

“... one of the strangest cases which ever perplexed a man’s brain...” (Sherlock Holmes to Watson)
SIR ARTHUR CONAN DOYLE (1859-1930), escritor britânico em “The Crooked Man”

“Qualquer tecnologia suficientemente avançada não é nada diferente da magia”
SIR ARTHUR CHARLES CLARKE (1917-), escritor britânico

Diante dos resultados apresentados nos capítulos precedentes, enumera-se, a seguir, uma série de conclusões:

1) Do tratamento preliminar dos dados geofísicos aéreos:

Na avaliação dos dados do Projeto Geofísico Brasil-Canadá (PGBC), a metodologia proposta para a determinação de “picos” (*spikes*) na gravação original dos dados magnéticos, revelou ser uma técnica eficiente.

Na interpolação dos dados aerogeofísicos em malha regular os métodos que apresentaram melhores resultados foram a krigagem anisótropa e o método de *splines* bi-cúbicos. O método escolhido foi o de *splines* bi-cúbicos. Para os dados do PGBC, os valores mais indicados para a elipse de procura são 1000 metros na direção das linhas de vôo e 5000 metros perpendicularmente. A melhor célula unitária encontrada é quadrática com 500 m de lado.

O algoritmo de micronivelamento baseado em Minty (1991) mostrou eficiência na retirada dos desnivelamentos entre linhas de vôo devidos ao nivelamento insuficiente nos dados magnéticos e gamaespectrométricos.

2) Das transformações dos dados magnéticos aéreos:

Grande parte das filtragens aplicadas sobre os dados aeromagnéticos foi feita do domínio do número de onda. O filtro Butterworth revelou-se eficiente na substituição dos filtros passa-baixa, passa-banda e passa-alta. O filtro de redução ao polo somente foi eficiente para anomalias que provavelmente não possuíam magnetização remanescente. Mesmo assim, o resultado da aplicação do filtro de pseudo-gravidade, baseado nessa redução ao polo, pôde ser comparado ao mapa Bouguer da região.

A aplicação de técnicas de realce de fonte magnética (gradiente horizontal total, amplitudes dos sinais analíticos de primeira e segunda ordens, fase do sinal analítico e terraceamento), mostrou eficiência na determinação de descontinuidades físicas que podem ser traduzidas em unidades geológicas. A aplicação de filtro de diferenças finitas (domínio do espaço) na determinação das derivadas horizontais foi mais efetiva do que no domínio do número de onda. Esses resultados foram utilizados na confecção das malhas do gradiente horizontal, das amplitudes dos sinais analíticos de primeira e segunda ordens e na fase do sinal analítico.

A amplitude do sinal analítico de segunda ordem mostrou melhores resultados do que a amplitude do sinal analítico de primeira ordem por revelar melhor os limites dos corpos causativos e discriminar as unidades de rochas máficas e ultramáficas.

A aplicação de terraceamento sobre a amplitude do sinal analítico de segunda ordem permitiu situar a resposta anômala sobre o traçado dos afloramentos em mapa, definindo melhor as unidades magnéticas em relação à geologia conhecida.

A fase do sinal analítico exibiu um emaranhado de estruturas lineares (lineamentos e limites de propriedade magnética) que auxiliaram na interpretação e correlação às conhecidas da geologia.

Estimativas de profundidades, determinadas esparsamente em pontos na região estudada, a partir das amplitudes do sinal analítico e do espectro de potência para a área em questão, mostraram profundidades entre 10 e 150 metros para as fontes mais superficiais.

Filtros de amplitude ou corte e redefinições no esquema de cores facilitaram enormemente as interpretações da amplitude do sinal analítico de segunda ordem, da fase do sinal analítico entre outros.

3) Da estimativa da superfície Curie:

Na estimativa da profundidade da superfície Curie da área de estudo foram desenvolvidos programas específicos, acrescidos de rotinas que o tornaram mais eficiente, possibilitando cobrir uma área equivalente à do trabalho sem comprometer o resultado (sem perda da metade da largura da janela de dados nas bordas da área). Nessas rotinas incluiu-se a retirada automática de superfície de tendência de grau 1 e a expansão das bordas por dobramento das janelas de dados no domínio de Fourier, garantindo maior estabilidade nas estimativas espectrais. As estimativas em foco, juntamente com alguns dados geotérmicos pontuais, permitiu que se extrapolasse esses últimos para toda a área de estudo em um desdobramento natural da estimativa da superfície Curie, que é sua transposição em dados geotérmicos (gradiente e fluxo, Figuras 7.33a e b).

4) Das interpretações das imagens magnéticas e gamaespectrométricas e suas implicações no mapeamento geológico:

Da análise das imagens magnéticas do campo anômalo e de suas transformadas, foi possível definir quatro tipos principais de relevo magnético: **Relevo magnético suave**, reflete a ausência ou a rara presença de anomalias de alta frequência. Geralmente apresenta anomalias de grande comprimento de onda que são mais facilmente identificáveis do que em áreas magneticamente mais perturbadas. É característico dos DME Rio Araguaia e Padre Bernardo. **Relevo magnético acidentado e incorrelato**: é assim chamado por não apresentar formas definidas correlacionáveis com a geologia conhecida. **Relevo magnético acidentado e correlato**: é bastante semelhante ao anterior, porém são áreas correlacionáveis com alguma unidade geológica ou delimitam áreas que podem ser unidades geológicas. Geralmente é encontrado junto a relevo magnético muito perturbado. **Relevo magnético muito acidentado**: define com clareza estruturas e unidades geológicas principalmente quando se usa a amplitude do sinal analítico (de primeira ou segunda ordem) e a amplitude do sinal analítico de segunda ordem terraceada. Esse tipo de relevo magnético geralmente realça as unidades com rochas máficas e/ou ultramáficas. Os limites dos *greenstone belts* da região de Crixás estão bem definidos, levando-se em conta a resolução do levantamento. Associando essas categorias com unidades geológicas, foram definidas nove unidades magnético – geológicas descritas no texto.

A análise das principais estruturas magnéticas interpretadas a partir, principalmente, das imagens da fase do sinal analítico, da amplitude do sinal analítico de segunda ordem e do campo magnético anômalo, aliada ao conhecimento geológico da região, sugere que essas estruturas estejam

ligadas a um evento com tensão principal, σ_1 , na direção ~E-W. Para as estruturas magnéticas paralelas ao Lineamento Transbrasiliano, N30E, são levóginas (como postula a literatura) e representam falhas do tipo D=Y de Riedel. As estruturas magnéticas N30W, embora raras, foi possível inferir movimentação destra (tipo P de Riedel). As estruturas N60E também permitiram inferir a movimentação (destra, tipo R de Riedel). Estruturas que infletem de ~N80W para ~N30E são observadas na porção sul do Complexo Barro Alto. Nessa região algumas dessas estruturas parecem coincidir com falhas de empurrão ou rampas laterais mapeadas. As mesmas estruturas magnéticas se assemelham a sigmóides, sugerindo estrutura em flor positiva em cujo centro estaria o Complexo Barro Alto. Na região de Santa Terezinha de Goiás foram encontradas estruturas que infletem de N60W a N30E e que, aparentemente, se associam a falhas de empurrão e rampas laterais mapeadas nessa região. Falhas interpretadas a partir dos mapas magnéticos são encontradas na região entre Campinorte e Niquelândia. Essas falhas sugerem deslocamento de rochas com alta susceptibilidade magnética, possivelmente correlacionáveis a seqüências vulcanossedimentares do nordeste do Complexo Hidrolina.

O uso de composição do tipo CMY invertido nos mapas gamaespectrométricos ternários surtiu bom resultado. A melhor combinação foi a que usou o canal do K associado a cor ciano (C), o Th a magenta (M) e o U a amarelo (Y), que permitiu a identificação dos limites e subdivisões dos complexos ortognáissicos de Caiçara e da Anta. Foi introduzida a amplitude do sinal analítico de segunda ordem ou tipo como um quarto elemento à imagem, com bom resultado. O objetivo da introdução foi a melhor identificação de unidades máfico-ultramáficas.

Através da análise das imagens gamaespectrométricas e dos mapas geológicos da área estudada foi possível fazer a associação entre o comportamento gamaespectrométrico e diversos litotipos. Ao todo foram definidos 56 domínios com sua respectiva associação geológica. São observadas subdivisões no complexos ortognáissicos do Maciço de Goiás, como na região entre Goiás e Matrinchã: Complexo Uvã. O Complexo Uvã aparenta estar desmembrado, sendo separado por um braço que pode ser representante do Arco Magmático. Sugere-se o nome de Complexo Itapirapuã para o membro oriental. Para o membro ocidental o nome continuaria a ser Uvã (Figura 7.49, Tabela 7.5).

5) Do levantamento gravimétrico nas regiões dos *greenstone belts* de Crixás, Guarinos e Pilar de Goiás:

O levantamento gravimétrico em semi-detalle foi realizado nas regiões de Crixás, Guarinos e Pilar de Goiás para estudo dos *greenstone belts* locais. A malha gravimétrica foi adensada, revelando cada um dos três *greenstone belts* com maior nitidez que a obtida em trabalhos anteriores (Marangoni *et al.* 1987, Marangoni 1994) a partir do mapa Bouguer. O algoritmo de correção de terreno desenvolvido foi aplicado na área com sucesso. Metodologias de determinação indireta de densidades foram desenvolvidas com base em Nettleton (1939) e Parasnis (1972), sendo que a segunda forneceu melhores resultados.

Modelagem 2-D e inversões 2,5-D e 3-D foram feitas sobre os *greenstone belts*, usando os dados gravimétricos coletados. Modelos baseados na geologia local permitiram a elaboração de seções verticais com a geologia provável das faixas. As profundidades obtidas nos dois métodos de inversão são compatíveis entre si, indicando que o alvo pode chegar a 2 km de profundidade.

6) Da associação à evolução geológica regional:

A análise das imagens ternárias de K, Th e U, em conjunto com os mapas magnéticos transformados, os mapas Bouguer, o mapa de potássio anômalo e o mapa de integração magnético - gamaespectrométrica, à luz do conhecimento geológico, sugere que a região tenha sido afetada por uma seqüência de eventos, iniciando-se pela formação dos terrenos granitóide-*greenstone* e passando pela colisão brasileira, indo até eventos mais recentes:

(i) Os terrenos granitóide-*greenstone*: Para a formação de terrenos tipo granito-*greenstone* na região, Jost *et al.* (1998) postulam que a evolução teria iniciado com um estágio de bacia com vulcanismo komatiítico que progrediu para vulcanismo basáltico, seguido de deposição de sedimentos. Esse conjunto, ao final do estágio de bacia, teria sido submetido a um regime compressivo. Um estágio de granitogênese teria vindo na seqüência. Os dados de campo mostram que a granitogênese ocorreu devido a uma abundância progressiva dos granitóides, iniciando com tonalitos e granodioritos subordinados, como sugerem parte do Complexo Uvá e o Complexo Caiamar, provavelmente formados em duas etapas: uma de gnaisses tonalíticos e granodioríticos de longa história magmática e deformacional, e outra de intrusões apenas de tonalito. Essas intrusões e deformações teriam moldado os *greenstone belts* até um terceiro estágio de estabilização, chamado de epicratônico, atingindo formatos irregulares semelhantes aos atuais, com espessuras máximas em torno de 2 km, como mostram os resultados das inversões dos dados gravimétricos. É claro que essas espessuras são resultados das diversas deformações sofridas pelos terrenos.

(ii) Ciclo Brasileiro: A colisão das placas Amazônica e São Franciscana teria formado, inicialmente, uma geossutura e, conseqüentemente, o Arco Magmático, cadeia orogênica e a Sintaxe dos Pirineus. Ao final desta época, teria se formado o Lineamento Transbrasiliano. Após essa etapa, uma extensão pós-orogênica teria sido causada pelo soerguimento devido a denudação da cadeia, gerando as anomalias Bouguer e a superfície Curie mais rasa na região do Arco Magmático. Uma granitogênese nas zonas de cisalhamento com direção N55-65W (observável nas regiões de Crixás, Guarinos e Pilar de Goiás), onde a fonte de calor seria continuamente reabastecida através do movimento e da água de supracrustais, teria tomado lugar favorecendo a geração dos depósitos hidrotermais conhecidos na região.

(iii) Pós-Brasiliano: Reativações do Lineamento Transbrasiliano parecem ter ocorrido mesmo após a “estabilização” do Arco Magmático, fato evidenciado pelo truncamento deste último pelo primeiro, que é notado na imagem ternária de K, Th e U, nas regiões de Araguapaz e Matrinchã ao sul e ao longo do limite entre os DME Santa Terezinha – Porangatu e Transbrasiliano, onde, provavelmente, estaria a raiz da estruturação do lineamento. Essas reativações parecem ter ocorrido tanto na direção N30E como na direção N60E. Essa última direção parece ter sido posterior à primeira, fato sugerido pela falha magnética interpretada situada entre as cidades de Nova Crixás e Mundo Novo. As falhas do Lineamento Transbrasiliano são ativas até hoje, devido às tensões regionais E-W resultantes da movimentação da placa Sul-Americana gerando eventos sísmicos, apresentados por Hasui & Mioto (1988) e Fernandes *et al.* (1991), compatíveis com essas tensões.

7) Das aplicações na prospecção mineral:

Usando os dados gamaespectrométricos, foi possível estimar o potássio anômalo, usando o algoritmo que foi baseado no método de Pires (1995). A metodologia elaborada consiste em utilizar o terraceamento das malhas dos rádio-elementos K e Th como discriminante do potássio litológico. A

metodologia revelou alinhamentos que coincidem com algumas ocorrências de ouro primário. Essas mesmas ocorrências foram adicionadas aos mapas interpretativos. Observou-se que parte delas se associa a estruturas magnéticas, incluindo lineamentos na fase do sinal analítico, e a alguns contatos entre as unidades. Isso ocorre principalmente nas regiões de Guarinos, Pilar de Goiás e Crixás. Esse fato, aliado aos alinhamentos encontrados no potássio anômalo, pode indicar zonas de cisalhamento, principalmente entre as direções N55-65W (fato também observado em Kuyumjian & Araújo Filho, 1994), nas quais haveria possibilidade da ocorrência de minerais de gênese hidrotermal.

8) *Considerações finais:*

Os mapas de interpretação magnética, gamaespectrométrica e integrada da área de estudo e da área do levantamento gravimétrico representam esboços regionais de unidades geológicas e elementos estruturais. A validade dessas interpretações, apesar de parcialmente confirmadas pela literatura, deverá ser verificada em campo.

A tabela abaixo resume os principais resultados deste trabalho:

TABELA 10.1: Sumário das principais conclusões.

<i>Tópico</i>	<i>Resultado</i>
Interpolador 2-D	Splines Bi-Cúbicos é o melhor interpolador para linhas de vôo orientadas
Micronivelamento	Eficiência na retirada dos desnivelamentos entre linhas de vôo
Amplitude do sinal analítico de segunda ordem	Revela os limites dos corpos causativos e discrimina as unidades de rochas máficas e ultramáficas com eficiência
Terraceamento	Aplicado sobre a amplitude do sinal analítico de segunda ordem, permite situar a resposta anômala sobre o traçado dos afloramentos em mapa
Fase do sinal analítico	Excelente na extração de estruturas lineares (lineamentos e limites de propriedade magnética)
Superfície Curie	Permite que se extrapole dados geotérmicos esparsos em um desdobramento natural que é sua transposição nesse tipo de dado
Interpretação dos dados aerogeofísicos	Permite a inferência de limites e estruturas geológicas, da cinemática de falhas, de subdivisões em unidades geológicas conhecidas, da localização de áreas potencialmente mineralizadas e auxilia no entendimento evolução geológica.
Levantamento Gravimétrico	Adensamento da malha gravimétrica, estimativa indireta de densidades, modelagem e inversões com estimativas de profundidades e elaboração de seções verticais com a geologia provável