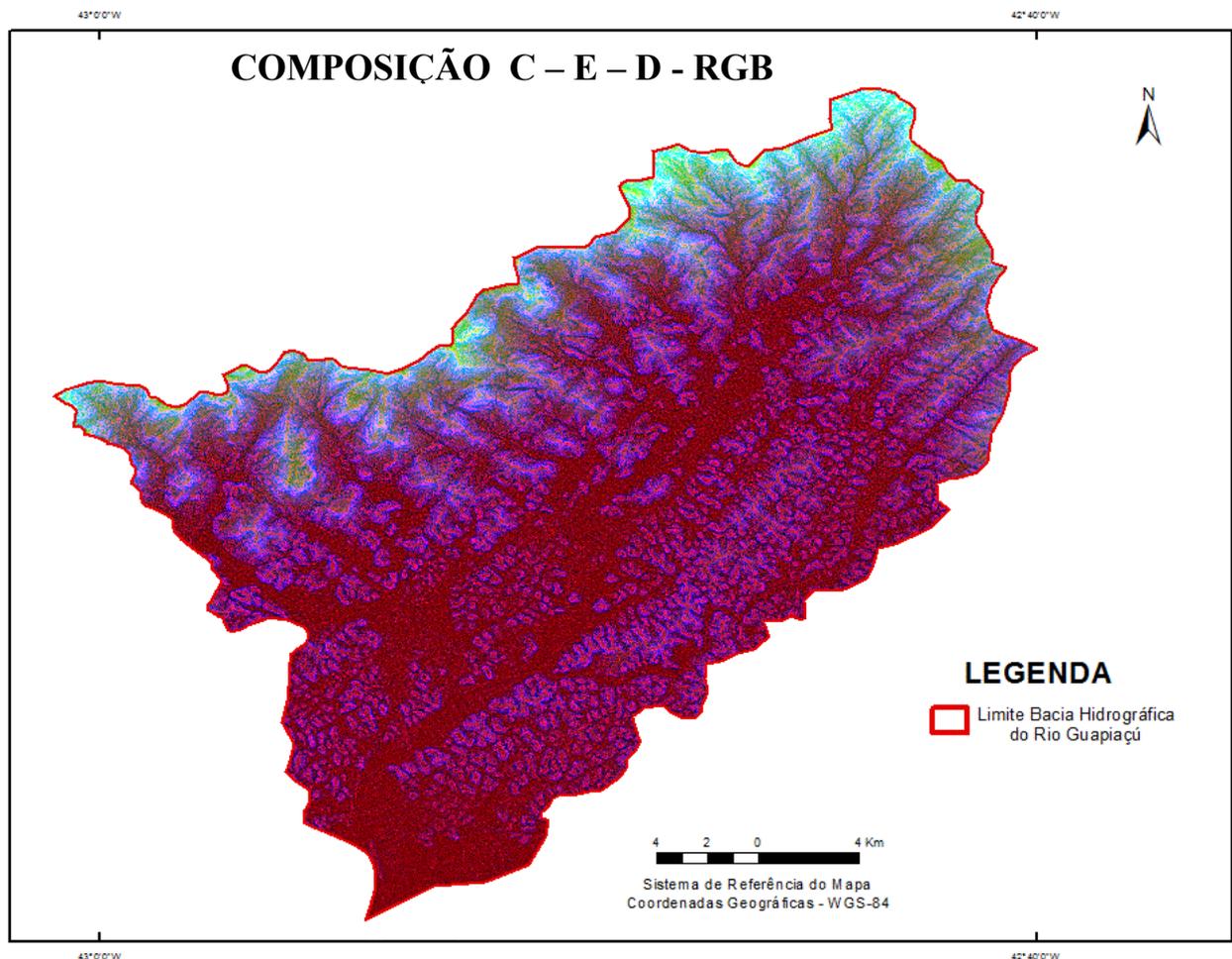


Figura 61 – Mapa da composição C - E - D.

5.3.22. Composição E - C - D – Modelo RGB

A composição representada na figura 62, o foi representado pela variável elevação, o G pela curvatura e o B foi representado pela declividade.

A imagem representa, principalmente, tons verdes. Essa composição fornece uma impressão de uma rugosidade, talvez maior do que a superfície possua. A coloração verde está presente nas quatro classes: planícies, colinas, morros e serras. As áreas mais baixas, as planícies, nesta composição, apresentam uma boa distinção, mesmo sendo representadas numa tonalidade muito próxima a das outras classes. As bordas das quatro classes não são bem delineadas e parece haver uma diminuição, principalmente, das áreas das serras e dos morros. Embora fazendo uma análise entre coloração e textura a primeira fornece uma melhor percepção na visualização das classes. As serras além das tonalidades verdes também possuem mais para o topo uma pigmentação em tons de azul e rosa, e essa pigmentação, nessa composição, não traduziu maior significância para o delineamento dessas feições. As transições entre as classes são bastante suaves, porém, perceptíveis.

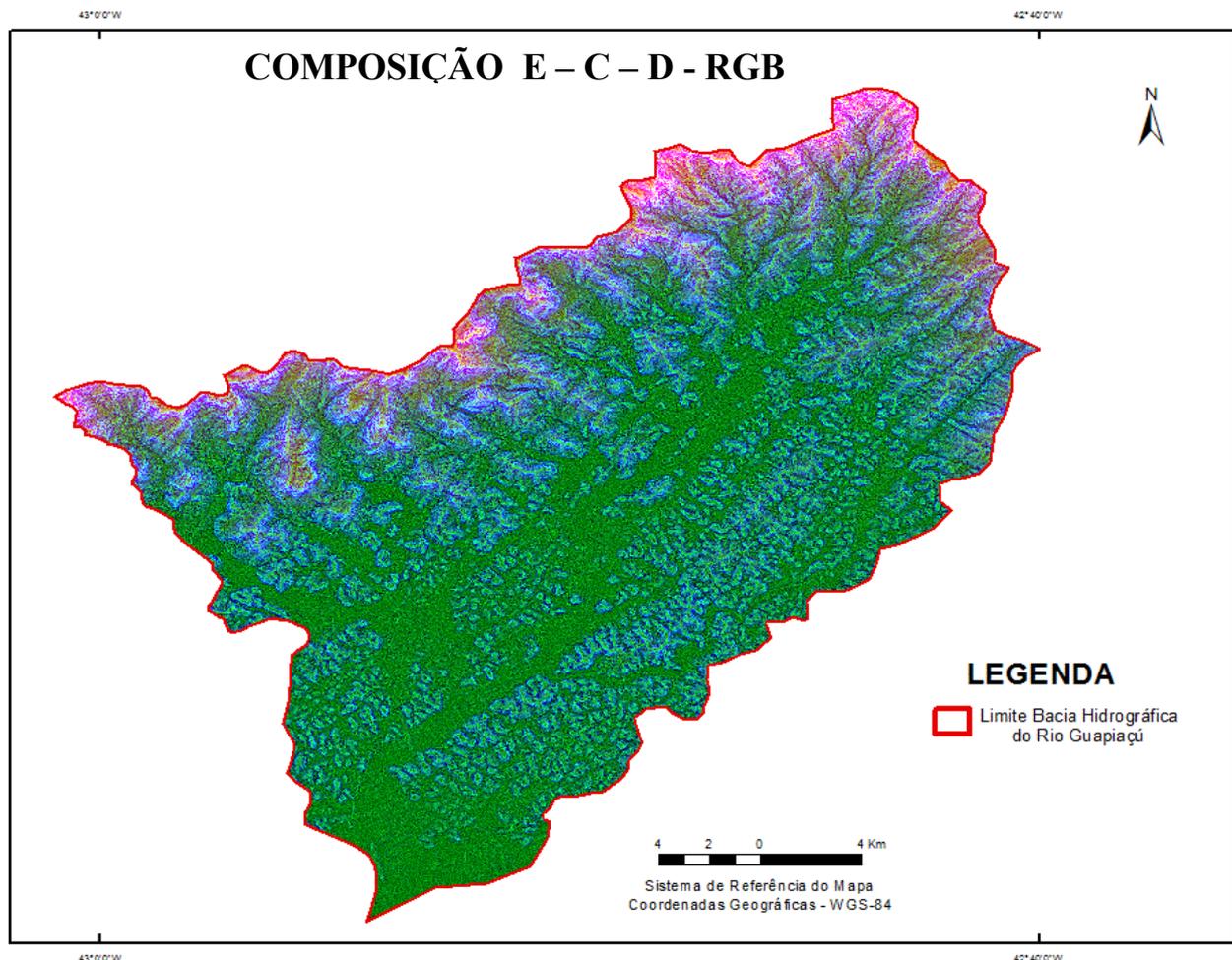


Figura 62 – Mapa da composição E - C - D.

5.3.23. Composição D - C - E – Modelo RGB

A composição representada na figura 63, o R foi representado pela variável declividade, o G pela curvatura e o B foi representado pela elevação.

A coloração verde está presente em todas as quatro classes, planície, colinas, morros e serras, diminuindo sua intensidade de acordo com a elevação. O verde atua inversamente em relação a coloração vermelha, quanto mais alta a área maior a intensidade da cor vermelha e nas áreas mais baixas menor a intensidade dessa cor, ou praticamente nula. Em relação a coloração verde quanto menos a altitude maior é a intensidade dessa cor e quanto maior a altitude, menos é a intensidade da coloração verde.

As áreas mais elevadas, as serras, podem ser melhor identificadas visualmente nesta figura pois a intensidade de verde praticamente desaparece dando lugar a coloração vermelha, rosa e azul, o que faz com que essa classe se destaque. A planície é facilmente identificada pela coloração predominante verde. Numa análise geral e visual a delimitação das quatro classes nessa composição resultou, de certa forma, numa razoável identificação das feições.

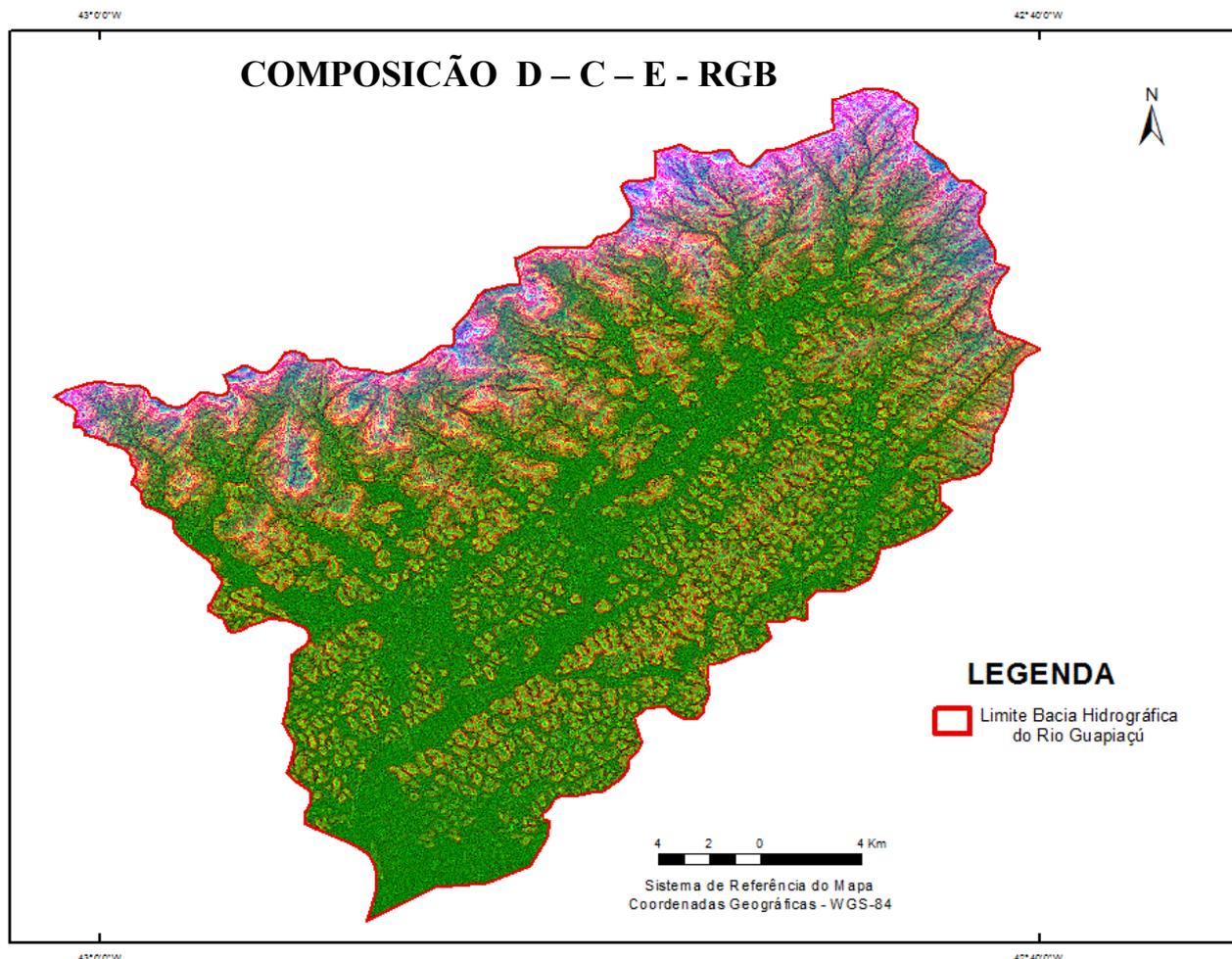


Figura 63 – Mapa da composição D - C - E.

5.3.24. Composição C - D - E – Modelo RGB

A composição representada na figura 64, o R foi representado pela variável curvatura, o G pela declividade e o B foi representado pela elevação.

A imagem representa, principalmente, tons vermelhos. A coloração vermelha está presente em todas as quatro classes: planície, colinas, morros e serras, diminuindo sua intensidade de acordo com a elevação. O verde atua inversamente a coloração vermelha. Quanto maior a altitude, menor a intensidade da cor vermelha e nas áreas mais baixas menor, ou praticamente nula, é a intensidade da cor verde.

As áreas mais elevadas, as serras, podem ser melhor identificadas visualmente nesta figura pois a intensidade de vermelho se junta a coloração verde e azul, o que faz com que essa classe se destaque.

A planície é facilmente identificada pela coloração predominante vermelha. Numa análise geral e visual, esta composição também permitiu a verificação das quatro classes e resultou, de certa forma, numa razoável identificação das feições.

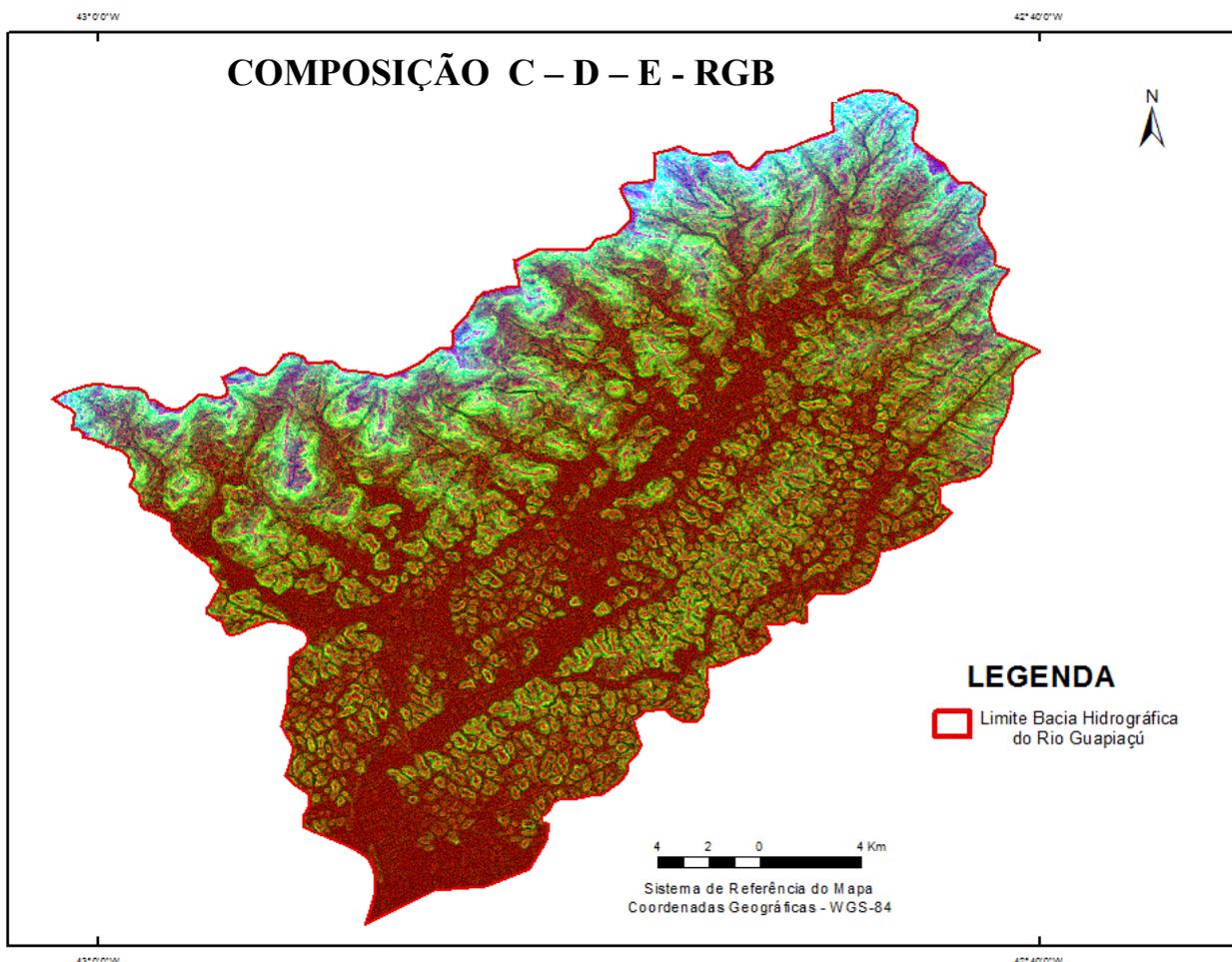


Figura 64 – Mapa da composição C - D - E.

5.4. Análise dos Mapas de Cores

A análise preliminar da área da bacia a partir das 24 composições realizadas resultou na tabela 2, que apresenta numa escala qualitativa, B para a classificação boa, M para média ou R para ruim. Os elementos seleccionados para avaliação da representatividade das feições do relevo foram: cor, textura, forma e percepção das áreas de transição.

Tabela 2 – Elementos de análise para auxílio da compartimentação do relevo. Em hachura cinza o resultado das melhores composições e em amarelo o resultado das piores.

COMPOSIÇÃO RGB	COR	TEXTURA	FORMA	ÁREAS DE TRANSIÇÃO
E-D-Ø	B	B	R	R
D-E-Ø	M	M	M	M
D-C-Ø	R	M	R	R
E-C-Ø	R	B	M	M
C-E-Ø	R	M	R	R
C-D-Ø	M	B	B	M
C-Ø-E	R	M	R	R
C-Ø-D	M	M	M	M
D-Ø-E	M	B	R	M
D-Ø-C	R	M	R	M
E-Ø-D	R	M	R	R
E-Ø-C	R	M	R	R
Ø-D-C	R	M	M	R
Ø-D-E	M	M	M	M
Ø-E-D	R	M	M	R
Ø-E-C	R	M	M	R
Ø-C-E	R	M	R	R
Ø-C-D	M	B	R	M
E-D-C	M	B	B	B
D-E-C	B	B	B	B
C-E-D	M	M	M	R
E-C-D	M	R	R	M
D-C-E	M	B	M	M
C-D-E	B	B	M	M

Essa tabela também permitiu uma melhor comparação entre as imagens e a identificação da ou das melhores e piores imagens a serem utilizadas para realização da representação vetorial das quatro classes geomorfológicas (planície, colina, morro e serra).

Após a análise da tabela pode-se verificar que a imagem oriunda da composição E-Ø-C obteve a pior combinação, apresentado um resultado conceituado, no geral, como ruim para todos os elementos. Em contraposição as imagens com as combinações D-E-C e E-D-C obtiveram os melhores resultados na análise dos elementos. Porém, como foi a composição D-E-C (Figura 60) a que obteve o maior número de avaliações positivas ela foi a selecionada para a classificação das feições do relevo. Esta composição permitiu o delineamento e destaque das quatro diferentes unidades, além de proporcionar a visualização das áreas de transição entre as feições.

No geral, ao analisar as figuras 65, 66, 67 e 68, pode se concluir que os resultados das combinações foram bastantes satisfatórios, uma vez que, a maioria das imagens obteve uma avaliação mediana. De acordo com a figura 66, que relaciona as quantidades de amostras versus a qualificação de cada uma delas, o elemento textura foi a que produziu resultados mais satisfatórios. A cor e a forma produziram resultados iguais o que corrobora a questão de que as formas estão intimamente relacionadas com a coloração das feições. E, por fim, em relação ao exame da percepção das áreas de transição, as mesmas não são de fáceis percepção e muitas imagens não permitem a identificação delas. O que pode estar relacionado com o fato de que quase todos os mapeamentos geomorfológicos não têm a preocupação da representação desses segmentos em conjunto com o reconhecimento das feições geomorfológicas.

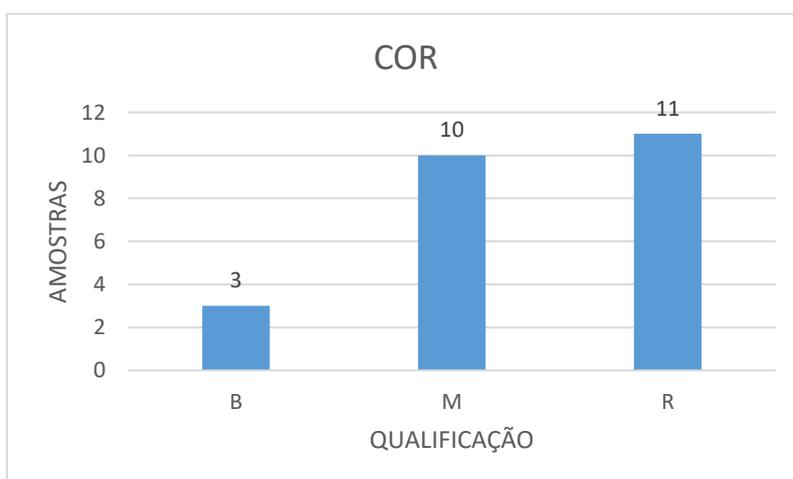


Figura 65 – Relação entre o número de amostras relacionadas a cor e suas respectivas qualificações (B – Bom; M – Média; R – Ruim).

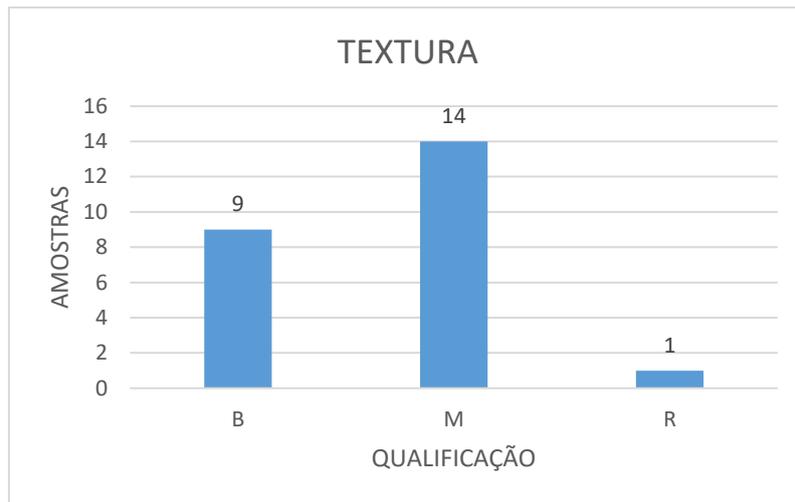


Figura 66 – Relação entre o número de amostras relacionadas a textura e suas respectivas qualificações (B – Bom; M – Média; R – Ruim).

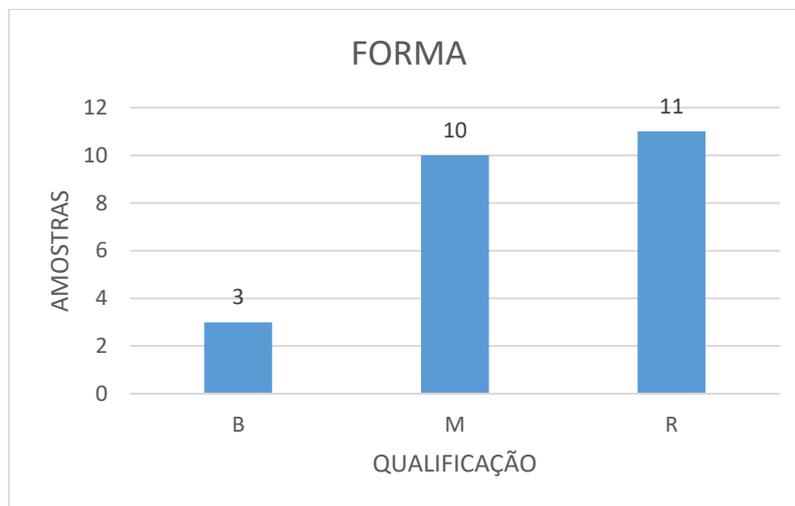


Figura 67 – Relação entre o número de amostras relacionadas a forma e suas respectivas qualificações (B – Bom; M – Média; R – Ruim).

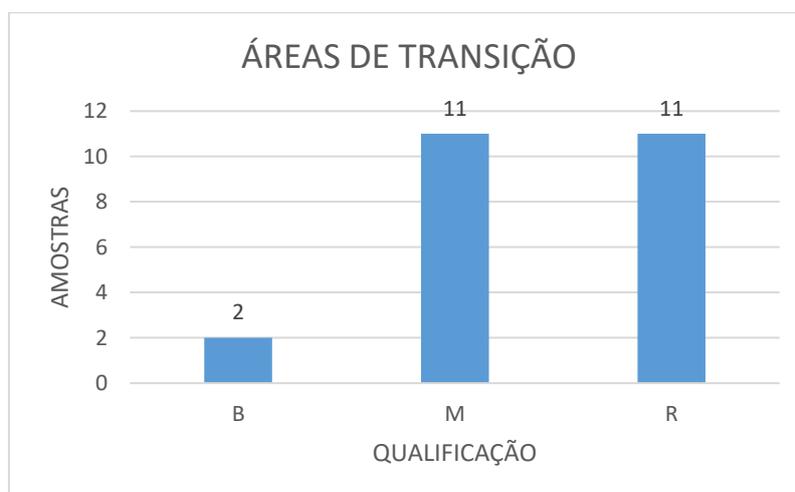


Figura 68 – Relação entre o número de amostras relacionadas a percepção das áreas de transição e suas respectivas qualificações (B – Bom; M – Média; R – Ruim).

6. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DO MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DA BACIA DO RIO GUAPIAÇÚ

Ab'Saber (1969) expõe que, ao se analisar uma boa carta topográfica ou um grupo de fotografias aéreas de escala apropriada, pode-se verificar uma apreciável ideia da compartimentação territorial. A partir desta colocação, percebe-se que já em 1969 era possível ter uma boa noção da importância de cartas e imagens no processo de compartimentação do relevo, e que, atualmente, tem sido favorecida cada vez mais com a evolução dos sistemas computacionais.

A partir do MDE ASTER-GDEM com resolução de 30 metros, os mapas de atributos morfométricos de elevação, declividade e curvatura foram confeccionados e, após a geração destes mapas, foi utilizada a técnica de composição colorida, através do modelo espaço cor RGB, que permitiu realçar as feições do relevo e, posteriormente reconhecer diferentes unidades geomorfológicas.

Após a análise das vinte e quatro composições oriundas do modelo RGB das variáveis declividade, elevação e curvatura, a combinação D-E-C (Figura 60) foi selecionada como melhor resultado para identificação das formas do relevo. De posse da imagem, o próximo passo foi delimitar as feições reconhecidas na imagem selecionada e classificá-la segundo as distintas morfologias presentes na bacia: serra, morro, colina ou planície.

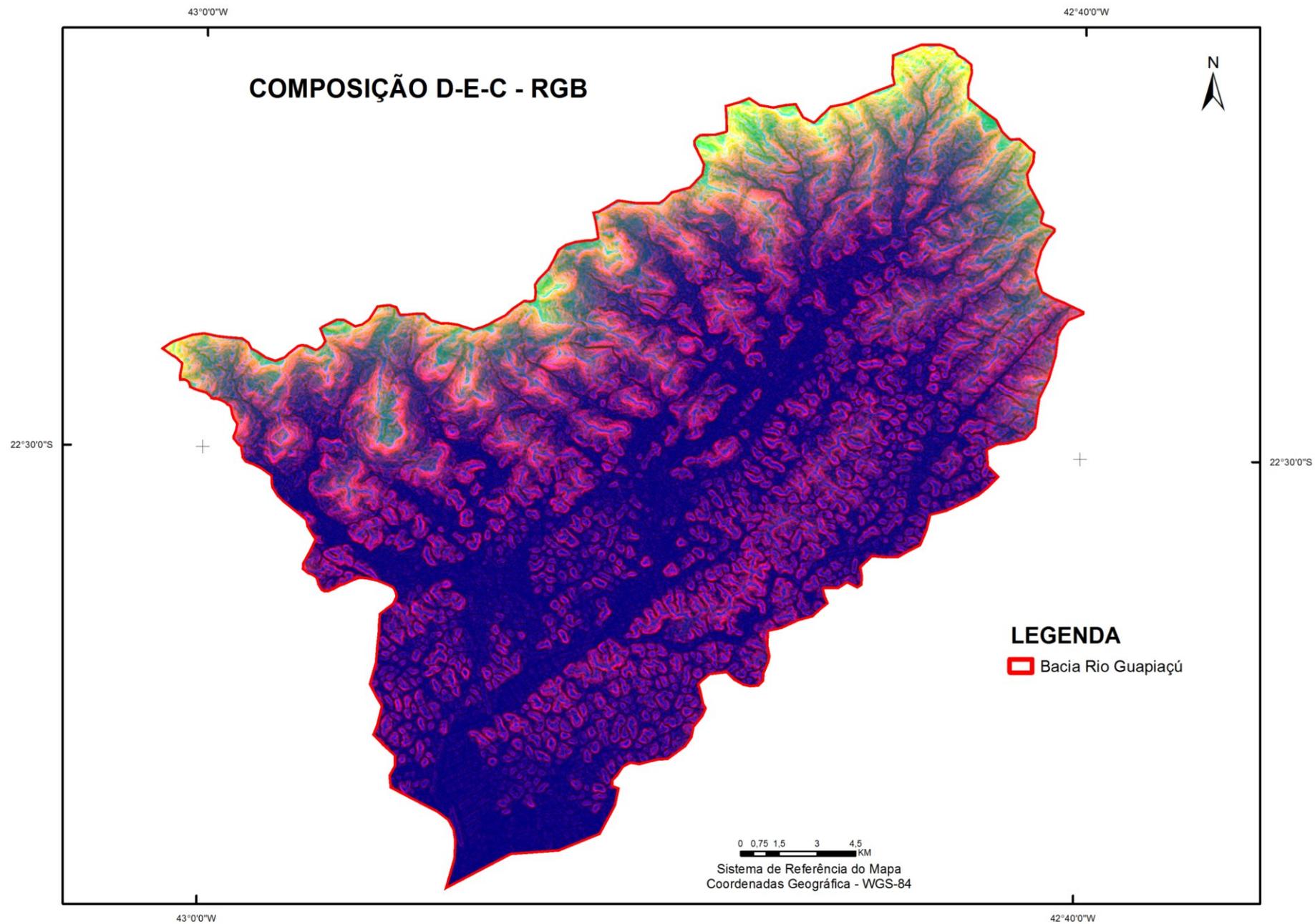


Figura 60 – Mapa de cores oriundo da composição D - E - C da bacia do rio Guapiaçú

6.1. Os Mapeamentos Geomorfológicos da Bacia do Rio Guapiaçú

a) Classificação Manual

A metodologia adotada permitiu identificar as seguintes unidades geomorfológicas: planícies, colinas, morros e serras, conforme mostra o mapa (Figura 69).

O processo de delimitação manual das feições do relevo dentro da área da bacia foi desenvolvido a partir da digitalização manual, que gerou um mapa de estrutura vetorial, a partir da percepção visual das formas utilizando, principalmente, a coloração. Vale ressaltar que além da interpretação visual utilizou-se, também, o Modelo Digital de Elevação oriundo do ASTER e os conhecimentos sobre a área de estudo como auxílio para realização deste mapeamento. Outro ponto importante a ser levado em consideração é que, embora tenha se realizado esse mapeamento de forma manual, o que se deseja nesse trabalho é a automatização deste processo utilizando para isto métodos de segmentação pelo atributo cor do pixel. No entanto, como a técnica de segmentação a partir do atributo cor do pixel, utilizando aplicativos de processamento digital de imagem, é uma metodologia inovadora na área de mapeamento geomorfológico, o mapa oriundo deste processo serviu para realização da comparação entre diferentes técnicas de mapeamento e verificar se a proposta inicial (segmentação atributo cor pixel) gerou ou não um produto condizente com as formas que podem ser encontradas na bacia. Ou ainda, averiguar se outras técnicas podem produzir resultados mais satisfatórios.

Essa técnica forneceu, de forma geral, resultados satisfatórios, no entanto, a delimitação das feições de forma manual só se tornou viável neste trabalho por conta do reduzido tamanho da área de estudo. Caso fosse necessário mapear uma área de maior extensão, como por exemplo, a do Estado do Rio de Janeiro, o tempo gasto nesse processo seria um tanto quanto absurdo comparado a rapidez que o avanço tecnológico nos permite atualmente com a utilização de técnicas automáticas. Sabemos que, embora seja um processo que pode ser considerado obsoleto, por conta do tempo gasto para produzi-lo, este fato não inviabiliza a produção de mapas geomorfológicos manualmente e nem tão pouco retira a boa qualidade com que eles podem ser produzidos. Lembrando que essa qualidade estará diretamente relacionada a habilidade e dedicação do pesquisador que está desenvolvendo o trabalho manual.

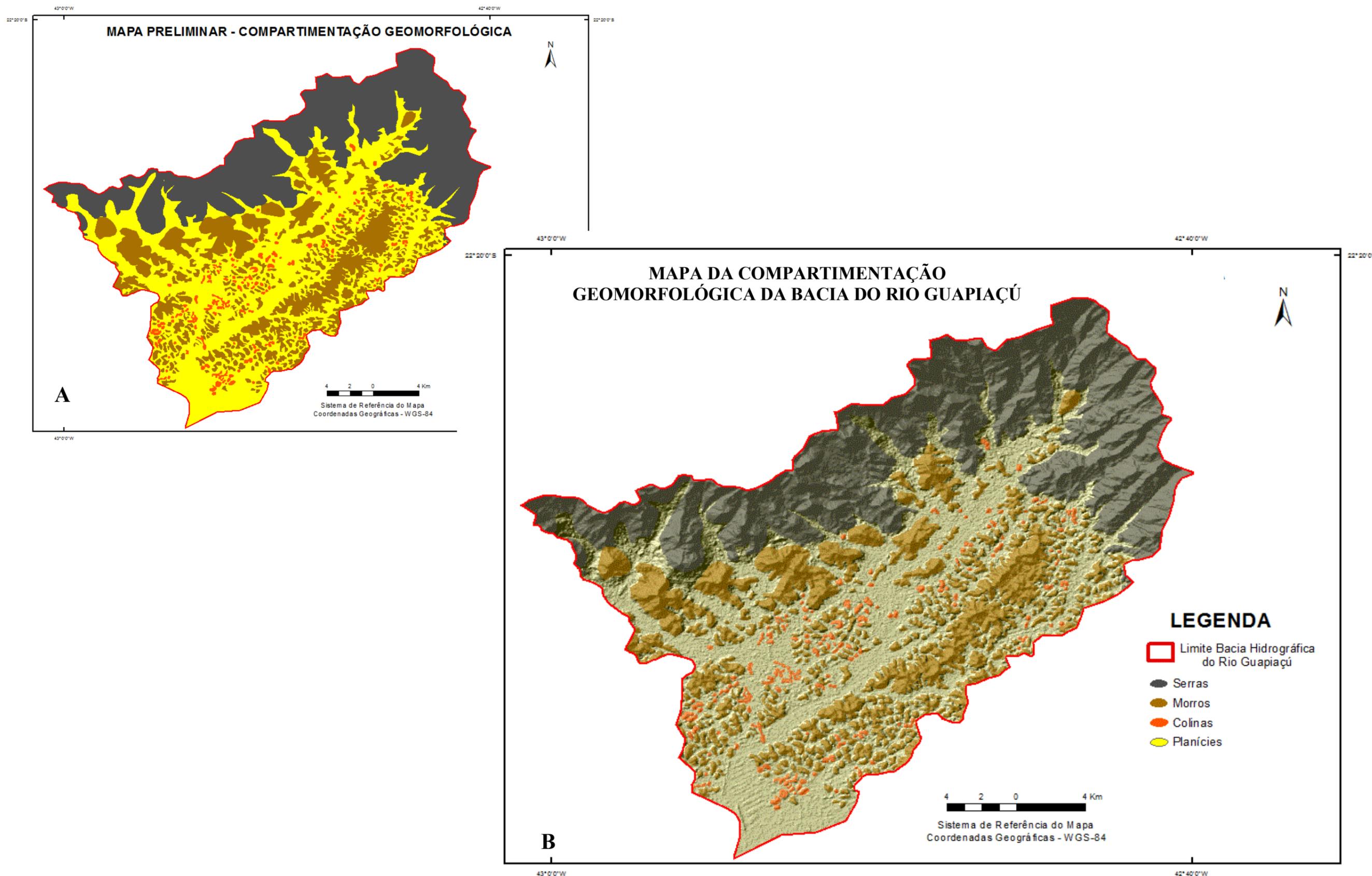


Figura 69 - Mapas geomorfológicos da bacia do rio Guapiacú a partir da classificação manual: A – Mapa geomorfológico da bacia do rio Guapiacú; B - Mapa geomorfológico da bacia do rio Guapiacú sobreposto ao MDE ASTER-GDEM.

Argento em seu capítulo descritivo sobre mapeamento geomorfológico em Guerra e Cunha (2001), traz significativas considerações acerca desses mapeamentos quando instiga ao pesquisador refletir sobre que por si só as modernas tecnologias disponíveis para elaboração de mapeamentos temáticos não garantem um produto eficiente. Este autor ainda salienta que uma boa base conceitual em Geomorfologia, uma legenda adequada a escala e uma eficiente interpretação visual das formas de relevo e de seus respectivos processos geradores, requisitos para desenvolvimento da técnica manual, são condições fundamentais para a elaboração de um bom mapeamento geomorfológico.

No mapeamento manual realizado, as planícies e as serras são as feições de maior representatividade dentro da área da bacia. O que afirma o que os estudos preliminares apontavam: uma área de forte contraste morfológico dentro da bacia da área de estudo. As colinas possuem menor representatividade e os morros uma média representatividade. Embora tenha sido de fácil percepção a identificação das áreas de transição na composição selecionada como base para obter o contorno das feições morfológicas, o método de digitalização manual não permitiu a representação dessas áreas.

Identificar os limiares das áreas de transição, que teoricamente não deveriam existir, se tornou uma difícil tarefa, uma vez que conseguir demarcar, com uma mínima precisão essas áreas, muitas vezes pode acarretar na maximização ou minimização das feições ao entorno delas. A representação do fim da área de transição e início de uma outra feição acaba por sendo dada através de tonalidades de uma mesma cor. Fato muito relevante para observar as áreas de transição, mas, muito complicado para permitir o mapeamento a partir percepção da visão humana. A percepção das diferentes tonalidades das cores está subordinada aos estímulos, ao equipamento fisiológico e as condições psicológicas, podendo desta forma variar significativamente de uma pessoa para outra, não se tornando, portanto, uma forma confiável para determinação de limites. Assim, acredita-se que a técnica de representação a partir do pixel possa ser eficiente na geração dessas áreas. Diante desses fatos, optou-se por não representar nesta classificação as áreas de transição em conjunto com as feições geomorfológicas.

b) Classificação Não Supervisionada

A produção digital de mapas geomorfológicos possui diversas vantagens sobre os mapas realizados manualmente, entre elas a rapidez e facilidade proporcionada pela automatização da classificação e a versatilidade para mudar os intervalos de classes.

A classificação utilizada para delimitar as feições do relevo foi a partir do método de análise não supervisionado, uma vez que as diferentes unidades do relevo foram identificadas a partir de um conjunto de valores prévios selecionados pelo pesquisador, uma análise baseada em conhecimento.

Essas técnicas de classificação automática ou semi-automática de imagens baseiam-se puramente nos valores dos pixels e são conhecidas como classificação como pixel a pixel. Nesta metodologia, embora estivéssemos tentando trabalhar com a coloração do pixel, o valor dos pixels (os Zs) foram os obtidos na geração das classes das variáveis. Ou seja, foram utilizados os valores de altimetria/elevação, declividade e curvatura e não o valor final da cor do pixel apresentado na composição D-E-C. Desta forma, nesta metodologia as diferentes composições criadas sempre resultarão na mesma delimitação e classificação das feições geomorfológicas. Este fato ocorre porque o valor utilizado para determinar as classes é o valor original do pixel de entrada, valor de elevação, valor de declividade e valor de curvatura. Supondo que o mesmo pixel obtenha valor 1 para elevação, 2 para declividade e 0 para curvatura, toda vez que o processador encontrar esses valores para realizar o cruzamento, irá colorir o pixel de uma determinada cor X, independente da forma com que estes dados estão sendo apresentados nas diferentes combinações RGB. Ou seja, o valor do pixel de entrada permanece igual e, portanto, a classificação será a mesma. Assim, se escolher a combinação D-E-C ou C-E-D, independente da coloração final, o mapa de compartimentação geomorfológica resultante será igual, pois os valores iniciais das variáveis de entrada continuam os mesmos.

Embora esta metodologia tenha sido utilizada ela exclui um dos objetivos iniciais da pesquisa, o de trabalhar com a compartimentação geomorfológica a partir da coloração do pixel. É uma metodologia, atualmente, muito utilizada em vários trabalhos de desenvolvimento de mapeamento geomorfológico, tais como Hermuche *et al.* (2002), Borges *et al.* (2007), Vasconcelos *et al.* (2012), Sena-Souza *et al.* (2014), entre outros, por este fato é que foi realizado aqui este estudo. Após a confecção do mapa final por este método, ele serviu como produto para realizar a comparação entre os demais

mapeamentos realizados, buscando mais uma vez verificar a acurácia da segmentação proposta nesta pesquisa.

Um fato muito importante a ser levantado e que a realização deste mapeamento permitiu foi a representatividade das áreas de transição entre uma classe e outra. Este item é de suma importância, uma vez que a maioria das feições não possuem um contato abrupto entre uma classe e outra, fato tal que é comumente representado na maioria dos mapeamentos geomorfológicos.

No geral, no mapeamento oriundo da classificação orientada a objeto (Figura 70) as planícies e as serras são, novamente, as feições de maior representatividade dentro da área da bacia. As colinas possuem menor representatividade e os morros uma média representatividade.

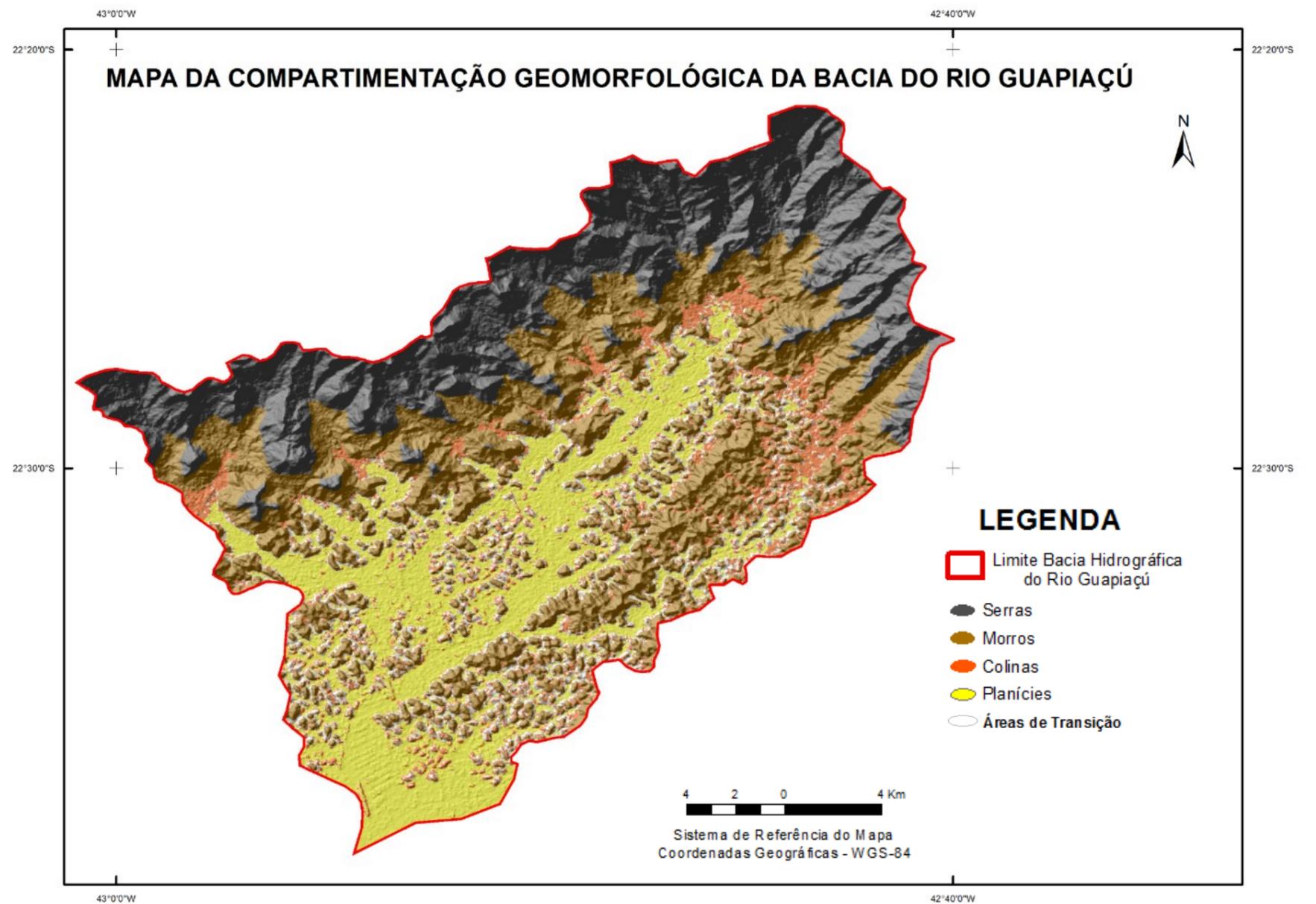
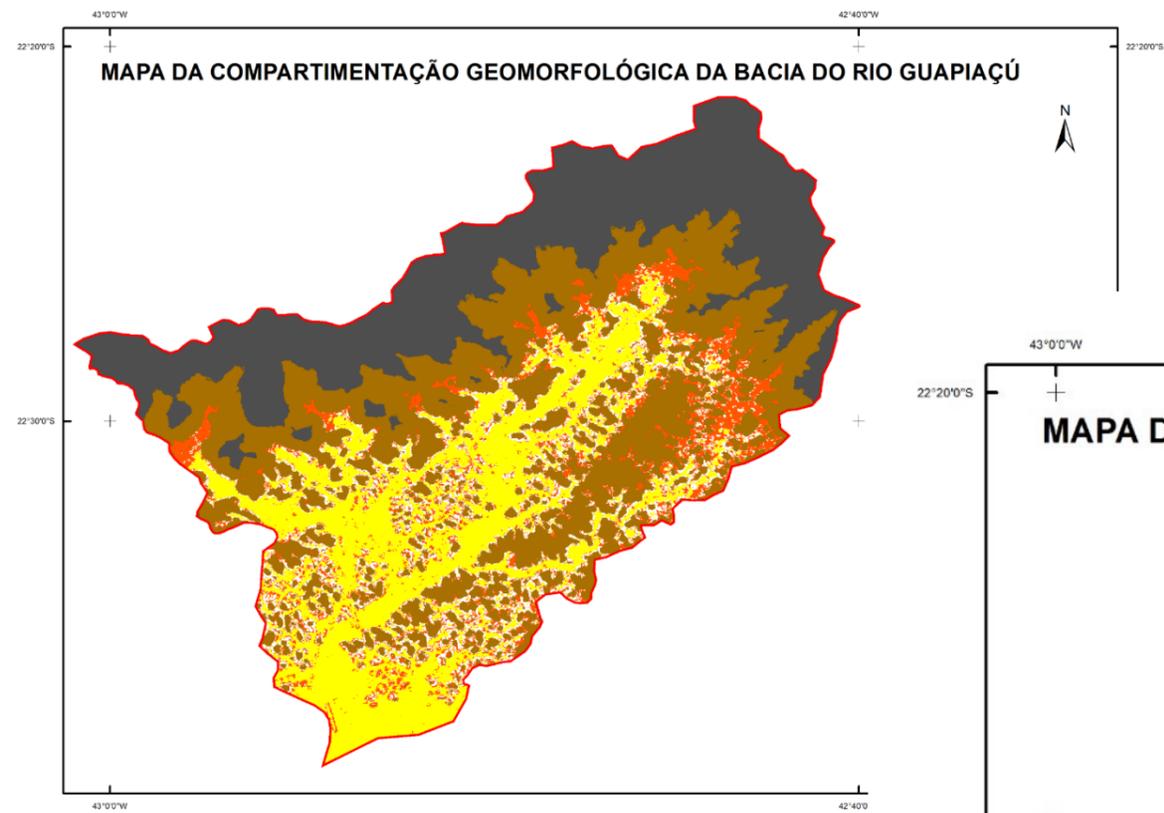


Figura 70 - Mapas geomorfológicos da bacia do rio Guapiaçu a partir da classificação não supervisionada: A – Mapa geomorfológico da bacia do rio Guapiaçu; B - Mapa geomorfológico da bacia do rio Guapiaçu sobreposto ao MDE ASTER-GDEM.

c) Segmentação Atributo Cor Pixel

Levando em consideração todos os benefícios da percepção visual e da tonalidade na identificação das feições do relevo, estas duas componentes, auxiliam na percepção do delineamento e da representatividade dos mesmos. A segmentação atributo cor pixel pode ser entendida como a classificação dos pixels presentes na imagem como pertencentes a uma das classes de cores envolvidas a partir da similaridade entre os valores de cor dos pixels. A partir da representação das cores dos pixels pode ser realizado o agrupamento das diversas cores para os quais os limiares possam processar a segmentação, uma vez que só há a separação de elementos pela cor, não há uma classificação do objeto já determinada.

Através dessa classificação foi possível alcançar os objetivos principais e iniciais da pesquisa, referentes a delimitação das feições geomorfológicas a partir do atributo cor de cada pixel. O processo de segmentação por atributo cor pixel inicial, a partir da composição D-E-C, produzir uma imagem contendo 240 cores (Figura 71).

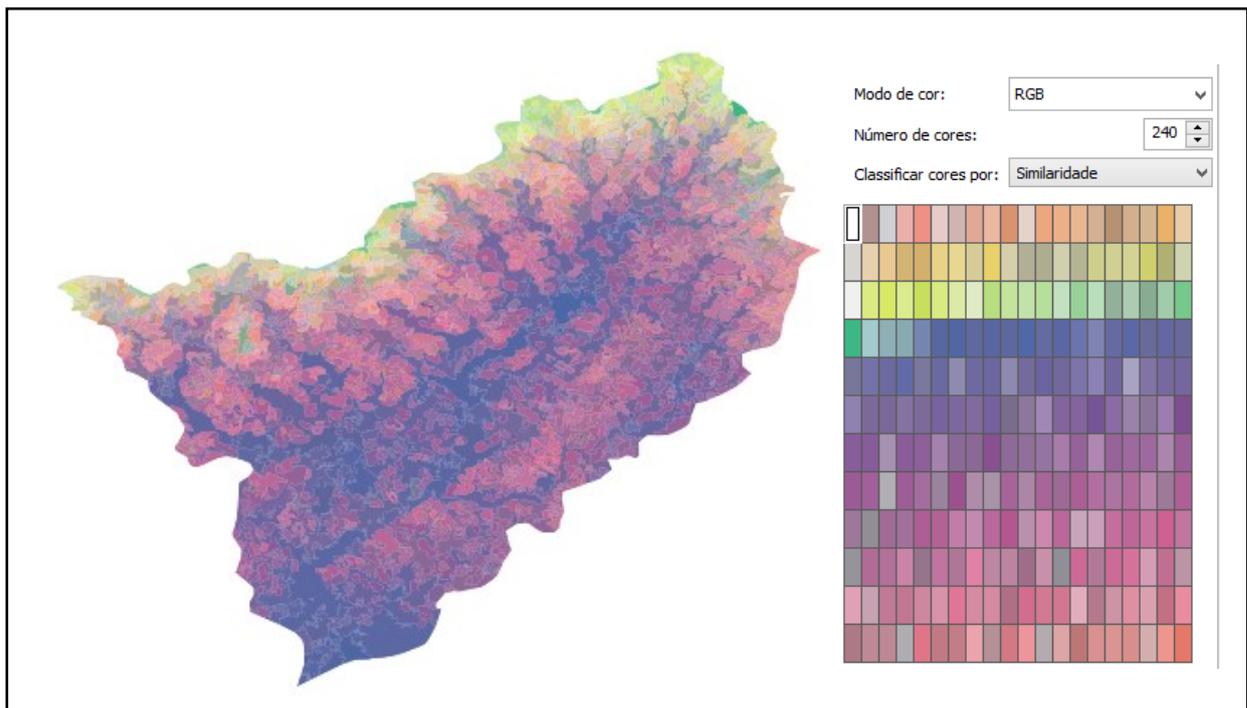


Figura 71 - Segmentação a partir do atributo cor pelo processo de similaridade.

A partir dessas 240 cores iniciou-se um processo de agrupamento das feições a partir da similaridade das cores até obter as quatro cores desejadas e que corresponderiam as quatro classes geomorfológicas desejadas, sendo elas: serra, colina, morro e planície. A figura 72 apresenta o mapa de compartimentação geomorfológica oriunda desta técnica.

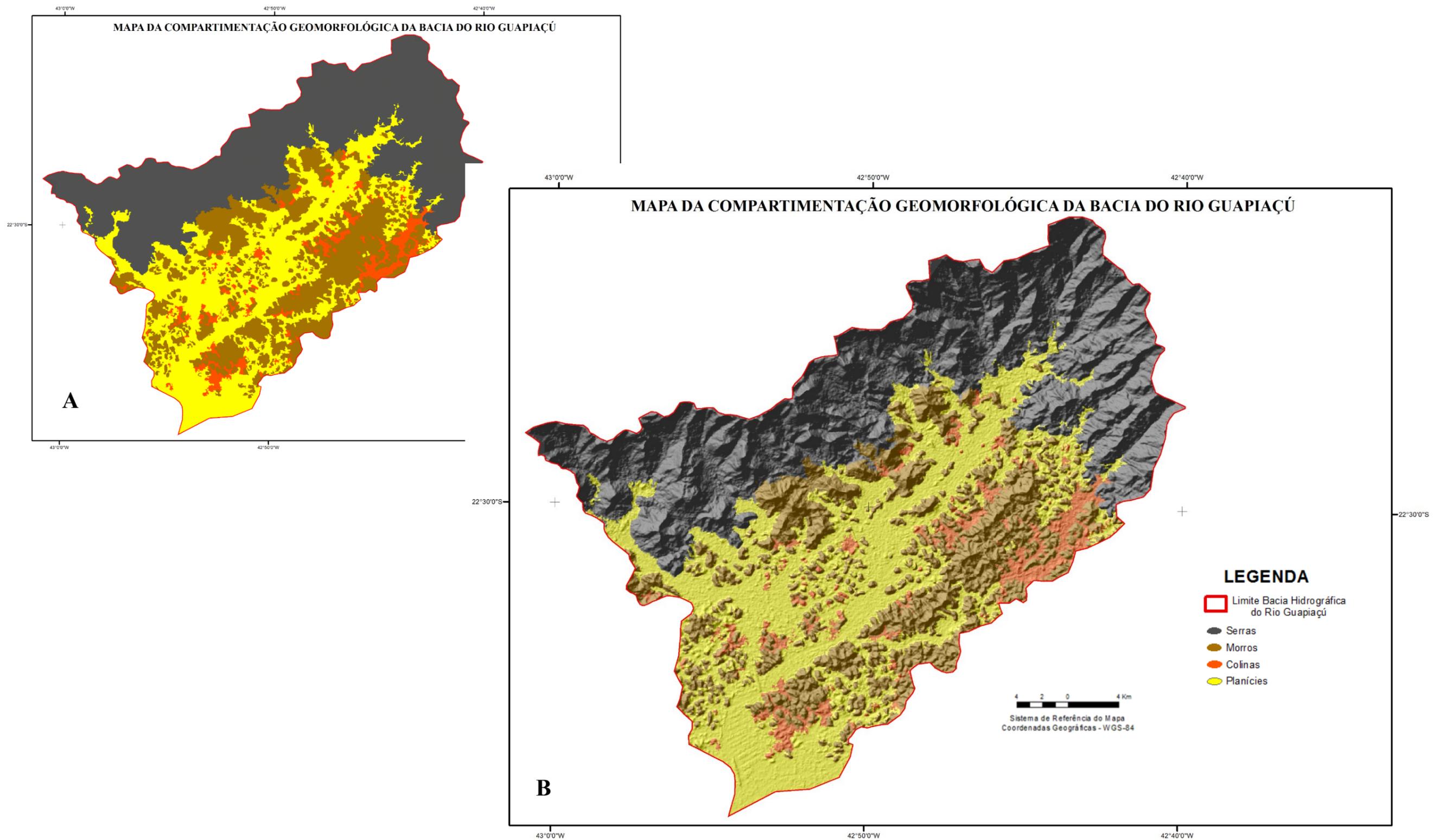


Figura 72 - Mapas geomorfológicos da bacia do rio Guapiaçu a partir da segmentação atributo cor pixel: A – Mapa geomorfológico da bacia do rio Guapiaçu; B - Mapa geomorfológico da bacia do rio Guapiaçu sobreposto ao MDE ASTER-GDEM.

6.2. Análise dos Mapas Geomorfológicos

Três mapas geomorfológicos foram gerados a partir de diferentes técnicas de delimitação automatizadas ou semi-automatizadas. As três metodologias com seus respectivos procedimentos técnico-operacionais avaliados levam em consideração as mesmas variáveis, utilizando assim a mesma composição RGB selecionada como a de melhor representatividade da morfologia da bacia. Para validar a metodologia proposta será conduzido um estudo comparativo entre os três mapas geomorfológicos gerados. Além da análise entre os mapas, houve, também, uma comparação com o mapeamento já produzido pela pesquisadora Silva (2002) (Figura 73) na área teste de estudo, verificando assim as possíveis discordâncias entre as classes identificadas nas novas técnicas empregadas e as propostas pela autora.

A correlação e análise dos novos mapas geomorfológicos gerados e o proposto por Silva (2002) se diferenciam tanto em termos de variáveis empregadas quanto na metodologia. Em termos gerais, Silva (2002) trabalha com valores de amplitudes altimétricas para realizar a compartimentação do relevo, reconhecida pela diferença entre a altitude superior e inferior de bacias de drenagem de primeira e segunda ordem até sua confluência com a rede coletora. A metodologia de Silva (2002) trabalhou com cartas topográfica, escala 1:50.000, e método manual de identificação e classificação das unidades. As três metodologias propostas serão desenvolvidas em ambiente computacional, a partir de um modelo digital de elevação e utilizam as três variáveis citadas anteriormente (Elevação, Declividade e Curvatura).

O mapa de compartimentação geomorfológica do estado do Rio de Janeiro, proposta por Silva, foi selecionada como base para comparação dos outros mapeamentos da bacia do Rio Guapiaçú por ser um mapeamento também realizado em escala 1:50.000. Outros mapas geomorfológicos avaliados, como os propostos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2009), por Jurandy Ross (1992) e pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2000) trabalham com escalas superiores a 1:250.000, escala que produz uma generalização significativa da morfologia e, incompatível para realização de análises com a escala proposta neste trabalho, 1:25.000.

Os diversos compartimentos morfoestruturais reconhecidos como serra escarpada, serra reafeiçoada, morro, colina e planícies fluviais foram identificados na metodologia proposta por Silva em 2002, conforme apresentado na figura 73.

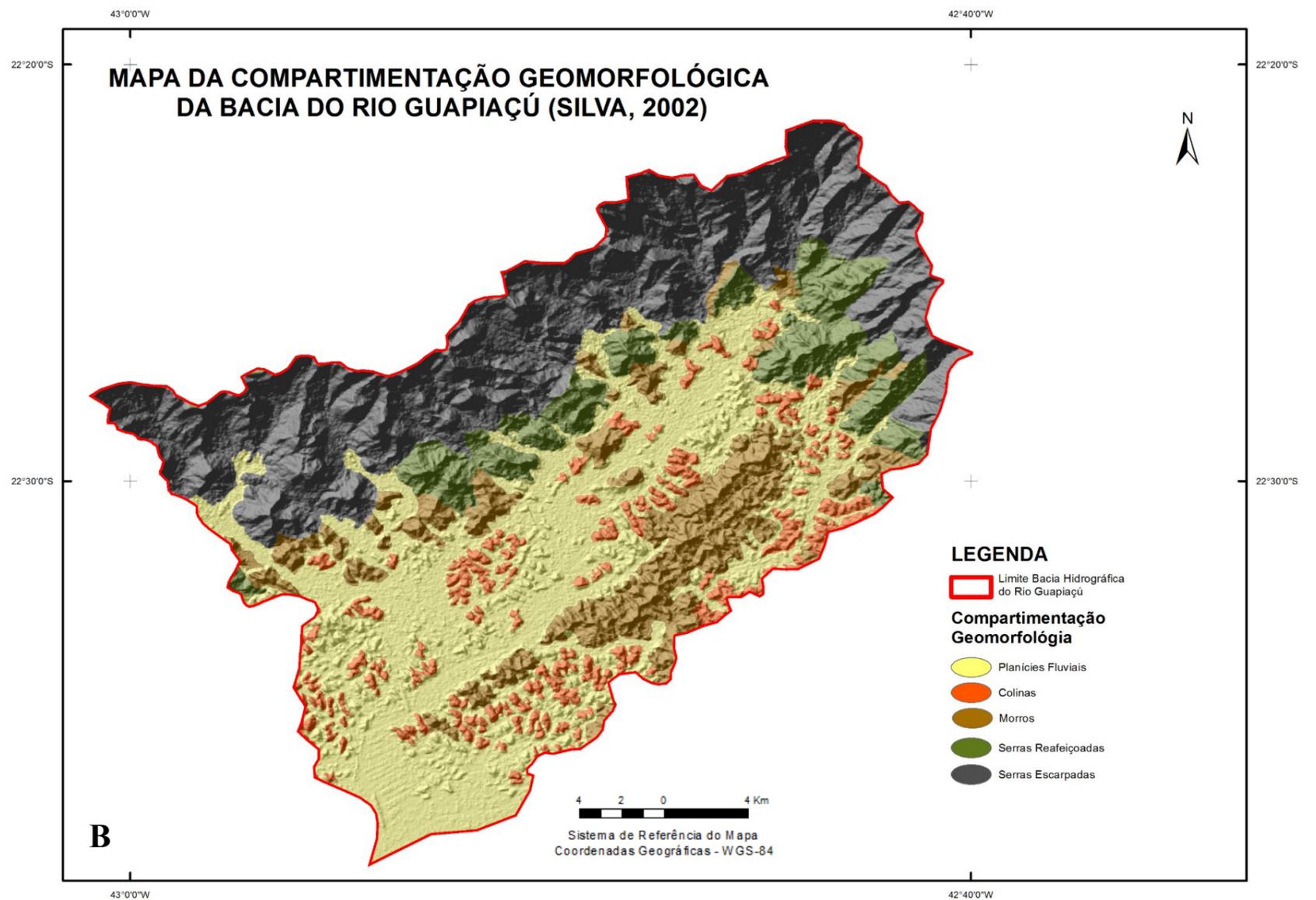
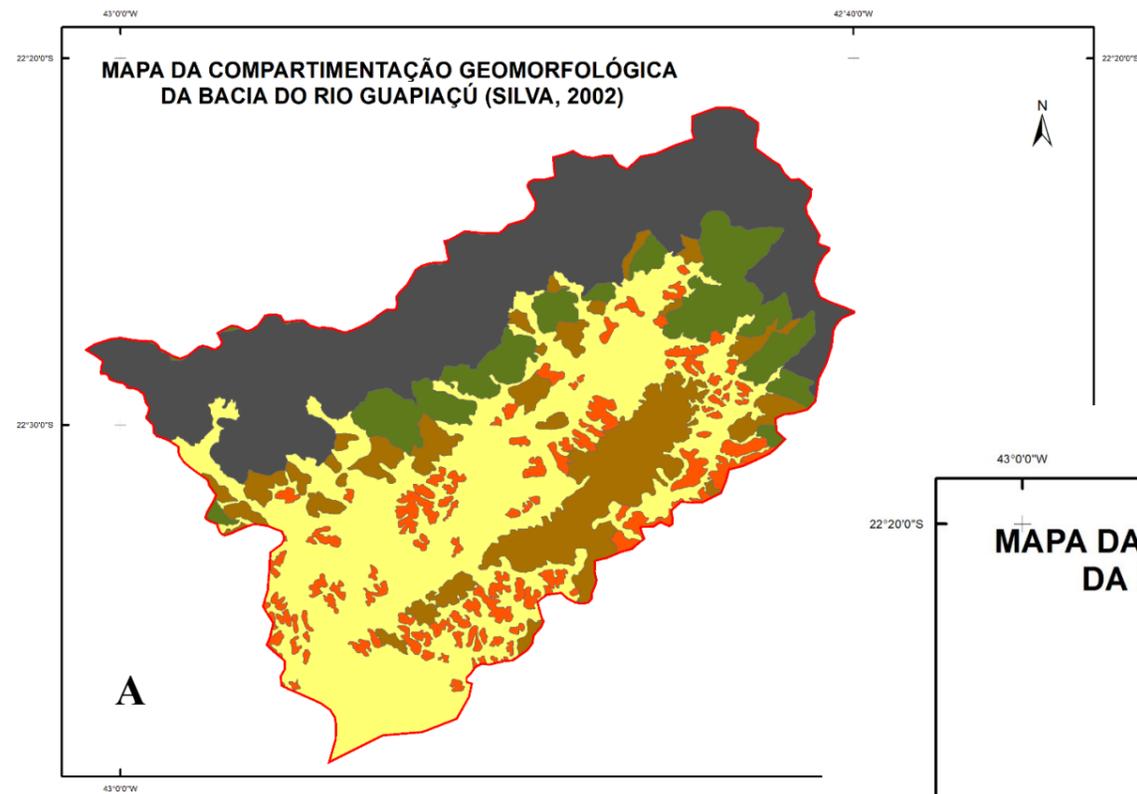


Figura 73 - Mapas geomorfológicos da bacia do rio Guapiaçu proposto por SILVA (2002): A – Mapa geomorfológico da bacia do rio Guapiaçu; B - Mapa geomorfológico da bacia do rio Guapiaçu sobreposto ao MDE ASTER-GDEM.

Definida as distintas compartimentações geomorfológicas a partir das diferentes metodologias, a comparação entre os limites das unidades mapeadas foi efetuada através da observação da variação do relevo da área da bacia. Para realização de tal comparação, oito perfis topográficos foram gerados a partir do modelo digital de elevação (MDE ASTER-GDEM) (Figura 74).

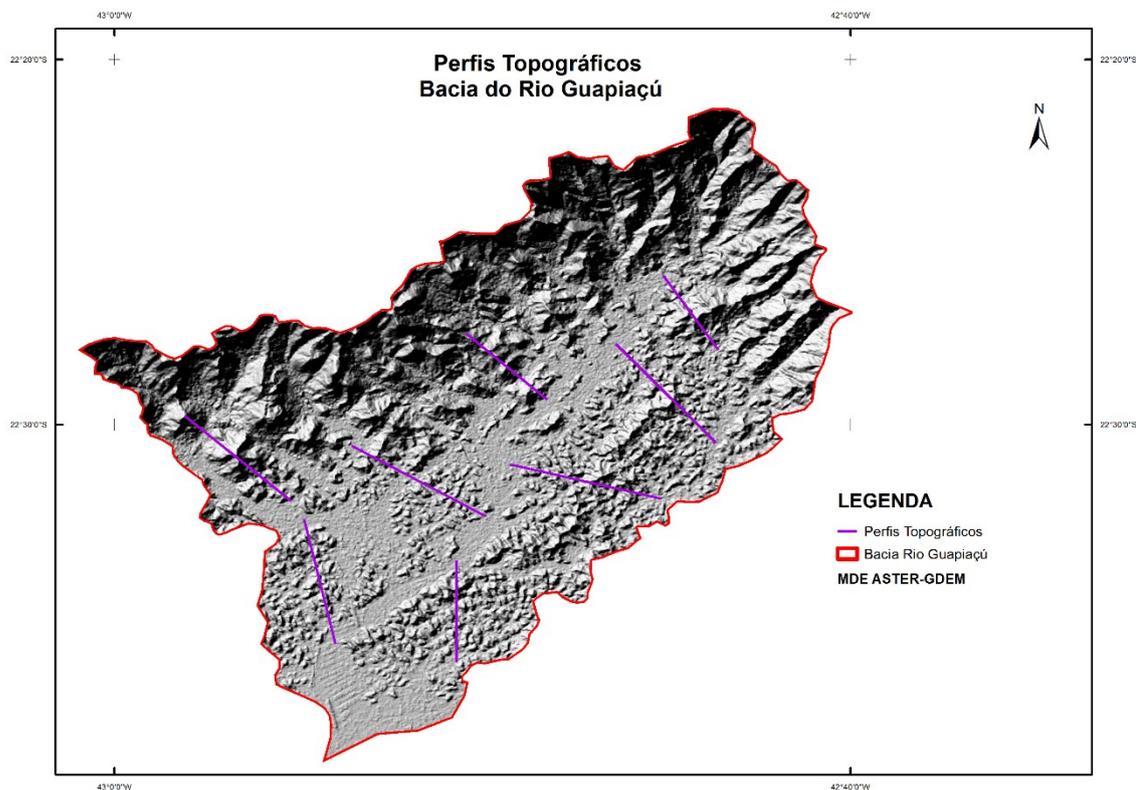


Figura 74 – Apresentação dos perfis topográficos utilizados para realização da comparação entre os diferentes mapeamentos geomorfológicos.

Esses perfis topográficos são representações gráficas de cortes verticais do terreno segundo uma direção previamente escolhida, fornecendo uma imagem do relevo em duas dimensões (altitude – y; distância- -x) e possibilitando a constatação de feições típicas das áreas da bacia do rio Guapiaçú.

Os perfis permitiram estudo das feições a partir dos valores de elevação e declividade de cada uma delas, fornecendo dois outros elementos de análise para a análise e verificação dos mapeamentos propostos, além da base, que teoricamente está sendo utilizada como a representação geomorfológica mais fiel da área, o mapeamento produzido por Silva em 2002. As diferentes classes altimétricas, reconhecidas nesta pesquisa, foram relacionadas a determinadas formas do relevo, tais como: as planícies contendo altitudes que variam de 0 a 20 metros; colinas relacionadas a altitudes de 20,1

a 100 metros; elevações de 100,1 a 200 metros relacionam-se com os morros e, por fim, as serras sendo relacionadas com elevações maiores que 201 metros.

As classes de declividades também foram associadas as formas do relevo e auxiliaram na identificação das feições. As feições que estão compreendidas nas faixas de declividade entre 0 e 8% são determinadas como de superfícies horizontais a sub-horizontais, ou seja, nesta variação encontramos as planícies. As colinas são encontradas na faixa que varia de 8 até 20%, os morros entre 20 a 45% e acima de 30% de declividade podemos ter a presença de serras.

A seguir as análises de cada um dos oito perfis serão apresentadas para que seja feita a análise final entre as classificações e a validade das classificações realizadas.

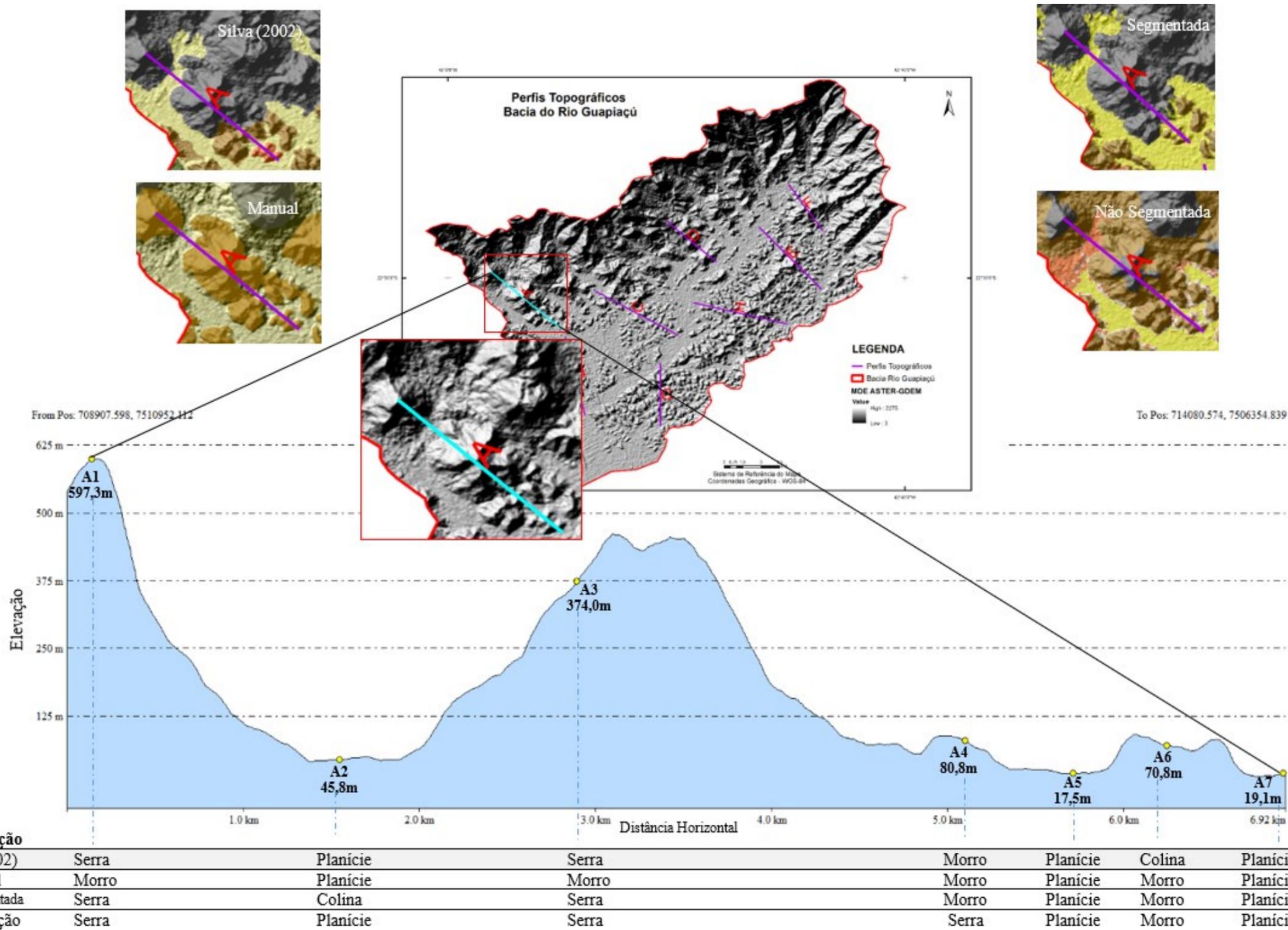
a) Perfil A

O perfil A (Figura 75), orientação NW-SE, traçado na borda direita da área da bacia possui uma amplitude altimétrica significativa, 579,8 metros. A feição com maior valor possui 597,3m e a de menor valor 17,5 metros de altitude.

A partir da análise em sete locais ao longo do perfil realizado (A1, A2, A3, A4, A5, A6 e A7) das classificações morfológicas realizadas nos quatro mapas de compartimentação aqui discutidos, associados aos dados apresentados pela tabela 3, temos as seguintes considerações.

Tabela 3 – Dados sobre os pontos destacados no perfil topográfico A.

<i>TRECHO</i>	<i>DISTÂNCIA ENTRE OS PONTOS (KM)</i>	<i>AMPLITUDE ALTIMÉTRICA (M)</i>	<i>DECLIVIDADE (%)</i>
A1 – A2	1,507	551,5	39,2
A2 – A3	1,382	328,2	24,4
A3- A4	2,226	293,2	13,5
A4 – A5	0,615	63,3	9,8
A5 – A6	0,527	53,3	10,5
A6 – A7	0,659	51,7	7,4



75 – Representação do perfil topográfico A.

Figura

Os pontos analisados A1 e A3 resultaram em uma resposta diferenciada na classificação manual das feições morfológicas identificadas em relação as demais. Nos mapeamentos de Silva (2002), da Não Segmentada (NS) e da segmentação (SACP) foram classificadas como Serra, já a classificação manual as determinou como feição morfológica de morro. Em relação a elevação de 597,3m em A1 e 374,0m em A3 e a declividade em torno 39,2% em A1 e acima de 24% em A3, A1 deveria ser classificada como serra, mas A3 pela declividade poderia sim ser reconhecida como morro.

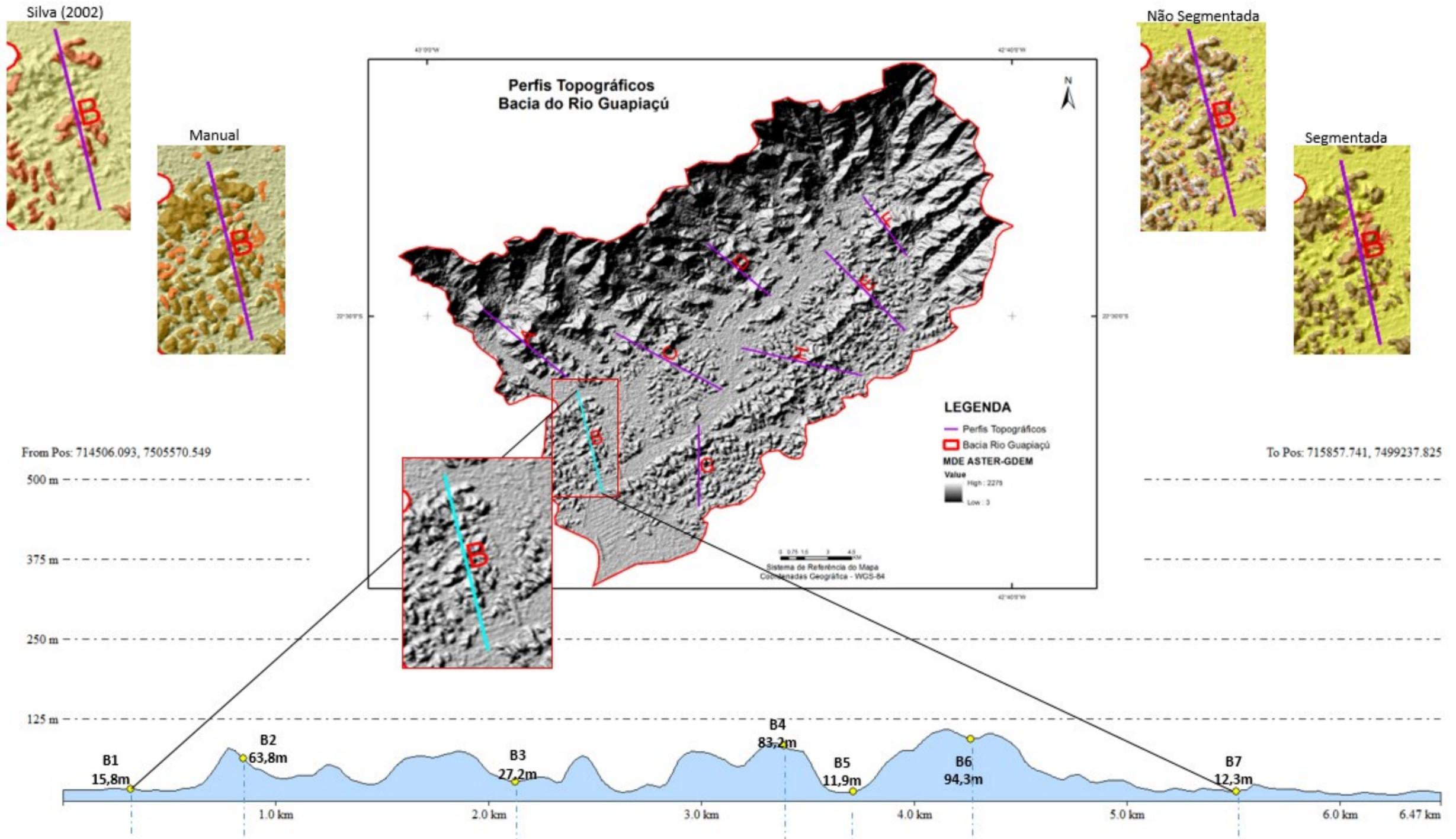
No ponto A2, a classificação que diferenciou das demais foi a Não Segmentada (NS). Enquanto Silva (2002) e as outras duas classificações determinaram a feição como planície, na NS foi determinada como colina. Analisando e fazendo um paralelo com a elevação de 45 metros, essa feição pode ser classificada como colina. E em relação a declividade, abaixo de 20%, essa feição pode ser determinada tanto como planície quanto como colina.

A4 resultou classificação diferenciada na metodologia (SACP), que foi determinada como serra enquanto as outras classificações a determinaram como morro. Em relação a altitude de 80,8 do ponto ela está inserida na classe de morros. A declividade em torno de 10% também não indica a presença de serras, e assim este ponto mostra uma determinada generalização no mapeamento oriundo da técnica de segmentação.

Outro ponto a ser destacado é o A6. Silva classifica essa feição, onde o ponto está inserido, como colina, porém, todas as outras metodologias apontam para a presença de um morro. Se formos somente pelas classes de elevação, ela está inserida dentro da classe determinada como colina. Em relação a declividade, em torno de 7%, esta feição está no limiar entre as planícies e as colinas. Apontando que a classificação de Silva (2002) esteja coerente com as informações morfométricas. Os pontos A5 e A7 forneceram os mesmos resultados nas quatro classificações.

a) Perfil B

O perfil B (Figura 76), orientação N-S, traçado na borda esquerda da área da bacia possui uma amplitude altimétrica de 84,3 metros. A feição com maior valor possui 94,3m e a de menor valor 10 metros de altitude.



Classificação							
Silva (2002)	Planície	Colina	Planície	Colina	Planície	Colina	Planície
Manual	Planície	Morro	Planície	Colina	Planície	Morro	Planície
Não Segmentad	Planície	Morro	Planície	Morro	Planície	Morro	Planície
Segmentação	Planície	Morro	Planície	Morro	Planície	Morro	Planície

Figura 76 – Representação do perfil topográfico B.

A partir do posicionamento das feições identificados nos pontos A1, A2, A3, A4, A5, A6 e A7 no perfil realizado para os quatro mapas de compartimentação geomorfológica avaliados, e baseados na análise da classificação de cada uma delas conforme dados morfométricos apresentado na tabela 4, podemos traçar os seguintes comentários.

Tabela 4 – Dados sobre os pontos destacados no perfil topográfico B.

<i>TRECHO</i>	<i>DISTÂNCIA ENTRE OS PONTOS (KM)</i>	<i>AMPLITUDE ALTIMÉTRICA (M)</i>	<i>DECLIVIDADE (%)</i>
B1 – B2	0,049	48	9,2
B2 – B3	0,04	36,6	3,2
B3 – B4	0,056	56	4,5
B4 – B5	0,333	71,3	22,1
B5 – B6	0,551	82	15,5
B6 – B7	1,251	2,3	6,6

Os pontos B2 e B6 resultaram em respostas diferenciadas na classificação proposta por Silva (2002). Silva classifica a feição de B2, onde o ponto está inserido, como colina, e B6 como planície. Todas as outras metodologias apontam para a presença de um morro tanto em B2 quanto em B6. Analisando pela classe de elevação, ambos os pontos estão entre 20 e 100 metros o que indica a presença de colinas. Em relação a declividade, a feição em que B2 se encontra está abaixo dos 10% (Tabela 4), o que também indicar a presença de colinas. Já B6 possui uma declividade inferior a 20% o que está de acordo com a classificação proposta pela Embrapa, que indica a presença de colinas.

Os pontos B1, B3, B5 E B7 forneceram os mesmos resultados nas quatro classificações. Já B4, tanto na delimitação proposta por Silva quanto na classificada manualmente, a feição foi determinada como colina. As classificações oriundas da NS e da SACP definiram as mesmas feições como morro. A elevação abaixo de 100 metros indica a presença de colinas. A declividade está próxima dos 8%, o que pode classificar também a feição como colina (Figura 77).

From Pos: 715033.378, 7502782.934

To Pos: 715176.779, 7502121.697

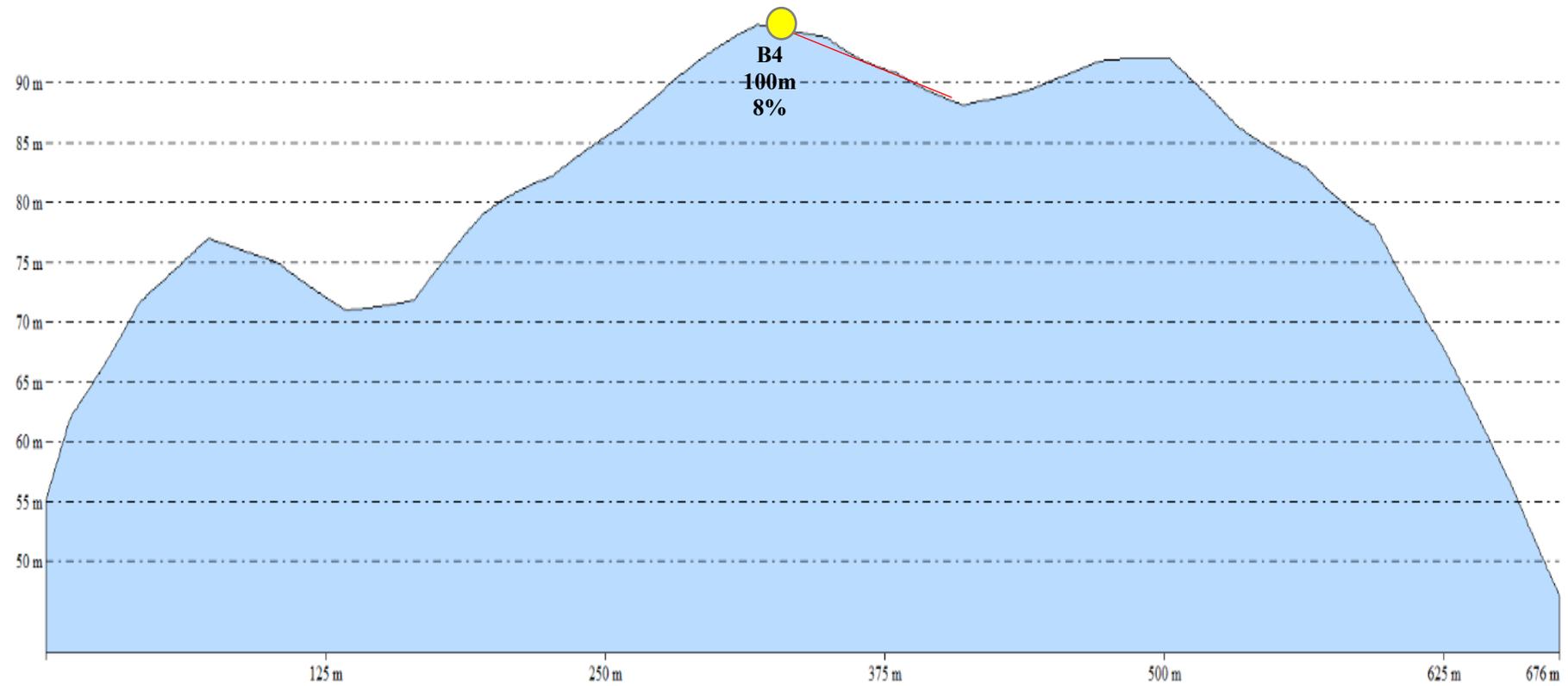


Figura 77: Perfil topográfico destacando a feição B4. A linha contínua vermelha representa 8% de declividade da encosta.

c) Perfil C

O perfil C (Figura 78), orientação NW-SE, traçado próximo ao centro da área da bacia possui uma amplitude altimétrica de 89,8 metros. A feição com maior valor possui 104,5m e a de menor valor 14,7 metros de altitude.

A partir do posicionamento de cinco pontos, representativos de feições morfológicas nos quatro mapas de compartimentação geomorfológica (C1, C2, C3, C4 e C5), foi realizada a análise da classificação de cada uma delas em associação com as informações contidas na tabela 5.

Tabela 5.– Dados sobre os pontos destacados no perfil topográfico C.

<i>TRECHO</i>	<i>DISTÂNCIA ENTRE OS PONTOS (KM)</i>	<i>AMPLITUDE ALTIMÉTRICA (M)</i>	<i>DECLIVIDADE (%)</i>
C1 – C2	1,274	82,9	6,4
C2 – C3	1,559	78,1	5
C3 – C4	2,082	5,7	0,3
C4 – C5	2,301	6	0,3

A declividade média do perfil está abaixo de 8% o que já indica predominância de feições classificadas como planícies (Tabela 5). E a amplitude abaixo de 100 metros também fornece a indicação de feições de planícies e colinas.

Os pontos C1, C2, C3 e C5 foram classificados igualmente nas quatro classificações. Em C4 obteve-se duas classificações distintas: a primeira, proposta por Silva e a NS, classificou-a como colina; já a segunda, determinada manualmente e por SACP, classificou a mesma feição como morro, o que vai de encontro com as análises das variáveis e com o mapeamento proposto por Silva em 2002.

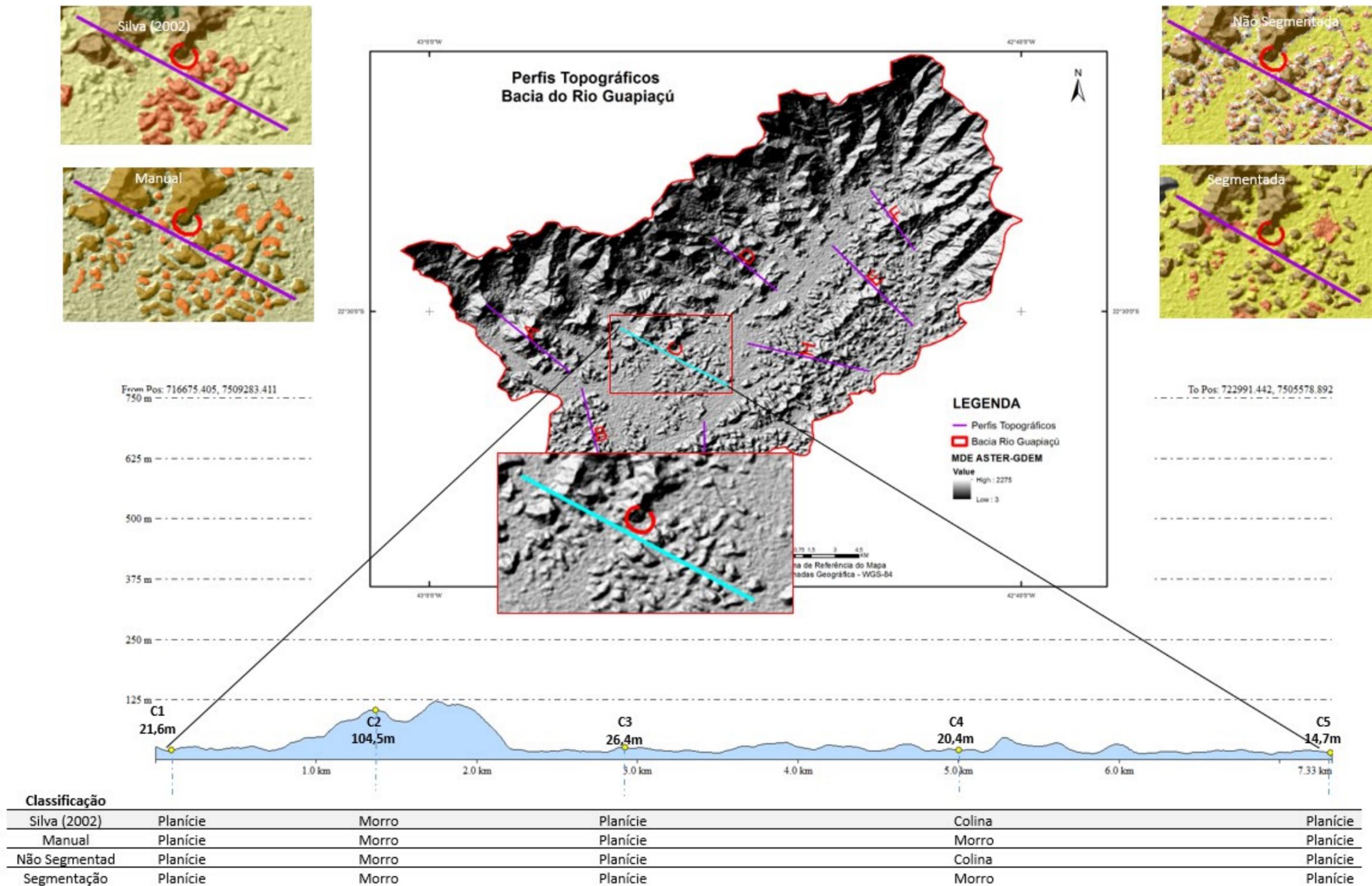


Figura 78 – Representação do perfil topográfico C.

c) Perfil D

O perfil D (Figura 79) de orientação NW-SE, traçado próximo ao centro da área da bacia possui uma amplitude altimétrica de 404,8 metros. A feição com maior valor possui 422,8m e a de menor valor 18 metros de altitude.

Os cinco pontos selecionados para a análise (D1, D2, D3, D4 e D5) apresentaram as seguintes feições morfológicas reconhecidas nos quatro mapas de compartimentação geomorfológica (Figura 6), complementados pelos dados apresentados na tabela 5.4.

Tabela 6 – Dados sobre os pontos destacados no perfil topográfico D.

<i>TRECHO</i>	<i>DISTÂNCIA ENTRE OS PONTOS (KM)</i>	<i>AMPLITUDE ALTIMÉTRICA (M)</i>	<i>DECLIVIDADE (%)</i>
D1 – D2	2,298	163,9	7,2
D2 – D3	1,149	229,9	20,4
D3 – D4	0,748	106,7	14,4
D4 – D5	1,147	117,7	10,2

Os pontos D1, D2, D4 e D5 foram classificados igualmente nas quatro classificações, enquanto D3 obteve duas classificações distintas: a primeira, proposta por Silva e a realizada manualmente, classificou essa feição como planície; já a segunda, determinada por NS e por SACP, classificou a mesma feição como colina. De acordo com a elevação do ponto D3, como o valor de 29 metros, essa feição deve estar dentro da classe denominada colina. A feição se encontra posicionada em um vale onde as rampas possuem a declividade em torno de 20% (Tabela 6). Este valor refere-se as encostas no entorno da feição, não fornecendo valor próximo ao da declividade da feição propriamente.

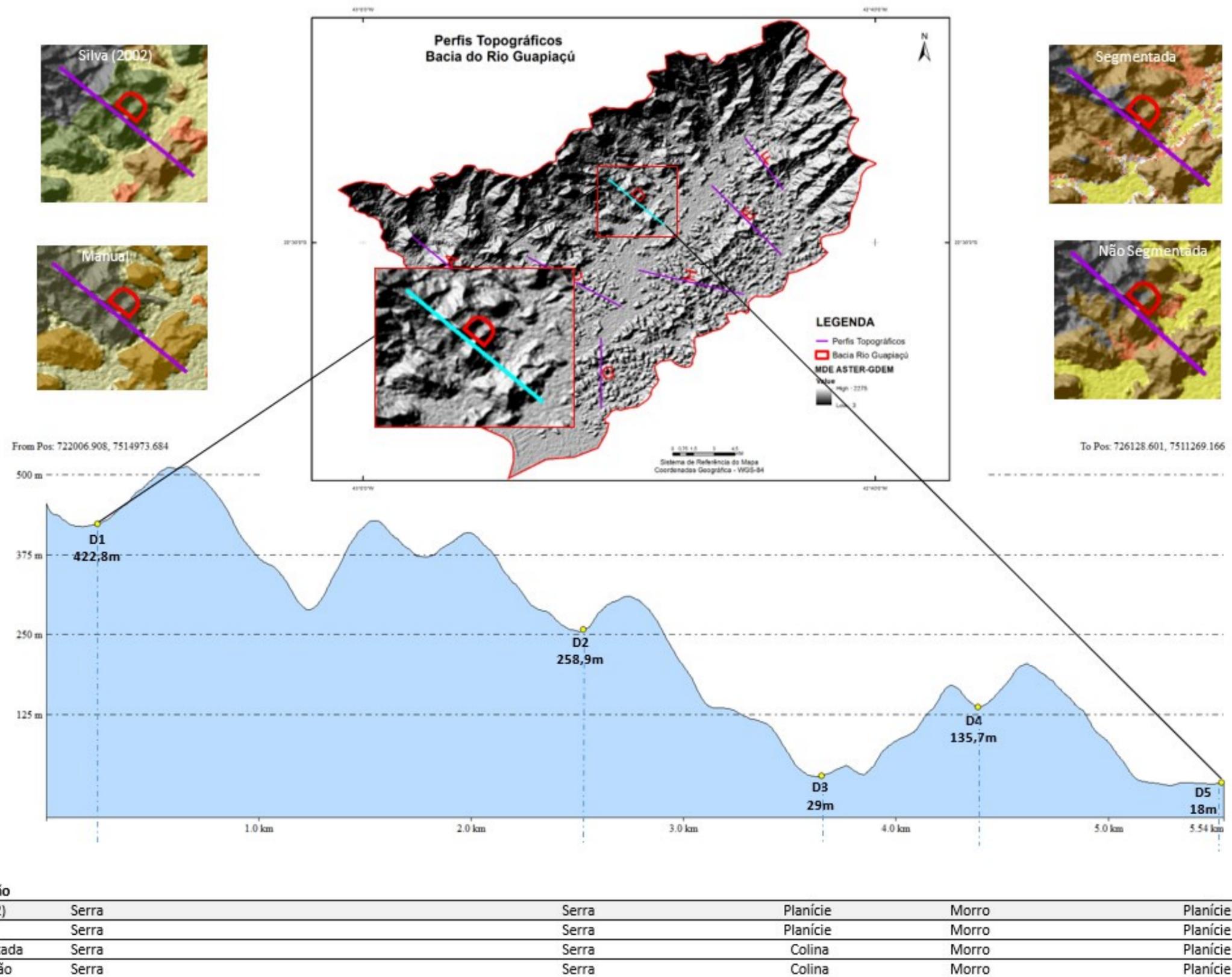


Figura 79 – Representação do perfil topográfico D.

c) Perfil E

O perfil E (Figura 80) de orientação também NW-SE, traçado próximo na borda esquerda da área da bacia possui uma amplitude altimétrica de 159,2 metros, sendo a feição com maior valor possui 186m e a de menor valor 26,8 metros de altitude.

Os cinco pontos analisados ao longo do perfil (E1, E2, E3, E4 e E5) apresentam as seguintes feições morfológicas classificadas nos quatro mapas geomorfológicos analisados, e que também podem ser complementados pelos dados expostos na tabela 7.

Os pontos E1 e E2 foram classificados igualmente nas quatro classificações (Figura 80), enquanto os pontos E3 e E5, tanto na delimitação proposta por Silva quanto na classificada manualmente, ambas as feições foram determinadas como planície. Porém, em E3, a classificação NS denominou a mesma como colina. Já em SACP a mesma feição foi classificada como morro. Três classificações distintas para uma mesma área. Analisando a variável elevação, E3 possui 62,3 metros de altitude, esta feição é classificada como colina. Já em relação a declividade (Tabela 7) a feição se localiza abaixo dos 10% o que permite a indicação de uma feição do tipo colina. Em contrapartida, E5 foi classificada, tanto na NS quanto na SACP, como colina, determinação justificada tanto pela altitude da feição, 36,5 metros, como pela dela declividade abaixo de 6%.

Tabela 7 – Dados sobre os pontos destacados no perfil topográfico E.

<i>TRECHO</i>	<i>DISTÂNCIA ENTRE OS PONTOS (KM)</i>	<i>AMPLITUDE ALTIMÉTRICA (M)</i>	<i>DECLIVIDADE (%)</i>
E1 – E2	3,113	159,2	5,1
E2 – E3	1,549	123,3	8
E3 – E4	0,566	12,6	2,3
E4 – E5	0,499	38,8	7,7

O ponto E4 resultou em respostas diferenciadas da classificação proposta por Silva (2002). Silva classifica a feição de E4, onde o ponto está inserido, como colina. Todas as outras metodologias apontam para a presença de um morro em E4. Analisando a variável elevação nesse ponto, que detém um valor de 75,3 metros, há a indicação da presença de colinas. Em relação a declividade, a feição em que E4 possui cerca de 32%, o que indica a presença de morro, conforme mostra a figura 81.

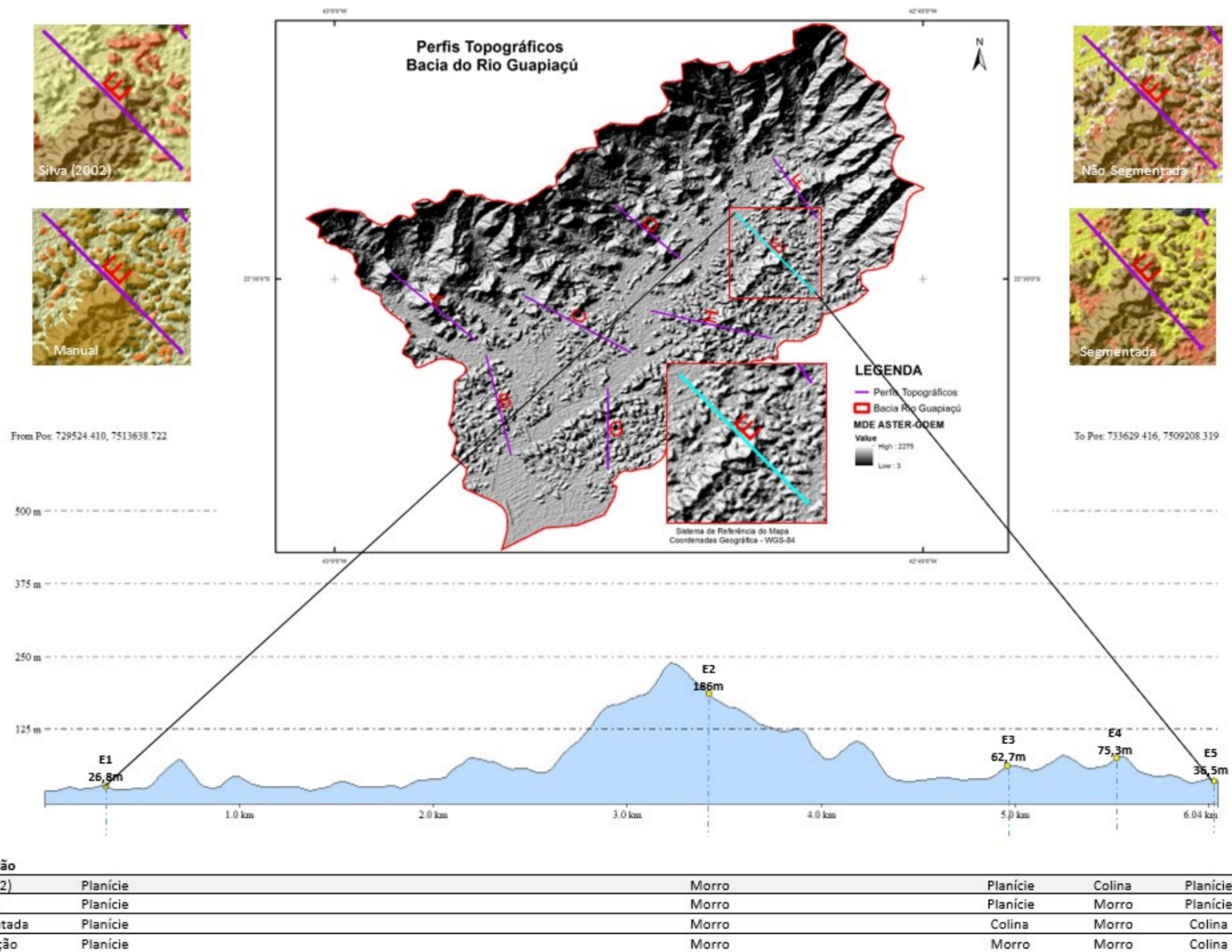


Figura 80 – Representação do perfil topográfico E.

From Pos: 732959.494, 7509676.626

To Pos: 733000.484, 7509359.633

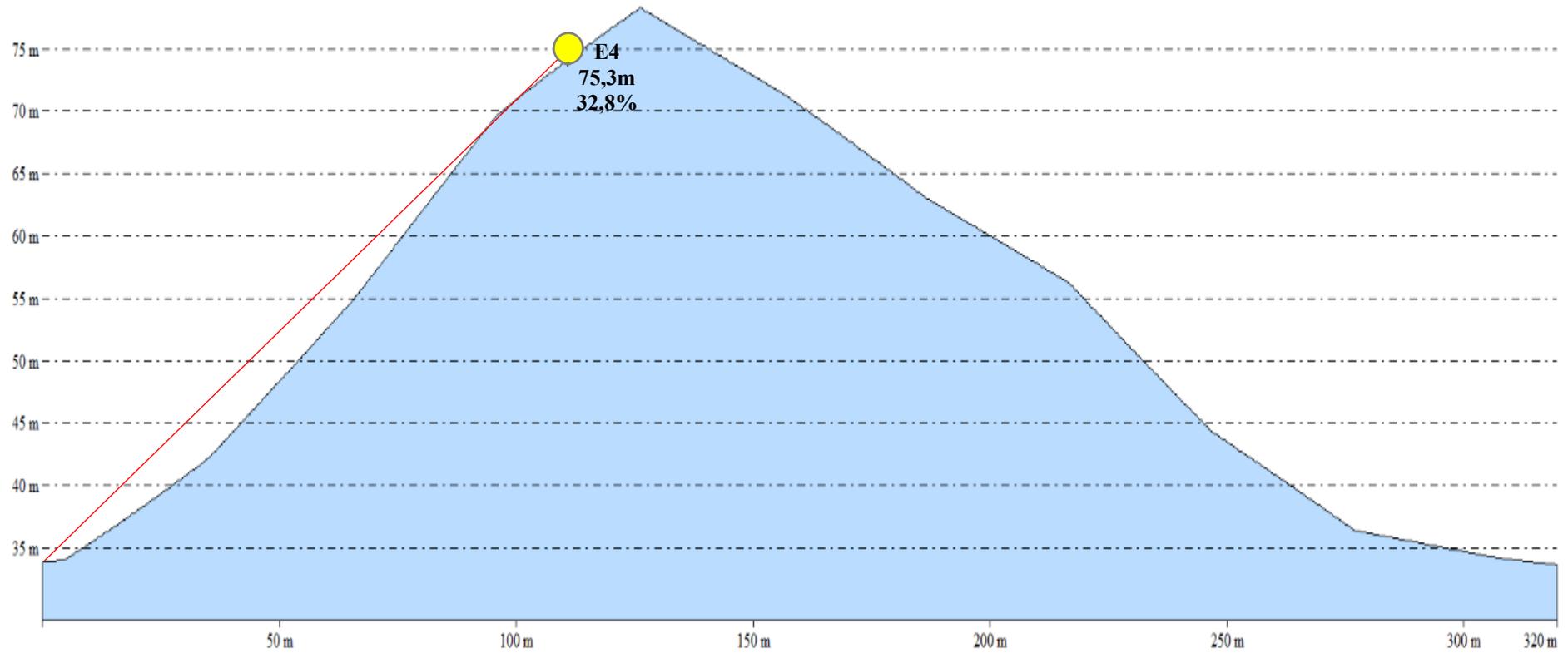


Figura 81: Perfil topográfico destacando a feição E4. A linha contínua vermelha representa 32,8% de declividade da encosta

c) Perfil F

O perfil F (Figura 82), orientação NW-SE, traçado à montante, próximo a borda esquerda da bacia, possui uma amplitude altimétrica de 183,9 metros. A feição com maior valor possui 292,2m e a de menor valor 45,3 metros de altitude.

Os cinco locais onde foram analisadas as feições morfológicas reconhecidas nos quatro mapas geomorfológicos analisados (F1, F2, F3, F4 e F5) mostram os seguintes resultados.

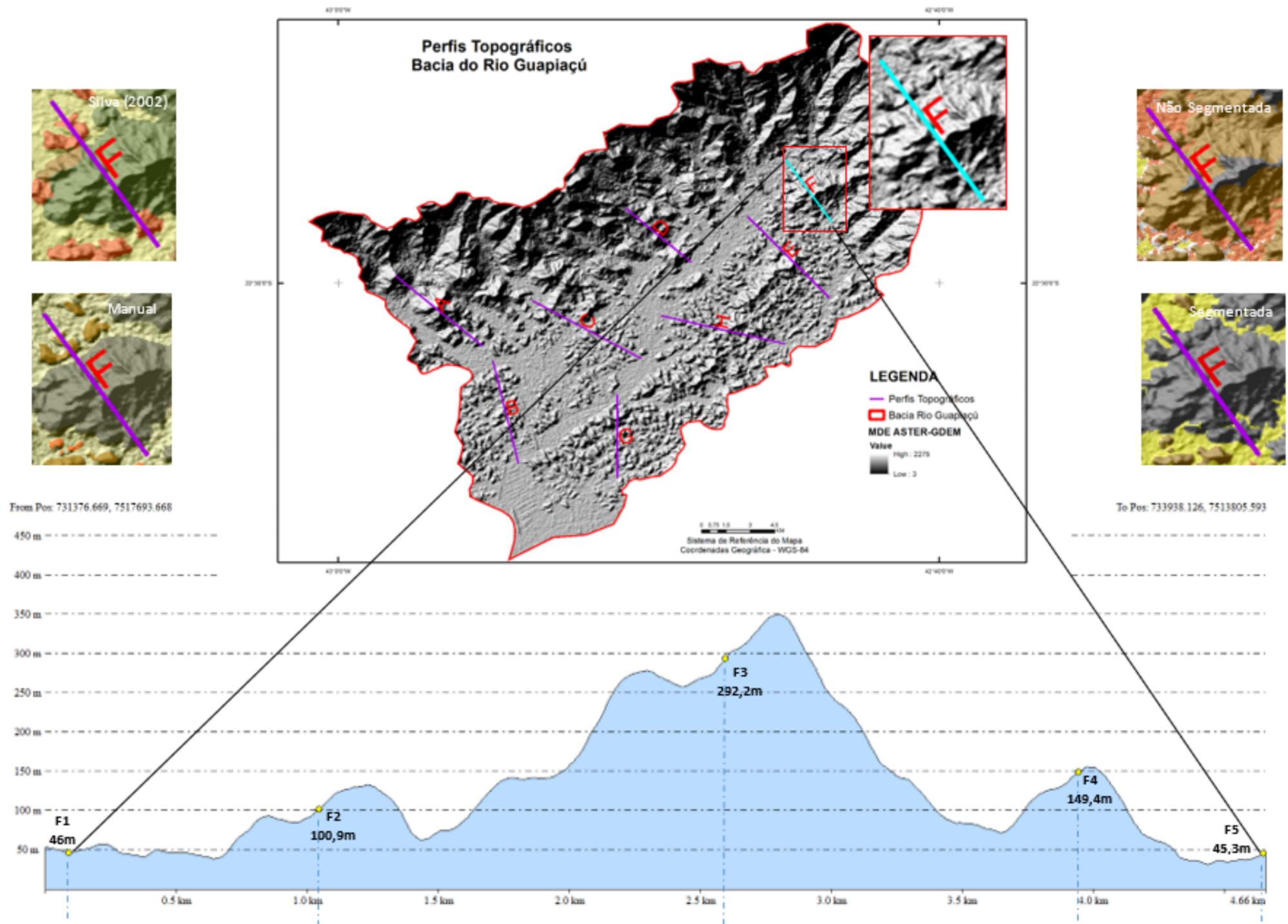
Este foi o perfil mais heterogêneo de todos em relação a classificação das quatro metodologias, uma vez que dos cinco locais analisados somente os pontos F1 e F3 obtiveram a mesma classificação morfológica nos mapeamentos.

Em F1 a classificação que se diferenciou das demais foi a não segmentada (NS). Enquanto Silva (2002) e as outras duas classificações determinaram a feição como planície, na NS foi determinada como colina. Analisando o valor da elevação de 46 metros, essa feição pode ser classificada como colina. E em relação a declividade, com o valor abaixo em torno de 5% (Tabela 8), classifica a feição como planície.

Tabela 8 – Dados sobre os pontos destacados no perfil topográfico F.

<i>TRECHO</i>	<i>DISTÂNCIA ENTRE OS PONTOS (KM)</i>	<i>AMPLITUDE ALTIMÉTRICA (M)</i>	<i>DECLIVIDADE (%)</i>
F1 – F2	0,906	54,9	5,6
F2 – F3	1,564	191,3	12,4
F3 – F4	1,353	142,8	10,7
F4 – F5	0,711	104,1	14,7

O ponto F2 resultou em respostas diferenciadas da classificação proposta por Silva (2002). Silva classifica a feição de F2, onde o ponto está inserido, como colina. A classificação manual e a metodologia NS a classifica como morro e, por fim a classificação oriunda da SACP relaciona essa feição a serra. Analisando a variável elevação nesse ponto, que detém um valor de 100,9 metros, há a indicação da presença de um morro. Em relação a declividade, a feição em que F2 se encontra possui valor de aproximadamente 9%, o que indica a presença de colinas. Novamente a classificação oriunda da segmentação indica a presença de generalização na identificação das feições.



Classificação					
Silva (2002)	Planície	Colina	Serra	Colina	Planície
Manual	Planície	Morro	Serra	Serra	Planície
Não Segmentada	Planície	Morro	Serra	Morro	Colina
Segmentação	Planície	Morro	Serra	Serra	Planície

Figura 82 – Representação do perfil topográfico F.

O ponto F4 também resultou em respostas diferenciadas da classificação proposta por Silva (2002). Silva classifica a feição de F4, onde o ponto está inserido, novamente como colina. A classificação manual e a metodologia SACP a classifica como serra e, por fim a classificação oriunda da NS relaciona essa feição a um morro. Analisando a variável elevação nesse ponto, que detém um valor de 149,4 metros, há a indicação da presença de um morro. Em relação a declividade, a feição em que F2 se encontra possui valor de aproximadamente 41% (Figura 83), o que pode indicar tanto a presença de morros quanto de serras.

Em F5, a classificação que se diferenciou das demais foi a não supervisionada (NS). Enquanto Silva (2002) e as outras duas classificações determinaram a feição como planície, na NS foi determinada como colina. Analisando e fazendo um paralelo com a elevação de 45,3 metros, essa feição pode ser classificada como colina. E em relação a declividade, abaixo de 15% (Tabela 8), essa feição pode ser determinada tanto como planície quanto como colina.

From Pos: 732470.340, 7516099.837

To Pos: 733142.585, 7515072.342

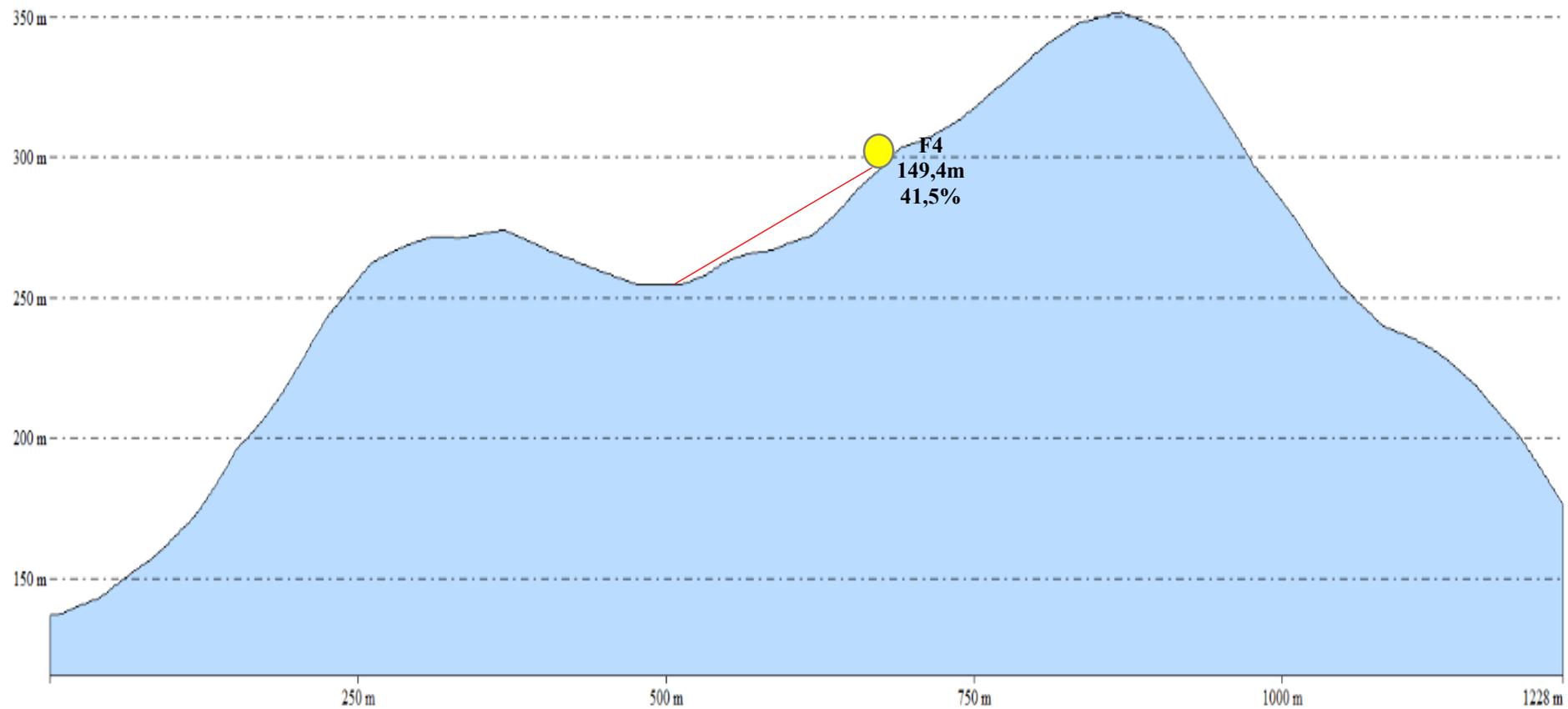


Figura 83: Perfil topográfico destacando a feição F4. A linha contínua vermelha representa 41,5% de declividade da encosta

c) Perfil G

O perfil G (Figura 84), de orientação N-S, traçado próximo a borda inferior esquerda da bacia possui uma amplitude altimétrica de 82,9 metros. A feição com maior valor possui 96,4m e a de menor valor 13,5 metros de altitude.

A partir do posicionamento de sete pontos localizados ao longo do perfil realizado (G1, G2, G3, G4, G5, G6 e G7) podemos avaliar as feições morfológicas reconhecidas nos quatro mapas geomorfológicos realizados.

Os pontos G1, G2, G3, G5 e G7 foram classificados igualmente nas quatro classificações, enquanto apenas o ponto G4 resultou em resposta diferenciada na classificação proposta por Silva (2002). Silva classifica a feição como colina, enquanto nas outras metodologias apontam a presença da feição morfológica de morro. Analisando pela classe de elevação, onde o valor do ponto é de 78,2 metros, fato que indica a presença de colina (Figura 85). Em relação a declividade, a feição se encontra está abaixo dos 10% (Tabela 9), o que também indicaria a presença de colinas.

Tabela 9 – Dados sobre os pontos destacados no perfil topográfico G.

<i>TRECHO</i>	<i>DISTÂNCIA ENTRE OS PONTOS (KM)</i>	<i>AMPLITUDE ALTIMÉTRICA (M)</i>	<i>DECLIVIDADE (%)</i>
G1 – G2	1,114	82,9	7,5
G2 – G3	0,92	68,8	7,5
G3 – G4	0,984	50,6	8,1
G4 – G5	0,407	52,8	13,1
G5 – G6	0,772	28,6	3,8
G6 – G7	0,873	32	3,7

A feição onde o ponto G6 está inserido obteve duas classificações diferentes. A primeira, proposta por Silva e a NS classificou essa feição como colina. Já a segunda, determinada manualmente o por SACP, classificou a mesma feição como morro. Segundo a elevação do ponto, 54 metros, a feição deveria ser classificada como colina. E em relação a declividade em torno de 4% a mesma feição deveria ser classificada como planície ou a mais próxima, no caso a colina.

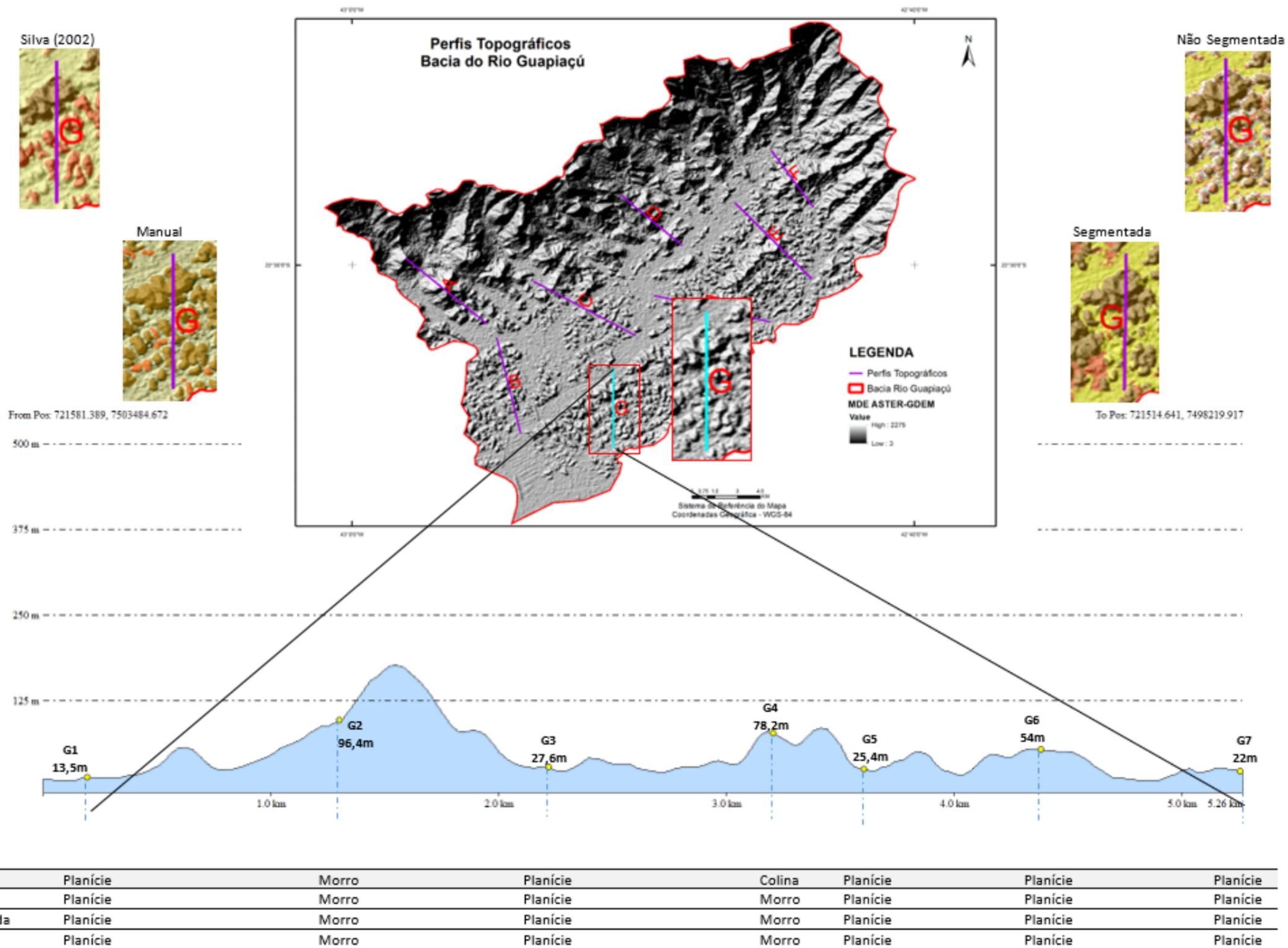


Figura 84 – Representação do perfil topográfico G.

From Pos: 721523.145, 7500657.350

To Pos: 721523.145, 7500034.295

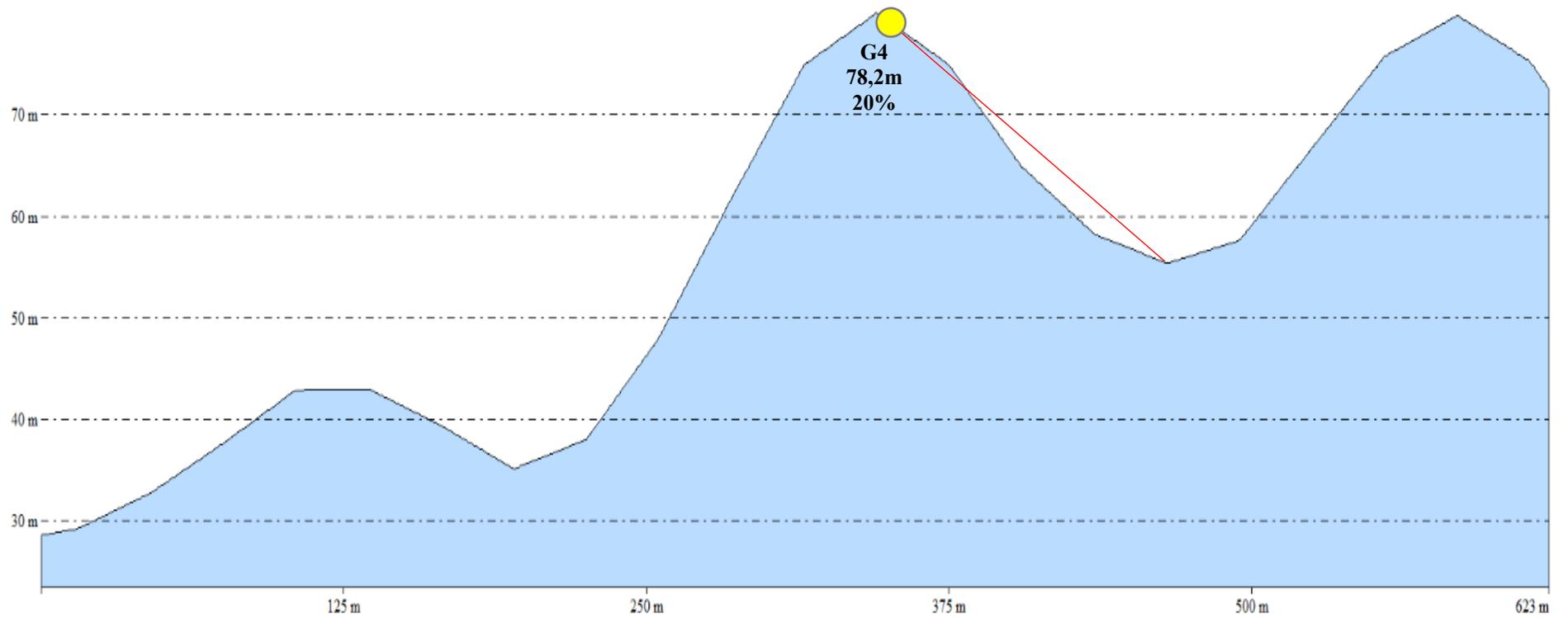


Figura 85: Perfil topográfico destacando a feição G4. A linha contínua vermelha representa 20% de declividade da encosta

c) Perfil H

O perfil H (Figura 86) de orientação NW-SE, traçado próximo ao centro da área da bacia possui uma amplitude altimétrica de 80 metros, com feição de maior valor possuindo 99,3m e a de menor valor 19,3 metros de altitude.

A partir dos pontos analisados ao longo do perfil (H1, H2, H3, H4 e H5) foram observadas as seguintes distinções entre a classificação das feições morfológicas feitas nos quatro mapas geomorfológicos avaliados

No ponto H2 observa-se uma resposta diferenciada na classificação proposta por Silva (2002). Silva classifica a feição como colina, enquanto as outras metodologias apontam para a presença de um morro. Analisando pela classe de elevação, onde o valor do ponto é de 61,8 metros, fato que indica a presença de colina. Em relação a declividade, a feição encontra-se em torno de 5% (Tabela 10), o que também indicar a presença de colinas.

Tabela 10 – Dados sobre os pontos destacados no perfil topográfico H.

<i>TRECHO</i>	<i>DISTÂNCIA ENTRE OS PONTOS (KM)</i>	<i>AMPLITUDE ALTIMÉTRICA (M)</i>	<i>DECLIVIDADE (%)</i>
H1 – H2	1,003	42,5	4,2
H2 – H3	0,689	5,3	0,8
H3 – H4	2,952	32,2	1,1
H4 – H5	2,181	67,2	3,1

Em H5, a classificação que se distinguiu das demais foi a SACP. Enquanto Silva (2002) e as outras duas classificações determinaram a feição como planície, a SACP determinou como colina. De acordo com a elevação de 32,1 metros de declividade abaixo de 5%, essa feição pode ser classificada como planície.

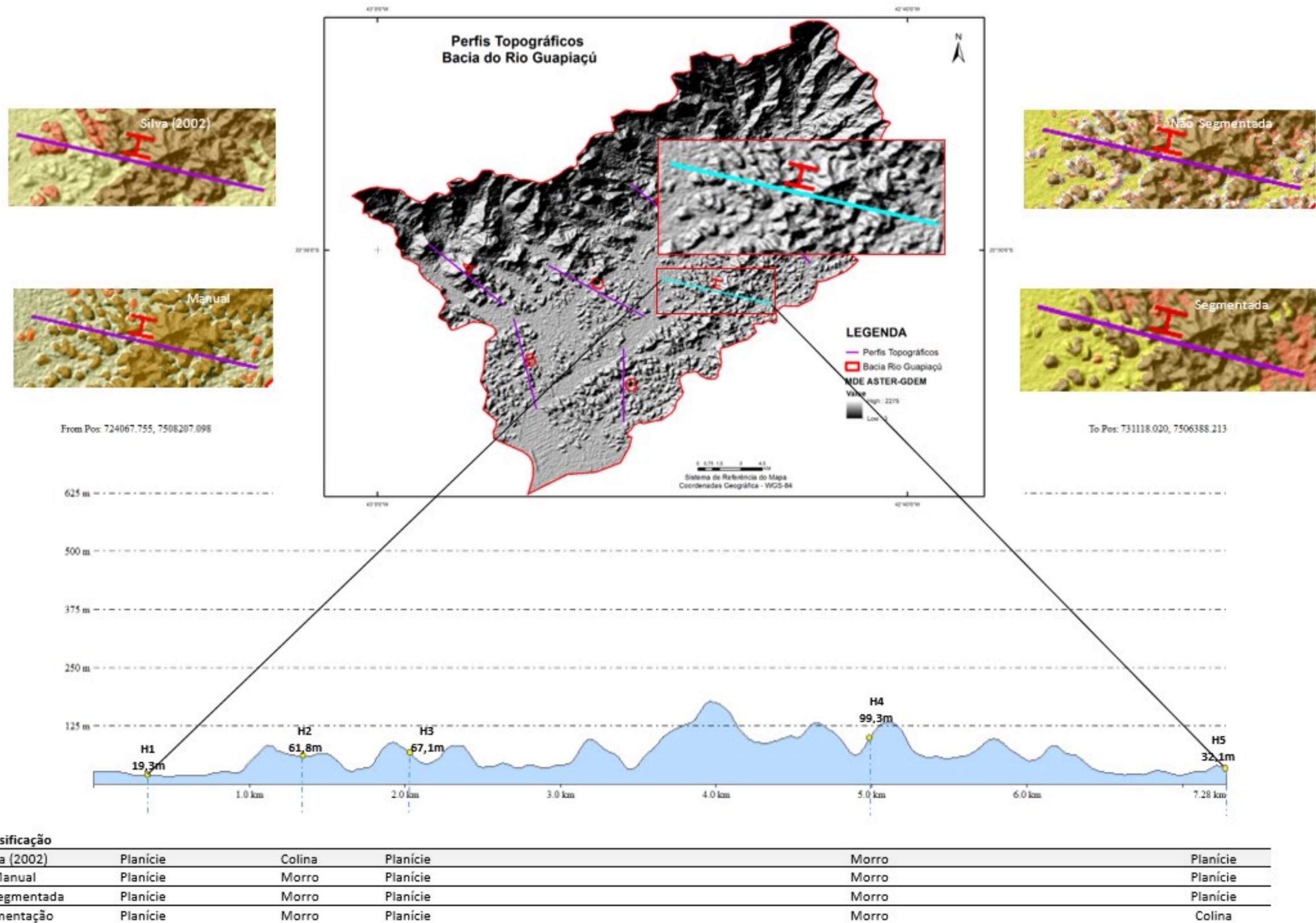


Figura 86–Representação do perfil topográfico H

6.3. Discussão dos Resultados

Através da análise das feições identificadas nos oito perfis dos três mapas desenvolvidos nesta pesquisa (manual, NS e SACP) pode ser verificado que a maioria dos perfis (B, C, D, G e H) apresentam resultados bem similares na classificação das formas do relevo, enquanto os perfis A, E e F mostram uma diferença, principalmente, entre as classes percebidas no método manual e as identificadas na geração baseada em NS e SACP, conforme apresentado na figura 5.19, que foi desenvolvida de acordo com os dados apresentados no quadro 5.1.

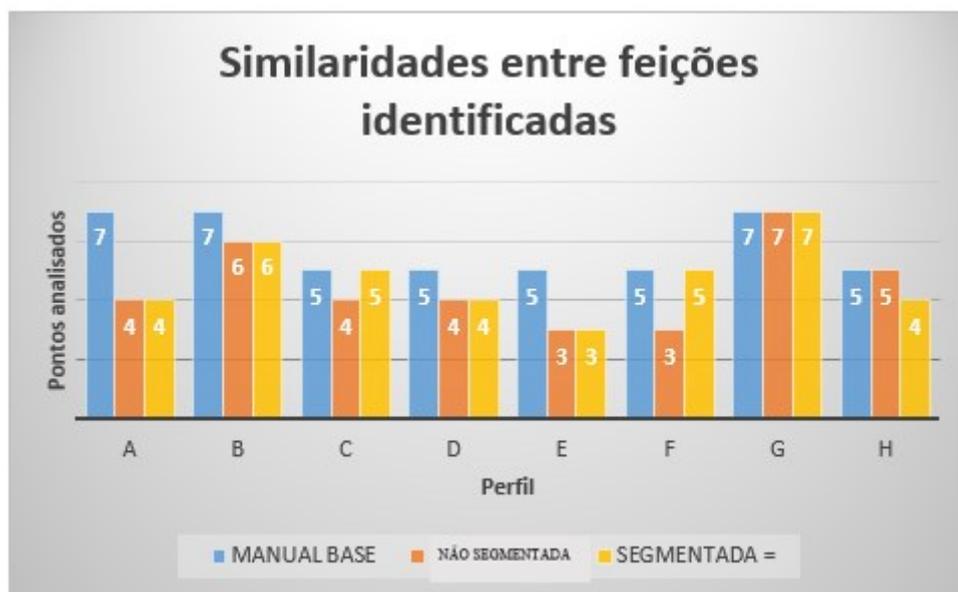


Figura 87: Apresentação da similaridade entre números de pontos analisados na proposta resultante da classificação manual e os obtidos nos mapeamentos NS e SACP.

Embora os três mapas tenham sido realizados a partir de técnicas distintas, manual, NS e SACP, as bases utilizadas, tais como, MDE, variáveis morfométricas, mapas de cores e interprete, foram os mesmos. Variando somente a técnica de identificações das feições do relevo. Este fato, proporciona uma análise mais objetiva entre os mapas resultantes.

Quadro 5: Relação entre números de pontos analisados e número de pontos similares a classificação manual.

PERFIL	MANUAL	NÃO SEGMENTADA		SEGMENTADA	
	Base	=	≠	=	≠
A	7	4	3	4	3
B	7	6	1	6	1
C	5	4	1	5	0
D	5	4	1	4	1
E	5	3	2	3	2
F	5	3	2	5	0
G	7	7	0	7	0
H	5	5	0	4	1
Σ DOS PONTOS	46	36	10	38	8

A partir de cálculos que se utilizam dos dados descritos no quadro 5, percebe-se que a classificação SACP tem maior proximidade, 82,6% de concordância com a classificação manual do que a NS, que obteve 78,3%. Esses valores foram obtidos relacionando o somatório dos pontos da classificação manual e o somatório das feições com igual identificação.

Pela análise dos perfis, percebe-se que quando há presença de feições com elevação bastante acentuada e, em seu entorno, feições com elevações menores, ou ainda, uma grande amplitude altimétrica, percebe-se que o modelo SACP tende a realizar uma generalização na classificação (Perfis A, E e F). Já no modelo NS percebe-se uma forte influência da variável elevação nos mapeamentos (Perfis A e F).

Os perfis que apresentaram as menores amplitudes altimétricas, tais como a B e G, resultaram em classificações quase que na totalidade, similares. Fato este que mostra que estudos mais aprofundados deverão ser realizados para as áreas que possuem altas diferenças entre o ponto mais alto e o mais baixo do relevo. Uma orientação de que a influência da variável elevação no mapeamento precisa ser mais aprofundada nas metodologias NS e SACP.

A classificação SACP, contendo 82,6% de feições analisadas concordante com a classificação manual, indica um bom resultado referente a automação no processo de geração dos mapas geomorfológicos e corrobora com o fato de ser justificável o desenvolvimento de uma metodologia através de técnicas automáticas para mapeamento desta natureza. O ganho de tempo entre o desenvolvimento do mapa entre as duas metodologias para a bacia do rio Guapiaçú, que contém 563 km², gerou em torno de 24

horas de trabalho em gabinete. Ou seja, para cada 8 horas de produção do mapeamento com a técnica SACP, se trabalhou 24 horas para a produção do mesmo mapa manualmente. Extrapolando a área mapeada este ganho de tempo resulta em uma significativa economia na produção de mapas geomorfológicos.

Em relação a análise da classificação SACP, embora, em aproximadamente 40% dos perfis analisados, esta técnica tenha apresentado uma determinada generalização no contorno das feições, esse fato pode vir a ser refinado com o processo de junção dos *pixels* a partir da similaridade. Já a classificação NS, é importante lembrar que leva em consideração os valores de entrada das variáveis e não a cor do pixel. E nas análises os valores das classes de elevação influenciaram diretamente a delimitação das feições no mapa.

Outro ponto importante a ser levantado é referente ao fato de que a classificação NS foi a única que permitiu a representação das áreas de transição e, por este fato, não tenha apresentado a mesma generalização que as feições identificadas a partir da classificação SACP.

Alternando para a comparação entre os três mapeamentos realizados nesta pesquisa e o mapeamento proposto por Silva, o resultado apontou poucas divergências entre os quatro mapas finais. Desta forma, levando em consideração a proposta de compartimentação geomorfológica de Silva como referência de mapeamento para a área, foi produzido o quadro 6.

Quadro 6: Relação entre números de pontos analisados e número de pontos similares a classificação similar proposta por SILVA (2002).

PERFIL	MAPA SILVA	MANUAL		NÃO SEGM		SEGMENTADA	
	Base	=	≠	=	≠	=	≠
A	7	4	3	5	2	5	2
B	7	5	2	4	3	4	3
C	5	4	1	5	0	4	1
D	5	5	0	4	1	4	1
E	5	4	1	2	3	2	3
F	5	3	2	1	4	2	3
G	7	5	2	6	1	5	2
H	5	4	1	4	1	3	2
Σ DOS PONTOS	46	34	12	31	15	29	17

No quadro 5.2, a primeira coluna apresenta a identificação dos perfis realizados e para cada perfil a quantidade de pontos analisados apresentados na segunda coluna. Todos

os pontos analisados tiveram como base de comparação o mapeamento de referência de Silva (2002). Desta forma, as demais colunas (3ª, 4ª e 5ª) apresentam a quantidade de identificações similares a realizada pelo mapa base de comparação, e na última linha o somatório dos valores obtidos em cada coluna.

De posse dos somatórios, percebe-se que as três classificações efetuadas apresentaram resultados bem aproximados, o que pode indicar, de certa forma, a realização de um bom mapeamento geomorfológico (Figura 5.19).

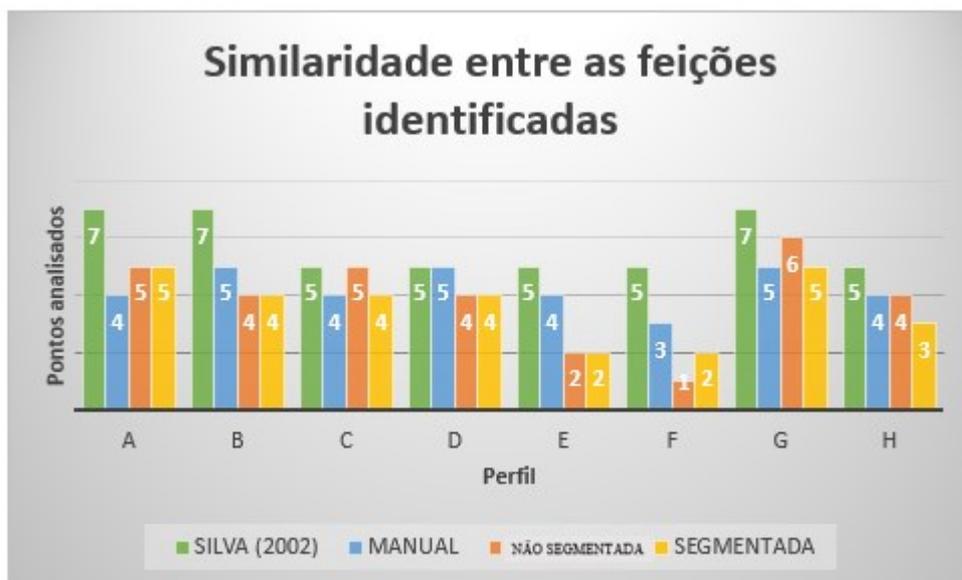


Figura 88: Apresentação da similaridade entre números de pontos analisados na proposta de SILVA (2002) e os obtidos nos mapeamentos Manual, NS e SACP.

Embora a diferença entre a melhor e a pior classificação tenha sido de 5 pontos, dentro de um universo de 46 amostras, a classificação realizada manualmente obteve melhor resultado e a oriunda da segmentação atributo cor pixel obteve o pior resultado.

A classificação manual, apresentou 74% de feições analisadas concordante com a classificação de Silva (2002). A classificação NS apresentou 67,3% e a SACP 63,4% de concordância entre as feições analisadas com o mapeamento proposto por Silva (2002).

Diante disso, pode se analisar que o mapa elaborado a partir da segmentação por cor do pixel, quando comparado aos outros três mapas geomorfológicos, apresenta vantagens e desvantagens. Em relação ao limite das unidades, o mapa elaborado mostrou-se bastante eficaz, delimitando-as com bastante proximidade das identificações realizadas nas outras classificações. Por outro lado, o mapa de compartimentação geomorfológica elaborado a partir da segmentação atributo cor pixel produziu uma generalização na

delimitação das feições, o que influenciou na classificação. Este fato deve ser futuramente melhor trabalhado, talvez na utilização de outros aplicativos que trabalhem com o processamento digital de imagem.

Importante ser ressaltado que após a análise das feições percebe-se que, novamente, a variável elevação é a que mais influenciou na determinação das feições. A variável declividade muitas vezes produz um resultado ambíguo, permitindo com que uma feição possa pertencer a duas classes distintas. Analisar as feições a partir da declividade requer um conhecimento prévio da área de estudo. A variável curvatura, por ser considerada a taxa de variação da declividade na direção da orientação da vertente, infelizmente, não pode ser analisada na escala de desenvolvimento deste trabalho.

7. CONCLUSÕES

Este trabalho foi iniciado com intuito de desenvolver uma abordagem metodológica para produção de mapas geomorfológicos de forma automatizada, a partir do valor da cor do pixel. Para isto, considerou-se que a utilização do modelo espaço cor RGB e dos aplicativos voltados para processamento digital de imagem seriam boas opções. O modelo espaço cor RGB possibilita destacar objetos e os *softwares* de processamento digital de imagens auxiliam na detecção dos elementos em imagens. Essas duas ferramentas em conjunto podem produzir mapeamentos eficientes e já são utilizadas em muitas pesquisas nas mais diversas áreas da ciência.

No mapeamento geomorfológico, principalmente na pesquisa nacional, poucas são os trabalhos realizados a partir do modelo espaço cor RGB e nenhum trabalho referente a delimitação das feições do relevo a partir do valor da cor do pixel foi encontrado. Desta forma, esta proposta metodológica se desenvolveu diferindo frontalmente das metodologias comumente empregadas em estudos de confecção de mapas geomorfológicos.

O primeiro passo do projeto foi desenvolver uma técnica que permitisse o cruzamento de variáveis de análise da morfometria e fornecesse como produto uma imagem que traduzisse o resultado desses cruzamentos em cores distintas. Vários testes foram realizados e percebeu-se que as metodologias geralmente utilizavam os valores iniciais das variáveis e não a cor propriamente dita do pixel resultante das combinações. Portanto, surgiu a ideia de se trabalhar com o modelo de cor RGB, adicionando cada variável em um canal específico. Assim, o valor obtido como Z seria a cor RGB de cada pixel e, e desta forma, satisfatoriamente, foi alcançado parte dos objetivos específicos da pesquisa.

As variáveis utilizadas para realização do mapeamento, a elevação, a declividade e a curvatura, forneceram uma boa base para realização da composição RGB e na posterior identificação das formas do relevo. Este fato pode ser percebido com o resultado da comparação entre os mapeamentos obtidos e o proposto por Silva (2002). Importante, ressaltar que outras variáveis podem agregar mais valor ao mapeamento, portanto, será interessante futuramente avaliar a ausência de alguma das três variáveis utilizadas ou a inserção de outras no conjunto delas.

O próximo passo foi selecionar a técnica para delimitar as feições a partir das cores. Muitas técnicas foram pesquisadas e três foram selecionadas para aplicação: a

digitalização manual, a técnica orientada a objetos e a segmentação. A técnica manual, não atingia todos os objetivos, uma vez que as feições não eram delimitadas automaticamente. Já a técnica de classificação não segmentada também não foi satisfatória, pois utilizava os valores iniciais das variáveis e não o valor da cor do pixel. A última técnica, a de segmentação a partir do atributo cor do pixel possui todas as características desejadas, a delimitação dos elementos a partir da cor do pixel.

Com os métodos e técnicas selecionadas foi possível gerar os mapas geomorfológicos. Os resultados gerados na aplicação da metodologia na área de estudo, foram satisfatórios, comparados ao mapa de Silva (2002), utilizado como base para análise dos resultados. Esses resultados comprovaram a eficiência do método proposto para geração de mapeamentos geomorfológicos. Portanto, o fato determinado e provado, é real a possibilidade de realizar mapeamentos geomorfológicos a partir do atributo cor do pixel de maneira automatizada.

Levando em consideração os preceitos da ciência, o objetivo desta pesquisa foi o de produzir um conhecimento inicial, provisório e não definitivo, que possibilite maior facilidade na interpretação da superfície topográfica e acurácia nas interpretações, de modo que previsões mais confiáveis acerca de fenômenos geomorfológicos possam ser realizadas. Desta forma, estudos futuros devem ser produzidos com intuito de melhorar a metodologia proposta para geração de mapas geomorfológicos. Para tal melhorias os seguintes tópicos, descritos a seguir, podem ser desenvolvidos:

- Realizar testes com outros sistemas de cores, tais como o CMY e o HSV. Outros sistemas de cores produzirão composições diferentes com as mesmas variáveis utilizadas nesta pesquisa e assim poderá ser verificado se existe uma composição melhor para o mesmo mapeamento.
- Utilizar novas variáveis e realizar combinações com maior ou menos número delas.
- Desenvolver e aplicar questionários para um grupo de geomorfólogos para validar a identificação das feições a partir de “n” composições.
- Testar novas técnicas que permitam trabalhar com processamento digital de imagens, a fim de verificar a existência de outros métodos de segmentação de objetos.
- Testar outros Modelos Digitais de Elevação (MDEs), para aumentar ou diminuir a resolução espacial e identificar melhorias no mapeamento final.

- Aplicar a metodologia em áreas distintas com escalas diferenciadas, para validar o modelo.
- Testar diferentes limites ou limiares para mapeamentos das áreas de transição entre as feições.
- Variar a amplitude das classes das variáveis morfométricas, para possível identificação da influência destas alterações no modelo.
- Validar o modelo a partir de um minucioso trabalho de campo, a fim de apurar a acurácia do modelo.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A. N.; BIGARELLA, J. J. Considerações sobre a geomorfogênese da Serra do Mar no Paraná. Boletim Paranaense de Geografia. Vol. 4 e 5. Curitiba: UFPR, pp. 94-110. 1961.

AB'SABER, A. N. Domínios morfoclimáticos e províncias fitogeográficas do Brasil. Revista Orientação, Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo (IGEOP/USP), 3: 45-48. 1967.

AB'SÁBER, A. N. Um conceito de Geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário. São Paulo: Edusp, IGEOP, 1969.

AB'SABER, A.N. Províncias geológicas e domínios morfoclimáticos no Brasil. São Paulo: Inst. Geogr. USP, Geomorfologia, n. 15. 1970.

AB'SABER, A. N. Os Domínios morfoclimáticos na América do Sul: primeira aproximação. Geomorfologia, São Paulo, Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, n. 52, p. 1-22, 1977.

ALBERS, J. A interação da cor. Vol 2. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – USP. São Paulo, 1975.

BACKHAUS, W.G.K., Kliegl, R., & Werner, J.S. Color vision: Perspectives from different disciplines. Berlin: de Gruyter, 1998.

BASTOS, J.N. Gerenciamento de cores: uma visão muito pessoal. São Paulo: Desktop, 2001.

BASTOS, J.N., ALÉSSIO, R.G.; EMENUELLI, L.R. Cartilha de gerenciamento de cores – normalização NOS 27. 1ª edição. São Paulo: ABTG, 2004.

BAXES; G.A. Digital Image Processing (Principles and Applications); John Wiley & Sons. Inc.; 1994.

BERTIN, J. A Neográfica e o Tratamento Gráfico da Informação. Tradução de Célia Maria Westphalen. Curitiba, Universidade Federal, 1986.

BIGARELLA, J.J., MOUSINHO, M.R., SILVA, J.X. Pediplanos, pedimentos e seus depósitos correlativos no Brasil. Boletim Paranaense de Geografia. Vol. 16 e 17. Curitiba: UFPR, pp. 117-154. 1965.

BOARD, C. Os mapas como modelos. In: Modelos físicos e de informação em Geografia. 1. ed. Rio de Janeiro, Editora USP e Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1975.

BODGAN, R.; BICKLEN, S. Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos. Porto (Portugal): Porto, 1994.

BORGES, M. E. S. CARVALHO JUNIOR, O. A; MARTINS, E. S.; ARCOVERDE, G. F. B.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T. Emprego do processamento digital dos

parâmetros morfométricos no mapeamento geomorfológico da bacia do Rio Preto. Espaço e Geografia, Brasília, v. 10, n. 2, p.279-294. 2007.

BRAINARD, D. Color appearance and color difference specification. Editora In S. Shevell, The science of color, (pp. 191-216). Oxford: Optical Society of America, 2003.

BRUST, L.F. Análise multitemporal dos dados Landsat dos elementos geoambientais da região de Itaguaí – Seropédica – RJ. Dissertação – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, RJ. 94p. 2010.

BURGOS, D.C Mapeamento geomorfológico aplicado a análise ambiental: estudo de caso serra da Jaqueçaba e seu entorno. Vitória, 2009.

CASSETI, V. Geomorfologia. 2005. Disponível em: <www.funape.org.br/geomorfologia> Acesso em 3 janeiro 2015.

CASTANHO, C.P.PJ. Controlando a Cor. Ano 8, nº 36. São Paulo: Publish, 1998.

CESAR JR, R. M., COSTA, L. F. Shape Analysis and Classification Theory and Practice. CRC Press, 2001.

CHORLEY, R.J.; SCHUMM, S.A.; SUGDEN, D.E. Geomorphology. Cambridge: Methuen, 1984.

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. 2 ed. São Paulo: Edgar Blücher, 1980.

CHURCH, M. (2005) Continental drift. Earth Surface Processes and Landforms. 2005.

COELHO, André. L. N. Alterações hidrogeomorfológicas no Médio-Baixo Rio Doce/ES, 2007. 237 f. Tese de Doutorado (Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal Fluminense) UFF, Niterói – Rio de Janeiro, 2007.

COLTRINARI, L. Cartografia geomorfológica detalhada: A representação gráfica do relevo entre 1950-1970. Revista Brasileira de Geomorfologia, v.12, n.3, p.121-130, 2011.

CORDINI, J. O terreno e sua representação. 2004. Disponível em: <www.topografia.ufsc.br>. Acesso em: 7 de abril de 2015.

CPRM. Serviço geológico do Brasil. Mapa de unidades geomorfológicas do estado do Rio de Janeiro. 2000. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/arquivos/pdf/rj/geomorfologico/geomorfo_mpunid.pdf>. Acesso em: 12 de novembro de 2014.

CUNHA, L.F.P.B. O tratamento das imagens e suas aplicações. São Paulo: Tecnologia Gráfica, 2001.

DANTAS, M.E. Geomorfologia. In: CPRM; EMBRAPA; SCO-MI (Org.). Zoneamento Ecológico-Econômico da Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno - Fase I. 1ª ed. Rio de Janeiro, v.2, p. 01-29, 2004.

DEMEK, J. Manual of detailed geomorphological mapping. Praga, IGU, Comm Geomorph. Surv. Mapping, 1972. 368 p

DUDA, R.O. Pattern Classification, John Wiley & Sons, 2ª edição. 2000.

FARINA, M. Psicodinâmica das cores em comunicação. 4. ed. São Paulo: E. Blucher, 1990. 223p.

FILIZOLA, F.N. Gerenciamento de cores e calibração de monitores. SENAI. São Paulo, 1999.

FLORENZANO, T. G. (org.). Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FRANÇA, C.F.; PIMENTEL, M.A.S.; PROST, M.T.R.C. Geomorfologia e paisagem: contribuições à classificação de unidades de paisagem da região oriental da ilha de Marajó, norte do Brasil. In: SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA. Coimbra: Universidade de Coimbra, 2010.

FROLOVA, M. Los orígenes de la ciencia del paisaje em la geografía rusa. Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales. v. 5, n. 102, dez 2001. Disponível em:< <http://www.ub.es/geocrit/sn-102.htm>>. Acesso em 4 dezembro de 2014.

GELLERT, J. F. Preface - 1. The nature and aims of detailed geomorphological mapping. In: DEMEK, J.; EMBLETON, C.; GELLERT, J.; VERSTAPPEN, H. eds. Manual of detailed geomorphological mapping. Czech. Ac. Sc. Praha. p. 13-17, 1972.

GOMES, P.C.C. (Org.); BICALHO, A. M. S. (Org.). Questões Metodológicas e novas temáticas na pesquisa geográfica. 1. ed. Rio de Janeiro: PUBLIT, 2009. v. 1. 308p.

GONZALEZ, R., WOODS, P. Digital Image Processing. Prentice Hall, 2002.

GOULART, A.C.O. Relevos e Processos Dinâmicos: Uma Proposta Metodológica de Cartografia Geomorfológica. Geografares, Vitória, nº 2, jun. 2001.

GRASSO, D. N. Applications of the IHS color transformation for 1:24.000 – scale geologic mapping. Photographic Engineering & Remote Sensing. 1993. P. 73-80.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. Novo dicionário geológico-geomorfológico. 2 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.

GUERRA, A. T.; MARÇAL, M. S. Geomorfologia ambiental. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

GUIMARÃES, L. A cor como informação: a construção biofísica, linguística e cultural da simbologia das cores. São Paulo: Annablume, 2001.

GUSTAVSSON M., Kolstrup E., Seijmonsbergen, A. C. Geomorphology: a new symbol and GIS based detailed geomorphological mapping system: Renewal of a scientific discipline for understanding landscape development. Geomorphology 77: 90–111. 2006.

HARLEY, J. B. A nova história da cartografia. O correio da Unesco. Ed. em português. São Paulo. Editora FGV, 1991.

HARRIS, J. R., BOWIE, C., RENCZ, A.N. & GRAHAN, D. Computer-enhancement technique for the integration of remotely sensed, geophysical, and thematic data for the geosciences. Canadian Journal of R. S. 1994. P. 210-221.

Hayden, R. S. Geomorphology From Space: A Global Overview of Regional Landforms, Chapter 11: "Mapping". NASA. http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/geomorphology/GEO_11/index.shtml. Acesso em 01/01/2014

HELM, C. Multidimensional ratio scaling analysis of perceived color relations. Journal of the Optical Society of America, n°. 54, p. 256-262. 1968.

HERMUCHE, P. M.; GUIMARÃES, R.F.; CARVALHO, A.P.F.; MARTINS, E.S.; FUCKS, S.D. & CARVALHO JUNIOR, O. A.; SANTOS, N.B.F. & REATTO, A. Morfometria como Suporte para Elaboração de Mapas Pedológicos: I. Bacias Hidrográficas Assimétricas. Documentos - Embrapa Cerrados, 2002. P. 68:1-25.

HOLDSCHIP, R. A influência dos sistemas de gerenciamento de cores em provas digitais. Dissertação de mestrado – Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Universidade Estadual Paulista, SP. 123p. 2008.

IAG. International Association of Geomorphologists. Disponível em: <http://www.geomorph.org>. Acesso em: 20 abril. 2015.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico de geomorfologia. 2ª edição, 1995.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico de geomorfologia. 2ª edição, 2009.

JENSEN, J.R. (1949). Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. EPIPHANIO, J.C.N.; FORMAGGIO, A.R.; SANTOS, A.R.; RUDORFF, B.F.T.; ALMEIDA, C.M.; GALVÃO, L.S. (Tradução). São José dos Campos: Parêntese. 2009.

KING, L.A. A Geomorfologia do Brasil oriental. Revista Brasileira de Geografia 18(2), p.147-265. 1956.

KLIMASZEWSKI, M.; TRICART, J. Resolutions adopted at the Conference of the Subcommission on Geomorphological Mapping. Geographical Studies. Problems of Geomorphological Mapping. v.46, p.129-130, 1963.

LACOSTE, Y. A Geografia – isso serve, em primeiro lugar, para fazer a guerra. Tradução Maria Cecília França. 2 ed. Campinas: Papirus, 1988.

LEÃO, A.C. Gerenciamento de cores para imagens digitais. Dissertação de mestrado – Escola de Belas Artes, Universidade Federal de Minas Gerais, MG. 135p. 2005.

MACEACHREN, A. M.; GANTER, J. H. A pattern recognition approach to cartographic visualization. *Cartographyl*, v. 2, n. 27, p. 64-81, 1990.

MARQUES, J. M. Ciência geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

MARTINELLI, M. *Curso de Cartografia Temática*. São Paulo: Contexto, 1991. 180p.

_____. *Cartografia temática: caderno de mapas*. Editora da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

MARTINS, T.I.S. Mapeamento geomorfológico da folha Piumhi Minas Gerais. Dissertação de mestrado – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, MG. 157p. 2013.

MEIS, M.R.; MIRANDA, L.H.G. & FERNANDES, N.F. 1982. Desnívelamento de altitude como parâmetro para a compartimentação do relevo: bacia do médio-baixo Paraíba do Sul. In: Congresso Brasileiro de geologia, 32, 1982. Salvador. Anais Salvador: SBG. 4:1489-1509

MUNECHIKA, C. K., WARNICK, J. S., SALVAGGIO, C. & SCHOTT, J. R. Resolution enhancement of multispectral image data to improve classification accuracy. *Photographic Engineering & Remote Sensing*. 1993. P. 67-72.

NUNES, B.A.; RIBEIRO, M.I.C.; ALMEIDA, V. J. et al. *Manual Técnico de Geomorfologia*. Rio de Janeiro: IBGE, 1995. 112p

OLIVEIRA, I. J. A linguagem dos mapas: utilizando a cartografia para comunicar. *Revista Uniciencia*. Goiás, 2004.

OLIVEIRA, V. B. S.; MACHADO, P. S. Integração da geomorfologia e do geoprocessamento para a compartimentação do relevo da República do Panamá. *Revista e-Scientia*. v.5, n°2, p. 7-23. Belo Horizonte, 2012.

PASSARGE, S. *Geomorfologia*. Tradução: Espanhol J. Gómez de Llarena. Barcelona: Labor, 1931.

PASSOS, M. M. *A raia divisória: geossistema, paisagem e eco-história*. Maringá: Eduem, 2006.

PASTOUREAU, M. *Dicionário das cores do nosso tempo: simbólica e sociedade*. Tradução de Maria José Figueiredo. Lisboa: Estampa, 1997.

PEDROSA, I. *Da cor à cor inexistente*. 9.ed. Rio de Janeiro: Léo Christiano Editorial, 2003.

PEDROSA, I. *O universo da cor*. Rio de Janeiro: Senac Nacional, 2004.

PEREIRA, R. C. C.; SILVA, Q. D. Paisagem: uma releitura do GTP e da percepção. colóquio internacional sobre desenvolvimento local e sustentabilidade, 1, São Luís. Anais São Luís: Universidade Estadual do Maranhão. 2009.

POLETTE, M. Paisagem: uma reflexão sobre um amplo conceito. Revista Visão e Ação. Itajaí, Universidade do Vale do Itajaí, ano 2 - n.3 - p.83-94. 1999. abr/set -1999. Disponível em: < <https://www6.univali.br/seer/index.php/rtva/article/>>. Acesso em: 20 jun. 2015.

PONÇANO, W.L.; BISTRICHI, C.A.; CARNEIRO, C.D.R.; ALMEIDA, M.A.; PIRES NETO, A.C.; ALMEIDA, F.F.M. O conceito de sistemas de relevo aplicado ao mapeamento geomorfológico do Estado de São Paulo. In: Simpósio Regional de geologia, 1979. V.2. p. 253-262.

PONÇANO, W.L. et al. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1981. 94p.

PRADO, J. P. B.; PASSINI E. Y. & SANTIL, F. L. P. Comunicação e/ou visualização cartográfica para a validação da modelagem conceitual para o transporte coletivo de Maringá, estado do Paraná. Revista Acta Scientiarum. v.25, nº2, p. 359-371. Maringá, 2003.

QUEIROZ, D. R. E. O Mapa e seu Papel de Comunicação: Ensaio Metodológico de Cartografia Temática em Maringá-PR. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1994

QUEIROZ, J.E.R & GOMES, H.M. Introdução ao processamento digital de imagens. Revista RITA: instruções para preparação de documentos em Word. V. 8, nº 1, p. 1-31. Campina Grande, 2001.

RADAMBRASIL. Levantamento de recursos naturais. V. 31, Rio de Janeiro. Goiânia, 1983. 768p.

RAISZ, E. Cartografia geral. Rio de Janeiro. Editora Científica, 1969.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. D.; CAVALCANTI, A. P. B. Geoecologia da paisagem: uma visão geossistêmica da análise ambiental. Fortaleza: EDUFC, 2004.

RODRIGUES, S. C.; BRITO, J. L. S. Mapeamento Geomorfológico de Detalhe: Uma proposta de associação entre o mapeamento tradicional e as novas técnicas em Geoprocessamento. Caminhos de Geografia 1(1)1-6, set/ 2000, Uberlândia-MG. Disponível em: <http://www.ig.ufu.br/revista/volume01/artigo01.vol01.pdf> Acesso em: 12 de out. 2014.

ROSS, J.L.S. Geomorfologia: Ambiente e Planejamento. São Paulo: Contexto, 1990. 85p.

_____. O Relevo Brasileiro, As Superfícies de Aplanamento e os Níveis Morfológicos. Revista do Departamento de Geografia da USP, São Paulo, n. 5, p. 7-24, 1991.

_____. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. São Paulo. Revista do Departamento de Geografia da USP, n. 6, p. 17-29. 1992.

_____. Geomorfologia: Ambiente e Planejamento. São Paulo: Contexto. 2003.

_____. Geomorfologia: ambiente e planejamento. 8 ed. São Paulo. Contexto, 2007.

ROSS, J.L.S; MOROZ, I.C. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. Laboratório de Geomorfologia. São Paulo: Departamento de Geografia – FFLCH –USP/Laboratório de Cartografia Geotécnica – Geologia Aplicada – IPT/FAPESP (Fundação do Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), 1997.

ROSSATO, M.S.; BELLANCA, E.T.; FACHINELLO, A.; CÂNDIDO, L.A.; SUERTEGARAY, D. M. A. (orgs.) Terra: feições ilustradas. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

RUSS, J. C. The image processing handbook. CRC Press LLC, 3 edição. 2000.

SANT'ANNA, B. et al. Conexões com a física. 1. Edição. São Paulo: Moderna, 2010.

SANTOS, C.A., Sobreira, F.G. & Silva, S.P. Cartografia geomorfológica como subsídio ao ordenamento territorial das bacias do ribeirão Carioca, córrego do Bação e córrego Carioca, Itabirito, MG. 6º Simpósio Nacional de Geomorfologia. Goiânia-GO. UGB. 2006.

SANTOS, D. A reinvenção do espaço: diálogo em torno da construção do significado de uma cartografia. São Paulo. Ed. UNESP, 2002.

SANTOS, M. Manual de Geografia Urbana. São Paulo, Hucitec, 1981.

SCHIMIDT, J.; HEWIT, A. Fuzzy land element classification from DTMs based on geometry and terrain position. Geoderma n. 121, p. 243 – 256. 2004.

SCURI, A. E. Fundamentos da imagem digital. Rio de Janeiro: Tecgraf/PUC, 2002.

SENA-SOUZA, J.P. MARTINS, E.S., COUTO JUNIOR, A.F., REATTO, A., VASCONCELOS, V., GOMES, A.P., CARVALHO JUNIOR, O.A., REIS, A.M. Mapeamento geomorfológico da bacia hidrográfica do rio São Bartolomeu, escala 1:100.000. Boletim de pesquisa e desenvolvimento. Planaltina, DF, 2013.

SHARY, P.; SHARAYA, L.; MITUSOV, A. Fundamental quantitative methods of land surface analysis. Geoderma, v.107, p.1-32, 2002.

SILVA, C.C; MARTINS, R.A. A Nova teoria sobre luz e cores de Isaac Newton: uma tradução comentada. Revista Brasileira de Ensino de Física, v.18, p. 313-27, 1996.

SILVA, T. M. A estruturação geomorfológica do Planalto Atlântico no Estado do Rio de Janeiro. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ. 265p. 2002.

SOUZA, L. H. F., FERREIRA, I. L.; RODRIGUES, S. C. Cartografia Digital Aplicada ao Mapeamento Geomorfológico. Revista Sociedade & Natureza, Uberlândia, v. 16, n 30, p. 133-144, 2004.

SUMMERFIELD, M.A. Global geomorphology. – An introduction to the study of landforms. Addison Wesley Longman Limited, Harlow. 1991.

_____. The Changing Landscape of Geomorphology. Earth Surface Process and Landforms. 2005, p.779-781.

TRICART, J. Divisão morfoclimática do Brasil Atlântica Central. Boletim Paulista de Geografia, São Paulo. n. 31. p. 3-4. 1959.

_____. Principles e Methodes de la Geomorphologie. Masson et Cie. Ed. Paris, 1965.

TROLL, C. El Paisaje geográfico y su investigacion. In.: MENDOZA, J. G.; JIMÉNEZ, J. M.; CANTERO, N. O. El pensamiento geográfico. Madrid: Alianza Editorial, p. 323-329. 1982.

_____. A paisagem geográfica e sua investigação. Revista Espaço e Cultura, 4:1-7. 1997. Texto publicado originalmente em alemão como “Die geographische Landschaft und ihre Erforschung” em Stadium Generale, 4-5. 1930.

VALERIANO, M.M.; CARVALHO-JÚNIOR, O. A. Geoprocessamento de modelos digitais de elevação para mapeamento da curvatura horizontal em microbacias. Revista Brasileira de Geomorfologia, v.4, n.1, p.17-29, 2003

VASCONCELOS, V. CARVALHO JUNIOR, O.A., MARTINS, E.S. COUTO JUNIOS, A. F. GUIMARÃES, R.F. GOMES, R.A.T. Sistema de classificação geomorfométrica baseado em uma arquitetura sequencial em duas etapas: árvore de decisão e classificador espectral no Parque Nacional Serra da Canastra. Revista Brasileira de Geomorfologia. V. 13. N. 2. 2012. 171-186p.

VENEZIANI, P.; Anjos, C. E. Metodologia de interpretação de dados de Sensoriamento Remoto e aplicações em Geologia. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1982. 54 p.

VISVALINGAM, M. Cartography, GIS and maps in perspective. The Cartographic Journal, London, v. 26, p. 26- 32, 1989.

XAVIER DA SILVA, J. Paralelos e Reflexões. Rio de Janeiro, 172p. (Tese Professor Titular. Depto. Geografia - IGEO/UFRJ). 1998.