

APLICAÇÃO DE SIG E SENSORIAMENTO REMOTO EM LEVANTAMENTOS ESPELEOLÓGICOS DE ÁREAS CÁRSTICAS

[APPLICATION OF GIS AND REMOTE SENSING IN THE SPELEOLOGICAL SURVEY OF KARST AREAS]

Paulo Rodrigo SIMÕES *; Alvaro Penteadó CRÓSTA **

* prsimoos@ige.unicamp.br - Instituto de Geociências – IG / UNICAMP;
Sociedade Excursionista e Espeleológica - S.E.E

** alvaro@ige.unicamp.br - Instituto de Geociências – IG / UNICAMP
Rua João Pandiá Calógeras, 51 – CEP 13083-970 - Campinas - SP

RESUMO

Este trabalho tem o propósito de demonstrar a viabilidade da aplicação de SIG e Sensoriamento Remoto na integração, produção, análise e síntese de dados provenientes de levantamentos espeleológicos. Traça as linhas básicas para a implantação de um instrumento de pesquisa¹ que permita sistematizar bases de dados espeleológicos e imagens multiespectrais, objetivando uma melhor caracterização de áreas cársticas em rochas carbonáticas e suporte à tomada de decisões acerca de suas possíveis utilizações.

Palavras-Chave: Sensoriamento remoto; processamento digital de imagens; sistema de informações geográficas; espeleologia; áreas cársticas.

[ABSTRACT]

This paper demonstrates the feasibility of the use of Geographic Information System and Remote Sensing in the production, integration, and analysis of data from speleological surveys. It presents the basis for the implantation of a research tool for organizing speleological databases and remote sensing images to be used in the description of karst areas in carbonate rocks and providing support for decision-making processes about possible utilizations.

Key words: Remote sensing; digital image processing; GIS; speleology; karst areas.

INTRODUÇÃO

Os avanços verificados nas técnicas de processamento digital de imagens e nos sistemas de sensoriamento remoto, aliados à queda nos custos de aquisição de imagens multi e hiperespectrais, vêm contribuindo para que o Sensoriamento Remoto seja progressivamente mais utilizado nas áreas da agricultura, geologia, recursos florestais, cartografia, uso e ocupação do solo, expansão urbana, entre outras. Mais que isso, a utilização do SR passou a “... representar umas das únicas formas viáveis de monitoramento ambiental em escalas locais e globais, devido à rapidez, eficiência, periodicidade e visão sinóptica que as caracterizam”. (Crósta, 1992).

“Sensoriamento Remoto é a ciência de aquisição, processamento e interpretação de imagens e dados relacionados, adquiridos de aeronaves e satélites, que registra a interação entre a matéria e a energia eletromagnética (Sabins, 1999)”. Através do processamento digital das imagens de sensoriamento remoto, informações específicas podem ser identificadas e realçadas na tentativa de se delimitar as ocorrências de minerais e rochas, inclusive carbonatos, caracterizados espectralmente por terem feições de absorção no infravermelho de ondas curtas (SWIR), entre 1.9 e 2.3µm (Rajesh, 2004). A aplicação das técnicas de PDI permite a geração de mapas geológicos com diferenciação de unidades estratigráficas e individualização de unidades carbonáticas com

composições diferenciadas (Franca-Rocha, 2005). Nos mapas geológicos são incluídos os lineamentos extraídos dos Modelos Digitais de Terreno, orientando a definição de áreas prioritárias para os levantamentos espeleológicos de campo. Em muitos casos, os lineamentos são o reflexo de estruturas tectônicas, que facilitam a percolação de fluxos subterrâneos e controlam o desenvolvimento de cavidades.

A aplicação de técnicas de SR e SIG em áreas cársticas propicia uma caracterização quantitativa e qualitativa destes ambientes, levando-se em conta o contexto físico, biológico e cultural, considerando sua diversidade, extensão e complexidade. Desta forma, a utilização conjunta de SR e SIG é um instrumento de pesquisa versátil, que pode contribuir para a tomada de decisões e orientações a políticas públicas acerca das possíveis utilizações das áreas cársticas. Há que se considerar ainda o longo histórico de conflitos entre a necessidade de pesquisa e preservação dos ambientes cársticos e a demanda crescente por rochas calcárias, enquanto bem mineral.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a implantação de projetos envolvendo SIG e de imagens de SR, faz-se necessária a utilização de hardware de alto desempenho, de aplicativos de software específicos, acesso à Internet e de treinamento básico. Muitas vezes, a falta de financiamento impede a utilização plena desses recursos. Este problema pode ser

minimizado com a utilização de software livreⁱⁱ, alternativa que reúne muitas das funcionalidades dos softwares comerciais de SR e SIG, além de dados de domínio público disponibilizados na Internetⁱⁱⁱ.

A implementação de um projeto utilizando SIG e SR para o estudo de áreas cársticas segue alguns procedimentos básicos, descritos a seguir.

Compilação de Dados Digitais

Este procedimento visa a constituição das bases cartográficas, da base cadastral e do banco de imagens multiespectrais. A base cartográfica do presente estudo constitui-se de cartas topográficas digitais^{iv}, mapas temáticos de geologia, hidrografia, divisão administrativa, pedologia, temperatura, pluviosidade, cobertura cartográfica, altimetria, vegetação, unidades de conservação e áreas de usos especiais, sistema viário^v, além das topografias espeleológicas^{vi}.

Na base cadastral são incluídas as ocorrências de cavidades, sítios arqueológicos e paleontológicos, com informações acerca da localização, tipologia, qualificativos, espeleometria e referências documentais. Os registros que integram essa base são procedentes do Cadastro Nacional de Cavidades – CNC^{vii}, da bibliografia, de fontes na Internet^{viii} e do intercâmbio com grupos espeleológicos.

O banco de imagens é formado a partir de imagens dos sensores orbitais Landsat-7/ETM+^{ix} e ASTER, com resolução espacial de 15, 30 e 90m, de modelos digitais de elevação gerados a partir da missão SRTM^x, com 90m de resolução espacial, além de fotos aéreas e ortofotocartas disponíveis.

Gestão e Integração de Informações

Nesta etapa são executados procedimentos de elaboração e organização da base cartográfica e cadastral em formato digital, tais como digitalização, vetorização, conversão de formatos de dados, comparações entre fontes, alimentação e conferências dos registros, referência espacial e execução de *hotlinks*.

Com a aplicação de técnicas de PDI às imagens multiespectrais dos sensores orbitais Landsat ETM7 e ASTER é possível individualizar unidades carbonáticas com composições diferenciadas. A partir dessas imagens, um intérprete é capaz de identificar diferentes tipos de uso e ocupação do solo, tipos de cobertura vegetal, delimitar corpos d'água, diferenciar litologias e extrair lineamentos. Para isto, são aplicadas técnicas de PDI em imagens multiespectrais como correção geométrica e radiométrica, realce por decorrelação, transformação IHS, filtragens, análise por principais componentes, razão entre bandas, fusões e classificações supervisionadas (Rajesh, 2004).

As composições coloridas das imagens multiespectrais podem ser sobrepostas aos modelos digitais de elevação obtidos com os dados altimétricos do SRTM, permitindo a criação de modelos tridimensionais, a partir dos quais pode-se realizar operações do tipo *fly by*, utilizadas para análise da superfície do terreno. Com os dados altimétricos SRTM, pode-se também criar superfícies

com relevo sombreado (*hillshades*) e extrair curvas de nível automaticamente. Estes modelos tridimensionais auxiliam na delimitação das ocorrências de rochas carbonáticas e na identificação de formas de relevo, contribuindo para uma melhor compreensão dessas áreas.

A integração de dados vetoriais e cadastrais, mapas temáticos e imagens georreferenciadas permite a produção de cartas e mapas temáticos. Esta é uma funcionalidade de grande importância no SIG, que vem a auxiliar e orientar os trabalhos de campo.

Trabalhos de Campo

A realização de levantamentos espeleológicos em campo tem finalidades diversas como a realização de observações geológicas, geomorfológicas e geoespeleológicas, levantamentos com GPS de pontos notáveis, caminhamentos e pontos de controle (*Ground Point of Control – GPC's*) para correção geométrica das imagens multiespectrais, levantamento de dados de verdade terrestre (*Ground Truth*) para o PDI, cadastramento de novas ocorrências espeleológicas, documentação fotográfica, levantamentos topográficos e amostragens de solos, minerais e rochas.

Análise de Dados

O interesse na produção e na análise de dados espeleológicos através de SR e SIG se deve ao fato de que a utilização conjunta dessas ferramentas, aliada aos levantamentos de campo, contribui para uma melhor caracterização dos ambientes cársticos, tanto qualitativa como quantitativamente.

Através da classificação espectral, que permite delimitar a área de ocorrência dos carbonatos, da extração de lineamentos, de análises topográficas e da distribuição espacial das cavidades, pode-se, em muitos casos, produzir mapas temáticos com indicação de áreas mais favoráveis à ocorrência de cavidades, destinadas às prospecções espeleológicas. Para isso, são utilizadas operações booleanas e lógica Fuzzy. O sensoriamento remoto tem a vantagem ainda de permitir abordagens multitemporais, podendo-se acompanhar a evolução da utilização dessas áreas e pressões que possam sofrer, como as atividades agro-pastoris, mineração, desflorestamento e ocupação urbana.

A partir dos dados cadastrais, são realizadas distribuições espaciais e análises estatísticas, enfocando-se densidade de cavidades, litologias predominantes, espeleometria, hidrografia, ocorrências arqueopaleontológicas, tipologia das ocorrências e potencial científico e turístico. Espera-se que com a síntese desses dados possam ser traçados perfis espeleológicos, na tentativa de se discriminar áreas destinadas à preservação, de áreas com potencial mineral ou áreas com aproveitamento turístico.

Publicação de Resultados

Um sistema dessa natureza não cumpriria sua função se não tivesse funcionalidades que permitissem uma forma

rápida e segura de gerar produtos para publicação de resultados, seja em revistas especializadas, relatórios, CD-ROM ou através da *World Wide Web*.

A divulgação dos resultados de estudos espeleológicos para a comunidade científica ou para o público leigo pode ser feita através da utilização de mapeadores de imagem sobre mapas temáticos ou imagens de satélite. Mapeadores de imagem são aplicativos ou *plug-ins* para *Web Design* que integram imagens e *layers* vetoriais, permitindo a criação de consultas com atributos definidos e *links* com documentos, fotos, URL's, arquivos. Os arquivos são gerados em linguagem HTML ou JavaScript, podendo ser inseridos em *Home-Pages* para publicação na *Web* ou distribuídos em CD-ROM^{xi}. Visualizadores *freeware* também podem ser utilizados para acesso aos dados distribuídos em CD-ROM. Ainda que não permitam a edição dos *layers*, possuem a funcionalidade de realizar pesquisa com critérios^{xii}.

RESULTADOS PARCIAIS E DISCUSSÃO

A utilização conjunta de SIG e SR para pesquisas em ambientes cársticos, ainda que em estágio inicial, tem mostrado resultados positivos. Franca-Rocha utilizou técnicas de contraste, razões entre bandas, análise por Principais Componentes e classificações supervisionadas para discriminar unidades geológicas, destacar feições de interesse e expor diferenças sutis na assinatura espectral dos componentes na Bacia do Irecê – BA (Franca-Rocha, 2003). Com o propósito de gerar mapas de favorabilidade de ocorrências espeleológicas a partir da relação entre o desenvolvimento de cavernas e as estruturas tectônicas, Hung utiliza de SR para extrair lineamentos e o SIG para realizar análises espaciais dessas estruturas para com os condutos das cavidades (Hung, 2002).

Monitoramento de aquíferos (Stone, 2002), gerenciamento de levantamentos em cavernas de grandes dimensões (Ohms, 2002), análises espaciais de registros arqueológicos em cavernas (Moyes, 2002), aplicações em Arqueologia (Herrmann, 2002), análise de potencial de desenvolvimento de cavernas (Horrocks, 2002) são outros exemplos da utilização de SIG com resultados significativos.

Se SIG permite a integração e organização interna de dados espaciais em formatos diversos, sua utilização junto a imagens multitemporais de sensoriamento remoto possibilita a geração de registros precisos da superfície de áreas cársticas, numa perspectiva sincrônica e diacrônica. Permite também a geração de mapas com destaque para áreas de maior potencial espeleológico, ao se relacionar litologias, lineamentos e relevo, contribuindo para a compreensão de relações existentes entre as estruturas geológicas e os padrões de desenvolvimento de cavidades.

O monitoramento das áreas cársticas é uma necessidade premente, considerando o histórico conflito de interesses que muito tem contribuído para a degradação ambiental. Uma caracterização qualitativa e quantitativa pode vir a promover alguma orientação para políticas públicas e para os grupos espeleológicos acerca da utilização das

áreas cársticas.

A produção de cartas é um ponto de destaque, contribuindo para a maximização dos trabalhos de campo. Já a divulgação de mapas temáticos, relatórios, dados estatísticos e imagens, pode ser feita através da Internet ou através da distribuição dos dados e visualizadores em CD-ROM.

Dados cadastrais com pouca acurácia, registros incompletos, lacunas na documentação, relativamente pouco material espeleológico disponível, são fatores que limitam as análises, havendo a necessidade de maior colaboração entre pesquisadores e grupos espeleológicos no compartilhamento de dados espeleológicos.

Os custos operacionais dificultam a implantação e manutenção de um sistema desta natureza, muitas vezes restrito ao ambiente empresarial ou acadêmico. No entanto, softwares livres e farto material cartográfico estão disponíveis na Internet para *download*, reduzindo significativamente estes custos.

3 – RESULTADOS PA

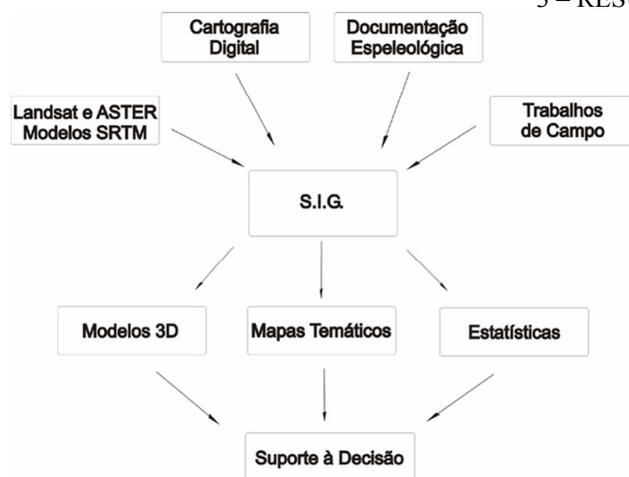


Figura 1: Organograma das categorias de entrada, processamento e saída

AGRADECIMENTOS

Esse trabalho não seria viabilizado sem a colaboração da Sociedade Excursionista e Espeleológica – S.E.E. / UFOP, da Sociedade Brasileira de Espeleologia – S.B.E., do Laboratório de Processamento de Informações Georreferenciadas - LAPIG, da CAPES, do Instituto de Geociências – IG / UNICAMP, do GBPE, do Guano-Speleo/IGC-UFMG,

BIBLIOGRAFIA

Alcade, Á. L. R.; Teledetección Espacial y Arqueología del Paisaje. IN: *Arqueología Espacial*, 19-20, TERUEL: 1998, p. 53-70.

Bedell, R.; Remote Sensing in Mineral Exploration. *SEG Newsletter*, 2004: 58:8-13.

Crósta, A. P.; *Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto*. Campinas, SP: IG/UNICAMP, 1992. 170 p.

Franca-Rocha, W. J. S. da; Discriminação de Unidades Geológicas: Suporte para Exploração Mineral em Bacias Carbonáticas. In: *Anais XII SBSR*, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 1775-1782.

Herrmann, N. Gis Applied to Bioarchaeology: na Example from the Rio Talgua Caves in Northeast Honduras. In: *Journal of Cave and Karst Studies*, 64(1): 17-22.

Horrocks, R. et al. Using Geographic Information Systems to Develop a Cave Potential Map for Wind Cave, South Dakota. In: *Journal of Cave and Karst Studies*, 64(1):63-70

Hung, L. Q. et alii; Remote Sensing and GIS-Based Analysis of Cave Development in the Suoimuoi Catchment (Son La – NW Vietnam). In: *Journal of Cave and Karst Studies*, 64(1): 23-33.

Lima, V. S. *Assinaturas Espectrais de Gossans Associados a Mineralizações de Pb-Zn-Ba na Bacia de Irecê (Ba): Um Estudo Baseado em Dados de Sensores TM e ASTER*. Dissertação (Mestrado em Geociências) Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 154p. 2003.

Moyes, H. . The Use of GIS in the Spatial Analysis of an Archaeological Cave Site. In: *Journal of Cave and Karst Studies*. V. 64 (1):3. 2002. P. 9-15.

Novo, E. M. L. de M.; *Sensoriamento Remoto*; 2ª ed. SP: Edgard Blücher, 1992: 308 p.

Ohms, R. et al. Using GIS to Manage Two Large Cave Systems, Wind and Jewel Caves, South Dakota. In: *Journal of Cave and Karst Studies*, 64(1): 4-8.

Rajesh, H. M.; Application of Remote Sensing and GIS in Mineral Resource Mapping – An Overview. In: *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, V.9, p. 83-103, 2004.

Sabine, C.; Remote Sensing Strategies for Mineral Exploration. In: Rencz, A. N. (ed.) *Remote Sensing for the Earth Sciences. Manual for Remote Sensing*. 3ª ed. ASPRS / John Wiley & Sons.

Sabins, F. F.; *Remote Sensing for Mineral Exploration. Ore Geology Reviews* 14, 1999 157–183.

Stone, D. et al. The Application of GIS in Support of Land Acquisition for the Protection of Sensitive Groundwater Recharge Properties in the Edwards Aquifer of South-Central Texas. In: *Journal of Cave and Karst Studies*, 64(1): 38-44.

NOTAS

ⁱ Pesquisa em desenvolvimento junto ao Programa de Pós-graduação em Geociências do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, modalidade Mestrado, com financiamento da CAPES e suporte do Laboratório de Processamento de Informações Georreferenciadas – LAPIG

ⁱⁱ Podemos citar os esforços do INPE no lançamento do SPRING

ⁱⁱⁱ ANEEL www.hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb
CPRM www.cprm.gov.br
EMBRAPA www.cdbrasil.cnpem.embrapa.br
ESRI www.esri.com
GEOMINAS www.geominas.mg.gov.br
IBAMA www.ibama.gov.br
INPE www.inpe.br
NASA [ftp.glcfc.umiacs.umd.edu/glcfc/SRTM/stow/stow](ftp://ftp.glcfc.umiacs.umd.edu/glcfc/SRTM/stow/stow)
USGS <http://webgis.wr.usgs.gov/globalgis/datasets.htm>

^{iv} IBGE www.ibge.org.br

^v ANEEL CPRM; IBAMA

^{vi} Acervos de grupos espeleológicos e da SBE www.sbe.com.br

^{vii} Sociedade Brasileira de Espeleologia – SBE

^{viii} GEOBUSCA www.geobusca.com.br/

^{ix} LANDSAT7 ETM
<ftp://ftp.glcfc.umiacs.umd.edu/glcfc/Landsat/WRS2/>

^x Shuttle Radar Topographic Mapping - SRTM
<ftp://ftp.glcfc.umiacs.umd.edu/glcfc/SRTM/stow/stow/>

^{xi} Image Mapper <http://www.altas4.com/>;
Internet Map Wizard <http://arcscripts.esri.com/>;
WebView <http://arcscripts.esri.com>

^{xii} ArcExplorer www.esri.com/;
POESIA <http://www.ibama.gov.br/>;
ArcExibe CPRM, 2004