

# INTEGRAÇÃO, MANIPULAÇÃO E ANÁLISE ESPACIAL DE DADOS NA PESQUISA MINERAL ATRAVÉS DE MODELOS EMPÍRICOS DE PROSPECÇÃO: UM EXEMPLO NO PLANALTO DE POÇOS DE CALDAS

Raimundo Almeida Filho

Técnicas de integração, manipulação e análise espacial de dados foram testadas no maciço alcalino de Poços de Caldas visando à indicação de áreas alvos potenciais à ocorrência de mineralizações radioativas, tendo como base um modelo prospectivo empírico definido para a área de estudo. Para aplicar o modelo foi criado um banco de dados digitais geocodificados, o qual incorporou informações gama-radiométricas (contagem total), informações litológicas e estruturais, ocorrências minerais, rede de drenagem e modelo numérico do terreno. Operações de álgebra *booleana* e de médias ponderadas foram as técnicas utilizadas para a manipulação do banco de dados, de acordo com regras definidas no modelo prospectivo. Nas operações de álgebra *booleanas*, determinada área seria apontada como potencial para mineralizações radioativas se valores gama-radiométricos maiores que 1,8 vezes o *background* regional ocorressem em áreas de litologias favoráveis, cortadas por falhas e/ou fraturas. As áreas selecionadas por esse procedimento ocuparam cerca de 12% da superfície total do maciço alcalino, englobando 77% das mineralizações radioativas conhecidas. Apesar dos bons resultados obtidos por esse método, sua principal limitação foi não permitir estabelecer prioridades para pesquisa entre as áreas indicadas. Isso foi conseguido através do modelo baseado em médias ponderadas, que permitiu classificar as áreas indicadas em quatro níveis de prioridades para a pesquisa de minerais radioativos: baixa, média, alta e muito alta. Embora as áreas de prioridade máxima cubram apenas 1,5% da superfície total do maciço alcalino, elas encerram todos os principais depósitos minerais conhecidos, atestando alta confiabilidade ao modelo prospectivo adotado. Os resultados obtidos mostram que modelos semiquantitativos de prospecção podem ser ferramentas valiosas, resultando em economia de tempo e de recursos em campanhas de prospecção mineral.

**Palavras-chave:** Análise espacial; Maciço de Poços de Caldas; Modelos de Prospecção.

**INTEGRATION, MANIPULATION AND SPATIAL ANALYSIS OF DATA IN MINERAL RESEARCH, THROUGH EMPIRIC PROSPECTING MODELS - CASE-STUDY IN THE POÇOS DE CALDAS PLATEAU** Based on an empiric prospecting model, computer-aided integration, manipulation and spatial analysis techniques were used in the Poços de Caldas alkaline complex with the objective of mapping potential areas for radioactive mineral prospecting. To apply the prospecting model a geocoded digital dataset was created, which included: gamma-ray total count, lithologic and structural data, mineral occurrences, drainage network and digital terrain model. Boolean algebra and weighted means were the techniques used to manipulate the dataset, according to rules defined by the prospecting model. In the boolean algebra based model a site would be selected as potential if its gamma-ray counts were greater than 1.8 times the regional background and if it occurred in areas of favorable lithologies cut by faults and/or fractures. The target areas defined by this procedure correspond to approximately 12% of the entire area of the alkaline rocks, encompassing 77% of the previously known radioactive mineral occurrences. In spite of the relevant results, this method has a major weakness: it does not allow the definition of prospecting priorities among the delineated target areas. It was possible through the weighted means based model to define target areas as having low, mid, high and very high potential for radioactive mineral prospecting. The target areas of very high potential covered only 1.5% of the alkaline massif, encompassing all the major known mineral deposits, a result that provides credit for the adopted prospecting model. These results show that semi-quantitative mineral prospecting models can be a valuable approach, saving time and money in mineral prospecting campaigns.

**Key words:** Spatial analysis; Poços de Caldas Plateau; Prospecting Models.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE - Caixa Postal 515 - São José dos Campos-SP  
E-Mail: RAI@LTID.INPE.BR

## INTRODUÇÃO

A descoberta de novos depósitos minerais tem se tornado cada vez mais difícil, fazendo da prospecção mineral uma atividade crescentemente complexa do ponto de vista científico e onerosa financeiramente. Para conduzi-la eficientemente é indispensável o manuseio e a análise de grandes volumes de dados e informações sobre a área investigada, com o objetivo de criar, desenvolver e testar hipóteses que possam auxiliar no prognóstico de sítios potenciais à ocorrência de determinado bem mineral. Lidar com grande volume de dados é uma barreira freqüente com a qual o geólogo se depara, especialmente em função das dificuldades de manuseio e do tempo consumido em tais atividades. Com vistas a minimizar esses problemas, sofisticadas técnicas computacionais têm sido colocadas ultimamente à disposição do geólogo. Tais técnicas permitem integrar dados de natureza, formatos e escalas diversos (co-registrados a uma base de referência comum), de modo que análises e interpretações de suas inter-relações múltiplas possam ser feitas de maneira rápida e segura. A incorporação dessas novas tecnologias em campanhas de prospecção mineral tem permitido selecionar com mais segurança, rapidez e precisão áreas alvos potenciais à ocorrência de bens minerais, como atestam, dentre outros, trabalhos de Aamisalo (1984), Eliason & Thiessen (1986), Bonham-Carter et al. (1988), Shupe & Akhavi (1989), Harris (1989), Kwarteng & Chavez Jr. (1990), Stefouli & Angelopoulos (1990) e Rheault et al. (1991). No Brasil, o emprego de tais abordagens em pesquisa mineral teve início só recentemente, com a disponibilidade de equipamentos e *softwares* em algumas universidades e órgãos de pesquisa (Crosta, 1991; Miranda et al., 1992; Cunha et al., 1992; Valente & Veneziani, 1993; Silva, 1993). A possibilidade de seleção prévia de áreas alvos potenciais, através da integração de dados derivados de várias fontes, permite direcionar os trabalhos de campo nas etapas iniciais da pesquisa.

Dentro do enfoque acima, o presente trabalho tem como objetivo demonstrar uma forma de uso e aplicação de técnicas de integração, manipulação e análise espacial de dados na pesquisa mineral, com o auxílio de computadores. O maciço alcalino de Poços de Caldas, o qual encerra mineralizações radioativas há muito conhecidas, foi escolhido como exemplo. Por possuir uma boa base de dados, a área é adequada a estudos demonstrativos-

metodológicos dessa natureza, permitindo a criação de um banco de dados digitais georreferenciados para manipulação em computador. Por outro lado, os resultados obtidos através de uma abordagem semiquantitativa poderão ser confrontados com os conhecimentos prévios sobre a área, permitindo avaliar a eficácia da metodologia empregada.

Levando-se em consideração características geológicas gerais comuns às mineralizações radioativas conhecidas na área de estudo, foi criado um modelo prospectivo empírico para essas mineralizações. A manipulação de um banco de dados digitais geocodificados, segundo regras definidas pelo modelo, permitiu a indicação de áreas alvos supostamente potenciais à ocorrência de mineralizações radioativas. A boa correlação verificada entre ocorrências minerais previamente conhecidas e as áreas indicadas como potenciais pelo modelo mostrou que a metodologia empregada foi eficiente.

Abordagens semelhantes à discutida no presente trabalho podem ser facilmente empregadas para os mais diferentes ambientes geológicos e incorporadas como atividades rotineiras em campanhas de prospecção mineral. Dada a ampla gama de recursos propiciada por essas técnicas, análises e interpretações mais rápidas e precisas podem ser conduzidas, o que pode levar a significativas reduções de tempo e custos dessas campanhas.

## CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO

O maciço alcalino de Poços de Caldas localiza-se na divisa dos estados de Minas Gerais e São Paulo, a cerca de 300 km da capital paulista (Fig. 1). Ele cobre uma superfície de aproximadamente 720 km<sup>2</sup>, formando uma estrutura em forma de cratera grosseiramente circular com diâmetro em torno de 30 km. Enquanto as cotas topográficas internas à cratera variam entre 1.300 e 1.400 metros, os diques anulares que a bordejam estão entre 1.500 e 1.650 metros de altitude, constituindo uma feição topográfica que se destaca em relação à região circunvizinha, cuja altitude média é da ordem de 800 metros. O planalto é drenado pela bacia do Ribeirão das Antas, que o corta no sentido de sul para norte. A cidade de Poços de Caldas, com cerca de 110.000 habitantes, localiza-se no extremo norte da cratera, tendo como atividades econômicas principais a mineração (bauxita, argilas) e o turismo ligado a suas águas sulfurosas e ao clima agradável durante todo o ano.

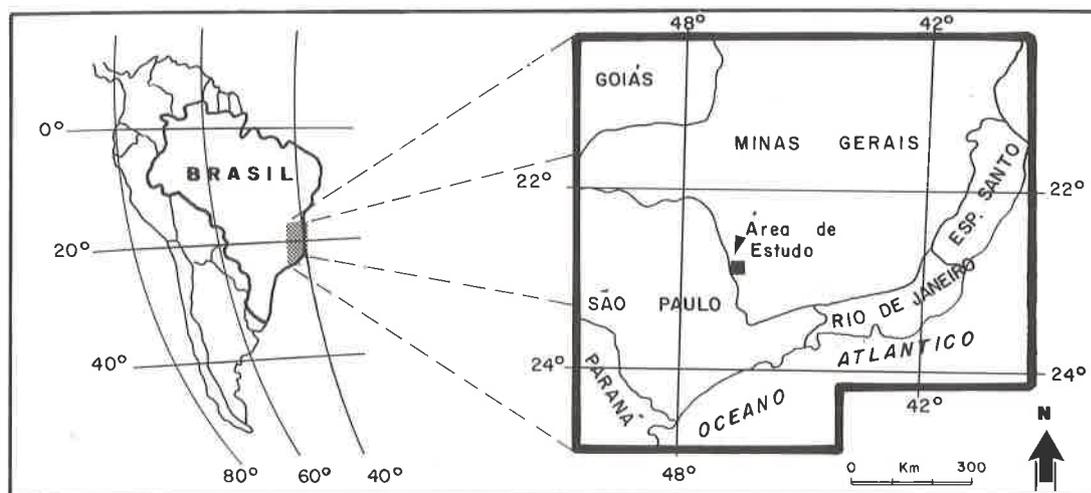


Figura 1 - Localização da área de estudo.

Figure 1 - Location of the study area.

A região possui temperaturas médias anuais em torno de 18°C. As máximas no verão raramente chegam a 30°C, enquanto no inverno as mínimas podem atingir 0°C. A precipitação pluviométrica anual média é da ordem de 1.700 mm, com maior incidência no período de outubro a março. A cobertura vegetal nativa é predominantemente herbácea, com ocorrência de florestas decíduas ao longo das drenagens ou nas bordas da cratera. O intemperismo químico generalizado desenvolveu latossolos e espessos mantos de regolito que não raro atingem profundidades de 150 metros ou mais (Fraenkel et al., 1985).

### Aspectos geológicos

O planalto de Poços de Caldas é constituído por rochas mesozóico-cenozóicas de filiação alcalina, encaixadas em embasamento arqueano, representado em sua maioria por gnaisses, migmatitos e granulitos, retrabalhados nos ciclos Uruaçuano e Brasiliano (Schobbenhaus et al., 1984). Pequenos restos de arenitos correlacionados com a formação Botucatu de idade triássica (Bjornberg, 1956) podem ser encontrados como *roof pendants* em áreas isoladas próximas às bordas sul e oeste da cratera.

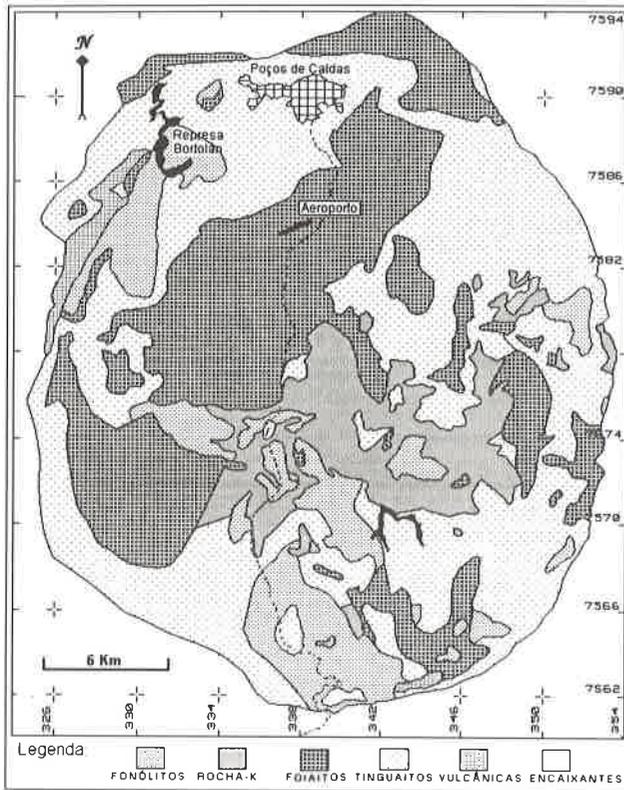
O maciço alcalino é constituído em sua quase totalidade de nefelina-sienitos (Fig. 2), os quais ocorrem como fácies efusivas, hipabissais e plutônicas, além de ocorrências menores de material vulcânico (Ellert, 1959). Este constitui tufos, brechas e aglomerados vulcânicos, aflorando como uma faixa ao longo da borda noroeste e uma pequena área na parte sul. As rochas efusivas e hipabissais são representadas, respectivamente, por fonólitos e tinguaitos, os quais, na maioria das vezes,

mostram contatos gradacionais. Os tinguaitos são as rochas mais comuns dentro do maciço, constituindo também os diques anelares que bordejam a cratera. As fácies plutônicas, encaixadas em tinguaitos e fonólitos, são representadas por foiaítos, ocorrendo em menor expressão lujauritos e chibinitos.

A área central do maciço alcalino foi palco de intensa atividade hidrotermal, representada pela existência de uma rocha pobre em sílica e alumínio e rica em potássio, denominada informalmente de "rocha potássica", a qual constitui controle litológico de importantes mineralizações uraníferas naquela região do maciço (Oliveira, 1974). Do ponto de vista de controle litológico da mineralização, Fraenkel et al. (1985) mencionam ainda a presença constante de corpos foiaíticos intrusivos em áreas mineralizadas e citam as rochas vulcânicas (brechas, tufos e cinzas) como boas hospedeiras, função da alta porosidade, favorecendo a retenção de soluções hidrotermais e conseqüente deposição de mineralizações.

### Evolução tectono-magmática e estrutural

O maciço alcalino está ligado à ativação tectono-magmática que afetou a Plataforma Sul-Americana no Mesozóico-Cenozóico (Almeida, 1972). Datações geocronológicas K-Ar (Bushee, 1970) sugerem que a evolução magmática do complexo alcalino teria durado cerca de 30 milhões de anos. Com base nesses dados, as primeiras manifestações vulcânicas teriam ocorrido a cerca de 87 m. a., enquanto os últimos diques de fonólitos mostrariam idades em torno de 53 m. a. Ellert (1959) reconhece seis estágios na evolução tectono-magmática do complexo, representados



**Figura 2** - Mapa litológico do planalto de Poços de Caldas (fonte: Nuclebrás 1975a).

**Figure 2** - Lithologic map of the Poços de Caldas plateau (source: Nuclebrás 1975a).

pelos seguintes eventos: a) soerguimento do embasamento; b) atividades vulcânicas; c) formação da caldeira; d) atividade magmática alcalina; e) formação dos diques anelares; e f) intrusões de foiaítos, chibinitos e lujauritos.

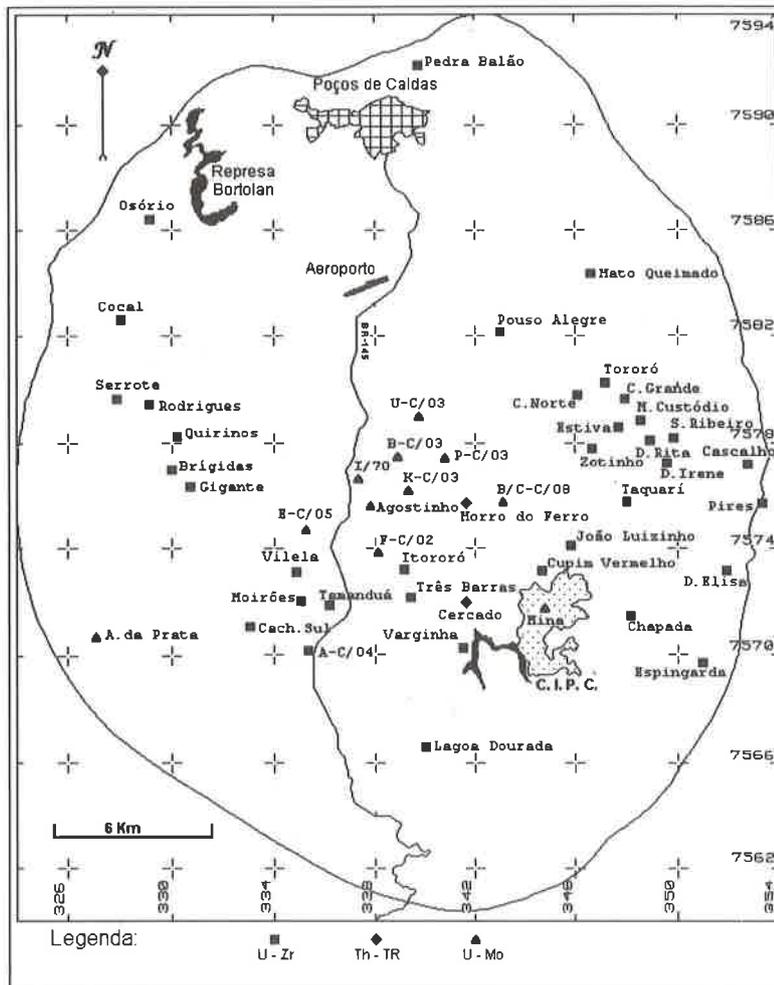
Análises de fotografias aéreas (Oliveira, 1974) e de imagens do satélite Landsat-1 (Almeida Filho & Paradella, 1977) indicaram a existência, no interior da caldeira de Poços de Caldas, de feições circulares de caráter dômico, possivelmente associadas à presença de cones vulcânicos. A constatação de que várias ocorrências minerais radioativas na região centro-leste do maciço alcalino localizavam-se ao longo das bordas de uma dessas feições levou aqueles autores a admitirem que as mesmas constituiriam controle estrutural regional para as mineralizações radioativas. O papel dessas feições circulares como controle regional das mineralizações na área foi reconhecido também por Ulbrich (1984) e Fraenkel et al. (1985). Tais feições, associadas a falhamentos e fraturamentos teriam criado condutos (zonas

de fraqueza) para a percolação de soluções hidrotermais responsáveis pelas mineralizações.

### Mineralizações

As primeiras observações sobre a ocorrência de mineralizações em Poços de Caldas são atribuídas a Derby (1887), que ali reconheceu uma variedade zirconífera de foiaíto, à qual denominou de "caldasito", termo que designa uma associação de óxidos de ferro e silicato de zircônio. Embora a radioatividade dos depósitos de zircônio já fosse conhecida há bastante tempo, a identificação de elementos radioativos só foi feita na década de 50. As mineralizações radioativas na chaminé alcalina (Fig. 3) podem ser agrupadas em três associações: urânio-zircônio, tório-terras raras e urânio-molibdênio (Tolbert, 1966; Oliveira, 1974; Fraenkel et al., 1985). Elas constituem desde simples ocorrências ("indícios") a importantes depósitos como os "campos" Taquari, Agostinho e Cercado que cobrem áreas de 1,7, 0,45 e 2,5 km<sup>2</sup>, respectivamente.

A associação urânio-zircônio constitui os depósitos mais comuns e os primeiros a serem descobertos na área. Os minerais de zircônio são a baddeleyita e o zircão, enquanto o urânio tem origem secundária associado à autunita (Franco & Loewenstein, 1948). As mineralizações urânio-zircônio ocorrem como quatro tipos distintos de depósitos (Tolbert, 1966), a saber: a) aluviais, b) eluviais, c) veios e lentes, e d) disseminados. Nos dois primeiros tipos, o minério ocorre na forma de seixos ("favas") em terraços ou bancos ao longo de drenagens atuais ou pretéritas, assim como em mantos nas encostas e topos de colinas. As concentrações mais importantes desse tipo de depósito mineral encontram-se hoje esgotadas. O terceiro tipo ocorre na forma de veios estreitos e irregulares, com larguras variando de 1 a 10 cm, enquanto as lentes variam de poucos centímetros a vários metros de largura, com média em torno de 15 cm. Nos depósitos do tipo disseminado, o minério forma massas irregulares de 1 a 4 cm, em tinguaitos decompostos. Ainda de acordo com o autor atrás citado, a mineralização está ligada a processos de lixiviação do zircônio e do urânio, por efeito de soluções hidrotermais, seguida de alteração e subsequente deposição do minério em espaços vazios. Processos intempéricos teriam sido responsáveis pelo enriquecimento do minério. Veios e lentes mineralizados estão associados a sistemas de fraturas com as mais variadas direções, com predominância, entretanto, para orientações entre N30W e N30E.



**Figura 3** - Ocorrências de minerais radioativos no planalto de Poços de Caldas (fonte: Nuclebrás 1975b).

A associação tório-terras raras constitui o segundo tipo de mineralização radioativa encontrada em Poços de Caldas, representada principalmente pelo depósito de Morro do Ferro, na parte central do maciço alcalino. Nesse local o material radioativo está associado a veios ferro-mangansíferos, controlados por sistemas de fraturas com orientações N50-60W. A allanita teria sido o protominério impregnando as rochas alcalinas, posteriormente remobilizada e transformada por intemperismo em bastnaesita, cerianita e thorigummita (Wedow Jr., 1967). De acordo com este autor, o minério constitui uma mistura de argilas com nefelina sienitos, limonita e magnetita altamente decompostos até cerca de 100 metros de profundidade. Embora sem expressão econômica significativa, o campo de Cercado mostra características mineralógicas semelhantes ao Morro do Ferro.

**Figure 3** - Radioactive mineral occurrences in the Poços de Caldas plateau (source: Nuclebrás 1975b).

A associação urânio-molibdênio constitui os depósitos uraníferos mais importantes conhecidos atualmente em Poços de Caldas (Oliveira, 1974, Fraenkel et al., 1985). Este tipo de mineralização em geral está associada à superposição de eventos tectônicos, hidrotermais e meteóricos, em zonas de esmagamento tectônico, formando faixas filoneanas com mergulhos subverticais, ou corpos lenticulares sub-horizontais. As rochas encaixantes são foiaítos, tinguaitos hidrotermalizados ou rochas piroclásticas. A uraninita é o mineral de urânio, enquanto jordisita, ilsemannita e molibdenita são os principais minerais de molibdênio. As características litológicas das áreas mineralizadas variam pouco de uma ocorrência para outra. Em geral mostram uma seqüência iniciando por solos argilosos e bauxíticos com impregnações de óxidos de ferro e manganês. Passa-se a seguir à rocha potássica e/ou a foiaítos alterados, bastante

brechados e diaclasados, com espessuras de até 50 metros. A partir deste nível atingem-se áreas de tinguaitos hidrotermalizados com amplas zonas de brechas tectônicas silicificadas, nas quais a mineralização apresenta-se associada com fechada rede de fraturas.

A mina Usamu Tsumi, na parte centro-sudeste do maciço alcalino, é uma mineralização do tipo urânio-molibdênio. Para sua exploração, foi criado, em meados da década de 70, o Complexo Mineiro-Industrial de Poços de Caldas (CIPC), o qual produziria concentrado de urânio, na forma de diuranato de urânio (*yellow cake*), destinado ao abastecimento das usinas nucleares brasileiras então planejadas. Com base em imagens Landsat-5 obtidas em 1984, a área ocupada pelo CIPC (Fig. 3) cobre uma superfície de 683 hectares.

## MODELO PROSPECTIVO: CRITÉRIOS DIAGNÓSTICOS

Como **critérios diagnósticos** são entendidas aquelas características específicas do terreno (litológicas, estruturais, geofísicas, geoquímicas etc.) que podem definir, isolada ou conjuntamente, sítios potenciais à ocorrência de determinado bem mineral. A manipulação dessas informações, segundo um conjunto de **regras de decisão** empiricamente definidas, constitui um **modelo semi quantitativo de prospecção** (Walker, 1983; Adams, 1988). A eficácia de qualquer modelo prospectivo é fortemente dependente do conhecimento geológico prévio disponível sobre a área de estudo, o qual permitirá selecionar, correlacionar e associar parâmetros ao modelo. Embora sua eficácia seja difícil de ser estimada *a priori*, um modelo prospectivo pode ser considerado eficiente se áreas indicadas por ele como potenciais mostrarem-se coerentes em relação a ocorrências minerais já conhecidas na região de estudo.

A elaboração de um modelo prospectivo para as mineralizações radioativas no planalto de Poços de Caldas é dificultada em face da complexidade dos fenômenos geológicos envolvidos, como atestam os principais estudos conduzidos na área (Ellert, 1959; Tolbert, 1966; Oliveira 1974; Fraenkel et al., 1985). Eles envolvem aspectos tectônicos, estruturais, litológicos e intempéricos, que muitas vezes assumem particularidades de uma área para outra. De maneira geral, no entanto, é possível identificar certas características comuns às mineralizações, as quais foram assumidas como critérios diagnósticos para a pesquisa de minerais radioativos na área, tais como:

**litologias potenciais:** presença de controles litológicos representados por rocha potássica, material vulcânico e corpos intrusivos de foiaítos;

**falhamentos/fraturamentos:** presença de intrincados padrões de falhamentos e fraturamentos, condicionando o alojamento de veios e lentes mineralizados;

**estruturas circulares:** presença de cones vulcânicos no interior da cratera, condicionando a ocorrência de mineralizações radioativas em suas bordas; e

**radiometria gama:** presença de valores anômalos de radioatividade total, indicativa da presença de minerais radioativos.

Poderia ser argumentado que, por serem indicações diretas da presença de minerais radioativos, informações gama-radiométricas constituem um método direto para prospecção desses minerais, dispensando o concurso de informações derivadas de outras fontes. Isto nem sempre é verdadeiro porque fatores locais, como profundidade do corpo radioativo, capeamento de solos e cobertura vegetal, podem levar a interpretações equivocadas. No caso particular da área de estudo, o concurso de informações derivadas de outras fontes é particularmente importante uma vez que, com raras exceções, as maiores anomalias radioativas conhecidas estão associadas a antigos depósitos eluvionares de caldasito uranífero, enquanto depósitos importantes de U-Mo, como Campo do Agostinho, mostram valores apenas intermediários de intensidade radioativa. Em função dessas constatações, Oliveira (1974) afirma que “apenas anomalias com baixos valores radiométricos em superfície (2 a 3 vezes o *background* regional) podem representar (...) algum interesse, desde que se situem em áreas de características geológicas favoráveis...”.

Desse modo, levando-se em consideração as assertivas acima, um modelo prospectivo para a definição de áreas potenciais à pesquisa de minerais radioativos em Poços de Caldas deve agregar às informações gama-radiométricas também informações litológicas e estruturais. No modelo aqui adotado, rocha potássica, corpos intrusivos de foiaítos e material vulcânico, controles litológicos da maioria das mineralizações, constituem as “áreas geológicas com características favoráveis”. Falhas/fraturas e estruturas circulares cortando essas litologias teriam criado zonas de fraqueza que favoreceram a percolação de soluções hidrotermais responsáveis pela mineralização, com enriquecimento pela atuação de agentes intempéricos, os quais teriam se valido também dessas zonas de fraqueza para sua

atuação. O modelo prospectivo assim proposto assenta-se, portanto, no seguinte tripé: dados gama-radiométricos, litologias favoráveis e feições estruturais.

## BANCO DE DADOS DIGITAIS GEOCODIFICADOS

Uma vez definidos os critérios diagnósticos, o passo seguinte foi a criação do banco de dados digitais geocodificados (BDDG). Esta é geralmente uma tarefa demorada, dada a necessidade de digitalização de vários tipos de produtos. Para a criação e manipulação do BDDG foram utilizados os sistemas SITIM (Sistema de Tratamento de Imagens) e SGI (Sistema Georreferenciado de Informações) desenvolvidos pelo INPE (Engespaço, 1989; Felgueiras & Câmara, 1993), ambos baseados em computadores modelo IBM/PC. Enquanto o SITIM é dedicado ao processamento e realce de imagens digitais de sensoriamento remoto, o SGI é dedicado à integração e manipulação de dados, segundo o conceito de sistemas de informações geográficas (SIG).

Todos os produtos que integraram o BDDG foram geometricamente co-registrados e transformados para a projeção Universal Transversa de Mercator UTM. Como referência cartográfica foram usadas as folhas Poços de Caldas, Caldas, Santa Rita de Caldas e Andradas, na escala de 1:50.000, produzidas pela Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE. As principais características do BDDG, sumariadas na Tab. 1, são descritas a seguir:

**Dados planimétricos** - Indicações de cidades, estradas, ferrovias, barragens etc., digitalizadas a partir das cartas men-

cionadas, com pequenas atualizações baseadas em imagens do *Thematic Mapper* (TM) do Landsat-5.

**Rede de drenagem** - Digitalização da rede de drenagem a partir das cartas planimétricas mencionadas.

**Modelo numérico do terreno** - O MNT da área de estudo foi gerado com a digitalização de curvas de nível com equidistância de 40 metros e pontos cotados, também a partir das cartas topográficas já mencionadas.

**Dados litológicos** - Digitalização do mapa geológico do maciço alcalino, do qual foram extraídas as litologias potenciais à pesquisa de minerais radioativos (rocha potássica, material vulcânico e corpos intrusivos de foiaítos). Como muitos dos contatos indicados no mapa geológico são inferidos e não observados em campo, foram definidas "zonas de contatos" de 100 metros de largura, as quais constituem fator de correção de possíveis erros de traçados desses contatos (Harris, 1986). Essas zonas são importantes também do ponto de vista prospectivo porque muitas mineralizações ocorrem preferencialmente ao longo dos contatos de corpos intrusivos de foiaítos. O mapa de distâncias e litologias potenciais é mostrado na Fig. 4.

**Ocorrências minerais radioativas** - As mineralizações conhecidas na área foram incorporadas ao banco de dados, não se fazendo distinção se se tratava de depósitos importantes ("campos") ou simples ocorrências minerais ("indícios"). Por constituírem "verdade terrestre", elas serão de grande importância como parâmetro de aferição dos resultados obtidos. Assim, se as áreas indicadas como potenciais mostrarem-se coerentes em relação a essas mineralizações, o modelo prospectivo pode ser considerado confiável.

Dados	Formatos	Atributos
Estradas, cidades, etc.	Vetorial(P)	Planimetria/Infraestrutura
Rede de drenagem	Vetorial(P)	Informações lito-estruturais
Modelo num.terreno	Vetorial(L) e matricial	Informações lito-estruturais
Mapa litológico	Vetorial(P) e matricial	Informações litológicas
Contatos litológicos	Vetorial(P) e matricial	Zonas de contatos
Gamaradiometria	Vetorial(P) e matricial	Radioatividade (contagem Total)
Imagens Landsat	Matricial	Espaciais/temporais/tspectrais
Feições estruturais	Vetorial(L)	Falhas/fraturas e est. circulares
Ocorrências minerais	Vetorial(Pt)	Verdade de campo

Dados vetoriais nos formatos: (P) = Poligonal, (L) = Linhas, Pt = Pontos

**Tabela 1** - Tipos, formatos e atributos dos componentes do banco de dados digitais geocodificados.

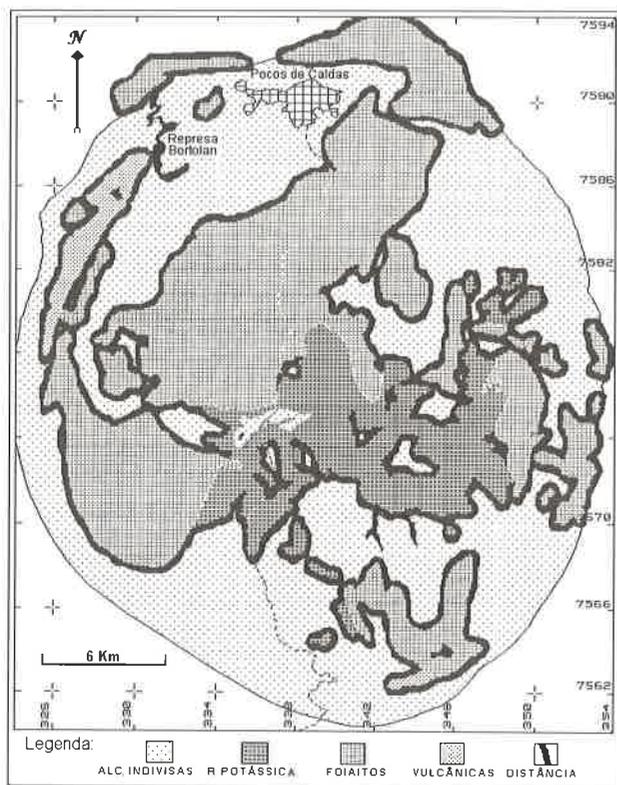
**Table 1** - Types, formats and attributes of the geocoded digital dataset.

**Dados gama-radiométricos** - Os dados radiométricos utilizados foram obtidos pela Comissão Nacional de Energia Nuclear-CNEN, a partir de levantamentos com helicóptero e a pé. No primeiro caso os dados foram coletados em malha de 250 x 250 metros, a uma altura média de 7,5 metros do solo, enquanto nos levantamentos a pé a malha foi de 75 x 200 metros. Esses dados, na forma de radioatividade total, encontram-se integrados no "Mapa Radiométrico do Planalto de Poços de Caldas" (Nuclebrás, 1975b), organizados em quatro intervalos de intensidade radioativa, em relação a um *background* regional de 40 unidades, a saber: 1,3-1,8; 1,8-2,5; 2,5-3,5; e maior do que 3,5 vezes o *background* regional (Fig. 5).

Como mostrado por Drury & Walker (1987), ao se trabalhar com dados geofísicos, deve-se dar preferência ao formato imagem em vez de mapas na forma de curvas de isovalores. Detalhes e nuances da grandeza medida são mostrados mais fielmente em tons de cinza, além de permitir tratamentos e realces que favorecem a interpretação

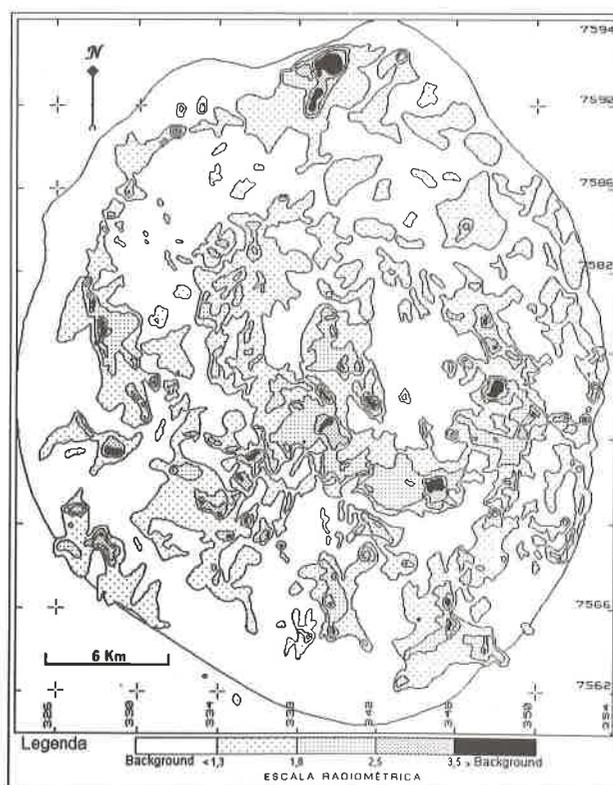
de tais dados. É sempre desejável utilizar dados originais para geração do *grid*, transformando-o para o formato imagem. Entretanto, não tendo sido possível recuperar os dados originais, o mapa radiométrico mencionado foi digitalizado e transformado em imagem tipo modelo digital de elevação. Essa imagem foi fatiada obedecendo às mesmas classes de intensidade radioativa total do mapa original. Com isto, os dados gama-radiométricos mostraram distribuição mais homogênea e natural, uma vez que a imagem 3D quebra os limites estanques definidos pelas curvas de isovalores.

**Dados estruturais** - Os dados estruturais foram extraídos de imagens Landsat. Por estarem menos afetadas pela atividade antrópica que tem sido intensa na área nos últimos anos, optou-se pelas imagens mais antigas disponíveis. Por isso foram utilizadas imagens do multispectral scanner (MSS) do satélite Landsat-1, obtidas em setembro de 1972, sob ângulo de elevação solar de 44° e azimute de 58°. Uma vez geometricamente corrigidas e



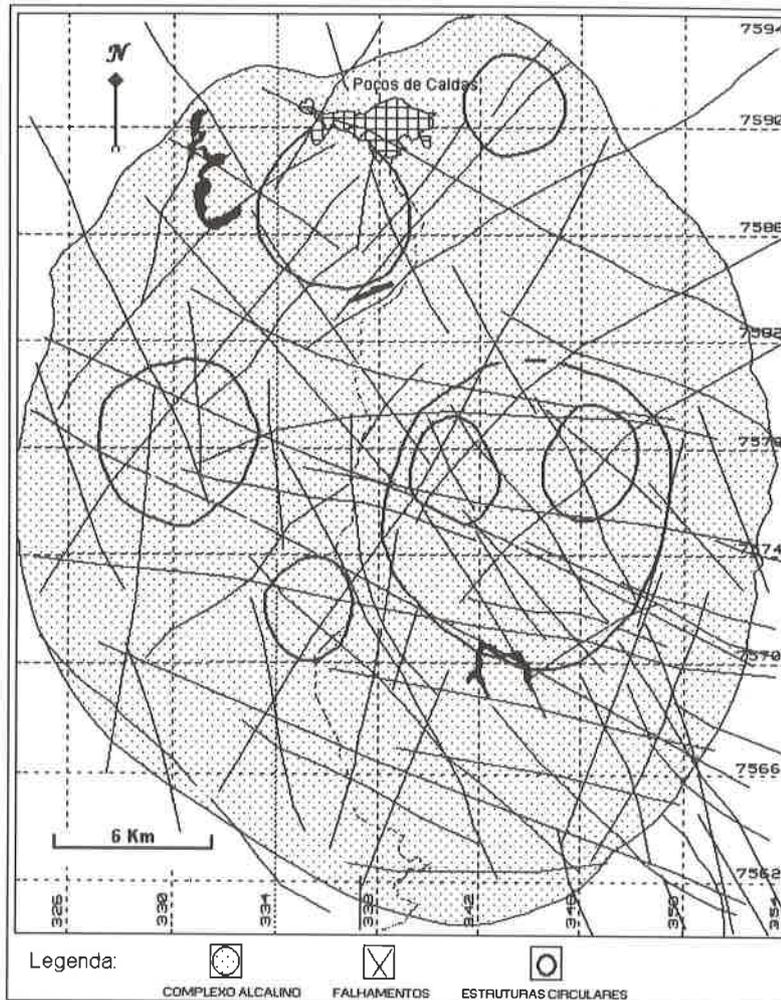
**Figura 4** - Mapa de litologias potenciais à pesquisa de minerais radioativos e de distância aos contatos.

*Figure 4* - Potential lithologies for radioactive mineral prospecting and distance-to-contact map.



**Figura 5** - Mapa de intensidade radioativa total do planalto de Poços de Caldas (fonte: Nuclebrás 1975b).

*Figure 5* - Total radioactivity intensity map of the Poços de Caldas plateau (source: Nuclebrás 1975b).



**Figura 6** - Feições estruturais do maciço alcalino de Poços de Caldas mapeadas através de imagens Landsat.

**Figure 6** - Structural features of the Poços de Caldas alkaline massif mapped through Landsat imagery.

incorporadas ao BDDG, as imagens foram realçadas através de técnicas de ampliação linear de contraste. Elas foram interpretadas (como bandas individuais ou composições coloridas falsa cor) diretamente no monitor de vídeo, usando-se o *mouse* para traçar as informações interpretadas. Dois tipos de dados estruturais foram extraídos: feições lineares e estruturas circulares. O modelo digital de elevação e o mapa da rede de drenagem foram de grande valia no auxílio à interpretação estrutural das imagens. Uma vez geocodificados, tais dados puderam ser combinados, facilitando o traçado de falhas/fraturas e estruturas circulares.

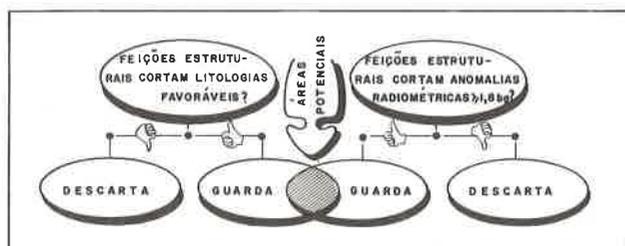
**a) Feições lineares:** Grande número de feições lineares (no sentido proposto por O'Leary et al., 1976), com diferentes tamanhos e orientações, foi interpretado (Fig. 6). Muitas delas correspondem a falhamentos

indicados no mapa geológico do maciço alcalino, assegurando desse modo significado estrutural a essas feições.

**b) Feições circulares:** Sete estruturas circulares foram identificadas no maciço alcalino, interpretadas como associadas a edifícios vulcânicos no interior da cratera (Fig. 6), as quais já tinham sido reconhecidas previamente por Almeida Filho & Paradella (1977).

Para que feições estruturais como falhas e fraturas sejam manipuladas em análises espaciais, torna-se necessário representá-las em duas dimensões (comprimento e largura). Através da técnica *mapa de distância* foram criados "corredores" de 250 e 350 metros de largura ao longo de falhas/fraturas e estruturas circulares, respectivamente, os quais representariam a área de influência dessas feições estruturais, assumindo-se que qualquer

ponto dentro do corredor estaria posicionado sobre a feição estrutural correspondente.



**Figura 7** - Seqüência esquemática dos passos usados no modelo prospectivo baseado em operações binárias.

**Figure 7** - Schematic sequence of the steps used in the boolean operations-based prospecting model.

## MANIPULAÇÃO DO BANCO DE DADOS: RESULTADOS E DISCUSSÕES

Uma variada gama de operações é disponível nos sistemas de análises de dados espaciais, permitindo que informações geocodificadas sejam manipuladas, analisadas, extraídas e mostradas na forma de mapas, tabelas, relatórios etc. Tomlin (1992) lista cerca de seis dezenas de operações possíveis, as quais não caberiam ser aqui discutidas ou mesmo mencionadas. Dentro do amplo leque de opções possíveis, duas abordagens foram escolhidas para manuseio do BDDG: a) operações binárias (álgebra *booleana*) e b) médias ponderadas (Burrough, 1986; Berry, 1988). Elas foram selecionadas por estarem dentre as mais simples e disponíveis, ou facilmente implementadas nos mais diferentes sistemas. A utilização de abordagens distintas teve também como objetivo ilustrar diferentes maneiras de manipulação de um mesmo conjunto de dados. Os resultados obtidos, no que diz respeito à definição de áreas alvos potenciais à pesquisa de minerais radioativos, são discutidos a seguir.

### Modelo prospectivo usando operações binárias

Operações binárias de álgebra *booleana* estão entre as operações mais comuns dos sistemas de análises de informações espaciais. Elas utilizam os comandos "and", "or", "xor" e "not", para analisar condições particulares de um conjunto de dados. Considere-se, por exemplo, dois conjuntos *A* e *B* tendo itens com atributos *a* e *b*. As opera-

ções possíveis entre esses dois conjuntos seriam:  $Y = A$  and  $B$  (indica itens de *A* e de *B* com atributos comuns),  $Y = A$  not  $B$  (indica itens de *A* não comuns com *B*),  $Y = A$  or  $B$  (indica itens de *A* ou de *B*) e  $Y = A$  xor  $B$  (indica itens de *A* e de *B* com atributos não comuns). Operações semelhantes podem envolver mais de dois conjuntos de dados, devendo-se atentar para o fato de elas não serem comutativas, de modo que a prioridade das operações pode alterar o resultado das mesmas.

No caso particular da área de estudo utilizou-se uma combinação restritiva, a qual mapearia determinada área como potencial para a pesquisa de minerais radioativos se, e somente se, nela estivessem presentes três critérios diagnósticos (a ausência de pelo menos um dos critérios descartaria a área). Assim, uma área seria considerada potencial quando nela estivessem presentes:

- litologias potenciais, representadas por (*A*) rochas potássicas, (*B*) corpos intrusivos de foiaítos ou (*C*) material vulcânico;
- feições estruturais, representadas por (*D*) falhas/fraturas ou (*E*) estruturas circulares cortando litologias potenciais; e
- valores gama-radiométricos (*F*) a partir de 1,8 vez o *background* regional, limiar arbitrado com base no valor mínimo encontrado no depósito de Campo do Agostinho.

A maneira convencional de proceder para indicar as áreas potenciais seria sobrepor em mesa de luz os mapas correspondentes e marcar sobre um *overlay* as áreas que atendessem às premissas indicadas. É óbvio, entretanto, que, além de bastante impreciso, tal procedimento consumiria demasiado tempo de trabalho manual de um especialista. Essas mesmas tarefas podem ser executadas de modo preciso e rápido pelo computador utilizando operações de álgebra *booleana*, como as indicadas na seguinte equação:

$$\text{ÁREAS POTENCIAIS} = \{[A \text{ or } B \text{ or } C] \text{ and } (D \text{ or } E)\} \text{ and } F\}$$

Embora essas operações sejam executadas de modo quase simultâneo pelo computador, a Fig. 7 exemplifica como elas ocorreriam na prática. Inicialmente seriam mapeadas as áreas onde ocorressem litologias favoráveis cortadas por feições estruturais e áreas com intensidades radioativas a partir de 1,8 vez o *background* regional, igualmente cortadas por tais feições. As interseções desses dois conjuntos definiriam as áreas que atendem às premissas definidas no modelo prospectivo.

A Fig. 8 mostra as áreas indicadas como potenciais pelo modelo de operações binárias, as quais perfazem 88,5 km<sup>2</sup>. Elas predominam na região central, onde adquirem a

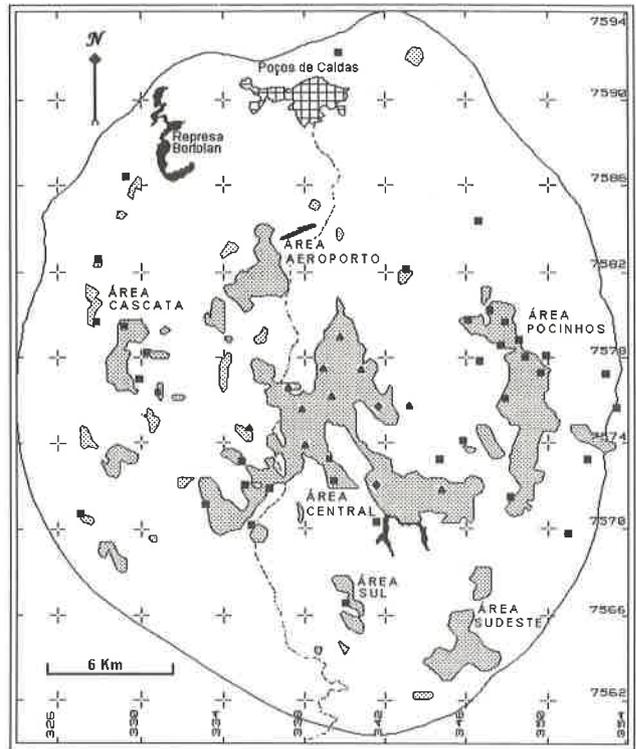
forma de um “Y” invertido, e a leste (área Pocinhos), além de ocorrências menores nas regiões sudeste, sul e centro-oeste (áreas Cascata e Aeroporto). A análise da Fig. 8 indica que essas áreas estão sujeitas a marcantes controles estruturais. As porções norte e sudeste da área central, em conjunto com a área Pocinhos, coincidem com os limites de uma grande estrutura circular identificada por imagens Landsat naquela região do maciço alcalino (Fig. 6), em cuja extremidade norte está o depósito de Pouso Alegre. Extensos falhamentos parecem exercer também forte controle sobre as áreas indicadas, de modo que o formato “Y” invertido da área central parece resultar do cruzamento de dois *trends* estruturais com direções N50-60W e N10-20E naquela região do maciço. Alinhadas, segundo a direção NE, parecem estar as áreas Aeroporto e Cascata e os braços norte e sudoeste do “Y”, enquanto a área sudeste parece constituir prolongamento para o sul da área Pocinhos

Observando-se a distribuição das 48 mineralizações conhecidas no maciço alcalino, verifica-se que 37 delas estão dentro das áreas indicadas como potenciais, ou localizam-se a menos de 200 metros de seus limites, podendo-se admiti-las também como coincidentes, se considerarmos que as mineralizações em geral cobrem superfícies com extensões superiores a 200 metros. Onze mineralizações estão localizadas fora das áreas indicadas como potenciais, significando a ausência de pelo menos um dos critérios diagnósticos. Dessas, seis ocorrem em litologias consideradas não potenciais (tinguaítos (4), fenitos e arenitos), três em áreas de intensidade radioativa menor que 1,8 vez o *background* regional, e em uma não foi constatada a presença de falhamentos regionais.

Em relação aos três tipos de mineralizações conhecidas, constata-se que nas áreas Pocinhos, Cascata e na porção sudoeste da área central ocorrem apenas mineralizações do tipo urânio-zircônio. Por outro lado, nas extensões norte e sudeste da área central as mineralizações são dos tipos urânio-molibdênio e tório-terras raras, incluindo dentre elas a mina Usamu Utsumi e os depósitos de Campo do Agostinho e Morro do Ferro.

Os dados mostrados na Fig. 8 indicam que 77% das mineralizações, incluindo os principais depósitos minerais conhecidos, coincidem com as áreas indicadas como potenciais, as quais correspondem a 12% da área total do maciço alcalino, o que atesta a boa confiabilidade do modelo prospectivo adotado. A principal desvantagem do modelo prospectivo baseado em operações binárias é o fato de ele atribuir a mesma importância a todos os critérios diagnósti-

cos. Desse modo, as áreas indicadas terão prioridades idênticas para pesquisa. Visando a refinar esses resultados, o mesmo conjunto de dados foi analisado segundo um modelo baseado em médias ponderadas, o qual permite priorizar as áreas indicadas segundo o potencial prospectivo das mesmas.



**Figura 8** - Áreas alvos potenciais à prospecção de minerais radioativos usando modelo prospectivo baseado em operações binárias e mineralizações radioativas conhecidas no planalto de Poços de Caldas.

*Figure 8* - Potential target areas for radioactive mineral prospecting in the Poços de Caldas plateau using boolean operations-based prospecting model and known radioactive mineral occurrences.

### Modelo prospectivo usando médias ponderadas

Neste modelo são atribuídos pesos aos critérios diagnósticos e através de operações aritméticas são calculadas médias ponderadas que identificam uma combinação particular e única dos dados para cada área unitária no terreno (*pixel* da imagem resultante). Para calcular essas médias utilizou-se um modelo de equação implementado nos sistemas de geoprocessamento do INPE, o qual calcula uma média ponderada *pixel a pixel*, a partir do somatório dos produtos dos pesos atribuídos aos critérios diagnósticos e

às suas respectivas classes (e.g. critério diagnóstico **litologia**, classe **rocha potássica**). O resultado da operação é uma imagem tipo modelo numérico do terreno, cujos níveis de cinza representam médias ponderadas compreendidas entre [0, 100]. A equação adotada foi a seguinte:

$$MP = \frac{\sum[(\varphi CD) * (\varphi CCD)]}{\sum(\varphi CD)},$$

onde,

MP = média ponderada,

$\varphi CD$  = peso atribuído ao critério diagnóstico,

$\varphi CCD$  = peso atribuído à classe do critério diagnóstico.

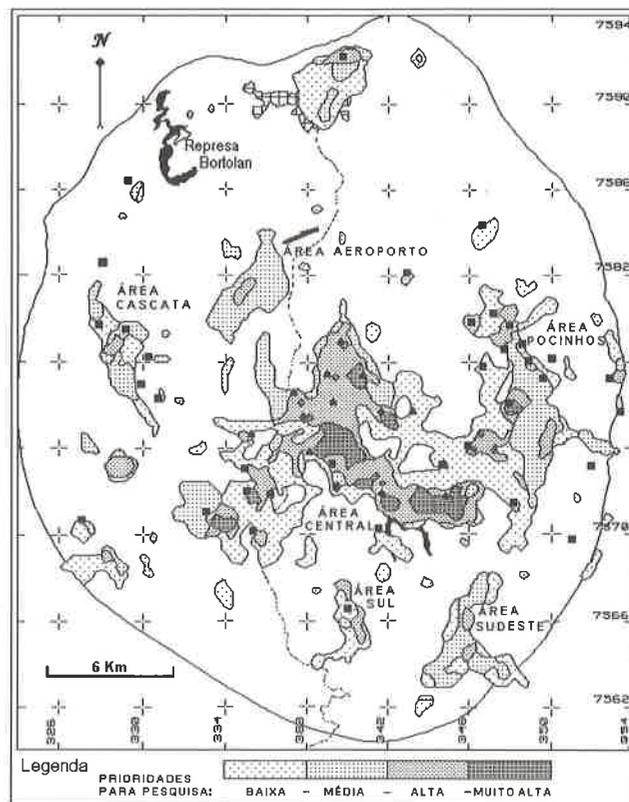
A definição dos pesos é a ação mais crítica a ser tomada para a aplicação do modelo. O procedimento de atribuir pesos a parâmetros pertencentes a uma cadeia de eventos e utilizar equações aritméticas visando à tomada de decisões é conhecido na área de inteligência artificial como equação neuronal de Rosenblat (Minsky & Papert, 1969). A definição desses pesos pode ser feita de duas maneiras: através de procedimentos heurísticos, nos quais a experiência pessoal é o fator determinante; ou utilizando-se a técnica conhecida como *fuzzy logic* (Zadeh, 1965). Essa técnica procura estabelecer critérios de enquadramento dos *fuzzy sets*, ou seja, procura definir limites e graus de confiança para os critérios diagnósticos. Apesar do desenvolvimento das técnicas de *fuzzy logic*, a definição heurística de pesos continua sendo amplamente aceita como base para sistemas especialistas, de modo particular em situações onde a teoria e os modelos empíricos não estão bem estabelecidos (Veiga & Meech, 1994). Com base na análise dos dados prévios sobre a área de estudo, adotando-se, portanto, um procedimento heurístico, foram atribuídos os seguintes pesos aos critérios diagnósticos e às suas classes:

**Dados gama-radiométricos:**  $\varphi CD = 80$  e  $\varphi CCD = 0, 10, 60, 70$  e  $80$  para as seguintes classes de intensidades radioativas: *background*; 1,3-1,8; 1,8-2,5; 2,5-3m,5; e >3,5; respectivamente.

**Dados litológicos:**  $\varphi CD = 60$  e  $\varphi CCD = 60, 30$  e  $20$  para as classes rocha potássica, foiaitos e material vulcânico, respectivamente; e

**Dados estruturais:**  $\varphi CD = 20$  e  $\varphi CCD = 20$  para as classes estruturas circulares e falhas/fraturas.

É fácil deduzir dos dados acima que as médias ponderadas para a área de estudo ficaram compreendidas entre [0, 65], extremos que indicarão, respectivamente, prioridades nula e máxima para a pesquisa de minerais radioativos. A título de exemplo, áreas com médias ponderadas 60 corresponderão a locais de ocorrências de rochas potássicas cortadas por falhamentos e com valores de intensidade radioativa entre 2,5 e 3,5 vezes o *background* regional. A ima-



**Figura 9** - Indicação de áreas alvos potenciais à prospecção de minerais radioativos usando modelo prospectivo baseado em médias ponderadas e mineralizações radioativas conhecidas no planalto de Poços de Caldas.

*Figure 9* - Indication of potential target areas for radioactive mineral prospecting using weighted mean-based prospecting model and known mineral occurrences in the Poços de Caldas.

gem de médias ponderadas assim obtida foi fatiada em cinco classes, correspondentes aos intervalos de pesos 0-20; 20-35; 35-45; 45-55; e 55-65, às quais foram atribuídas prioridades para pesquisa ditas **nula**, **baixa**, **média**, **alta** e **muito alta**, respectivamente. A Fig. 9 mostra as áreas definidas de acordo com esses intervalos e a Tab. 2 sumaria suas principais características.

As áreas indicadas como de prioridade nula para pesquisa (MP < 20) cobrem 546 km<sup>2</sup>, ou 76% da superfície total do complexo alcalino. Apenas cinco mineralizações conhecidas, ou 10% do total, todas do tipo urânio-zircônio, estão localizadas nessas áreas. Quatro delas (Espingarda, D. Elisa, Sebastião Ribeiro e Osório) ocorrem em áreas também indicadas como não potenciais pelo modelo baseado em operações binárias e uma (Cocal), embora localizada em área com presença dos três critérios diagnósticos, lo-

PRIORIDADES DE PESQUISAS	ÁREA OCUPADA		MINERALIZAÇÕES		
	Km <sup>2</sup>	%	U-Zr	U-Mo	Th-TR
Muito Alta	10,6	1,5	2	6	2
Alta	34,2	4,7	9	3	--
Média	49,2	6,8	7	--	--
Baixa	78,5	10,9	13	1	--
Nula	546,0	76,0	5	--	--
Totais	718,5	99,8	36	10	2

**Tabela 2** - Sumário dos resultados obtidos através do modelo de médias ponderadas.

*Table 2* - Summary of the results obtained through the weighted mean-based prospecting model.

grou média ponderada menor que 20.

As áreas indicadas como de baixa e média prioridades perfazem 78,5 e 49,2 km<sup>2</sup>, equivalentes, respectivamente, a 10,9 e 6,8% da superfície do maciço alcalino. Elas predominam na parte central do maciço, estendendo-se para leste até a área Pocinhos, além de manchas menores nas áreas Cascata, Aeroporto, sul, sudeste e próximo à cidade de Poços de Caldas. Essas áreas encerram 20 mineralizações tipo U-Zr e apenas um indício tipo U-Mo (B/C-C/08).

As áreas de prioridade alta totalizam 34,2 km<sup>2</sup>, ou 4,7% da superfície do maciço. Elas predominam na parte central, constituindo um corpo de formato arqueado, o qual coincide com os braços norte e sudoeste do "Y" invertido já mencionado, além de pequenas áreas isoladas. Associadas a essas áreas, são encontradas nove mineralizações do tipo U-Zr e três indícios tipo U-Mo (K-C/03, I/70 e E-C/05).

As áreas classificadas como de prioridade muito alta ocorrem como corpos isolados dentro do conjunto anterior, perfazendo 10,6 km<sup>2</sup>. Essas áreas encerram a maioria (6) das mineralizações radioativas do tipo U-Mo conhecidas, incluindo a mina Usamu Utsumi e o depósito de Campo do Agostinho, além dos indícios U-C/03, B-C/03, P-C/03 e F-C/02. Elas encerram também as mineralizações tipo Th-TR conhecidas, representadas pelos depósitos de Morro do Ferro e Cercado. Apenas dois depósitos tipo urânio-zircônio são encontrados nas áreas de prioridade muito alta: Taquari, na área Pocinhos, e Moirões, na extremidade sudeste da área central.

A despeito de representarem apenas 1,5% da superfície total do maciço alcalino, as áreas indicadas como de prioridade muito alta encerram as mineralizações conhecidas mais importantes, como a mina Usamu Utsumi e os depósitos de Campo do Agostinho e Morro do Ferro, além de vários indícios tipo U-Mo, dados que atestam alta confiabilidade ao modelo prospectivo adotado. Compara-

do com o modelo baseado em operações binárias, houve um refinamento dos resultados, com dramática redução das áreas com maior probabilidade para pesquisa. Do ponto de vista prospectivo, esses dados seriam de grande importância, pois em uma hipotética pesquisa para minerais radioativos na região os trabalhos de campo deveriam se concentrar nessas áreas alvos prioritárias, o que implicaria substancial economia de tempo e recursos.

## CONCLUSÕES

Técnicas de integração e análise espacial de dados mostraram-se eficientes como ferramenta de auxílio para a prospecção de minerais radioativos no maciço alcalino de Poços de Caldas. A manipulação de um banco de dados geocodificados, de acordo com regras empiricamente definidas em um modelo prospectivo, permitiu a indicação de áreas que, por guardarem certas características específicas, foram identificadas como potenciais à prospecção desses minerais. Os resultados obtidos mostraram que a manipulação de um mesmo banco de dados, segundo diferentes regras de decisão, mostra resultados que, embora concordantes no geral, são mais precisos ou menos precisos, dependendo da abordagem seguida. No caso específico do maciço alcalino de Poços de Caldas, tomado como exemplo para a aplicação dessas técnicas, constatou-se que, enquanto um modelo indicou áreas prospectáveis que correspondiam a 12% da superfície do maciço alcalino, o manuseio dos mesmos dados, segundo outra abordagem, aumentou a precisão dos resultados, reduzindo as áreas prospectáveis a apenas 1,5%. A boa correspondência entre as áreas indicadas como potenciais e as mineralizações já conhecidas atesta alta confiabilidade aos modelos prospectivos adotados. Tais resultados revestem-se de grande importância do ponto de vista prospectivo, pois em uma hipotética campanha

de prospecção para minerais radioativos na região os trabalhos de campo deveriam se restringir aos alvos prioritários, o que implicaria significativa economia de tempo e recursos.

Os recursos propiciados pelas técnicas de manipulação de dados e os resultados práticos obtidos mostram que os modelos semiquantitativos de prospecção podem ser ferramentas de utilização prática valiosa em campanhas de prospecção mineral, possíveis de serem aplicados aos mais diferentes ambientes geológicos. Dada a simplicidade das operações envolvidas, tais abordagens podem constituir atividades rotineiras nas empresas de mineração.

## AGRADECIMENTOS

O autor agradece ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo-FAPESP, pelo apoio material e financeiro à realização deste trabalho. Agradece também aos geólogos Astúrio Garcia de Oliveira (*in memoriam*) e Marco Antônio de Oliveira pela assistência durante visitas à área em diferentes épocas e pelo fornecimento dos mapas geológico e radiométrico do maciço alcalino. Críticas e sugestões valiosas foram recebidas dos colegas Rocky Osborne, Ícaro Vitorello, Fernando Pellon e Jorge Bettencourt e de revisores anônimos do texto submetido. Victor Almeida, Sílvio Coimbra e Laércio Namikawa colaboraram na preparação das figuras.

## REFERÊNCIAS

- AARNISALO, J. - 1984** - Image processing and integration of geophysical, Landsat and other data as a tool for mineral exploration in glaciated Precambrian terrain. Proceedings III Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology, 1;107-127, Colorado Springs.
- ADAMS, S. S. - 1988** - Using geological information to develop exploration strategies for epithermal deposits. In: BERGER, B. R. and BETTHKE, P. N. - Geology and geochemistry for epithermal systems. Society of Economic Geologists. Review in Economic Geology, 2, Cap. 12, p. 273-298.
- ALMEIDA, F. F. M. - 1972** - Tectono-magmatic activation of the South America platform and associated mineralization. Proceedings XXIV International Geological Congress, 1:339-346, Paris.
- ALMEIDA FILHO, R. & PARADELLA, W. R. - 1977** - Estudo do maciço alcalino de Poços de Caldas através de imagens Landsat com ênfase em mineralizações radioativas. INPE-1112-TPT/060. São José dos Campos, 130 p.
- BERRY, J. K. - 1988** - Fundamental operations in computer-assisted map analysis. International Journal on Geographical Information System, 1:119-136.
- BJORNBERG, A. J. S. - 1956** - Arenitos do bordo do planalto de Poços de Caldas. Academia Brasileira de Ciências, 28:465-471.
- BONHAM-CARTER, G. G., AGTERBER, F. P. & WRIGHT, D. F. - 1988** - Integration of geological datasets for gold exploration in Nova Scotia. Photogram. Eng. & Remote Sensing, 54:1585-1592.
- BURROUGH, P. A. - 1986** - Principles of geographical information system for land resources assessment. Oxford: Clarendon Press. Great Britain.
- BUSHEE, J. - 1970** - A geochronological study of the alkaline massif of Poços de Caldas, Brazil. Laboratório de Geocronologia da Universidade de São Paulo. Relatório não publicado, 25 p.
- CROSTA, A. P. - 1991** - High resolution geochemistry and satellite data integration: application to mineral exploration. Proceedings VIII Thematic Conference Geologic Remote Sensing, 2:1335-1348.
- CUNHA, F. M. B., FONSECA, L. E. N. & ARAGÃO, M. A. N. F. - 1992** - Integração digital de dados morfológicos, geológicos e geofísicos da bacia do Recôncavo. Boletim de Resumos Expandidos, XXXVII Congresso Brasileiro de Geologia, 1:158, São Paulo.
- DERBY, O. A. - 1887** - On nepheline rocks in Brazil with special reference to the association of phonolite and foyaitite. Quart. Journal of Geological Society of London, 43:457-473.
- DRURY, S. A. & WALKER, S. D. - 1987** - Display and enhancement of gridded aeromagnetic data of the Solway Basin. International Journal of Remote Sensing, 8:1433-1444.
- ELIASON, J. R. & THIESSEN, R. L. - 1986** - Geological spatial analysis: a new multiple data source exploration tool. Proceedings V Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology, 2:677-692, Ann Arbor.
- ELLERT, R. - 1959** - Contribuição à geologia do maciço alcalino de Poços de Caldas. Geologia, 18:5-63, São Paulo, USP-FFCL.
- ENGESPAÇO - 1989** - Sistema de tratamento de imagens-SITIM. Manual do usuário. INPE. São José dos Campos.

- FELGUEIRAS, C. A. & CÂMARA, G. - 1993** - Sistema de Informações Geográficas do INPE. In: ASSAD E. D. & SANO, E. E. - Sistemas de Informações Geográficas: aplicações na agricultura. EMBRAPA, Cap. 2, p. 39-57.
- FRAENKEL, M. O., SANTOS, R. C., LOUREIRO, F. E. V. L. & MUNIZ, W. S. - 1985** - Jazida de urânio no planalto de Poços de Caldas, Minas Gerais. In: Principais Depósitos Mineraiis do Brasil. DNPM, vol. 1, Cap. 5, 89-103.
- FRANCO, R. R., & LOEWENSTEIN, W. - 1948** - Zirconium from the region of Poços de Caldas. American Mineralogist, 3-4:142-151.
- HARRIS, J. R. - 1986** - A comparison of lineaments interpreted from remotely sensed data and airborne magnetics and their relationship to gold deposits in Central Nova Scotia. Proceedings V Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology, 2:557-576, Reno.
- HARRIS, J. R. - 1989** - Data integration for gold exploration in Eastern Nova Scotia using a GIS. Proceedings VII Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology, 1:233-249, Calgary.
- KWARTENG, A. Y. & CHAVEZ JR., P. S. - 1990** - Digital imagem processing of airborne geophysical data for uranium-mineralized breccia pipes exploration in northwestern Arizona. Geophysics, 55:965-976.
- MINSKY, M. & PAPERT, S. - 1969** - Perceptrons. Cambridge, MIT Press, pp. 292.
- MIRANDA, F. P., BENTZ, C. M., FONSECA, L. E. N., LIMA, C. C., NUNES, K. C., COSTA, A. R. A., ALMEIDA FILHO, R. & FELGUEIRAS, C. A. - 1992** - Integração digital de dados de sensoriamento remoto, aeromagnetometria e topografia na definição do arcabouço estrutural da região do rio Uatumã (Bacia do Alto Amazonas). Bol. de Resumos Expandidos XXXVII Congresso Brasileiro de Geologia, 1:159, São Paulo.
- NUCLEBRÁS-EMPRESAS NUCLEARES BRASILEIRAS. - 1975a** - Mapa geológico do Planalto de Poços de Caldas. Inédito.
- NUCLEBRÁS-EMPRESAS NUCLEARES BRASILEIRAS - 1975b** - Mapa radiométrico do Planalto de Poços de Caldas. Inédito.
- O'LEARY, D. W., FRIEDMAN, J. D. & POHN, H. A. - 1976** - Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms. Geological Society of America Bulletin, 87:1463-1469.
- OLIVEIRA, A. G. - 1974** - Mineralização de urânio e molibdênio no Planalto de Poços de Caldas, MG. Anais XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia, 1:207-221, Porto Alegre.
- RHEAULT, M., SIMARD, R., GARNEAU, C. & SLANEY, V. R. - 1991** - SAR-Landsat TM-geophysical data integration utility of value-added products in geological exploration. Canadian Journal of Remote Sensing, 17:185-190.
- SCHOBENHAUS, C., CAMPOS, D. A., DERZE, G. R. & ASMUS, H. - 1984** - Geologia do Brasil: texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos mineraiis, escala 1:2.500.000. DNPM, 501 p.
- SHUPE, S. M. & AKHAVI, M. S. - 1989** - Integration of remotely sensed and GIS data for mineral exploration: Halifax Pluton area, Nova Scotia, Canada. Geocarto International, 3:49-54.
- SILVA, A. B. - 1993** - Mineral exploration in northeastern Brazil: a data fusion approach and a GIS strategy. Proceedings IX Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology, 1:55-65, Pasadena.
- STEFOULI, M. & ANGELOPOULOS, A. - 1990** - Integration of Landsat and aeromagnetic data as aid to the structural analysis of Crete and SE Peloponessus. International Journal of Remote Sensing, 11:1625-1644.
- TOLBERT, J. - 1966** - The uraniferous zirconium deposits of the Poços de Caldas plateau, Brazil. U. S. Geological Survey Bulletin, 1185-C; 28 p.
- TOMLIN, C. D. - 1992** - Cartographic modelling. In: MAGUIRE, D. J. & GOODCHILD, M. F., RHIND, D. W. (eds.) Geographical Information Systems: principles and applications. Longman, London, 1:361-374.
- ULBRICH, H. H. G. J. - 1984** - A petrografia, a estrutura e o quimismo de nefelina sienitos do maciço alcalino de Poços de Caldas, MG-SP. Universidade de São Paulo, Tese de Livre Docência. São Paulo, 1984. 446 p.
- VALENTE, C. R. & VENEZIANI, P. - 1993** - Integração de dados Landsat, SLAR, geofísicos e geoquímicos para elaboração de modelos de evolução tectônica e prospectivos na região de Minaçu - Palmeirópolis (GO/TO). Anais VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1:358-367, São Paulo.

**VEIGA, M. M. & MEECH, J. A. - 1994** - Heuristic approach to mercury pollution in the Amazon. Proceeding of Extraction and Processing for the Treatment and Minimization of Waste, 1:23-38, San Francisco.

**WALKER, K. M. - 1983** - Digital spatial data handling techniques applied to the development of quantitative geologic models. Proceedings XV International Symposium on Remote Sensing of Environment, 1:827-838, Ann Arbor.

**WEDOW JR., H. - 1967** - The Morro do Ferro thorium and rare-earth ore deposit, Poços de Caldas district, Brazil. U. S. Geological Survey Bulletin, 1185-D, 34 p.

**ZADEH, L. A. - 1965** - Fuzzy sets. Information and Control, 8:338-353.

Submetido em: 15/04/94

Revisado pelo(s) autor(es) em: 14/03/95

Aceito em: 21/03/95

<b>UFPA</b>	Universidade Federal do Pará Centro de Geociência Departamento de Geofísica	<b>CPGf</b>
<b>CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA</b>		
NÍVEL: Mestrado e Doutorado em Geofísica APOIO: Capes, CNPq, Petrobras, DAAD Inscrições: Mestrado e Doutorado, até 31/12, para início em março - Doutorado, até 31/05, para início em agosto		
Endereço para correspondência: UFPA - Curso de Pós-Graduação em Geofísica Campus Universitário do Guamá C.P. 309 (Ag. Centro) 66.017-970 - Belém, Pará, Brasil Fone: (091) 229-2825, 229-3104 - Fax: (091) 229-6015 E-mail: <a href="mailto:cpgf@cg.ufpa.br">cpgf@cg.ufpa.br</a>		