

## Uso da plataforma cognitiva InterIMAGE para a identificação de unidades geomorfológicas

Gilson Alexandre Ostwald Pedro da Costa<sup>1</sup>

Flávio Fortes Camargo<sup>2</sup>

Raul Queiroz Feitosa<sup>1</sup>

Cláudia Maria de Almeida<sup>2</sup>

Dario Augusto Borges Oliveira<sup>1</sup>

Leila Maria Garcia Fonseca<sup>3</sup>

Hermann Johann Heinrich Kux<sup>2</sup>

Carolina Moutinho Duque de Pinho<sup>3</sup>

Emiliano Ferreira Castejon<sup>3</sup>

Thales Sehn Korting<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Elétrica – DEE  
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio, Rio de Janeiro – RJ, Brasil  
{gilson, raul, dario}@ele.puc-rio.br

<sup>2</sup> Divisão de Sensoriamento Remoto – DSR  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos – SP, Brasil  
{fortes, almeida, hermann}@dsr.inpe.br

<sup>3</sup> Divisão de Processamento de Imagens – DPI  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos – SP, Brasil  
{leila, carolina, castejon, tkorting}@dpi.inpe.br

**Abstract.** This paper introduces a new open source, knowledge-based platform for automatic image interpretation, called InterIMAGE. The architecture, main features as well as an overview on the interpretation strategy implemented in InterIMAGE is presented. The paper also reports an experiment in which an application in Geomorphology was created with InterIMAGE. The study area was the municipality of São José dos Campos, located in São Paulo State, Brazil. For this end, a set of textural and geomorphometric variables were used. The textural and geomorphometric variables were extracted from a DEM, obtained from a pair of stereoscopic ASTER/Terra images. In order to accomplish the classification evaluation, object-based statistical indices (producer's accuracy, consumer's accuracy, global accuracy and Kappa index) were derived from a contingency table, obtained by means of a comparison between the classified scene and a reference map. The values of the global accuracy (95.3%) and Kappa index (88%) indicate a strong agreement. The same experiment was also accomplished in a commercial, image interpretation software – Definiens Professional. The results showed that very similar classifications were obtained with both platforms. In face of what is above exposed, the object-based image analysis has shown to be a suitable method for semi-automatic procedures in geomorphological mapping.

**Palavras-chave:** cognitive approaches, object-based image analysis, InterIMAGE, geomorphology, abordagens cognitivas, análise orientada a objeto, InterIMAGE, geomorfologia.

### 1. Introdução

A tecnologia de Sensoriamento Remoto é fonte dos mais importantes subsídios para a identificação e monitoramento de mudanças na cobertura da terra e em feições fisiográficas terrestres. Efetivamente, dá suporte à investigação das interações entre o meio ambiente e atividades agrícolas e de planejamento urbano (EHLERS et al., 2002).

No presente, no entanto, a ausência de ferramentas eficientes de interpretação automática de imagens torna difícil a concretização de metas em diversas aplicações de monitoramento ambiental. A grande quantidade de tempo despendido entre a aquisição de uma imagem e sua classificação resulta em tempo insuficiente ao suporte de decisões cruciais que podem evitar ou mitigar os efeitos da degradação ambiental ou da expansão urbana sem planejamento (REGO, 2003).

Atualmente, a maioria das técnicas de análise de dados de sensoriamento remoto exige intensa intervenção humana. As plataformas convencionais de análise de imagens digitais, as quais exclusivamente operam com métodos estatísticos, têm demonstrado limitações na detecção de alvos de maior complexidade. Seus resultados usualmente exigem um escrutínio meticuloso por um especialista humano para a identificação e retificação das inconsistências geradas (BÜCKNER et al., 2001).

Neste sentido, alguns pacotes de aplicativos comerciais para a interpretação automática de imagens têm sido lançados, objetivando transpor os obstáculos impostos pelos classificadores convencionais. Embora esta nova geração de programas represente um avanço considerável, alguns importantes desafios permanecem no domínio da interpretação automática de imagens a ponto de assegurar maior acurácia e capacidade de detalhamento na extração de feições e classificação. Há, por conseguinte, uma forte demanda pelo desenvolvimento de técnicas robustas para extração e interpretação automáticas de dados de sensoriamento remoto (BLASCHKE et al., 2000; CARRION et al., 2002).

Uma abordagem de sucesso para interpretação automática é baseada na modelagem explícita – em um ambiente computacional de alto nível – do conhecimento humano referente ao problema de interpretação (MCKEOWN et al., 1985; MATSUYAMA et al., 1990; CLÉMENT et al., 1993; SAGERER; NIEMANN, 1997; LIEDTKE et al., 1997; BÜCKNER et al., 2001; SCHIEWE et al., 2001). Nesta abordagem o conhecimento especialista humano é organizado em uma base de conhecimento (GRAHAM; JONES, 1997) a ser utilizada como entrada para processos automatizados de interpretação, realçando a produtividade e a acurácia e reduzindo, simultaneamente, a subjetividade do processo de interpretação.

Neste artigo apresentamos a arquitetura e as principais características de um sistema de interpretação de imagens baseado em conhecimento denominado InterIMAGE, uma iniciativa de desenvolvimento de software de código aberto conduzida pelo Laboratório de Visão Computacional do Departamento de Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio) e pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Nós também apresentamos os resultados de um experimento de interpretação de imagem real relativo à classificação de unidades geomorfológicas no município de São José dos Campos, Estado de São Paulo, Brasil. Esta aplicação de interpretação foi baseada no trabalho apresentado em Camargo (2008), implementado originalmente no aplicativo Definiens® (DEFINIENS, 2006). O modelo de conhecimento específico delineado naquele trabalho foi transposto para as estruturas de conhecimento do InterIMAGE. Uma comparação dos resultados das interpretações realizadas em ambos os aplicativos foi efetuada, apresentando resultados muito similares.

No restante deste artigo, nos descrevemos as características básicas do InterIMAGE (Seção 2) e a estratégia de interpretação implementada pelo sistema (Seção 3). Na Seção 4, o experimento de interpretação de unidades geomorfológicas é descrito, e na Seção 5 os resultados do experimento são apresentados. Finalmente, algumas conclusões e direções para trabalhos futuros são apontadas na Seção 6.

## **2. Descrição do Sistema**

InterIMAGE é baseado no aplicativo GeoAIDA (BÜCKNER et al., 2001), desenvolvido no TNT Institute of the Leibniz Hannover University, Alemanha, do qual herdou o esquema funcional básico, estruturas de conhecimento, e mecanismos de controle. Como um trabalho em progresso, uma nova interface gráfica de usuário, uma ferramenta de *debugging* do modelo de conhecimento, capacidade de interpretação multitemporal e operadores de processamento de imagens serão incluídos no InterIMAGE em um futuro próximo.

Em resumo, InterIMAGE implementa uma estratégia específica de interpretação de imagens. Tal estratégia é baseada e guiada por uma descrição hierárquica do problema de interpretação, estruturado em uma rede semântica.

As bases para interpretação das imagens digitais são resultados gerados pelos operadores de processamento de imagens. Neste contexto, um operador de processamento de imagem é qualquer operador que gera uma imagem resultado rotulada a partir de uma dada imagem. Tais operadores de processamento de imagens são denominados aqui de ‘operadores de classificação’. Eles podem preencher operações de limiares, métodos baseados em textura ou baseados em modelo e construir a base para a interpretação de uma cena.

Na maioria dos sistemas que usam redes semânticas para a representação do conhecimento, somente os nós-folha da rede podem ser associados a operadores de processamento de imagens. Os seguintes arranjos de objetos frequentemente produzem uma muito alta diversidade de arranjos, porque todos os objetos extraídos da imagem devem ser tomados em conta ao mesmo tempo.

No InterIMAGE, operadores holísticos (LIEDTKE et al., 1997) podem ser utilizados para reduzir o problema da diversidade combinatória. Operadores holísticos objetivam identificar tipos específicos de objetos independentemente da identificação dos seus componentes estruturais. Eles podem ser conectados a qualquer nó da rede semântica, e sua tarefa básica é dividir a região em sub-regiões, reduzindo a necessidade de processamento de interpretações alternativas. A interpretação estrutural das sub-regiões que segue pode comprovar ou refutar os resultados holísticos.

Além disso, InterIMAGE permite a integração de qualquer um dos operadores de classificação no processo de interpretação. O problema de que diferentes operadores podem gerar diferentes informações para a mesma região na imagem é solucionado por meio do uso de conhecimento adicional considerando o julgamento das interpretações concorrentes. Ademais, como diferentes operadores podem processar diferentes tipos de dados, o sistema permite a análise integrada de imagens e dados SIG (Sistemas de Informações Geográficas) de múltiplas fontes.

### 3. Área de Estudo

A área de estudo, com 1.098,6 km<sup>2</sup>, corresponde à área do município de São José dos Campos, localizado no médio vale do rio Paraíba do Sul (Figura 1), Estado de São Paulo, Brasil. Esse vale está em um sistema Pré-Cambriano de montanhas, que é a mais proeminente feição orográfica do leste da América do Sul. A litologia é composta de gnaisses (Arqueano ao Proterozóico Médio), suítes graníticas sin e pós-tectônicas (Proterozóico Superior), rochas sedimentares (Terciário Superior) e depósitos quaternários. O relevo é formado de serras, montanhas, planícies aluviais, terraços e colinas sedimentares (DNPM, 1983).

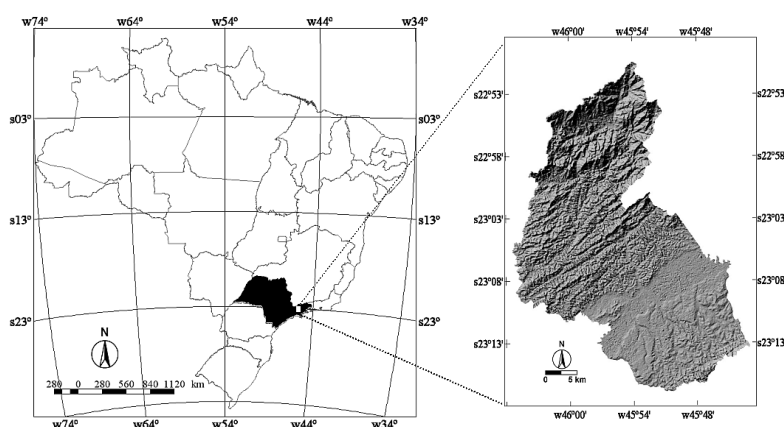


Figura 1 – Área de estudo: Brasil e Estado de São Paulo (em preto) à esquerda, e à direita o município de São José dos Campos (visualização do relevo sombreado da área).

#### 4. Estratégia de Interpretação

No InterIMAGE o conhecimento explícito sobre os objetos a serem encontrados em uma cena é estruturado em uma rede semântica, definida pelo usuário através da interface gráfica do sistema. Uma rede semântica contém nós e arcos, nós representam conceitos e arcos representam as relações entre os conceitos. A rede é na verdade um grafo conectado sem ciclos, isto é, uma árvore. Em cada nó conceitual, informação necessária para a análise, tal como o operador de processamento de imagens especializado na busca de ocorrências do conceito, é definido. Durante a análise, guiada pela rede semântica, o sistema controla a execução dos operadores e gera uma rede de instâncias, cada instância definindo uma região geográfica associada a um conceito específico.

Interpretação de dados de sensoriamento remoto significa transformar dados de entrada em uma descrição pictórica e estrutural que represente o resultado da análise. No InterIMAGE, o resultado da interpretação contém uma descrição estrutural do resultado (uma rede de instâncias) e mapas temáticos. O resultado final e todos os resultados intermediários, em termos de descrições de regiões, são armazenados no formato XML, e podem ser utilizados para posteriores averiguações externas.

O processo de análise executado pelo InterIMAGE tem dois passos: um de baixo para cima (*bottom-up*) e outro de cima para baixo (*top-down*). O passo *top-down* é guiado pelo modelo e gera uma rede de hipóteses baseado na rede semântica. O arranjo de hipóteses e sua aceitação ou recusa é uma tarefa da análise *bottom-up* guiada pelos dados. A rede de instâncias final resulta da análise *bottom-up* guiada pelos dados.

Em cada nó da rede o usuário define a informação necessária para a execução de cada passo de processamento, isto é, o operador de processamento de imagens (classificador) e respectivos parâmetros a serem usados no passo *top-down* (operador *top-down*) tanto quanto as regras de decisão a serem usadas no passo *bottom-up*.

Os operadores *top-down* estão incubidos com a separação de regiões em subregiões e com a construção de hipóteses para os conceitos da rede semântica, regiões da imagem associadas aos conceitos. Esta tarefa é realizada recursivamente da raiz aos nós-folha. Para este propósito qualquer operador de processamento de imagens (externo), o qual cria hipóteses para a subregião, pode ser usado no processo de análise. As hipóteses de subregiões podem ser definidas por meio de medidas de consistência. Se determinadas métricas texturais, por exemplo, permitirem somente umas poucas possíveis hipóteses para uma região particular, nenhuma investigação posterior de outras hipóteses de conceitos é executada para aquela região.

Quando a análise *top-down* alcança os nós-folha, a interpretação alterna de guiada pelo modelo para guiada pelos dados (*bottom-up*). As regras de decisão para o passo *bottom-up* são definidas em uma linguagem particular baseada em pilhas que provê funções para decidir entre hipóteses espacialmente concorrentes geradas no passo *top-down*.

#### 5. Delineamento Experimental

O experimento implementado neste trabalho foi projetado para avaliar o desempenho do InterIMAGE em uma específica aplicação de interpretação, já implementada em outro sistema baseado em conhecimento – Definiens Professional<sup>®</sup> - distribuído comercialmente pela companhia Definiens AG, o qual é o único sistema comercial de interpretação de imagens baseado em conhecimento disponível.

A aplicação selecionada foi aquela descrita no trabalho de Camargo (2008), a qual produziu uma classificação automática de unidades geomorfológicas para o município de São José dos Campos/SP. O modelo de conhecimento específico projetado para a aplicação, descrito em termos de estruturas de conhecimento definidas no sistema Definiens<sup>®</sup>, foi tranposto para as estruturas de conhecimento do InterIMAGE. O mesmo conjunto de dados de entrada foi utilizado: um modelo digital de elevação (MDE), gerado de um par estereoscópico

ASTER/Terra; variáveis geomorfométricas e texturais extraídas do MDE; e um arquivo vetorial da rede de drenagem.

O algoritmo de segmentação proposto por Baatz e Schäpe (2000) foi implementado no InterIMAGE e usado para este experimento. Também implementada para a aplicação foi a função que calcula valores de pertinência *fuzzy*, para ser usada nas regras de decisão do passo de interpretação *bottom-up*. A Figura 2 apresenta a rede semântica definida no InterIMAGE. Deve-se salientar que a rede projetada no InterIMAGE é muito similar à hierarquia de classes definida no sistema Definiens<sup>®</sup>, dado que pequenas diferenças são devidas a particularidades das diferentes estratégias de interpretação dos sistemas.

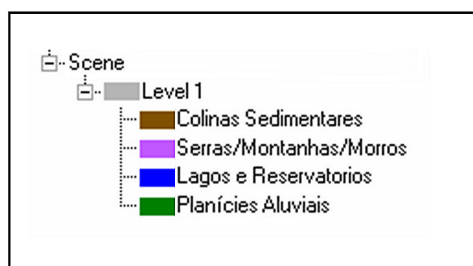


Figura 2 – Rede semântica para a classificação de unidades geomorfológicas em São José dos Campos/SP.

## 6. Resultados do Experimento

A Figura 3 mostra o mapa de referência obtido de uma interpretação visual 3D do par estereoscópico ASTER/Terra (imagens epipolares das bandas 3N e 3B do subsistema VNIR – *Visible Near-Infrared*) em uma estação fotogramétrica digital. Por sua vez, a Figura 4 apresenta os resultados da interpretação em termos de um mapa temático resultante da classificação final executada no InterIMAGE. O MDE ASTER/Terra foi usado na segmentação, cujos parâmetros ‘fator de escala’, ‘cor’, ‘forma’, ‘compacidade’, e ‘suavidade’ (BAATZ; SCHÄPE, 2000) foram estabelecidos em 50, 0,7, 0,3, 0,3, e 0,7, respectivamente. Como foi dito por Kressler e Steinnocher (2006), ‘fator de escala’ controla a máxima heterogeneidade permitida por segmento, e assim, fatores de escala maiores conduzem a segmentos maiores. Os parâmetros ‘cor’ e ‘forma’ são complementares, isto é, a soma destes é igual a um e indicam o quanto das informações cor e forma são usadas no processo de segmentação. O parâmetro ‘forma’ é dividido em ‘compacidade’ e ‘suavidade’, e como também foi explicado em Kressler e Steinnocher (2006), um alto valor de ‘compacidade’ conduz a segmentos menores e muito compactos, e conseqüentemente, é mais adequado para alvos feitos pelo homem, enquanto um alto valor de ‘suavidade’ conduz a segmentos otimizados para terem bordas suaves, as quais são por sua vez mais adequadas para objetos naturais.

A Tabela 1 apresenta os atributos, e seus respectivos limiares, utilizados para a construção das funções *fuzzy* de forma a classificar as unidades geomorfológicas. A classificação dos Lagos e Reservatórios foi baseada no arquivo vetorial da drenagem. A Tabela 2 apresenta a matriz de confusão entre a verdade terrestre e a classificação. As linhas da matriz mostram os resultados da classificação obtidos com o InterIMAGE e as colunas mostram os dados do mapa de referência. O resultado global em termos da coincidência total (acurácia global) entre o mapa de referência e a classificação é de 95,3% e o índice Kappa alcançou 88%. No sistema Definiens<sup>®</sup>, a acurácia global foi de 96,4% e o valor do índice Kappa de 88,9% (CAMARGO, 2008).

Considerando os erros de comissão e omissão, é possível observar que a classe ‘Colinas Sedimentares’ apresentou confusão com ambas as classes ‘Serras/Montanhas/Morros’ e ‘Planícies Aluviais’. Isso se deve pela diversidade de padrões de colinas, variando de

superfícies planas a moderadamente dissecadas. Por outro lado, a confusão entre “Serras/Montanhas/Morros” e “Planícies Fluviais” foi reduzida e se restringiu aos contatos entre essas unidades. O índice Kappa é considerado de “forte concordância” (LANDIS; KOCH, 1977) e as acurácias do produtor e do usuário (Tabela 3) apontam adequada concordância entre o mapa de referência e a classificação.

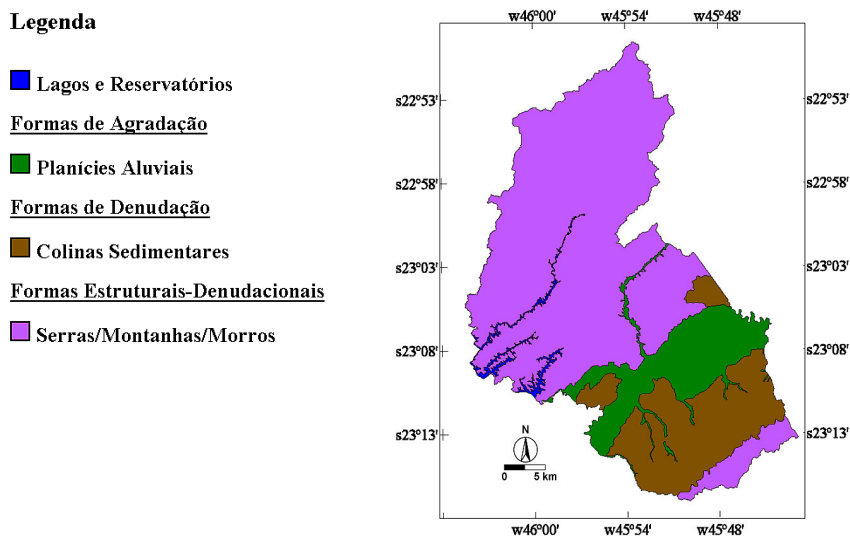


Figura 3 – Unidades geomorfológicas obtidas da interpretação visual (mapa de referência).

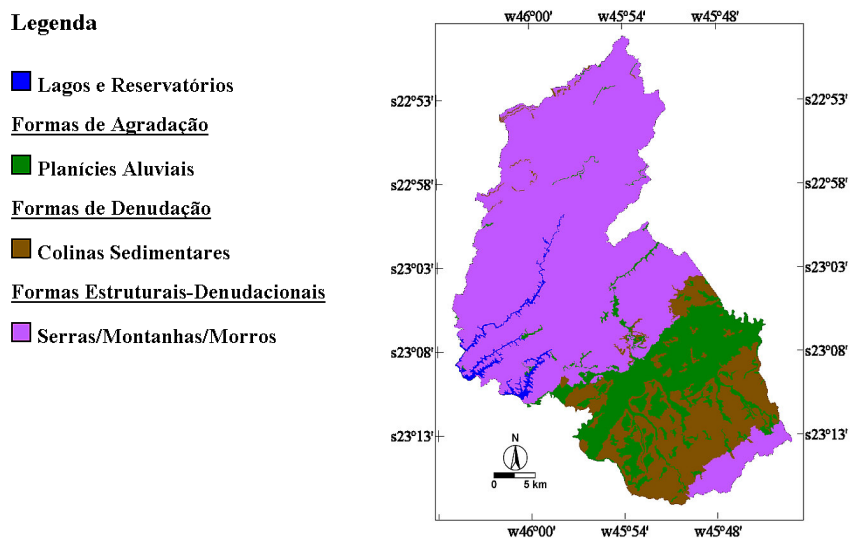


Figura 4 – Unidades geomorfológicas obtidas da classificação executada no InterIMAGE.

Tabela 1 – Atributos utilizados para classificar as unidades geomorfológicas.

<b>Unidades Geomorfológicas</b>	<b>Atributos</b>
Serras/Montanhas/Morros	alta densidade de drenagem (nível 3); média da altimetria entre 572 – 2100m; média da declividade entre 4,9° – 34,9°.
Colinas sedimentares	média da altimetria entre 560 – 688m; média da entropia entre 1,2 – 2,2; média da declividade entre 2,5° – 12°.
Planícies Aluviais	média da entropia entre -0,01 – 1,5; média da declividade entre 1,4° – 10°.

Tabela 2 – Matriz de erros, acurácia global, e índice Kappa.

Mapa de Referência (verdade terrestre)					
		Serras/Montanhas/Morros	Colinas Sedimentares	Planícies Aluviais	Lagos e Reservatórios
Classificação	Serras/Montanhas/Morros	<b>4290</b>	11	10	0
	Colinas Sedimentares	70	<b>597</b>	36	0
	Planícies Aluviais	41	97	<b>298</b>	0
	Lagos e Reservatórios	0	0	0	<b>227</b>
Acurácia Global: 0,9533					
Índice Kappa: 0,8802					

Tabela 3 – Acurácias do produtor e do usuário.

	Acurácia do Produtor	Acurácia do Usuário
Serras/Montanhas/Morros	0,975	0,995
Colinas Sedimentares	0,847	0,849
Planícies Aluviais	0,866	0,683
Lagos e Reservatórios	1,000	1,000

## 7. Conclusões

Em termos de estratégia de interpretação, InterIMAGE tem uma arquitetura mais flexível do que a do Definiens<sup>®</sup>. A combinação de uma análise guiada por modelos e outra guiada pelos dados, tal como executado pelo InterIMAGE, tem o potencial de incrementar a eficiência computacional em comparação com o Definiens<sup>®</sup>, o qual segue uma estratégia guiada pelos dados. Deste modo, InterIMAGE oferece possibilidades de modelagem do conhecimento não disponíveis no Definiens<sup>®</sup>.

O experimento descrito neste artigo provê evidências de que a maioria dos modelos de interpretação construídos no Definiens<sup>®</sup> pode ser transposta para o InterIMAGE. Considerando-se a aplicação particular apresentada neste artigo, seus resultados devem ainda ser submetidos a refinamentos posteriores com o uso de operadores topológicos e de pós-classificação, os quais são baseados em regras contextuais que levam em conta as classes dos objetos vizinhos.

Concomitantemente ao avanço do projeto InterIMAGE, a tarefa de implementação de modelos baseados em conhecimento mais sofisticados certamente se tornará mais fácil. Ulterior desenvolvimento do InterIMAGE está a caminho. Funcionalidades multi-temporais de interpretação, funções de extração automática de conhecimento, assim como operadores de processamento de imagens embutidos – incluindo os topológicos e contextuais – são alguns dos desenvolvimentos projetados para um futuro próximo.

## Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da FAPERJ (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro), da FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos) e do SEBRAE (Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas).

## Referências Bibliográficas

Baatz, M; Schäpe, A. Multiresolution segmentation – an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. In: STROBL J et al. (Eds.) *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII. Beiträge zum AGIT-Symposium*. Salzburg, Karlsruhe: Herbert Wichmann Verlag, 2000.

Blaschke, T.; Lang, S.; Lorup, E.; Strobl, J.; Zei, P. Object-oriented image processing in an integrated GIS/remote sensing environment and perspectives for environmental applications. In: Cremers, A., Greve, K. (Eds.). **Environmental Information for Planning, Politics and the Public**. Marburg: Metropolis-Verlag, 2000. 2 v. p.555-570.

Bückner, J.; Pahl, M.; Stahlhut, O.; Liedtke, C.-E. GEOAIDA - A Knowledge-Based Automatic Image Data Analyzer for Remote Sensing Data. In: ICSC Congress On Computational Intelligence Methods And Applications 2001 - CIMA 2001, Bangor, Wales, UK. **Proceedings...** Bangor, Wales, UK: CIMA 2001, 2001 (CD-ROM).

Camargo, F. F. **Análise orientada a objeto aplicada ao mapeamento de unidades geomorfológicas a partir de dados ASTER/Terra**. 171 p. (INPE-15253-TDI/1339). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos (SP). 2008.  
Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2008/03.17.19.50>>. Acesso em: 16.nov.2008.

Carrion, D.; Gianinetto, M.; Scaioni, M. Georef: A Software for Improving the Use of Remote Sensing Images in Environmental Applications. In: IEMSS 2002 - Integrated Assessment And Decision Support, 2002, Lugano, Switzerland. **Proceedings...** Lugano, Switzerland: IEMSS, 2002, 2 v., pp. 360.

Clément, V.; Giraudon, G.; Houzelle, S.; Sandakly, F. Interpretation of Remotely Sensed Images in a Context of Multisensor Fusion Using a Multispecialist Architecture. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 31, n. 4, p. 779-791, jul. 1993.

Definiens AG, 2006. **Definiens Professional 5 User Guide**. Definiens AG, Munich, 249 pp.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. **Folhas SF 23/24 (Rio de Janeiro/Vitória): geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro,: DNPM, 1983.

Ehlers, M.; Janowsky, R.; Gähler, M. New Remote Sensing Concepts for Environmental Monitoring. In: Ehlers, M. (Ed.). Conference on Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology, 2002, Bellingham, WA. **Proceedings...** Bellingham, WA: SPIE, v. 4545, p.1-12, 2002.

Graham, J.; Jones, P. **Knowledge-Based Image Processing Systems**. London: Springer-Verlag, 1997. 178 p.

Kressler, F. P.; Steinnocher, K. Image data and LIDAR – An ideal combination matched by object-oriented analysis. In: First International Conference on Object-based Image Analysis (OBIA 2006), 2006, Viena, Austria. **Proceedings...** Viena: ISPRS, 2006.

Landis, J.; Koch, G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, p. 159–174, 1977.

Liedtke, C.-E.; Bückner, J.; Grau, O.; Growe, S.; Tönjes, R. AIDA: A System for the Knowledge-Based Interpretation of Remote Sensing Data, In: Third International Airborne Remote Sensing Conference And Exhibition, 1997, Copenhagen, Denmark. **Proceedings...** Copenhagen, Denmark: Environmental Research Institute of Michigan, AGU, 1997.

Matsuyama, T.; Hwang, V. **Sigma: A knowledge-based aerial image understanding system**. Advances in computer vision and machine intelligence. New York: Plenum, 1990. ISBN: 030643301X.

Mckeown, D. M.; Harvey, W. A.; Mcdermott, J. Rule-Based interpretation of aerial imagery. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v. 7, n. 5, p. 570-585, 1985.

Rego, L. F. G. **Automatic land-cover classification derived from high-resolution IKONOS satellite image in the urban Atlantic Forest in Rio de Janeiro, Brazil, by means of an object-oriented approach**. 193p. PhD Thesis (Forstwissenschaftlichen Fakultät). Albert-Ludwigs-Universität, 2003.

Sagerer, G.; Niemann, H. **Semantic Networks for Understanding Scenes**. Advances in Computer Vision and Machine Intelligence. 1.ed. New York: Plenum Publishing Corporation, 1997. 500p. ISBN: 0306457040.

Schiewe, J., Tufte, L., Ehlers, M., Potential and problems of multi-scale segmentation methods in remote sensing. **GIS-Informationssysteme**, v. 6, pp. 34-39, 2001.