MODELO GRAVIMÉTRICO DAS PRINCIPAIS DESCONTINUIDADES CRUSTAIS NOS TERRENOS PRÉ-CAMBRIANOS DOS ESTADOS DO PARANÁ E DE SANTA CATARINA

MARTA S.M. MANTOVANI*, WLADIMIR SHUKOWSKY*, MIGUEL ANGELO S. BASEI** e
ANTÔNIO CARLOS B.C. VASCONCELLOS**

ABSTRACT CRUSTAL MODEL OF THE MAIN STRUCTURES IN THE PRECAMBRIAN TERRAINES OF PARANÁ AND SANTA CATARINA STATES (SOUTH BRAZIL). Gravity data have been measured along a 350 km profile, crossing the geological units known as Dom Feliciano Belt, Luís Alves Craton, and Curitiba Massif (Southern Brazil). These structures, which are well studied from the geological and geochronological point of view, but are devoid of regional scale geophysical data, have been interpreted as indicative of a "type A" subduction. A quantitative tectonic model is presented, which is compatible with the regional Bouguer anomaly profile. The regional curve was established by filtering the small scale features of the gravity signal in correspondence to the outcropping bodies. Due to the lack of any deep seismic profile in the area, the solution is not rigorously constrained in the vertical dimension, but it is shown that the geometry of the model is not sensitive to the assumed average crustal thickness. The detailed geological knowledge of the area has significantly contributed to the improvement of the regional scale gravity interpretation.

RESUMO É apresentado um perfil gravimétrico de 350 km, que atravessa as unidades geológicas do Cinturão Dom Feliciano, do Cráton Luís Alves e do Maciço de Curitiba (sul do Brasil). Essas estruturas bem conhecidas geológica e geocronologicamente, mas que carecem de dados geofísicos em escala regional, têm sido interpretadas como indicativas de uma subducção do "tipo A". Com base nos dados gravimétricos levantados, foi elaborado um modelo tectônico quantitativo. A curva regional foi traçada filtrando-se as feições de pequena escala do sinal gravimétrico, em correspondência aos corpos que afloram ao longo do perfil. Devido à ausência de dados de sísmica profunda, a solução não foi vinculada rigorosamente na vertical, mas demonstra-se que a geometria do modelo não é sensível ao valor da espessura média assumida para a crosta. O alto grau do conhecimento geológico da área contribuiu significativamente ao detalhe da interpretação apresentada em escala regional.

INTRODUÇÃO Os estudos relativos às grandes estruturas dos terrenos pré-cambrianos que afloram nos Estados do Paraná e de Santa Catarina têm-se baseado quase que exclusivamente em observações geológicas e geocronológicas. Essas informações encontram-se distribuídas em várias publicações, sendo que, entre os estudos de regionalização da área, destacam-se os trabalhos de Almeida *et al.* (1973), Hasui *et al.* (1975), Fragozo César (1980), Kaul (1980), Cordani *et al.* (1980), Hasui (1982), Issler (1982), Kaul & Teixeira (1982), Cordani & Brito-Neves (1982), Fragozo César *et al.* (1982a, b), Silva (1983), Jost & Hartmann (1984), Basei (1985) e Basei *et al.* (1988). A existência de dois blocos crustais, em vista da semelhança do sinal gravimétrico comparado ao observado no Escudo Canadense, foi qualitativamente discutida por Haralyi *et al.* (1982) a partir de dados gravimétricos levantados ao longo das rodovias BR-116 e BR-101.

Os vários modelos tectônicos apresentados não puderam até agora ser quantificados, pois a área em estudo carecia de dados geofísicos de caráter regional com o detalhamento necessário para seu tratamento numérico. No caso específico do trecho em questão (Fig. 1) foi feito um levantamento gravimétrico ao longo das estradas que unem as cidades de Braço do Norte (SC) e Pirai do Sul (PR), em um perfil linear de 350 km de extensão. As medidas efetuadas foram utilizadas, em sua primeira fase de análise, para determinar as profundidades relativas da interface crosta-manto ao longo desse perfil.

A determinação da geometria da descontinuidade de Moho permite tecer considerações não apenas quanto à validade dos modelos tectônicos, como também quanto à seleção dos possíveis processos que possam ter provocado a anomalia gravimétrica medida.

A modelagem é vinculada a parâmetros geológicos derivados das observações na superfície; os valores das densidades utilizados nos cálculos do modelo correspondem a médias ponderadas de valores medidos em amostras coletadas de diferentes unidades geológicas, bem como a valores de literatura para composições médias de crosta profunda e manto.

GEOLOGIA DA ÁREA As principais características litoestratigráficas, estruturais, metamórficas e geocronológicas dos terrenos pré-cambrianos dos Estados de Santa Catarina e Paraná permitem individualizar, de sul para norte, quatro grandes domínios tectono-estratigráficos (Fig. 1): o Cinturão Dom Feliciano, o Cráton Luís Alves, o Maciço de Curitiba e o Cinturão Ribeira (Fragoso César 1980, Basei 1985). Os três primeiros domínios, cuja descrição sucinta é apresentada em seguida, constituem o objeto do presente estudo. Análises mais detalhadas foram recentemente elaboradas por Basei (1985) e Basei *et al.* (1987a, b).

O Cráton Luís Alves (Kaul 1980), limitado a sul e a norte por grandes cavalgamentos frontais, respectivamente, do Cinturão Dom Feliciano e do Maciço de Curitiba, serviu de antepaís para as faixas de dobramentos adjacentes, durante o Proterozóico Médio e Superior (Basei *et al.* 1988). Seus terrenos são constituídos predominantemente por unidades granulito-migmatíticas (Complexo Granulítico de Santa Catarina, Hartmann *et al.* 1979), que englobam uma suíte cálcio-alcalina (granitóides tonalito-granodioríticos e metabásicas – Figueiredo *et al.*, s.d.) e, subordinadamente, gnaisses kinzingíticos, quartzitos, formação ferrífera e migmatitos (Kaul 1979, Hartmann *et al.* 1979, Santos *et al.* 1984, Basei 1985, Silva 1984). O padrão geocronológico dessas unidades indica tratar-se de rochas arqueanas submetidas a intenso

* Instituto Astronômico e Geofísico, USP, Caixa Postal 30627, CEP 01051, São Paulo, SP, Brasil

** Instituto de Geociências, USP, Caixa Postal 20899, CEP 01498, São Paulo, SP, Brasil

Figura 1 – Localização do perfil gravimétrico em correspondência às principais unidades geológicas. O mapa geológico foi elaborado a partir de Monaco et al. (1974), Basei (1985) e Basei et al. (1988).

Figure 1 – Display of the gravimetric profile in correspondence to the main geological units. The geological map was elaborated from Monaco et al. (1974), Basei (1985) and Basei et al. (1988)

metamorfismo de alto a médio grau durante o Proterozóico Inferior (Basei *et al.* 1988, Mantovani *et al.* 1987). Durante a evolução das faixas de dobramentos adjacentes, esses terrenos tiveram um comportamento estável, como evidenciam as idades K/Ar mais antigas que 1,7-1,9 Ma; efeitos da tectônica brasileira se manifestam somente como reativações localizadas em zonas de falhas.

O Maciço de Curitiba tem como limite setentrional os cavaleamentos dos metassedimentos da Faixa Apiaí (grupos Setuva e Açunguá) e corresponde à parte da infra-estrutura do Cinturão Ribeira, tectonicamente sobreposta aos terrenos do Cráton Luís Alves (Basei *et al.* 1988). As áreas de exposição desses terrenos são divididas, de preferência, por unidades de hornblenda-biotita gnaisses bandados e anfíbolitos com unidades de gnaisses migmatíticos, migmatitos e granitóides gnaissificados ou não; unidades granulito-charnockíticas são representadas principalmente pelos maciços de Serra Negra e Itatins (Kaul 1979, Kaul & Teixeira 1982, Basei 1985). A zona de contato com o Cráton Luís Alves é caracterizada por frequente ocorrência de corpos básico-ultrabásicos associados a granulitos, dos quais se pode destacar o de Piên (Girardi 1976). Idades isocrônicas Rb/Sr referentes ao Proterozóico Inferior, ou mesmo mais antigas, são conhecidas para as rochas de fácies granulito dos maciços de Piên, Serra Negra e Itatins (Girardi *et al.* 1974, Kaul & Teixeira 1982). Os dados Rb/Sr e K/Ar para os gnaisses, migmatitos e granitóides do Maciço de Curitiba, ao contrário daqueles para os terrenos do Cráton Luís Alves, evidenciam intenso retrabalhamento e/ou geração durante os eventos geodinâmicos do Proterozóico Médio e Superior (Basei *et al.* 1988).

O Cinturão Dom Feliciano (Fragoso César 1980) é de estruturação brasileira, apresenta vergência tectônica para noroeste e mostra um zoneamento metamórfico em sentido contrário à vergência tectônica. Basei (1985) e Basei *et al.* (1987b) subdividiram esta unidade, de sudeste para noroeste, em três domínios distintos: interno, intermediário e externo.

O domínio interno, que aflora da linha de costa ao cavaleamento, que o sobrepõe ao domínio intermediário (Falha de Major Gercino), é constituído por granitóides gnaissificados, frequentemente com estruturas migmatíticas e cortados por granitóides quartzo-monzoníticos (localmente dioríticos a quartzo-dioríticos, Suíte São Pedro de Alcântara). Biotita granitos e quartzo-monzonitos grossos a porfíroides e, subordinadamente, microgranitos, aplitos, riólitos e tufos constituem o magmatismo mais jovem (Suíte Pedras Grandes). Nesse domínio são ainda descritas rochas sedimentares tipo "flyschoid" (Formação Queçaba) encaixadas tectonicamente nos granitóides (Trainini *et al.* 1978, Basei 1985).

As exposições do domínio intermediário são balizadas, a sul, pela Falha de Major Gercino e, a norte, pelos cavaleamentos sobre o Grupo Itajaí (Basei 1985, Basei *et al.* 1987c). Esse domínio é constituído principalmente pelas seqüências metassedimentares e metavulcanossedimentares (de grau de metamorfismo fraco a médio) pertencentes ao Grupo Brusque e por corpos batolíticos de biotita monzogranitos porfíroides (Suíte Valsungana) e corpos de dimensões menores de (granada)-moscovita-biotita granitos equigranulares (Suíte Guabiruba); no setor oriental do domínio intermediário ocorrem núcleos de embasamento representados por ortognaisses e migmatitos (Kaul 1976, Trainini *et al.* 1978, Silva 1984, Basei 1985).

Sotoposto tectonicamente ao domínio intermediário e ora discordante, ora limitado por falhas com o Cráton Luís Alves, o domínio externo constitui a antefossa molássica do Cinturão Dom Feliciano (Fragoso César 1980, Basei 1985, Basei *et al.* 1987c). É constituído de preferência pelos metassedimentos anquimetamórficos do Grupo Itajaí e pela Suíte Plutonovulcânica Subida.

AQUISIÇÃO E REDUÇÃO DE DADOS O trecho do

levantamento cujos dados serão aqui analisados estende-se desde a cidade de Braço do Norte (a sul) até Pirai do Sul (a norte), com mais de 200 estações gravimétricas num percurso de aproximadamente 400 km.

As medidas gravimétricas foram realizadas com um gravímetro LaCoste & Romberg (modelo G), cuja precisão de 0,02 mGal é excelente para um levantamento na escala regional. As estações gravimétricas foram levantadas ao longo das estradas marcadas no mapa geológico (Fig. 1) de modo a cruzar as estruturas quase perpendicularmente. As medidas foram realizadas a pelo menos cada 3 km e densificadas (até 1 km de espaçamento entre dois pontos) em regiões onde se observaram fortes gradientes gravimétricos.

As coordenadas dos pontos medidos foram extraídas de mapas topográficos na escala 1:50.000 e, considerando-se a falta de atualização e de pontos de referência, estimou-se um erro máximo de 300 m, que representa um erro de 0,07 mGal na Fórmula Internacional da Gravidade de 1967.

Simultaneamente com as medidas gravimétricas foi também determinada a altitude das estações, por meio de altimetria barométrica apoiada em referências de nível (RN) da rede de nivelamento de precisão do IBGE. Foram feitas, juntamente com o estudo gravimétrico, leituras altimétricas, utilizando-se quatro altímetros barométricos e dois psicrômetros. A determinação da altitude das estações foi feita segundo o método da base fixa (com dois altímetros e um psicrômetro) no qual se monitora a variação das condições atmosféricas enquanto os equipamentos restantes acompanham o gravímetro. A distância máxima entre os altímetros fixos (base) e os móveis foi limitada a 20 km, para a qual se consideram homogêneas as condições atmosféricas.

A correção das medidas altimétricas foi feita segundo procedimento recomendado pelo fabricante dos altímetros e inclui correções de latitude, temperatura e umidade. Tal procedimento permitiu uma precisão de 3 m, que corresponde a um erro inferior a 0,6 mGal na anomalia Bouguer, também compatível com a escala do levantamento.

Correções topográficas não foram efetuadas, principalmente pela falta de apoio cartográfico. Por outro lado, um estudo dos valores de correção topográfica realizado no Estado de São Paulo (Shukowsky *et al.* 1987) indica que, mesmo em regiões de topografia tão ou mais acidentada que a da área atravessada pelo perfil, em 99% dos casos a correção topográfica é inferior a 2 mGal, de modo que a omissão dessa correção em um perfil regional não afeta significativamente o resultado do modelamento. Vale aqui citar que em apenas dois trechos ao longo de todo o perfil foram atravessadas regiões acidentadas, que somente num levantamento de detalhe exigiriam correções topográficas.

Para caracterizar os diferentes domínios tectono-estratigráficos atravessados, mediu-se o valor da densidade de um conjunto representativo de amostras coletadas em cada unidade geológica. Os valores médios obtidos são apresentados na tabela 1.

O valor teórico da gravidade em cada ponto foi calculado utilizando a Fórmula Internacional de 1967:

$$g = 978,03090 (1 + 0,005302 \sin^2 \varphi - 0,5828 \cdot 10^{-5} \sin^2 2\varphi) \text{ Gal} \quad (1)$$

e o valor de $2,67 \text{ g.cm}^{-3}$, utilizado no cálculo da anomalia de Bouguer, está de acordo com os valores medidos para cada unidade geológica.

O perfil de anomalia Bouguer obtido bem como os modelos correspondentes são apresentados nas figuras 2 e 4. A localização em relação às estruturas atravessadas pode ser observada na figura 1.

ANÁLISE DO PERFIL DE ANOMALIA BOUGUER O perfil de anomalia Bouguer apresenta uma assinatura complexa e a compreensão da mesma é essencial para a

Tabela 1 – Valores médios das densidades calculadas para cada conjunto representativo de unidade geológica identificada na área

Table 1 – Average densities of representative set of samples for each geological unit identified in the area

Trecho	Nº de Medidas	Densidade (g/cm ³)
Blumenau - Corupá	6	2,93 ± 0,17
Corupá - S.Bento do Sul	4	2,87 ± 0,12 (embasamento) 2,77 ± 0,02 (granitóide)
S.Bento do Sul - Piên	12	2,95 ± 0,14
Piên - Mandrituba	13	2,97 ± 0,08 (diques de diabásio) 2,94 ± 0,01
Mandrituba - Curitiba	14	2,63 ± 0,11
Curitiba - Castro	3	2,78 ± 0,11
	1	2,99 ± 0,11 (diques de diabásio)
Cinturão Dom Feliciano		2,69 (sedimentos + vulcânicas)
Itajaí		2,76 (metassedimentos)
Brusque		2,65 (granitos) 2,69 (granitos foliados)

correta interpretação do modelamento descrito a seguir. Assim, nota-se a presença de diversas anomalias localizadas (de curto comprimento de onda) características de feições estruturais rasas sobrepostas a um padrão regional associado a feições estruturais profundas.

Uma primeira análise das anomalias localizadas permite associá-las aos corpos que afloram ao longo do perfil ou em suas proximidades (neste caso inferindo-se sua existência em subsuperfície ao longo do perfil), desde que seja conhecida sua densidade média característica.

Entre as principais unidades aflorantes ao longo do perfil (Fig. 1), destacam-se: os metassedimentos e vulcânicas tufáceas, do Grupo Itajaí (entre 180 e 200 km), as vulcânicas da Formação Campo Alegre (de 115 a 130 km), o granito de Valsungana (de 210 a 255 km) e os granitóides da Suíte São Pedro de Alcântara (de 240 a 255 km) com densidade de 2,65 g.cm⁻³; os granitóides de Agudos do Sul (de 75 a 90 km) com densidade de 2,63 g.cm⁻³; e os sedimentos cenozóicos da bacia sedimentar de Curitiba (de 20 a 45 km) com densidade de 2,2 g.cm⁻³, todos associados a anomalias negativas. Em contraste, observam-se, em correspondência às anomalias positivas, rochas ultrabásicas e básicas de Piên (de 100 a 110 km) com densidade estimada de 2,95 g.cm⁻³; rochas básicas e ultrabásicas da região de Botuverá (de 200 a 210 km) e da região de Canelinhas (de 225 a 240 km) com densidade estimada de 2,85 g.cm⁻³. Para as anomalias positivas observadas a distâncias inferiores aos 20 km e superiores aos 310 sobre o perfil, não existem elementos geológicos suficientes que permitam qualquer correlação.

Levando-se em conta a densidade e as dimensões superficiais dos corpos aflorantes, traçou-se a curva M1 (Fig. 2), que representa a tendência regional característica das unidades de dimensões crustais. Esta apresenta um mínimo acentuado (entre 40 e 120 km, Fig. 2) com gradiente muito elevado, principalmente em sua porção mais a sul, entre as cidades de Agudos do Sul e Jaraguá do Sul, onde se dá a

justaposição do Maciço de Curitiba ao Cráton Luís Alves. Este mínimo é seguido por um máximo em correspondência aos terrenos granulíticos do Cráton Luís Alves, decaindo suavemente entre Blumenau e Angelina-Anitápolis, em correspondência às *nappes* de empurrão do Cinturão Dom Feliciano. No extremo sul do perfil, apesar de não se poder definir com precisão o gradiente observado, nota-se uma retomada da tendência ascendente, dirigida para sul; este comportamento é indicado também pelos dados preliminares, para o mesmo cinturão, no Escudo Sul-Rio-Grandense.

Figura 2 – Traçado da regional M1 (círculos) e modelo gravimétrico 1 correspondente (linha cheia); neste caso, foi considerado o número mínimo (três) de blocos para representar a anomalia regional. Os valores de densidade utilizados estão indicados em cada bloco (g.cm⁻³) e os índices correspondem ao número do bloco referido no texto

Figure 2 – Regional component M1 (circles) and the correspondent gravimetric model (Solid Line); here only three bodies were taken to represent the regional component. Density values are indicated for each block in (g.cm⁻³) and the index corresponds to the block number referred in the text

Os gradientes e as amplitudes da curva regional (M1) sugerem a delimitação de três unidades crustais distintas que, em traços gerais, concordam com a compartimentação tectônica descrita para a área. Padrões gravimétricos como este de M1 são também associados à justaposição de blocos crustais distintos em diferentes áreas de colisão continental, onde a existência de perfis de sísmica de refração profunda permitiu determinar com maior precisão os parâmetros característicos dos blocos associados (Williams & Hatcher 1983, Karner & Watts 1983, Gibb *et al.* 1983).

Superpostas a essa regional (M1), observam-se duas anomalias positivas marcantes em correspondência aos segmentos entre Piên e São Bento do Sul (A) e entre Angelina e Anitápolis (B), que podem ser atribuídas à tectônica de empurrão que justapõe os três blocos principais, envolvendo a crosta inferior, nos limites dos três domínios, como se discutirá mais adiante. Nesse sentido, como regional M2 é considerado o perfil observado em todas as suas componentes de médio a longo comprimento de onda.

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados apresentados a seguir baseiam-se nos modelos gravimétricos obtidos para os perfis M1 e M2 (Figs. 2 e 4). Como primeira e única premissa admitiu-se que o segmento de crosta em estudo encontra-se em equilíbrio isostático (Betchel *et al.* 1987): as profundidades relativas entre os blocos, inferidas por essa condição, constituiram o ponto de partida para a obtenção dos modelos.

O modelamento baseou-se nos procedimentos convencionais de ajuste entre os dados observados (regionais M1 e M2) e o sinal gravimétrico calculado, devido a corpos de geometria 2^{1/2} D (Enmark 1981). Notar que esse tipo de tratamento de dados deve utilizar vínculos bem estabelecidos para fornecer soluções unívocas. Infelizmente, na área em

questão não existem dados de sismica profunda, o que definiria com bastante precisão a estrutura na vertical. Entretanto, testes efetuados sobre o perfil mostraram que, variando-se a profundidade média da Moho num intervalo de 10 km, não se observa mudança sensível na geometria determinada (Fig. 3).

Figura 3 – Modelo gravimétrico para três valores de profundidade média da Moho (35, 40 e 45 km); nota-se que a variação da geometria é desprezível face à variação vertical aplicada.

Figure 3 – Gravimetric model for three different depth to the Moho average values (30, 35 and 40 km); the geometry does not vary with the difference in depth of the models

Os resultados são apresentados em duas etapas de complexidade, sendo que o modelo mais simples, relativo ao perfil M1 (modelo 1), fornece também os valores iniciais dos parâmetros utilizados no ajuste do perfil M2 (modelo 2).

Modelo 1 O primeiro modelo envolve o número mínimo de corpos (três) necessários para explicar o padrão traçado. Os vértices 1 e 2 (Fig. 2) foram fixados com base nos extremos, observados em superfície, para o Cráton Luís Alves. Embora o limite entre as unidades crustais central (bloco 2) e meridional (bloco 3) corresponda geológica (Basei 1985, Basei *et al.* (1987a) e isotopicamente (Mantovani *et al.* 1987) à Falha de Major Gercino, este foi transportado para o extremo setentrional do Cinturão Dom Feliciano, uma vez que a densidade média de seus terrenos se aproxima mais daquela estabelecida para o bloco meridional.

A porção mais superficial da crosta do bloco 2 é constituída por rochas granulíticas de densidade relativamente elevada ($2,90 \text{ g.cm}^{-3}$) e, portanto, todo o segmento de crosta dessa unidade deve ser caracterizado por uma densidade média elevada. Com base nesse valor para sua parte superior e considerando-se que as densidades características da crosta inferior são aproximadamente invariantes ($2,95 \text{ g.cm}^{-3}$), resultou para todo o bloco o valor médio de $2,92 \text{ g.cm}^{-3}$.

Para os dois blocos extremos, os dados geológicos existentes são indicativos de crosta continental normal, tendo-se portanto assumido como densidade média o valor típico desses terrenos ($\sim 2,87 \text{ g.cm}^{-3}$; Woodside & Bowin 1970, Voggenreiter *et al.* 1988). Utilizando os mesmos argumentos para esses dois últimos blocos, inferiu-se uma espessura média de 40 km, mais frequentemente observada em terrenos proterozóicos semelhantes (Mukhopadhyay & Gibb 1981, Voggenreiter *et al.* 1988). Conseqüentemente, havendo equilíbrio isostático, a espessura do bloco central é confinada a 44 km.

Finalmente, o manto subjacente aos três blocos foi considerado normal com densidade média de $3,32 \text{ g.cm}^{-3}$ (Woolard 1969).

Utilizando os parâmetros acima, o melhor ajuste aos dados definiu a geometria do modelo 1 representada na figura 2. Ao lado do pequeno espessamento crustal observado nas regiões adjacentes à justaposição das três unidades crustais, destaca-se

a geometria distinta dos dois limites. Enquanto no limite entre as unidades 1 e 2 a inclinação é bem acentuada, o outro se mostra como uma superfície mais horizontalizada. Essas feições estão de acordo com o padrão tectono-estrutural da área (Fig. 2); do mesmo modo a geometria sub-horizontal do limite do Cinturão Dom Feliciano é compatível com aquelas definidas para os terrenos adjacentes ao antepaís em outros cinturões de dobramentos (Karner & Watts 1983, Ando *et al.* 1983).

Modelo 2 No segundo modelo foi utilizado um maior número de blocos para representar uma situação mais próxima à indicada pela geologia de superfície, bem como para explicar o perfil observado (M2), que envolve anomalias secundárias, cujas características são típicas de corpos ou descontinuidades profundas.

A porção setentrional do bloco 3 (Fig. 2) foi representada geometricamente por uma cunha superposta ao bloco 2, já que suas características petro-tectônicas indicam tratar-se de unidades associadas à margem continental do Cinturão Dom Feliciano, desenvolvido sobre a borda do Cráton Luís Alves. A dissociação dos domínios intermediário e externo, representados por essa cunha, do domínio interno do cinturão é corroborada pelos dados isotópicos. A densidade desse corpo foi considerada de $2,74 \text{ g.cm}^{-3}$ (Fig. 4).

Figura 4 – Traçado do modelo gravimétrico M2 (linha cheia) e sua comparação com o sinal observado (círculos). As densidades utilizadas são indicadas em cada bloco

Figure 4 – Gravity model M2 (solid line) compared to the observed signal (dots). Densities are indicated for each block

Como as características das anomalias positivas maiores do perfil associam-nas a corpos de dimensões subcrustais, as feições anômalas foram atribuídas ao soerguimento de segmentos da crosta inferior durante o processo de justaposição das unidades crustais [situações semelhantes observadas nos Alpes, na zona de Ivrea (Oxburgh 1972) e na *nappe* de Juton no Cinturão Caledoniano (Smithson *et al.* 1974)]. Para tanto, as duas unidades externas foram subdivididas em dois segmentos de crosta (superior, com densidade de $2,78 \text{ g.cm}^{-3}$, e inferior, com $2,95 \text{ g.cm}^{-3}$; Smithson *et al.* 1974, Voggenreither *et al.* 1988).

Para os terrenos gnáissico-migmatíticos que ocorrem a sul de Piên, e interpretados como uma cunha alóctone do Maciço de Curitiba por Basei *et al.* (1988), foi utilizada uma densidade de $2,78 \text{ g.cm}^{-3}$ na modelagem M2.

Esse segundo modelamento permitiu um excelente ajuste entre as anomalias observadas e calculadas de médio e longo comprimento de onda (Fig.4). Os resíduos calculados nesse modelamento não ultrapassaram 14 mGal (Fig. 5), estando, portanto, de acordo com o sinal esperado para os corpos superficiais que ocorrem ao longo do perfil, como se descreveu anteriormente.

A respeito da anomalia positiva A (Fig. 4), o registro gravimétrico é indicativo do envolvimento da crosta inferior

Figura 5 – Modelo tectônico e valores residuais entre o sinal observado e o calculado para M2. O valor absoluto dos resíduos não excede 14 mGal, sendo notável a correspondência das oscilações principais de seu sinal com os limites dos corpos observados em superfície: P₁ = Piên; P₂ = Canelinhas; N₁ = granitóides Agudos do Sul; N₂ = Formação Campo Alegre (Corupá); N₃ = Grupo Itajaí; N₄ = Suíte São Pedro de Alcântara

Figure 5 – Tectonic model and residuals of M2. Absolute value of residue does not exceed 14 mGal, being remarkable the correspondence of its oscillations with border of the observed bodies on the surface: P₁ = Piên; P₂ = Canelinhas; N₁ = Agudos do Sul granitoids; N₂ = Campo Alegre Formation (Corupá); N₃ = Itajaí Group; N₄ = São Pedro de Alcântara Suite

até a superfície numa geometria mais verticalizada. Essa situação é corroborada pelos dados de geologia de superfície que registram, ao longo do limite do Maciço de Curitiba com o Cráton Luís Alves, a ocorrência da inúmeros corpos de rochas básicas e ultrabásicas, cujos dados petrogenéticos são indicativos tratar-se de material de crosta inferior com uma evolução metamórfica de condições de aproximadamente 10 para a 4 kb (Girardi & Ulbrich 1978).

CONSIDERAÇÕES FINAIS A análise do perfil gravimétrico apresentada acima indica a existência, nos Estados do Paraná e de Santa Catarina, de pelo menos duas unidades crustais maiores distintas, parcialmente sobrepostas aos terrenos do Cráton Luís Alves (Figs. 2 e 3). Essa geometria de blocos crustais obtida a partir da análise de dados gravimétricos vem corroborar a proposta de Basei (1985) e Basei *et al.* (1988), sugerindo a estruturação tectônica final do Cinturão Dom Feliciano como consequência de processos de

subducção do “tipo A” durante o evento geodinâmico Brasileiro.

A existência de um bloco crustal independente, a norte do Cráton Luís Alves, foi anteriormente sinalizada por Haralyi *et al.* (1982), que atribuíram a estruturação dos mesmos ao evento Jequié. Essa interpretação, no entanto, não tem sido corroborada pelos recentes estudos geocronológicos na área (Basei 1985, Soliani 1986).

Os resultados aqui apresentados, aliados às diferenças tectono-estratigráficas e isotópicas que vêm sendo descritas (Basei 1985, Mantovani *et al.* 1987, Basei *et al.* 1988), permitem atribuir um caráter de terreno suspeito (*suspect terrane* de Schermer *et al.* 1984) para essas duas unidades e, embora sejam aqui denominadas unidades crustais, podem, no entanto, representar blocos de dimensões litosféricas.

Os padrões dos gradientes gravimétricos observados resultaram em geometrias distintas para a justaposição dos blocos indicando, portanto, prováveis diferenças nos

mecanismos e/ou na história evolutiva dos processos tectônicos envolvidos (Fig. 3). No presente caso, isso se torna evidente tanto pela diferente história evolutiva das duas unidades externas bem como pelas distintas características estruturais de seus limites. Essa discrepância é também evidenciada pelo padrão de resfriamento do evento termo-tectônico brasileiro (registrado pelo sistema K/Ar em diferentes minerais), o qual sugere o envolvimento das unidades do cráton, quando da justaposição do Maciço de Curitiba, em oposição à colocação dos terrenos do Cinturão Dom Feliciano ao longo de uma superfície de descolamento (Basei 1985).

Paralelamente a essa distinção na geometria de justaposição ressalta-se que, embora inicialmente os dois blocos tenham sido considerados idênticos quanto a densidades e espessuras, os dados gravimétricos distinguem-nos seja a nível da espessura total e/ou de suas relações entre crostas inferior e superior (Fig. 3).

Como contribuição ao arcabouço tectônico maior do Cinturão Dom Feliciano no Estado de Santa Catarina, destaca-se que este é constituído por duas diferentes unidades crustais: uma representada por seu domínio interno e a outra pelos domínios externo e intermediário, provavelmente desenvolvidos sobre ou na borda do Cráton Luís Alves (Fig.

3). Essa compartimentação maior do cinturão tem sido também evidenciada pelos estudos isotópicos (Mantovani *et al.* 1987).

Finalmente, no tocante à metodologia utilizada ressalta-se que, apesar da não unicidade de solução dos métodos potenciais, o tratamento detalhado de dados gravimétricos regionais, vinculados a dados geológicos de superfície, constituem uma ferramenta poderosa para definir unidades crustais maiores, bem como para caracterizar as geometrias de suas suturas e estabelecer limites para a análise dos prováveis mecanismos tectônicos ocorridos.

Agradecimentos Os autores agradecem aos professores M. da C. Campos Neto e B.B. de Brito-Neves, e aos geólogos O. Siga Jr. e J.P.B.C. de Vasconcellos, pelas sugestões e discussões ao longo do desenvolvimento deste trabalho. Aos relatores da RBG, um dos quais o colega E.J. Milani, pelas críticas e sugestões que enriqueceram a versão final. Ao aluno A.B. Buoro e ao técnico E.C. Leite, pelo apoio na aquisição dos dados no campo, preparação e redução dos mesmos para fins de processamento; e ao técnico R.P. Castellon, pela determinação das densidades específicas. A realização deste trabalho (Geolit 89/01) tornou-se possível graças ao apoio financeiro da Fapesp, CNPq e Finep.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M.; AMARAL, G.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K. 1973. The Precambrian evolution of South America Cratonic Margin south of the Amazon River. In: NAIRN, A.E. & STEHLI, F.G. eds. *The ocean basins and margins*. New York, Plenum Publ. Co. v. 1, p. 411-446.
- ANDO, C.J.; COOK, F.A.; OLIVER, J.E.; BROWN, L.D.; KAUFMAN, S. 1983. Crustal geometry of the Appalachian orogen from seismic reflection studies. In: HATCHER JR. R.D., WILLIAMS, H., ZIETZ, I. eds. *Contribution to the tectonics and geophysics of mountain chains*. Geol. Soc. Am. p. 83-101. (Memoir 158).
- BASEI, M.A.S. 1985. *O Cinturão Dom Feliciano em Santa Catarina*. São Paulo, 185p. (Tese Dout. IGUSP, ined).
- BASEI, M.A.S.; SIGA JR., O.; VASCONCELLOS, J.P.B.C. DE. 1987a. Geometria e cronologia dos dobramentos superpostos no Grupo Brusque, SC. In: SIMP. SUL-BRAS. GEOL. 3, Curitiba, 1987. *Atas...* Curitiba, SBC - PR/SC/RS. v. 2, p. 707-724.
- BASEI, M.A.S.; CORDANI, U.G.; VASCONCELLOS, J.P.B.C. DE. 1987b. Tectônica e granitogênese do Pré-Cambriano de Santa Catarina. In: SIMP. SUL-BRAS. GEOL. 3, Curitiba, 1987. *Atas...* Curitiba, SBG - PR/SC/RS. v. 2, p. 789-790.
- BASEI, M.A.S.; KAWASHITA, K.; SIGA JR., O. 1987c. Idade, características litoestratigráficas e estruturais do Grupo Itajaí, SC. In: SIMP. SUL-BRAS. GEOL. 3, Curitiba, 1987. *Atas...* Curitiba, SBG - PR/SC/RS. v. 1, p. 93-106.
- BASEI, M.A.S.; SIGA JR., O.; VASCONCELLOS, J.P.B.C. DE; SILVA, P.C.S. DA. 1988. *Evolução Geotectônica dos terrenos pré-cambrianos a eopaleozóicos dos Estados do Paraná e Santa Catarina*. São Paulo, USP. (Rel. FAPESP 115p, ined).
- BETCHEL, T.D.; FORSYTH, D.W.; SWAIN, C.J. 1987. Mechanisms of isostatic compensation in the vicinity of the East African Rift, Kenya. *Geophys. J. Roy. astron. Soc.*, 90:445-465.
- CORDANI, U.G.; SARTORI, P.L.P.; KAWASHITA, K. 1980. Geoquímica dos isótopos de estrôncio e a evolução da atividade vulcânica na bacia do Paraná durante o Cretáceo. *Anais Acad. Bras. Ciênc.*, 52(4):811-818.
- CORDANI, U.G. & BRITO-NEVES, B.B. 1982. The geologic evolution of South America during the Archean and Early Proterozoic. *Rev. Bras. Geoc.*, 12(1-3):78-88.
- ENMARK, T. 1981. A versatile interactive computer program for computation and automatic optimization of gravity models. *Geosurveying*, 19:47-66.
- FIGUEIREDO, M.C.H.; BASEI, M.A.S.; MANTOVANI, M.S.M.; FRYER, B.J. s.d. Geochemistry of the Luís Alves Granulitic Complex, southern Brazil: A differentiation model of high alumina tholeiites. *Chem. geol.* (submetido).
- FRAGOSO CÉSAR, A.R.S. 1980. O Cráton do Rio de La Plata e o Cinturão Dom Feliciano no Escudo Uruguaio-Sul Rio-Grandense. In: CONGR. BRAS. GEOL. 31, Baln. Camboriú, 1980. *Anais...* Baln. Camboriú, SBG. v. 5, p. 2879-2892.
- FRAGOSO CÉSAR, A.R.S.; WERNICK, E.; SOLIANI JR., E. 1982a. Associações petroectônicas do Cinturão Dom Feliciano, SE da plataforma sul-americana. In: CONGR. BRAS. GEOL. 32, Salvador, 1982. *Anais...* Salvador, SBG. v. 1, p. 1-12.
- FRAGOSO CÉSAR, A.R.S.; WERNICK, E.; SOLIANI JR., E. 1982b. Evolução geotectônica do Cinturão Dom Feliciano, uma contribuição através da aplicação do modelo de tectônica de placas. In: CONGR. BRAS. GEOL. 32, Salvador, 1982. *Anais...* Salvador, SBG. v. 1, p. 13-23.
- GIBB, R.A.; THOMAS, M.D.; LAPOINTE, P.L.; MUKHOPADHYAY, M. 1983. Geophysics of proposed proterozoic sutures in Canada. *Precambrian Res.*, 19:349-384.
- GIRARDI, V.A.V. 1976. Geologia e petrologia do Complexo Básico-Ultrabásico de Piên, PR. *Rev. Bras. Geoc.*, 6(2):109-124.
- GIRARDI, V.A.V. & ULBRICH, H.H.J. 1978. A sapphirine-orthopyroxene-spinel occurrence in the Piên area, Paraná, southern Brazil. *Rev. Bras. Geoc.*, 8(4):284-293.
- GIRARDI, V.A.V.; CORDANI, U.G.; CÂNDIDO, A.; MELFI, A.J.; KAWASHITA, K. 1974. Geocronologia do Complexo Básico-Ultrabásico Pré-Brasiliano de Piên, PR. In: CONGR. BRAS. GEOL. 28, Porto Alegre, 1974. *Anais...* Porto Alegre, SBG. v. 2, p. 532-533.
- HARALYI, N.L.E.; HASUI, Y.; KAUL, P.F.T. 1982. Dados gravimétricos da região costeira do Paraná e Santa Catarina e sua interpretação estrutural. In: CONGR. BRAS. GEOL. 32, Salvador, 1982. *Anais...* Salvador, SBG. v. 1, p. 64-67.
- HARTMANN, L.A. SILVA, L.C. DA; ORLANDI Fº, V. 1979. O Complexo Granulítico de Santa Catarina - descrição e implicações genéticas. *Acta Geol. Leop.*, 6:93-112.
- HASUI, Y.; DAL RÉ CARNEIRO, C.; COIMBRA, A.M. 1975. The Ribeira folded belt. *Rev. Bras. Geoc.*, 5(4):257-266.
- HASUI, Y. 1982. The Mantiqueira province: Archean structure and Proterozoic evolution. *Rev. Bras. Geoc.*, 12(1/3):167-171.
- ISSLER, R.S. 1982. Evento geodinâmico brasileiro - fechamento do oceano e colisão continental dos crátons Rio de La Plata e Dom Feliciano; granitos a duas micas e ofiolitos. In: CONGR. BRAS. GEOL. 32, Salvador, 1982. *Anais...* Salvador, SBG. v. 1, p. 24-38.
- JOST, H. & HARTMANN, L.A. 1984. Província Mantiqueira, Setor Meridional. In: ALMEIDA, F.F.M. DE & HASUI, Y. coord. *O Pré-Cambriano do Brasil*. Ed. Edgard Blücher, São Paulo, 378 p.
- KARNER, G.D. & WATTS, A.B. 1983. Gravity anomalies and flexure of the lithosphere at mountain ranges. *J. Geophys. Res.*, 88:10449-10477.
- KAUL, P.F.T. 1976. *Projeto Brusque-Serra do Taboleiro*. Porto Alegre, DNPM/CPRM, 6. (inédito).
- KAUL, P.F.T. 1979. Pré-Cambriano e eopaleozóico do nordeste de Santa Catarina e leste do Paraná: reavaliação de dados e correlações com a África. In: SIMP. REG. GEOL. 2 Rio Claro, 1979. *Atas...* Rio Claro, SBG - SP, v. 1, p. 1-15.
- KAUL, P.F.T. 1980. O Cráton de Luís Alves. In: CONGR. BRAS. GEOL. 31, Baln. Camboriú, 1980. *Anais...* Baln. Camboriú, SBG. v. 5, p. 2677-2683.
- KAUL, P.F.T. & TEIXEIRA, W. 1982. Archean and Early Proterozoic

- complexes of Santa Catarina, Paraná and São Paulo States, south-southeastern Brazil: an outline of their geological evolution. *Rev. Bras. Geoc.*, 12(1/3):172-182.
- MANTOVANI, M.S.M.; HAWKESWORTH, C.J.; BASEI, M.A.S. 1987. Nd and Sr isotope studies bearing on the crustal evolution of southeastern Brazil. *Rev. Bras. Geoc.*, 17(3):263-268.
- MÔNACO, O.A.; ZIR F^o J.A.; VALENTINI, N. 1974. *Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo. Folha Asunción (SG-21) e Folha Curitiba (SG-22)*. Brasília, DNPM. 81 p.
- MUKHOPADHYAY, M. & GIBB, R.A. 1981. Gravity anomalies and deep structure of eastern Hudson Bay. *Tectonophysics*, 72:43-60.
- OXBURGH, E.R. 1972. Flake tectonics and continental collision. *Nature*, 239:202-204.
- SALAMUNI, R.; BIGARELLA, J.J.; TAKEDA, F.K. 1961. Considerações sobre a estratigrafia e tectônica da Série Itajaí. *Bol. Paran. Geogr.*, 4-5:188-201.
- SANTOS, E.L.; SILVA, L.C. DA; ORLANDI F^o, V.O.; COUTINHO, M.C.N.C.; ROISENBERG, A.; RAMALHO, R.; HARTMANN, L.A. 1984. Os escudos Sul-Rio-Grandense e Catarinense e a Bacia do Paraná. In: SHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; DERZE, G.R.; ASMUS, H.E., coord. *Geologia do Brasil: texto explicativo do Mapa Geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais*, 1:2.500.000, Brasília, DNPM, 501p.
- SCHERMER, E.R.; HOWELL, D.G.; JONES D.L. 1984. The origin of allochthonous terranes: perspectives on the growth and shaping of continents. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, 12:107-131.
- SHUKOWSKY, W.; BLITZKOW, D.; SÁ, N.C. DE; SURITA, C.A. 1987. A correção do relevo na região da grande São Paulo. In: ENCONTRO REG. GEOF. 2, Salvador, 1987. *Bol. Res....* Salvador, v. 1, p. 94.
- SILVA L.C. DA. 1983. Projetos mapas metalogenéticos e de previsão de recursos minerais. Folhas SG 22-2-d. (Florianópolis) e SG 22-2-B (Joinville). *Carta Metalogenética. Brasil*. Porto Alegre, DNPM-CPRM.
- SILVA L.C. DA. 1984. Os termos de médio a alto grau do Pré-Cambriano de Santa Catarina. In: CONGR. BRAS. GEOL. 33, Rio de Janeiro, 1984. *Anais...* Rio de Janeiro, SBG. v. 111, p. 3069-3080.
- SMITHSON, S.B.; RAMBERG, I.B.; GRONLIE, G. 1974. Gravity interpretation of the Juton Nappe of the Norwegian Caledonides. *Tectonophysics*, 22:205-222.
- SOLIANI JR., E. 1986. *Os dados geocronológicos do Escudo Sul-Rio-Grandense e suas implicações de ordem geotectônica*. São Paulo, 388 p. (Tese Dout., IGUSP, ined.).
- THOMMEN 1967. *Barometric altitude measurement with Thommen surveying altimeters type 384*. Buchdruckerei Lüdén AG, Liestal, Switzerland. 26p.
- TRAININI, D.R.; DIAS, A.A.; KREBS, A.S.J.; SOUZA, E.C.; CAPELETTI, I.; TONIOLO, J.A.; SILVA, L.C. 1978. Projeto Vidal Ramos-Biguaçu. Porto Alegre. DNPM/CPRM. 303 p. (ined.).
- VOGGENREITER, W.; HOTZL, H.; MECHIE, J. 1988. Low-angle detachment origin for the Red Sea rift system? *Tectonophysics*, 150:51-75.
- WILLIAMS, H. & HATCHER JR., R.D. 1983. Appalachian suspect terranes. In: HATCHER JR., R.D., WILLIAMS, H., ZIETZ, I. eds. *Contribution to the tectonics and geophysics of mountain chains*. Geol. Soc. Am. p. 33-53. (Memoir 158).
- WOODSIDE, J. & BOWIN, C. 1970. Gravity anomalies and inferred crustal structure in the eastern Mediterranean Sea. *Geol. Soc. Am. Bull.* 81:1107-1122.
- WOOLARD, G.P. 1969. Regional variations in gravity. In: HART, P.J. ed. *The earth's crust and upper mantle*. Am. Geophys. Union, Washington. D.C., 320-341. (Am. Geophys Monograph. 13).

MANUSCRITO Nº 588

Recebido em 10 de janeiro de 1989

Revisão do autor em 06 de abril de 1989

Revisão aceita em 23 de abril de 1989

Idéias não podem ser transplantadas facilmente, se elas foram criadas para resolver problemas de bacias de "foreland" americanas, elas não seriam necessariamente aplicadas, digamos, nas bacias riftes brasileiras.

Roger G. Walker, 1988, (autor de Facies Models). Entrev. p/Bol. 03 CTC de Estrat. Sedim. SBG