



MAPEAMENTO DE FORMAS DE RELEVO UTILIZANDO ANÁLISE ORIENTADA A OBJETOS E MODELAGEM DO CONHECIMENTO EM MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO.

Maria Luisa da Fonseca Pimenta - Graduanda em Geografia da Universidade Federal Fluminense – UFF. luisapimenta@yahoo.com.br

Felipe Mendes Cronenberguer - Doutorando em Geografia da Universidade Federal Fluminense - UFF. felipecron@yahoo.com.br;

Neiva Barbalho de Morais - Mestranda em Geografia da Universidade Federal Fluminense - UFF. barbalhomorais@yahoo.com.br;

Raúl Sánchez Vicens - Professor Adjunto do Departamento de Geografia da Universidade Federal Fluminense - UFF. rcuba@vm.uff.br.

RESUMO: Esta pesquisa possui por objetivo apresentar resultados metodológicos de mapeamento geomorfológico automático por meio de classificação digital orientada ao objeto. Para tal, utilizou-se o Modelo Digital de Elevação (MDE) proveniente do sensor *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)* e seus produtos derivados. Como área de estudo foi escolhida a bacia do Rio São João – RJ, por exibir significativa geodiversidade e assim configurar um bom campo de pesquisas. O mapeamento foi elaborado com base em redes hierárquicas oriundas da Análise Orientada ao Objeto (AOO), extraídos por segmentação multirresolução, assim como em lógica *fuzzy*, utilizando-se de descritores morfométricos texturais e topológicos. A classificação gerada atendeu o nível de detalhamento de escala 1:50.000, definida como de nível taxonômico das formas de relevo e, qualitativamente, apresentou expressiva coerência com a Geomorfologia regional, reconhecida por pesquisa empírica.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto; classificação digital automática; mapeamento geomorfológico.

ABSTRACT: The aim of this research was to present methodological results of automatic geomorphological mapping using object-oriented analysis. Products of Digital Elevation Models (DEM's) generated from sensor *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)* and related product were used in a multiresolution object-based analysis to discriminate geomorphologic features of drainage basin São João in State of



Rio de Janeiro, it displaying significant geodiversity. The classification was performed on hierarchical semantic networks from the Object-based analysis, including multiresolution segmentation and fuzzy models based on the analysis of terrain values, textural and neighboring features. The classification generated attended the level of 1:50.000 scale, defined as the taxonomic level of relief forms and qualitatively showed significant coherence with the regional geomorphology, recognized by empirical research.

Keywords: Remote Sensing, automatic digital classification, geomorphological mapping.

1 INTRODUÇÃO

A representação cartográfica da compartimentação topográfica da superfície terrestre é de grande importância na medida em que sistematiza informações com relação a diversos tipos de ambientes e formas de relevo, servindo como instrumento de análise e síntese da manifestação estática de processos morfogenéticos dinâmicos responsáveis pela evolução das paisagens.

As técnicas de Sensoriamento Remoto possuem trajetória na história da Cartografia Geomorfológica marcada por trabalhos elaborados a partir de procedimentos de fotointerpretação do modelado terrestre. Atualmente, com a agregação do Processamento Digital de Imagens, ela adquiriu grande potencialidade nas análises ambientais na medida em que são possíveis novas aplicações e meios de investigações, precisão e eficiência na execução de levantamentos, além de incrementar a capacidade de entrecruzamento de dados (IBGE, 2009).

Uma das ferramentas mais sofisticadas que se estabeleceu foram os Modelos Digitais de Elevação (MDE's), muito eficazes nos estudos de compartimentação do relevo e atualmente bastante difundidos na área de mapeamento geomorfológico. E, ainda, paralelamente ao progresso tecnológico dos sensores, os avanços na ciência da computação tem propiciado o desenvolvimento de sistemas computacionais para análise de dados geográficos e automação de tarefas de mapeamento (Camargo, 2008).

A Geomorfologia então dispõe de uma grande variedade de tecnologias de aquisição e tratamento de dados que dão subsídio ao estudo do relevo e seus processos, combinando as habituais observações de campo com informações extraídas de dados do Sensoriamento Remoto.



Entretanto, a aplicação das Geotecnologias no mapeamento geomorfológico no Brasil esteve tradicionalmente embasada na interpretação visual e análises espaciais em Sistemas de Informações Geográficas, e não tanto na incorporação de processamento de produtos orbitais e/ou suborbitais a classificações automatizadas em sistemas computacionais. Pesquisas recentes começam a adotar estas novas abordagens de mapeamento, a exemplo de Camargo (2008).

Neste contexto, a presente pesquisa objetiva contribuir metodologicamente, e também em nível de resultados, à Cartografia Geomorfológica a partir de procedimentos automatizados de classificação, valendo-se de variáveis derivadas dos MDE's, através de uma análise orientada a objetos extraídos da superfície terrestre, em sistemas computacionais especializados, empregando procedimentos hierárquicos, lógica *fuzzy* e modelagem do conhecimento.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A análise elaborada no recorte espacial da bacia hidrográfica é entendida por este sistema complexo configurar uma unidade de análise fundamental na Geomorfologia. Considera-se tal como uma unidade geográfica natural, sob a perspectiva holística sistêmica, apreendida como uma integração dos diversos componentes físicos do ambiente que se interrelacionam e geram uma organização baseada em estrutura e funcionamento (Mattos & Perez Filho, 2004).

Desta forma, foi eleita como área de estudo a bacia do Rio São João – RJ (Fig. 1), área geográfica de conhecimento prévio dos autores, por apresentar paisagens diversas e configurar assim uma ampla geodiversidade. Esta é definida pela variabilidade de características ambientais decorrentes da sua evolução físico-geográfica que se faz evidente na sua geomorfologia, por esta traduzir uma interface entre todas as outras variáveis do meio físico. Tal diversidade foi identificada por Dantas (2001) a partir dos diferentes sistemas de relevo nela presentes: Escarpas Serranas, Degraus em Bordas de Planaltos, Maciços Costeiros, Alinhamentos Serranos, Morrotes, Morros e Colinas Isoladas, Domínio Suave Colinoso e Planícies Aluviais, Alúvio-Colúvio-Marinhas e Costeiras.

A metodologia do mapeamento teve por base o ordenamento dos fenômenos de acordo com as proposições de Gerasimov e Mescherikov, da década de 60 do século XX, que, inspirados nas concepções de W. Penck do entendimento do presente relevo passando por



influências endogenéticas e exogenéticas atuais e pretéritas, forneceram uma nova direção teórico-metodológica para a pesquisa geomorfológica a partir do estabelecimento de uma classificação do relevo em três categorias morfogenéticas principais: os elementos de *morfotectura*, *morfoestrutura* e *morfoescultura*, dispostos em uma taxonomia hierarquizada (Ross, 2005).

A partir desta proposição, e com base na sistematização aplicada à cartografia geomorfológica elaborada por Demek (1967 *apud* Ross, *op. cit.*), foram identificadas e classificadas as *formas de relevo*, uma unidade taxonômica relacionada a compartimentos hipsométricos e que se define por um padrão de formas esculturais semelhantes entre si, o 4º táxon de Ross (*op. cit.*). De acordo com Tricart (1965 *apud* Ross, *op. cit.*), esta ordem de grandeza de fatos geomorfológicos possui uma relação intrínseca com a dimensão espacial e o grau de detalhe da pesquisa; no caso aqui abordado, foi adotada a escala de tratamento 1:50.000, considerada de detalhe, para a identificação das unidades de relevo da bacia do Rio São João.

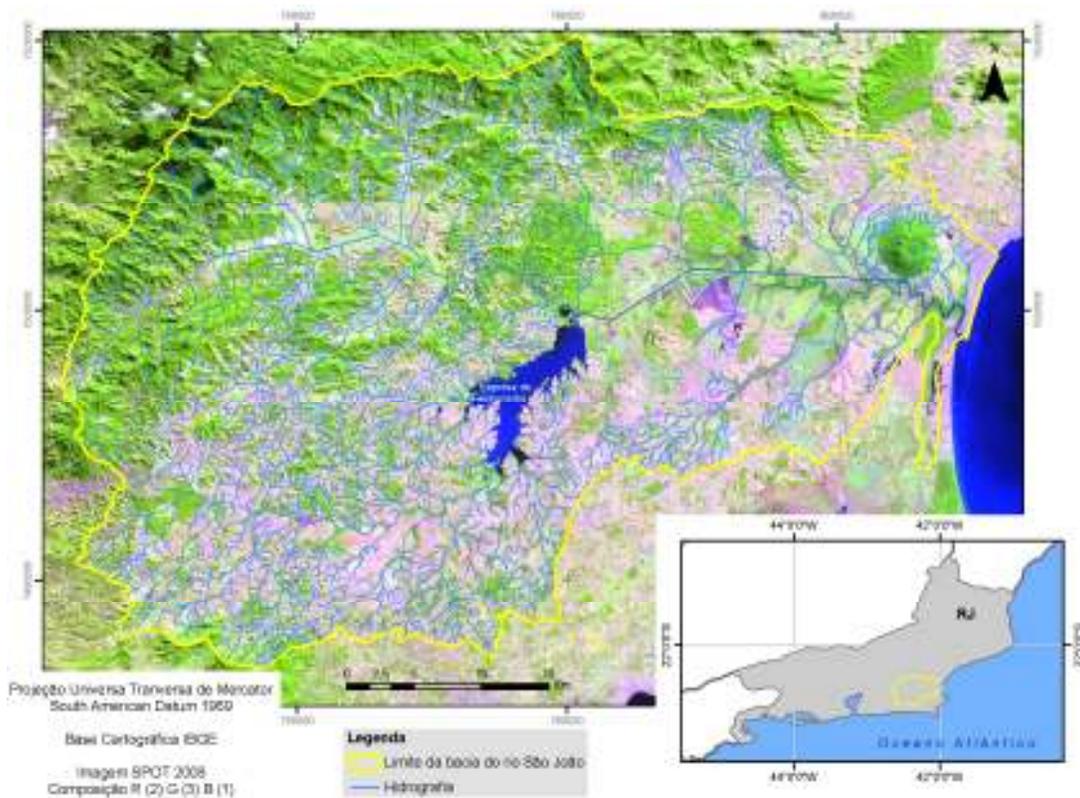


Figura 1 Localização da área de estudo.



Levando em consideração o caráter funcional deste mapeamento e seu maior comprometimento com o princípio da caracterização morfológica, foram valorizadas a morfografia – aparência e forma da paisagem – e a morfometria – conjunto de dados quantitativos que descreve as formas do relevo. Estas tiveram por finalidade a detecção dos objetos distintos da superfície terrestre e também a interpretação analítica de suas propriedades em imagens do sensoriamento remoto, fundamentadas por elementos de interpretação compostos pela tonalidade, textura e contexto.

A Fig. 2 apresenta o fluxograma metodológico das etapas realizadas para tal mapeamento, que serão descritas a seguir.

Os dados morfométricos empregados foram extraídos do MDE proveniente do sensor *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)*, que está a bordo do satélite Terra, lançado em 1999 pelo programa *Earth Observing System* da Nasa. Seu subsistema VNIR possui imageamento nas faixas espectrais eletromagnéticas do visível – bandas 1 e 2 – e do infravermelho próximo – banda 3N e 3B – esta última com telescópio independente que possibilita a visão estereoscópica; todos seus produtos possuem 15 metros de resolução espacial (Camargo *et. al.*, 2009).

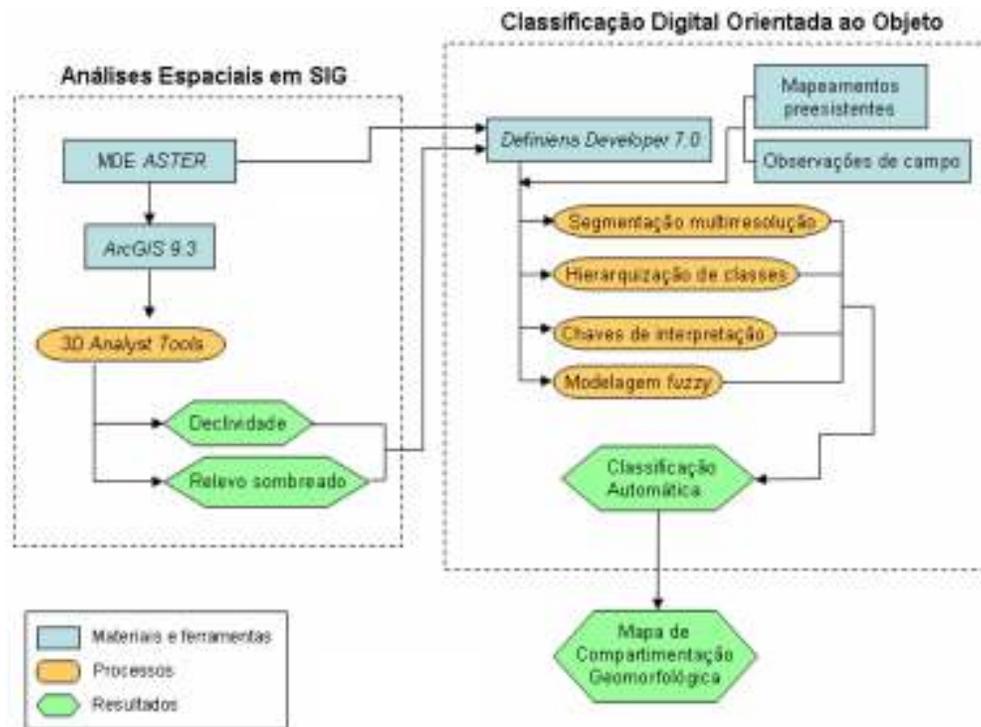


Figura 2 Fluxograma esquemático das etapas metodológicas do mapeamento.



Desta forma, a partir de sua capacidade estéreo, foram gerados os MDE's que se encontram disponibilizados, com resolução radiométrica de 8 bits e elementos de imagem associados a 30 m no terreno, ideais para a escala de trabalho aqui adotada, para livre transferência de dados no endereço eletrônico www.gdem.aster.ersdac.or.jp desde o mês de junho de 2009.

Ainda no nível compilatório, levantou-se dados de mapeamentos geomorfológicos diversos preexistentes para a área, a saber: Dantas (2001), com detalhamento 1:250.000; RADAMBRASIL (1983), na escala 1:1.000.000 e ZEERJ (2008), com compartimentação em 1:250.000; assim como também foram realizados trabalhos de campo para a pesquisa empírica da estrutura superficial da paisagem e suas formas associadas, com objetivo do estabelecimento de critérios-diagnóstico para distinção das feições geomorfológicas de interesse.

Os MDE's, além de permitirem a visualização do espaço geográfico tridimensional, representam uma importante fonte de dados sobre as características fisiográficas naturais do terreno e admitem a extração de suas variáveis geomorfométricas e texturais. De tal modo, as correlações implementadas deram-se entre os seus dados de altitude e seus subprodutos: a declividade do terreno e o relevo sombreado; ambos elaborados no programa *ArcGIS 9.3* e importados ao *Definies Developer 7.0*.

O *Definiens* é um sistema computacional especialista (SE) que realiza tarefas de interpretação de imagens de Sensoriamento Remoto empregando estratégias de armazenamento e replicação do conhecimento por raciocínio heurístico. Nele, por meio de modelos com base em malhas (*frames*), redes semânticas hierárquicas são estabelecidas, oriundas da Análise Orientada ao Objeto (AOO), onde o objeto combina em uma única entidade sua estrutura (atributos) e seu comportamento (operações) e estabelece relações com os demais (Camargo, 2008).

Para a obtenção dos objetos de análise, foi empregada nas imagens *ASTER* a segmentação multirresolução – ela permite segmentar uma imagem em níveis que relacionam-se entre si – a partir de um algoritmo desenvolvido para extrair segmentos espectralmente homogêneos com base tanto no valor do *pixel* quanto na forma do objeto e que são definidos pelos Planos de Informação inseridos – a ambos podem ser atribuídos pesos – e por um parâmetro de escala, que determinará a heterogeneidade máxima permitida baseada no crescimento de regiões (Definiens, 2007).



Com o intuito da análise da informação semântica contida nos objetos, foi elaborada uma classificação supervisionada orientada a objetos, objetivando seu reconhecimento automático, agrupando-os em classes a partir da mesma estrutura de dados, em função dos critérios estabelecidos. Acoplada a tal etapa, está a dedução assinalada a partir da convergência de evidências, como subsídio à generalização a partir de pontos conhecidos.

As redes hierárquicas estabelecidas entre as classes dizem respeito ao compartilhamento de atributos e operações entre os objetos, sendo que elas podem ser definidas de forma abrangente e depois refinadas em sucessivas subclasses mais detalhadas, herdando as características de sua superclasse e acrescentando suas próprias (Rumbaugh *et al.*, 1994 *apud* Camargo, 2008).

Assim, partiu-se da interpretação quali-quantitativa do relevo, sobretudo, com base na interpretação visual e análise exploratória de valores de características baseadas em elementos de interpretação das imagens para a modelagem do conhecimento. Estes elementos são capazes de elaborar chaves (modelos) de interpretação que irão caracterizar um determinado objeto para então dar orientação à seleção de variáveis e seus atributos (Florenzano, 2008).

Ademais, a legenda do mapa e os respectivos limiares de classes foram fundamentados por pesquisa empírica e também por mapeamentos geomorfológicos por compartimentação preexistentes para o Planalto Atlântico Sudeste, a saber: IPT (1981), na escala 1:1.000.000 e SILVA (2002), com 1:250.000, adaptando-os com base nas observações de campo para as distintas classes de interesse.

O algoritmo implementado *Classification* refere-se à classificação por descritores de classe, o qual permite a combinação de exigências as quais os segmentos devem atender para se tornarem membros de uma classe. Nesta etapa classificatória, as classes sintetizam o significado semântico dos segmentos respondendo pelo agrupamento de objetos que atendem ao mesmo comportamento. Através de um algoritmo de classificação, pode-se inserir múltiplas condições combinadas por operadores lógicos e utilizar funções de pertinência *fuzzy* para os limiares estabelecidos (Definiens, 2007).

A lógica *fuzzy* possui como característica a capacidade de tratar conceitos inexatos, definindo para cada objeto um conjunto de graus de pertinência (Zadeh, 1996 *apud* Camargo, 2008) e neste trabalho utilizada com o operador lógico que tende a fornecer valores pequenos ou conservadores, já que possui a capacidade de definição por várias condições atendidas simultaneamente.



Desta forma, foi gerada uma classificação automática da compartimentação geomorfológica para a porção leste do estado do Rio de Janeiro, com maiores observações na bacia do Rio São João, e que será neste trabalho apresentada sem a edição manual que implicitamente é indispensável para as mais diversas classificações por sistemas computacionais que trabalham com o Processamento Digital de Imagens.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram adotados dois níveis de segmentação em uma abordagem *top-down*. Para o primeiro nível (superobjetos) foram usadas as grades de declividade e relevo sombreado (azimute 315°, altitude 45° e exagero vertical 1), conferindo um maior peso à primeira (0,8) e com parâmetro de escala 100. Este nível objetivou a separação das principais unidades geomorfológicas, onde predomina uma determinada associação de processos. O segundo nível foi gerado com os mesmos dados do nível anterior, diminuindo o parâmetro de escala para delimitação de subobjetos. Neste nível buscou-se o detalhamento das formas de relevo e a delimitação das unidades básicas de mapeamento. Em ambos níveis de segmentação foram atribuídos pesos maiores ao valor do *pixel* e à compacidade dos objetos, em detrimento da forma e suavidade. A Tab. 1 apresenta os parâmetros utilizados nos dois níveis de segmentação.

Tabela 1 Variáveis e parâmetros utilizados na segmentação das unidades geomorfológicas.

Nível 1 – Limiar de similaridade: 100					
Nível 2 – Limiar de similaridade: 30					
Planos de informação	peso	cor	forma	compacidade	suavidade
Declividade	0,8	0,9	0,1	0,9	0,1
Relevo sombreado	0,2				

Os parâmetros finais de segmentação foram escolhidos após inúmeros testes para apreciação dos objetos gerados. Entendeu-se que o maior peso atribuído às declividades foi decisivo para isolar distintos compartimentos do relevo que possuem em suas quebras naturais esta característica intrínseca, com seus sopés e interflúvios; assim como o baixo valor destinado à forma revelou que a homogeneidade dos valores de declividade contribuem significativamente na criação de segmentos compactos.



O emprego de dois níveis de segmentação, diferenciando-se em limiares de heterogeneidade, foi necessário, pois, somente naquela de menor detalhamento as informações de amplitude altimétrica puderam ser utilizadas para a compartimentação na posterior etapa classificatória aplicada. Devido à dependência entre os limites dos objetos, aqueles gerados no segundo nível são restringidos pelas bordas preexistentes e apresentaram assim refinamento para uma maior escala cartográfica a ser trabalhada; ou seja, são topologicamente definidos e conectados de maneira hierárquica.

Em nível semântico-interpretativo das formas do relevo, utilizando-se das grades de elevação e declividade, a classificação a partir de chaves de interpretação deu-se por um conjunto de elementos que caracteriza determinado complexo de objetos e assim sistematiza e orienta o processo de análise e identificação de feições para agrupamentos em função da estrutura de dados e de comportamento similares.

A classificação também se desenvolveu com base no relacionamento hierárquico aplicado em rede semântica e por lógica *fuzzy*, que além da capacidade de tratar conceitos inexatos, define para cada objeto um conjunto de seus respectivos graus de pertinência através de seus operadores lógicos, o qual foi empregado o *AND*.

Nesta etapa, também foram geradas classificações em dois níveis hierárquicos, um para cada nível de segmentação. No primeiro nível, o tamanho dos objetos gerados permitiu que fosse atribuída a amplitude altimétrica como critério balizador da individualização de grandes unidades geomorfológicas, que são descritas na Tab. 2.

Tabela 2 Atributos da compartimentação geomorfológica em primeiro nível.

		Superfícies acumulativas	Relevo colinoso erosivo-acumulativo	Relevo de morros estruturo-denudativo	Relevo montanhoso estruturo-denudativo
Variáveis Geomorfométricas	Amplitude altimétrica	-	< 100 m	100 – 400 m	> 400 m
	Máxima altitude	< 200 m	-	< 400 m	> 400 m
	Média de declividade	< 3°	-	> 12°	-
Relações entre classes	Não-pertinência	-	Todas	-	-



Além das características do objeto relacionadas às variáveis geomorfométricas, definidas pelos valores das grades de elevação e declividade, foi utilizada a semelhança invertida para uma determinada classe para evitar áreas não classificadas.

O que se fez notar foi que as superfícies acumulativas, correspondentes às planícies aluviais de baixadas na bacia, foram as melhor definidas pelo baixo valor altimétrico e de declividade. O limite de 200 m na média altimétrica evitou confusões com os vales inseridos no compartimento de relevo montanhoso.

Além disso, para a diminuição das confusões entre os relevos de morros e o montanhoso, foi estabelecido o limiar de 400 m de altitude absoluta para a separação entre estas classes. E, ainda, para refino do relevo de morros estruturo-denudativos, foi acrescido o atributo de declividade, pois tal classificação estava sendo atrelada às superfícies acumulativas quando estas encontravam-se entremeadas a patamares elevados.

No segundo nível hierárquico de classificação, mantendo-se a hereditariedade dos descritores e modelos das classes do nível superior, foram inseridas condições mais complexas de reconhecimento de objetos, tendo em vista o maior grau de especificidade da legenda (Tab. 3). Foram utilizados descritores relacionados ao valor dos *pixels* das grades de elevação e declividade e de semelhança para outras classes, mas também de textura – que avalia a quantização de valores – e relações de vizinhança.

Pode-se notar que as planícies aluviais e os vales intramontanos foram muito bem definidos por descritores que representam a textura dos objetos segundo seus valores de altitude, tanto os que são capazes de medir a uniformidade da textura (homogeneidade e segundo momento angular), quanto aquele que mede a desordem e o grau de dispersão dos valores (entropia); como assinalado por Camargo (2008).

Tabela 3 Atributos das formas de relevo em segundo nível de classificação.

		Variáveis Geomorfométricas		Variáveis Texturais			Relações entre classes	Relações com vizinhos
<i>Nível 1</i>	<i>Nível 2</i>	Amplitude altimétrica	Média de declividade	Homogeneidade	Segundo momento angular	Entropia	Não-pertinência	Média da diferença altimétrica
<i>Superfícies acumulativas</i>	Planícies aluviais	< 20 m	< 3°	-	> 0,01		-	-
	Superfície baixa ondulada	-	-	-	-	-	Planícies aluviais	-



Relevo colinoso erosivo-acumulativo	Planícies aluviais	-	< 3°	> 0,2	-	-	-	-
	Colinas dissecadas	-	-	-	-	-	Planícies aluviais	-
Relevo de morros estruturo-denudativos	Planícies aluviais	-	< 3°	-	-	< 6	-	-
	Morros residuais de alinhamentos em degraus de escarpas	-	-	-	-	-	Planícies aluviais	-
	Vales intramontanos	-	< 10°	-	-	< 6	-	< 0
Relevo montanhoso estruturo-denudativo	Montanhas baixas (até 1500 m)	-	-	-	-	-	Vales intramontanos	-

Adiciona-se que em relação aos patamares mais elevados do relevo (morros residuais e montanhas baixas) a melhor diferenciação das planícies para as encostas foi a variável tradutora da energia, enquanto que para as superfícies baixas onduladas e as colinas dissecadas, tiveram melhor desempenho as variáveis de medição da repetição de um valor de *pixel*.

Para maior refinamento dos vales intermontanos, estes receberam um descritor de relacionamento com a vizinhança que evidencia o encaixamento de alvéolos entre as escarpas através da média da diferença altimétrica com os objetos que tocam um raio de 15 *pixels* (450 m) no seu entorno sendo inferior à zero. Estas formas correspondem aos vales aluviais mais íngremes, e o modelo de restrição pela declividade abrangeu até valores de 10°, enquanto que as planícies aluviais dos restantes compartimentos, a declividade média não ultrapassa os 3°.

As planícies aluviais, das superfícies acumulativas, distinguiram-se pelas baixas declividades (inferiores à 3°), já que muito se assemelham às superfícies baixas onduladas, tendo ainda que incorporar um descritor de amplitude altimétrica menor que 20 m.

No domínio colinoso, as planícies aluviais foram distinguidas das colinas dissecadas pela declividade menor que 3° e valores de homogeneidade altimétrica superiores a 0,2. Já no compartimento de relevo de morros estruturo-denudativos, além da declividade média, as planícies foram separadas das encostas através de um limiar de entropia, ficando restrita a valores inferiores a 6.



Outro aspecto relativo às redes semânticas hierárquicas foi a possibilidade da inserção de subclasses que representaram erros de classificação. Então, para o aprimoramento das classes, foram empregados novamente os limiares que definiam tais feições no nível anterior, assim como foram inseridos novos descritores, gerando classes de acertos e classes de erros comissão (Tab. 4).

Tabela 4 Refinamento de erros de comissão inseridos em classes.

Inserção equivocada em	Classificação correta	Parâmetros
<i>Superfícies Acumulativas</i>	Vales intramontanos	Média da diferença com os vizinhos < 0
<i>Relevo de morros estruturo-denudativos</i>	Colinas dissecadas	Não pertinência à classe morros residuais de alinhamentos em degraus de escarpas, definidos por amplitude altimétrica > 100 m e média de declividade > 12°
<i>Relevo montanhoso estruturo-denudativo</i>	Morros residuais de alinhamentos em degraus de escarpas	Amplitude altimétrica menor que 400 m e máxima altitude menor que 400 m
Morros residuais de alinhamentos em degraus de escarpas	Montanhas baixas (até 1500 m)	Relação de borda com as montanhas baixas > 0,5

Alguns vales intramontanos que se localizavam nas periferias das superfícies acumulativas, bordeando as montanhas baixas, tiveram a variável de relacionamento com os objetos vizinhos novamente aplicada (média da diferença altimétrica inferior à zero) para que fossem corretamente classificadas.

No primeiro nível de classificação, o relevo de morros e o relevo montanhoso tiveram a eles acoplados erros de comissão referentes à patamares inferiores do relevo que foram indevidamente inseridos pois encontravam-se entremeados aos superiores nos superobjetos. Foram assim definidas, com base na segmentação de maior detalhe, novas subclasses e aplicados novamente os critérios de morros residuais, sendo o restante fixado como colinas dissecadas; assim como os morros residuais foram diferenciados das montanhas baixas pela amplitude altimétrica e a máxima altitude.

O novo critério inserido – relação de borda – faz referência às adjacências dos objetos considerados. Verificou-se que a classificação de morros residuais estava superestimada e, para correção, foi aplicada tal variável em relação às montanhas baixas. Assim, após a fusão dos objetos referentes aos morros (*Merge*), estes só se mantiveram assim classificados se apresentassem circunvizinhança de montanhas inferior à 50%.



Com todos os procedimentos anteriormente descritos, foi gerado um mapa de compartimentação do relevo da bacia hidrográfica do Rio São João (Fig. 3). Os relevos de montanhas baixas e vales intramontanos ocupam a escarpa serrana da Serra do Mar e os maciços alcalinos intrusivos Tanguá-Rio Bonito e Morro do São João. O compartimento de Morros corresponde a um relevo transicional de formas residuais associadas a escarpas dissecadas ou abatidas tectonicamente e degraus alinhados, formando patamares na borda planáltica.

O domínio colinoso é formado por um relevo de colinas dissecadas, remanescentes da sedimentação fluvial das baixadas, dominando em grande parte da bacia, na transição entre o planalto montanhoso e as planícies litorâneas. O relevo suavemente ondulado ocupa as superfícies aplainadas, com colinas pouco dissecadas separadas por vales entulhados. As planícies aluviais baixas com gradientes suaves estão associadas aos principais canais fluviais que drenam a bacia, dominando todo o baixo curso, associadas às planícies fluvio-lagunares costeiras.

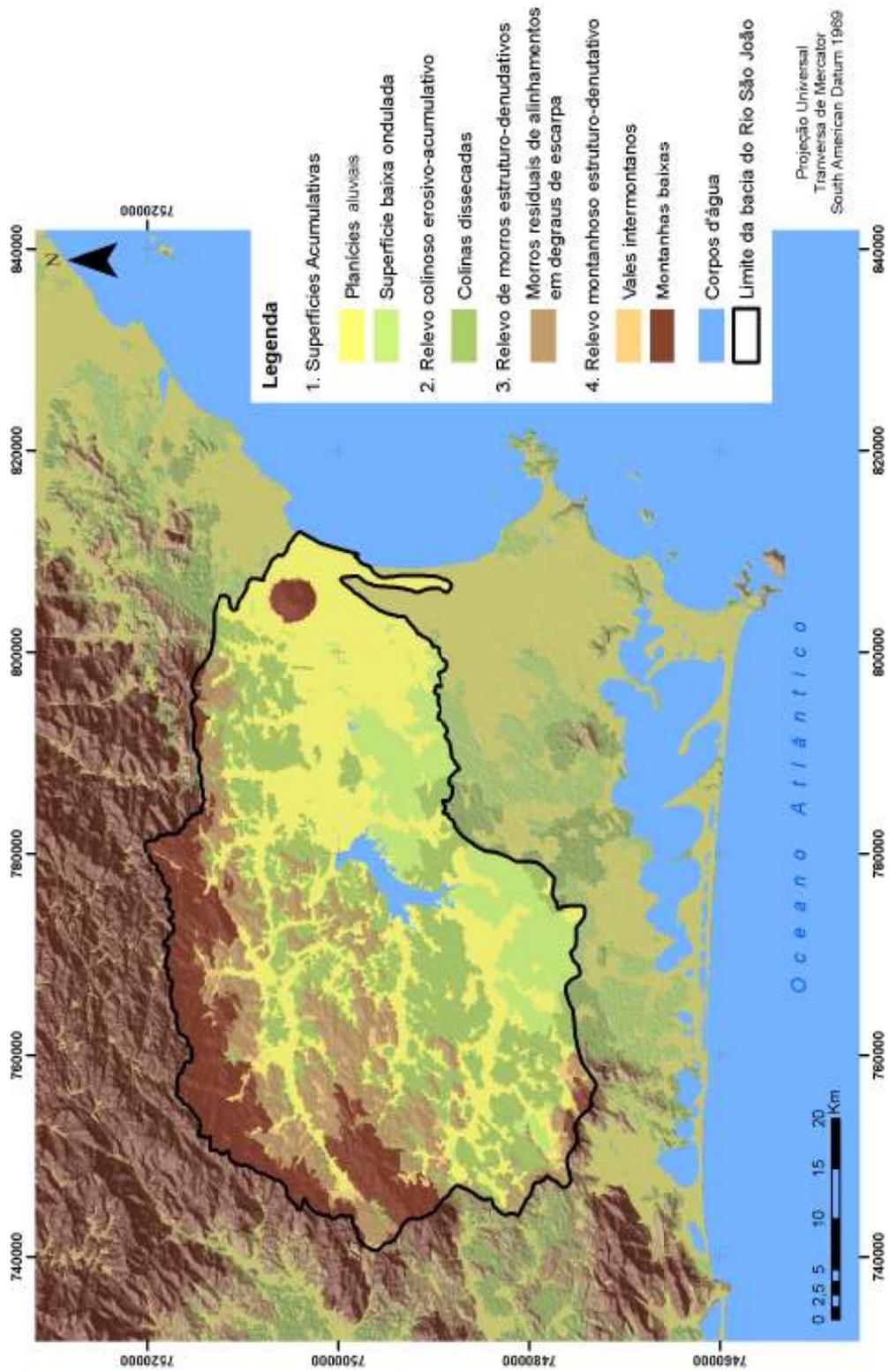


Figura 3 Compartimentação do relevo da bacia do Rio São João – RJ.



4 CONCLUSÕES

As questões ambiental e social cada vez mais evidenciam a necessidade do estabelecimento de diretrizes para o planejamento e a gestão da paisagem calcados em análises ambientais que possuam uma perspectiva integrada dos fenômenos que interagem na natureza. É nesse sentido que a contribuição metodológica do conhecimento geomorfológico, que passa pela cartografia representando formas e processos, fornece subsídios para tal.

Neste trabalho, a utilização do MDE *ASTER* e demais grades morfométricas derivadas mostrou-se eficiente no estudo da variedade de fenômenos geomorfológicos expostos na bacia do Rio São João a partir da extração de dados geomorfométricos e texturais e que, ainda, apresentou rapidez e precisão; evidenciando que tais possuem alta potencialidade no mapeamento geomorfológico.

Os algoritmos de segmentação multirresolução e classificação, baseados em Análise Orientada ao Objeto e hierarquização, exibiram bons resultados sobre a diversidade de formas de relevo as quais foram aplicados; sendo essencial a manipulação dos diversos descritores sob lógica *fuzzy*, bastante explorada na definição das chaves de interpretação, ao longo de todo o processo de mapeamento.

Investigações vêm sendo realizadas de forma a consolidar os modelos adotados. A possibilidade de se trabalhar as classes de forma individualizada e de se exportarem modelos para outros projetos são fatores diferenciadores na metodologia. Para a versão atual do *software Definiens Developer* tem-se ainda a possibilidade da criação e exportação da árvore de processos, o que facilitaria a produção de dados, mantendo a necessidade de poucos esforços de ajustes.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às instituições de fomento CNPq e CAPES pelo apoio através da concessão de bolsas de iniciação científica, doutorado e mestrado, respectivamente; assim como por aquele proveniente do Edital MCT/CNPq N ° 14/2009 – Universal.



6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARMAGO, F. F. Análise Orientada ao Objeto Aplicada ao Mapeamento de Unidades Geomorfológicas a partir de Dados ASTER/Terra. Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos: INPE, 2008.

CAMARGO, F. F.; ALMEIDA, C. M.; FLORENZANO, T. G.; OLIVEIRA, C. G. Acurácia Posicional de MDE ASTER/Terra em Área Montanhosa. *Geomática (Online)*, v. 4: p. 12-24, 2009.

DANTAS, M. E. Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro. Brasília: CPRM, 2001.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual Técnico de Geomorfologia. 2 ed. Rio de Janeiro: Manuais Técnicos em Geociências, N. 5, 175 p., 2009.

DEFINIENS. Definiens Developer 7: Reference Book. Munich: Definiens (The Imaging Intelligence Company), 2007. 197 p.

FLORENZANO, T. G. Sensoriamento Remoto para Geomorfologia. *In Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Mapa Geomorfológico do estado de São Paulo. São Paulo, 1981.

JENSEN, J. R. Sensoriamento remoto do ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

MATTOS, S. H. V. L; PEREZ FILHO, A. Complexidade e estabilidade em sistemas geomorfológicos: uma introdução ao tema. *Rev. Bras. de Geomorfologia*, v. 1: p. 11-18, 2004.

RADAMBRASIL. Mapa Geomorfológico Folhas SF.23 e 24. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 1983.

ROSS, J. L. S. Geomorfologia: ambiente e planejamento. 8. ed. São Paulo: Contexto, 2005.

SILVA, T. M. A Estruturação Geomorfológica do Planalto Atlântico no Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2002. 265p. (Tese de Doutorado, Departamento de Geografia da UFRJ).

ZEERJ. Análise e Qualificação Sócio-ambiental do Estado do Rio de Janeiro (escala 1:100.000): subsídios ao ZEE – Zoneamento Ecológico Econômico. Relatório da Etapa VI, Fase II, V. I - Diagnóstico geobiofísico. Rio de Janeiro, Nov. 2008.