



USO DE DADOS SRTM COMO FERRAMENTA DE APOIO AO MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DE BACIA DE MÉDIO- GRANDE PORTE

USE OF DADOS SRTM AS TOOL OF SUPPORT TO MAPPING GEOMORPHOLOGIC OF MEDIUM-BIG BASIN

André Luiz Nascentes Coelho - Doutor em Geografia pela Universidade Federal Fluminense
Professor Adjunto Substituto do Depto. de Geografia - UFES
andre.ufes@bol.com.br

RESUMO

O presente artigo tem como objetivo destacar as principais etapas para produção do mapeamento geomorfológico da bacia hidrográfica do rio Doce, de 83.465 km², com o uso de dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) e ferramentas do SIG (Sistema de Informação Geográfica), propondo uma classificação mais detalhada e atualizada da bacia na escala 1:100.000. O resultado do estudo apresentou-se extremamente satisfatório, pois permitiu, não apenas, conhecer melhor a estrutura e os modelados, como também, identificar os principais processos denudacionais e agradacionais que operam no interior da bacia, mostrando-se como um importante instrumental de apoio na execução de diversas categorias de planejamento e gestão, a exemplo, de bacias hidrográficas.

Palavras-chave: Geotecnologias, SRTM, Mapeamento Geomorfológico, Bacia do Rio Doce.

ABSTRACT

The present article has as objective detaches the main stages for production of the mapping geomorphologic of the basin of Doce river of 83.465 km², with the use of data SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) and tools of GIS proposing a more detailed and updated classification of the basin in scale 1:100.000. The result of the study came extremely satisfactory, because it allowed, not just, to know the structure better, modeled them, as well as, to identify the principal processes that operate inside the basin, being shown as an important one instrumental of support in the execution of several planning categories and administration, to example, of the basins hydrographic.

Key words: Geotechnology, SRTM, Geomorphologic Mapping, Basin of Doce River.



1. INTRODUÇÃO

Os estudos geomorfológicos possuem grande relevância no escopo das Geociências, pois, a partir deles, é possível entender as condições gerais da dinâmica da paisagem contribuindo para o desenvolvimento de prognósticos e interpretações das condições ambientais. Esses estudos fundamentam-se, primordialmente, na observação da paisagem, em técnicas cartográficas baseadas em cartas topográficas com escalas diversas, associadas à fotointerpretação e em pesquisas sobre os rególitos, com o objetivo final de compartimentar o relevo (Bigarella, 2003; Ab'Sáber 1969; King 1956).

Atualmente, com o emprego de novas técnicas computacionais, associadas aos modernos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), bem como, com a utilização dos dados obtidos de sensores orbitais, tornou possível elaborar Modelos Numéricos do Terreno – MNT, destacando a arquitetura do relevo (estruturas, modelados, rede de drenagens, entre outros) de uma determinada área, desde alguns metros, até centenas de quilômetros, proporcionando diversos tipos de análises no âmbito dos estudos geoambientais (Valeriano, 2008; Silva, 2003).

Em face deste novo cenário geotecnológico, o presente artigo tem como objetivo principal utilizar produtos orbitais dos dados SRTMs (*Shuttle Radar Topography Mission*) e ferramentas do SIG (*Sistema de Informação Geográfica*) como suporte ao mapeamento geomorfológico da bacia hidrográfica do rio Doce. Como objetivos específicos o estudo pretende: destacar as principais etapas na produção de mapas derivados dos dados SRTM; avaliar a eficiência/qualidade dos mapas derivados do SRTM, verificando com a realidade em campo; realizar a delimitação precisa do polígono da bacia na escala 1:100.000, além do cálculo de cada área das unidades geomorfológicas; delimitar a rede de canais e hierarquização; hipsometria, propondo uma classificação mais detalhada e atualizada das características de relevo da bacia com base na proposta Ross (1992, 2001).

2. ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Hidrográfica do Rio Doce está localizada na região sudeste do Brasil, entre os Estados de Minas Gerais e Espírito Santo, nos paralelos 17°45' e 21°15' de latitude sul e nos meridianos 39°55' e 43°45' de longitude oeste. O rio possui uma extensão total de 853 km e uma área de drenagem com 83.465 km² - superior à área do Estado do Espírito Santo (46.078km²) -, sendo que 86% dele pertencem ao Estado de Minas Gerais e o restante (14%) ao Estado do Espírito Santo, o que nos permite classificá-lo como uma bacia de domínio federal. Suas nascentes situam-se nos limites oeste e sul da bacia, nas serras do Espinhaço e da Mantiqueira, em Minas Gerais, sendo o rio Doce formado pela confluência dos rios Xotopó e Piranga. Seus principais afluentes são, pela margem esquerda, os rios Piracicaba, Santo Antônio e Suaçuí Grande, em Minas Gerais; Pancas e São José no Espírito Santo; pela margem direita, os rios Casca, Matipó, Caratinga-Cuieté e Manhuaçu, em Minas Gerais; e Guandu, no Espírito Santo.

A hipsometria da bacia permite ter uma noção do comportamento do relevo e constatar, por exemplo, o extenso rio que penetra, profundamente, no planalto mineiro. As altitudes variam de 0 a 2.880 metros elevando-se de leste para oeste, com o predomínio entre 100 a 200 metros e de 600 a 800 metros, sendo as maiores situadas na serra do Caparaó (pico da Bandeira 2.880m), na divisa de Minas Gerais e Espírito Santo, localizada na extremidade centro-sul da bacia no Parque Nacional do Caparaó. As altitudes no canal principal a partir do município de Desterro do Melo (MG), um dos formadores do rio Doce, rio Xopotó, é de 835 m. Na confluência entre os rios Piranga e Carmo, que formam o Rio Doce, decai para menos de 350m e na confluência entre o rio Piracicaba com Doce as altitudes são inferiores a 250m. Deste ponto em diante, a altitude diminui, proporcionalmente, até a foz, com exceção da ruptura de declive, situada no setor entre os municípios de Itueta (MG) e Baixo Guandu (ES), caindo de 98m para 77m, local em que foi construída a UHE de Aimorés.

Há o predomínio de duas classes de solo na bacia, sendo a primeira o Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico e/ou álicos, ocorrendo principalmente nos planaltos dissecados desde o Plano e Suave Ondulado. A segunda classe é o Argissolo Vermelho-Amarelo, encontrado desde relevo Plano, Suave Ondulado até Forte Ondulado a Montanhoso, com predominância do último, tendo como principal limitação a topografia,



pois quase a totalidade da área ocupada com o Argissolo está em Relevo Forte Ondulado e/ou Montanhoso devido ao problema da grande susceptibilidade à erosão que esses tipos de solos apresentam. Outras manchas ocorrem em menor extensão: o Latossolo Ácrico, o Cambissolo, o Neossolo Litólico e o Neossolo Regolítico (Radambrasil, 1983 e 1987).

O regime fluvial do rio Doce é perene e, de modo geral, acompanha a pluviosidade (cheia, com os níveis máximos ocorrendo nos meses de dezembro, janeiro e março; e vazante de abril a setembro). As regiões de maiores altitudes e litorâneas são as que apresentam os maiores totais anuais de precipitação, variando entre 950 mm/a e 1.550 mm/a, enquanto os fundos de vales e regiões deprimidas registram os menores totais que variam entre 880 e 1.000 mm/a. Grande parte da bacia apresenta temperaturas médias anuais elevadas durante boa parte do ano e, mesmo nos meses mais frios, as temperaturas médias são superiores a 18°C. A exceção fica para o litoral, com temperatura média anual superior a 24°C.

3. BASES TEÓRICAS

A fundamentação teórica deste estudo está baseada nos três níveis de abordagem do relevo sistematizados por Ab'Sáber (1969)² e nos pressupostos teóricos de Walter Penk (1953 in Ross 1990), segundo o qual o relevo é o resultado da atuação conjunta de processos endógenos e exógenos. Os endógenos são emanados do interior da Terra, a exemplo da dinâmica da tectônica de placas, resultando em orogênese, afundamentos, falhamentos, vulcanismos, terremotos, entre outros processos. Já os exógenos processam-se através da ação de fenômenos externos como a atuação do clima (pretérito e atual), resultando em processos de intemperismo, formação de solos, erosão, transporte, deposição de sedimentos. Ambos os processos, envolvem o aspecto temporal (escala de tempo geológico, histórica e contemporânea), escalas do espaço, além do homem como um dos principais agentes externos de modificação do relevo. A partir dos pressupostos de Penck (op. cit), Mecerjakov (1968) desenvolveu os termos de morfoestrutura (estrutura/litologias associadas a sua gênese) e morfoescultura (resultado da ação climática em determinada estrutura) usados neste artigo.

A escolha da metodologia utilizada para o mapeamento geomorfológico ocorreu após uma exaustiva revisão das propostas do Radambrasil (1983 e 1987)³, IBGE (1995), Souza (1995), entre outras, sendo selecionada a proposta taxonômica de relevo desenvolvida por Ross (1990). Esta, além de ser mais atualizada/aperfeiçoada, é considerada a mais apropriada para a representação dos fatos geomórficos de diversas escalas e a que valoriza também o uso de geotecnologias como uma ferramenta de apoio na identificação de padrões e formas de relevo. A proposta é baseada em seis níveis taxonômicos, sendo nesse trabalho utilizados apenas os três primeiros níveis, em conformidade com a escala da bacia. O primeiro taxon corresponde às unidades morfoestruturais, organizando a causa dos fatos geomorfológicos derivados de aspectos amplos da geologia como os estruturais, sendo identificado a partir de produtos orbitais (imagens de satélites, SRTMs/radar), complementado com trabalhos de campo e de cartas geológicas. O segundo taxon trata das Unidades Morfoesculturais, representando os compartimentos e subcompartimentos do relevo (ou regiões⁴) pertencentes a uma determinada morfoestrutura. É identificado também com auxílio de produtos orbitais e controlado por meio da investigação de campo. O terceiro taxon está relacionado com as Unidades Morfológicas ou padrões de formas semelhantes contidos nas unidades morfoesculturais, correspondendo às manchas de menor extensão territorial, definidas por um conjunto de formas de relevos, que guardam em si elevado grau de semelhança de tamanho e aspecto fisionômico com diferentes intensidades de dissecação ou rugosidade topográfica, por influência de canais de drenagem temporários e perenes. Estas unidades morfológicas podem ser, segundo sua natureza genética, de dois tipos: Formas de Denudação e/ou Agradação conforme Tabela 1.

²São eles: *compartimentação topográfica* que identifica feições do relevo em uma maior escala de análise com os padrões de formas/testemunhos ou domínios altimétricos; *estrutura superficial* em que são analisados depósitos residuais/sedimentares, eventos de neotectônicos, possibilitando compreender os processos morfogenéticos pretéritos; e, *fisiologia da paisagem* que leva em conta os processos dinâmicos atuantes. Nesses três níveis a ação do clima, a ocupação e o uso do solo são os principais elementos condicionantes no modelado de relevo.

³ O projeto Radambrasil desenvolveu quatro metodologias de classificação geomorfológica ao longo de quinze anos de atividades (1970-1985), buscando aprimorar a qualidade da informação cartografada.

⁴ De maneira análoga as *Regiões Geomorfológicas* posposta pela metodologia de mapeamento geomorfológico do IBGE (1995 p 11).



Tabela 1 – Padrões de formas de relevo do 3º taxon: primeira letra sempre maiúscula seguida de letras minúsculas. Fonte: Ross e Fierz (2005, p. 72) e Ross (2001, p. 361)

FORMAS DE DENUDAÇÃO	FORMAS DE AGRADAÇÃO
D – Denudação (erosão)	A – Acumulação
Da – Formas com topos aguçados	Apf – Formas de planície fluvial
Dc – Formas com topos convexos	Apm – Formas de planície marinha
Dt – Formas com topos tabulares	Apl – Formas de planície lacustre
Dp – Formas de superfícies planas	Api – Formas de planície intertidal (mangue)
De – Formas de escarpas	Ad – Formas de campos de dunas
Dv – Formas de vertentes	Atf – Formas de terraços fluviais
	Atm – Formas de terraços marinhos

O estudo também tomou como base o uso e aplicação das geotecnologias, sendo estas um conjunto de tecnologias (sistemas de informação geográfica, cartografia digital, sensoriamento remoto, sistema de posicionamento global), cujo fundamento principal é a coleta, processamento, análise e oferta de informações com referência geográfica, possuindo em seu arcabouço técnico-metodológico premissas de processamento digital de imagens de satélites, elaboração de bancos de dados georreferenciados, quantificação de fenômenos da natureza, entre outras análises, proporcionando uma visão mais detalha/abrangente do ambiente numa perspectiva geossistêmica (Guerra e Marçal, 2006).

4. MATERIAL UTILIZADO

Para que os objetivos propostos neste estudo fossem alcançados, o mesmo foi dividido em duas principais etapas, sendo:

- **Primeira:** revisão bibliográfica (já abordada) que discorre a respeito do tema tratado: mapeamento geomorfológico e uso de geotecnologias.

- **Segunda:** uso do software ArcGIS 9.2, aplicativo ArcMap, considerado o módulo central e fundamental no ArgGIS, pois nele que foram confeccionados/manipulados os mapas, realizada a edição e a exportação dos dados georreferenciados, entre outros comandos. Nesta etapa foi feita a aquisição das imagens SRTMs, registro fotográfico em campo, uso do GPS, mapas topográficos que englobam toda a bacia, a fim de nomear os respectivos rios no banco de dados e confrontar com as informações geradas pelo sistema, como por exemplo, o traçado da rede hidrográfica e as cotas de elevação.

4.1. TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO UTILIZADAS

· **Aquisição e filtragem do SRTM**

A aquisição dos dados SRTMs foi realizada no site da Embrapa (disponível em: <<http://www.embrapa.br/>>, acesso em: 04 de fev. 2008). Esses produtos foram gerados a partir de dados de radar, obtidos de sensores a bordo do ônibus espacial Endeavour, no projeto SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), uma parceria das agências espaciais dos Estados Unidos (NASA e NIMA), Alemanha (DLR) e Itália (ASI). O arranjo do radar foi projetado para coletar medidas tridimensionais da superfície terrestre, através de interferometria. Outras características da imagem adquirida são: Formato GEOTIFF (16 bits); Unidade de altitude em metros; Sistema de Coordenadas Geográficas; Datum WGS-84 (depois transformado para *UTM*).



Para a composição de toda a área de estudo, foi necessário baixar 15 dados SRTMs compatíveis com as folhas na escala 1:250.000 do IBGE (Figura 1), sendo: SE-23-X-D, SE-24-V-C, SE-23-Z-A, SE-23-Z-B, SE-24-Y-A, SE-24-Y-B, SE-23-Z-C, SE-23-Z-D, SE-24-Y-C, SE-24-Y-D, SF-23-X-A, SF-23-X-B, SF-24-V-A, SF-23-X-C, SF-23-X-D. Posteriormente, foi utilizado o comando *Mosaic* para juntar as imagens.

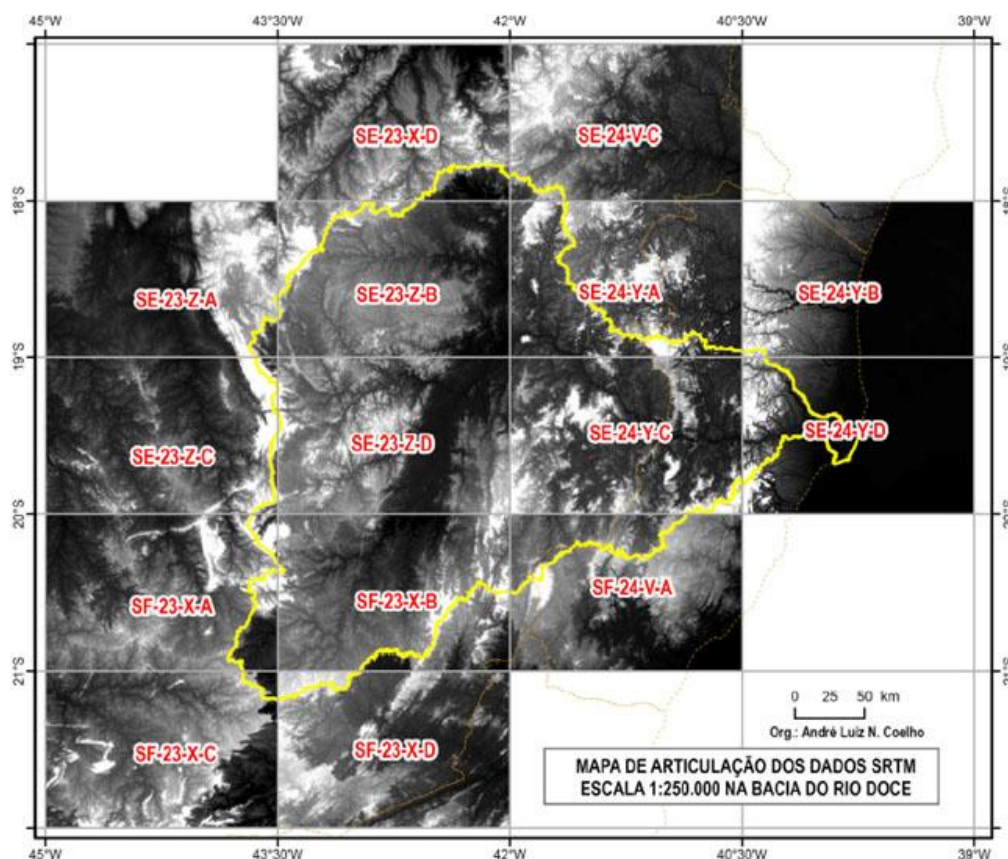


Figura 1 – Articulação dos dados SRTM na Bacia do Rio Doce compatível com as folhas 1:250.000 do IBGE.

- **Delimitação da Bacia Hidrográfica do Rio Doce**

Após a instalação da barra de ferramentas *HIDROLOGY MODELING* e sua ativação, utilizou-se os seguintes comandos/funções:

- **Fill** - para correção das depressões do MNT;
- **Flow Direction** - avaliação de direção de fluxo;
- **Flow Accumulation** - cálculo do fluxo acumulado;
- **Watershed** - delimitação da bacia;
- **Raster to Features** - transformação para polígono.

Com o polígono da bacia delimitado, utilizou-se o comando *Stream Network* para traçar, automaticamente, a rede hidrográfica (stream 1500), com o posterior corte através do comando *Clip* e nomeação de cada rio (*Start Editing*) a partir da consulta nas cartas do IBGE. Em seguida, procedeu-se com o corte da imagem *raster* usando o comando *Extract by Mask*, dando prosseguimento à elaboração dos outros mapas em escala 1:100.000 de acordo com as etapas mostradas nas Figuras 2 e 3.

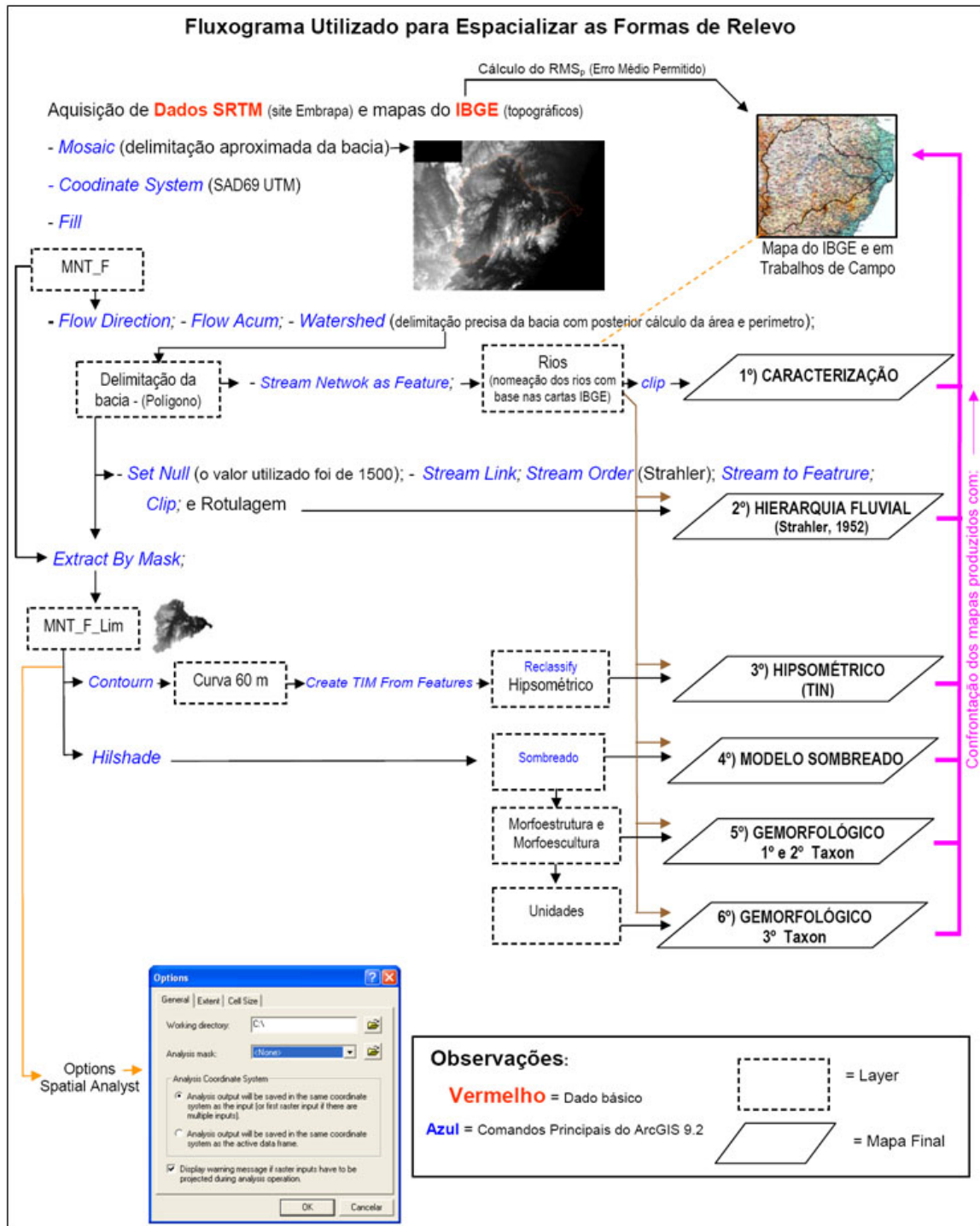


Figura 2 - Fluxograma utilizado para caracterização da Bacia do Rio Doce, destacando as principais etapas desde a aquisição dos dados SRTM, o uso de vários comandos e funções do ArcGIS 9.2, a exemplo, do georreferenciamento no sistema de coordenadas da Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) Datum South America até a geração de *Layers* e Mapas, seguida da confrontação destes dados com as cartas do IBGE e em trabalhos de campo.

Após a conclusão das etapas anteriores, foram realizadas campanhas de campo para verificar os mapas gerados pelos dados SRTM, utilizando o GPS e observações do relevo, mostrando-se extremamente satisfatórios para o estudo em questão.

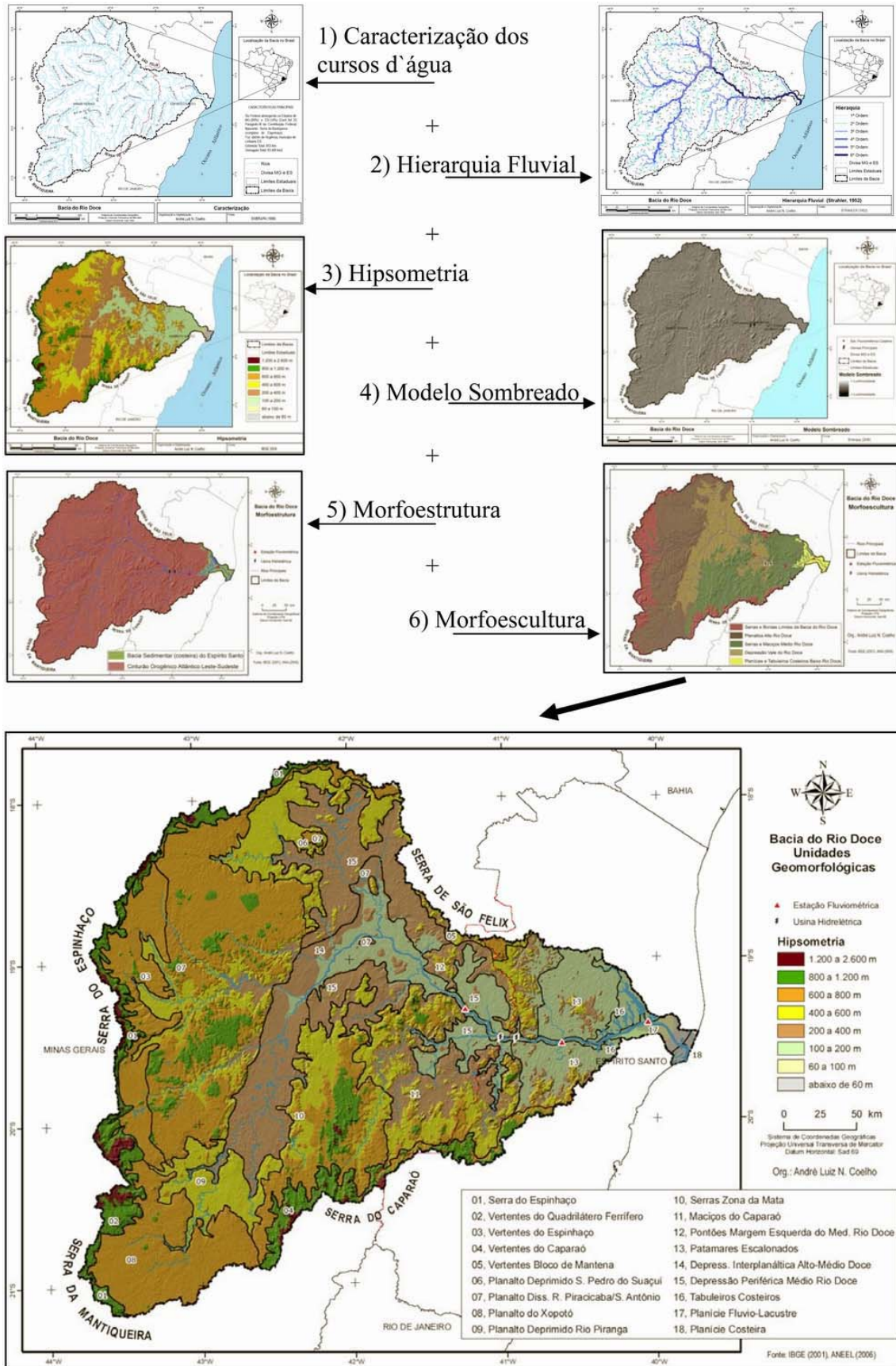


Figura 3 – Todos os mapas foram derivados dos dados/ produtos SRTMs, sendo o último, o resultado do cruzamento das informações dos mapas anteriores (hidrografia/hierarquia fluvial, hipsometria, modelo sombreado, morfoestrutura, morfoescultura) permitindo realizar uma classificação geomorfológica mais detalhada da bacia.



5. RESULTADOS: Geomorfologia

A classificação taxonômica proposta foi elaborada a partir da identificação de elementos do modelado, presentes na bacia em 3 taxons, sendo o 1º com duas morfoestruturas, o 2º com cinco morfoesculturas e o 3º com 18 unidades de relevo (Tabela 2).

Tabela 2 – Classificação Taxonômica de Relevo da Bacia do Rio Doce. Fonte: adaptado de Coelho (2007).

I Morfoestrura (1º Taxon)	II Morfoescultura (2º Taxon)	III Unidades Morfológicas (3º Taxon)	Processo Predo- minante
I.1 – Cinturão Orogênico Atlântico Leste-Sudeste	II.1- Serras Limites da Bacia do Rio Doce	III.1 - Serra do Espinhaço	Dc
		III.2 - Vertentes do Quadrilátero Ferrífero	De
		III.3 - Vertentes do Espinhaço	Da
		III.4 - Vertentes do Caparaó	De
		III.5 - Vertentes Bloco de Mantena	Da
	II.2 - Planaltos Alto Rio Doce	III.6 - Planalto Deprimido São Pedro do Suaçuí	Dc
		III.7 - Planalto Dissecado Rios Piracicaba e S. Antônio	Dc
		III.8 - Planalto Xopotó	Dc
		III.9 - Planalto Deprimido Rio Piranga	Dc
	II.3 - Serras e Maciços Médio Rio Doce	III.10 - Serras Zona da Mata	Dc
		III.11 - Maciços do Caparaó	Da
		III.12 - Pontões Margem Esquerda do Médio Rio Doce	Da
		III.13 - Patamares Escalonados	Da
	II.4 - Depressões do Vale do Rio Doce	III.14 - Depressão Interplanáltica Alto-Médio Rio Doce	Dc
		III.15 - Depressão Periférica Médio Rio Doce	Dc
I.2 - Bacia Sedimentar (costeira) do Espírito Santo	II.5 - Planícies e Tabuleiros Costeiros Baixo Rio Doce	III.16 - Tabuleiros Costeiros	Dt
		III.17 - Planície Fluvio-Lacustre	Apf
		III.18 - Planície Costeira	Apm



5.1.MORFOESTRUTURA

O primeiro taxon (Figura 4 e Tabela 1) corresponde às *Unidades Morfoestruturais* apresentando duas divisões, sendo a primeira, o I.1 Cinturão Orogênico Atlântico Leste-Sudeste, compreendendo parte considerável da bacia hidrográfica (98%), caracterizada por terrenos antigos datados do Pré-cambriano, retrabalhados por importantes ciclos tectônicos com o destaque para dois: o Transamazônico (aprox. 2.200 M.A.) e o Brasileiro (aprox. 570 M.A.). Esse táxon faz parte da Província Mantiqueira, que é dividida em duas zonas distintas: a Oriental e Ocident

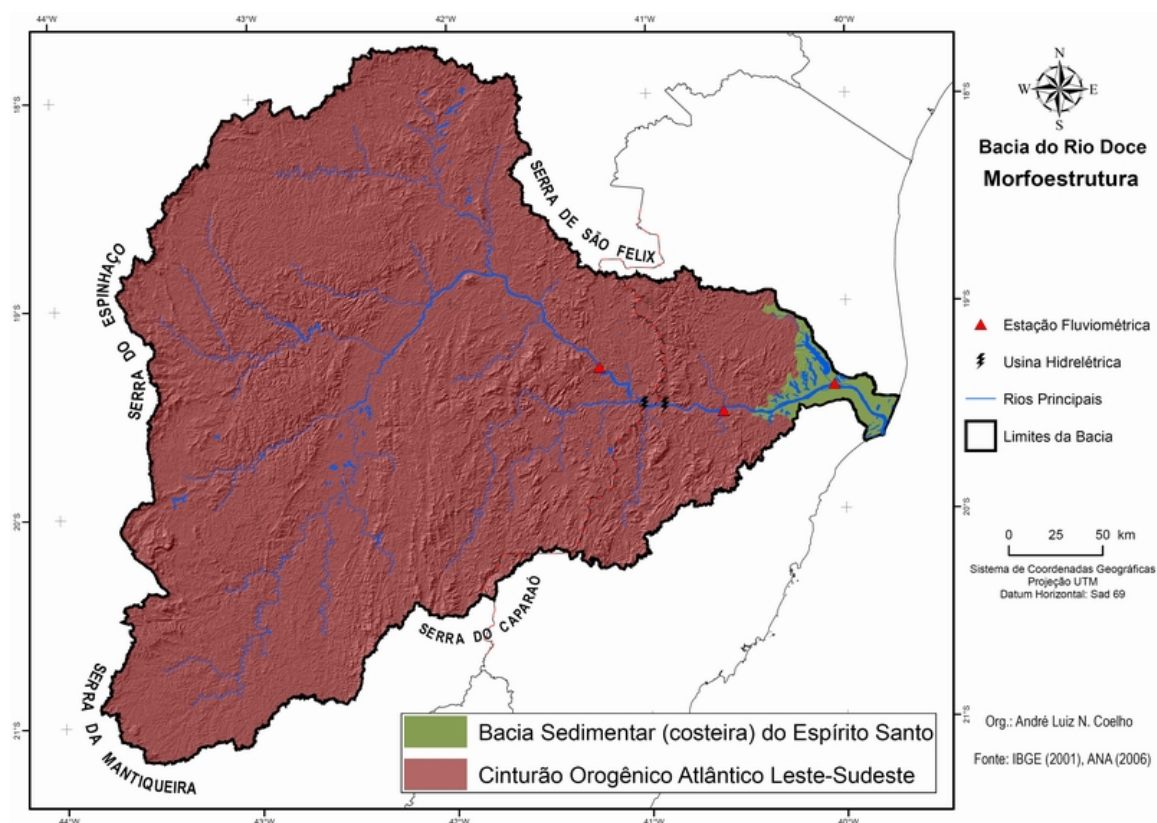


Figura 4 – Imagem derivada do produto SRTM, destacando os dois compartimentos de Unidades Morfoestruturais.

Tabela 3 – Morfoestrutura da Bacia do Rio Doce

1º Taxon – Morfoestrutura	Área em km ²	Percentual
I.1 Cinturão Orogênico Atlântico Leste-Sudeste	81.783,9	97,99%
I.2 Bacia Sedimentar (costeira) do Espírito Santo	1.681,1	2,01%
Total	83.465,0	100,0%



O interior da bacia do rio Doce está compartimentada sobre estas duas zonas, com os terrenos da margem esquerda até o município de Governador Valadares (MG) estendendo para o norte (longitude 42° W), pertencentes à *Zona Ocidental*; e os que ocupam a margem direita, a partir de Governador Valadares, prolongando-se, também, para o norte, são da *Zona Oriental*. Esse fato resultou em uma morfologia extremamente vinculada à disposição estrutural com o rio Doce encaixado na direção SSO/ NNE da geossutura, acompanhando, de forma geral, o traçado da atual linha da costa do Estado do Espírito Santo. A partir da localidade de Governador Valadares (MG), ocorre a inflexão do rio para leste, abandonando a geossutura e assumindo novas direções até alcançar o oceano Atlântico. Esse fato também produziu reflexos em outros setores da bacia com variadas intensidades, traduzidas, perfeitamente, na paisagem pelas formas de relevo, com a rede hidrográfica ora se adaptando à estrutura, ora se impondo à mesma. A segunda Morfoestrutura, denominada I.2 Bacia Sedimentar (costeira) do Espírito Santo, ocupa apenas 2% da bacia, estando caracterizada por processos de dissecação correspondente aos terrenos datados do terciário (Grupo Barreiras⁵) e os processos de acumulação de origem fluvio-marinha.

5.2. MORFOESCULTURA

O segundo taxon refere-se as *Unidades Morfoesculturais*, dividido em cinco grupos (Figura 5 e Tabela 4). A primeira delas corresponde a II.1 – Serras e Bordas Limites do Rio Doce, situada nas bordas da bacia, atuando como o divisor de águas de importantes bacias como a do rio Doce, do rio São Francisco e do rio Jequitinhonha, marcado por um relevo montanhoso a escarpado de vales encaixados com altitudes médias superiores a 900 m, com o destaque para a Serra da Mantiqueira, Serra do Espinhaço, Serra do Caparaó (Pico da Bandeira 2.880 m), que é uma das maiores elevações da bacia, e a Serra de São Felix, com 822 m. A rede de drenagem é caracterizada, predominantemente, por cursos de primeira e segunda ordens, como os rios Piranga e Xopotó, formadores do rio Doce e, também, pelas nascentes dos rios Piracicaba (em terrenos do Supergrupo Rio das Velhas, passando depois por rochas do Supergrupo Minas), Manhuaçu, entre outros.

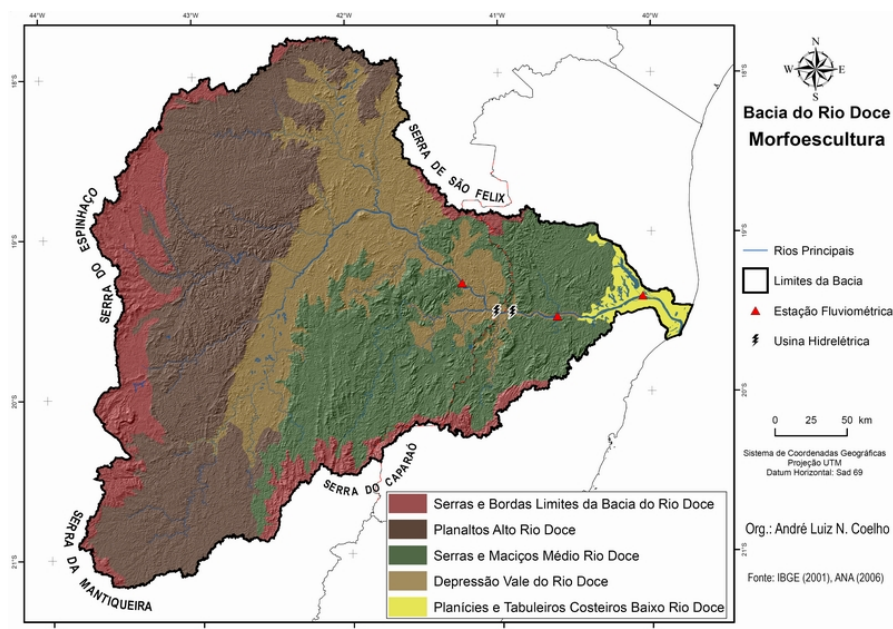


Figura 5 – Modelo sombreado destacando o 2º Taxon Morfoesculturas.

⁵ A designação *Grupo Barreiras* são para os sedimentos de origem continental, pouco consolidados, que estão dispostos em estreita faixa ao longo da área costeira e interior do continente, abrangendo desde o Estado do Rio de Janeiro até o Pará, adentrando no vale do Amazonas (Bigarella e Andrade 1964).

**Tabela 4** – Morfoescultura da Bacia do Rio Doce

2º Taxon – Morfoescultura		Área em km ²	Percentual
II.1	Serras e Bordas Limites da Bacia do Rio Doce	11.316,3	13,56%
II.2	Planaltos Alto Rio Doce	30.008,0	35,95%
II.3	Serras e Maciços Médio Rio Doce	22.258,2	26,67%
II.4	Depressão Vale do Rio Doce	18.201,5	21,81%
II.5	Planícies e Tabuleiros Costeiros Baixo Rio Doce	1.681,1	2,01%
Total		83.465,0	100,0%

A segunda Morfoescultura, II.2 – Planaltos Alto Rio Doce, possui um formato alongado na direção Norte-Sul, situado a oeste da bacia e ocupando uma área de aproximadamente de 30.008 km² (36%), sendo a maior das cinco morfoesculturas. A morfologia é, em grande parte, bastante acidentada, marcada por serras e cristas em domínio do complexo Gnáissico-Magmático e, no Limite sul, coincide em grandes linhas com o do domínio do *Complexo Guanhões*⁶, apresentando o predomínio de altitudes entre 600 e 800 m e cotas superiores a 1.200 m. Nesse compartimento, são observados falhamentos com direções preferenciais de NO-SE e NE-SO, os quais influenciaram também a direção dos rios principais, como Piracicaba e Santo Antônio, que vertem na direção SO-NE; rio do Peixe e Guanhões, que seguem a direção NO-SE; e os rios Corrente Grande, Suaçui Pequeno e Suaçui Grande, que escoam na direção O-L, até desaguar no canal principal do rio Doce, entre a região dos lagos em Timóteo - MG (Parque Estadual do Rio Doce) e o cotovelo de Governador Valadares.

A terceira morfoescultura, II.3 – Serras e Maciços Médio Rio Doce, ocorre na porção Leste e Sul da bacia, abrangendo os dois estados (MG e ES), mais especificamente, a leste do município de Governador Valadares, em Minas Gerais, e oeste de Colatina, no Espírito Santo, em ambas as margens do canal principal. Ocupa uma área de, aproximadamente, 22.508 km² (27% da bacia), com o predomínio de altitudes entre 200 e 400 m e cotas inferiores a 1.150 m, notadamente, nas adjacências da Serra do Caparaó. Está situada, basicamente, sobre o domínio do Complexo Paraíba do Sul⁷ e Montanha (ambos de constituição Gnáissico-Magmático-Metamórfico predominando biotita-gnaiss, rochas graníticas e granito-gnáissicas, com algumas ocorrências de rochas do complexo Charnóquítico), cujas estruturas apresentam uma direção preferencial NE-SO marcadas por pontões e agulhas de constituição granítica como as observadas no município de Pancas (ES) e adjacências, colinas com topos nivelados e vales ora de fundo chato, ora em “V”, em função do controle estrutural (Coelho, 2007; Radambrasil, 1987). Grande parte dos cursos d’água seguem a mesma direção das estruturas (NE-SO). As exceções ficam para o trecho inferior do rio Manhuaçu e a calha principal do rio Doce, após Governador Valadares, que segue a direção O-L, e o trecho superior do rio Caratinga, que segue a direção S-N.

A morfoescultura II.4 – Depressão Vale do Rio Doce é caracterizada por uma unidade alongada que acompanha praticamente todo o traçado do canal principal do rio Doce e tributários, como Suaçui Grande, Manhuaçu, Emé e outros de menor representação. Possui uma área de, aproximadamente, 18.202 km² (22%), caracterizada por um relevo rebaixado e suave ondulado (Figura 6), se comparado com as esculturas vizinhas, com elevações, predominante, entre 100 e 200 metros e declividades inferiores a 20%, típico de uma depressão interplanáltica e periférica, marcada pela ocorrência de níveis de base locais em vários setores no alto e médio curso do rio Doce.

⁶ O Complexo Guanhões é uma importante unidade geológica localizada na margem esquerda da bacia, cortada por rios, entre eles o Santo Antônio, Corrente Grande e Suassuí Pequeno que têm suas nascentes e cursos superiores no Complexo Guanhões, atravessando sucessivamente o augen gnaiss Açucena, o Complexo Mantiqueira, a Formação S. Tomé (Grupo Rio Doce) e o Complexo Piedade (exceto no caso do rio Suassuí Pequeno, que atravessa o granodiorito gnáissico Governador Valadares), após o que encontram o Rio Doce. Também estão no Complexo Guanhões os rios Guanhões e do Tanque. O rio Suassuí Grande também nasce em rochas do Complexo Guanhões, percorre o ranodiorito gnáissico Governador Valadares e a formação Tumiritinga até desaguar no Rio Doce.

⁷ O Complexo Paraíba do Sul ocorre tanto nas cabeceiras da bacia em uma restrita mancha cortada pelo Rio Casca, no curso do rio Guandu e no baixo curso do Rio Doce, entre as localidades de Baixo Guandu e Mascarenhas, sobretudo na margem esquerda do rio.



Figura 6 – Relevo predominante da Depressão Vale do Rio Doce, mais suavizado e de colinas baixas, entre os municípios de Linhares e Colatina no Espírito Santo. Foto do autor, Fev/2006.

Ocorre também, nesta unidade, segundo Bigarella (2003), nas adjacências do Parque Estadual do Rio Doce (MG), o *primeiro de dois sistemas Lacustres* da Bacia do Rio Doce, com lagoas e paleolagos colmatados formados por processos complexos decorrentes de flutuações paleoclimáticas (Meis, 1977; Suguio 1992 e 1998) e/ou movimentos tectônicos recentes⁸, como pediplanação, entalhamento do curso principal e dissecação, propiciando, neste último, o desenvolvimento de um sistema detrítico de vales tributários.

A morfoescultura II.5 – Planícies e Tabuleiros Costeiros Baixo Rio Doce é a menor das cinco morfoesculturas e está localizada na porção leste da bacia, junto à linha de costa, totalmente inserida no estado do Espírito Santo, possuindo uma área de, aproximadamente, 1.681 km² (2% da bacia), caracterizada por uma morfologia que varia de O para L de colinas, tabuleiros e planície litorânea. As altitudes do referido compartimento, normalmente, são inferiores a 245 m, decrescendo, gradualmente em direção ao litoral, sendo que junto à planície costeira não ultrapassa os 22 metros. É delimitada a Oeste por colinas próximo ao município de Colatina (ES) e por um importante falhamento com direção preferencial NNO-SSE, o qual exerce influência sobre a direção principal dos cursos d'água da região, como os rios São José, Pancas, Bananal e outros adjacentes. Fato semelhante se repete entre os tabuleiros da Formação Barreiras, com destaque para inúmeras lagoas de barragem natural alongadas na direção NO/SE, a exemplo da Lagoa Juparanã, Lagoa Grande e Lagoa Nova (Figura 7), todas localizadas no município de Linhares (ES), caracterizando-se como o *segundo sistema de Lagoas* pesquisado por Bigarella (2003, p. 1.036). Há um consenso entre os pesquisadores que estudaram a região, ao descreverem que esse complexo lacustre foi formado por processos de represamento do curso fluvial pelos sedimentos marinhos e/ou fluviais do canal principal rio Doce, durante a última grande glaciação (15.000 – 18.000 A.P.).



Figura 7 – Lagoa Nova formada por processo de represamento fluvial durante o clímax do último Glacial. Foto do autor, Fev/2006.

⁸ Conf. aponta Saadi *et al.* (2005) e Souza (1995) que identificaram indícios de neotectônica em vários setores da Bacia do Rio Doce.



5.3.UNIDADES MORFOLÓGICAS

O terceiro taxon está relacionado com as *Unidades Morfológicas* ou padrões de formas semelhantes contidos nas unidades morfoesculturais, correspondendo às manchas de menor extensão territorial, selecionadas a partir de um conjunto de padrões de formas e processos semelhantes (denudação e agradiação).

É, entre os três taxons tratados, o que apresenta o maior nível de detalhe dos modelados e caracterização dos processos genéticos. São identificados com base em investigações de campo, produtos orbitais de maior detalhe, a exemplo das imagens de satélites Ikonos e QuickBird, dados SRTMs, acompanhadas do uso de ortofotos (antigas e atuais), cartas geológicas, cartas topográficas de escalas inferiores a 1:100.000 ou 1:50.000 e GPS (Coelho, 2007 e Ross 2001 e 1990).

Na bacia, foram identificadas 18 unidades (Figura 8), sendo, a seguir, destacado na Tabela 5, apenas o processo predominante de cada unidade⁹.

Tabela 5 - Unidades da Bacia do Rio Doce (3º Taxon)

UNIDADE (3º Taxon)		Área em km ²	Percentual	Processo predominio
III.1	Serra do Espinhaço	2.206,9	2,65%	De
III.2	Vertentes do Quadrilátero Ferrífero	1.651,9	1,98%	De
III.3	Vertentes do Espinhaço	4.365,4	5,23%	Dc
III.4	Vertentes do Caparaó	2.518,3	3,02%	De
III.5	Vertentes Bloco Mantena	573,8	0,69%	Da
III.6	Planalto Deprimido São Pedro do Suaçui	3.901,4	4,67%	Dc
III.7	Planalto Dissecado Rios Piracicaba e S. Antônio	17.241,5	20,66%	Dc
III.8	Planalto Xopotó	6.074,8	7,28%	Dc
III.9	Planalto Deprimido Rio Piranga	2.790,3	3,34%	Dc
III.10	Serras Zona da Mata	7.160,4	8,58%	Dc
III.11	Maçãos do Caparaó	7.457,7	8,94%	Da
III.12	Pontões Margem Esquerda do Médio Rio Doce	2.647,3	3,17%	Da
III.13	Patamares Escalonados	4.992,8	5,98%	Da
III.14	Depressão Interplanáltica Alto-Médio Rio Doce	8.432,8	10,10%	Dc
III.15	Depressão Periférica Médio Rio Doce	9.768,6	11,70%	Dc
III.16	Tabuleiros Costeiros	852,6	1,02%	Dt
III.17	Planície Fluvio-Lacustre	651,1	0,78%	Apf
III.18	Planície Costeira	177,4	0,21%	Apm
Total		83.465,0	100,0%	

⁹ Para saber os detalhes das 18 unidades ver: COELHO, André L. N. Alterações Hidrogeomorfológicas no Médio-Baixo Rio Doce/ES 2007. 227 f. Tese de Doutorado (Universidade Federal Fluminense, Instituto de Geociências, Departamento de Geografia), Niterói, 2007.

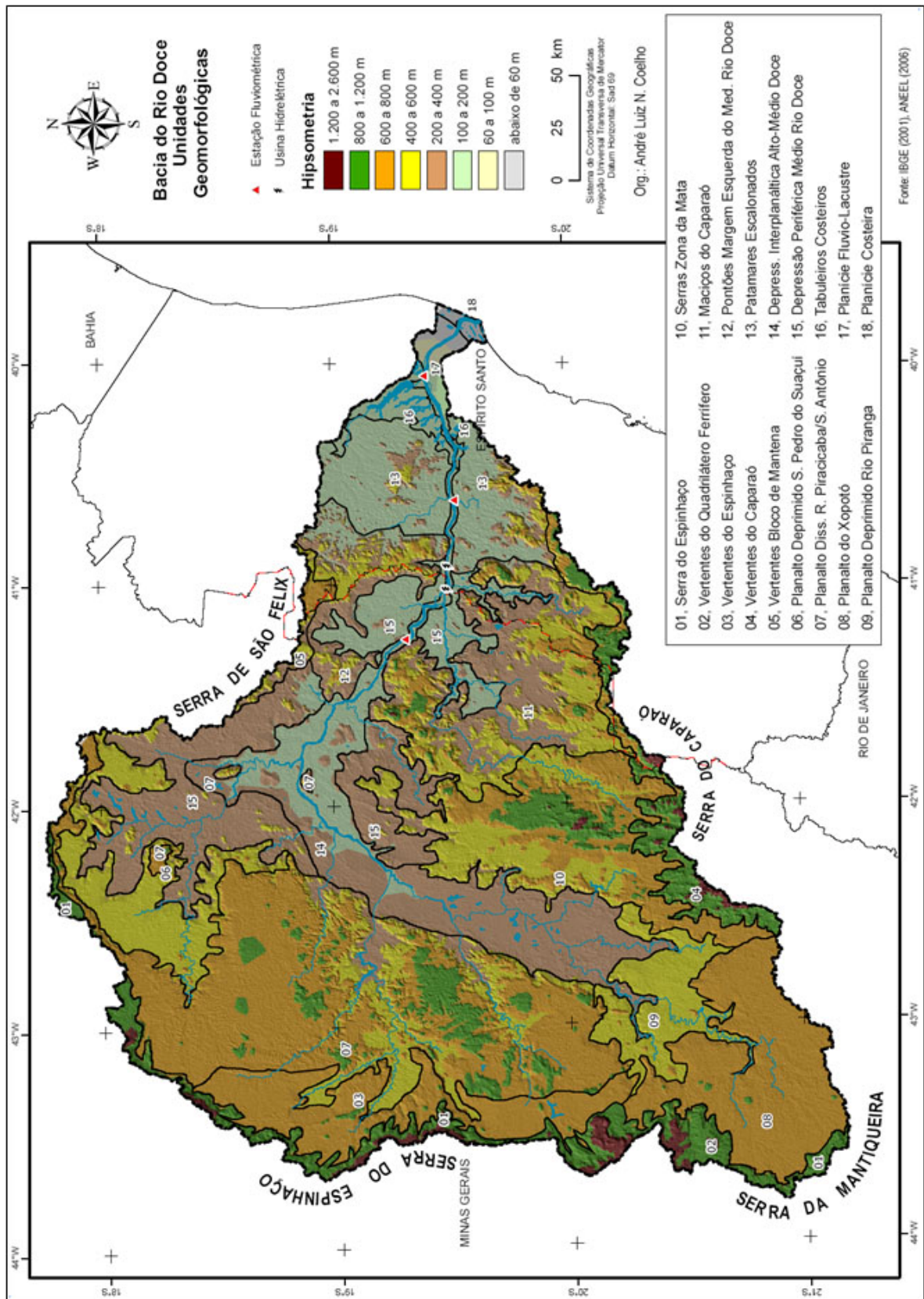


Figura 8 – 3º Taxon: Unidades Geomorfológicas da Bacia do Rio Doce.



6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Hoje em dia, as facilidades em se ter acesso a tecnologias como softwares robustos de SIG, disponibilização gratuita de produtos orbitais (dados SRTM e imagens de satélites), shapefiles em sites como IBGE, ANA, EMBRAPA, entre outros, propicia ao pesquisador uma série de facilidades durante a realização de trabalhos, antes considerados extremamente exaustivos, a exemplo da delimitação de grandes bacias hidrográficas, traçado dos rios e curvas de nível através da digitalização.

Com o uso dessas geotecnologias obtém-se, automaticamente, através de funções do SIG, resultados satisfatórios havendo mais tempo para o pesquisador dedicar-se a outras etapas do trabalho. É importante ressaltar que a adoção dessas tecnologias não elimina os trabalhos de campo, pelo contrário, complementa as informações a serem pesquisadas no local, consideradas indispensáveis nos estudos dessa natureza.

A análise geomorfológica aqui proposta não só atingiu os seus objetivos ao desenvolver e apresentar uma metodologia para mapeamento geomorfológico possível de ser aplicada em outras bacias de médio-grande porte do nosso território, além de contribuir para o maior entendimento dos elementos físicos, em especial aqueles ligados ao relevo, desenvolvendo um produto de importância substancial para as diversas categorias de planejamento e gestão do meio ambiente. Ademais, todos os mapas elaborados possuem uma mesma base/estrutura, utilizada nos principais órgãos, agências e universidades, portanto, passíveis de alterações e atualizações, o que permite, por exemplo, dar continuidade aos estudos na bacia.

Enfim, ficou comprovado que o uso das geotecnologias como o SIG e dados SRTM possibilitam, sem dúvida, a sistematização de informações, constituindo-se em importantes ferramentas para dar suporte às análises e estudos geoambientais, bem como, à gestão, tomadas de decisões e prognósticos, podendo gerar um sem-número de classificações, cruzamentos de dados, além de ser uma ponte que possibilita o diálogo entre diversas áreas do conhecimento.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ab'Sáber, A. N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário. *Geomorfologia* nº 18, IG-USP, São Paulo, 1969. pp. 1-23.
- Bigarella, J. J. e Andrade, G. O. Considerações sobre a estratigrafia dos sedimentos cenozóicos em Pernambuco (Grupo Barreiras). *Arquivos do Instituto de Ciências da Terra*, nº 2, Recife 1964. p. 2-14.
- Bigarella, João J. *Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais* ed UFSC v3 2003.
- Coelho, André L. N. *Alterações Hidrogeomorfológicas no Médio-Baixo Rio Doce/ES 2007*. 227 f. Tese de Doutorado (Universidade Federal Fluminense, Instituto de Geociências, Departamento de Geografia), Niterói, 2007.
- EMBRAPA - Brasil em Relevo. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005 MIRANDA, E. E. de; (Coord.). Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/>>. Acesso em: 04 fev. 2008.
- Guerra, Antonio J. T.; Marçal, Mônica D. S. *Geomorfologia ambiental*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. 192 p.
- IBGE – Anuário Estatístico do Brasil. Rio de Janeiro, IBGE, 2001.
- IBGE - Manual Técnico de Geomorfologia. Rio de Janeiro, IBGE, 1995. 111 p.
- King, L. C. A geomorfologia do Brasil Oriental. In: *Revista Brasileira de Geografia*, 18 (2) 1956. pp. 147-265.
- Meis, Maria R. M. de, *As Unidades morfoestratigráficas neoquaternárias do médio vale do Rio Doce*, *Anais da Academia Brasileira Ciências* v. 49 nº 3, 1977. p. 443-459.
- Mescerjakov, J. P. Les Concepts de Morphostruture et de Morphoculture: un nouvel instrument de l'analyse geomorphologique. *Annales de Géographie*, 77 année-nº 423. Paris. 1968.
- Projeto Radambrasil - Levantamento de Recursos Naturais. Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Uso Potencial da Terra. v. 32, Folhas SF 23/24 Rio de Janeiro/Vitória. IBGE, 1983. 775 p.
- Projeto Radambrasil - Levantamento de Recursos Naturais. Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Uso Potencial da Terra. v. 34, Folha SE 24 Rio Doce. Rio de Janeiro: IBGE, 1987. 554 p.
- Ross, J.L.S O registro cartográfico dos fatos geomórficos e questão da taxonomia do relevo. São Paulo. *Revista do departamento de Geografia - FFLCH - USP*, nº6, pp. 17-29. 1992.
- Ross, J.L.S. *Geomorfologia Ambiental*. In: CUNHA, S.B.; GUERRA, A.J.T. (orgs.) *Geomorfologia do Brasil*. 2ª ed., Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2001, pp. 351- 388.



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

Ross, Jurandyr L. S.; Fierz Marisa de S. Algumas Técnicas de Pesquisa em Geomorfologia. In: Venturi, Luis A. B. (org.) Praticando Geografia: técnicas de campo e laboratório. São Paulo, Oficina de Textos 2005, pp. 69-84.

Saadi, Allaoua; Bezerra, Francisco H. R.; Costa, Ricardo D. da; Igreja, Hailton L. S.; Franzinelli, Elena, Neotectônica da plataforma brasileira, in: Souza, Célia R. de G; Suguio, Kenitiro; Oliveira, Antônio M. dos S.; Oliveira, Paulo E. (Orgs.) Quaternário no Brasil, Ribeirão Preto, S.P: Hollos, Cap. 10. 2005. p. 211-234.

SILVA, Aldemiro de Barros. Sistemas de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos. Campinas, SP: Editora UNICAMP, 2003.

Souza, Carla J. de O. Interpretação Morfotectônica da Bacia do Rio Doce. Dissertação de Mestrado do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, 1995, 144f.

Strauch, N. A Bacia do Rio Doce. Rio de Janeiro: IBGE. 1955. 199 p.

Suguio k.; Bigarella, J. J., Ambientes fluviais. 2. ed. Curitiba: UFPR, 1990. 183 p

Suguio, K. Dicionário de geologia marinha: com termos correspondentes em inglês, francês e espanhol. São Paulo: T.A. Queiroz, 1992. 171 p.

Suguio, K. Dicionário de geologia sedimentar e áreas afins. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. 1222 p.

Varleriano, Márcio de M. Dados Topográficos In: Florenzano. (org.) Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos 2008, pp. 72 - 104.