

## LEVANTAMENTO GRAVIMÉTRICO DO SETOR SETENTRIONAL DO CINTURÃO OROGÊNICO ARAGUAIA, REGIÃO CENTRO-NORTE DO BRASIL

JOÃO DA SILVA CARVALHO<sup>1</sup> & WILLIAM AUGUST SAUCK<sup>2</sup>

O levantamento gravimétrico envolvendo toda a porção setentrional do Cinturão Orogênico Araguaia, localizado na porção centro-norte do território brasileiro, foi desenvolvido ao longo de rodovias regionais, com espaçamento médio entre as estações da ordem de 5 km. A área envolvida está compreendida pelas coordenadas 4°05' e 9°00' de latitude sul, e 47°50' e 50°30' de longitude oeste.

O mapa Bouguer resultante apresenta feições predominantemente submeridianas, destacando-se uma anomalia negativa central da ordem de -107 mGal, assim como um eixo anômalo positivo oriental.

A construção de um perfil com direção aproximadamente E-W, transversal à estruturação geral do cinturão orogênico, mostra uma marcante anomalia dipolar com estreita similaridade àquelas documentadas no Canadá, África e Austrália, para zonas de sutura.

As anomalias positivas observadas ao longo desse eixo oriental encontram-se intimamente correlacionadas à existência de uma série de estruturas dômicas (braquidobras) ocorrentes ao longo desse eixo, nas quais estão expostos núcleos gnáissicos representativos do embasamento.

Foi elaborado um modelo 2.1/2-D, ao longo de um perfil transversal às estruturas, considerando o pacote de supracrustais, intrusões de corpos máfico-ultramáficos e intrusão de uma massa densa na crosta siática, ao longo de rampas imbricadas de E para W, de conformidade com a situação geológica observada.

GRAVITY SURVEY OF NORTHERN ARAGUAIA BELT: BRAZIL – A gravity survey was conducted over the Araguaia Orogenic Belt in north-central Brazil, using a nominal 5 km spacing along accessible roads. The region surveyed extends from 4.83 to 9.00 deg. S latitude and 47.83 to 50.50 deg. W longitude.

The Bouguer anomaly contour map shows prominent features elongated in the N-S direction and has a total relief of 103 mGal.

One approximately E-W profile, transverse to the fold belt, was constructed. This profile shows marked dipolar or paired anomalies very similar to those documented in Canada, Africa and Australia for suture zones.

This profile reveals a positive feature which is directly related to a N-S line of doubly-plunging anticlines and domes, some of which are gneiss-cored. A 2.1/2-dimensional model including crustal thickening and upthrusting of denser lower crust from E to W explains the observed profile.

### INTRODUÇÃO

O levantamento gravimétrico do setor setentrional do Cinturão Orogênico Araguaia foi desenvolvido objetivando estabelecer subsídios para uma melhor definição do comportamento geométrico das principais estruturas que compõem o arcabouço geológico-estrutural desse segmento crustal, assim como suas relações com as demais unidades geotectônicas adjacentes. Constou de um levantamento de campo (gravimetria e altimetria), ao longo de rodovias que servem a região, utilizando-se de um gravímetro LaCoste & Romberg (G-628) e três altímetros.

Adotou-se como base cartográfica as cartas topográficas elaboradas pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), em escala 1:100.000, assim como referências de nível estabelecidas por essa mesma instituição. Também foram utilizadas as bases gravimétricas disponíveis na área, estabelecidas pelo Observatório Nacional. Devido à inexistência de bases suficientes ao longo do setor ocidental da área, realizaram-se ligações simples entre a estação gravimétrica de Belém (Aeroporto Val de Cães) e as estações de Marabá (Aeroporto) e Rio Maria (acampamento da DOCEGEO), no Estado do Pará.

Os dados gravimétricos e altimétricos foram pro-

<sup>1</sup> Departamento de Geociências - ICE/FUA, Campus Universitário, Estrada do Contorno, s/nº, Manaus, AM, Brasil.

<sup>2</sup> Departamento de Geofísica, CG/UFPA, Campus Universitário, Caixa Postal 1611, Belém, PA, Brasil.

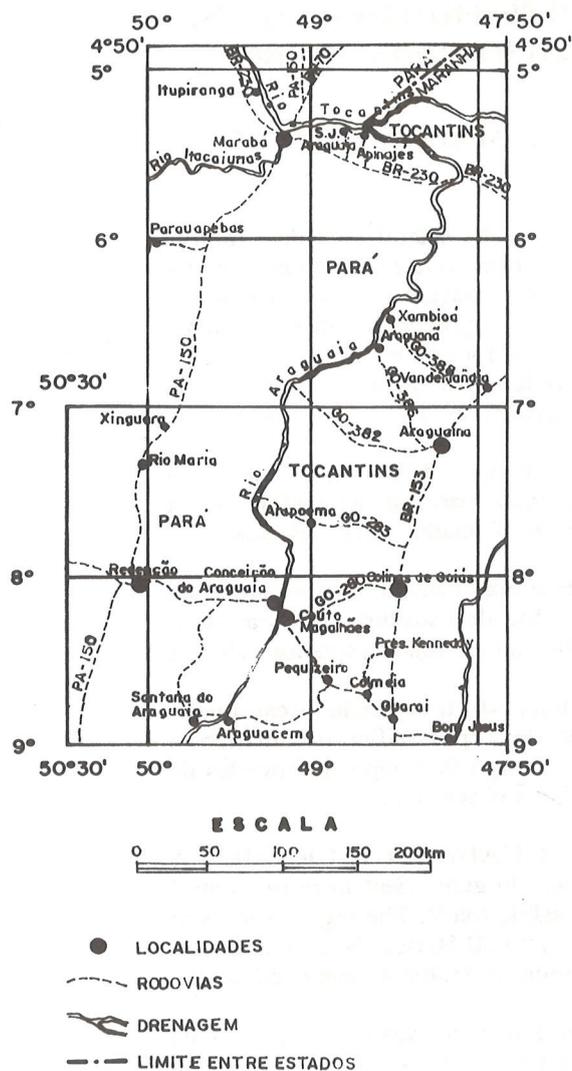


Figura 1. Mapa de localização.

cessados de acordo com metodologias usuais, culminando com o fornecimento de subsídios à elaboração do mapa de anomalias Bouguer para a área.

A interpretação gravimétrica foi desenvolvida através da análise qualitativa do mapa de contorno, pela observação das feições gravimétricas, e através de modelamento simples (2.1/2-D), visando o estabelecimento das relações entre essas estruturas (dentro do cinturão orogênico), e suas influências nos domínios adjacentes.

## CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

### Esboço Geológico

A área investigada neste trabalho está situada na região centro-norte do Brasil, envolvendo porções territoriais dos Estados do Maranhão, Pará e Tocantins (Fig. 1), compreendendo uma superfície de aproximadamente 129.000 km<sup>2</sup>.

Dentre as unidades geotectônicas ocorrentes nessa região, destaca-se um cinturão de metamorfitos, contornando a borda oriental do Cráton Amazônico (Fig. 2), denominado Faixa de Dobramentos Araguaia (Hasui et al., 1980) e posteriormente referida como Cinturão Orogênico Araguaia por Costa et al. (1988).

Este cinturão estende-se ao longo do vale do Rio Araguaia, sendo limitado a sul pelo Lineamento Transbrasiliano (Cordani et al., 1984), com sua porção sudeste encoberta pelos sedimentos da Ilha do Bananal e porção oriental sotoposta aos depósitos sedimentares da Bacia do Parnaíba.

Encontra-se representado fundamentalmente por uma seqüência metapelítica-psamítica, com restritas intercalações de metapessitos e rochas ígneas intrusivas e extrusivas metamorfizadas, ultramáficas serpentinizadas, alguns corpos anfíbolíticos, intrusões de gabros e doleritos, além de rochas sedimentares que, no entanto, não fazem parte da seqüência estratigráfica dessa unidade geotectônica.

### Lito-Estratigrafia

Os litotipos mais antigos verificados nessa região, referidos ao Arqueano e compreendendo o embasamento pré-Supergrupo Baixo Araguaia, são constituídos essencialmente de gnaisses, migmatitos e granitos, com intercalações de quartzitos, xistos e anfíbolitos, relacionados ao Complexo Xingu e Colméia (Hasui et al., 1984).

Relacionadas ao Proterozóico Médio e associadas aos núcleos de algumas das estruturas dômicas ocorrem rochas gnáissicas com composições granodioríticas e graníticas, consideradas como pertencentes ao Gnaiss Cantão (Souza, 1984), distintas daquelas do Complexo Colméia por características petrológicas e geocronológicas.

Ainda referidas ao Proterozóico Médio e sobrepostas ao embasamento cristalino, figuram as unidades que constituem o Supergrupo Baixo Araguaia (Abreu, 1978), representado pelas formações Morro do Campo e Xambioá, constituindo o Grupo Estrondo, e formações Pequizeiro e Couto Magalhães, que constituem o Grupo Tocantins.

A Formação Morro do Campo acha-se representada essencialmente por ortoquartzitos e muscovita-quartzitos, discordantes sobre os gnaisses do Complexo Colméia, além de restritas ocorrências de quartzomuscovita xistos, quartzitos conglomeráticos e quartzito com magnetita disseminada. Essa unidade grada para a Formação Xambioá, onde predominam muscovita-biotita-quartzo xistos, sobrepostos aos quartzitos. Intercalados aos micaxistos ocorrem restritamente anfíbolitos, hematita-xistos, mármore e metaconglomerados. A Formação Couto Magalhães compreende os metassedimentos terrígenos do Grupo Tocantins (Hasui et al., 1981), constituindo-se essencialmente de filitos com intercalações de quartzitos, que gradam para os litotipos da Formação Pequizeiro, que é constituída

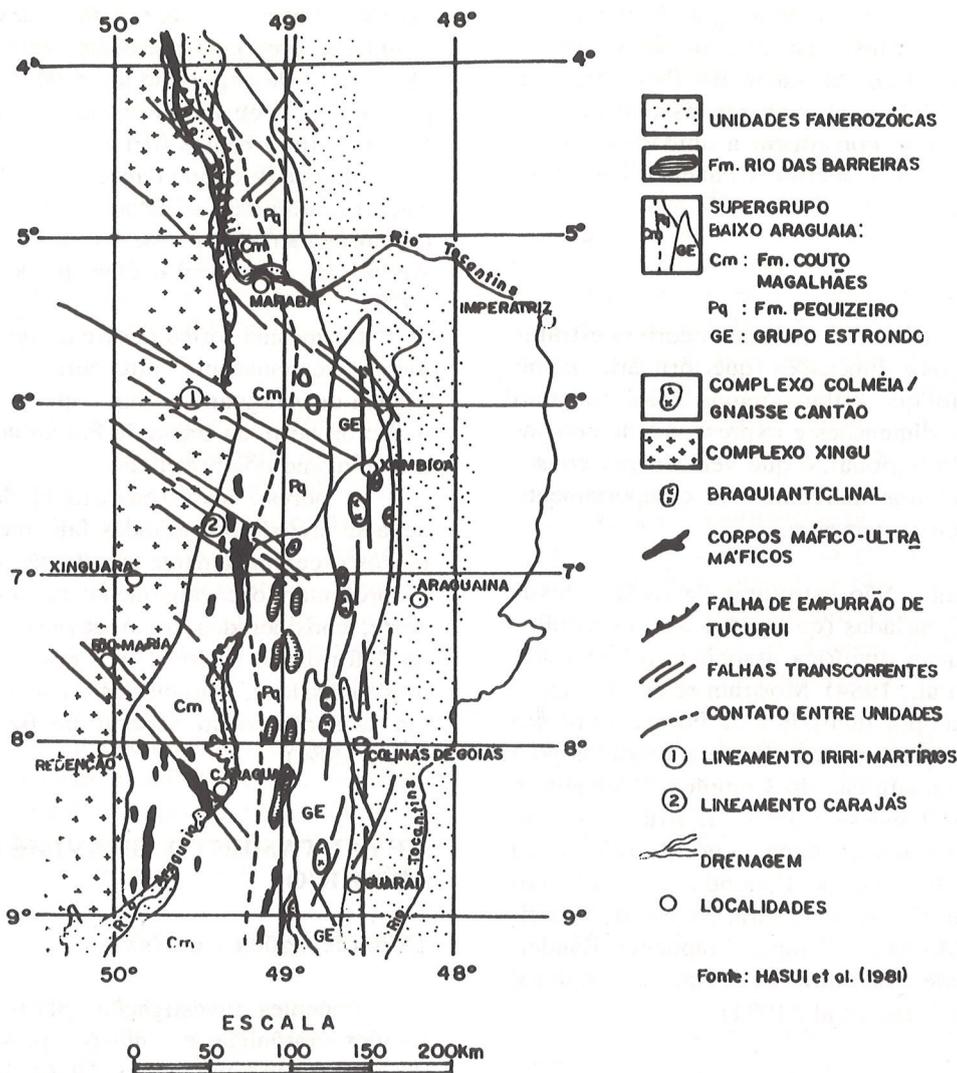


Figura 2. Mapa geológico da região do Cinturão Orogênico Araguaia.

por clorita-xistos e subordinadamente talco-xistos, talco-actinolita xistos, serpentinitos e metabasitos. Goraieb (1981), baseado em características petrográficas e metamórficas, considerou a Formação Couto Magalhães como posterior à Pequizeiro, e propôs a inversão na colocação estratigráfica entre as mesmas (Fig. 3).

Corpos máfico-ultramáficos ocorrem associados, especialmente na faixa de distribuição da Formação Couto Magalhães e Grupo Estrondo, assim como granitóides relacionados às braquianticlinais, de constituição tardia, classificadas como intrusões tardi a pós-tectônicas por Abreu (1978).

Ocorrem também corpos básicos, na forma de diques, na maioria das vezes constituindo travessões sob o Rio Araguaia, além de pequenas intrusões.

Em discordância angular sobre as rochas do Supergrupo Baixo Araguaia, ocorrem conglomerados polimícticos, associados com intercalações de arenitos finos e siltitos, sem evidências de deformações ou metamorfismo, de forma descontínua, constituindo a Formação Rio das Barreiras (Hasui et al., 1981).

CRONOESTRATIGRAFIA		UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS	
FANEROZÓICO		COBERTURAS FANEROZÓICAS	
PROTEROZOICO	MÉDIO A SUPERIOR	FORMAÇÃO RIO DAS BARREIRAS DIQUES BÁSICOS GRANITOS INTRUSIVOS	
		SUPERGRUPO BAIXO ARAGUAIA	GRUPO TOCANTINS FORMAÇÃO COUTO MAGALHÃES
			GRUPO PEQUIZEIRO FORMAÇÃO PEQUIZEIRO
		GRUPO ESTRONDO	FORMAÇÃO XAMBIOÁ
			FORMAÇÃO MORRO DO CAMPO
MÉDIO	GNAISSE CANTÃO		
ARQUEANO	COMPLEXO COLMÉIA		

Figura 3. Coluna estratigráfica.

Na porção oriental da área, grande parte dos metassedimentos do Grupo Estrondo encontram-se recobertos por sedimentos da Bacia do Parnaíba, que junto com os depósitos aluvionares associados aos sistemas de drenagem, constituem a unidade denominada genericamente de Coberturas Fanerozóicas (Fig. 3).

### Estruturas

Na região do Cinturão Araguaia ocorrem estruturas de diversos tipos e dimensões (quer primárias como tectógenas), sendo que enfatizaremos neste trabalho apenas aquelas de dimensões e expressividade compatíveis com a escala regional, e que venham por conseguinte produzir efeitos marcantes no comportamento do campo gravimétrico terrestre.

**Braquianticlinais** – São estruturas de caráter flexural, de dimensões variadas (quilométricas e decaquilométricas), de origem diapírica associada a anomalias termais (Santos et al., 1984). Mostram-se como feições elípticas, realçadas por quartzitos da Formação Morro do Campo e expõem em seus núcleos erodidos porções gnáissico-migmatíticas do Complexo Colméia, e eventualmente do Gnaiss Cantão. Distribuem-se ao longo de uma faixa submeridiana na porção oriental da área de exposição do Grupo Estrondo, onde são conhecidas as braquidobras de Lontra, Xambioá, Muricizal, Araguaia, Morro do Campo, Arapoema, Bandeirantes, Colméia, além de outras dispostas mais para sul da área abordada (Hasui et al., 1981).

**Geossutura Tocantins-Araguaia** – Segundo Almeida (1974) trata-se de uma geossutura que se desenvolveu na borda oriental do Cráton Amazônico, permitiu a regeneração brasileira, culminando com o desenvolvimento de condições geossinclinais, evoluindo para a faixa de dobramentos e uma cadeia orogênica de pequena expressão topográfica. Constitui-se de descontinuidades subparalelas que se anastomosam e se prolongam até o manto (Abreu, 1978), propiciando subsidência e ascensão de material do manto, responsáveis pelos corpos máfico-ultramáficos que se observa de modo esporádico nessa região (Fig. 2).

**O Edifício Orogênico** – Abreu (1978) postulou que a porção da faixa correspondente ao Grupo Estrondo sofreu notável soerguimento orogênico, assimétrico, mais destacável em sua porção oriental, impondo uma notável assimetria morfológica, expondo rochas de fácies xisto-verde a oeste e anfíbolito a leste. Ocorrem também corpos intrusivos pós-tectônicos. A Formação Rio das Barreiras está representada por depósitos detriticos, acumulados em área deprimida (Abreu, 1978).

**Falhas** – Verifica-se na área grande número de falhas direcionais, e subordinadamente de empurrão e de gra-

vidade. Entre as direcionais destacam-se aquelas orientadas predominantemente segundo a direção NW-SE, de grande expressão longitudinal (alcançam centenas de quilômetros), destacando-se aquelas que constituem os lineamentos Iriri-Martírios e Carajás (Fig. 2).

Merece destaque também a Falha de Empurrão de Tucuruí, atingindo a metade setentrional da área, além de outras menos expressivas, tais como as da Serra de Andorinha, Muricizal e Dois Irmãos (Abreu & Hasui, 1978).

Da mesma forma ocorrem algumas falhas de gravidade, responsáveis entre outros, pelo surgimento do graben de Araguaia, assim como o conjunto de falhas da borda oeste da Bacia do Parnaíba, relacionadas com o tectonismo pós-brasileiro.

A porção mais setentrional do Grupo Estrondo acha-se afetada por grandes falhamentos inversos, dispostos escalonadamente em direção geral submeridiana e apresentando cavalgamento no sentido de leste para oeste, considerados como devidos a uma etapa tardia na deformação regional, posterior à formação dos domos gnáissicos, e admitidos como de grande importância na evolução do Supergrupo Baixo Araguaia (Teixeira, 1984).

## LEVANTAMENTO GRAVIMÉTRICO E ALTIMÉTRICO

### Considerações Geofísicas

Recentes investigações geofísicas efetuadas em regiões cratônicas e cinturões móveis, como aquelas desenvolvidas por Davino (1980), Haralyi (1980), Haralyi & Hasui (1981, 1982), Hasui & Haralyi (1985) e Lesquer et al. (1981), entre outros, e comparativamente aos resultados obtidos em províncias geológicas semelhantes, no Canadá, na Índia, na Austrália e na África, tais como Gibb & Thomas (1976) e Gibb et al. (1983), propiciaram aos métodos geofísicos uma enorme credibilidade e um considerável potencial de resolução nesse tipo de investigação.

Para a região em apreço, afora o aerolevanteamento magnetométrico e radiométrico executado pelo Projeto Geofísico Brasil/Canadá (DNPM, 1979) e Projeto Aerogeofísico Sul do Pará (Martins & Araujo, 1979), basicamente não se dispunham de outras informações geofísicas. Foi com o propósito de obter informações gravimétricas sobre essa região, e assim contribuir para o esclarecimento das questões de natureza tectono-estrutural do cinturão Araguaia, que foi desenvolvido esse levantamento.

Merecem destaque as interpretações aeromagnetométricas do PGBC, desenvolvidas por Silva & Sá (1982) e Almeida et al. (1986), assim como o levantamento efetuado pelo Observatório Nacional, objetivando o estabelecimento da Rede Gravimétrica Fundamental Brasileira (CNPq, 1983), ajustada à IGSN-71 (International Gravity Standardization Net 1971).

## Procedimentos de Campo

**Altimetria** – O levantamento altimétrico foi executado utilizando-se de três altímetros, deixando-se um fixo na estação de referência, com o fim de produzir dados para a construção da “curva de correção”, com leituras defasadas de 10 minutos, juntamente com dois termômetros para tomadas de temperatura ambiente. Os outros dois altímetros foram feitos itinerantes, levados às estações ao longo dos perfis (rodovias), juntamente com o gravímetro e outros dois termômetros.

**Gravimetria** – Neste levantamento gravimétrico utilizou-se um gravímetro LaCoste & Romberg, modelo G-628. Procurou-se, na medida do possível, trabalhar-se em função das bases gravimétricas estabelecidas pelo Observatório Nacional, pertencentes à Rede Gravimétrica Fundamental Brasileira (Escobar & Santos, 1980), tendo sido utilizadas as bases gravimétricas de Guarai, Colinas de Goiás e Araguaia, no Estado de Tocantins. Devido a inexistência, à época do levantamento, de bases gravimétricas no lado ocidental da área, porção correspondentemente dentro do Estado do Pará, foram efetuadas duas ligações simples, amarrando as estações de Marabá (Aeroporto) e Rio Maria (acapamento da DOCEGEO) com a estação gravimétrica do Aeroporto Val de Cães (081481 “M” - Observatório Nacional), em Belém.

A localização de cada estação, ao longo do perfil (rodovia) foi feita com base nas distâncias percorridas, priorizando pontos de mais fácil identificação em mapas, tais como cruzamentos de estradas, fazendas, localidades, pontes, etc., e evitando locais sobre ou muito próximo a aterros e cortes nas estradas. Sempre que possível buscava-se coincidir a estação com alguma referência de nível existente nas margens das rodovias, estabelecidas pelo IBGE ou DNER, sendo que raramente se conseguia identificá-las.

Devido a impraticabilidade de retornos frequentes às estações-base, adotou-se a sistemática de circuitos com fechamento ao final de cada dia de levantamento, repetindo-se sempre que possível leituras em estações intermediárias (estações de controle), para fins de avaliação da precisão do levantamento.

Foram levantadas 393 estações, além de 36 repetições, sendo que apenas duas foram coincidentes com referências de nível oficiais do IBGE (estações de Itupiranga e Rio Maria, no Estado do Pará).

## Tratamento de Dados

**Altimetria** – Uma vez que os altímetros são instrumentos sensíveis às variações de pressão atmosférica, que está por sua vez diretamente relacionada às oscilações atmosféricas e variações de altitude, os dados altimétricos (leituras) devem ser corrigidos dessas distorções, considerando as “curvas de correção” (Lahee,

1970), os valores de temperatura e, eventualmente dados de umidade relativa do ar. Os erros acumulados são compensados através de redução à base e às estações de controle.

**Determinação das Coordenadas Geodésicas das Estações** – Com base nas cartas topográficas elaboradas pelo IBGE, na escala 1:100.000 (IBGE, 1980), que apresentam a melhor aproximação para as áreas, em termos de escala e de identificação dos acidentes geográficos e obras civis, foram calculadas as coordenadas das estações, por interpolação simples, com precisão de centésimos de minuto, considerando as distâncias percorridas e o traçado das rodovias.

**Informações Gravimétricas** – Os dados de leitura do gravímetro, coordenadas geodésicas das estações, horário de leitura, gravidade observada da estação-base, fator de correção de maré (calculado através de um programa elaborado por Longman, 1959 - adaptado), valor de densidade e constante de conversão do gravímetro foram então introduzidos num programa elaborado por Sauck (informação pessoal), e adaptado para este trabalho, que determina a Anomalia Bouguer Simples, após procedidas as correções usuais (latitude, altitude, “drift” e Bouguer).

Foi executada a correção topográfica para alguns pontos representativos da morfologia topográfica da área, utilizando-se da metodologia descrita por Hammer (1939). Uma vez que o experimento revelou valores máximos da ordem de 1,1 mGal, julgou-se desnecessária a execução dessa correção para este levantamento, considerando os objetivos e a amplitude da anomalia verificada (da ordem de 107 mGal).

Empregou-se a densidade de 2,67 g/cm<sup>3</sup> para o pacote crustal, que é o valor internacionalmente utilizado para a correção Bouguer em levantamentos regionais.

As cotas das estações, consideradas em relação ao nível do mar, assim como o emprego da formulação GRS-67 (ver Woollard, 1979) para o cálculo da gravidade teórica ao nível do mar, e em função da latitude, objetivou sobretudo manter uma coerência com o padrão internacionalmente utilizado em levantamentos dessa natureza.

## INTERPRETAÇÃO GEOFÍSICA

### O Mapa de Anomalias Bouguer

O Mapa de Anomalias Bouguer para o setor setentrional do Cinturão Orogênico Araguaia (Fig. 4), apresentado com intervalo entre as curvas isoanômalas de 5 mGal, foi elaborado com base nos resultados do levantamento de campo (gravimetria e altimetria), com uma densidade de cerca de 332 km<sup>2</sup>/estação, e procedendo-se extrapolações das linhas de contorno em zonas de baixa densidade de informações.

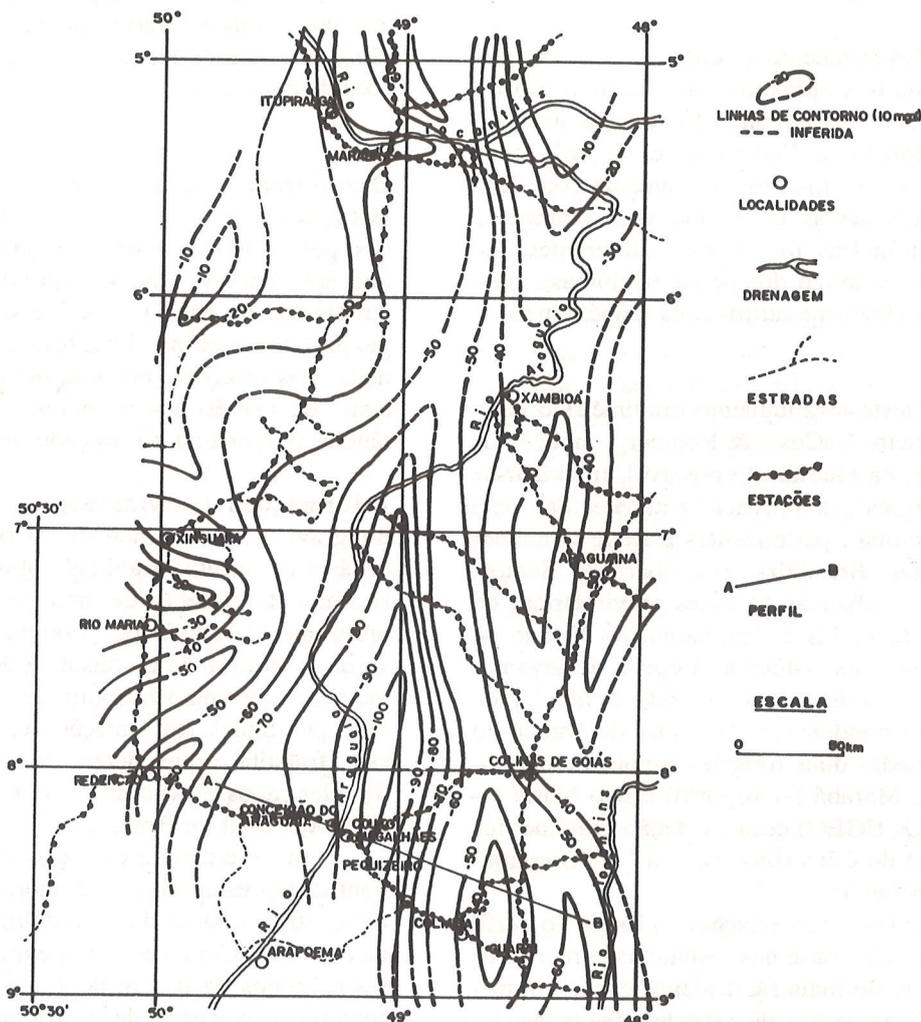


Figura 4. Mapa de anomalias Bouguer do setor setentrional do Cinturão Orogênico Araguaia.

O padrão gravimétrico se caracteriza por apresentar linhas de contorno que se estendem em direção predominantemente submeridiana, com intensidade aumentando para o centro da área, onde alcança menos de  $-105$  mGal, caracterizando a conformação de uma calha longilínea. Bordejando o flanco oriental do cinturão orogênico e paralelo à faixa de ocorrência das estruturas braquidobradas, destaca-se um eixo de anomalias positivas (alcança mais de  $-30$  mGal), culminando a leste com um outro eixo de intensidade negativa (menos de  $-60$  mGal), estrangulado em sua porção mediana e divergindo para NE, adentrando nos domínios da Bacia do Parnaíba.

As porções NW e NE da área apresentam fortes anomalias positivas, alcançando valores acima de  $-5$  mGal.

Verifica-se marcadamente duas notáveis inflexões no padrão geral das linhas de contorno, sendo uma à altura do paralelo  $5^{\circ}30'S$  e a outra mais a sul, nas proximidades do paralelo  $7^{\circ}00'S$  (Fig. 4).

#### Interpretação Qualitativa do Mapa Bouguer

O padrão gravimétrico apresentando características submeridianas reflete grosseiramente o comportamento litológico-estrutural admitido para a região. A faixa central, de maior intensidade negativa, deve coincidir com a porção mais deprimida, caracterizada por um maior espessamento do pacote de metassedimentos do Supergrupo Baixo Araguaia, associado a um espessamento crustal nessa porção.

A forte inflexão das linhas de contorno para NW, na altura do paralelo  $5^{\circ}30'S$  está associada a uma notável zona de estruturação, de caráter sinistral (Fig. 4), responsável pela movimentação relativa de blocos desse segmento crustal. Da mesma forma, a inflexão verificada à altura do paralelo  $7^{\circ}00'S$  parece estar diretamente relacionada com a estruturação imposta pelo Lineamento Carajás, também de caráter sinistral, apresentando uma faixa deprimida, mais notável no domínio cratônico.

A faixa de intensidade relativamente positiva,

bordejando o flanco oriental do cinturão orogênico, está associada ao eixo de ocorrência das braquidobras, que são estruturas admitidas como produzidas por ascensão diapírica de domos gnáissicos. O comportamento residual dessa anomalia, caracterizada por sua intensidade e amplitude, assim como o alargamento (comprimento de onda), nos leva a considerá-la como sendo devida a um excesso de massa mais densa ao longo dessa faixa, colocada a profundidade moderada.

Na porção mais oriental da área verifica-se um eixo negativo, alcançando menos de -60 mGal, aparentemente relacionado a uma faixa deprimida, onde a participação da sedimentação da Bacia do Parnaíba deve exercer forte influência. Esse eixo encontra-se estrangulado em sua porção mediana, onde tende a se confundir com o eixo de anomalias positivas relacionadas às braquidobras.

As porções NW e SE da área apresentam-se fortemente positivas, alcançando mais de -5 mGal, possivelmente relacionadas à presença de massas densas injetadas na crosta sílica.

A grande deformidade das curvas ao longo de toda a porção cratônica, relaciona-se à enorme complexidade litológica nesse setor, envolvendo sedimentação, intrusões graníticas, seqüências "greenstone belt", assim como às estruturas verificadas no mesmo.

Da mesma forma, o padrão observado na porção oriental, perfeitamente concordante com o padrão geral do setor orogênico, e marcadamente contrastante com aquele do setor ocidental, leva-nos a imaginar que: (a) o embasamento do cinturão orogênico e da sinéclise do Parnaíba apresentam comportamento estrutural semelhante e radicalmente contrastante com aquele do setor cratônico; (b) ou talvez o limite oriental do cinturão orogênico esteja ainda mais para leste.

Em termos gerais a área apresenta um gradiente regional de sul para norte, a partir da porção mediana inferior, onde o eixo negativo central alcança menos de -105 mGal, chegando a cerca de -60 mGal na porção mais setentrional. Nesse particular, grande influência exercem as massas densas injetadas na crosta sílica, previstas para essa região. Esse comportamento aparece modificado, a partir da estruturação aqui denominada informalmente de "Zona de Estruturação Marabá", apresentando um estrangulamento desse eixo, na forma de um alto gravimétrico, voltando a se tornar mais negativo para norte.

#### Interpretação Semi-Quantitativa. Modelamento 2.1/2-D

Objetivando analisar o comportamento geométrico das estruturas ocorrentes, assim como as características de empilhamento estratigráfico, em subsuperfície, do arcabouço do cinturão orogênico, procedeu-se à elaboração de um modelo representativo da área, ao longo de um perfil transversal a esse segmento, aproximadamente E-W. Utilizou-se de um programa elabo-

rado por Enmark (1981), adaptado, o qual permite o ajuste iterativo manual de modelos gravimétricos de diferentes formas e direções, em perfis não lineares e limitados na terceira dimensão (Carvalho, 1988).

Para efeito de modelagem considerou-se como "background" regional a faixa de -20 mGal a -60 mGal, para o intervalo de elevação de 90 m a 552 m, conforme sugerido por Woollard (1959).

Em função da pouca disponibilidade de informações de densidade de rochas representativas da área, utilizou-se também de informações disponíveis em tabelas ou modelos obtidos por meio de estudos de velocidade sísmica e cálculo de pressão, para profundidades envolvendo a crosta e o manto superior, conforme apresentado por Garland (1979).

O perfil modelado, com um comprimento da ordem de 250 km, cruza toda a extensão transversal da área, desde as vizinhanças de Redenção (PA), no domínio cratônico, até Tupirama (TO), além dos limites com a Bacia do Parnaíba. Transpõe toda a seqüência metassedimentar do Supergrupo Baixo Araguaia (Fig. 5), sedimentos da Formação Rio das Barreiras, corpos máfico-ultramáficos, a zona de ocorrência das braquianticlinais assim como porções expostas do Cráton Amazônico e sedimentos da Bacia do Parnaíba.

Verifica-se nesse perfil a configuração de uma zona de ampla deficiência de massa na porção central, com anomalia negativa alcançando menos de -95 mGal, com o eixo positivo associado às braquidobras alcançando -41 mGal.

O modelo proposto (Fig. 5) admite um espessamento crustal para justificar a grande anomalia negativa regional com amplitude de cerca de 54 mGal, caracterizando uma deficiência de massa profunda (de 30 a 35 km de profundidade), com contraste de densidade com a porção superior do manto de  $-0,30 \text{ g/cm}^3$ . Este modelo considera as supracruzais como uma massa relativamente uniforme, em termos de densidade, em contraste com o substrato da ordem de  $-0,15 \text{ g/cm}^3$ . Este substrato foi admitido com densidade da ordem  $2,83 \text{ g/cm}^3$ , conforme proposto por Woollard (1969), o que dá uma densidade da ordem de  $2,68 \text{ g/cm}^3$  para as supracruzais, perfeitamente compatível com os resultados de análises e de literatura.

Essas anomalias, com caráter dipolar, apresentam estreitas afinidades com os modelos propostos para zonas de sutura no Canadá, África e Austrália (Gibb & Thomas, 1976; Gibb et al., 1983). No exemplo canadense o modelo considera o bloco cratônico oriental cavalgando o bloco ocidental, mais antigo, culminando com uma marcante anomalia gravimétrica negativa alongada segundo N-S. a oeste da anomalia positiva.

A massa densa, considerada no modelo aqui proposto, apresenta um contraste de densidade com a massa crustal de  $0,30 \text{ g/cm}^3$ . Admite uma espessura para essa fatia de 5 km, transversal ao perfil, com inclinação para SE da ordem de  $45^\circ$ . Comporta-se como uma fatia de massa densa (granulítica?) com sua por-

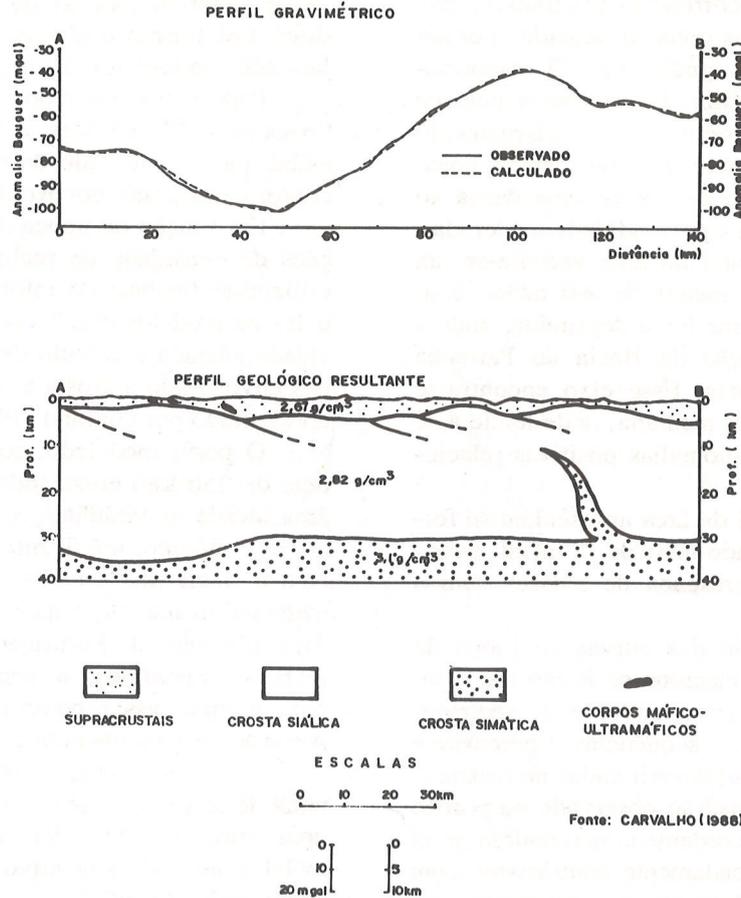


Figura 5. Perfil geológico resultante do modelamento gravimétrico (2.1/2-D).

ção mais superior na profundidade de 11 km, e que se introduziu na crosta ao longo de um provável plano de cisalhamento, responsável pelo soerguimento do embasamento nessa porção do cinturão.

Outras anomalias de cunho residual, ao longo do perfil, podem ser produzidas por fontes dessa natureza, mas que foram aqui consideradas como originadas por oscilações do nível do embasamento, sendo que os picos mais locais foram admitidos como devidos a corpos mais densos introduzidos nas supracrustais, tais como os corpos máfico-ultramáficos observados nesse setor.

Essas oscilações do embasamento podem ser devidas quer ao processo de subsidência diferenciada, em função do maior ou menor acúmulo de material, quer a uma sistemática de enrugamento nos planos de cisalhamento (rampas) devido ao movimento relativo dessas porções de massa, originando zonas de deficiência de massa no substrato, coincidindo com zonas de anomalias residuais negativas.

A anomalia negativa de cerca de 20 mGal da porção sudeste deste perfil, entre Guarai e Tupirama (Fig. 5), foi admitida como produzida por uma depres-

são do nível do embasamento, na forma de um graben, com uma profundidade que chega a 5 km, sendo que por falta de informações mais objetivas, não se considerou aqui a influência dos sedimentos da Bacia do Parnaíba, que certamente contribuem para essa tendência negativa.

## CONCLUSÕES

A análise das informações gravimétricas obtidas para o setor setentrional do Cinturão Orogênico Araguaia, aliada ao conhecimento geológico da região assim como aos resultados do levantamento aeromagnetométrico do Projeto Geofísico Brasil/Canadá (DNPM, 1979), leva-nos a compreender essa região como uma extensa faixa deprimida, apresentando uma considerável deficiência de massa em sua porção central, além de outras variações e distorções das linhas de contorno gravimétricas, perfeitamente compatíveis com o comportamento litológico-estrutural da área.

As duas importantes inflexões das curvas isogal para NW, encontram-se associadas com as estruturas impostas pelos lineamentos Iriri-Martírios e Ca-

rajás, e aquele passando por Marabá (PA), que denominaremos informalmente de "Zona de Estruturação Marabá".

A forte anomalia gravimétrica negativa central é produzida por um maior espessamento no pacote de supracrustais nesse setor, associado a uma depressão na base da crosta, enquanto que o eixo positivo da porção oriental desse segmento, por sua intensidade, amplitude e dimensão (abertura da anomalia), deve estar associado a uma intrusão de massa densa na crosta sílica, ao longo de rampas de cisalhamento, responsáveis pelo soerguimento do embasamento, colocado aflorante nos núcleos das estruturas braquidobradas, e pelo cavalgamento de fatias a dimensões consideráveis. A anomalia negativa da porção sudeste da área parece estar relacionada a esse movimento tectônico, apresentando uma porção deprimida, restada quando da elevação do embasamento por essa intrusão.

As porções noroeste e nordeste da área apresen-

tam as mais intensas anomalias positivas (chegando a mais de -5 mGal) e devem estar associadas à existência de extensas e espessas massas densas em subsuperfície.

O comportamento geral da área mostra uma marcante concordância na estruturação do embasamento desse setor com o da Bacia do Parnaíba, em sua porção ocidental, mesmo a despeito da deficiência de informações gravimétricas nesse setor.

Faz-se necessário, para melhor compreensão desse comportamento, a incidência de estudos mais densificados nessa região, inclusive mais para leste, adentrando no âmbito da Bacia do Parnaíba, para melhor identificar seus limites em subsuperfície. Da mesma forma, é importante que se obtenham medidas mais precisas de densidades de tipos litológicos representativos da região, para melhor modelamento de situações litológico-estruturais.

#### REFERÊNCIAS

- ABREU, F. de A.M. de - 1978 - Estratigrafia e evolução do segmento setentrional da faixa de dobramento Paraguai-Araguaia. Dissertação de mestrado, NCGG/UFPa, 75 pp., Belém, PA.
- ABREU, F. de A.M. de & Hasui, Y. - 1978 - Evolução estrutural do Supergrupo Baixo Araguaia. Anais XXX Congr. Bras. Geol., Recife, PE, 1: 257-269.
- ALMEIDA, F.F.M. de - 1974 - Sistema tectônico marginal do Cráton Guaporé. Anais XXVII Congr. Bras. Geol., Porto Alegre, RS, 4: 9-17.
- ALMEIDA, F.F.M. de, FERREIRA, F.J.F., CARNEIRO, C.D.R. & STEFANI, F.L. - 1986 - Aspectos evolutivos da geossutura Tocantins-Araguaia. Anais XXXIV Congr. Bras. Geol., Goiânia, GO, 3: 1269-1284.
- CARVALHO, J. da S. - 1988 - Influências gravimétricas e magnetométricas das braquianticlinais no contexto da faixa de dobramentos Araguaia. Anais XXXV Congr. Bras. Geol., Belém, PA, 4: 1625-1632.
- CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO - 1983 - Boletim informativo. Rede Gravimétrica Fundamental Brasileira. Observatório Nacional, 5, 19 pp.
- CORDANI, U.G., NEVES, B.B.B., FUCK, R.A., PORTO, R., THOMAS FILHO, A. & CUNHA, F.M.B. da - 1984 - Estudo preliminar de integração do Pré-Cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras. PETROBRÁS, Ciência Técnica Petróleo, 15, 70 pp.
- COSTA, J.B.S., HASUI, Y. & GORAYEB, P.S. da S. - 1988 - Relações estruturais entre o Cinturão Orogênico Araguaia e o Maciço Goiano na região do Paraíso do Norte-Gurupi, GO. Anais XXXV Congr. Bras. Geol., Belém, PA, 5: 2187-2197.
- DAVINO, A. - 1980 - Delineamento dos limites estruturais do Cráton do Paramirim por gravimetria. Anais XXXI Congr. Bras. Geol., Camboriú, SC, 5: 2563-2582.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL - 1979 - Projeto Geofísico Brasil/Canadá. Mapas de intensidade magnética total, escalas 1:100.000 e 1:250.000.
- ENMARK, T. - 1981 - A versatile interactive computer program for computation and automatic optimization of gravity models. *Geoexploration*, 19: 47-66.
- ESCOBAR, I.P. & SANTOS, N.P. dos - 1980 - Ajustamento da rede gravimétrica do Observatório Nacional. *Boletim*, 2, 32 pp.
- GARLAND, G.D. - 1979 - Introduction to Geophysics (Mantle, Core and Crust). W.B. Snunders, Philadelphia, 494 pp.
- GIBB, R.A. & THOMAS, M.D. - 1976 - Gravity signature of fossil plate boundaries in the Canadian shield. *Nature*, 262: 119-200.
- GIBB, R.A., THOMAS, M.D., LAPONT, P.L. & MUKHOPADHYAY, M. - 1983 - Geophysics of proposed proterozoic sutures in Canada. *Precambrian Research*, 19: 349-384.
- GORAYEB, P.S. da S. - 1981 - Evolução geológica da região de Araguacema-Pequizeiro, Goiás. Dissertação de mestrado, NCGG/UFPa, 99 pp., Belém, PA.
- HAMMER, S. - 1939 - Terrain corrections for gravimeters stations. *Geophysics*, 4: 184-194.
- HARALYI, N.L.E. - 1980 - Depressões tectônicas no Cráton do Paramirim. Anais XXXI Congr. Bras. Geol., Camboriú, SC, 5: 2634-2638.
- HARALYI, N.L.E. & HASUI, Y. - 1981 - Anomalias gravimétricas e estruturas maiores do sul de Goiás. Atas I Simp. Geol. Centro-Oeste, Goiânia, GO, 73-92.
- HARALYI, N.L.E. & HASUI, Y. - 1982 - Compartimentação geotectônica do Brasil oriental com base na informação geofísica. Anais XXXII Congr. Bras. Geol., Salvador, BA, 1: 374-385.
- HASUI, Y. & HARALYI, N.L.E. - 1985 - A megaestruturação de Goiás. Atas II Simp. Geol. Centro-Oeste, Goiânia, GO, 120-144.
- HASUI, Y., ABREU, F. de A.M. de, COSTA, J.B.S. & SILVA, J.M.R. - 1981 - A faixa de dobramentos Araguaia - estado de conhecimento. Atas I Simp. Geol. Centro-Oeste, Goiânia, GO, 174-194.
- HASUI, Y., COSTA, J.B.S. & ABREU, F. de A.M. de - 1980 - Evolução estrutural da região de Colméia, GO. Anais XXXI Congr. Bras. Geol., Camboriú, SC, 5: 2648-2658.
- HASUI, Y., COSTA, J.B.S. & ABREU, F. de A.M. de -

- 1984 – Província Tocantins. Setor Setentrional. In: O Pré-cambriano do Brasil (Almeida, F.F.M. de & Hasui, Y., ed.), Edgard Blücher, 187-204.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – 1980 – Cartas topográficas. Escala 1:100.000
- LAHEE, F.H. – 1970 – Geologia practica. Ediciones Omega, Barcelona, 895 pp.
- LESQUER, A., ALMEIDA, F.F.M. de, DAVINO, A., LA-CHAUD, J.C. & MAILLARD, P. – 1981 – Signification structurale des anomalies gravimetriques de la partie Sud du Craton de São Francisco (Brezil). *Tectonophysics*, **76**: 273-293.
- LONGMAN, I.M. – 1959 – Formula for computing the tidal accelerations due to the Moon and the Sun. *J. Geophys. Res.*, **64**: 2351-2355.
- MARTINS, R.C. & ARAUJO, O.J.B. de – 1979 – Projeto integração geológico-geofísico sul do Pará. Relatório final, DNPM/CPRM, 1, Belém, PA.
- SANTOS, M.D., MACAMBIRA, J.B. & KOTSCHOUBEY, B. – 1984 – Uma proposta para a origem das braquianticlinais de Xambioá e Lontra (GO) - possíveis domos gnáissicos. *Anais XXXIII Congr. Bras. Geol.*, Rio de Janeiro, RJ, **5**: 3400-3414.
- SILVA, R.M.S. & SÁ, J.H. da S. – 1982 – Feições geológicas e magnetométricas da região do baixo Araguaia. *Anais I Simp. Geol. Amazônia*, Belém, PA, **1**: 259-269.
- SOUZA, A.C.C. de – 1984 – Geologia e petrologia do extremo norte da Serra do Estrondo (GO). Dissertação de mestrado, NCGG/UFPa, 188 pp., Belém, PA.
- TEIXEIRA N.P. – 1984 – Geologia e petrologia da região central da Serra das Cordilheiras, Goiás. Dissertação de mestrado, NCGG/UFPa, 208 pp., Belém, PA.
- WOOLLARD, G.P. – 1959 – Crustal structures from gravity and seismic measurements. *J. Geophys. Res.*, **64**: 1521-1544.
- WOOLLARD, G.P. – 1969 – Standardization of gravity measurements. (Hart, J.P., ed.), *The Earth's Crust and Upper Mantle*, AGU, 283-293.
- WOOLLARD, G.P. – 1979 – The new gravity system. Changes in international gravity base values and anomaly values. *Geophysics*, **44**: 1352-1366.

Versão recebida em: 17/08/89

Versão revista e aceita em: 05/06/90

Editor Associado: W. Shukowsky