

Contribuição do Estudo Aeromagnetométrico e de Imagens Orbitais (TM LANDSAT 5) ao Conhecimento do Arcabouço Geológico do Distrito Fluorítico de Santa Catarina (Brasil) e suas Implicações para a Prospecção de Fluorita

ROSEMARY HOFF¹, ARTUR CEZAR BASTOS NETO² & SÍLVIA BEATRIZ ALVES ROLIM²

¹ Curso de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Caixa Postal 15001 - CEP 91.501-970, Porto Alegre, RS. rosemary.hoff@ufrgs.br

² Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Caixa Postal 15001 CEP 91.501-970, Porto Alegre, RS.

(Recebido em 08/02. Aceito para publicação em 02/03)

Abstract - Geophysical (aeromagnetometry) and remote sensing (TM LANDSAT) data allowed to recognize different structural patterns at the Santa Catarina fluorite district. These features correspond to N-S and NNE-SSW structural lineaments with potential environments for fluorite prospection. In detail, the used treatment allowed to identify minor structures associated with these lineaments and showed that two principal structures carrying mineralization prolongs themselves for dozens of kilometers in areas where previous existence were not even suspected. So a serie of data were searched about origin, evolution and relative chronology for the structures present in several directions, just like questions about the geological evolution of the district.

Keywords - aeromagnetometry, remote sensing, fluorite.

INTRODUÇÃO

O Distrito Fluorítico de Santa Catarina (DFSC) é o maior produtor de fluorita da América do Sul. Cerca de 3 Mt (ROM com teor médio de 40% de CaF₂) foram produzidas em 40 anos de exploração contínua, cujo auge (300.000 t/ano) aconteceu na década de 80. Na última década, a pesquisa por novos depósitos estagnou, mas a produção nacional permaneceu concentrada no DFSC, onde as reservas atuais são de apenas cerca de 2 Mt (minério *in situ* com 50% de CaF₂). Assim, diante de uma necessidade de demanda de mercado por novas áreas, a pesquisa vem sendo retomada.

O presente estudo compara os produtos do processamento de dados aerogeofísicos (aeromagnetometria) e de sensoriamento remoto (TM LANDSAT 5), selecionando as técnicas mais adequadas para o realce e interpretação das estruturas às quais associam-se os depósitos de fluorita, com os objetivos específicos de (1) delimitar áreas com diferentes padrões estruturais que traduzissem diferentes potenciais para prospecção de fluorita, (2) caracterizar os principais lineamentos do DFSC e identificar novos lineamentos, falhas e fraturas passíveis de conterem depósitos associados, (3) verificar as possíveis continuidades das estruturas mineralizadas em áreas onde elas aparentemente desaparecem e (4) ampliar o conhecimento geológico do distrito, gerando novos dados para as discus-

sões dos modelos genéticos no que tange as suas implicações para a prospecção de fluorita.

TRABALHOS ANTERIORES

O DFSC ocorre numa faixa de 100 km de comprimento por 60 km de largura, delimitada a oeste pela Bacia do Paraná e a leste pelo Oceano Atlântico (Fig. 1). O embasamento enquadra-se na extremidade nordeste do Batólito de Pelotas - unidade geotectônica central do Cinturão Dom Feliciano (Fragoso César, 1980). Predominam os granitos Pedras Grandes e Tabuleiro (Sallet, 1988). Zanini *et al.* (1997) e Silva & Leites (2000) identificaram no distrito faixas com ocorrências da Suíte Valsungana. Os granitóides são cortados por diques de rochas subvulcânicas ácidas Eo-cambrianas (Teixeira, 1969). As rochas da Bacia do Paraná presentes no distrito pertencem às formações Rio do Sul (folhelhos e diamictitos) e Rio Bonito (arenitos, siltitos e carvão), ambas do Permiano Inferior. Estes sedimentos são cortados por diques e soleiras de diabásio da Formação Serra Geral (Juro-Cretácea). Na parte norte do distrito ocorre a intrusão alcalina de Anitápolis e, a oeste, o maciço alcalino de Lages, com idade de 70 Ma.

A principal estrutura com mineralizações associadas é o Lineamento Canela Grande (LCG) de origem ligada ao ciclo Brasileiro, com direção geral NNE-SSW, comprimento maior do que 100 km e

largura de até 2 km (Figura 1). O LCG é constituído por um sistema de falhas que se ramificam, ou infletem, de direções N-S e NNE-SSW (subordinadamente NE-SW), ocorrendo estruturas menores associadas de direção NE-SW a E-W geradas pela movimentação transtensiva dextral à época da mineralização. Os depósitos de fluorita podem ser controlados pelas falhas principais ou pelas estruturas menores associadas (Hackspaker & Flores, 1987; Ferreira & Almeida, 1989; Bastos Neto, 1990).

Ao longo do LCG ocorrem quatro subdistritos (Figura 1) cujas reservas estão quase exauridas. As reservas atuais concentram-se no subdistrito Grão-Pará, associadas à zona de cisalhamento Rio dos Bugres (ZCRB) (Ferreira & Almeida, 1989). A leste do LCG foram explorados depósitos associados ao lineamento Armazém e os depósitos Garganta e São Tomás. Os depósitos são filoneanos, hidrotermais de baixa temperatura. Eles têm, mais tipicamente, morfologia de lente biconvexa, comprimentos de 200 a 400 m e espessuras de 1 a 5 m, sendo explorados até uma profundidade da ordem de 150 m, excepcionalmente atingindo 300 m. A paragênese é formada essencialmente por fluorita e quartzo microcristalino. Subordinadamente ocorrem barita, pirita e esmectita e, mais raramente, galena e carbonatos. Segundo Bastos Neto (1990), a mineralização no LCG está ligada a quatro fases tectônicas. Na fase 1, o LCG sofreu uma movimentação direcional dextral afetando diques de diabásio com direção NW-SE, um deles datado (Rb/Sr) em 131 Ma (Teixeira, 1969). Na fase 2 foi ligada a uma distensão NW-SE. A fase de mineralização 3 foi ligada a uma nova movimentação direcional dextral. A fase de mineralização 4 (associada a uma distensão NNW-SSE) tem idade em torno de 65 Ma (Jelinek *et al.*, 1999). Os modelos genéticos propostos dividem-se em duas linhas. A primeira vincula a mineralização ao magmatismo alcalino de Lages (Horbach & Marimon, 1980, 1982) ou ao magmatismo alcalino de Anitápolis (Morgental, 1983). A segunda linha considera que o flúor foi lixiviado dos granitos regionais por soluções de origem meteórica (Savi, 1980; Dardenne & Savi, 1984; Dardenne, 1985; Sallet, 1988; Ferreira & Almeida, 1988; Bastos Neto, 1990; Bastos Neto *et al.*, 1991; Rocha, 1997).

Dados de aeromagnetometria foram pouco utilizados na prospecção de fluorita. Técnicas de sensoriamento remoto foram algumas vezes empregadas no distrito. Horbach & Marimon (1980 e 1982)

identificaram as principais estruturas do distrito a partir de imagens de radar. Morgental & Kirchner (1983) levantaram as estruturas do distrito por fotografias aéreas e imagens de radar. Plotando-as sobre uma base geológica na escala 1:100.000 e classificando-as com relação ao potencial para mineralização de fluorita, elaboraram os mapas previsionais da fluorita. As estruturas plotadas na figura 1 são as dos mapas previsionais. Ferreira & Almeida (1989) interpretaram visualmente fotografias aéreas e imagens TM LANDSAT 4, nas áreas da ZCRB e no extremo sul do LCG, visando estabelecer critérios para prospecção de fluorita. Flores *et al.* (1993), utilizando imagens TM LANDSAT 5 e fotografias aéreas, definiram áreas com diferentes padrões morfotectônicos e morfogenéticos aos quais associaram diferentes potenciais para prospecção de fluorita.

METODOLOGIA

Os dados aeromagnetométricos foram fornecidos pela Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais e pertencem aos Projetos Serra do Mar Sul (PSMS) e Ponta Grossa-Criciúma (PPGC) (CPRM, 1993). No primeiro, o levantamento de campo ocorreu em 1978, efetuado pela GEOFOTO SA com medidas de intensidade total do campo magnético registrada de 60 em 60 m, ao longo de linhas de vôo de direção N30°W, espaçadas em 1000 m e altura de vôo de 150 m. No segundo, o levantamento ocorreu em 1971, efetuado pela Companhia Brasileira de Geofísica (CBG) com medidas de intensidade total do campo magnético registrada de 60 em 60 m, ao longo de linhas de vôo de direção E-W, espaçadas em 1000 m e altura de vôo de 120 m. A fase de pré-processamento dos dados aeromagnetométricos foi realizada pela CPRM (1994), com correções dos erros de gravação e de variação diurna.

Os pré-processamentos foram feitos pelas empresas executoras dos levantamentos, sendo o seguinte para cada projeto: 1) PPGC - homogeneização dos registros, reconstituição de curvas, com sensibilidade 200 gammas/10" e 500 gammas/10" (Companhia Brasileira de Geofísica, 1972); 2) PSMS - nivelamento de *loops*, e de linhas de controle (GEOFOTO S. A., 1978). Neste projeto, os processamentos dos dados geofísicos foram realizados com o programa OASIS Montaj/GEOSOFT 4.2. (GEOSOFT, 1997). Os resultados dos diferentes processamentos acima foram interpretados através de imagens coloridas de relevo sombreado.

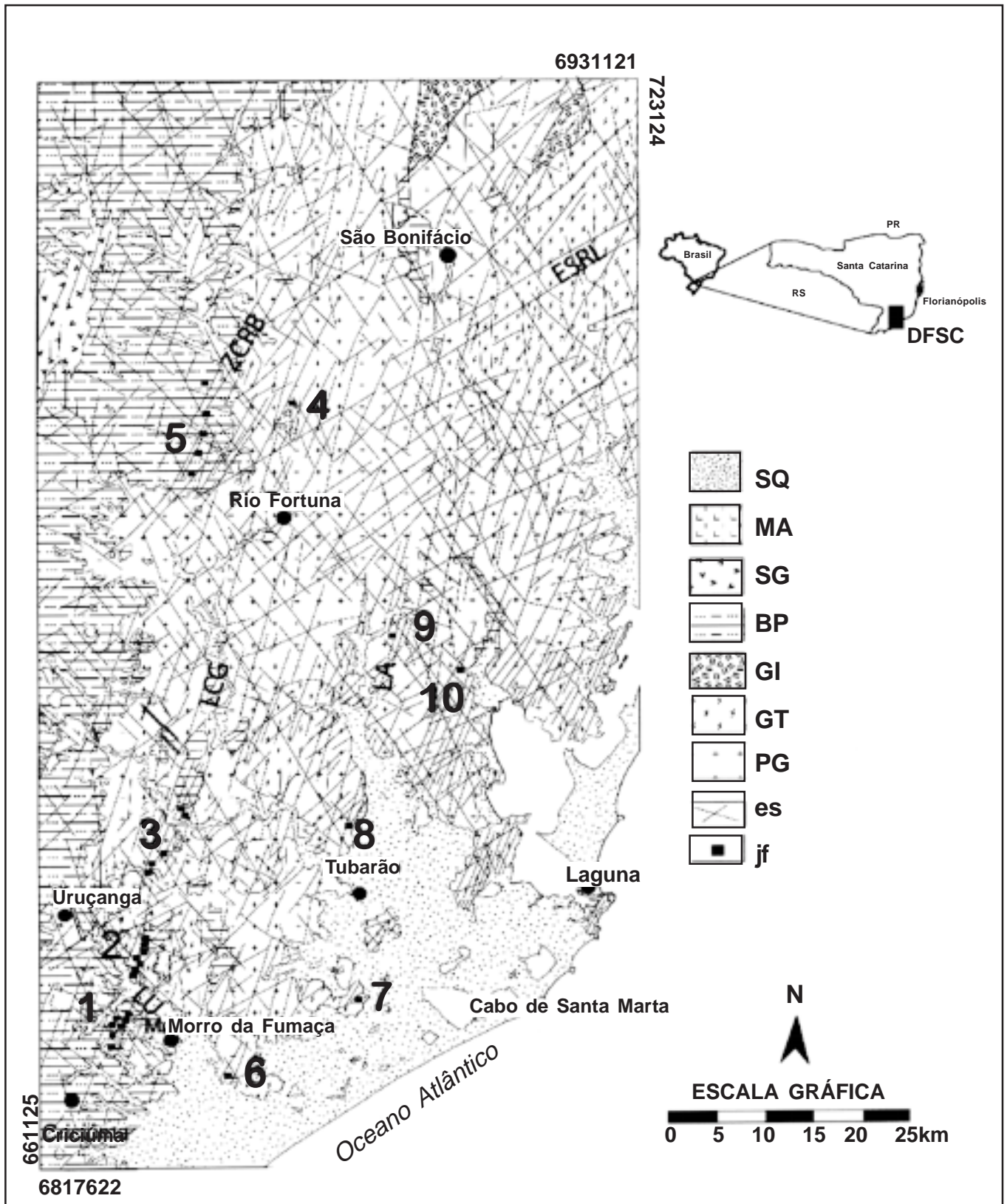


Figura 1 - Mapa geológico e de localização do Distrito Fluorítico de Santa Catarina. A: sedimentos quaternários; B: Maciço Alcalino de Anitápolis; C: Formação Serra Geral; D: Bacia do Paraná; E: Grupo Itajaí; F: Granito Tabuleiro; G: Granito Pedras Grandes. LCG: Lineamento Canela Grande; ZCRB: Zona de cisalhamento Rio dos Bugres; ESRL: Estrutura Santa Rosa de Lima; LA: Lineamento Armazém; LU: Lineamento Uruçanga; 1: subdistrito Segunda Linha Torrens; 2: subdistrito Ribeirão da Areia; 3: subdistrito Pedras Grandes; 4: filão Rio Bravo Alto; 5: subdistrito Grão Pará; 6: filão Garganta; 7: filão Jaguaruna; 8: filão São Martinho; 9: filão Armazém; 10: filão São Tomás.

Inicialmente, foram geradas as malhas regulares relativas aos dois projetos (PSMS e PPGC) com uma célula de 250 x 250 m por meio do interpolador de curvatura mínima. O nivelamento das alturas de vôo dos dois projetos foi efetuado nos dados do levantamento do PPGC, utilizando-se um filtro de continuação para cima em 30 m. Uma vez padronizadas, as malhas foram unidas e microniveladas com a técnica de Minty (1991). As malhas regulares resultantes retrataram com maior fidelidade as informações presentes nos dados originais, permitindo uma correta aplicação do conjunto de filtros no domínio da frequência selecionado para o realce das informações desejadas. Uma vez geradas, as malhas regulares foram tratadas com os filtros redução ao pólo (RP), primeira derivada vertical (1DV), continuação para cima (CUP) e amplitude do sinal analítico (SA).

O filtro de redução ao pólo foi aplicado com objetivo de obter as anomalias tal como seria no pólo magnético, com base no processamento da anomalia medida numa latitude qualquer. Em muitos casos, este tipo de filtragem auxilia a interpretação dos resultados, uma vez que a anomalia é centralizada sobre as fontes magnéticas. Para que uma determinada anomalia seja reduzida ao pólo, é necessário que se conheça a direção de magnetização da fonte de anomalia. Por esse motivo, na prática esta filtragem somente fornece resultados satisfatórios quando a anomalia é produzida por magnetização induzida. A presença de magnetização remanescente quase sempre modifica os resultados, a menos que se conheça a sua direção. Vale mencionar que a presença de baixas latitudes magnéticas também pode causar uma restrição na utilização deste filtro, devido à incorporação de ruídos e feições que não correspondem à realidade (Rolim, 2001).

O filtro passa-alta amplifica os comprimentos de onda curtos em relação aos comprimentos de onda longos, sendo importante no mapeamento de detalhe. Aplica-se a primeira derivada para realçar os componentes das fontes mais rasas, manter as fontes intermediárias e eliminar as feições mais profundas. Aplica-se a segunda derivada para realçar ainda mais estas feições, atenuando ou eliminando as fontes intermediárias e mais profundas. No entanto, esta filtragem tende a acentuar os ruídos nos dados.

Os filtros passa-baixa realçam os componentes de maior comprimento de onda, ressaltando as feições das fontes mais profundas, sendo mais utilizado o de continuação para cima (Milligan & Gunn, 1997).

O filtro de amplitude de sinal analítico (Roest *et al.*, 1992; Milligan & Gunn, 1997) combina as derivadas direcionais (X, Y e Z), representando a medida da quantidade de magnetização e sendo independente da direção de magnetização (Blakely, 1996). A amplitude do sinal analítico está relacionada à amplitude de magnetização, permitindo o posicionamento das fontes magnéticas. Desta forma, este filtro vem sendo utilizado como complemento aos casos onde a redução ao pólo pode comprometer a interpretação dos resultados (Rolim & Mendonça, 2001; MacLeod *et al.*, 1993).

A imagem utilizada no presente estudo foi a do sensor TM LANDSAT 5, WRS 220.079 de 23.05.97, escolhida pela proximidade do inverno, quando a menor insolação e o maior sombreamento evidenciam as estruturas. As técnicas utilizadas para detecção de lineamentos estruturais foram o aumento de contraste e a filtragem direcional, efetuados somente sobre a banda TM4.

A filtragem foi feita sobre a imagem sem ampliação de contraste. Esta banda foi escolhida pela melhor definição que confere às formas de relevo, pois a vegetação apresenta alta resposta espectral nesta banda do TM e contrasta com as tonalidades escuras das áreas sombreadas, fornecendo uma melhor visualização dos lineamentos estruturais.

O aumento linear de contraste foi efetuado para obtenção do histograma expandido da banda, com a finalidade de melhorar as condições de iluminação da cena (Richards, 1986). Neste processamento, utilizou-se o programa ENVI 3.5 (RSI, 2000), o qual foi também empregado na filtragem direcional, através de filtro multidirecional 7 x 7 (Araújo & Carvalho Jr., 1994), para evidenciar as direções do relevo e das morfoestruturas. A matriz multidirecional 7 x 7 empregada foi:

6	5	4	3	2	1	0
5	4	3	2	1	0	-1
4	3	2	1	0	-1	-2
3	2	1	0	-1	-2	-3
2	1	0	-1	-2	-3	-4
1	0	-1	-2	-3	-4	-5
0	-1	-2	-3	-4	-5	-6

O programa AUTOCAD MAP 2000 (AUTODESK, 2000) foi utilizado para digitalizar os lineamentos na tela, sobre a imagem filtrada, produzindo-se um arquivo de dados vetoriais. Após, efetuou-se a inserção dos dados vetoriais no ROCKWORKS 99 (ROCKWARE, 1999) para calcular a direção azimutal dos vetores e classificar os mesmos segundo intervalos de classes selecionados.

Os resultados obtidos da interpretação dos dados de geofísica e de sensoriamento remoto foram integrados com mapas geológicos previamente digitalizados referentes às folhas Criciúma/Lagoa de Garopaba do Sul, Laguna, Tubarão, Anitápolis, Santo Amaro da Imperatriz e aos mapas previsionais de Morgental & Kirchner (1983) na escala 1:100.000.

As seis bandas da imagem TM foram georreferenciadas utilizando-se 70 pontos de controle no terreno, a partir das cartas planialtimétricas, pelo método do vizinho mais próximo, estando a imagem limitada pelas seguintes coordenadas UTM: E = 661252 m a 722999 m, N = 6817760 m a 6931000 m. O erro obtido foi de 0,000680 (RMS), aceitável para a escala regional e dimensões da área adotadas neste estudo.

RESULTADOS

Aeromagnetometria

A Figura 2.a representa o campo magnético residual micronivelado. As anomalias magnéticas formam dois grandes domínios, D1 e D2, separados pela linha contínua de traço branco. No D1, o relevo magnético é bastante perturbado devido à maior influência de fontes rasas e destaca-se a orientação geral paralela à linha de costa, ao norte do Cabo de Santa Marta. À medida que se aproxima do limite oeste, as anomalias magnéticas do D1 apresentam uma suavização gradual. No D2, o relevo magnético é mais suave, indicando a predominância de fontes magnéticas mais profundas. Neste domínio, destaca-se uma faixa central, com maior valor de campo magnético. Esta faixa é delimitada por feições magnéticas de orientação geral NE-SW, mas seu limite oeste tem uma direção NNE-SSW. A parte NE da faixa parece coincidir com os limites de um grande corpo (Granito Tabuleiro). No extremo norte da área observa-se uma intensa anomalia magnética associada ao Maciço Alcalino de Anitápolis. Dois importantes alinhamentos magnéticos são observados. O primeiro (a oeste de Braço do Norte) é muito bem definido na direção NNE-SSW e no seu prolongamento para NNE situa-se o Subdistrito Grão Pará. O segundo ocorre à oeste deste subdistrito, tendo direção NE-SW. No extremo sul da área, delineia-se um alinhamento de anomalias magnéticas a leste de Criciúma.

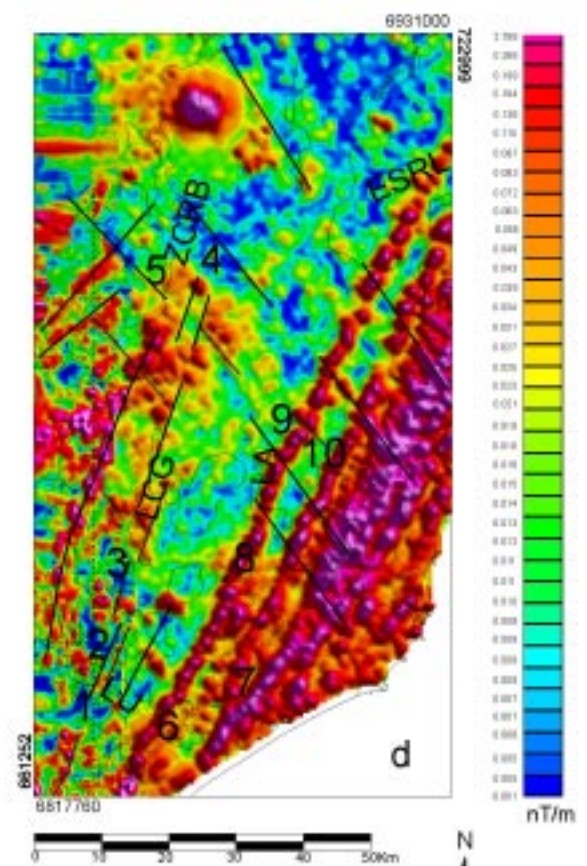
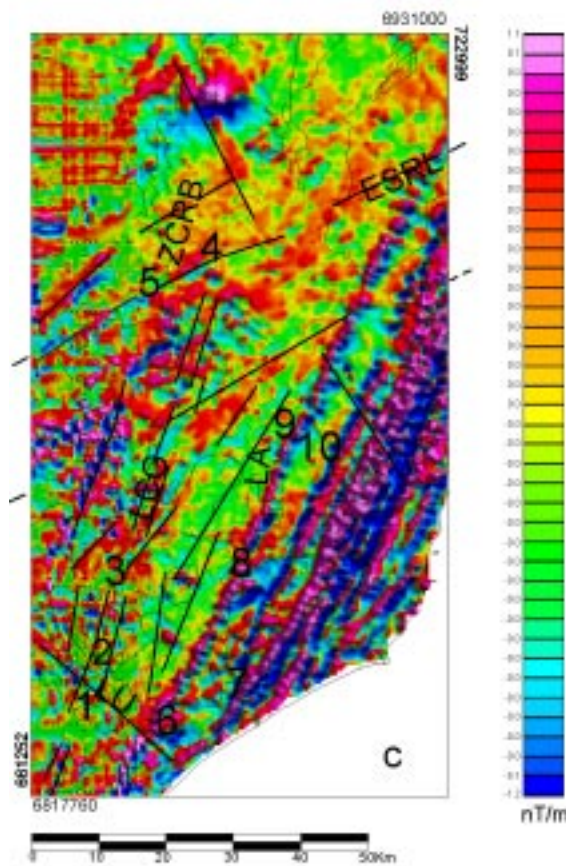
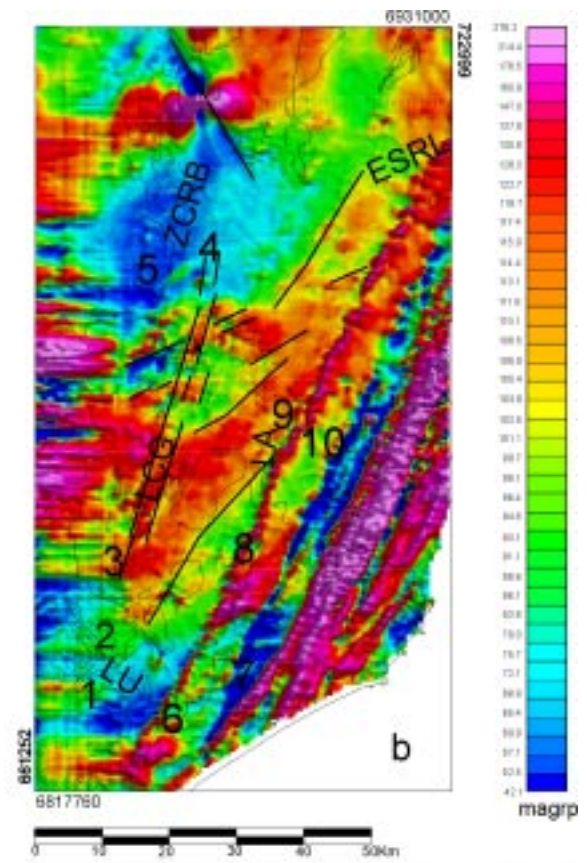
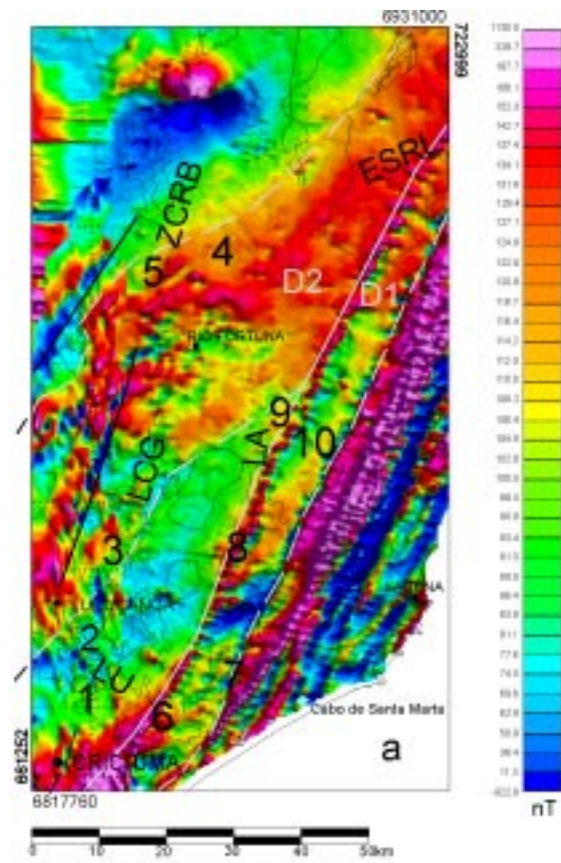
Na Figura 2.b, com a aplicação do filtro de redução ao pólo, os picos das anomalias tendem a ser centralizados sobre suas respectivas fontes. No domínio oeste observa-se uma tendência das anomalias magnéticas orientarem-se segundo as direções NNE-SSW a NE-SW. Delineia-se, na parte leste deste do-



mínio, uma faixa coincidindo aproximadamente com uma faixa de granito da Suíte Valsungana. Mais a oeste, um alinhamento de anomalias situa-se exatamente no LCG. Um alinhamento NNW-SSE ocorre na área do Maciço Alcalino de Anitápolis.

Na Figura 2.c, a aplicação do filtro de primeira derivada em Z permite a investigação de corpos e feições geológicas mais superficiais. O relevo do domínio oeste, antes suavizado, apresenta-se agora com uma textura resultante da superposição das direções NNE-SSW, NE-SW e ENE-WSW. Os limites das áreas de iso-intensidade magnética ocorrem segundo estas direções, delineando faixas. Na parte central da figura ocorre uma faixa de anomalias fortemente orientadas na direção ENE-WSW. A norte desta faixa, a orientação ENE-WSW permanece, mas a densidade de anomalias é bem menor do que ao sul. Ao sul da faixa, predomina ora a direção NE-SW, ora NNE-SSW. Mas, exatamente onde ocorre o LCG, as anomalias orientam-se nitidamente segundo a direção NNE-SSW, marcando muito bem o lineamento desde o subdistrito Pedras Grandes até o subdistrito Rio Bravo Alto. Ao sul do subdistrito Pedras Grande, algumas anomalias alinham-se aparentemente com o LCG que volta a ser bem delineado próximo a Criciúma. Outras estruturas NNE-SSW são observadas, destacando-se a que se situa no prolongamento ZCRB e a faixa coincidente com a Suíte Valsungana. O filtro de primeira derivada realçou o alinhamento NNW-SSE da área do maciço de Anitápolis e evidenciou, no domínio leste, uma estrutura situada no prolongamento daquela do maciço. No extremo sul do distrito observa-se um alinhamento WNW-ESE na posição do lineamento Uruçanga (Horbach & Marimon, 1980).

A aplicação do processamento sinal analítico (Fig 2.d), que tende a delimitar as anomalias magnéticas levando em consideração a geometria dos corpos, produziu dois resultados. O primeiro foi acentuar a tendência das feições magnéticas orientarem-se na direção NNE-SSW, destacando claramente o prolongamento da estrutura ZCRB e as partes centro e sul do LCG, incluindo o prolongamento deste ao sul de Criciúma. O segundo foi evidenciar alinhamentos NW-SE a NNW-SSE que podem ser seguidos continuamente na passagem entre os domínios leste e oeste.

Figura 2 - Imagens aeromagnetométricas do DFSC. a: cossenno direcional; b: redução ao pólo; c: primeira derivada em Z; d: sinal analítico. D₁: domínio 1; D₂: domínio 2. LCG: Lineamento Canela Grande; ZCRB: Zona de cisalhamento Rio dos Bugres; ESRL: Estrutura Santa Rosa de Lima; LA: Lineamento Armazém; LU: Lineamento Uruçanga. 1: subdistrito Segunda Linha Torrens; 2: subdistrito Ribeirão da Areia; 3: subdistrito Pedras Grandes; 4: filão Rio Bravo Alto; 5: subdistrito Grão Pará; 6: filão Garganta; 7: filão Jaguaruna; 8: filão São Martinho; 9: filão Armazém; 10: filão São Tomás. →



 Contatos geológicos
 feições magnéticas



Processamento de Imagens Orbitais

A Figura 3 apresenta o progresso obtido com a sucessão de tratamentos. Na imagem da banda TM3, mesmo com aumento linear de contraste, o realce das morfoestruturas (lineamentos) é muito pequeno devido ao efeito da vegetação e das feições de ocupação do solo. Na banda TM4, estes efeitos são minimizados, realçando-se o sombreamento dado pelo relevo, o qual pode ter controle tectônico. Com o avanço do tratamento digital, chegou-se à imagem filtrada, revelando-se ainda mais as morfoestruturas, pois o filtro diminui a sensação de tridimensionalidade, retratando a cena como uma imagem plana com apenas elementos lineares. Assim, foi identificado um grande número de novas morfoestruturas, inclusive associadas aos lineamentos enfocados em trabalhos anteriores e nos arredores das jazidas. Neste sentido, destaca-se a determinação precisa do traço da falha Segunda Linha Torrens (principal falha mineralizada do LCG) por cerca de 10 km, até as proximidades de Criciúma, num setor onde o prolongamento desta estrutura para sul não havia sido reconhecido. Também no subdistrito Segunda Linha Torrens, identificou-se uma morfoestrutura, paralela à falha principal, cuja verificação no campo mostrou tratar-se de uma falha com indícios de mineralização, até então desconhecida pelos mineradores.

Com o tratamento efetuado obteve-se uma população de 16.041 morfoestruturas (Fig. 4). A distribuição das morfoestruturas segundo suas direções (cartas de filtragem) foi investigada em intervalos de 10° e segundo diversas combinações de intervalos. No entanto, pode haver tendência no realce das estruturas em função da iluminação solar. No caso, o azimute solar da passagem da imagem utilizada é 41.42°, o que conferiu uma diminuição das estruturas mais ou menos paralelas a este ângulo e um aumento exagerado das morfoestruturas perpendiculares, o que pode ser observado mais adiante nas figuras 5b e 6b.

Os melhores resultados foram obtidos com as combinações estabelecidas em função do conhecimento da geologia do distrito. No quadrante NE, as subdivisões 0°-20°, 20°-45° e 45°-80° corres-

pondem às relações angulares das estruturas que constituem o LCG. O último intervalo foi delimitado em 80°, ao invés de 90°, pois N80°E, direção do filão Cruzeiro, representa o limite angular para os depósitos de fluorita. O intervalo 45°-80° permite, também, investigar os lineamentos da família ENE-WSW e as estruturas menores a estes associadas. Os intervalos N80°-90°E e N80°-90°W permitem avaliar a presença no continente de estruturas ligadas ao lineamento de Florianópolis (estrutura oceânica E-W, Asmus, 1984).

As morfoestruturas N-S a NNE-SSW (Fig. 5.a) podem ser seguidas continuamente do embasamento para a Bacia do Paraná. Elas são menos freqüentes na Bacia do Paraná e na parte norte do distrito, especialmente no extremo NE. No LCG não se observa uma maior freqüência deste intervalo de classe de morfoestruturas, mas, representando-se conjuntamente as morfoestruturas do intervalo N0°-45°E (Fig.3.d), a configuração do lineamento pode ser bem observada. A leste do LCG (Fig. 5.a) três novos lineamentos foram identificados. Na área do subdistrito Grão Pará, mesmo em domínio de cobertura, a freqüência de morfoestruturas NNE-SSW é grande e, mais ao sul, ocorre uma série de morfoestruturas superpondo-se à anomalia magnética identificada no prolongamento da ZCRB. O LA ocupa uma faixa de direção N-S cujas bordas são bem marcadas por dois alinhamentos paralelos de morfoestruturas N-S, existindo, em seu interior, morfoestruturas nas direções NNE-SSW a NE-SW, mas com uma densidade muito inferior à observada no LCG.

As morfoestruturas N20°-45°E (Fig. 5.b) são as menos freqüentes de todas as famílias, sendo particularmente raras na Bacia do Paraná. Embora estruturas com esta direção integrem os lineamentos N-S e NNE-SSW, examinando-se a carta de filtragem não se nota aumento de freqüência delas no LCG, na ZCRB ou no LA. Por outro lado, aumentam a freqüência de oeste para leste, sendo a família de morfoestruturas mais numerosas e mais extensas na parte leste do distrito, onde se destaca o paralelismo com a orientação N30°E das anomalias magnéticas aí existentes.

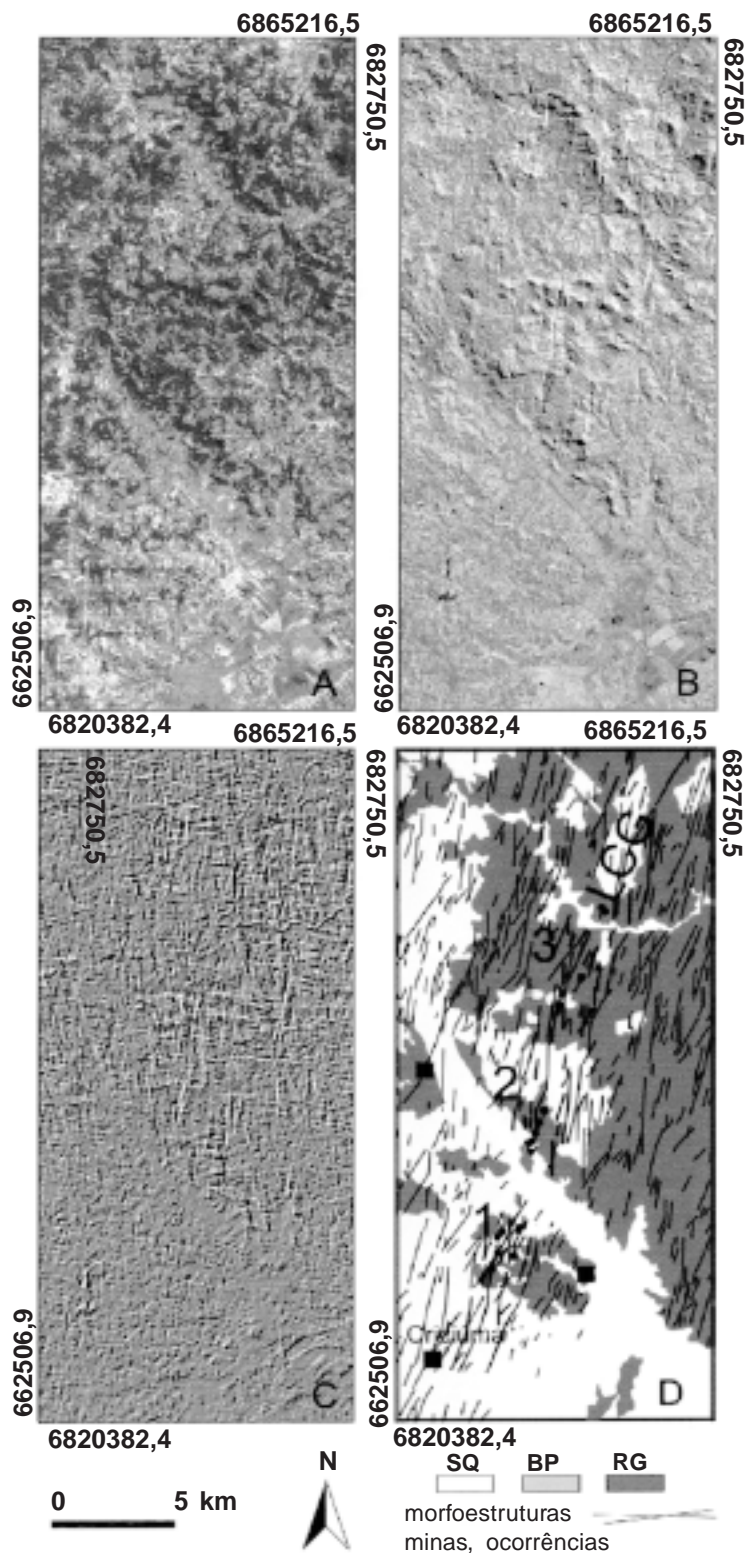


Figura 3 - Detalhe do processamento digital de imagens orbitais da parte sul do DFSC. A: banda 3 TM LANDSAT 5 com aumento linear de contraste; B: banda 4 TM LANDSAT 5 com aumento linear de contraste; C: banda 4 TM LANDSAT 5 com filtro multidirecional; D: Destaque para o Lineamento Canela Grande em imagem obtida pela banda 4 TM LANDSAT 5 com filtro multidirecional, representadas apenas as morfo-estruturas N0°-45°E, destacando com traço espesso as estruturas pertencentes a este lineamento. SQ: Sedimentos quaternários; BP: Rochas sedimentares da Bacia do Paraná; RG: Rochas granitóides. 1: subdistrito Segunda Linha Torrens; 2: subdistrito Ribeirão da Areia; 3: subdistrito Pedras Grandes.

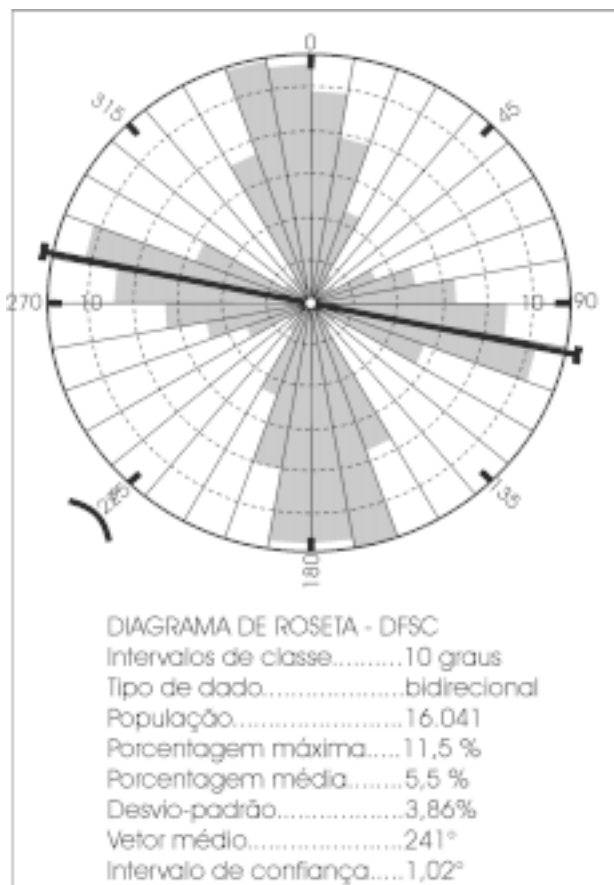


Figura 4 - Diagrama de roseta das morfo-estruturas do Distrito Fluorítico de Santa Catarina.

As morfoestruturas da classe N45°-80°E formam quatro faixas de direção geral ENE-WSW (letras a, b, c e d na Fig. 5.c). As faixas são delimitadas por morfoestruturas mais extensas de direção ENE-WSW, entre as quais ocorrem morfoestruturas menores de direção NE-SW. Este padrão é bem definido nas faixas b e c, que se superpõem à faixa onde as anomalias magnéticas são fortemente direcionadas segundo ENE-WSW (Fig. 2.c). Na faixa a, as morfoestruturas são significativamente menores. Nos subdistritos Ribeirão da Areia e Pedras Grandes, constatou-se que os pontos de bifurcação e/ou inflexão das morfoestruturas do LCG situam-se nas intersecções com morfoestruturas ENE-WSW.

As morfoestruturas N80°-90°E (Fig. 5.d) e N80°-90°W (Fig. 6.d) distribuem-se uniformemente, não formando faixas nesta direção, nem se associando a faixas em outras direções. Elas são menos frequentes na parte norte do distrito, formam a família de menor extensão e não apresentam correlação com as anomalias magnéticas. As morfoestruturas N0°-10°W (Fig. 6.a) têm uma distribuição que parece relacioná-las às morfoestruturas N-S, mas como

não se conhece mineralização de fluorita no quadrante NW, optou-se por representá-las em carta individual.

As morfoestruturas NNW-SSE (Fig. 6.b) ocorrem de forma extremamente densa numa área alongada na direção ENE-WSW que corresponde aproximadamente à união das faixas b e c acima descritas (Fig. 5.c). No domínio da Bacia da Paraná destacam-se duas áreas com grande densidade destas morfoestruturas: o subdistrito de Grão Pará e a região de Uruçanga. Parte das morfoestruturas NNW-SSE estão espacialmente associadas a anomalias magnéticas com filtro de sinal analítico (Fig. 2.d), mais especialmente na faixa costeira, mas apenas a norte de Laguna.

Na família WNW-ESE (Fig. 6.c), se observadas apenas as morfoestruturas de maior extensão, reconhece-se os seis lineamentos estruturais WNW-ESE descritos por Horbach & Marimon (1980) e, ainda, um sétimo lineamento no extremo norte do distrito. Considerando-se o conjunto de morfoestruturas, as maiores densidades ocorrem em duas faixas. A primeira agrupa os lineamentos I e II e abrange os subdistritos Segunda Linha Torrens, Ribeirão da Areia e Pedras Grandes. A segunda, agrupando os lineamentos IV e V, engloba os subdistritos Rio Bravo Alto e Grão Pará. Algumas morfoestruturas WNW-ESE correspondem a falhas que afetam morfoestruturas do quadrante NE, incluindo o LCG, com rejeito levógiro de até centenas de metros. Uma associação espacial incipiente das morfoestruturas WNW-ESE com alinhamentos de anomalias magnéticas (Fig. 2.d) foi observada na parte sudoeste do distrito, mas, contrastadamente com as morfoestruturas NNW-SSE, ela não ocorre na faixa costeira com alto relevo magnético.

DISCUSSÃO

Arcabouço Geológico do DFSC

As características do domínio leste - anomalias magnéticas de grande amplitude, ligadas a fontes rasas e orientadas precisamente na direção N30°E - são atribuídas a diques de diabásio correlacionados à Formação Serra Geral. Enxames de diques na zona costeira foram mapeados por Morgental & Kirchner (1983), mas apenas nos maciços graníticos litorâneos ou nos maciços isolados em meio à planície costeira, onde afloramentos extensos permitem a fácil identificação em fotografias aéreas. Constatou-se que o sistema de diques ocorre numa faixa com largura de cerca de 25 km, penetrando francamente no domínio

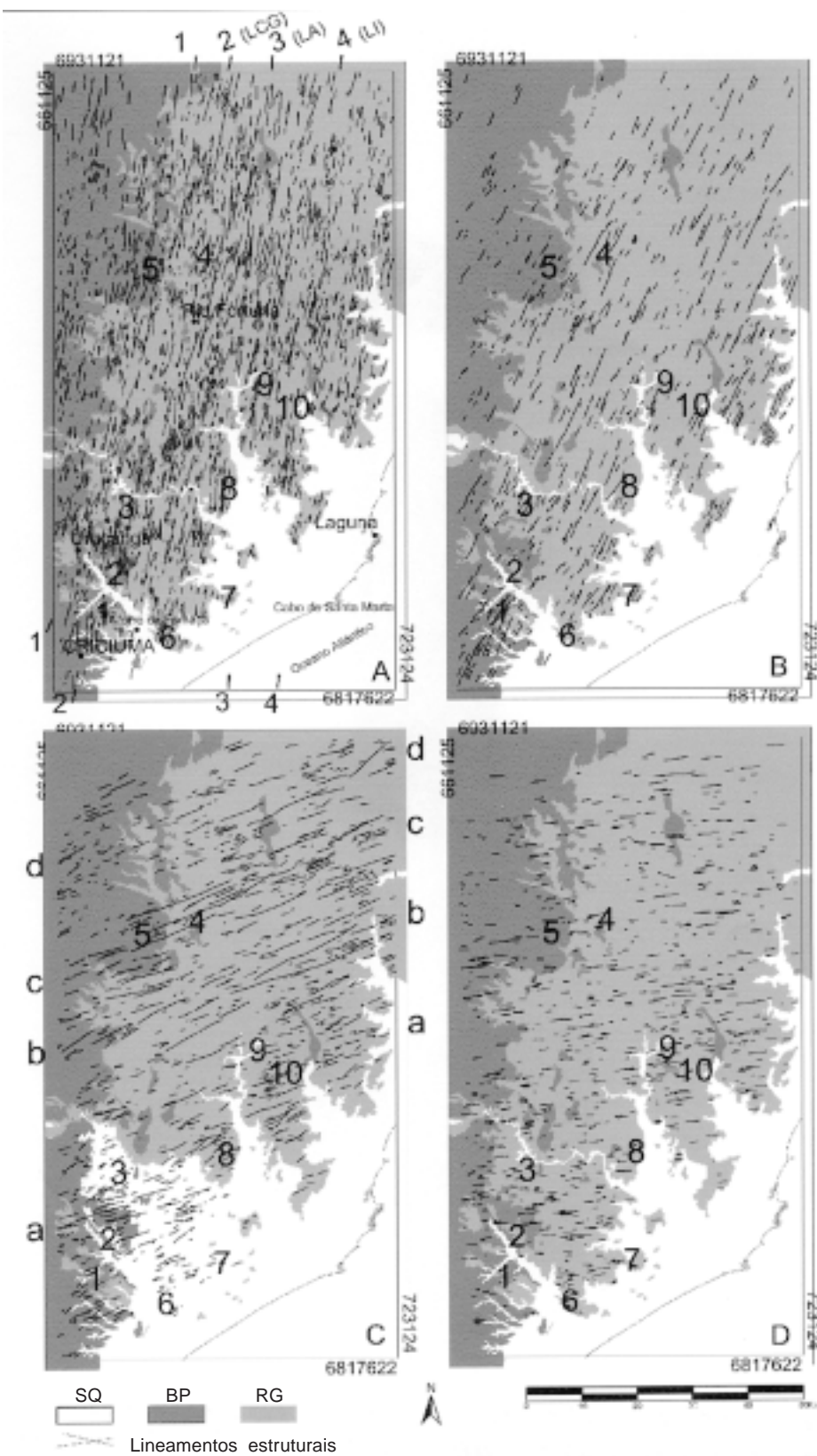


Figura 5 - Cartas de filtragem das morfo-estruturas do Distrito Fluorítico de Santa Catarina. A: N0°-20°E; B: N20°-45°E; C: N45°-80°E; D: N80°-90°E. SQ: Sedimentos quaternários; BP: Rochas sedimentares da Bacia do Paraná; RG: Rochas granitóides. 1: subdistrito Segunda Linha Torrens; 2: subdistrito Ribeirão da Areia; 3: subdistrito Pedras Grandes; 4: filão Rio Bravo Alto; 5: subdistrito Grão Pará; 6: filão Garganta; 7: filão Jaguaruna; 8: filão São Martinho; 9: filão Armazém; 10: filão São Tomás.

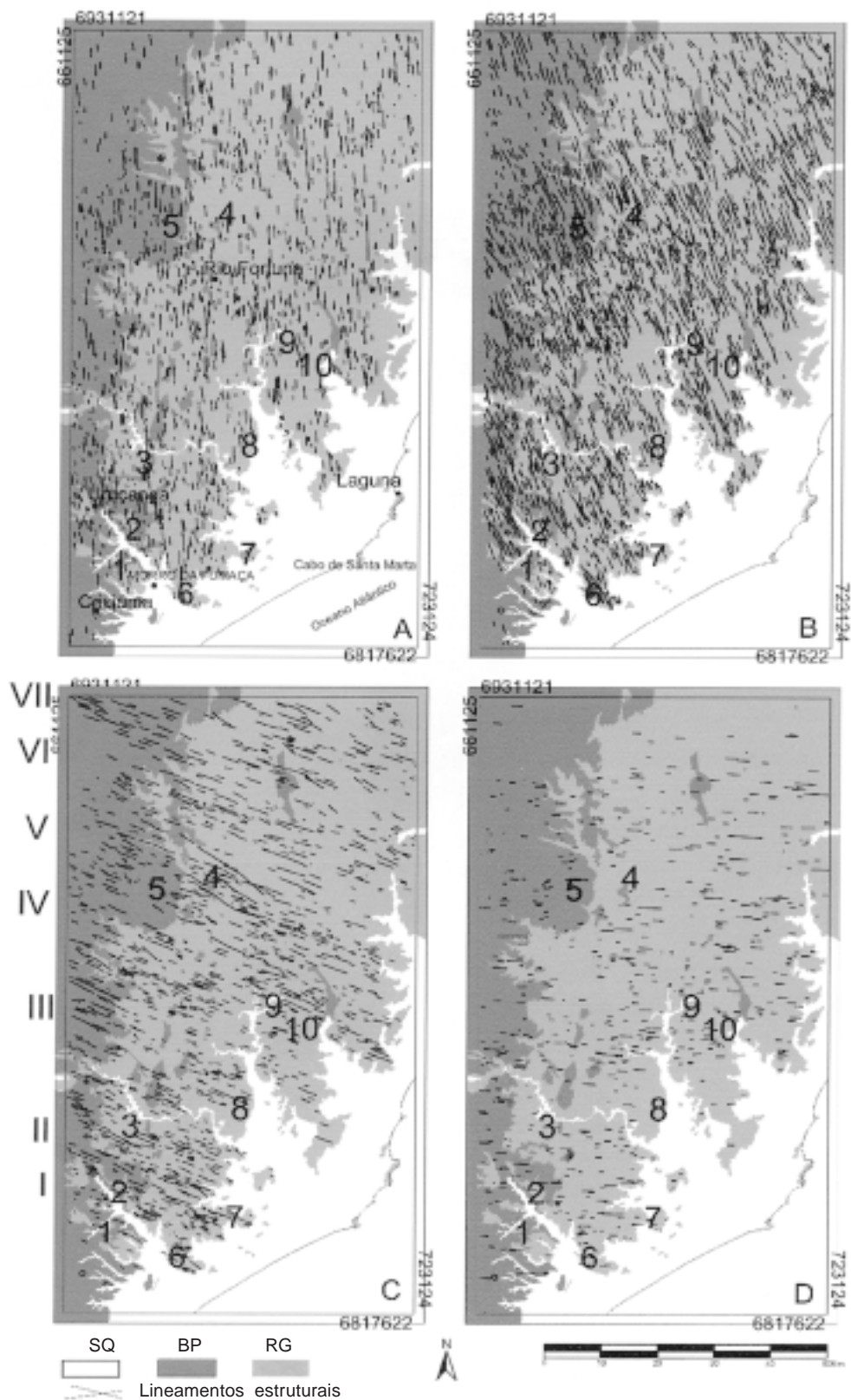


Figura 6 - Cartas de filtragem das morfo-estruturas do Distrito Fluorítico de Santa Catarina. A: N0°-10°W; B: N10°-45°W; C: N45°-80°W; D: N80°-90°W. SQ: Sedimentos quaternários; BP: Rochas sedimentares da Bacia do Paraná; RG: Rochas granitóides. 1: subdistrito Segunda Linha Torrens; 2: subdistrito Ribeirão da Areia; 3: subdistrito Pedras Grandes; 4: filão Rio Bravo Alto; 5: subdistrito Grão Pará; 6: filão Garganta; 7: filão Jaguaruna; 8: filão São Martinho; 9: filão Armazém; 10: filão São Tomás.

de granitos a oeste da planície costeira, onde são mascarados pelo uso dos solos. A faixa onde as anomalias magnéticas são suavizadas é interpretada como uma diminuição gradual na frequência e, provavelmente, na espessura dos diques de leste para oeste. Verificou-se no campo que os diques preencham fraturas totalmente seladas por estes corpos e que, na grande maioria dos casos, o granito encaixante não apresenta sinais de hidrotermalismo ou deformação anterior ao magmatismo. As fraturas têm uma direção muito uniforme N30-40°E. Nas cartas de filtragem, observou-se que as morfoestruturas nesta direção tendem a ser mais abundantes de oeste para leste. As evidências indicam, portanto, serem estruturas neoformadas ligadas ao rifteamento do Atlântico Sul.

No domínio oeste, a faixa central de maior intensidade de anomalia magnética (Fig. 2.a) tem a mesma direção geral NE-SW da compartimentação geotectônica no Escudo Sul-rio-grandense. Ao norte do DFSC, os contatos entre as grandes unidades tectono-estratigráficas (incluindo unidades arqueanas) são marcados por estruturas ENE-WSW. Por outro lado, observa-se, no DFSC, que os limites da referida faixa têm, localmente, direção ENE-WSW e que estas partes coincidem com importantes alinhamentos de morfoestruturas de mesma direção. As principais morfoestruturas ENE-WSW correspondem a lineamentos estruturais marcados no embasamento por milonitos, blastomilonitos, numerosos filões de quartzo e, subordinadamente, diques de subvulcânicas ácidas. Eles guiaram a formação de falhas diversas vezes reativadas desde o Pré-cambriano. A faixa de anomalia magnética NE-SW no DFSC pode corresponder, portanto, a uma compartimentação geotectônica antiga e profunda, mas de pouca expressão na superfície. No Sudeste Catarinense, esta compartimentação deve influir gradualmente para a direção ENE-WSW. Eventos posteriores, ainda ligados à evolução do embasamento, teriam reativado preferencialmente as estruturas de direção ENE-WSW e/ou geraram novas estruturas de direção submeridiana. Exemplos destas últimas seriam (1) a ZCRB que controlou intrusões de pequenos corpos graníticos (Flores, 1999) e em cujo prolongamento para sul identificou-se alinhamentos magnéticos que podem ser ligados a corpos intrusivos e (2) as estruturas a leste do LCG (Fig. 2.c) que coincidem com os limites de uma faixa de granitos da Suíte Valsungana. A representação extremamente bem definida do LCG por

anomalias magnéticas sugere que este lineamento também exerceu controle sobre magmatismo granítico nos segmentos entre os subdistritos Pedras Grande e Rio Bravo Alto e, mais especialmente, no seu prolongamento próximo a Criciúma. Cruzando-se a distribuição dos granitos Tabuleiro nos mapas de Morgental & Kirchner (1983) e Zanini *et al.* (1997) com nossos dados, não existem as relações entre estes corpos e os lineamentos ENE-WSW supostas pelos primeiros autores.

No domínio sul, não se observou variação litológica que explique a forte influência exercida pela direção ENE-WSW sobre a distribuição das anomalias magnéticas com o filtro de primeira derivada (Fig. 2.c). Por outro lado, existe uma associação espacial entre a faixa de anomalias magnéticas ENE-WSW (Fig. 2.c) e as faixas B e C (Fig. 5. c) de morfoestruturas nesta direção. Ao norte da faixa, onde a densidade e intensidade de anomalias magnéticas são muito reduzidas, a densidade de fraturas também é pequena. Dados de aerogamaespectrometria (Hoff, 2002) indicam tratar-se de uma variação litológica. Independentemente desta interpretação, sabe-se que o Sudeste Catarinense foi afetado por um soerguimento (relacionado à evolução da Serra do Mar) mais acentuado na direção norte e controlado, em grande parte, por estruturas ENE-WSW (Horbach & Marimon, 1983; Bastos Neto, 1990) e que a ESRL (Fig. 1) é responsável pela erosão, no bloco norte, da jazida Rio Bravo Alto e de, pelo menos, 200 m de sedimentos. Assim, as diferentes densidades no fraturamento e nas anomalias magnéticas, respectivamente, a sul e norte da ESRL poderiam ser explicadas em termos de um soerguimento diferencial pronunciado, acarretando na eliminação parcial do fraturamento e, conseqüentemente, dos padrões de anomalias magnéticas a ele associado no bloco norte.

Os dois grupos de morfoestruturas do quadrante NW (WNW-ESE e NNW-SSE) são marcados no campo por rochas cataclásticas, veios de quartzo, diques de rochas subvulcânicas ácidas e de diabásio e podem controlar pequenos grabens com rochas sedimentares da Bacia do Paraná. Estruturas WNW-ESE deslocam sinistralmente estruturas do quadrante NE com rejeitos hectométricos; um dos exemplos é LCG, deslocado pelo lineamento de Urucanga. Os lineamentos WNW-ESE e NNW-SSE são, portanto, estruturas de origem ligada ao ciclo Brasileiro, diversas vezes reativadas posteriormente. Os alinhamentos magnéticos no quadrante NW

seguem uma direção NW-SE intermediária entre as duas famílias identificadas nas imagens orbitais. A exceção é representada por um alinhamento magnético NNW-SSE, persistente em diversos filtros, existente nas proximidades do maciço alcalino de Anitápolis. Os alinhamentos magnéticos NW-SE podem ser associados a corpos de diabásio. Os lineamentos WNW-ESE, por formarem faixas de grande extensão e bem definidas no campo (e nas imagens orbitais), seriam zonas preferenciais para reativação transcorrente. Segundo Conceição *et al.* (1988), o rifteamento do Atlântico Sul, ao interceptar estruturas WNW-ESE na Argentina e Uruguai, reativou-as em transtensão dextral. Uma movimentação semelhante dos lineamentos WNW-ESE no DFSC criaria, nas áreas entre os mesmos, grandes fraturas de tração de direção NW-SE que poderiam ser ocupadas por corpos de diabásio. Isto explicaria as relações angulares encontradas na região.

O controle de intrusão do maciço alcalino de Anitápolis já foi vinculado: a um lineamento de direção NNW-SSE (Horbach & Marimon, 1980); ao lineamento de Florianópolis de direção E-W (Asmus, 1984); a movimentos verticais opostos entre o arco de Ponta Grossa e o sinclinal de Torres (Almeida, 1983); ao LCG de direção NNE-SSW (Morgental, 1983). Com exceção da direção E-W, todas as direções acima, incluindo-se, ainda, a WNW-ESE, são representadas na região do maciço por importantes estruturas aí existentes há pelo menos 500 Ma. Em nosso entender, à época do magmatismo alcalino, o papel principal foi desempenhado pelos lineamentos WNW-ESE (vide discussão anterior).

Implicações para a Prospecção de Fluorita

Este trabalho identificou 6.653 morfoestruturas do quadrante NE, a grande maioria correspondendo a estruturas anteriormente desconhecidas. O LCG aparece nas cartas de anomalias magnéticas principalmente como faixas onde anomalias de mesma intensidade ocorrem alongadas na direção NNE-SSW. Este padrão é mais típico na parte central do distrito e é nitidamente interrompido pela ESRL. Neste segmento central, o LCG é representado nas imagens orbitais principalmente por morfoestruturas de grande extensão, paralelas à direção geral do lineamento. Ao sul, desaparece aquele padrão de anomalias magnéticas e, nas imagens orbitais, o LCG é mais tipicamente constituído por um sistema mais denso de falhas. Isto leva a supor que, nestes dois

segmentos, o LCG está exposto em dois níveis diferentes, com a parte central correspondendo ao nível mais profundo e a parte sul ao nível mais raso. Provavelmente, a configuração em sistema de falhas ramificadas foi ligada às reativações mais recentes do LCG com a formação das falhas NE-SW e às estruturas secundárias nas direções NE-SW a ENE-WSW. Neste sentido, o segmento central do LCG teria um potencial para mineralização de fluorita inferior ao segmento sul.

As estruturas ENE-WSW parecem influenciar a distribuição dos depósitos ao longo do LCG. (1) As ramificações do LCG ocorrem preferencialmente nas intersecções com estruturas ENE-WSW e os depósitos encontram-se preferencialmente nas bifurcações ou nas ramificações tendendo para NE-SW. (2) As faixas ENE-WSW (Fig. 5.c) parecem definir blocos alternados com e sem mineralização de fluorita: inexistem depósitos no bloco entre as faixas a e b; existem depósitos entre as faixas b e c; inexistem depósitos a norte da faixa c. Este padrão pode ser ligado a movimentos verticais controlados pelas estruturas ENE-WSW, implicando a erosão de filões em blocos soerguidos. O bloco a norte da ESRL seria o menos prospectável. Mas, a compartimentação do LCG pode ter sido influenciada, também, por estruturas WNW-ESE que, reconhecidas, também controlaram movimentações verticais no distrito, sob influência das evoluções do sinclinal de Torres e do arco de Ponta Grossa (Bastos Neto, 1990). O recuo da borda da Bacia do Paraná, da ordem de 10 km para oeste, no trecho situado entre o subdistrito de Grão-Pará e a cidade de Urucanga parece estar associado ao soerguimento de um bloco controlado por lineamentos WNW-ESE (lineamentos II e IV na Fig. 5.c).

Na ZCRB ocorrem depósitos de fluorita mesmo a norte da ESRL, levando a crer que o limite oeste do bloco soerguido a norte da ESRL poderia ter sido a própria ZCRB. Neste sentido, a ZCRB continua sendo um excelente prospecto na sua extensão para norte. Originalmente limitada ao subdistrito Grão-Pará, verificou-se aqui que a ZCRB estende-se para sul por mais 50 km, margeando a borda da Bacia do Paraná e, conseqüentemente, tendo sido apenas recentemente exposta à erosão. Na figura 3.d, a estrutura pode ser observada a cerca de 5 km a oeste do LCG, com uma configuração muito semelhante à deste lineamento. A ZCRB revela-se, neste estudo, como o principal prospecto para mineralização de fluorita no DFSC. Já o LA, apesar

de também ser uma estrutura bem mais extensa e larga do que anteriormente reconhecido, apresenta uma fraca densidade de fraturas oblíquas em seu interior, o que pode significar ter sido menos reativado à época das mineralizações ou ter sido mais afetado por erosão.

No domínio leste, onde as fraturas NNE-SSW foram preenchidas por diabásio, estas não poderiam ser simultaneamente preenchidas por fluorita. Ou seja, a mineralização ocorreu preferencialmente mais a oeste. Por outro lado, admitindo-se que parte da fluorita seja posterior ao magmatismo, ainda assim, a zona costeira, onde as fraturas se encontram virtualmente seladas por diabásios não seria uma área favorável para mineralização. Na área entre a linha tracejada e o oceano, o magmatismo foi mais acentuado e o potencial para prospecção é muito reduzido. Da linha tracejada para oeste, o potencial aumenta gradualmente até o limite do domínio.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

No DFSC ocorre, provavelmente, uma estruturação NE-SW mais antiga, profunda e quase sem expressão na superfície, que deve representar a continuidade da compartimentação geotectônica do Escudo Sul-rio-grandense e começa a infletir para ENE-WSW na parte centro-norte do distrito. Esta compartimentação deve ter controlado os posicionamentos dos granitos Valsungana e, subsequentemente, do granito Pedras Grandes. Quando a propagação do rifteamento do Atlântico Sul, de sul para norte, atingiu a região, os lineamentos WNW-ESE foram reativados em transcorrência dextral, controlaram o posicionamento do maciço alcalino de Anitápolis e o posicionamento de diques de diabásio em fraturas de tração NW-SE. Com a evolução do rifteamento, o magmatismo migrou para a atual zona costeira, ocupando fraturas neoformadas N30°-40°E. Simultaneamente, mais a oeste, os lineamentos N-S e NNE-SSW eram reativados em transcorrência dextral, formando-se, nestas estruturas, uma série de ramificações e inflexões nas direções NNE-SSW a NE-SW e estruturas menores associadas de direção NE-SW a ENE-WSW. Iniciava-se, então, a formação dos filões fluorita.

O modelo genético de lixiviação do flúor dos granitos implica a proximidade da rocha fonte, o granito Tabuleiro, segundo Sallet *et al.* (2000). Este ocorre preferencialmente na borda do Maciço

Pedras Grandes (Hoff, 2002). Por outro lado, contrariamente ao anteriormente suposto - que o controle magmatismo granítico fosse restrito a estruturas ENE-WSW - Flores (1999) descreve o magmatismo granítico associado à ZCRB. Assim, na seleção de novas estruturas NNE-SSW para prospecção, poder-se-ia efetuar, como um primeiro passo, uma investigação da ocorrência de corpos Tabuleiro.

Na escala de distrito, entre as áreas que não foram exploradas, toda a borda oeste é aqui indicada como a melhor área para pesquisa. Nos arredores da cidade de Uruçanga, situa-se um setor de potencial extremamente alto. Duas áreas têm baixa prospectabilidade: (1) o domínio leste, onde o sistema de fraturas N30°-40°E encontra-se virtualmente selado por diabásios; (2) a região a norte da ESRL, considerando-se do LCG (inclusive) para leste, onde depósitos de fluorita podem ter sido erodidos. A distribuição dos subdistritos deve ter sido fortemente influenciada por erosão associada à compartimentação de blocos controlados pelos lineamentos WNW-ESE e ENE-WSW. Recomenda-se, portanto, o prosseguimento do estudo de Flores *et al.* (1993) o qual, complementado por técnicas como a análise de traços de fissão em apatitas, poderia determinar o comportamento de cada bloco e obter-se, conseqüentemente, um retrato mais fiel da distribuição dos filões na escala do distrito.

Quanto à priorização de estruturas, em primeiro plano situam-se as novas estruturas identificadas nas vizinhanças e prolongamentos daquelas reconhecidamente mineralizadas, destacando-se entre os resultados deste trabalho: (1) a extensão da falha Segunda Linha Torrens por mais 10 km para sul; (2) as novas estruturas no subdistrito Segunda Linha Torrens; (3) o prolongamento da ZCRB para sul, com uma configuração idêntica à do LCG; e (4) as novas estruturas no subdistrito Grão-Pará. Em segundo plano tem-se as novas estruturas oblíquas aos LA e parte central do LCG. Em terceiro plano ficam os novos lineamentos. A combinação dos dados geofísicos e de imagens orbitais levou à identificação de pelo menos cinco lineamentos N-S a NNE-SSW, com extensões mínimas de 40 km, existentes entre o LCG e o LA, e de um lineamento a leste do LA que controla a jazida São Tomás. Na prospecção, deve-se ter em mente que os depósitos de fluorita podem estar contidos tanto nas estruturas principais dos lineamentos como em estruturas muito pequenas (500 m, ou menor) associadas. A exis-

tência de estruturas associadas com as relações geométricas ideais é a indicação de tratar-se de um bom prospecto. Neste sentido, um dos avanços obtido pelo presente trabalho é a possibilidade que o tratamento das imagens orbitais oferece de detectar estas estruturas menores. Por outro lado, a ausência destas significa que (1) a estrutura maior não foi reativada à época da mineralização ou (2), se foi reativada, foi afetada por erosão que removeu as fraturas secundárias (mais rasas). Cabe esclarecer que, embora a falha principal seja mais profunda, os depósitos nela e nas estruturas associadas têm a mesma extensão vertical. Assim, a ausência de estruturas associadas desfavorece a prospecção até mesmo na estrutura principal. Com relação à prospecção na estrutura principal, recomenda-se procurar intersecções com estruturas ENE-WSW, onde ocorrem pontos de inflexão e/ou ramificações.

Agradecimentos - Este estudo teve apoio financeiro da Mineração Floral Ltda, através do projeto FAURGS 714-5, e da FINEP, através do Projeto PRONEX do CPGq/IG/UFRGS. Os autores agradecem à CPRM pelo fornecimento dos dados aerogeofísicos. Ao engenheiro de minas Altair Flamarion Klippel e ao geólogo Clóvis Norberto Savi, da Nitro Química (antiga Floral Mineração Ltda.), pelo apoio nos trabalhos de campo. Aos estudantes de geologia Maurício Prado, Marcelo Schwartz, Ricardo Estrela Brasil e Maicol da Rosa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, F.F.M.1983. Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozóicas da região meridional da Plataforma Sul-Americana. **Revista Brasileira de Geociências** 13 (3): 139-158.
- Araújo, A. H.; Carvalho Jr. 1994. Arquitetura e implementação computacional de filtros digitais multidirecionais para aplicação na detecção de lineamentos estruturais e contatos geológicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38, Balneário Camboriú, 1994. **Resumos Expandidos**, SBG: p.335-337.
- Asmus, H.E. (1984) Geologia da margem continental brasileira. In: Schobbenhaus, C.F., (ed) **Geologia do Brasil**, DNPM, Brasília, pp. 443-472.
- AUTODESK. 2000. **AUTOCAD MAP 2000**. Autodesk, Incorporation. Web: <http://www.autodesk.com>.
- Bastos Neto, A C. 1990. **Le district a fluorine de Santa Catarina (Brésil): mineralizations e alterations hydrothermales dans lens cadre geodynamique**. Orleans, 420pp. These de doctorat en metallogenie. Université de Orleans.
- Bastos Neto, A.C.; Touray, J.C.; Charvet, J.P. & Dardenne, M.A. 1991. Tectonic setting of vein deposits in the Santa Catarina fluorite district (S. Brazil). In: Pagel, M. & Leroy, J.L. (eds) **Transport and Deposition of Metals**, Balkema Rotterdam, p. 423-425.
- Blakely, R.J.1996. **Potential Theory on Gravity and Magnetic Applications**. Cambridge University Press.440 pp.
- Broome, H. J. 1990. Generation and interpretation of geophysical images with examples from the Rae Province, northwestern Canada Shield. **Geophysics**, 55(8):977-997.
- Companhia Brasileira de Geofísica. 1972. **Levantamento aeromagnético campo total. Projeto Ponta Grossa - Criciúma**. 10pp. DNPM/CNEN/CPRM. Rio de Janeiro.
- CPRM - Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais. 1983. **Projeto Fluorita no Sudeste de Santa Catarina**. DNPM/CPRM. Escala 1:100.000. Porto Alegre, mapas.
- CPRM - Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais. 1993. **Catálogo geral de produtos e serviços. Geologia. Levantamentos aerogeofísicos. Base de Dados AERO**. Rio de Janeiro: Diretoria de Geologia e Recursos Hídricos, 136 p ilustr.
- CPRM - Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais. 1994. **Catálogo geral de produtos e serviços. Geologia. Levantamentos Aerogeofísicos. Base de dados AERO**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Diretoria de Geologia e Recursos Hídricos, 367 pp.
- Conceição, J.C.J; Zalan, P.V.; Wolff, S.1988. Mecanismo, evolução e cronologia do rift Sul-Atlântico. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, 2 (2/4): 255-265.
- Dardenne, M.A. 1985. Os depósitos de fluorita da região sul do Brasil. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 2, Florianópolis, SBG. **Boletim de Resumos...**, p 201-214.
- Dardenne, M.A.& Savi, C.N. 1984. Geologia e geoquímica dos filões de fluorita Segunda Linha Torrens e Cocal. **Revista Brasileira de Geociências**, 14 (2):120-127.
- Dobrin, M.B.;Savit, C.H. 1988. **Introduction to geophysical prospecting**.McGraw-Hill, New York, 867 pp.
- Ferreira, A. C.; Almeida, T. I. R. 1989. Tectônica transcorrente e imagens TM-LANDSAT aplicadas à prospecção de fluorita e barita em Santa Catarina. **Revista Brasileira de Geociências**, 19 (2): 207-223.
- Flores, J. A. A. 1998. **Mineralogia e Geoquímica das alterações metassomáticas e hidrotermais das rochas encaixantes da mineralização de fluorita da mina Rio dos bugres, Santa Catarina, Brasil**. Porto alegre, 245 p. Tese de doutoramento, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Flores, J. A. A.; Lisboa, N. A.; Baptista, P. R. D. 1993. Caracterização morfotectônica e morfoestrutural do sudeste de Santa Catarina. **Geociências**, 2 (1): 61-70.
- Fragoso Cesar, A. R. S. 1980. O Cráton do Rio de La Plata e o Cinturão Dom Feliciano no Escudo Uruguaio-Sul-Riograndense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, Balneário Camboriú, SBG. **Anais...**, 5: 2879-2892.
- GEOFOTO S. A. 1978. Levantamento Aeromagnetométrico e aerogamaespectrométrico. Projeto Serra do Mar Sul. **Contrato n. 386/DAD/77 CPRM**. Relatório do Projeto, 40 pp. Rio de Janeiro.
- GEOSOF. 1997. **OASIS MontajTM Data Processing and analysis (DPA) System.v.4.2** Geosoft Inc., Toronto, Canadá.
- Hackspaker, P. C.; Flores, J. A. 1987. Contribuição sobre o controle estrutural das jazidas de fluorita na estrutura Canela Grande, Sudeste de Santa Catarina. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 3, Curitiba, SBG. **Anais...**, 2: 543-550.
- Hoff, Rosemary. 2002. **Integração de dados geológicos, de sensoriamento remoto, espectrorradiométricos e geofísicos aplicada à prospecção de depósitos filoneanos de fluorita hidrotermal no Sudeste de Santa Catarina**. Porto alegre, 235 p. Tese de doutoramento, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Horbach, R.; Marimon, R. 1980. Esboço da evolução tectônica e seu significado na gênese dos depósitos de fluorita no sudeste catarinense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, Balneário Camboriú, SBG. **Anais...**3: 1540-1551.
- Horbach, R.; Marimon, R. 1982. **Contribuição à geologia do distrito de fluorita de Santa Catarina**. Bol. Técnico, Projeto RADAM-BRASIL, Salvador, 104 p.
- Jelinek, A.; Bastos Neto, A.C.; Lelarge, M.L.V.; Soliani Jr. E. (1999) Apatite fission track dating of fluorite ore veins from Santa Catarina state, Brazil: a complex hydrothermal evolution. **Journal of South American Earth Sciences**, (????):367-377.
- Luiz, J. G.; Silva, L. M. C. 1995. **Geofísica de Prospecção**. Editora Universitária UFPA, 311. Belém.
- MacLeod, I. N.; Jones, K.; Dai, T. F. 1993. 3-D Analytic signal in the interpretation of total magnetic field data at low magnetic latitudes. **Exploration Geophysics**, (????):679-688.
- Milligan, P. R.; Gunn, P. J. 1997. Enhancement and presentation of airborne geophysical data. **Journal of Australian Geology & Geophysics**, 17(2): 63-75.
- Minty, B. R. S. 1991. Simple micro-leveling for aeromagnetic data. **Exploration Geophysics**, 22:591-592.

- Morgental, A.; Kircher, C. A. 1983. Síntese do mapa previsional do distrito de fluorita de Santa Catarina. In: Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, 1. Porto Alegre, SBG. **Atas**: 294-306.
- Morgental, A. 1983. **O Distrito Fluorítico de Santa Catarina**. Relatório CPRM. SUREG_PA.
- Nettleton, 1976. **Gravity and magnetics in oil prospecting**. 1ª ed., California, 464 pp.
- Richards, J. A. 1986. **Remote Sensing Digital Image Analysis. An Introduction**. Springer-Verlag, Berlin, 281 pp.
- Rocha, F.F.N. 1997. **Geologia e geoquímica dos filões de fluorita da parte norte do Distrito Fluorítico de Santa Catarina**. Dissertação de Mestrado em Geociências, 188p. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- ROCKWARE, 1999. ROCKWORKS 99. RockWare, Inc. WEB: <http://www.rockware.com/>.
- Roest, W. R.; Verhoef, J.; Pilkington, M. 1992. Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal. **Geophysics**, **57**(1): 116-125.
- Rolim, S. B. A. 2001. **Resposta geofísica dos depósitos de ouro da porção central do Quadrilátero Ferrífero, MG**. Tese de Doutorado, 290 p., Instituto de Geociências, Universidade de Campinas.
- Rolim, S. B. A.; Mendonça, C. A. 2001. Aspectos da resposta magnética dos depósitos de ouro da porção central do Quadrilátero Ferrífero, MG. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 7º. Salvador, SBGf. **Anais...**, base CD-ROM.
- RSI - Research Systems, Inc. 2000. **ENVI 3.5**. Eastman Kodak Company. Web: <http://www.rsinc.com/>.
- Sallet, R. 1988. **Étude pétrologique et métallogénique d'un secteur du District à Fluorine de Santa Catarina, Brésil. Les granitoïds précambriens monzonitiques source probable de la fluorine filonienne post-jurassique**. Thèse de Doctorat. Université de Paris VI, 233 p.
- Sallet, R.; Moritz, R. & Fontignie, D. 2000. Fluorite ⁸⁷Sr/ ⁸⁶ Sr and REE constraints on fluid-melt relations, crystallization time span and bulk D^{Sr} of evolved high-silica granites. tabuleiro granites, Santa Catarina, Brazil. **Chemical Geology**, **164**: 81-92.
- Savi, C. N. 1980. **Gênese e controle das mineralizações de fluorita da região de Criciúma, SC**. Brasília., Dissertação de Mestrado, 112 p Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.
- Silva, M. A. S.; Leites; S. R. 2000. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Criciúma, Folha SH.22-X-B. Estado de Santa Catarina**. Escala 1:250000. CPRM, Brasília. base CD-ROM.
- Swain, C. J. 2000. Reduction-to-the-pole of region magnetic data with variable field direction, and its stabilisation at low inclination. **Exploration Geophysics**, **31**: p 078-83.
- Teixeira, C. A. S. 1969. **Relatório de datações geocronológicas do Projeto Básico da Região Leste e do Projeto Específico da Fluorita**. Porto Alegre, DNPM. Inédito, 39 p.
- Zanini, L. F. P.; Branco, P. M.; Camozzato, E.; Ramgrab, G. E. 1997. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Folha Florianópolis (SG 22-2-D-V) e Lagoa (SG 22-2-D-VI), Santa Catarina (1:100.000)**. CPRM, Brasília, 259 p.