

APLICAÇÃO DE GEOPROCESSAMENTO NA ANÁLISE DE FAVORABILIDADE PARA MINERALIZAÇÕES DE CHUMBO, ZINCO E COBRE NAS FOLHAS CERRO AZUL E APIAÍ, VALE DO RIBEIRA, (SP E PR)

Carlos César de Araújo*
 Arlei Benedito Macedo
 Sérgio Nobuo Godoy Saito

Resumo

Neste trabalho é descrita a aplicação de técnicas de geoprocessamento na avaliação de favorabilidade de mineralizações de metais não ferrosos. A área escolhida abrange as folhas Cerro Azul e Apiaí (SG.22-X-B-IV e V, escala 1:100.000), Vale do Ribeira, SP e PR.

Foi adotado o modelo de mineralização filoniano hidrotermal encaixado em rochas carbonáticas. Na montagem do banco de dados foram utilizados dados geoquímicos, aerogeofísicos, geológicos e ocorrências minerais relacionadas à mineralizações sulfetadas.

Introdução

A análise de favorabilidade consiste na modelagem matemática de parâmetros prospectivos ponderados. A definição e a ponderação dos parâmetros prospectivos são baseadas nos modelos genéticos, aplicáveis à área de estudo e ao bem mineral de interesse, além disso envolvem parâmetros fatuais que são exclusivamente baseados nas observações analíticas e de campo.

Neste artigo descrevem-se os procedimentos de integração das informações geológicas, por geoprocessamento, de dados geoquímicos e geofísicos, segundo um modelo prospectivo de mineralizações hidrotermais filonianas de sulfetos de Pb, Zn e Cu hospedados em rochas carbonáticas, conhecido como modelo de mineralização Panelas (Fleischer, 1976).

Dados Utilizados

Foram utilizados dados de mapeamento geológico, topografia, geoquímica de sedimentos de corrente, aerolevantamento geofísico magnetométrico e dados de ocorrências minerais de sulfetos de chumbo, zinco e cobre.

Os dados geológicos foram compilados, digitalizados e organizados num banco de dados espaciais no programa ArcInfo 7.0.

A partir das curvas de nível digitalizadas foi calculado um modelo numérico de terreno a partir da interpolação por rede triangular irregular (*TIN - triangular irregular network*), utilizando-se o sistema ArcInfo 7.0.

Foram utilizados os dados geoquímicos de sedimentos de corrente (analisados por espectrografia de absorção atômica) do projeto Geoquímica no Vale do Ribeira (Morgental *et al.*, 1978), cedidos pela CPRM, e também os dados de projetos geoquímicos semi-regionais e de detalhe, realizados pela Mineropar na área.

* Instituto de Geociências – USP, Rua do Lago, 562, Cep 05442-970, Cidade Universitária, São Paulo, Brasil, tel. (011) 818-4217, fax (011) 818-4207, end. eletrônico: carlosge@usp.br - Projeto desenvolvido com o apoio da FAPESP através dos processos 97/04664-6 e 97/04272-0

Para cada projeto, foi feito o cálculo do valor de limiar de anomalia. Para padronizar todos os pontos de amostragem foi feito um mapa de contraste geoquímico, a partir da divisão do valor de cada amostra pelo respectivo valor de anomalia calculada para o projeto correspondente.

Foram utilizados dados dos levantamentos aerogeofísicos Serra do Mar Sul e São Paulo-Rio de Janeiro, cedidos pela CPRM. A partir dos pontos em linhas de vôo foram geradas imagens magnetométricas, imagens magnetométricas com redução ao polo e imagens de primeira derivada vertical. Os dados foram interpretados e destes foram extraídos os principais lineamentos magnéticos.

O banco de dados de ocorrências minerais é baseado no arquivos digitais do banco de dados CPRM-Microsiga (1994) (Sistema de Informações Geológicas do Brasil) e nos arquivos digitais do banco de dados IDEM (Figueiredo, 1988) (Índice de Depósitos Minerais). Além disso, foram utilizados dados obtidos a partir da digitalização de ocorrências encontradas nos mapas do projeto Anta Gorda (MMAJ-JICA, 1981, 1982, 1983).

Parâmetros prospectivos utilizados na avaliação da favorabilidade por geoprocessamento

Na definição dos parâmetros prospectivos, foram consideradas também as características necessárias para uma análise de favorabilidade feita a partir de sistemas de informação geográfica (SIG). Uma característica relevante é a necessidade de expressão espacial das informações, tanto relacionada à escala de trabalho, quanto à disposição das informações. Por exemplo, determinadas associações mineralógicas, que poderiam ser importantes no rastreamento das mineralizações, não são utilizadas devido à falta de mapeamento sistemático deste tipo de dado.

De modo geral, foram considerados quatro fatores principais, tanto para o modelo Perau quanto para o modelo Panelas, os quais são denominados de submodelos: litológico, estratigráfico, geoquímico, e estrutural.

Foram adotados os seguintes parâmetros prospectivos e respectivos ponderadores:

Parâmetros prospectivos - modelo Panelas.

Fator litológico - peso 10

Mármore dolomítico e calcítico.	10
Rochas cálcio-silicáticas, carbonato xistos com intercalações de mármore.	4
Mármore dolomítico.	6
Alternância de mármore dolomítico e mica xistos.	4
Contato entre mármore dolomítico e calcítico com xistos e filitos.	6

Fator geoquímico - peso 7

Pb	10
Zn	7
Cu	7

Fator estratigráfico - peso 8

Subgrupo Lajeado.	10
Grupo Itaiacoca - i	8
Formação Água Clara.	6

Fator estrutural - peso 5

Eixos de dobras.	10
Eixos de máxima freqüência de fraturamento.	5
Falhas.	5
Lineamentos magnéticos.	2

Avaliação da favorabilidade a partir de critérios múltiplos

Para a avaliação a partir de vários critérios, pode-se utilizar, segundo Eastman *et al.* (1997) a sobreposição booleana, a combinação linear ponderada e a média ponderada ordenada.

O método de combinação linear ponderada padroniza os fatores a uma escala numérica comum (neste caso 0 - 10), e então os combina utilizando uma média ponderada. Obtém-se uma mapa contínuo de favorabilidade, que pode ser reclassificado para intervalos adequados à tomada de decisões. A combinação linear ponderada é aplicada segundo a seguinte equação:

$$F = \sum p_{ij} \cdot x_i$$

onde :
 p_{ij} = peso da classe j do mapa i
 x_i = peso do mapa i

Outro procedimento de avaliação considera a variação entre uma análise otimista e uma análise pessimista. Este procedimento é chamado média ponderada ordenada. A média ponderada ordenada permite ponderar os fatores relativamente, ordenando-os, de maneira a influenciar o resultado segundo a importância relativa de cada fator (importância em relação ao grupo de fatores).

A média ponderada ordenada é um procedimento de análise semelhante à combinação linear ponderada. Contudo, nesse método considera-se também o chamado peso de ordenação. O peso de ordenação serve para modificar os pesos de cada mapa antes destes serem aplicados.

$$F = \sum p_{ij} \cdot x_i \cdot po_i$$

onde:
 p_{ij} = peso da classe j do mapa i
 x_i = peso do mapa i
 po_i = peso de ordenação do mapa i

No caso da aplicação em questão, os submodelos correspondem aos fatores e as classes de cada submodelo indicam a escala contínua de favorabilidade de cada submodelo/fator.

Resultados Obtidos

As áreas de favorabilidade, obtidas a partir da análise por combinação linear ponderada (CLP) e a partir da análise por média ponderada ordenada (MPO), foram comparadas com as ocorrências minerais conhecidas na área. A comparação foi feita a partir de uma tabulação cruzada entre mapas de favorabilidade e ocorrências minerais.

Dessa maneira foram obtidos os seguintes resultados para as imagens analisadas:

Tabulação cruzada – modelo Panelas

Classe da imagem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Análise CLP/ nº de ocorrências - CLP	0	0	0	0	0	1	57	5	17	2
Análise MPO / nº de ocorrências	0	0	0	0	0	6	52	14	9	1

total de ocorrências: 82

Conclusão

As análises por combinação linear ponderada (CLP) e por média ponderada ordenada (MPO), apresentaram um bom resultado, pois nenhuma ocorrência mineral ficou em área de baixa favorabilidade, ou seja, em área cuja classe estivesse no intervalo 1 a 5. Mais de 60% das ocorrências caíram na classe 7, a qual indica boa a alta favorabilidade. De uma a duas ocorrências caíram em

áreas de classe 10, lembrando-se que esta classe tem pouca extensão em área. Conclui-se que para a definição de alvos para pesquisa mais detalhada, para estes caso, as áreas correspondentes a classes maiores ou iguais a sete são as mais adequadas do ponto de vista geológico.

Entre os SIGs utilizados destacam-se o Idrisi e o ArcInfo. O Idrisi é um sistema que utiliza basicamente arquivos *raster* e que é mais adequado às etapas de análise dos dados. O ArcInfo é um sistema basicamente vetorial e se mostrou adequado às etapas de montagem e gerenciamento de bancos de dados, especialmente dos bancos que envolvem uma grande quantidade de informações. Uma diferença conceitual importante entre esses sistemas é verificada quando se deseja realizar operações entre níveis de informação diferentes ou em apenas um nível de informação: o Idrisi aplica os operadores diretamente na imagem correspondente ao nível de informação; o ArcInfo aplica os operadores em um banco de dados textual, correspondente ao nível de informação analisado.

Os resultados obtidos mostram bastante coerência entre os parâmetros prospectivos adotados e as ocorrências minerais. Os métodos de análise utilizados mostraram-se adequados às condições do Vale do Ribeira e aos dados disponíveis.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da Fapesp na forma do projeto de auxílio à pesquisa (proc. 97/04272-0), da bolsa de mestrado (proc. 97/04664-0) e bolsa de iniciação científica (proc. 97/07024-8). Agradecem também ao Prof. Dr. Elias Carneiro Daitx pelas sugestões, ao Prof. Dr. Ginaldo Adhemar da Cruz Campanha pela ajuda na compilação do mapa geológico, e ao Prof. Dr. Francisco Ferreira pela ajuda no tratamento dos dados magnetométricos. Do mesmo modo agradecem a CPRM pela cessão dos dados geoquímicos, de ocorrências minerais e aerogeofísicos, assim como agradecem à Mineropar pelos dados geoquímicos em especial ao geólogo Otávio Augusto Boni Licht. Os autores ainda agradecem ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo pelo apoio institucional.

Bibliografia

- CPRM-Microsiga (1994) Sistema de Informações Geológicas do Brasil. Rio de Janeiro, CPRM. (CD-ROM)
- EASTMAN, J.R. (1997) Idrisi for Windows, User's Guide, version 2.0. Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis, Clark University, Worcester.
- FIGUEIREDO, B.R. (coordenador) (1988) Implantação do índice de depósitos minerais do estado de São Paulo – IDEM/SP (Contrato UNICAMP/FUNCAMP – 479/87 e Pró-Minério/SCT – 1032/86), Relatório técnico final, 51 p., São Paulo, Unicamp (disquetes).
- FLEISCHER, R. (1976) A pesquisa de chumbo no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29, Ouro Preto, 1976. Anais. Ouro Preto, SBG, v. 1, p. 19-32.
- MMAJ-JICA (1981) Report on geological survey of Anta Gorda - Brazil - phase 1. Convênio DNPM/JICA/MMAJ, Tokyo, 79p.
- MMAJ-JICA (1982) Report on geological survey of Anta Gorda - Brazil - phase 2. Convênio DNPM/JICA/MMAJ, Tokyo, 119 p.
- MMAJ-JICA (1983) Report on geological survey of Anta Gorda - Brazil - phase 3. Convênio DNPM/JICA/MMAJ, Tokyo, 111p.
- MORGENTAL, A.; SILVA, A.A.G.P. da; BORIN JÚNIOR, T.; ALEGRI, V.; OLIVEIRA, P. E.P. de. (1978) Projeto Geoquímica no Vale do Ribeira: relatório final. São Paulo, DNPM/CPRM. 8 v. (escala 1:100.000).