

POTENCIAL AURÍFERO NO VALE DO RIBEIRA ESTIMADO POR MEIO DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

MÔNICA MAZZINI PERROTTA* & MÁRIO DA COSTA CAMPOS NETO**

ABSTRACT VALE DO RIBEIRA'S GOLD POTENTIAL ESTIMATED BY GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM. The gold potential of a region in the Ribeira Valley district was estimated by two distinct modelling methods, carried out in a Geographic Information System. Our dataset included a compiled geologic map, geochemistry of stream sediments and panned concentrates, gamma-ray and magnetic airborne data, thematic mapper data, and mineral occurrences data. The most widespread mineralised lithological unit was informally designated the Piririca unit, a metavolcanic-sedimentary sequence of deep-water carbonaceous phyllites, grading up to shallow-water carbonate-bearing phyllites associated with basanite volcanism of a distensive tectonic regime. The gold deposit model presumed metamorphic devolatilization of the volcano-sedimentary pile associated with an anomalously high geothermal gradient, with gold-bearing fluids moving along northeast trending brittle-ductile strike-slip shear zones, which developed late in regional metamorphism and during the emplacement of the Agudos Grandes granitic batholith. The gold potential was estimated by the index overlays model, like the linear addition of maps, which involves a subjective choice of map weights, and by the weights of evidence model, which is objective in that it statistically determines the weight of each evidence map according to its spatial association with the known occurrences. These analyses have as positive evidence the following factors: the presence of the Piririca Unit and correlative sequences, the presence of mainly basic/ultrabasic metavolcanic rocks and Ca-phyllites, the proximity of Piririca-like metavolcanic rocks, the presence of silver, arsenic, lead, copper, chromium and nickel geochemical anomalies, the proximity to northeast brittle-ductile strike-slip or normal shear zones and north-south fractures and finally the presence of gamma-ray U/K ratio signatures ranging from 0.105 to 0.151.

Key words: Geographic Information System, gold deposit, weights of evidence model.

RESUMO Uma área no Vale do Ribeira foi selecionada para estudo do seu potencial aurífero, através de um Sistema de Informações Geográficas (SIG). A base de dados consiste de cartografia geológica, geoquímica de sedimentos de corrente e concentrados de bateia; aerogeofísica (magnetometria e gamaespectrometria), imagens de satélite e dados metalogenéticos das ocorrências conhecidas. Reconhecidamente aurífera, a unidade aqui denominada informalmente Unidade Piririca é composta de metamorfitos derivados de sedimentos pelágicos de ambiente redutor e sulfetado na base, que gradam no topo para águas mais rasas. Associam-se a vulcanismo basanítico de regime tectônico distensivo. As características das mineralizações indicam gênese associada a devolatilização metamórfica da pilha metavolcano-sedimentar, causada por um gradiente geotérmico anormalmente alto, resultando em fluidos com ouro em solução que percolaram por estruturas planares, associadas a zonas de cisalhamento de orientação NE, tardias ao metamorfismo regional e penecontemporâneas ao plutonismo granítico. O potencial aurífero foi estimado através de dois métodos de modelagem, o método da indexação de níveis de informação, uma adição ponderada dos mapas temáticos, e o método dos pesos de evidência, onde os pesos são calculados estatisticamente através de uma estrutura de probabilidades, que estabelece a correlação entre as evidências e as ocorrências conhecidas. Estas análises indicaram como evidências de correlação positiva com a mineralização, a presença de metaultrabásitos e cálciofilitos da Unidade Piririca, a proximidade do contato com metaultrabásicas/básicas desta unidade; a presença de anomalias geoquímicas de prata, arsênio, chumbo, cobre, cromo e níquel; a proximidade de zonas de cisalhamento dúctil-rúpteis NE transcorrentes e normais, e de fraturas NS; e a presença de assinaturas gamaespectrométricas dentro do intervalo de 0,105 a 0,151 para a razão U/K.

Palavras-chave: Sistema de Informações Geográficas, depósitos auríferos, modelo dos pesos de evidência

INTRODUÇÃO Depósitos aluviais de ouro no rio Ribeira de Iguape e seus afluentes da margem esquerda já eram explorados por bandeirantes no século XVI, mas o único depósito de ouro primário explotado na região é conhecido como Morro do Ouro, nas proximidades de Apiaí (Knecht 1939). A partir dos anos 70, projetos de reconhecimento geoquímico regional desenvolvidos pela CPRM (Projetos Sudelpa - Addas & Vinha 1975, Morgental *et al.* 1975, e Geoquímica no Vale do Ribeira - Morgental *et al.* 1978), indicaram anomalias significativas de cobre, chumbo e zinco que nortearam pesquisas locais visando a prospecção de ouro e sulfetos associados. Estes levantamentos revelaram os depósitos auríferos epigenéticos de Piririca e Ivaporunduva (Silva & Câmara 1990), além de uma série de ocorrências (Addas & Pinto 1979, Addas *et al.* 1979, Pinto *et al.* 1979, Alegri *et al.* 1980, Borin Jr. *et al.* 1980, Paiva & Morgental 1980, Macedo *et al.* 1981, Morgental *et al.* 1981, Silva 1982, Borin Jr. 1983, Lopes Jr. *et al.* 1994). Esta coleção de dados de prospecção geoquímica regional e local, e ainda informações geológicas, aerogeofísicas e de sensores remotos organizadas em mapas temáticos num Sistema de Informações Geográficas (SIG), possibilitaram a avaliação do potencial aurífero e previsão de novos depósitos na região, aplicando-se a capacidade deste sistema na modelagem das inter-relações entre os dados. O SIG utilizado foi o SPANS-GIS que modela dados em formato matricial, principalmente, mas também em formato vetorial e tabelas de pontos com atributos. A área selecionada para estudo tem como limites as coordenadas UTM de 740.000 a 796.000 de longitude e de 7.272.000 a 7.322.000 de latitude (meridiano central 51), perfazendo 2.800 km².

DESCRIÇÃO DOS DADOS **Dados Geológicos** Foram compilados a partir dos seguintes trabalhos: Campanha (1991), Campanha *et al.* (1985, 1988), Takahashi *et al.* (1984), Algarte *et al.* (1972), Chiodi Filho *et al.* (1983), Borin Jr. e Ferrari (1986), Silva *et al.* (1981), Vasconcelos & Câmara (1995), Pinto & Borin Jr. (1982), Daitx *et al.* (1983). A figura 1 ilustra o mapa geológico obtido, modi-

ficado por dados coletados por Perrotta (1996), e simplificado para apresentação neste trabalho. A composição litológica das unidades é descrita na legenda do mapa.

A grande maioria dos conjuntos litológicos mapeados na área de estudo encontra-se no domínio tectônico da Faixa Apiaí de Hasui *et al.* (1975), de evolução orogênica no Neoproterozóico (Campos Neto & Figueiredo 1995). As sequências supracrustais predominantes na região de estudo incluem faixas metassedimentares de unidades terrígenas, químicas e clastoquímicas, com intercalações vulcânicas e subvulcânicas básicas atribuídas ao Grupo Açungui. São cortadas pelos corpos granitóides sin a tardi orogênicos Espírito Santo e Agudos Grandes de idades não determinadas. O último, de dimensões batolíticas, é provavelmente constituído por intrusões múltiplas sin a pós orogênicas, composicionalmente distintas, evidenciadas nos mapas aerogeofísicos de gamaespectrometria (Perrotta 1996). Exibe localmente metamorfismo de contato (região do Córrego Ivaporunduva, Borin Jr. 1983). Corpos granitóides pós-orogênicos ocorrem localmente. No Mesozóico, associados à tectônica de abertura do oceano Atlântico, ocorrem magmatismo básico fissural e intrusões alcalinas.

O arcabouço estrutural da área é definido por um sistema anastomosado de zonas de cisalhamento transcorrentes de caráter dúctil ou dúctil-rúptil, que delineiam blocos lenticulares de orientação NE-SW. Essas zonas sobrepõem-se a pelo menos duas estruturas planares anteriores, de importância regional, registradas nas rochas supracrustais. A primeira, quase sempre paralela ao acamadamento primário, tem caráter reliquiar enquanto a segunda e principal na área tem direção NE-SW e é plano axial de dobramentos assimétricos, inclinados ou recumbentes. Esta estrutura é subparalela ao acamadamento original e a ela associam-se os registros metamórficos descritos para os diversos conjuntos litológicos (Campanha 1991, Pires 1991) que indicam, no geral, grau metamórfico fraco, na zona da clorita. A transposição, reorientação e retrogressão metamórfica da foliação principal pelas zonas de cisalhamento transcorrentes, bem como os contatos

* CPRM - Serviço Geológico do Brasil - SUREG-SP - Avenida São João, 313 - 01035-000 - São Paulo (SP). Tel: (0xx11) 220-1945, FAX: (0xx11) 220-1235. e-mail: perrotta@crystal.cprm.gov.br

** Instituto de Geociências - USP - Departamento de Mineralogia e Tectônica - Rua do Lago, 562 - 05508-900 - São Paulo (SP). Tel.: (011) 3818-3937, FAX: (0xx11) 210-4295. e-mail: camposnt@usp.br

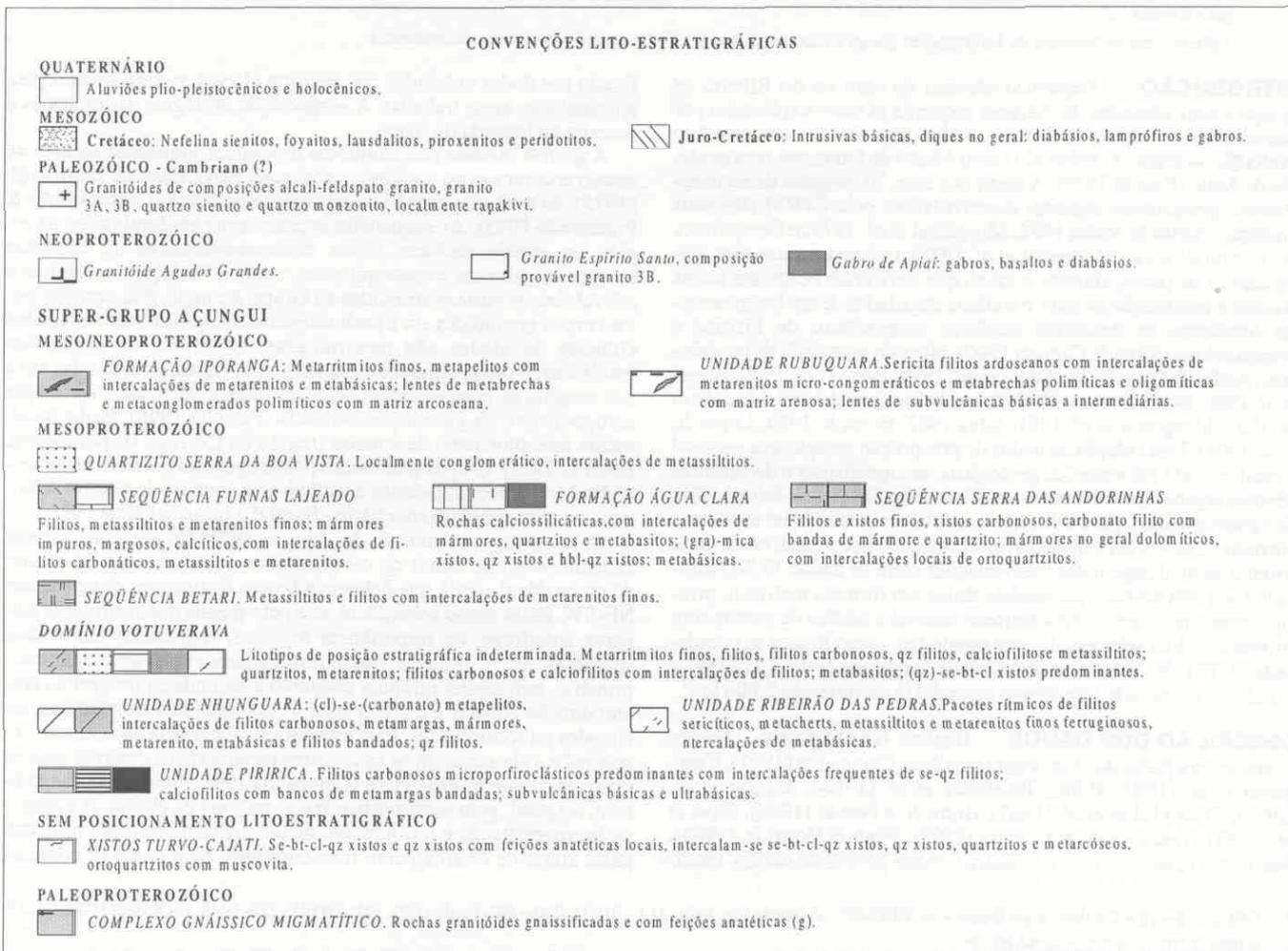
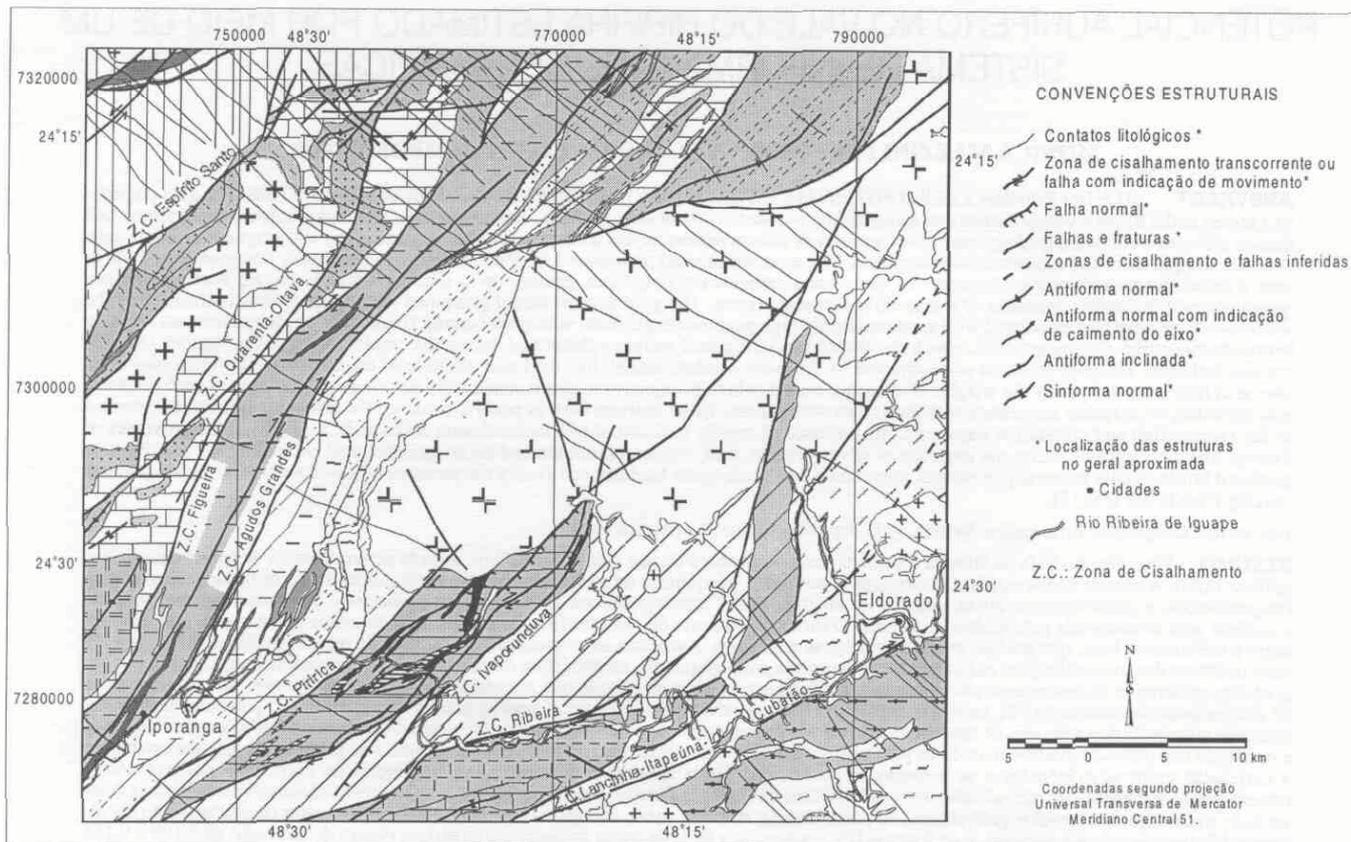


Figura 1 – Mapa geológico simplificado da região estudada.

intrusivos entre os plútons do Granitóide Agudos Grandes com as seqüências metamórficas, indicam que esses últimos eventos representam a progressão tardi-orogênica. A terceira foliação, regionalmente associada ao evento transcorrente, é plano axial de um dobramento normal a inclinado, orientado NE-SW. A esse sistema transcorrente associam-se ainda falhas de cavalgamento dúctil-rúptil tardias, com sentido de transporte para noroeste, e posteriormente, falhas de caráter rúptil a rúptil-dúctil, falhas inversas oblíquas de transporte para nordeste, bem como falhas normais e sinistrais de direção NE. Um fraturamento mesozóico NW condicionou a colocação dos diques básicos. Um conjunto mais jovem, provavelmente terciário, de movimentações normais e inversas, afetam estes diques e solos antigos.

GEOLOGIA DA ÁREA MINERALIZADA A Unidade Piririca (ver mapa geológico da figura 1a) é balizada a leste pela Zona de Cisalhamento Ivaporunduva (dextral com componente oblíqua de cavalgamento) e a oeste pela Zona de Cisalhamento Piririca. Predominam filitos carbonosos (microporfiroclásticos) com espessas intercalações de metabásicas e metaultrabásicas, quase sempre afetadas por alteração hidrotermal dos tipos cloritização e/ou carbonatação. Sericitização - quartzo filitos ocorrem como intercalações centimétricas frequentes, ou localmente como lentes espessas. Mais raros são bancos de metamargas bandadas, no topo da seqüência, associados a calciofilitos. Em contraste com as seqüências metassedimentares adjacentes, onde filitos carbonosos aparecem como intercalações esparsas, provavelmente associados à presença de matéria orgânica nos sedimentos, este litotipo é predominante nesta seqüência, de característica metavulcano-sedimentar. Sua associação frequente com metabásicas sugere uma origem distinta, provavelmente sedimentar, com forte contribuição vulcânica. Rochas metaultrabásicas desta seqüência têm assinaturas químicas de vulcanismo basanítico de regime tectônico distensivo, distinto das metabásicas das unidades adjacentes, de composições basálticas, filiação toleítica, e afinidade MORB/arco insular vulcânico (Perrotta 1996). Devido à alta concentração de ocorrências de ouro no domínio desta seqüência, acredita-se que ela represente o principal metalotecto paleogeográfico para a área fonte do ouro, originalmente associado às metabásicas/ultrabásicas.

Dados metalogenéticos Segundo Câmara (1992), os depósitos auríferos no domínio da Unidade Piririca ocorrem como concentrações sulfetadas, em veios de quartzo carbonatados, encaixados em rochas subvulcânicas básicas, de grau metamórfico fraco, com alteração hidrotermal das encaixantes dos tipos cloritização, carbonatação e sericitização. Schrank & Câmara (1992) reconhecem no depósito Piririca zonas de Cisalhamento direcionais que definem duas direções de controle das mineralizações: N40-55E, concordante com a direção do Cisalhamento; e NO-20E, possivelmente relacionada a fraturas T ou Protacionadas. Lopes Jr. *et al.* (1995) descreveram para o depósito São Pedro (também no domínio da Unidade Piririca) mineralização de ouro disseminado em metapelitos carbonosos miloníticos, ricos em micrólitos de quartzo e com alteração hidrotermal dos tipos carbonatação e sericitização.

Sobre as características dos fluidos atuantes nos processos de concentração aurífera, Nogueira (1990) reconheceu em inclusões fluidas soluções aquosas, ricas em CO₂ com baixa salinidade e temperaturas de deposição entre 200 e 400°C. Esta autora concluiu que as soluções, de provável origem metamórfica, podem ter sido redutoras e transportaram ouro na forma de tio-complexos com o enxofre. As zonas de Cisalhamento teriam atuado nos processos de lixiviação, transporte e canalização. Nos veios de quartzo sulfetados, o ouro associa-se à pirita e arsenopirita preenchendo fraturas e cavidades.

Em um estudo comparativo entre diversas províncias metalogenéticas essencialmente auríferas, Phillips & Powell (1992) sugerem a associação deste tipo de mineralização à percolação de fluidos aquosos, ricos em CO₂ e de baixa salinidade, gerados em grandes volumes durante a devolatilização metamórfica de seqüências máficas, sob condições de temperatura e pressão no limite entre o grau fraco e grau médio metamórfico. A liberação de íons S²⁻ para a solução (na forma reduzida) favoreceria um aumento na solubilidade do ouro (em complexos com o enxofre e o hidrogênio). As interações entre fluido com estas características e as rochas encaixantes, sob condições de temperatura, atividade de CO₂ e O₂ mais baixas, culminam na deposição do ouro juntamente com calcita e pirita, quando, após um período de formação de calcita + pirita e carbonatação das encaixantes, a atividade de H₂S é reduzida suficientemente para tornar o líquido saturado

em ouro. Segundo estes autores é muito estreita a relação entre um alto gradiente geotérmico, devolatilização metamórfica e magmatismo. Outra característica comum nos depósitos essencialmente auríferos é um forte controle estrutural, correlacionado a zonas de Cisalhamento desenvolvidas principalmente na zona de transição entre os ambientes rúptil e dúctil.

As coincidências entre as mineralizações auríferas epigenéticas do Vale do Ribeira com este modelo de devolatilização metamórfica vão desde a predominância do ouro na assembleia de metais básicos, composição dos fluidos mineralizantes, carbonatação das encaixantes e caráter sulfetado das mineralizações, até a estreita correlação com zonas de Cisalhamento, e, possivelmente, com evento termal e magmatismo associado. O grau metamórfico fraco registrado na Unidade Piririca não concorda com o modelo. Estas relações sugerem que a concentração aurífera pode ter ocorrido durante uma fase de geração de fluidos, acompanhada de alteração hidrotermal, que deve ter se dado no final do Neoproterozóico, a Unidade Piririca permanecendo sob condições térmicas próximas a 400°C no metamorfismo regional (abaixo da zona da biotita). O plutonismo granítico, tardio ao processo metamórfico e contemporâneo ao desenvolvimento de sistema de Cisalhamento rúptil-dúctil, elevou o gradiente térmico local, produzindo assembleias minerais de metamorfismo de contato e pirrotita nos veios mineralizados (Borin Jr. 1983). Essa elevação da temperatura poderia ter produzido devolatilização local na unidade mineralizada, sem extensa mobilização de fluidos.

Dados tabelados sobre as mineralizações auríferas foram resgatados de Algarte & Hama (1984), Algarte *et al.* (1986), Borin & Ferrari (1986), Vasconcelos & Câmara (1995), além de consultas à listagem do PROSIG, relatórios e *overlays* do DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral), atualizados anualmente até 1994. De um total de 127 ocorrências resgatadas, 114 são ocorrências de ouro, sendo 76 de ouro primário e 38 de ouro aluvionar.

Dados aerogeofísicos

Foram coletados no Projeto Aerogeofísico São Paulo - Rio de Janeiro (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM - 1979) e processados pelo DIGEOF (Divisão de Geofísica da CPRM), onde foram geradas grades (*grids*) com células de 125 X 125 m dos temas de gamaespectrometria: canais de contagem total, tório, urânio e potássio e razões U/Th, U/K e Th/K. As grades foram geradas segundo transformação log-normal dos dados, dentro do intervalo média +/- 3 * desvio padrão, numa interpolação do tipo randômica, com filtros direcionais para correção de ruídos de linhas de vôo.

A potencialidade da utilização dos dados aerogamaespectrométricos na exploração aurífera está ligada ao comportamento dos radioelementos nos processos de concentração. Câmara & Perrotta (1994) notaram na área de afloramento da Unidade Piririca uma tendência de valores radiométricos baixos no canal da contagem total, acompanhada pelos canais do tório e urânio. Este padrão ocorre em outras regiões no domínio Votuverava e, segundo os autores, poderia refletir a presença de rochas básicas, metacalcários, calciofilitos e filitos carbonosos ou ainda alteração hidrotermal do tipo carbonatação.

A grade aeromagnetométrica - tema campo total -, foi obtido no programa GEOSOF, com célula de 250 X 250 m. Esta grade foi corrigida com filtro de Butterworth para eliminação de ruídos decorrentes das linhas de vôo NS e submetida a filtro direcional de coseno (ângulo de 40°), para minimizar as anomalias de alta frequência, definidas pelos diques básicos mesozóicos, e realçar as de baixas frequências, associadas às feições mais profundas e antigas. Observa-se, na imagem produzida, realçada com relevo sombreado, zonas lineares, orientadas aproximadamente segundo N40E (figura 2), que afetam principalmente as áreas internas e adjacentes ao Granitóide Agudos Grandes. Correspondem, de uma forma geral, a zonas de Cisalhamento mapeadas na área mas revelam outras zonas anômalas que não encontram correspondentes diretos na superfície.

Dados de imagens de satélite Foram utilizadas imagens digitais do satélite LANDSAT *Thematic Mapper-5* (órbita 220, ponto 077E) - bandas espectrais 1,2,3,4,5 e 7 - coletadas em 14 de setembro de 1986. A imagem Principal Componente 1 produzida no processamento desta imagem foi realçada com filtro direcional de Sobel NW-SE 5X5 com o objetivo de se realçar as estruturas de direções NE, conhecidamente associadas às mineralizações, e mascarar as estruturas de direção NW correspondentes aos diques básicos mesozóicos. Esta imagem foi interpretada em conjunto com algumas imagens falsa-cor.

Foram discriminados dois sistemas de cisalhamento laterais, com direções das estruturas planares principais aproximadamente N30E e N50E (figura 2). No primeiro, de estruturas dúcteis planares de alto ângulo e rejeitos evidentes, feições tipo pares S-C, no interior de *mega-pods*, indicam movimentação dextral. A este sistema estão associadas as Zonas de Cisalhamento Figueira, Espírito Santo e Agudos Grandes. A direção dúctil N70E, de alto ângulo, está associada à Zona de Cisalhamento Ribeira, dextral. A configuração destas estruturas caracteriza um sistema de cisalhamento cujos planos-S, de máximo achatamento, encontram-se a N30E, estando a direção de máximo encurtamento paralela aos planos-T de tração, a N60W. Para tal arranjo geométrico, a direção N70E (Zona de Cisalhamento Ribeira) corresponde aos planos-C de cisalhamento simples lateral direito. As direções N50E, também destacadas na imagem aeromagnetométrica, devem representar a torção dúctil das estruturas N30E, relacionadas para fora do campo transpressivo, pela progressão da deformação.

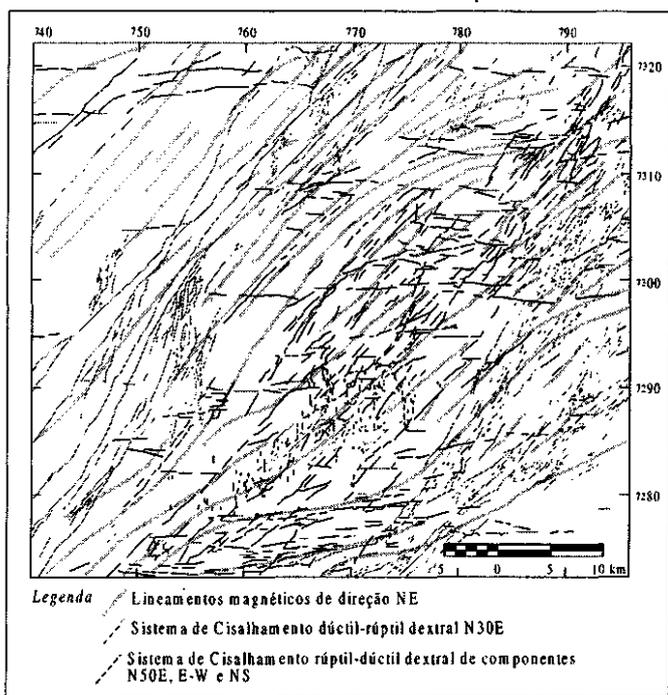


Figura 2 - Resultados da fotointerpretação de imagem aeromagnética e de imagens digitais do satélite LANDSAT-TM5 realizadas com filtro direcional.

O segundo sistema, de desenvolvimento tardio e sob condições menos plásticas que o anterior, desenvolve estruturas planares segundo duas componentes principais, rúpteis, nas direções E-W e N50E. Este sistema ocorre na região central da área e afeta principalmente o Batolito Agudos Grandes. A ele associa-se a extensa falha E-W, no norte do corpo granitóide, interpretada anteriormente como continuação da Zona de Cisalhamento Agudos Grandes. A distribuição espacial dos elementos estruturais fotointerpretados deste arranjo rúptil coincidem, entretanto, dentro do sistema de Riedel, com o sistema principal de cisalhamento descrito anteriormente, estando a direção E-W compatível com as falhas sintéticas-P. Assim, esse segundo sistema deve refletir um estágio crustal mais alto, tardio, do "Sistema Ribeira", ainda dentro do mesmo campo de esforços.

Dados geoquímicos Utilizou-se dados de geoquímica de sedimentos de corrente e concentrados de baleia (apenas para o elemento Au), dos Projetos SUDELPA (Addas & Vinha 1975, Morgental *et al.* 1975a, b), Geoquímica no Vale do Ribeira (Morgental *et al.* 1978), e Serra do Jabaquara (Alegri *et al.* 1980, Silva 1982), os dois primeiros de cunho regional. Os dados dos projetos Geoquímica Regional das Folhas Guapiara, Iporanga, Gruta do Diabo, Araçaiba, Barra do Chapéu e Seleção e Priorização de Alvos de Geoquímica Regional (IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas - 1983, 1985) também foram utilizados e cobrem duas áreas localizadas a sudoeste e noroeste da área de estudo. Para tratamento dos dados foram traçadas as bacias de captação correspondentes a cada amostra analisada, que foram separadas em três populações definidas pelos domínios litológicos que drenam:

rochas graníticas, metassedimentos terrígenos e rochas metacalcárias. A avaliação estatística a que estes dados foram submetidos foi do tipo univariado, na definição do *background*, limiar e anomalia de cada elemento para cada população. Foram definidos como anômalos teores acima do percentil de 95%. As labels com os valores dos teores anômalos podem ser encontradas em Perrotta (1996).

ENTRADA DOS DADOS Os dados vetoriais tais como contatos litológicos, bacias de captação, traços estruturais (inclusive os resultantes dos dados de imagens aeromagnéticas e de satélite), foram digitalizados gerando arquivos vetoriais de polígonos ou de linhas. As tabelas de ocorrências minerais e dados geoquímicos foram introduzidas no formato *ASCII* e as grades aerogeofísicas foram transformadas em arquivos de formato matricial com 256 classes.

Definidos os parâmetros geográficos da área de estudo no *SPANS-GIS*, os dados são incorporados através da transformação no formato binário compatível com esse SIG. Para os dados matriciais esta transformação é feita com base numa estrutura do tipo *quad-tree* (Ebdon 1992), cuja resolução é definida por $A / 4^n$ onde A é a área total e n é o fator *quad-tree*, um número inteiro entre 1 e 15 definido pelo usuário. No presente estudo utilizou-se um fator *quad-tree* 12, que corresponde a uma resolução de aproximadamente 167 m. Os dados vetoriais de polígonos são transformados em mapas, com esta resolução, num processo de varredura de polígonos. Dados vetoriais lineares geram mapas de isodistâncias (ou corredores) a partir dos traços estruturais. Para facilitar a discriminação dos padrões radiométricos distintos as imagens gamaespectrométricas de 256 classes foram reclassificadas linearmente para 26 classes.

Os mapas de anomalias geoquímicas em sedimentos de corrente para cada elemento contêm, além das bacias anômalas, a área total de cobertura dos levantamentos. Na construção destes mapas, no caso de conflitos de resultados para elementos analisados nos dois projetos regionais, Sudelpa e Geoquímica no Vale do Ribeira, deu-se prioridade aos resultados do segundo, que conta com análises mais precisas por absorção atômica. Como vastas bacias amostradas em escala regional pela CPRM podem congregam várias bacias menos extensas amostradas em escala de semidetalhe pelo IPT, considerou-se como anomalias, no caso deste tipo de coincidência, somente as áreas menores.

MAPEAMENTO DO POTENCIAL AURÍFERO DA ÁREA DE ESTUDO

Hipóteses de trabalho O potencial aurífero da região de estudo foi estimado segundo dois modelos de análise: indexação de níveis de informação e pesos de evidência. O primeiro, com caráter de adição linear ponderada das evidências, solicita uma avaliação subjetiva dos pesos atribuídos a cada uma delas, considerando-se sua importância com relação ao objetivo pretendido. O Modelo dos Pesos de Evidência, desenvolvido pelo Dr. G. Bonham-Carter e colaboradores (Bonham-Carter *et al.* 1988, 1989, Agterberg & Bonham-Carter 1990), tem caráter mais objetivo e é definido por estes autores como "dirigido pelos dados", isto é, não envolve a escolha subjetiva de pesos, que são determinados pela correlação estatística dos depósitos conhecidos com as evidências. Na região estudada, não há um modelo genético preciso para as mineralizações auríferas, mas em contrapartida um modelo prospectivo vem sendo utilizado na condução dos trabalhos de pesquisa. Com base na coleção de dados e trabalhos anteriores na área, uma série de hipóteses foram levantadas:

- A Unidade Piririca representa o principal metalotecto estratigráfico do ouro na região, sendo que as subvulcânicas basaníticas desta sequência constituíram a principal área-fonte deste metal. Correspondem também à unidade mais francamente mineralizada.
- Apesar de provável gênese do ouro associada à mobilização de soluções mineralizantes produzidas na devolatilização metamórfica da pilha metavulcano-sedimentar, é provável que a principal época de concentração aurífera tenha sido contemporânea não ao evento metamórfico regional, mas sim à evolução do Sistema de Cisalhamento Ribeira em conjunto com o estabelecimento de um alto gradiente geotérmico quando da colocação do Granitóide Agudos Grandes.
- As zonas de cisalhamento dúctil-rúpteis que atuaram nos processos de lixiviação da pilha metassedimentar e canalização dos fluidos mineralizantes têm suas estruturas planares principais identificadas em mapa geológico, imagens de satélite e em subsuperfície na imagem aeromagnética.
- Assinaturas radiométricas da unidade mineralizada e dos depósitos

podem ser definidas através da correlação dos mapas aerogamaespectrométricos com o mapa litológico e com a tabela de ocorrências de ouro.

- Anomalias de arsênio e prata em sedimento de corrente devem representar as melhores correlações com os depósitos, já que o ouro associa-se à arsenopirita nos veios, a prata é um elemento de comportamento similar ao ouro nos processos de solubilização e mobilização. Anomalias de chumbo podem refletir a incorporação de fluidos magmáticos à solução mineralizante.
- Anomalias de cromo e níquel podem ser indicativas da presença de rochas basaníticas ultrabásicas na região.
- Anomalias de ferro podem identificar rochas enriquecidas neste elemento, potenciais hospedeiras de mineralizações auríferas.

Modelo da indexação de níveis de informação Este método baseia-se na organização dos dados em mapas temáticos de favorabilidade, ou submodelos, hierarquicamente organizado em classes que representam a variação do dado, segundo sua potencialidade para conter mineralizações. Eles vão ser combinados num modelo final, de forma ponderada, de acordo com a importância, confiabilidade e distribuição espacial do dado original. Como o modelo de previsão refere-se a um controle litológico e estratigráfico baseado em sequências metavulcano-sedimentares proterozóicas, foram excluídas da modelagem as unidades correspondentes aos depósitos aluviais quaternários, as rochas básicas e alcalinas mesozóicas, os granitóides sin a pós-orogênicos e os granito-gnaisses paleoproterozóicos. A reclassificação das unidades restantes para a classe 1 gerou o mapa de corte (de caráter *booleano*), mapa-base da modelagem. Para construção dos submodelos, os diversos mapas que compõem a área de estudo são correlacionados estatisticamente com a tabela de ocorrências de ouro primário, definindo-se as classes que contém maior número de ocorrências, o que fornecerá subsídios para estabelecer-se a hierarquia dos mapas e classes originais. Nesta análise leva-se em consideração a densidade de depósitos, que é proporcional à área da classe.

SUBMODELO LITOLÓGICO O mapa geológico foi simplificado, gerando-se um mapa de 5 classes de favorabilidade crescente que incluem os seguintes conjuntos:

- classe 1: filitos da Formação Iporanga e das unidades Rubuquara, Nhunguara e Ribeirão das Pedras e filitos e metassiltitos indiferenciados do domínio Votuverava. Esta classe representa unidades onde poucas ocorrências estão presentes mas que, considerando-se a escassez de dados de mapeamento, poderiam conter características litológicas de alguma forma semelhantes às das unidades mineralizadas.
- classe 2: metabásicas, metarenitos ferruginosos e calciofilitos das unidades Ribeirão das Pedras e Nhunguara. Apesar da relativa baixa densidade de ocorrências nestas unidades, estes litotipos são caracteristicamente favoráveis a mineralizações auríferas.
- classe 3: filitos carbonosos e calciofilitos indiferenciados do domínio Votuverava. Além de conter algumas ocorrências conhecidas, podem ser correlates aos filitos carbonosos e calciofilitos mineralizados da Unidade Piririca.
- classe 4: filitos carbonosos e calciofilitos da Unidade Piririca. Estes litotipos ocorrem frequentemente mineralizados.
- classe 5: metabásicas/ultrabásicas da Unidade Piririca, principal metalotecto estratigráfico do ouro na região; metabásicas indiferenciadas do domínio Votuverava, diante da possibilidade de sua correlação com as da Unidade Piririca.

Na composição do submodelo litológico foi ainda incluída na classe 1 a área de possível enclave metavulcano-sedimentar no interior do Batolito Agudos Grandes, delimitado através dos dados gamaespectrométricos (Perrotta 1996). Os dados de aerogamaespectrometria foram também avaliados no sentido de estabelecer um padrão radiométrico dos litotipos da Unidade Piririca com o intuito de delimitar em áreas deficientes em dados geológicos, possíveis sequências similares a esta. As análises do tipo tabulação cruzada de área, que revelam as áreas de interseção entre as várias classes de dois mapas, mostraram razoável correlação da Unidade Piririca com o intervalo de classes de valores entre 0,044 e 0,132 no padrão radiométrico da razão U/K. Com base nesta evidência, construiu-se um mapa de apenas uma classe, englobando este intervalo do tema razão U/K. Este mapa foi combinado com o mapa de favorabilidade inicial de forma que as áreas da classe

1 (que representa escassez de dados) coincidentes com o padrão radiométrico estabelecido passaram para a classe 2.

A hipótese das sequências metabásicas/ultrabásicas da Unidade Piririca constituírem a principal área-fonte do ouro, gerando fluidos mineralizantes que percolam a pilha metavulcânica/metassedimentar, conduziu à análise da proximidade das ocorrências conhecidas em relação ao contato com as rochas metabásicas. Nesta análise verificou-se que 59% das ocorrências posicionam-se em uma distância de até 1000m das rochas metabásicas e dentre estas 60% estão em uma distância de até 200m. Este resultado pode refletir a hipótese de relativa pequena proporção volumétrica de fluidos gerados e conseqüente percolação por curtas distâncias a partir da área-fonte. Assim, incluiu-se no submodelo litológico as áreas distantes até 200 m do contato com as rochas metabásicas, de forma a somar o valor 1 a todas as áreas das classes anteriores que com elas coincidiam, inclusive às áreas antes hierarquizadas na classe 0. Na figura 3 apresenta-se o submodelo litológico final utilizado na modelagem por indexação de níveis de informação.

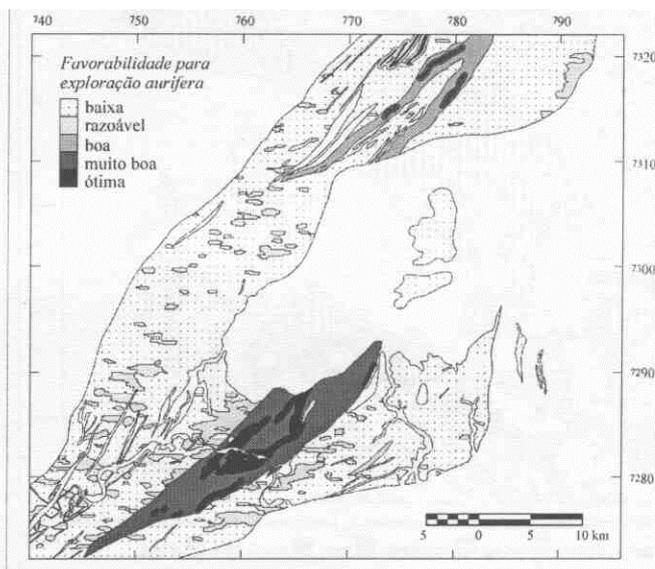


Figura 3 - Mapa temático de litologias utilizado na modelagem por indexação de níveis de informação.

SUBMODELO GEOQUÍMICO Foram selecionadas como muito correlacionadas com as mineralizações as anomalias geoquímicas de prata, arsênio e chumbo e como razoavelmente correlacionadas as de níquel, cobre e cromo. As anomalias de ouro, apesar de fracamente correlacionadas com as ocorrências conhecidas, fornecem uma evidência importante que não deve ser descartada, mas foi considerada com restrições na análise, já que devido a reduzida distribuição da amostragem, as áreas das bacias resultaram muito extensas. As anomalias de ferro não mostraram correlação e foram descartadas. Os mapas selecionados foram combinados através de adições sucessivas, de modo a reconhecer-se no produto final os elementos combinados. Para tal, de cada mapa de anomalia geoquímica foram consideradas apenas as áreas anômalas e a cada um foi atribuído um peso segundo uma potência inteira de dois, mais alto quanto maior a correlação com as ocorrências, de forma que na somatória final cada possibilidade de combinação resultou num único valor de classe. Ao final, das 127 classes possíveis muitas combinações estavam ausentes e o mapa gerado contém 44 classes.

A reclassificação deste mapa resultou no mapa de favorabilidade geoquímica, com 5 classes, segundo a tabela 1.

Tabela 1 - Tabela de reclassificação do mapa final da somatória das anomalias geoquímicas, em ordem crescente de favorabilidade. * As combinações de elementos não citadas estavam ausentes na somatória final.

classe	combinações de elementos*
0	Ni, Cu, Cu+Ni, Cr, Cr+Ni, Au, Au+Ni, Au+Cu, Au+Cu+Ni, Au+Cr, Au+Cr+Ni.
1	Cr+Cu+Ni, Pb, Pb+Ni, Pb+Cu, Pb+Cu+Ni, Pb+Cr, Pb+Cr+Cu, Au+Pb, Au+Pb+Ni, Au+Pb+Cu.
2	As, As+Ni, As+Cu, As+Cu+Ni, As+Cr, As+Cr+Cu, Au+Pb+Cu+Ni.
3	As+Pb, As+Pb+Ni, As+Pb+Cu, Au+As.
4	As+Pb+Cu+Ni, As+Pb+Cr+Cu+Ni, Ag, Ag+Cu, Ag+Pb, Ag+Pb+Cu, Au+As+Pb+Cu+Ni.
5	Ag+As+Cu, Ag+As+Cr+Cu, Ag+As+Pb, Ag+As+Pb+Ni, Ag+As+Pb+Cr+Cu+Ni.

Uma das críticas à modelagem por indexação de níveis de informação decorre do fato desta não avaliar as áreas onde os dados estão ausentes (Bonham-Carter 1994), o que se refere principalmente às evidências geoquímicas, já que a amostragem das bacias de captação no geral não cobre a totalidade da área estudada. Tentou-se amenizar este problema incluindo-se duas classes no submodelo geoquímico, hierarquicamente inferiores às classes válidas já estabelecidas: a classe 1, que corresponde às bacias de captação não amostradas em um dos levantamentos geoquímicos (considerando-se que nem todos os elementos foram analisados nos quatro projetos principais utilizados); e a classe 2, que engloba as áreas não amostradas em qualquer dos levantamentos. Dessa forma, na modelagem final, as áreas sem amostragem geoquímica também recebem pesos, distinguindo-se das áreas desfavoráveis da classe 0. O submodelo geoquímico final consta então de 7 classes de favorabilidade crescente e é mostrado na figura 4.

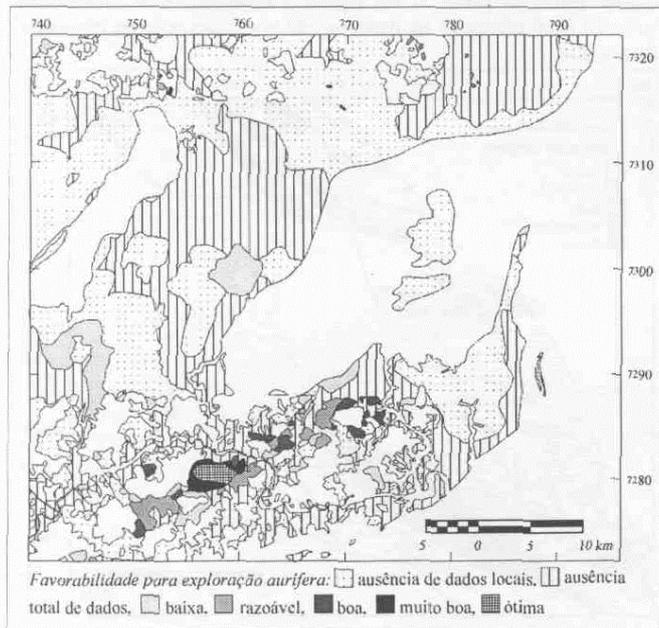


Figura 4 - Mapa temático de anomalias geoquímicas em sedimentos de corrente por bacia de captação, utilizado na modelagem por indexação de níveis de informação.

SUBMODELO ESTRUTURAL Para construção deste submodelo foram analisados os mapas de isodistâncias (corredores) gerados a partir dos vetores de zonas de cisalhamento transcorrentes e falhas normais mapeadas; de lineamentos rúptil-dúcteis E-W e N45-50E e de fraturas NS fotointerpretadas; e de lineamentos magnéticos de direção NE.

Devido a continuidade das estruturas rúpteis N45-50E do Sistema de Cisalhamento Ribeira em direção a Unidade Piririca, a associação destas estruturas com um evento magmático importante, e a coincidência com a orientação de parte dos veios mineralizados, sugere-se que o controle estrutural das mineralizações auríferas da região esteve, pelo menos em parte, a elas associado. Porém, verifica-se que apenas 42% das ocorrências conhecidas correlacionam-se com as distâncias até 500 m dos lineamentos rúpteis EW e N45-50E, apesar da sua vasta distribuição areal. Destas, 75% concentram-se no intervalo de 0 a 300 m e, principalmente, no intervalo de 200 a 300 m (35%), talvez relacionadas a estruturas menores, secundárias do sistema. Por outro lado observa-se forte correlação das ocorrências com fraturas pouco extensas, de direção NS, que parecem desenvolver-se no interior de *mega-pods*, delimitados pelas estruturas N45-50E. A esta evidência, de restrita distribuição areal, se associam 46% das ocorrências conhecidas. Destas, 94% encontram-se a uma distância de até 400 m das fraturas. Possivelmente ainda correlacionada com este sistema, segundo componente extensiva, as falhas normais mapeadas tem 23% das ocorrências concentradas até uma distância de 600 m, um valor alto considerando-se a sua distribuição espacial. Algumas ocorrências, no entanto, não revelam qualquer correlação com estruturas rúpteis fotointerpretadas ou mapeadas deste sistema e sua correlação com as componentes N30E dúctil-rúpteis também não é evidente.

A análise dos lineamentos magnéticos de direção NE, interpretados a partir da imagem de magnetometria, mostra sua coincidência com a orientação estrutural definida pelas componentes rúptil-dúcteis do Sistema Ribeira. Os lineamentos magnéticos sugerem uma possível mobilização de ferro nas soluções que percolaram zonas de fratura, o que coincide com a presença de pirita como principal mineral de ganga nas mineralizações. Podem indicar também a presença de lentes alongadas de rochas de filiação básica. Mas, parte destes lineamentos, reflexo de feições menos superficiais, não encontra correspondência nas zonas de cisalhamento ou lentes básicas mapeadas. Assim, decidiu-se incluir a evidência magnética no submodelo estrutural, no sentido de fornecer subsídios para que possíveis dutos de fluidos mineralizantes, ou lentes básicas não aflorantes, contribuam no modelo final. Do total de ocorrências, 58% distribuem-se em uma distância de até 700 m dos lineamentos magnéticos, principalmente no intervalo de 600 a 700 m. Apesar da significativa expressão espacial que decorre desta correlação, optou-se pela não restrição da evidência, já que reflete possível comportamento em subsuperfície das feições estruturais. Considerando-se estas correlações, os fatores estruturais foram combinados segundo a hierarquia de classificação exposta na tabela 2, gerando-se o submodelo estrutural da figura 5.

classe	evidência (proximidade)
1	até 200 m de lineamento rúptil-dúctil ENE
1	até 600 m de lineamento magnético NE
2	de 200 a 300 m de lineamento rúptil-dúctil ENE
2	de 600 a 700 m de lineamento magnético NE
3	até 600 m de falha oblíqua distensiva NE
3	até 400 m de fratura NS

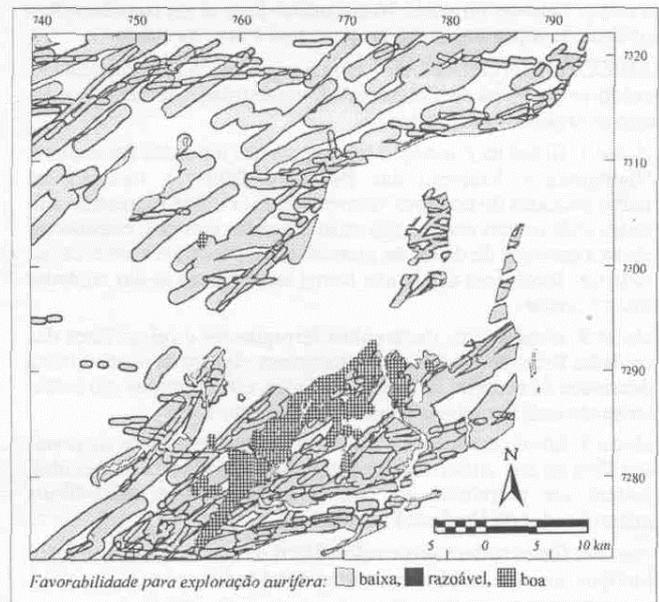


Tabela 2 - Hierarquia das evidências no submodelo estrutural, classes segundo ordem crescente de favorabilidade.

Figura 5 - Mapa temático de proximidades a estruturas favoráveis a exploração aurífera, utilizado na modelagem por indexação de níveis de informação.

INDEXAÇÃO DOS SUBMODELOS No caso da indexação de mapas multiclasses, cada um recebe um peso, segundo a importância da evidência que representa, da mesma forma que cada classe neles presente. No SPANS-GIS a atribuição dos pesos é feita diretamente numa matriz de indexação (no formato ASCII), construída a partir da seleção dos mapas a serem combinados e editada segundo os valores de pesos desejados. A média dos pesos obtida numa determinada localidade é definida pela equação (1):

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n S_{ij} W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (1)$$

onde S é o peso ponderado obtido para um objeto de área (célula), W_i representa o peso atribuído a cada mapa i, e S_{ij} é o peso para a classe j do mapa i, que ocorre numa determinada localidade. Os pesos podem ser escolhidos na forma de números positivos inteiros ou reais, respeitando-se uma variação compatível entre mapas (tabela 3). A concepção desta matriz foi definida respeitando-se a seguinte hierarquia entre os submodelos: geoquímico, litológico e estrutural, segundo a ordem de importância crescente das evidências. Mas, devido às incertezas inerentes a cada uma delas, os pesos foram distribuídos entre os mapas e suas classes de forma a não haver uma forte predominância de nenhuma. No submodelo geoquímico, por exemplo, além de significativa proporção da área corresponder às classes de dados ausentes, parte das regiões levantadas não dispõe de dados de arsênio e prata, importantes farejadores do ouro. Um peso muito elevado para as áreas anômalas nestes elementos restringiria a favorabilidade das áreas que não contam com estes dados mas onde somam-se as outras evidências.

Submodelo Geoquímico - Peso 5			Submodelo Litológico - Peso 4			Submodelo Estrutural - Peso 3		
classe	peso	total	classe	peso	total	classe	peso	total
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	2	10	1	7	28	1	4	12
2	3	15	2	15	60	2	8	24
3	6	30	3	18	72	3	16	48
4	12	60	4	20	80			
5	15	75	5	23	88			
6	16	80						
7	17	85						

Tabela 3- Matriz de Indexação elaborada para utilização na modelagem por indexação de níveis de informação.

O submodelo litológico é prejudicado pela qualidade heterogênea dos dados de mapeamento, implicando numa incerteza das unidades presentes nas áreas menos acessíveis. Estas áreas devem contar com valor de peso suficiente para que outras evidências indiretas possam reconhecer nelas possíveis unidades favoráveis. O submodelo estrutural, aferido principalmente por métodos indiretos, pode acumular erros de precisão e mesmo de interpretação. Este submodelo recebeu peso mais significativo na sua classe de maior correlação com as ocorrências conhecidas enquanto que às demais foram atribuídos pesos que fizeram a distinção entre as áreas afetadas ou não pelo sistema estrutural condicionante da mineralização.

O mapa produzido através desse procedimento foi posteriormente reclassificado de forma a discriminar apenas as classes de maior índice de favorabilidade (figura 6). O índice de corte escolhido representa valores da somatória total no intervalo entre 103 e 114, isto é, com valor mínimo superior ao valor máximo representado pela evidência de maior peso isoladamente (classe 5 do submodelo litológico), ou mesmo dela combinada com a classe 1 de qualquer dos outros dois submodelos. Das 76 ocorrências de ouro distribuídas na área modelada através deste método, 64 (ou 84%) encontram-se em algumas das classes de maior favorabilidade representadas no mapa da figura 6.

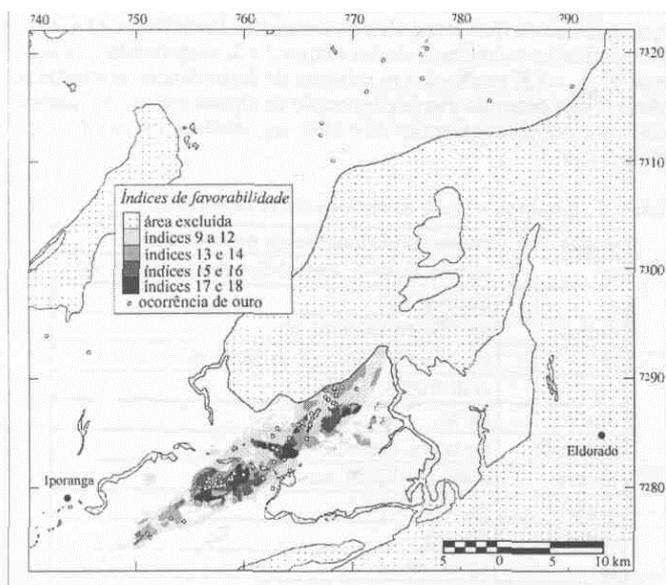


Figura 6 - Potencial aurífero estimado pelo modelo de indexação de níveis de informação, índices em ordem crescente de favorabilidade para exploração aurífera.

Método dos pesos de evidência Neste método a combinação da coleção de dados, organizados na forma de mapas, é feita utilizando-se uma estrutura de probabilidades, segundo a regra de Bayes, como descrito em Bonham-Carter *et al.* (1988) e Bonham-Carter (1994). As probabilidades são medidas através de proporções entre as áreas dos mapas de evidência e as das ocorrências. A unidade de área corresponde a uma célula, que deve ser suficientemente pequena para representar uma ocorrência. Este modelo, ao contrário do anterior, dirigido pelo conhecimento, pode ser definido como dirigido pelos dados, o que, na prática, representa maior objetividade, já que evita a escolha subjetiva de pesos e evidências favoráveis. A regra de Bayes envolve principalmente os conceitos de probabilidades *prévia* e *posterior*. Por exemplo, supondo-se uma área selecionada para análise que perfaz um total N {T} = 100 células, e destas apresentam depósitos N {D} = 20, a densidade média de depósitos conhecidos é N {D}/N {T} = 0,2, que é a probabilidade de uma célula, escolhida ao acaso, conter um depósito. Esta razão pode ser considerada como a probabilidade prévia, P {D}, de existir depósito nesta área. Esta estimativa prévia pode ser modificada por outras fontes de informação. Se, por exemplo, os depósitos estão condicionados a uma determinada litologia, a probabilidade prévia pode ser atualizada pela multiplicação por um fator que represente a presença ou a ausência desta litologia:

$$P\{\text{depósito}|litologia\} = P\{\text{depósito}\} \times \text{fator litologia}$$

onde P {depósito|litologia} é a probabilidade *posterior* de depósito.

O fator litologia será maior que 1, caso a litologia favorável esteja presente, aumentando a probabilidade prévia, e menor que 1 no caso de ausência, diminuindo a probabilidade prévia.

Sem se ater às manipulações algébricas que envolvem a aplicação da regra de Bayes no método dos pesos de evidência (ver detalhes em Bonham-Carter 1994), simplificada a noção de probabilidade posterior de depósito pode ser assim introduzida: supondo-se que um mapa binário de evidência E represente as litologias favoráveis na classe 1, e na classe 0 as demais litologias, a probabilidade posterior de depósito dada a presença da evidência é dada pela equação (2):

$$P\{D|E_1\} = P\{D\} \cdot \frac{P\{E_1|D\}}{P\{E_1\}} \quad (2)$$

onde P {D|E₁} é a probabilidade posterior de depósito dada a presença da evidência E₁, P {D} é a probabilidade prévia de depósito e P {E₁|D}/P {E₁} é a probabilidade de presença da evidência E₁ dada a presença de depósito sobre a probabilidade de presença da evidência E₁. Considerando-se a presença de um segundo mapa binário de evidência E₂, retratando anomalias geoquímicas favoráveis à mineralização, a probabilidade de se encontrar um depósito, dada a presença dos dois padrões binários, pode ser escrita segundo a equação (3), se ambas as evidências são condicionalmente independentes, isto é, se a anomalia geoquímica não estiver refletindo exatamente a presença da unidade litológica. Similarmente outros mapas de evidência podem ser incluídos.

$$P\{D|E_1 \cap E_2\} = P\{D\} \cdot \frac{P\{E_1|D\}}{P\{E_1\}} \cdot \frac{P\{E_2|D\}}{P\{E_2\}} \quad (3)$$

onde logit {D|E} é o logaritmo natural da chance condicional (*posterior*) de D dada a presença de E, logit {D} é o logaritmo natural da chance (prévia) de D e W_i peso positivo da evidência, é o logaritmo natural de P {E_i|D}/P {E_i}, razão da probabilidade da presença da evidência E dada a presença de depósito sobre a probabilidade da pre-

$$P\{D\} / (1 - P\{D\}), \text{ ou } P\{D\} / P\{\bar{D}\}$$

O modelo de pesos de evidência usa ainda o logaritmo natural de chances, chegando-se à equação (4):

$$\text{logit}\{D|E_1\} = \text{logit}\{D\} + W_1^+ \quad (4)$$

sença da evidência E dada a ausência de depósito, e pode ser calculado diretamente dos dados através da equação (5),

$$P\{E_i|D\} = \frac{P\{E_i \cap D\}}{P\{D\}} = \frac{N\{E_i \cap D\}}{N\{T\}} \cdot \frac{N\{T\}}{N\{D\}} = \frac{N\{E_i \cap D\}}{N\{D\}}, \quad (5)$$

onde $P\{E_i|D\}$ é a proporção da área ocupada conjuntamente por depósitos e pelo padrão E_i , $N\{E_i \cap D\}$ é o número de células em que ocorrem tanto a evidência como depósito. Similarmente, na equação (6), calcula-se:

$$P\{E_i|\bar{D}\} = \frac{N\{E_i \cap \bar{D}\}}{N\{\bar{D}\}} \quad (6)$$

Uma expressão semelhante a equação (4) é obtida para a probabilidade condicional de D dada a ausência do padrão binário, (E_i), ou (E_i), como mostrado na equação (7):

$$\text{logit}\{D|\bar{E}_i\} = \text{logit}\{D\} + W_i^- \quad (7)$$

onde W_i^- é o logaritmo natural de $P\{E_i|\bar{D}\}/P\{E_i|D\}$, e corresponde ao peso negativo de evidência. Considera-se na equação (8), também a evidência E_i condicionalmente independente de E_j

$$\text{logit}\{D|E_i \cap E_j\} = \text{logit}\{D\} + W_i^- + W_j^+ \quad (8)$$

Neste caso há quatro combinações possíveis relacionadas à presença ou ausência das evidências E_j e E_i . Com a utilização de n mapas haverá 2^n combinações possíveis. A expressão geral para a combinação $i=1, 2, 3, \dots, n$ mapas é dada pela equação (9):

$$\text{logit}\{D|E_1 \cap E_2 \cap E_3 \dots \cap E_n\} = \text{logit}\{D\} + \sum_{i=1}^n W_i^+ \quad (9)$$

Nestas fórmulas gerais W^+ se transforma em W^- , se o padrão do mapa está ausente ao invés de presente. Obtém-se a chance posterior (*postodds*) de depósito pelo exponencial de $\text{logit}\{D|E_1 \cap E_2 \cap E_3 \dots \cap E_n\}$, e o resultado é convertido em termos de probabilidade posterior $P\{D|E_1 \cap E_2 \cap E_3 \dots \cap E_n\}$ através da expressão *postodds* $/(1 + \text{postodds})$.

Na aplicação do método dos pesos de evidência os parâmetros $\text{logit}\{D\}$, W^+ e W^- são calculados diretamente dos dados, mas antes os mapas de evidência devem ser submetidos dois a dois ao teste de independência condicional. Este teste vai diagnosticar se os mapas de evidência são estatisticamente independentes, isto é, dados dois mapas binários de evidência E_i e E_j a probabilidade de E_j estar presente independe de E_i estar ou não presente. Se os dois mapas são condicionalmente independentes com relação ao conjunto dos pontos de depósitos, chega-se à equação (10):

$$P\{E_1 \cap E_2 | D\} = P\{E_1 | D\} \cdot P\{E_2 | D\} \quad (10)$$

que é equivalente a equação (11):

$$N\{E_1 \cap E_2 \cap D\} = \frac{N\{E_1 \cap D\} \cdot N\{E_2 \cap D\}}{N\{D\}} \quad (11)$$

onde $N\{E_i \cap D\}$ é o número de depósitos observadas na área de intersecção entre os padrões E_i e E_j , e a razão $N\{E_i \cap D\} \cdot N\{E_j \cap D\} / N\{D\}$ é o número esperado de depósitos nesta área. Se esta expressão for pelo menos razoavelmente satisfeita, então E_i e E_j devem ser condicionalmente independentes. Nesta avaliação utiliza-se uma tabela de contingência, que expressa as possibilidades de combinação entre a presença e ausência dos padrões E_i e E_j e o teste estatístico *chi-quadrado* (χ^2) (que relaciona os valores esperados e observados), comparado-se os resultados do teste com valores tabelados, a um grau de liberdade. Num nível de probabilidade de 95%, a um grau de liberdade, rejeita-se a hipótese da independência condicional quando χ^2 resultar maior que 3,8.

APLICAÇÃO DO MÉTODO DOS PESOS DE EVIDÊNCIA NO MAPEAMENTO DO POTENCIAL AURÍFERO DA ÁREA DE ESTUDO
Como este método tem caráter mais restritivo, baseando-se estatisticamente nas ocorrências conhecidas, o mapa base da modelagem restringiu-se às unidades litológicas que contêm a maioria das ocorrências auríferas primárias (71). Esta área é de aproximadamente 861,78 km². O tamanho da célula escolhida para os cálculos é de 0,1 km², de forma que a probabilidade prévia é de aproximadamente 0,82%.

Seleção dos mapas de evidência Os mapas de evidência foram selecionados através do método dos pesos de evidência, relacionando-se as ocorrências de ouro primário (71 na área do mapa base) com os

mapas temáticos (multiclasses) de litologia; anomalias geoquímicas de arsênio, chumbo, cobre, cromo, ferro, níquel, prata e ouro; aerogamaespectrometria (razão U/K); proximidade de estruturas favoráveis, de lineamentos magnéticos e do contato com metabásicas (da Unidade Piririca e possíveis correlatas). Para aplicação deste método utilizou-se, além do programa *SPANS-GIS*, programas aplicativos desenvolvidos por G.F. Bonham-Carter e colaboradores, gentilmente cedidos por estes autores.

Na seleção dos mapas de evidência são inicialmente calculados os pesos de evidência W^+ e W^- para cada classe dos mapas temáticos (multiclasses) e o Contraste (C), definido como a diferença entre W^+ e W^- . O Contraste (C) vai resultar positivo e maior que 1 quando a evidência possuir forte correlação positiva com os depósitos e negativo no caso de correlação negativa. Por outro lado, quando a evidência tiver pouca ou nenhuma correlação com os depósitos, $W^+ + W^- = 0$, e o contraste resulta próximo a zero. Neste caso a evidência deve ser descartada. Para análise de mapas de isodistâncias os pesos W^+ e W^- são medidos cumulativamente a partir da classe mais próxima da estrutura linear ou contato e como classe de corte considera-se aquela em que o contraste (C) atinge o valor máximo. Para análise das evidências geoquímicas foram utilizados os mapas de bacias anômalas para cada elemento mas considerando as classes "anomalia presente", "anomalia ausente" (onde o elemento foi analisado mas não é anômalo) e "dados ausentes" (áreas em que não se dispõe de dados). Os resultados positivos destas análises, isto é, as classes que mostraram correlação positiva com as ocorrências, para todos os mapas avaliados, estão expostos na tabela 4.

Tabela 4 - Pesos de evidência, calculados para os diversos mapas, que indicaram correlação positiva com as ocorrências.

classe	área	pontos	W ⁺	W ⁻	C
filito carbonoso Piririca	986	41	1,6524	-0,7442	2,3966
calciofilito Piririca	59	14	3,6164	-0,2143	3,8307
metabásica Piririca	83	7	2,3977	-0,0948	2,4925
metabásica do domínio Votuverava	41	1	1,0993	-0,0095	1,1087
distância até 100 m de metabásica	176	19	2,6767	-0,2929	2,9695
anomalia As presente	414	35	2,4069	-0,6337	3,0407
anomalia Pb presente	527	40	2,2896	-0,7699	3,0596
anomalia Cu presente	631	30	1,7930	-0,4762	2,2692
anomalia Cr presente	170	9	1,9061	-0,1165	2,0227
anomalia Ni presente	621	18	1,2785	-0,2192	1,4977
anomalia Ag presente	105	24	3,5634	-0,4029	3,9663
distância até 600 m de falha normal	272	16	2,0151	-0,2248	2,2399
distância até 400 m de fratura NS	683	32	1,7773	-0,5198	2,2972
razão U/K: 0,105 - 0,118	272	6	0,9978	-0,0566	1,0544
razão U/K: 0,135 - 0,151	1151	21	0,8049	-0,2088	1,0137

Com base nos resultados da tabela 4 os seguintes mapas binários foram produzidos: *filicarb*, *calciofil*, *basic* (que combina as unidades metabásicas), *distbas*, *as*, *pb*, *eu*, *cr*, *ni*, *ag*, *distfnonn*, *disfratNS*, e *uk* (que combina os dois intervalos de anomalias favoráveis). O teste de independência condicional destes mapas 2 a 2, respeitando-se o limite de $\chi^2_{95} = 3,8$, mostraram as relações de dependência mostradas na tabela 5, que determinaram a eliminação de alguns mapas, já representados por outras evidências. São eles: *ag*, *distbas*, *cr*, *eu*, *distfnor*, *filicarb* e *pb*.

Tabela 5 - Resultado do teste de independência condicional.

mapas	mapas condicionalmente dependentes
ag	distbas, distfnor, disfratNS, calciofil, ni, pb, uk
as	distfnor, pb
distbas	ag, filicarb, calciofil, pb
cr	cu, disfratNS, filicarb, calciofil, ni
cu	cr, disfratNS, ni, pb
distfnor	ag, as,
disfratNS	ag, cr, cu, distfnor
filicarb	distbas, calciofil, metabas
calciofil	ag, distbas, pb
metabas	filicarb
ni	ag, cr, cu
pb	ag, as, distbas, cu, metabas, ni
uk	ag

Mapa do potencial aurífero estimado por pesos de evidência O próximo passo é a combinação dos mapas de evidência selecionados para construção do mapa da probabilidade posterior de depósito. Na prática a aplicação da equação 9 significa uma adição do mapa base, cuja única classe tem o valor de $\logit(D)$, com os mapas de evidência, que contém apenas duas classes 1 e 2, às quais vão ser atribuídos os valores W^- e W^+ respectivamente. Os mapas de anomalias geoquímicas contém também a classe 0, que representa a ausência de dados, e a ela vai ser atribuído o valor 0 ao invés de W^- . Operações aritméticas simples convertem em probabilidade posterior os valores obtidos de $\logit(D \cap E_1 \cap E_2 \cap E_3 \dots E_{13})$. O mapa final é gerado segundo um esquema de classificação dos valores de probabilidade posterior por *quantiles* (20 níveis).

No mapeamento do potencial mineral de uma área, onde assume-se a probabilidade prévia como a média da densidade de depósitos pontuais conhecidos, um último teste pode ser aplicado na determinação do número total de depósitos pontuais previstos, através da equação (12):

$$N\{D\}_{calc} = \sum_{k=1}^m P_k \cdot N\{A\}_k \quad (12)$$

onde $N\{D\}$ é o número de depósitos previstos, determinado pela somatória dos produtos das áreas em unidades de célula $N\{A\}$ pela probabilidade posterior P de todos as classes ($k=1,2,3,\dots,m$) do mapa.

Segundo Bonham-Carter (1994), se o total de depósitos previstos é muito maior que 10% do número de depósitos observados, é possível que a independência condicional esteja sendo violada e novos procedimentos como eliminação de mapas ou combinações entre mapas dependentes devem ser desenvolvidos na resolução deste problema. No caso do mapa produzido este número resultou em 112,48, e portanto 58% maior que o número de ocorrências conhecidas (71). Este resultado deve decorrer das inter-relações entre as evidências geológicas que são, no geral, intimamente associadas. É muito comum que as anomalias geoquímicas relacionem-se às litologias e estas por sua vez disponham-se segundo a estruturação regional, que comumente controla a percolação de fluidos mineralizantes no caso de depósitos epigenéticos. Fechando este círculo de dependência, a gamaespectrometria pode apresentar correlações com todos os padrões anteriores. Assim, apesar do resultado do teste de independência condicional mostrar valores bem abaixo dos limites tolerados de χ^2 , o número de depósitos previstos resultou exagerado, indicando ainda dependência entre estes mapas. Numa análise mais detalhada dos mapas de evidência, e de seus respectivos pesos, verificou-se que em áreas relativamente extensas a coincidência de padrões muito favoráveis resultavam em somatórias de peso positivo W^+ elevadas. Procedeu-se então com a restrição espacial das evidências *disfratNS*, *as* e *ni*. No caso do mapa de fraturas NS, foi construído um novo mapa (*disfratb*), em que a evidência restringiu-se à classe 2 (ou 200 m a partir das fraturas). Além de um peso W^+ menos elevado este mapa tem sua área de evidência restringida em aproximadamente 50%. Já os mapas *as* e *ni* foram combinados no mapa *niquasb*, com peso W^+ da evidência positiva intermediário entre o dos dois padrões isolados. O novo mapa de probabilidades posteriores elaborado envolveu portanto os mapas: *disfratb*, *calciofil*, *metabas*, *niquasb* e *uk*, não dependentes, e o número de depósitos previstos reduziu-se a aproximadamente 76 ou 7% a mais que as ocorrências conhecidas, validando a nova estimativa. Os resultados finais de W^+ , W^- e C estão na tabela 6.

Em vista da probabilidade prévia de 0,00824 o mapa gerado foi reclassificado para conter apenas as classes com probabilidades posteriores acima desse limiar (figura 7). Das 71 ocorrências observadas nesta área de modelagem, 52 (ou 73%) coincidem com algum dos padrões do mapa da figura 7.

Tabela 6 - Pesos de evidência utilizados na estimativa do potencial aurífero da área.

padrão	W^+	W^-	C
disfratb	1,413	-0,130	1,542
calciofil	3,616	-0,214	3,831
metabas	2,398	-0,095	2,493
niquasb	1,797	-1,146	2,943
ukb	0,845	-0,300	1,145

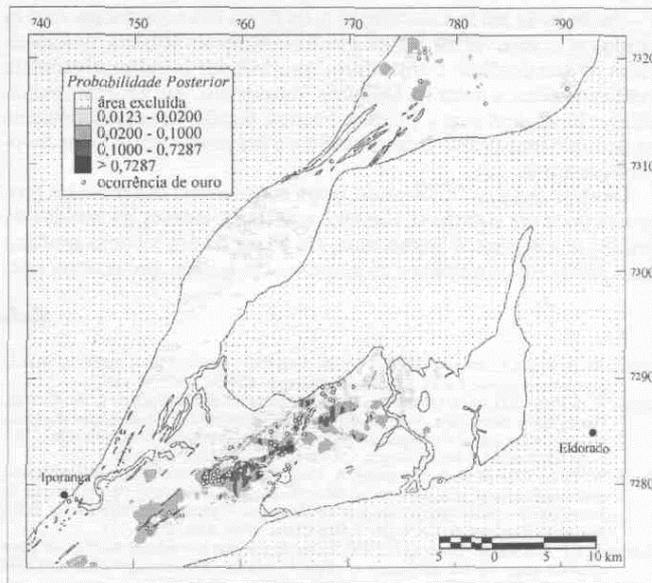


Figura 7 - Potencial aurífero estimado pelo modelo dos pesos de evidência.

COMPARAÇÃO DOS MODELOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS Os resultados obtidos mostraram uma razoável coincidência entre os dois tipos de modelos previsionais. Esta correlação positiva indica a coerência dos pesos atribuídos aos submodelos indexados, o que constitui uma vantagem na aplicação deste método, de implementação computacional muito mais simples e possível em qualquer SIG. Como este método está vinculado a modelos empíricos subjetivos, e utiliza o conhecimento dos processos envolvidos na estimativa da importância relativa das evidências, a presença de depósitos fornece mais um fator de embasamento para a ponderação, mas não é uma condição necessária para sua aplicação.

Por outro lado, a modelagem por pesos de evidência, dado seu caráter objetivo fornece mais segurança ao pesquisador, mas só é aplicável em regiões onde um significativo número de ocorrências é conhecido. Na região estudada, apesar de um número suficientemente grande de ocorrências conhecidas, estas mostram-se muito concentradas na área de afloramento da Unidade Piririca, de forma que esta área resultou como a de mais altos valores de probabilidade posterior. Se por um lado este resultado pode decorrer de um problema de amostragem, por outro, um resultado semelhante na modelagem por indexação de níveis de informação (de caráter menos restritivo), pode evidenciar que condições semelhantes a esta faixa (como ambiente paleogeográfico e estruturas condicionantes da mineralização) não se associaram favoravelmente em outras áreas exceto em porções restritas. Como os modelos gerados baseiam-se fortemente nesta densidade de ocorrências, parte delas, que guardam alguma diferença de tipologia, caem em áreas de menor probabilidade ou menos favoráveis (figuras 6 e 7). Mas é interessante salientar que, na sua grande maioria, estas ocorrências não "modeladas" são de pequena importância e em algumas o ouro ocorre apenas como componente menor na assembleia de elementos economicamente exploráveis, dominada por chumbo.

Com relação às hipóteses levantadas na condução da modelagem, verificou-se que as rochas metabásicas/ultrabásicas da Unidade Piririca devem realmente constituir a principal área fonte do ouro na região. Os fluidos mineralizantes, de provável origem na devolatilização metamórfica da pilha metavulcano-sedimentar, foram gerados devido a um aquecimento local e em pequenos volumes, pois apesar da possibilidade de canalização através da rede de estruturas fornecida pelas zonas de cisalhamento, a percolação parece não ter sido muito extensa. Afetou essencialmente as próprias rochas subvulcânicas, causando alteração hidrotermal do tipo carbonatação e as unidades litológicas imediatamente adjacentes, da própria Unidade Piririca que, ricas em CO_2 , constituíram litotipos reativos, favoráveis à deposição aurífera.

A correlação das ocorrências conhecidas com as anomalias geoquímicas confirmou as hipóteses levantadas, exceto no caso do ferro. Este fato deve refletir a distância em que se encontram da área fonte os litotipos enriquecidos neste elemento, que no geral é um importante catalisador nos processos de deposição do ouro.

Verificou-se ainda a correlação mais direta das ocorrências com as estruturas extensivas do Sistema de Cisalhamento Ribeira, desenvolvidas no seu domínio transtensivo. As unidades estratigraficamente indiferenciadas, a norte no Domínio Votuverava, que guardam semelhanças litológicas com a Unidade Piririca, dispõem-se essencialmente no domínio transpressivo deste sistema e mostram apenas áreas favoráveis restritas.

Deve-se ressaltar, finalmente, que a consistência dos modelos propostos pode ser significativamente ampliada, através de estudos de detalhe nos depósitos conhecidos, em busca de um modelo genético mais preciso, e de trabalhos de mapeamento básico, que possam con-

tribuir com a evolução da cartografia geológica da região do Vale do Ribeira.

Agradecimentos À CPRM (Serviço Geológico do Brasil), CA-PÊS (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), ao Geól. Paulo César Pereira Branco pela introdução aos conceitos de sistemas de informações geográficas, ao Prof. Dr. Graeme F. Bonham-Carter pela cessão de programas utilitários e sugestões, aos geólogos Mário Mota Câmara, Claudemir Severiano Vasconcellos, Idio Lopes Júnior e José Motta Filho pela participação na coleta dos dados e discussões sobre a metalogênese do ouro e a dois relatores anônimos da RBG pela revisão do texto e sugestões.

Referências

- Addas W. & Vinha C. A.G.da. 1975. *Projeto Sudelpa: relatório final reconhecimento geoquímico (parte 1 a 3)*. São Paulo: Sudelpa / CPRM, 1975, v. 15/17.
- Addas W. & Pinto G.G. 1979. Os sulfetos de Pb e associados das Regiões do Leite, Piririca, Passagem e Nhungara, Vale do Ribeira (SP): exemplos de detecção de áreas mineralizadas graças à prospeção geoquímica. In: Seminário Brasileiro sobre Técnicas Exploratórias em Geologia; 2, Gravatal, 1979. *Atas*, 161-168.
- Addas W., Pinho Filho W.D.de, Morgental A. 1979. Chumbo e zinco: elementos utilizados como indicadores geoquímicos na descoberta de mineralizações epigenéticas de arsenopirita e pirita (possivelmente auríferas) no Vale do Ribeira (PR). In: SBG, Simpósio Regional de Geologia, 2, Rio Claro, 1979. *Atas*, 2:101-115.
- Agterberg F.P. & Bonham-Carter G.F. 1990. Deriving weights of evidence from geoscience contour maps for the prediction of discrete events: *Proceedings 22nd APCOM Symposium*, Berlin, Technical University of Berlin, 2:381-395.
- Alegri V., Pizzatto L.G., Ferrari C.P., Addas W., Morgental L.A. 1980. *Projeto serra do Jabaquara: relatório de prospeção preliminar*. São Paulo, CPRM, 2 v.
- Algarde J.P. & Hama M. 1984. Projeto mapas metalogenéticos e de previsão de recursos minerais: Folha Itararé (SG.22-X-B), escala 1:250.000. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 33, Rio de Janeiro, 1984. *Anais*, 7:192-193.
- Algarde J.P., Daitx E.C., Cunha H.C.da S., Cavalcante J.C., Yamamoto K., Kaefel L.Q., Chierigati L.A. 1972. *Projeto Sudeste do Estado de São Paulo: Folha Itararé (SG.22-X-B)-mapa geológico*. São Paulo: DNPM/CPRM.
- Algarde J.P., Hama M., Chiodi Filho C., Macedo A.B., Bezerra J.de R. 1986. *Projeto Mapas Metalogenéticos e de Previsão de Recursos Minerais, Folha Itararé, escala 1:250.000*. São Paulo: CPRM, 1986, 2 v.
- Bonham-Carter G.F. 1994. *Geographic Information Systems for geoscientists. Modelling with GIS*. 1 ed. Computer Methods in the Geosciences. vol.13. Ontario, Pergamon Press. 398p.
- Bonham-Carter G.F., Agterberg F.P., Wright D.F. 1988. Integration of geological datasets for gold exploration in Nova Scotia: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54(11):1585-1592.
- Bonham-Carter G.F., Agterberg F.P., Wright D.F. 1989. Weights of evidence modelling: a new approach to mapping mineral potential. In: F.P. Agterberg e G.F. Bonham-Carter (ed.) *Statistical Applications in the Earth Sciences*. Geological Survey of Canada Paper 89-9: 171-183.
- Borin Júnior T. 1983. *Projeto Pilões: relatório de prospeção preliminar*. São Paulo: CPRM.
- Borin Júnior T. & Ferrari C. 1986. *Projeto Pilões. Relatório Final de Pesquisa*. São Paulo. CPRM. 1 v.
- Borin Júnior T., Pinto G.G., Silva A.A.G.P.da, Morgental A., Castro V.H.S.de. 1980. Mineralizações filonemas polimetálicas contendo ouro e prata associados a metais básicos descobertos pelo Projeto Eldorado, Vale do Ribeira (SP). In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 31, Camboriú, 1980. *Anai*, 3: 1444-1458.
- Câmara M.M. 1992. Classificação das principais mineralizações auríferas primárias do Vale do Ribeira. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 37, São Paulo, 1992. *Anais* 5:1236.
- Câmara M.M. & Perrotta M.M. 1994. Análise de imagens aerogamaespectrométricas no estudo de zonas de alteração hidrotermal associadas a mineralizações auríferas no médio Vale do Ribeira-SP. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 38, Camboriú, 1994. *Anais*, 2:123-125.
- Campanha G.A.da C. 1991. *Tectônica proterozóica no alto e médio Vale do Ribeira, Estados de São Paulo e Paraná*, IG/USP, São Paulo, Tese de Doutorado.
- Campanha G.A.da C., Gimenez Filho A., Caetano S.L.V., Pires F.A., Dantas A.S.L., Teixeira A.L., Dehira L.K. 1985. *Geologia das Folhas Iporanga (SG.X-B-V-2) e Gruta do Diabo (SG.22-X-B-VI-1) (SP)*. São Paulo: IPT/PROMINERIO. (Relatório 22.352).
- Campanha G.A.da C., Machado Júnior D.de L., Nagata N., Dantas A.S.L., Ens H.H., Gimenez Filho A., Bistrichi C.A., Rondinelli D., Monma R., Maeyama O., Dehira L.K., Bodignon J.L. 1988. *Avaliação preliminar da geologia das Folhas (em 1:50.000) Taquaral, Mina do Espírito Santo, Ribeirão Iacolomi, Serra do Aboboral, Jacupiranga (Eldorado Paulista), Rio Guarai, (Barra do Azeite), Rio Turvo (Serra do Aleixo), Vale do Ribeira (SP)*. São Paulo: IPT/SICCT/PROMINERIO. (Relatório 26.863).
- Campos Neto M.da C. & Figueiredo M.C.H.de. 1995. The Rio Doce Orogeny, Southeastern Brazil. *Journal of South American Earth Science*, 8(2): 143-162.
- Chiodi Filho C., Takahashi A.T., Silva C.R.da, Ferreira J.C.G. 1983. *Projeto Capão Bonito: relatório final*. São Paulo: CPRM/PROMINERIO, 2 v.
- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). 1979. Projeto Aerogeofísico São Paulo-Rio de Janeiro, sub área IV/ENCAL/CPRM/DNPM.
- Daitx E.C., Takahashi A.T., Silva C.R.da, Ferreira J.C.G., Maeyama O. 1983. *Projeto Anta Gorda - Fase III: mapeamento geológico da área norte*. São Paulo: DNPM/ CPRM, 123p.
- Ebdon D. 1992. Spans - a quadtree-based GIS. *Computer & Geosciences*, 18: 471-475.
- Hasui Y, Cameiro C.D.R., Coimbra A.M. 1975. The Ribeira Folded Belt. *Revista Brasileira de Geociências*, 5(4): 257-262.
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas Do Estado de São Paulo. 1983 Seleção e priorização de alvos de geoquímica regional. São Paulo: DMGA/IPT (Relatório 27039). 2v.
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas Do Estado de São Paulo. 1985 Projeto geoquímica regional das folhas Guapiara, Iporanga, Gruta do Diabo, Araçaiíba, Barra do Chapéu. São Paulo: DMGA/IPT (Relatório 28631). 2v.
- Knecht, T. 1939. Ouro no Estado de São Paulo. *Inst. Geogr. Geol.*, São Paulo, Boletim 6, 37p.
- Lopes Júnior L., Câmara M.M., Vasconcelos C.S.De, Pizzatto L.G. 1994. A prospeção geoquímica descobrindo novas mineralizações auríferas no Vale do Ribeira. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 38, Camboriú, 1994. *Anais*: 3:170-171.
- Lopes Júnior L., Câmara M.M., Vasconcelos C.S.de, Pizzatto L.G. 1995. Novas mineralizações auríferas no Vale do Ribeira - um trabalho de prospeção geoquímica. In: SBG, Simpósio De Geologia do Sudeste, 4, Aguas de São Pedro, 1995. *Boletim de Resumos Expandidos*: 121.
- Macedo A.B., Addas W, Batolla Júnior F. 1981 Metodologia de prospeção geoquímica em Minas do Vale do Ribeira (PR). In: SBG, Simpósio Regional de Geologia, 3, Curitiba, 1981. *Atas*.I: 71-81.
- Morgental A., Batolla Júnior F, Pinto G.G., Paiva LR, Drumond J.B.V. 1975. *Projeto Sudelpa: relatório final*. São Paulo: SUDELPA/CPRM, 18v.
- 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, 1978, 8v.
- Morgental A., Paiva I.P., Borin Júnior T, Pinto G.G., Carmo L.S. do. 1981. Pesquisa de ouro no Vale do Ribeira: atuação da CPRM. In: SBG, Simpósio Regional de Geologia, 3, Curitiba, 1981. *Atas*: 56-70.
- Nogueira S.A.A. 1990. Estudo das mineralizações filonemas auríferas do depósito de Piririca, Vale do Ribeira (SP) São Paulo, IGC/USP, Dissertação de Mestrado.
- Paiva I.P. & Morgental A. 1980. *Prospeção Ouro na Região Auríferas dos Agudos Grandes e Morro do Ouro, Vale do Ribeira*. São Paulo: CPRM: 1 v.
- Perrotta M.M. 1996. Potencial aurífero de uma região no Vale do Ribeira, São Paulo, estimado por modelagem de dados geológicos, geofísicos, geoquímicos e de sensores remotos num sistema de informações geográficas. São Paulo, IG/USP, Tese de doutoramento. 149 p.
- Phillips G.N. & Powell R. 1992. Gold-only provinces and their common features. *Contributions of the Economic Geology Research Units (EGRU)*, 27p.
- Pinto G.G., Paiva I.P., Morgental A., Borin Júnior T, Pinho Filho W.D.de, Ferreira F.J.F., Castro V.H.S.de. 1979. Pesquisa de cobre, chumbo e zinco em rochas do Grupo Açungui, município de Iporanga, SP. In: SBG, Simpósio Regional de Geologia, 2, Rio Claro, 1979. *Atas*, 2:117-128.
- Pinto G.G. & Borin Júnior T. 1982. *Projeto Eldorado: relatório integrado final de pesquisa, resultados de análises*. São Paulo, CPRM, 1982, 3 v.
- Pires F.A. 1991. Relações estratigráficas e dinâmica deposicional das seqüências Betari e Fumas-Lagedo (Grupo Açungui) na Região de Iporanga e Apiaí. In: SBG, Simpósio Geologia do Sudeste, 2, São Paulo, 1991. *Atas*, 37:44.
- Powell R., Will T.M., Phillips G.N. 1991. Metamorphism in Archean greenstone belts: calculated fluid compositions and implications for gold mineralization. *Journal of Metamorphic Geology*, 9:141-150.
- Schrank A & Câmara M.M. 1992. Depósitos de ouro e zonas de alteração hidrotermal em 5/7/5 básicos da região do Pimica, Vale do Ribeira, SP. Classificação das principais mineralizações auríferas primárias do Vale do Ribeira. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 37, São Paulo, 1992. *Ana* 5/1: 238-239.
- Silva A.A.G.P.da. 1982. *Projeto Serra do Jabaquara: relatório preliminar de pesquisa de ouro, cobre, chumbo, e zinco do município de Capão Bonito (SP)*. São Paulo, CPRM, 2 v.
- Silva A.T.S.F.da, Francisconi O., Godoy A.M.de, Batolla Júnior F. 1981. Projeto Integração e Detalhe Geológico no Vale do Ribeira: relatório final. São Paulo, DNPM/CPRM, 5v.
- Silva C.R.da & Câmara M.M. 1990. Depósito de Au e Ag do Ivaporunduva, município de Eldorado Paulista (SP). In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 36, Natal, 1990. *Anais*.
- Takahashi A.T., Ferreira J.C.G., Theodorovicz A. 1984. *Projeto Guapiara: relatório final*. São Paulo, CPRM/PROMINERIO v. 1, 104 p.
- Vasconcelos C.S.de & Câmara M.M. 1995. *Projeto Vale do Ribeira-Relatório Final de Pesquisa*. São Paulo, CPRM, v. 1, 60 p.

Manuscrito A-1107

Recebido em 01 de julho de 1999

Revisão dos autores em 28 de novembro de 1999

Revisão aceita em 02 de dezembro de 1999