

Mineração de Dados em Imagens: da Arquitetura à Ontologia

Marcelino Pereira dos Santos Silva
Departamento de Informática - Fanat
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte
mpss@dpi.inpe.br

Gilberto Câmara Neto
Divisão de Processamento de Imagens
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
gilberto@dpi.inpe.br

Resumo

Mineração de dados em imagens realiza a busca por padrões espaço-temporais válidos, previamente desconhecidos, úteis e compreensíveis. O valor da informação estratégica intrínseca nos acervos de imagens, especialmente aqueles de sensoriamento remoto, tem motivado várias linhas de pesquisa nesta área. A Arquitetura Dirigida à Informação e a Ontologia de Imagens, por suas relevâncias na mineração de imagens, serão apresentadas e comparadas neste artigo, delineando-se pontos fundamentais das duas abordagens.

Abstract

Image data mining performs the search for valid, unknown, useful and understandable spatio-temporal patterns. The value of the hidden strategic information in image databases, specially the ones from remote sensing, has motivated many research initiatives in this topic. The Information-Driven Framework and the Image Ontology, according to their relevance in the image mining context, will be presented and compared in this paper, where fundamental points of each approach will be delineated.

1. Introdução

Descoberta de conhecimento em bancos de dados (DCBD) é o processo de identificar em dados padrões que sejam válidos, previamente desconhecidos, potencialmente úteis e compreensíveis, visando melhorar o entendimento de um problema ou um procedimento de tomada de decisão [Fayyad et al., 1996]. Mineração de dados é a etapa em DCBD responsável pela seleção dos métodos a serem utilizados para localizar padrões nos dados, seguida da efetiva busca por padrões de interesse numa forma particular de representação, juntamente com a busca pelo melhor ajuste dos parâmetros do algoritmo para a tarefa em questão.

Mineração de dados em imagens não é apenas a aplicação de técnicas de mineração de dados no domínio de imagens. Diferenças relevantes colocam-se entre bancos de imagens e bancos de dados “convencionais” (relacionais, orientados a objetos, dentre outros). A semântica dos elementos da imagem, e a multiplicidade de interpretações de padrões visuais, são alguns dos fatores que influenciam e tornam desafiadora a tarefa de extração de conhecimento a partir de acervos de imagens.

Mediante o investimento para geração em larga escala de imagens (especialmente de sensoriamento remoto no INPE) e a demanda econômica, política, social e governamental por resultados em tempo hábil (oriundos de informações estratégicas das imagens), aplicações relevantes de mineração de dados em imagens motivam a pesquisa em diferentes áreas: uso e cobertura do solo, monitoramento ambiental, planejamento urbano, vigilância territorial, previsão de safra, dentre outros.

Propostas de arquiteturas e ontologias voltadas para tarefas deste domínio têm estado presentes em diferentes trabalhos e grupos de pesquisa. O Sistema de Mineração de Satélite [Datcu & Seidel, 2000], o MultiMediaMiner [Zaiane et al., 1998] e o Diamond Eye [Burl, 1999] oferecem recursos para tratar e minerar imagens. Descoberta de Conhecimento em Bancos de Dados Guiada por Ontologias [Phillips & Buchanan, 2001], Mineração de Dados Multimídia Baseada em Ontologias [Simoff & Maher, 1998], Sistemas de Informação Geográfica Baseados em Ontologias [Fonseca & Egenhofer, 1999], e Usando Ontologias para GIS Integrados [Fonseca et al., 2002] aplicam ontologias para integrar e minerar dados.

Neste artigo serão tratados aspectos semânticos da representação e da extração do conhecimento no domínio da mineração de imagens, através da comparação entre duas abordagens neste contexto: a Arquitetura Dirigida à Informação e a Ontologia de Imagens. Na próxima seção serão abordados elementos da mineração de imagens, seguida da exposição das duas abordagens. Logo após, uma análise comparativa entre Arquitetura e Ontologia será efetuada, encerrando com as conclusões.

2. Mineração de Dados em Imagens

O processo de mineração de dados em imagens é apresentado na Figura 1. As imagens de um acervo (banco de imagens) são recuperadas segundo critérios inerentes à aplicação. A seguir, uma fase de pré-processamento aumenta a qualidade dos dados, os quais são então submetidos a uma série de transformações e de extração de características que geram importantes informações, a partir destas informações, a mineração pode ser realizada através de técnicas específicas, com o intuito de descobrir padrões significativos. Os padrões resultantes são então interpretados e avaliados para a obtenção do conhecimento final, que pode ser aplicado no entendimento de problemas, na tomada de decisões ou em outras atividades estratégicas [Zhang et al., 2002].

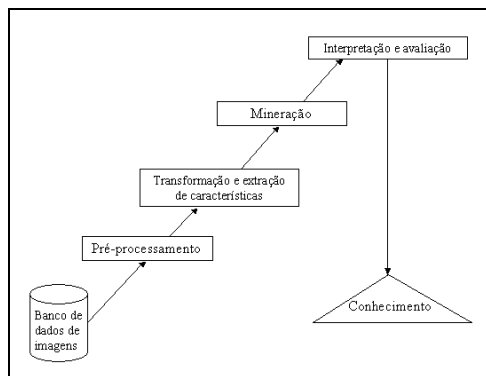


Figura 1: O processo de mineração de imagens (extraído de Zhang et al., 2002)

Embora o esquema da figura assemelhe-se bastante ao processo de DCBD, deve-se salientar que mineração de dados em imagens não consiste simplesmente na aplicação de técnicas de mineração de dados em bancos “convencionais” ao domínio de imagens. Segundo [Zhang et al., 2002], diferenças importantes entre estes bancos e os bancos de imagens incluem:

- Valores relativos e valores absolutos - em bancos de dados relacionais (por exemplo), os valores de dados são semanticamente significativos. Para ilustrar, seja um atributo idade igual a 42; o valor possui um entendimento claro, objetivo. Valores de imagens em si podem não possuir significância sem o suporte de um contexto. No caso de um *pixel* com valor de escala de cinza igual a 46, torna-se evidente sua dependência dos *pixels* ao redor para chegar a alguma informação sobre o mesmo (aparência mais clara, mais escura, constitui borda, etc.).

- Informação espacial - A informação espacial implícita é crítica para a interpretação da imagem, o que não ocorre com bancos de dados relacionais. Com o intuito de minimizar este problema, utiliza-se a extração

de características independentes de posição em cada imagem (metadados, anotações, etc.) antes da mineração de padrões espaciais (objetos, seus relacionamentos, etc.).

- Interpretação única e interpretação múltipla - uma característica das imagens é a interpretação múltipla dos padrões visuais. Neste caso, algoritmos tradicionais de associação de padrões a uma classe não são aplicáveis. Novas categorias de algoritmos são então necessárias, haja vista as demandas especiais quando realiza-se a mineração e interpretação de padrões a partir de imagens.

- Representação visual dos padrões descobertos - diferentes questões devem ser consideradas: Como representar padrões de imagens de forma que a informação contextual e espacial (e outras características importantes) seja retida no esquema de representação? Quais as características relevantes da imagem que devem ser utilizadas no processo de mineração para que os padrões descobertos sejam visualmente significativos? Como representar padrões minerados ao usuário num ambiente visualmente rico?

Um bom exemplo desta problemática, em âmbito nacional, refere-se à evolução de padrões de uso da terra em áreas da Amazônia [Escada, 2003]. Este trabalho, baseado na delimitação de regiões que apresentam padrões espaciais observáveis em séries temporais de imagens (sensor TM dos satélites Landsat), desenvolve uma análise da evolução do uso e cobertura da terra na região Centro-Norte de Rondônia. Dentre os vários elementos abordados na pesquisa, destacam-se:

- Verificação da efetividade da distribuição de terras do INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária);

- Análise da influência das estradas (BR's, secundárias, etc.) na ocupação e na configuração de áreas;

- Preservação de áreas (inclusive indígenas) na atual concepção de assentamentos agrícolas;

- Evolução da vegetação secundária (distribuição espaço-temporal, espécies predominantes, etc.);

- Identificação do tamanho de propriedades e de abandono de áreas;

Estes elementos configuram padrões e tendências espaço-temporais, objetos e relacionamentos de alto nível, que demandam a análise de séries de imagens para extração de informações estratégicas. Neles pode-se identificar os problemas e tópicos supracitados: valores relativos/absolutos, informação espacial implícita, interpretação única/múltipla, representação visual de padrões. Além disso, os métodos geralmente utilizados levam os analistas a selecionarem subconjuntos relevantes destas séries para análise detalhada, incorrendo assim no risco de perda de fenômenos e processos observáveis apenas em conjuntos de pequena granularidade. Neste contexto, metodologias e algoritmos apropriados de mineração de dados em imagens certamente aprimorariam

o resultado final de muitos trabalhos, podendo até enriquecer ou alterar conclusões.

2.1. Arquitetura Dirigida à Informação

Tomando por base a premissa de que “um desafio fundamental na mineração de imagens é determinar como a representação de *pixel* (baixo nível) que está contida numa imagem bruta, ou numa seqüência de imagens, pode ser processada para identificar objetos e relacionamentos espaciais em alto nível”, [Zhang et al., 2001] propõe uma Arquitetura Dirigida à Informação (*Information-Driven Framework*) que destaca o papel da informação em vários níveis de representação (Figura 2). Quatro níveis são distintos nesta arquitetura:

- O nível mais baixo é o *Nível de Pixel* que consiste das informações da imagem “bruta”, tais como valores de *pixels*, e de características primitivas, tais como cor (distribuição, histograma, etc.), textura (arranjo estrutural das superfícies e seus relacionamentos – contraste, direção, regularidade) e forma (informações de borda).

- O *Nível de Objeto* lida com informações de objetos ou regiões homogêneas baseadas nos dados primitivos do Nível de *Pixel*, identificando características específicas ao domínio. Algoritmos de agrupamento (*clustering*) e segmentação, aliados ao conhecimento do domínio, podem ajudar a particionar as imagens em objetos ou regiões significativas. Modelos de objetos podem ser fornecidos para a identificação de elementos na imagem.

- O *Nível de Conceito Semântico* coloca os objetos e regiões (identificados no Nível de Objeto) no contexto das imagens, tentando capturar conceitos abstratos no cenário formado. Raciocínio em alto nível e técnicas de descoberta de conhecimento (classificação e agrupamento de imagens, regras de associação, etc.) são utilizados para gerar conceitos semânticos e descobrir padrões relevantes.

- O *Nível de Padrões e Conhecimento* integra dados alfanuméricos relacionados ao domínio com relacionamentos semânticos descobertos nos dados da imagem. Por exemplo: a integração de dados censitários (dados alfanuméricos relacionados ao domínio) com configurações e padrões de ocupação do solo (relacionamentos semânticos descobertos na imagem) pode revelar fenômenos populacionais interessantes e previamente desconhecidos.

Nos três primeiros níveis da arquitetura encontram-se componentes responsáveis pela indexação e recuperação de imagens, pois sem o acesso eficiente a subconjuntos de imagens e informações derivadas das mesmas não se pode considerar factível a mineração neste domínio. Para cada nível verifica-se a presença de repositórios destes dados (imagens, objetos/regiões, conceitos semânticos, padrões/conhecimento), além de módulos específicos para o tratamento da informação nos respectivos níveis/repositórios (processamento de imagens, extração

de características, descoberta de conhecimento, integração de informações alfanuméricas). Componentes do domínio do conhecimento e de informações alfanuméricas (dados, padrões, etc.) interagem com elementos da arquitetura através do tratamento e integração destas informações em pontos específicos de cada nível.

Os quatro níveis de informação podem ser generalizados em duas camadas: os níveis de *Pixel* e de Objeto formam a camada mais baixa, enquanto os níveis de Conceito Semântico e o de Padrões e Conhecimento formam a camada superior. A primeira contém informações “brutas” e também as extraídas da imagem, caracterizando-se por processos como análise, processamento e reconhecimento da imagem. A camada mais alta lida com operações de imagem em alto nível, como geração de conceito semântico e descoberta de conhecimento a partir de coleções de imagens.

Verifica-se então que a busca da informação em imagens demanda conhecimento, esforço e habilidade em diferentes domínios, metodologias e ferramentas, as quais são muitas vezes distintas, com pouco ou nenhum grau de integração. Esta arquitetura baseada em níveis da informação contribui na questão do fluxo desta informação, oferecendo a possibilidade de manipulação de dados em diferentes formatos, estruturas e fases de processamento.

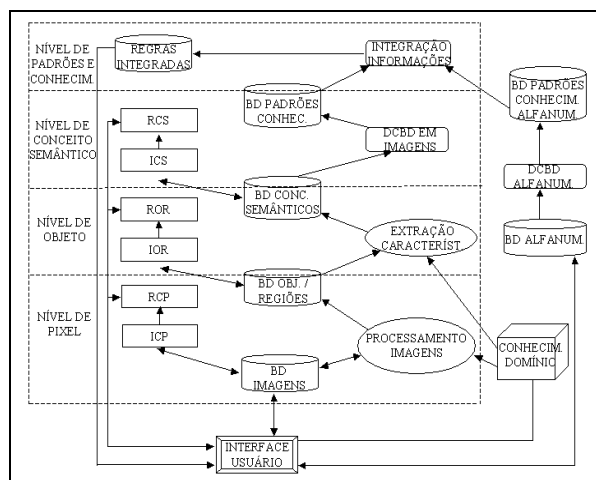


Figura 2: Arquitetura de mineração de imagens dirigida à informação (extraído de Zhang et al., 2001)

Componentes com nomenclatura abreviada na figura 2:

- Indexação: ICP (características primitivas), IOR (objetos/regiões), ICS (conceito semântico)
- Recuperação: RCP (características primitivas), ROR (objetos/regiões), RCS (conceito semântico)

2.2. Ontologia de Imagens

Uma ontologia (como artefato de engenharia) descreve

uma certa realidade com um vocabulário específico, utilizando um conjunto de hipóteses relativas ao significado intencional das palavras deste vocabulário [Fonseca & Egenhofer, 1999]. Pode-se também definir ontologia como teorias de conteúdos, as quais possuem um conjunto geral de fatos a serem compartilhados, cuja principal contribuição é identificar classes específicas de objetos e relacionamentos que existam em determinado domínio [Câmara et al., 2001].

Com a questão “Qual o *status* ontológico do conteúdo das informações das imagens de sensoriamento remoto?”, [Câmara et al., 2001] expõe a dicotomia campo/objeto das imagens, propondo uma ontologia multi-camada para estas com a finalidade de suportar múltiplas perspectivas de uma mesma imagem. Esta ontologia de imagens visa a detecção de configurações espaço-temporais de fenômenos geográficos, ponto fundamental para a mineração de dados em imagens.

No referido trabalho, o modelo conceitual de dados “objeto” é uma representação do mundo como uma superfície ocupada por objetos discretos, cuja existência depende de demarcações efetuadas por seres humanos ou através de procedimentos automatizados, com uma representação geométrica e com atributos descritivos. Já o modelo “campo” é uma visão da realidade geográfica em função de um conjunto de distribuições espaciais na extensão geográfica em questão, baseada em valores de energia refletida capturada por sensores. Esta dicotomia campo/objeto é um conceito genérico, sem suporte para semântica específica dos diferentes tipos de dados espaciais, não possuindo os recursos necessários para o processo de representação de conhecimento em imagens.

[Câmara et al., 2001] propõe que imagens de sensoriamento remoto são instrumentos ontológicos para capturar a dinâmica das paisagens, considerando que processos geográficos ocorrem num espaço multi-escala e que resultam de interações temporais e espaciais de diferentes fenômenos numa paisagem física. Assim, o foco da caracterização ontológica seria a busca por mudanças, ao invés da busca por conteúdos. Esta ênfase não deve ser interpretada como simples procedimentos de localização e de identificação de objetos, mas sim como um processo de captura da dinâmica de paisagens. A proposta contempla ainda a reutilização de conhecimento algorítmico para diferentes aplicações, contido em métodos de processamento de imagens, tais como segmentadores, classificadores, dentre outros.

A ontologia multi-camada para imagens (Figura 3) propõe a derivação de ontologias não apenas para os objetos do domínio, mas também para as ações intencionais, as quais são expressas pelos procedimentos aplicados ao conjunto de dados original para a extração de conhecimento. A proposta considera que as imagens possuem uma descrição própria, distinta e independente da ontologia de domínio que um cientista utilizaria para

extrair informações destas. O domínio ontológico (*fenomenologia*) para imagens possui três componentes inter-relacionados:

- *Ontologia Física* – descreve o processo físico da criação da imagem, com foco no conhecimento sobre a relação entre a energia refletida pela superfície terrestre e as medidas obtidas pelo sensor (resposta espectral, *backscatter*, dentre outros).

- *Ontologia Estrutural* – contempla as estruturas geométricas, funcionais e descritivas que podem ser extraídas através de técnicas de extração de características, segmentação, classificação (linhas, regiões, etc.).

- *Ontologia de Métodos* – consiste de um conjunto de algoritmos (que realizam transformações do nível físico para o nível estrutural) e de estruturas de dados que representam conhecimento reutilizável na forma de técnicas de processamento de imagens (filtragem, extração de características, etc.).

Enquanto esta ontologia fenomenológica é independente do observador, os cientistas de determinada área operam utilizando conceitos de seus domínios do conhecimento. Segundo [Guarino, 1997], existe uma distinção entre a *ontologia do domínio da aplicação*, que descreve o vocabulário relacionado a um domínio genérico (por exemplo, geologia ou ecologia), e a *ontologia de tarefas da aplicação*, que são especializações da ontologia do domínio da aplicação, as quais descrevem uma tarefa ou atividade em certo domínio (como estimativa de poluição da água para estudos ecológicos).

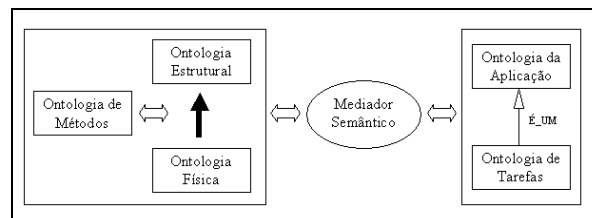


Figura 3: Contexto ontológico p/ extrair informações a partir de imagens (extraído de Câmara et al., 2001)

Exemplificando: conceitos genéricos numa imagem (Figura 4) como áreas de *floresta* e áreas *desflorestadas* são distintas pela *Ontologia da Aplicação*; a especialização de áreas *desflorestadas* em *ranchos de gado* e *pequenas fazendas* é realizada através da *Ontologia de Tarefas*; propriedades estatísticas e morfológicas da imagem são descritas pela *Ontologia Física*; a *Ontologia Estrutural* distingue conceitos como *regiões* e suas especializações (*regular*, *espinha-de-peixe*, etc.); a *Ontologia de Métodos* fornece algoritmos e estruturas de dados para extrair estas regiões.

A relação entre a ontologia da imagem e a ontologia da

aplicação é atingida através de um *mediador semântico*, que desempenha duas funções básicas:

- *Identificar* quais algoritmos específicos de processamento de imagens e de reconhecimento de padrões (descritos na ontologia de métodos) são necessários para extrair as estruturas desejadas a partir das imagens, ou para transformar os valores físicos (*pixels*) com vistas à obtenção da informação demandada.

- *Mapear* conceitos da ontologia do domínio em estruturas extraídas do conjunto de imagens. Por exemplo: uma *ontologia do domínio* pode conter um conceito de estrada; utilizando o *mediador semântico* pode-se identificar estradas entre as estruturas lineares que fazem parte da ontologia estrutural da imagem.

A ontologia multi-camada proposta permite que diferentes domínios de aplicação sejam relacionados ao mesmo domínio fenomenológico, refletindo o fato de que um mesmo conjunto de imagens pode ser usado em vários domínios do conhecimento. Considerando a abordagem construtiva para o mediador semântico, onde um observador externo elabora correspondências entre conceitos do *domínio da aplicação* e conceitos do *domínio fenomenológico* (e.g. *pequena fazenda* ↔ *região espinha-de-peixe*), tal relacionamento é denominado “casamento” (*matching*). Numa instância temporal única, o conjunto dos casamentos *pequena fazenda* ↔ *região espinha-de-peixe* é denominado *configuração espacial*. Dada uma série temporal de imagens, o conjunto de configurações espaciais é denominado *padrão espaço-temporal*, elemento fundamental na detecção de fenômenos espaciais e obtenção de conhecimento estratégico através da mineração de imagens.

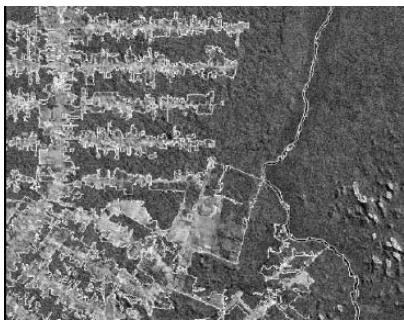


Figura 4: Mapa de desflorestamento – imagem Landsat (Eymar Lopes, INPE)

3. Análise Comparativa de Abordagens

As duas abordagens voltadas especificamente à mineração de imagens e apresentadas na seção anterior possuem fortes componentes conceituais e tecnológicos, que as qualificam como de extrema relevância nesta área.

O foco da Arquitetura [Zhang et al., 2001] é voltado aos componentes e à função dos mesmos, enfatizando e

detalhando o fluxo da informação e o tratamento dispensado à mesma nos diferentes níveis. Através do acoplamento destes níveis, o processamento apropriado dos dados em cada fase viabiliza o fluxo das informações, oferecendo recursos para o tratamento dos diferentes formatos e estruturas dos dados. Já a Ontologia [Câmara et al., 2001] privilegia o aspecto semântico, a manipulação inteligente dos componentes, e a reutilização apropriada de elementos estratégicos. Conceitos como hierarquia, mediação e mapeamento de elementos evidenciam a preocupação com a complexidade das tarefas de mineração de imagens, provendo meios para representar e manipular o conhecimento obtido e utilizado durante o processo (Tabela 1).

Ambas abordagens consideram e utilizam técnicas já dominadas até o nível de objetos (fenomenologia). Entretanto, na fase mais crítica para a Arquitetura, relacionada aos níveis de Conceito Semântico e Padrões/Conhecimento, não fica claro como o mecanismo proposto pela Arquitetura suportará tarefas complexas (conceitualização semântica, geração de padrões e conhecimento, dentre outros). [Zhang et al., 2001] reconhece este fato afirmando que “existe uma lacuna semântica entre o Nível de Objeto e o Nível de Conceito Semântico”. Neste ponto, a contribuição da Ontologia é fundamental, pois além de focar o aspecto semântico do processo, oferece e explica o método pelo qual a ligação semântica entre o objeto/estrutura e o conhecimento/aplicação será realizada, associando as imagens com o domínio que as utiliza. No que diz respeito ao tratamento de imagens, são fornecidos recursos para determinar os métodos/algoritmos de processamento destas informações através da abordagem ontológica.

Enquanto a Arquitetura apresenta e determina um fluxo de informações através do acoplamento de níveis e componentes (elencando módulos e funções operando em conjunto), a Ontologia formaliza o conhecimento (físico, estrutural, algorítmico) e permite a sua reutilização por diferentes aplicações. Esta fornece flexibilidade suficiente para integrar diferentes fontes de dados, incluir novos conceitos e agregar algoritmos, caracterizando a abertura e extensibilidade da proposta para combinar diferentes conjuntos conceituais e suportar múltiplas perspectivas da mesma imagem (já que esta constitui-se numa entidade com múltiplas interpretações).

A Arquitetura é enfática na captura dos diferentes níveis de informação presentes nos dados de imagem, focando os desafios na descoberta de padrões e conhecimento existentes em cada nível. Já a Ontologia enfatiza a utilização de imagens na detecção de configurações espaço-temporais, tendo em vista a análise dinâmica da paisagem através de conjuntos de padrões, por meio de uma base conceitual sólida para a representação do conhecimento em diferentes níveis.

As abordagens convergem claramente para objetivos semelhantes, ligados à extração de conhecimento de imagens e seus desafios tecnológicos. Mas, do ponto de vista conceitual, diferenças significativas colocam-se entre ambas, permitindo que tais divergências sejam utilizadas na complementação mútua de conceitos e componentes no escopo de um futuro protótipo construído a partir das propostas apresentadas. Neste cenário, pode-se considerar o suprimento da Arquitetura com um mecanismo semântico consistente (formalização ontológica do conhecimento), e o enriquecimento da Ontologia através do fluxo da informação e do acoplamento de componentes.

Tabela 1: Comparativo entre Arquitetura e Ontologia

	Arquitetura	Ontologia
Foco da Abordagem	Componentes e suas funções (diferentes níveis integrados)	Semântica, reutilização, hierarquia e mediação de componentes
Mecanismo Semântico	Lacuna semântica entre os níveis de Objeto e Conceito Semântico	Método de associação semântica entre objeto/estrutura e conhecimento/aplicação
Tratamento da Informação	Determinação do fluxo da informação (acoplamento de níveis)	Formalização do conhecimento e utilização deste por diversas aplicações
Tratamento da Imagem	Captura dos diferentes níveis de informação	Deteccção de configurações espaço-temporais
Característica Operacional	Busca por conteúdos	Busca por mudanças
Outras Características	Métodos de DCBD por níveis	Flexibilidade, extensibilidade

4. Conclusões

A mineração de dados em imagens agrega recursos multidisciplinares para realizar a busca por padrões espaço-temporais válidos, previamente desconhecidos, úteis e compreensivos em acervos de imagens, especialmente no caso do sensoriamento remoto no INPE.

Este artigo apresentou e comparou duas abordagens na mineração de dados em imagens: a Arquitetura Dirigida à Informação e a Ontologia de Imagens. Verifica-se que, diante da complexidade da mineração de imagens, as contribuições de ambas fornecem subsídios para o avanço nesta área multidisciplinar.

Através da comparação realizada verificou-se que o foco da Arquitetura reside nos componentes e suas funcionalidades, privilegiando o fluxo da informação e o acoplamento dos diferentes níveis de tratamento dos dados. Já a Ontologia contempla a representação e manipulação das informações com ênfase na semântica, mediação e reusabilidade, visando a integração de dados e um *status* ontológico independente do observador.

As abordagens, tanto pela convergência de conceitos como pelas divergências apresentadas, oferecem recursos para o avanço de fronteiras no domínio da extração semi-automática de conhecimento a partir de acervos de imagens. Considerando-se que apenas elementos até o nível de objetos/estruturas possuam implementações, a construção de protótipos de componentes da Arquitetura com fundamentos da Ontologia (contribuição da tese de doutorado em andamento) irá testar a validade dos conceitos e a relevância das questões levantadas.

Referências

- [Burl, 1999] Burl, M. C. "Mining for Image Content", *Systemics, Cybernetics, and Informatics/ Information Systems: Analysis and Synthesis*, 1999.
- [Câmara et al., 2001] Câmara, G.; Egenhofer, M.; Fonseca, F.; Monteiro, A. M. V., "What's In An Image?", *COSIT' 01*, Conference on Spatial Information Theory, Santa Barbara, 2001.
- [Datu & Seidel, 2000] Datcu, M.; Seidel, K., "Image Information Mining: Exploration of Image Content in Large Archives", *IEEE Conference on Aerospace*, 2000.
- [Escada, 2003] Escada, M. I. S. *Evolução de Padrões de Uso da Terra na Região Centro-Norte de Rondônia*. Tese - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003.
- [Fayyad et al., 1996] Fayyad, U. M.; Piatetsky-Shapiro, G.; Smith, P. *Advances in Knowledge Discovery and Data Mining*, MIT Press, Massachusetts, 1996.
- [Fonseca & Egenhofer, 1999] Fonseca, F.; Egenhofer, M., "Ontology-Driven Geographic Information Systems", *ACM GIS' 99*, ACM, Kansas City, 1999.
- [Fonseca et al., 2002] Fonseca, F.; Egenhofer, M.; Agouris, P.; Câmara, G., "Using Ontologies for Integrated Geographic Information Systems", *Transactions on GIS*, 2002, 231-257.
- [Guarino, 1997] Guarino, N., "Semantic Matching: Formal Ontological Distinctions for Information Organization, Extraction, and Integration", *Information Extraction: A Multidisciplinary Approach to an Emerging Information Technology*, SCIE-97, M. Pazienza, Berlin, 1997, 139-170.
- [Phillips & Buchanan, 2001] Phillips, J.; Buchanan, B., "Ontology-Guided Knowledge Discovery in Databases", *K-CAP' 01*, ACM, Canada, 2001, 123-130.
- [Simoff & Maher, 1998] Simoff, S. J.; Maher, M. L., "Ontology-based Multimedia Data Mining for Design Information Retrieval", Key Centre of Design Computing, University of Sidney, Australia, 1998.
- [Zaiane et al., 1998] Zaiane, O. R. et al., "Mining MultiMedia Data", *CASCON: Meeting of Minds*, 1998.
- [Zhang et al., 2001] Zhang, J.; Hsu, W.; Lee, M.L., "An Information-Driven Framework for Image Mining", *DEXA 2001*, H. C. Mayr, Berlin, 2001, 232-241.
- [Zhang et al., 2002] Zhang, J.; Hsu, W.; Lee, M.L., "Image Mining: Trends and Developments", *JISS: Special Issue on Multimedia Data Mining*, Kluwer, 2002.