

# TESTE DOS MODELOS TECTÔNICOS E DE POSICIONAMENTO DO COMPLEXO GRANÍTICO DE CAÇAPAVA DO SUL ATRAVÉS DE ESTUDOS DE MODELAGEM GRAVIMÉTRICA 3-D

Antonio Flavio Uberti Costa<sup>1</sup>, Luis Alberto Dávila Fernandes<sup>1</sup>, Wladimir Shukowsky<sup>2</sup>,  
Lauro Valentim Stoll Nardi<sup>1</sup> & Maria de Fátima Bitencourt<sup>1</sup>

O Complexo Granítico de Caçapava do Sul (CGCS) foi objeto de um levantamento gravimétrico detalhado, que teve como finalidade principal a definição da sua forma e extensão em subsuperfície. A densidade das informações geofísicas permitiu a obtenção de um modelo tridimensional para o mesmo com boa resolução. O CGCS está constituído por duas partes com características distintas: na porção norte, tem a forma de um diápiro subcircular, com um enraizamento profundo (4 km); no restante da área apresenta-se como um corpo alongado, com direção N-S, com espessura crescente de leste para oeste, até um máximo de 2,5 km, que acompanha a borda oeste do corpo em superfície. Os resultados do presente estudo revelam que nenhum dos modelos geológicos propostos para o posicionamento e evolução tectônica do CGCS explica a forma encontrada para essas rochas. No entanto, um modelo de posicionamento ao longo de uma inflexão de uma zona de cisalhamento dextrógira é capaz de explicar tanto as formas determinadas por gravimetria quanto os dados estruturais disponíveis.

**Palavras-chave:** Geofísica; Gravimetria; Granito; Modelagem; Caçapava do Sul.

**TEST OF TECTONIC MODELS FOR EMPLACEMENT OF CAÇAPAVA DO SUL GRANITIC COMPLEX THROUGH 3-D GRAVIMETRIC MODELLING** - Detailed gravity survey of the Complexo Granítico de Caçapava do Sul (CGCS) has allowed the construction of a three-dimensional model of its shape. The results indicate that CGCS is composed of two different parts: the northern segment with the shape of an inverted drop with deep root (4 km), and the southern part which shows a N-S elongated shape with increasing thickness from East to West, reaching a maximum of 2.5 km along the western limit of the complex. These results show that none of the geological models of the emplacement and tectonic evolution of the CGCS presented so far can explain the shape of these rocks as determined by the present gravimetric study. However, a model of emplacement along a fault-bend-fold of a right lateral strike-slip shear zone provides a suitable explanation for the shapes determined by gravity and the available structural data.

**Key words:** Geophysics; Gravimetry; Granite; Modeling; Caçapava do Sul.

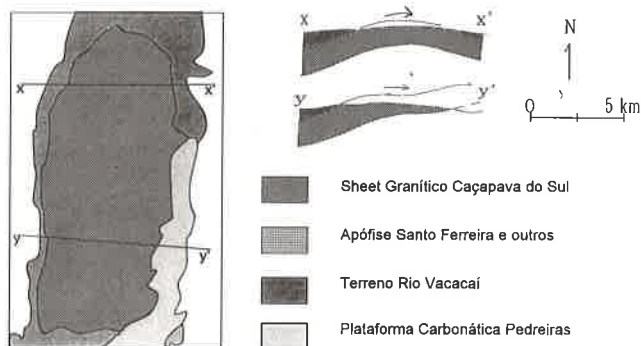
<sup>1</sup> Instituto de Geociências da UFRGS - Caixa Postal 15.065; 91501-970 Porto Alegre, RS.

<sup>2</sup> Instituto Astronômico e Geofísico da USP - Caixa Postal 9638; 01065-970 São Paulo, SP.

## INTRODUÇÃO

A análise megascópica de um corpo magmático intrusivo consiste em estabelecer sua forma e volume, pois esses fatores têm relação direta com a história do posicionamento e a história evolutiva da intrusão, em relação aos eventos tectônicos reconhecidos na área. No caso das rochas magmáticas, a análise da forma em profundidade dos corpos intrusivos é feita normalmente com base em dados de geologia de superfície, sobretudo a partir da caracterização estrutural dos mesmos, com a determinação da geometria e interpretação das estruturas indicativas da história de deformação do corpo durante o seu posicionamento e evolução. Segundo Vignerresse (1988), a análise clássica das rochas intrusivas graníticas em profundidade apresenta limitações quanto à resolução obtida, pois os métodos estruturais permitem apenas sugerir a continuidade das estruturas em profundidade. Somente os métodos geofísicos podem fornecer dados mais confiáveis sobre a extensão em profundidade dos granitos.

A caracterização estrutural do CGCS tem sido objeto de estudos de Bitencourt (1983) e Nardi & Bitencourt (1989), que, com base nas estruturas observadas, e nas relações destas com as encaixantes, interpretam o Complexo como um diápiro granítico. Recentemente, Fragoço César (1991) propõe que o corpo intrusivo constitui-se de uma lâmina granítica posicionada concordantemente ao longo de uma zona de obducção (Fig. 1), e Fernandes et. al. (1992) sugere, para o mesmo, a forma de uma lente com eixo maior de orientação NE (megaporfiroclasto).



**Figura 1** - Modelo para o CGCS segundo Fragoço-César (1991).

**Figure 1** - Proposed model for the CGCS by Fragoço-César (1991).

O principal objetivo deste trabalho é o estabelecimento, através da gravimetria, de um modelo de subsuperfície, que permita testar as hipóteses geológicas relativas à forma e evolução do complexo granítico.

## SÍNTESE DA GEOLOGIA

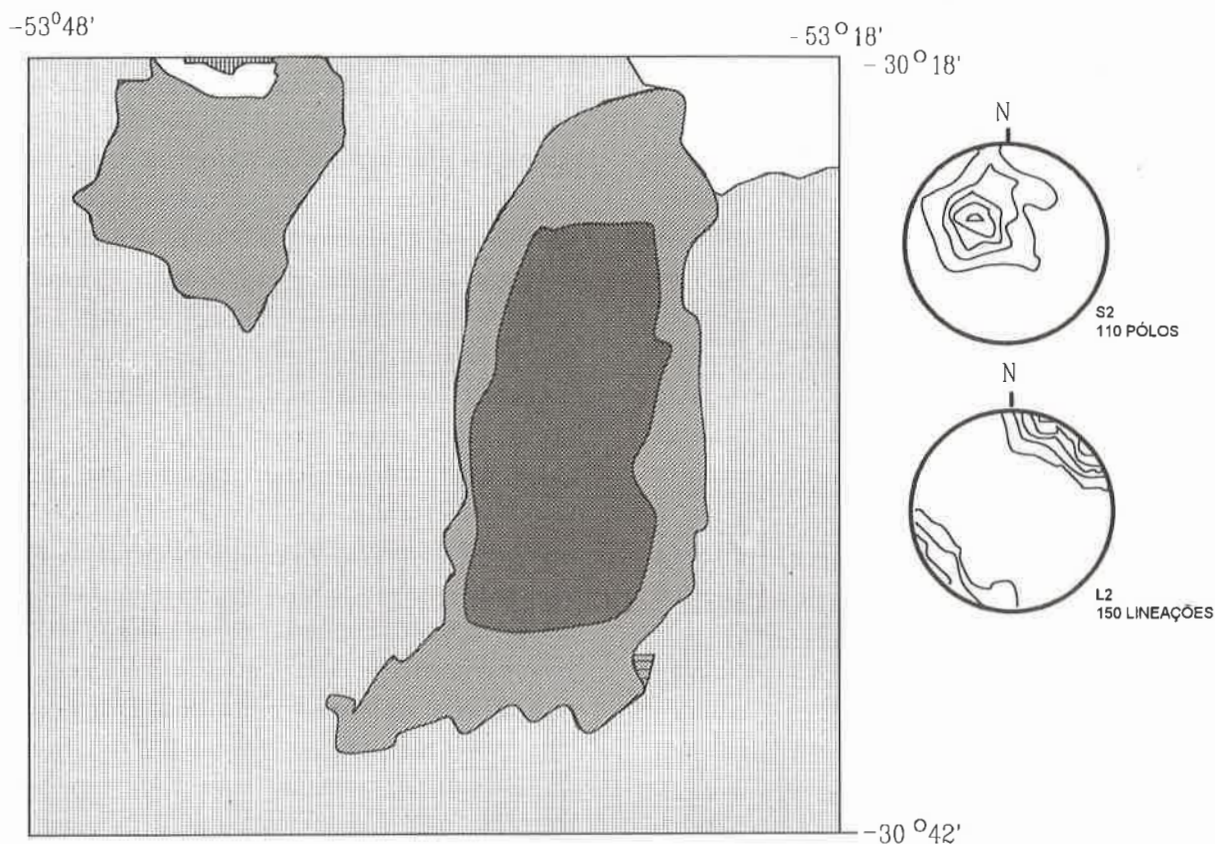
As rochas graníticas de Caçapava do Sul afloram em uma área de aproximadamente 250 km<sup>2</sup> (Fig. 1), em condições intrusivas em metamorfitos desenvolvidos sob condições de fácies anfíbolito a xisto verde (Hartmann et al., 1990). Os metamorfitos são constituídos principalmente por xistos pelíticos, filitos, mármore, rochas anfíbolíticas e metavulcânicas.







As rochas que compõem o complexo intrusivo (quartzo-dioritos a sienogranitos) levaram Nardi & Bitencourt (1989) à individualização de três litofácies principais, intimamente associadas, tanto em escala de afloramento quanto em amostra de mão, que foram denominadas segundo o tipo dominante: 1) biotita-granitóides, cinzentos, com teores elevados de biotita e alanita como acessórios (porção centro-sul); 2) leucogranitóides, rosados, pobres em máficos, localmente com granada e/ou muscovita como acessórios (porção norte) e 3) granitóides transicionais, com características intermediárias entre os dois anteriores. Associados principalmente aos leucogranitóides, ocorrem microgranitos, aplitos e pegmatitos.

Uma idade Rb/Sr (RT) de 552±4 m.a. (Ro: 0,7050) foi obtida por Sartori & Kawashita (1985) para o Complexo, com a inclusão de amostras das três fácies na isócrona. A reinterpretação desses dados, considerando a subdivisão das rochas em três fácies distintas, forneceu para os granitóides leucocráticos uma idade de 549±2 m.a., com Ro 0,7051, enquanto que as demais apresentaram variação pequena da relação Rb<sup>87</sup>/Sr<sup>86</sup>, sendo impossível a determinação de suas idades ou razões iniciais (Nardi & Bitencourt, 1989).

A caracterização de granitos metaluminosos, mostrando *trend* cálcico-alcalino, é devida a Sartori & Kawashita (1985), Nardi & Bitencourt (1989) e Wildner et al. (1990). A similaridade entre os biotita-granitóides do CGCS e granitóides cálcico-alcalinos de áreas orogênicas com crosta continental espessa foi observada por Nardi & Bitencourt (1989).

Segundo Fernandes et al. (1992), tanto as rochas encaixantes do Complexo Passo Feio (Bitencourt, 1983)



-  Seqüência Gondwânica
-  Seqüência Molássica
-  Granito Pós-tectônico
-  Granito Santo Ferreira
-  Complexo Granítico Caçapava do Sul
-  Supracrustais  
(xistos, filitos, mármore, anfíbolitos, metavulcânicas)



**Figura 2** - Esboço geológico da região de Caçapava do Sul, modificado de Nardi & Bitencourt (1989) e Fernandes et al. (1992), Fig. 10.

**Figure 2** - Geological outline of Caçapava do Sul region, adapted from Nardi & Bitencourt (1989) and Fernandes et al. (1992), Fig. 10.

quanto os granitóides intrusivos do Complexo Granítico Caçapava do Sul (CGCS) foram afetados por uma deformação com transporte tectônico paralelo ao alongamento do cinturão (NE-SW), que na região de Caçapava do Sul originou uma trama com zonas de alta deformação tangenciais (subtraindo-se os efeitos de estruturas posteriores). Essa trama foi anteriormente denominado de foliação de transposição S2 (Bitencourt, 1983) e *layering* S2 (Silva Filho & Matsdorf, 1987). A foliação S2 acompanha os contornos dos granitóides do CGCS, mostrando mergulhos de baixos ângulos nos contatos E e SE do mesmo, e ângulos mais altos ao longo dos seus limites W, S e N. Nas porções mais internas do corpo granítico essa estrutura é sub-horizontal. Onde observada, a lineação de estiramento, marcada por quartzo fitado e augen de feldspatos, mostra uma orientação NE/N (cf. Nardi & Bitencourt, 1989; Fernandes et al., 1992).

Fernandes et al. (1992) interpretam a foliação composta S2 como o registro da principal deformação sofrida pelas rochas da região, sendo afetada por dois conjuntos de dobras flexurais megascópicas com *trends* NE-SW (F3) e NW-SE (F4), que controlam a distribuição dos afloramentos em escala regional. Essa interpretação difere da apresentada por Silva Filho & Matsdorf (1987), que atribuem às dobras de deslizamento flexural (F3), denominadas por esses autores de *nappes*, a acomodação da deformação principal.

Parece haver consenso, entre os trabalhos na região, que a idade relativa da foliação de transposição (S2) relaciona-se ao segundo evento deformacional (Bitencourt, 1983; Silva Filho & Matsdorf, 1987; Fernandes et al., 1992), tendo sido reconhecida originalmente por Bitencourt (1983) com base na presença de porfiroblastos pré-tectônicos de granada e estauroilita, além de plagioclásio e andaluzita em metapelitos, e hornblenda e plagioclásio cálcico em rochas portadoras de anfibólio.

A foliação composta S2 foi originada sob condições metamórficas retrogressivas da Fácies Anfíbolito para Xisto-Verde. Isto foi sugerido por Bitencourt (1983), Hartmann et al. (1990), a partir do estudo petrográfico e de composição mineral de remanescentes de paragêneses M1, e por Nardi & Bitencourt (1989) e Fernandes et al. (1992), principalmente com base no estilo das microestruturas desenvolvidas. Em discordância com esta interpretação, Silva Filho & Matsdorf (1987) preferiram atribuir as paragêneses da Fácies Anfíbolito aos efeitos térmicos dos granitóides intrusivos.

## GEOFÍSICA

### Aquisição e redução dos dados gravimétricos

Os dados gravimétricos foram coletados pelo Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo, em convênio com o Programa de Levantamentos Geológicos Básicos da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais e com a Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Também foram utilizadas estações gravimétricas disponíveis no banco de dados do Departamento de Geofísica do IAG-USP. Ao todo, foram utilizados 682 pontos de medição, cuja distribuição é apresentada na Fig. 3.

Todas as medidas foram feitas com um gravímetro LaCoste & Romberg, modelo G, estando referenciadas ao IGSN 1971. Para a obtenção das coordenadas planimétricas das estações foi utilizado um distanciômetro Keuffell & Esser, acoplado a um teodolito Wild T1A. Na planimetria, os erros de fechamento foram sempre inferiores a 200 m/10 km, e na altimetria nunca ultrapassaram 100 mm, sendo geralmente menores que 20 mm.

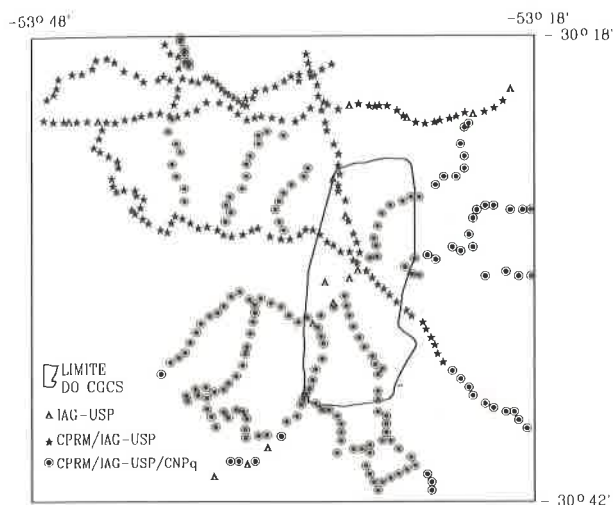
O cálculo da anomalia Bouguer foi feito através da relação:

$$\Delta g'' = \delta g_{\text{obs}} - \delta g_{\text{teo}} + \delta g_{\text{FA}} + \delta g_{\text{BOU}} + \delta g_{\text{REL}},$$

onde:  $\delta g_{\text{obs}}$  = gravidade medida corrigida do efeito de marés e deriva do aparelho;  $\delta g_{\text{teo}}$  = gravidade teórica calculada segundo a fórmula do GRS67;  $\delta g_{\text{FA}}$  = correção de ar livre, usando o gradiente vertical normal 0,3086 miligal/metro;  $\delta g_{\text{bou}}$  = correção de Bouguer, considerando a densidade crustal 2,67 g/cm<sup>3</sup>; e  $\delta g_{\text{REL}}$  = correção do relevo, segundo o procedimento sugerido por Shukowsky et al. (1987), que se baseia no uso de uma geometria mista (cilíndrica e cartesiana) para o cálculo da correção, permitindo uma redução considerável no número de leituras altimétricas e a indicação, na fase de planejamento, daquelas estações onde a correção do relevo se faz necessária.

### Mapa de anomalias Bouguer

Os dados observados foram interpolados, resultando em uma malha regular de 44 linhas por 36 colunas (1584 estações espaçadas de 1 km), que permitiu a geração do mapa de anomalias Bouguer (Fig. 4). Este revela a estreita relação existente entre o complexo granítico e um grande baixo gravimétrico (mínimo -3 mgal) na porção central da área estudada. Por outro lado, onde os metamorfitos encaixantes afloram, principalmente ao sul, ao leste, e ao norte do corpo intrusivo, onde são mais espessos (Fig. 1),



**Figura 3** - Localização das estações gravimétricas na área estudada.

*Figure 3* - Location of gravity stations in the investigated area.

os valores Bouguer são mais elevados, situando-se em torno de +16 mgal.

Na borda oeste do corpo intrusivo, a espessura das encaixantes metamórficas diminui, ocorrendo nas proximidades do CGCS sedimentos mais jovens (Eopaleozóico), que tem densidade média inferior ao próprio complexo granítico. A presença destas rochas menos densas explica os valores Bouguer mais baixos encontrados nesta região. Na superfície, a intrusão orienta-se preferencialmente na direção N-S. Por outro lado, a anomalia Bouguer apresenta uma orientação geral N20°-30°E, estendendo-se além dos limites do corpo para SW, onde um baixo isolado, circular, sugere a presença de um corpo granítico menor, subaflorante. No interior do complexo, verifica-se que os valores mínimos medidos encontram-se na porção norte, sugerindo uma espessura maior associada à fácies leucogranítica do complexo. O eixo da anomalia, com menor intensidade, inflete para N-S, na porção central, acompanhando a borda oeste da intrusão, onde dominam os biotita-granitóides.

### Medição de densidades

Para a medição da densidade das amostras de rochas utilizou-se o método do picnômetro descrito em Dana (1976), empregando-se uma balança Ainsworth, com precisão 0,0001 g. Os valores de densidade são obtidos através da relação  $g = (M-P)/(W+M-P-S)$ , onde M

= peso do picnômetro mais a amostra; P = peso do picnômetro; W = peso do picnômetro mais a água destilada; e S = peso do picnômetro mais a amostra mais a água destilada.

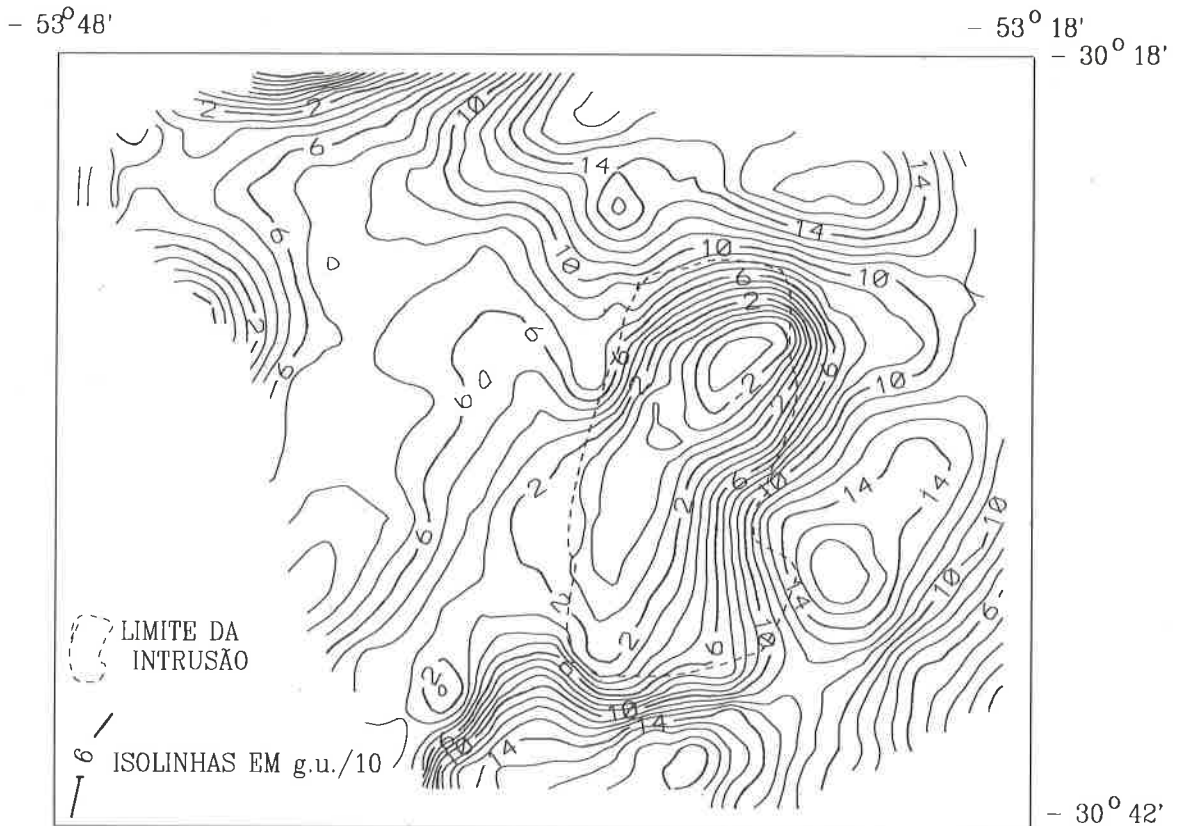
Foram efetuadas determinações de densidade em 38 amostras selecionadas, sendo 13 do complexo granítico, 20 dos metamorfitos encaixantes e 5 dos sedimentos eopaleozóicos. As medições foram feitas em amostras de rocha não alteradas, sendo que se utilizou banho em parafina naquelas mais porosas (sedimentos eopaleozóicos). A Tab. 1 resume os resultados obtidos.

Para o complexo intrusivo, a média ficou em 2,63 g/cm<sup>3</sup>, para as encaixantes em 2,87 g/cm<sup>3</sup>, e para os sedimentos eopaleozóicos em 2,57 g/cm<sup>3</sup>. Além das amostras de superfície, foram medidas as densidades de 9 amostras de testemunhos de uma sondagem mecânica, localizada próximo à borda sul da intrusão, e que atingiu as rochas granitóides à 835 metros de profundidade, após atravessar os metamorfitos encaixantes. A Fig. 5 apresenta o comportamento da densidade em profundidade. Comparando-se as densidades obtidas ao longo do furo com aquelas das amostras de superfície, verifica-se que os valores destas mantêm-se em profundidade, tanto para as encaixantes quanto para o CGCS, pelo menos no local do furo, até a profundidade alcançada pelo mesmo. Além disso, não se observa no furo um aumento de densidade com a profundidade.

### Modelagem Tridimensional

As técnicas utilizadas para a modelagem 3-D do CGCS foram apresentadas por Rao & Babu (1991). Baseiam-se em um algoritmo que permite calcular anomalias gravimétricas provocadas por corpos tridimensionais. Os corpos são vistos como prismas justapostos, centrados cada um deles em um ponto de observação da rede gravimétrica interpolada. As dimensões verticais dos prismas são ajustadas iterativamente a partir da comparação entre as anomalias calculadas e as residuais observadas. Tanto podem ser modelados corpos com contraste de densidade constante em relação às encaixantes, como corpos que apresentam variações de contraste com a profundidade. Além disso, pode-se informar se o corpo em estudo aflora ou não.

Na presente modelagem, foi considerada a área aflorante do CGCS, bem definida em diversos trabalhos de mapeamento. Quanto ao contraste de densidade entre o corpo intrusivo e os metamorfitos encaixantes, optou-se por considerá-lo constante (-0,24 g/cm<sup>3</sup>), tendo em vista as in-



**Figura 4** - Mapa Bouguer da área estudada.

**Figure 4** - Bouguer map of the investigated area.

formações de densidade das amostras coletadas, principalmente no furo de sondagem, que mostraram não haver variações significativas, tanto no CGCS, como nas encaixantes. A densidade do CGCS em superfície não varia consideravelmente. Além disso, a amostra do granito coletada no furo de sondagem, a 835 metros de profundidade, apresenta densidade equivalente às superficiais. Por outro lado, as encaixantes comportam-se de modo similar, mantendo-se quase constantes desde a superfície até a profundidade alcançada pelo furo de sondagem.

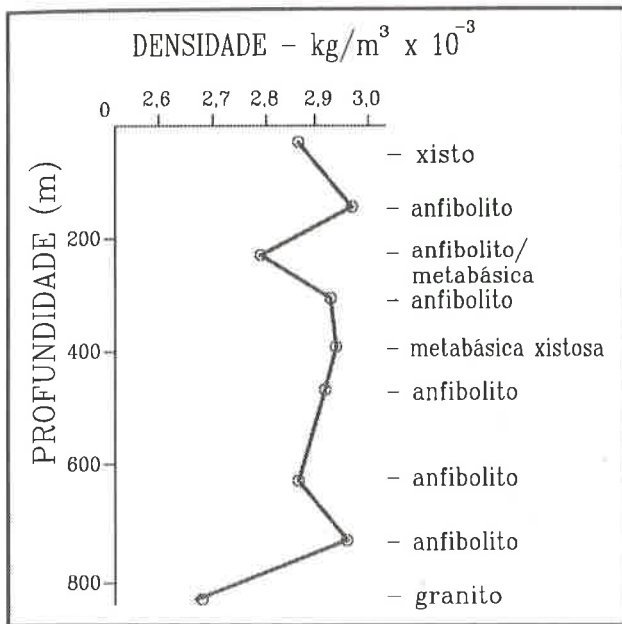
Para o cálculo do modelo 3-D do corpo intrusivo, foram utilizados valores residuais de uma malha regular sobre o mapa Bouguer. Utilizou-se uma malha com 44 x 36 estações, afastadas 1 km entre si. O campo regional presumido foi +16 mGal, baseado na análise dos valores Bouguer associados às encaixantes (Fig. 4). Na separação regional/residual, considerou-se fundamental e prioritária a informação geológica. Assim, obteve-se um residual que representa a anomalia do CGCS em relação aos metamorfitos encaixantes. O CGCS encontra-se posicionado no interior

Unidade Geológica	Número de Amostras	Densidades ( $\text{kg/m}^3 \times 10^{-3}$ )		
		mínimo	máximo	média
Rochas granitóides	13	2,60	2,67	2,63
Rochas encaixantes	20	2,67	3,17	2,87
Sedimentos eopaleozóicos	5	2,55	2,59	2,57

**Tabela 1** - Densidade das rochas da área estudada.

**Table 1** - Density of rocks of the studied area.

das rochas metamórficas mais antigas. Estas têm sua área de afloramento bem conhecida, e foram definidas, no presente trabalho, em termos de densidade média e de valores Bouguer.

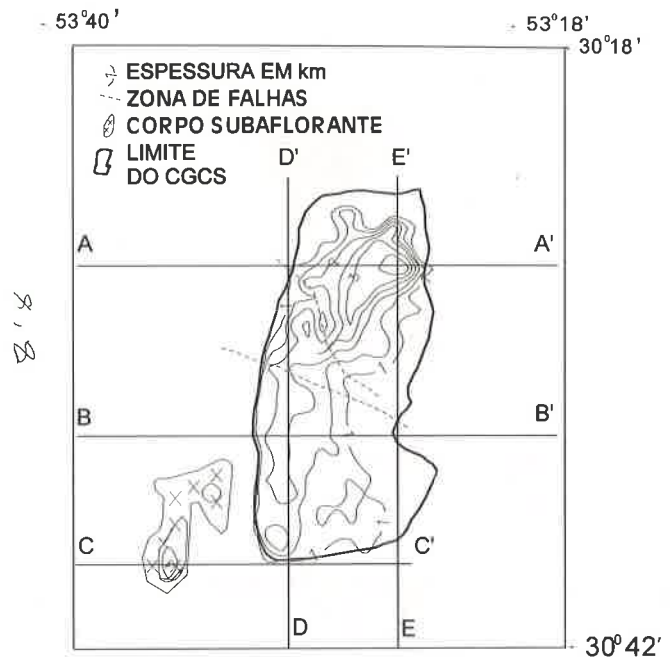


**Figura 5** - Perfil da variação da densidade das rochas no furo de sonda.

*Figure 5* - Density variation of rocks along drill hole.

A Fig. 6 apresenta o modelo 3-D obtido para o CGCS. Tendo em vista que alguns parâmetros essenciais à modelagem puderam ser bem controlados neste estudo (profundidade do corpo, contraste de densidade e geologia da área na separação regional/residual), admite-se para a mesma uma redução considerável das indeterminações comuns ao método gravimétrico.

Em subsuperfície, é possível identificar, pelo menos, dois corpos distintos, em termos de forma, espessura e orientação. Nas porções centro e sul, onde dominam os biotita-granitóides, tem-se a definição de um corpo alongado, de extensão em torno de 15 km, com espessura sempre inferior a 2,5 km, acompanhando a borda oeste do corpo em superfície (Fig. 7b,d), com direção N-S. Na porção norte, onde dominam os leucogranitóides, ocorre um corpo subarredondado em superfície, com uma raiz mais profunda, em torno de 4 km, com o eixo maior na direção N20°E, extensão de cerca de 6 km (Fig. 7a,e). Aparentemente, os dois corpos estão separados por uma zona de falhas com direção aproximada N40°W (Fig. 6). À SW do CGCS, infere-se a ocorrência de um corpo não aflorante, de pequena extensão



**Figura 6** - Modelo gravimétrico tridimensional do CGCS. Os perfis (A-A', B-B', C-C', D-D' e E-E') indicados são mostrados na Fig. 7.

*Figure 6* - Three-dimensional gravity model of CGCS. Indicated profiles (A-A', B-B', C-C', D-D' and E-E') are presented in Fig. 7.

horizontal, com espessura de 3 km (Figs. 6 e 7c), que parece estar alinhado à direção N20°E do eixo maior do corpo enraizado (leucogranitóides).

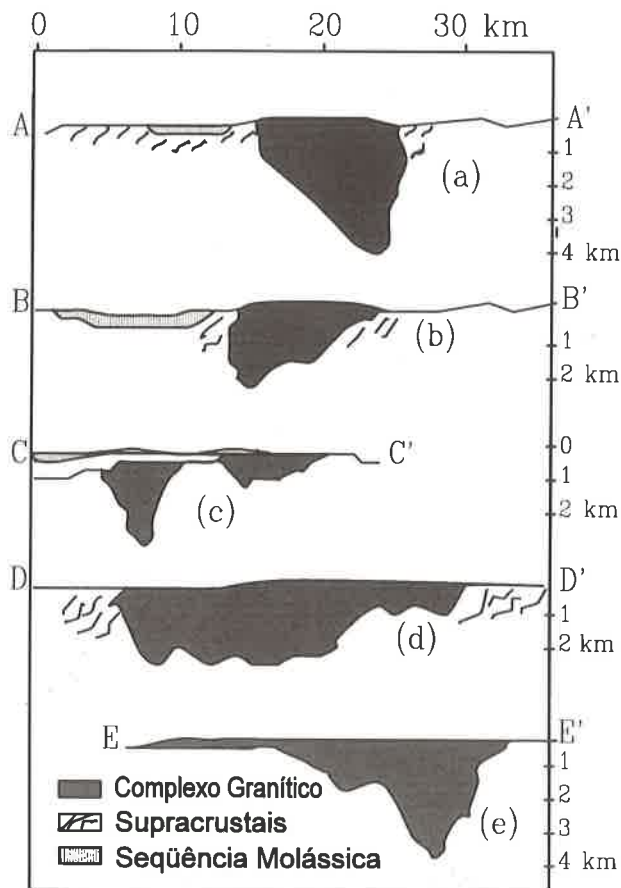
O granito Santo Ferreira, aflorante a SE, não tem expressão em profundidade, de acordo com o modelo obtido.

Com base na forma e nas dimensões obtidas na modelagem, estima-se para o CGCS um volume da ordem de 255 km<sup>3</sup>, com cerca de 65 km<sup>3</sup> para o domínio dos leucogranitóides, e 190 km<sup>3</sup> para o segmento dos biotita-granitóides.

No caso do pequeno corpo não aflorante à SW, o volume estimado é de 7 km<sup>3</sup>.

## DISCUSSÃO

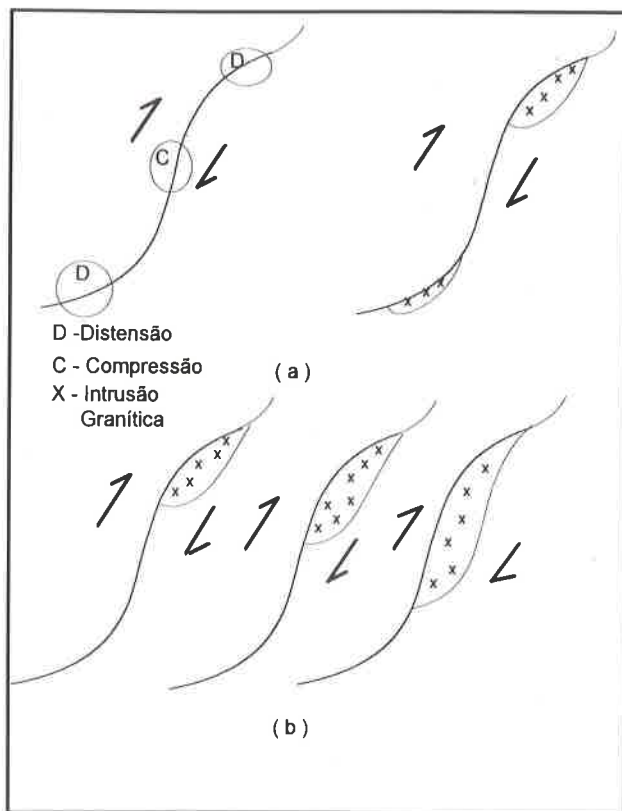
De acordo com Vigneresse (1988), o contexto tectônico, juntamente com a composição do material magmático, condiciona a forma do plúton. Os mais diferenciados, mais silicosos, por apresentarem maior viscosidade, são os que tem raízes mais profundas. Quanto ao aspecto tectônico, os anorogênicos ou pós-orogênicos tem forma cilíndrica, circular em superfície, com extensão da



**Figura 7** - Perfis obtidos a partir do modelo tridimensional do CGCS (localização dos perfis na Fig. 6).

**Figure 7** - Cross-sections from the three-dimensional model of the CGCS (location of sections in Fig. 6).

ordem de 14 km em profundidade; enquanto que aqueles que sofreram deformação são classificados segundo a intensidade desta, bem como a disposição do corpo relativamente ao plano principal de deformação. Os diápiros síncronos de uma deformação fraca, tais como, na Bretanha, o maciço de Flamanville (Ledra & Brun, 1977 *apud* Vigneresse, 1988), e o maciço de Huelgoat (Georges et al., 1988 *apud* Vigneresse, 1988), caracterizam-se por uma forma quase circular em planta, com auréola de metamorfismo de contato, sem influência sobre as grandes estruturas de cobertura. Os diápiros apresentam forma cônica prolongando-se de 6 a 8 km em profundidade, mostrando fácies mais diferenciadas no centro da estrutura. Os maciços sindeformacionais registram a tectônica regional em todo o seu volume como um marcador ativo. A forma geral dos plútons é a de um cone de seção elíptica, onde a extensão

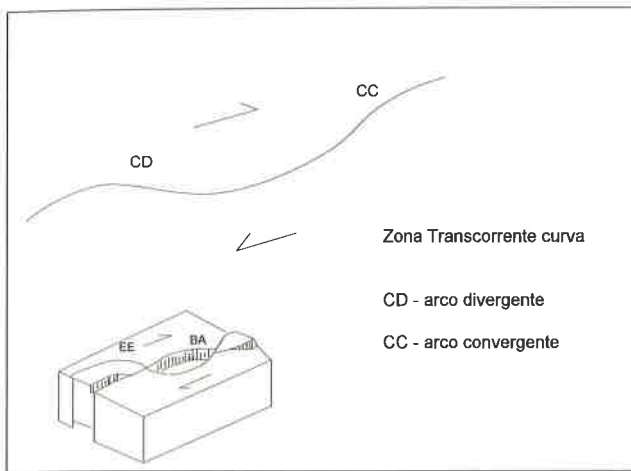


**Figura 8** - Evolução sugerida para o CGCS, em função da forma obtida na modelagem gravimétrica.

**Figure 8** - Suggested evolution of the CGCS capable of accommodating the shape obtained by gravimetric modelling.

lateral ultrapassa a profundidade de enraizamento. No caso dos granitos armorianos (Vigneresse & Brun, 1983 *apud* Vigneresse, 1988), a gravimetria indica que a extensão vertical média é de 3 a 5 km, enquanto os semi-eixos de sua seção elíptica horizontal são em média de 12,3 a 9,0 km. Segundo os mesmos autores, pela sua forma pode-se deduzir se os maciços estiveram submetidos a deslocamentos horizontais, segundo planos verticais ou horizontais. Se o plano de cisalhamento for predominantemente vertical, o eixo nesta direção permanece o mesmo, e a seção horizontal do maciço deforma-se como uma elipse, no caso de plútons granodioríticos (eixo vertical pequeno), ou localizadamente nas bordas, ou mesmo separando o plúton em dois maciços, naqueles mais diferenciados (eixo vertical maior). Por outro lado, se o plano principal de deformação for horizontal, o plúton adquire a forma de um cogumelo, se o eixo





**Figura 9** - Estruturas formadas em inflexões das zonas de cisalhamento transcorrentes. EE - Estrutura de ejeção. BA - Bacia de afastamento. Modificado de Hasui & Mioto (1992).  
**Figure 9** - Structures formed in bends of strike-slip shear zones. EE - Push-up structure. BA - Pull-apart basin. Modified after Hasui & Mioto (1992).

maior do plúton for o vertical. Ao contrário, se o eixo vertical do plúton é o menor, produz-se uma verdadeira laminação do material granítico.

O resultado obtido com a modelagem 3-D do CGCS revela que, em termos de espessura das intrusões, a mesma está coerente com as composições químicas dos magmas. Os biotita-granitóides por serem menos ricos em sílica têm menor viscosidade e a sua ascensão é mais rápida, reduzindo a sua raiz.

Por outro lado, quanto à forma obtida, algumas considerações importantes surgem naturalmente após este estudo.

As interpretações da evolução do CGCS apresentadas por Fragoso César (1991) e Fernandes et al. (1992) não encontram suporte no resultado da geofísica: a primeira, sugestiva de uma forma de lâmina posicionada de W para E (Fig. 2); e a segunda, que sugere a forma de uma lente com eixo maior de orientação NE (megaporfiroclasto). Para que os dados geofísicos aqui apresentados pudessem ser ajustados a estes modelos, seria necessário admitir-se valores geologicamente não plausíveis a alguns parâmetros da modelagem, como, por exemplo, uma redução da densidade média das rochas encaixantes com a profundidade e sob o corpo intrusivo.

A interpretação de Nardi & Bitencourt (1989), considerando o mecanismo de posicionamento do CGCS como de natureza diapírica, que teria ocorrido durante a segunda

fase da deformação, aparentemente é corroborada pelos resultados da gravimetria, apenas em relação aos leucogranitos da porção N do CGCS. No caso da porção central e sul, dominada pelos granitóides transicionais e biotita-granitos, esta interpretação torna-se mais problemática, tendo em vista a forma dessa parte do complexo, como determinada a partir dos dados gravimétricos (Fig. 7).

A constatação de que ao longo do limite W do corpo a foliação das rochas encaixantes apresenta fortes mergulhos, paralelamente à forma em subsuperfície do complexo, admite diversas interpretações. A primeira destas, proposta por Bitencourt (1983), é que o granito tenha esta forma, pelo menos desde o desenvolvimento da deformação D2, comportando-se, nesse caso, como um anteparo à deformação das rochas metamórficas. Desse modo, a posição de alto mergulho da xistosidade S2 das rochas supracrustais ao longo da borda W do CGCS teria sido originalmente formada na sua posição atual e controlada pela presença da massa de rochas plutônicas. Esta interpretação poderia ser corroborada não fosse o conspicuo desenvolvimento, nesta mesma região (borda W do complexo), de uma forte clivagem de crenulação associada ao desenvolvimento de dobras tardias com planos axiais subverticais, que afetam a foliação de transposição (S2). A presença destas estruturas indica a possibilidade de que a posição atual de alto mergulho da foliação composta nesta parte da área seja secundária, *i.e.*, produzida pelo mesmo evento deformacional responsável pelo desenvolvimento da crenulação tardia. Ainda assim, a interpretação de que a forma em profundidade dos granitóides desta porção do complexo tenha sido produzida por rotação de grande parte do CGCS (que apresentaria originalmente uma forma de cogumelo achatado - Vignerresse, 1988), durante esta deformação mais jovem que D2, e portanto posterior ao posicionamento e deformação dos granitóides, é altamente improvável, mesmo considerando-se as limitações de exposição nesta parte da área (Fig. 1).

De outra forma, a sugestão de que a foliação composta (S2), que se mantém regionalmente sub-horizontal desde a região de Santana da Boa Vista (*cf.* Fernandes et al., 1992), tenha sido formada originalmente com altos mergulhos nessa região, constituindo-se assim a raiz de uma estrutura em flor positiva desenvolvida durante a deformação com transporte tectônico longitudinal no Cinturão Dom Feliciano (K2 de Fernandes et al., 1990; 1992) pode ser considerada mais provável, em função das evidências da modelagem gravimétrica. Essa idéia é reforçada pela presença de uma zona de falhas de direção NE/N, cuja reativação rúptil seria

atualmente materializada pela Falha do Segredo (Ribeiro et al., 1966), que atravessa o Vale dos Lanceiros e limita os granitóides com a cobertura eopaleozóica a W.

De todo modo, fica evidenciada a necessidade de mais estudos na região. Dentre as inúmeras hipóteses a serem examinadas, recomenda-se, em função da forma obtida no presente estudo, a investigação da possibilidade de que o posicionamento e a evolução do corpo principal do CGCS tenha sido controlado por uma inflexão de uma zona de transcorrência com direção geral NE (transporte tectônico longitudinal no Cinturão Dom Feliciano, K2 de Fernandes et al. 1990; 1992), a exemplo do que está ilustrado na Fig. 8. Admitindo-se este mecanismo, a intrusão teria iniciado pelo material menos diferenciado (biotita-granitóides) ao longo de uma zona de transtração em uma falha transcorrente curva, com movimentação dextral (Fig. 8a). No avanço dos blocos, os primeiros materiais seriam transportados para o sul, ao longo da zona de falha (Fig. 8b), modificando-se, nesta direção, o regime de extensional para compressional, onde a direção da zona de falha muda de NE para NS.

Na porção norte, onde a estrutura tem orientação NE, o regime extensional seria mantido, garantindo o espaço para a intrusão do magma, originando os granitóides transicionais e posteriormente os leucogranitóides, por diferenciação. Ao sul, na porção NS da zona de falha, os biotita-granitóides, com parte dos transicionais e dos leucogranitóides, deformar-se-iam para leste, submetidos ao regime compressional, adquirindo a forma de cunha definida pela gravimetria (Fig. 7b). Ao mesmo tempo, ao norte, onde os leucogranitóides já seriam dominantes, manter-se-ia o regime extensional e a forma de um diápiro cônico subcircular das rochas mais diferenciadas (Fig. 7a,e). Esta situação levaria ao aparecimento de blocos expelidos e abatidos (Fig. 9), associados aos regimes locais compressional e extensional, respectivamente. A SW, o corpo subafiorante detectado, em menor escala, repetiria a situação dos leucogranitóides ao norte.

## CONCLUSÕES

Apesar das indeterminações inerentes ao método, no caso de complexos intrusivos como o CGCS, onde parâmetros importantes podem ser bem definidos, tais como a profundidade do corpo, o contraste de densidade e as relações com as encaixantes, a aplicação da gravimetria permite obter-se informações valiosas e confiáveis sobre a

extensão em profundidade dos granitos. Sem dúvida alguma, este resultado foi alcançado no presente estudo. Entretanto, apesar da importante contribuição dos dados geofísicos para o entendimento da estruturação do CGCS, tornou-se evidente a necessidade de desenvolvimento de estudos específicos acerca da história de posicionamento e evolução tectônica dessas rochas.

Em função dos resultados da modelagem geofísica, sugere-se, para o complexo intrusivo, uma evolução e um posicionamento controlados por uma inflexão de uma zona de transcorrência com direção geral NE, com movimentação dextral.

## AGRADECIMENTOS

Parte desse trabalho foi apresentada no III Congresso Internacional de Geofísica da SBGf no Rio de Janeiro em novembro de 1993. O mesmo só foi possível graças ao apoio financeiro do Programa de Levantamentos Geológicos Básicos da CPRM, e do CNPq; sob a forma de auxílio financeiro e bolsas de pesquisas.

## REFERÊNCIAS

- BITENCOURT, M. F. - 1983** - Metamorfitos da região de Caçapava do Sul, RS. Geologia e relações com o corpo granítico. Atas, I Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, Porto Alegre, **1**: 37-38.
- DANA, J. D. - 1976** - Manual de Mineralogia. Livros Técnicos e Científicos Editora. Rio de Janeiro. **1**: 168-169.
- FERNANDES, L. A. D., TOMMASI, A. & PORCHER, C. C. - 1990** - Esboço estrutural de parte do Batólito de Pelotas - Região de Quitéria-Capivarita. Acta Geológica Leopoldensia **13**: 117-138.
- FERNANDES, L. A. D., TOMMASI, A. & PORCHER, C. C. - 1992** - Deformation patterns in the southern Brazilian branch of the Dom Feliciano Belt: A reappraisal. Journal of South American Earth Sciences, **5**: 77-96.
- FRAGOSO CÉSAR, A. R. S. - 1991** - Tectônica de placas no Ciclo Brasileiro: As orogenias dos cinturões Dom Feliciano e Ribeira no Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado, IG/USP.
- HARTMANN, L. A., TINDLE, A. & BITENCOURT, M. F. - 1990** - O metamorfismo de fácies anfíbolito no Complexo Metamórfico Passo Feio, RS, com base em química de minerais. Pesquisas, **17**: 62-71.

- HASUL, Y & MIOTO, J. A.** - 1992 - Geologia Estrutural Aplicada. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. Votorantim, 459 pp.
- NARDI, L. V. S. & BITENCOURT, M. F.** - 1989 - Geologia, petrologia, e geoquímica do Complexo Granítico de Caçapava do Sul, RS. Revista Brasileira de Geociências, **19**: 153-169.
- RAO, D. B. & BABU, N. R.** - 1991 - A FORTRAN-77 computer program for three-dimensional analysis of gravity anomalies with variable density contrast. Computers & Geosciences, **17(5)**: 655-667.
- RIBEIRO, M., BOCCHI, P. R., FIGUEIREDO F. P. M. & TESSARI, R. I.** - 1966 - Geologia da Quadrícula de Caçapava do Sul - RS - Brasil. DNPM. MME.
- SARTORI, P. L. P. & KAWASHITA, K.** - 1985 - Petrologia e geocronologia do Batólito Granítico de Caçapava do Sul, Anais, II Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, Florianópolis, **1**: 102-115.
- SHUKOWSKY, W., BLITZKOW, D., SÁ, N. C. DE & SURITA, C.** - 1987 - A correção do relevo na região da Grande São Paulo. Trabalho apresentado no II Encontro Regional de Geofísica, Salvador (inédito).
- SILVA FILHO, B. C., & MATSDORF, M. C.** - 1987 - Análise estrutural dos metamorfitos da borda oeste do Granito Caçapava, Caçapava do Sul: Implicações geológicas locais e regionais. Anais, III Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, Curitiba, **1**: 197-222.
- VIGNERESSE, J. L.** - 1988 - Forme et volume des plutons granitiques. Bull. Soc. Géol. France, (8), t.IV, **6**: 897-906.
- WILDNER, V., RAMGRAB, G. E., SANDER, A., PORCHER, C. A. & CAMOZZATO, E.** - 1990 - Características litoquímicas dos complexos graníticos Caçapava do Sul e São Sepé na Folha Passo do Salsinho (Rio Grande do Sul, Brasil), I Congresso Uruguayo de Geologia, Resúmenes Ampliados, Montevideo, **1**: 123-130.

Submetido em: 21/01/94

Revisado pelo(s) autor(es) em: 23/01/95

Aceito em: 31/01/95

## PUBLICAÇÃO DE INFORMAÇÕES INSTITUCIONAIS

Para a publicação de informações sobre atividades de Geofísica em sua instituição, na seção ANÁLISES/RELATÓRIOS da Revista Brasileira de Geofísica, favor submeter cópia do artigo em papel e em disquete, contendo títulos e resumos em português ou espanhol, e em inglês. O artigo não poderá ultrapassar quatro páginas da Revista, incluindo ilustrações e referências.

## PUBLICAÇÃO DE TESES E DISSERTAÇÕES

Para a publicação de Teses e Dissertações na Revista Brasileira de Geofísica, favor enviar uma cópia em papel e em disquete, com os títulos e resumos em português ou espanhol, e em inglês, ambos contendo um máximo de 500 palavras.

Incluir nome do autor(a), do orientador(a), departamento e universidade, título obtido, e data da defesa. Não incluir referências ou ilustrações.