



## Análise Gravimétrica de uma anomalia morfoestrutural na área urbana de Manaus-AM, Brasil

Miquéas Barroso da Silva<sup>1</sup>; Clauzionor Lima da Silva<sup>2</sup>; Shozo Shiraiwa<sup>3</sup>; Eliud de Oliveira Silva<sup>2</sup>, Antonio Charles da Silva Oliveira<sup>1</sup>; Ulisses Antonio Costa e Victor Hugo Rocha Lopes<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CPRM – SGB    <sup>2</sup> UFAM – Universidade Federal do Amazonas/DEGEO    <sup>3</sup> Universidade Federal do Mato Grosso

Copyright 2011, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 12<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 15-18, 2011.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 12<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

### Abstract

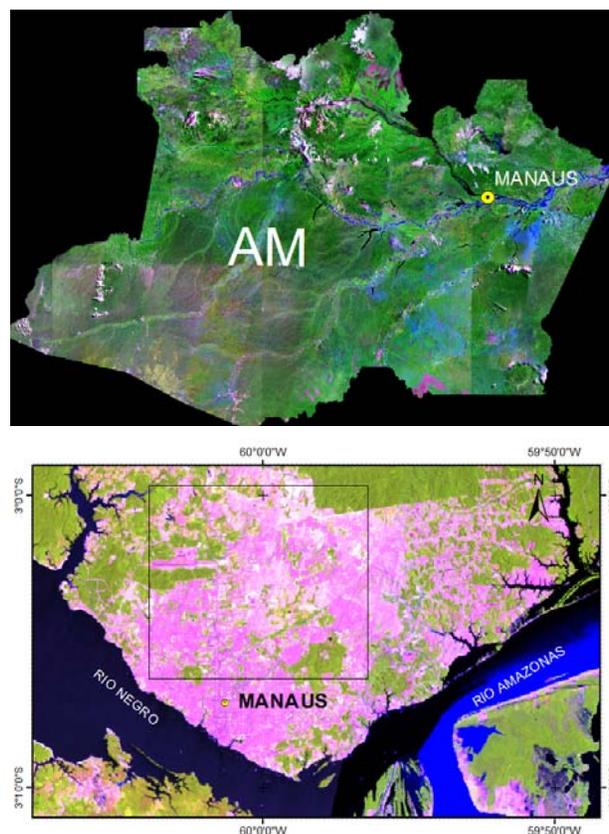
This paper comprises the gravimetric analysis of a morfostructural anomaly in the city of Manaus, State of Amazonas, Brazil. This feature is characterized by a positive relief with a rounded signature well developed an approximately 4 km wide. The drainage has a ring and, less developed, radial pattern that differs from the context of the city, defined as dendritic form. The terrestrial gravimetric survey has shown that the structure has low values of Bouguer anomaly, which has been associated to the Alter do Chão sedimentary Formation. The high values of Bouguer anomaly at the south sector, was related to a dyke of mafic Penatecaua magmatism, with seems to have no direct relation to the morfostructure. With the purpose of indicating a possible origin to this feature the stands out on Manaus landscape, that is set on the inner part of the Amazon Basin and has undergone many mafic magmatic events (sills and dykes), it was chosen the model of hydrothermal vent complex, associated to the intrusive branching as a possible generation process for the geological element at the top of the lower unit, responsible for the formation of the structure, based on the differential compactation hypothesis, applied on early studies in other areas of Amazon Basin. Additionally, the relief system and drainage of the structure was studied in detail, and it has led to the conclusion that it's an odd feature that marks the landscape of Manaus. The identification of important N-S and E-W structural trends, that fits in the neotectonic display of this region, deforms the morfostructure, placing this anomaly in an older age relatively to neotectonic events.

### Introdução

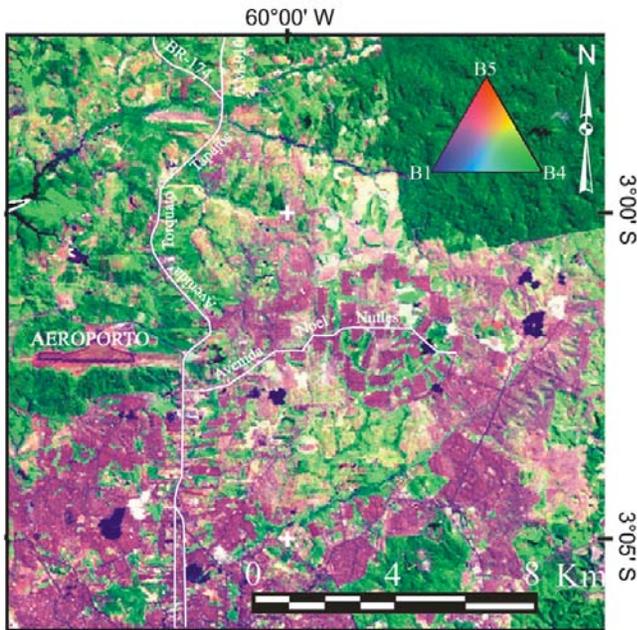
A área de estudo está localizada no perímetro urbano da cidade de Manaus, estado do Amazonas, região norte do Brasil-, situada às margens do rio Negro (Figura 1). Nessa área Silva (2005) descreveu uma feição circular com aproximadamente 4 km de diâmetro, localizada na zona norte da cidade, a leste do Aeroporto Internacional Eduardo Gomes. Essa feição destaca-se no relevo da cidade como uma estrutura positiva, com cotas por volta de 100 metros, e drenagem anelar e/ou sub-radial desenvolvidos nos sedimentos da Formação Alter do Chão (Figura 2).

A ocorrência de anomalias morfoestruturais na Bacia do Amazonas e Solimões é frequente e tem sido descrita por vários autores Cunha (1982), Miranda (1984); Miranda *et al.* (1994), Delano 2007 e Almeida Filho *et al.* (2010). As causas dessas anomalias foram atribuídas a processos de compactação diferencial de camadas, penetração de corpos ígneos, domos anticlinais de sal, e a combinação desses elementos com zonas de falha.

A anomalia morfoestrutural na cidade de Manaus por se situar em uma área de fácil acesso, diferente das demais morfoestruturas existentes nas bacias paleozoicas do Solimões e Amazonas, permitiu o desenvolvimento de levantamento gravimétrico terrestre e sua integração com os dados provenientes de estudos neotectônicos na área em particular (Silva 2005, Simas *et al.*, 2009). Os resultados alcançados com base nos dados gravimétricos de detalhe permitiram uma melhor caracterização dessa anomalia em subsuperfície



**Figura 1** – Localização geográfica da cidade de Manaus, capital Amazonense, situada na confluência entre os rios Amazonas e Negro.



**Figura 2** – Área de estudo compreendida na área urbana da cidade de Manaus observada em imagem Landsat-7 ETM+ (RGB 541). Onde nota-se o aeroporto internacional Eduardo Gomes e sobre a anomalia morfoestrutural a Av. Noel Nutles ressaltando em vermelho a ocupação urbana e em verde a vegetação.

### Contexto Geológico e Neotectônico

A área de estudo está localizada na porção Oeste da Bacia do Amazonas (Figura 3). A evolução geológica dessa bacia paleozóica envolve quatro seqüências deposicionais (Ordoviciano-Devoniana, Devoniano-Carbonífera, Permo-Carbonífera e Cretáceo-Terciária), além de rochas intrusivas-soleiras e diques de diabásio do Mesozóico (Milani e Zalán 1999). (Figura 4).

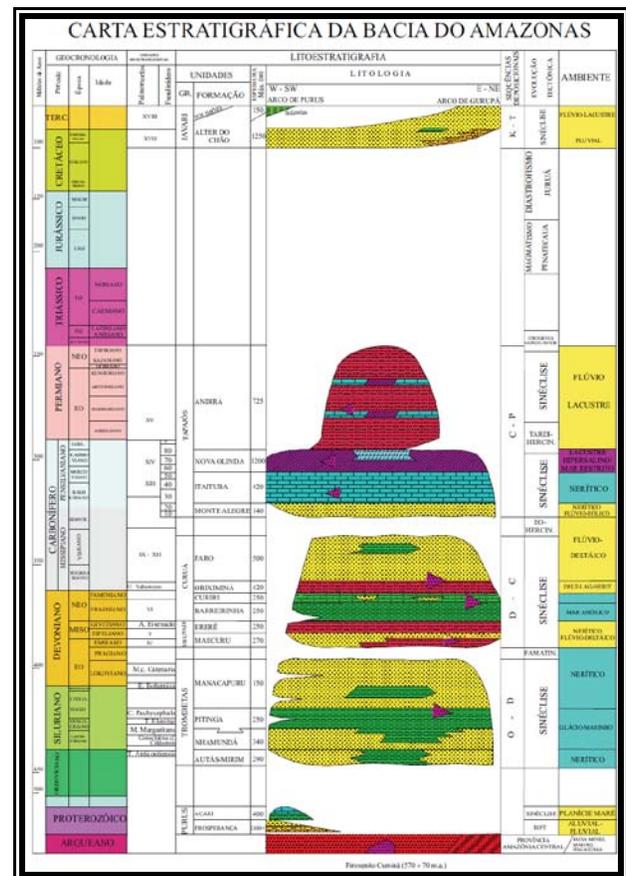
A Sequência Ordoviciano-Devoniana compreende sedimentos clásticos marinhos do Grupo Trombetas, truncados pela discordância oriunda da Orogenia Caledoniana. A Sequência Devoniano-Carbonífera envolve sedimentos flúvio-deltaicos e neríticos dos grupos Urupadi e Curuá, separados pela discordância da Orogenia Eoherciniana. A Sequência Permo-Carbonífera consiste em carbonatos e evaporitos continentais e marinhos restritos do Grupo Tapajós, individualizados pela Orogenia Gonduanide e pelo Diastrofismo Juruá, e, por fim, a Sequência Cretáceo-Terciária na porção ocidental da Amazônia, constituída por sedimentos neocretáceos e miocênicos flúvio-lacustres da Formação Alter do Chão.

Particularmente, na Sequência Permo-Carbonífera que é constituída por depósitos de evaporitos responsável pela manifestação de processos de halocinese na Bacia do Amazonas, conforme Szatmari *et al.* (1975), Neves *et al.* (1990) e Costa & Wanderley Filho (2008). Podem representar a ocorrência de anomalias morfoestruturais em superfície. O magmatismo básico na Bacia do

Amazonas denominado de evento Penatecaua que ocorreu no Permo-Jurássico e Juro-Triássico, proporcionou a formação de corpos intrusivos (diques e soleiras) significativos na região. Wanderley Filho *et al.* (2006) apresentaram um mapa de Isólitais de diabásio para a Bacia do Amazonas, cuja isólitais para a área da cidade de Manaus é da ordem de 200 m (Figura 5).



**Figura 3** - Localização da Bacia do Amazonas no contexto da Plataforma Sul Americana, no Cráton Amazônico (Almeida *et al.*, 1977).



**Figura 4** - Carta estratigráfica da Bacia do Amazonas, segundo Cunha *et al.* (1994).



**Figura 5** - Mapa de Isótilas de diabásio na Bacia do Amazonas (Wanderley Filho *et al.*, 2006)

Feições morfoestruturais na Bacia Amazônica foram descritas por Cunha (1982) em anomalia de drenagem na região do baixo Rio Amazonas e do Rio Tapajós. Miranda *et al* (1984) constataram vinte e três anomalias também de drenagem na região da Bacia do Solimões associadas a feições estruturais do embasamento, o reflexo dessas estruturas em superfície foi atribuída a compactação diferencial.

Em estudo sobre o arcabouço estrutural da região do Rio Uatumã (AM), Miranda *et al.* (1994) mostraram uma série de anomalias morfoestruturais no interflúvio dos rios Uatumã-Anebé (AM), assim como nos trabalhos anteriores estas foram relacionadas a estruturas em subsuperfície na Bacia do Amazonas. Nesse estudo chamou atenção a anomalia circular no rio Anebé, que possui a mesma assinatura morfológica da anomalia morfoestrutural de Manaus descrita por Silva (2005). Delano *et al* (2007) fizeram uso de dados SRTM combinados a geofísica com propósito de identificar estruturas formadoras de trapas petrolíferas, encontraram trinta e duas anomalias morfoestruturais circulares na Bacia do Amazonas.

As estruturas neotectônicas mapeadas na região de Manaus foram descritas em trabalhos como Igreja & Franzinelli (1990), Fernandes Filho (1996) e, mais recentemente, Silva (2005), dentre outros, de tal, sorte que é possível ter um bom entendimento acerca do arranjo de falhas na área de estudo. Conforme Silva (2005), no Cenozóico ocorre um sistema de falhas normais N30W que interage com falhas transcorrentes destrais (N50-60E) e sinistrais (N-S) estruturando o regime tectônico transcorrente dextral E-W inerente a intraplaca Sul-Americana.

## Metodologia

### Análise geológica/estrutural

A análise inicial do estudo envolveu o uso de imagem Landsat 7 ETM+, (231/62) utilizada essencialmente para a caracterização morfoestrutural da estrutura circular. Esse produto juntamente com as cartas topográficas da região, procedeu-se a análise geomorfológica, a qual resultou na abordagem acerca do sistema de drenagem e da morfologia do relevo. Essa análise foi subsidiada pelos MDE (Modelo Digital de Elevação) SRTM, da NASA. Em campo, foi realizado o reconhecimento da feição e suas características geomorfológicas e mapeado

os processos geológico-estruturais existentes, principalmente falhas, em uma conotação morfotectônica.

### Análise Gravimétrica

O levantamento gravimétrico terrestre foi realizado com o gravímetro tipo LaCoste & Romberg modelo G, a partir do qual foram estabelecidas 115 estações. Estas foram distribuídas em uma malha irregular de 200 x 200 metros, posicionadas na área urbana de Manaus (AM). A estação base de referência utilizada para redução dos valores gravimétricos localiza-se na Igreja da Matriz, no centro da cidade, esta faz parte da Rede Gravimétrica Fundamental Brasileira (Manaus C). As reduções dos dados (correção de latitude, maré, deriva, anomalia bouguer e ar-livre) foram realizadas por meio do programa REGRAV que utiliza o elipsóide de referencia de 1967 (conforme Sá 1994). Os dados altimétricos das estações foram obtidos fazendo uso de técnicas DGPS (*Diferencial Global Positioning System*), com um par de receptores-GPS geodésico estático TechGeo. As correções altimétricas do posicionamento horizontal e vertical da estação base foram realizadas tendo-se como referência a estação de monitoramento contínuo do Sistema de Proteção da Amazônia – SIPAM, situada no próprio prédio do órgão em Manaus.

Esses dados gravimétricos obtidos foram processados por meio de rotinas executáveis do software OASIS MONTAJ 7.2 da Geosoft Inc. para elaboração dos grids e mapas de anomalia bouguer. Em função da média da crosta ( $\rho = 2,67 \text{ g.cm}^{-3}$ ), não se mostrar como uma densidade ideal para a área de estudo, levando-se em consideração a situação da área na Bacia do Amazonas, optou-se pelo uso de valores de densidade média de  $2,4 \text{ g.cm}^{-3}$ .

Como método de interpolação dos dados foi utilizado a mínima curvatura, com espaçamento de célula de 50 metros (1/4 do espaçamento das estações).

Por fim, os dados obtidos a partir da análise geomorfológica, geofísica e mapeamento das feições estruturais foram integrados por meio de Sistema de Informação Geográfica (SIG) Datum South American de 1969 (SAD 69), onde foi possível relacionar a anomalia circular no contexto geológico da Bacia do Amazonas e propor um possível modelo para justificar a origem da mesma na paisagem da cidade de Manaus.

## Resultados e Conclusões

### Análise morfotectônica

A anomalia circular observada na área de estudo se caracteriza por uma feição morfoestrutural positiva no relevo, possuindo uma geometria plana com as cotas mais elevadas na cidade de Manaus, entorno de 100 metros. A diferença topográfica entre o topo da colina com forma tabular ao vale em “V” aberto é marcante, atingindo valores da ordem de 30 a 40 metros nas adjacências desta estrutura. Tal área consiste na região com maior declividade no terreno, onde frequentemente há manifestações de movimento de massa e voçorrocamento. Essa região compreende uma importante zona de cabeceira de drenagem dos

tributários da Bacia Hidrográfica do São Raimundo, Mindú e Tarumã-Açu, funcionando como um sistema sensivelmente radial. No entanto, o padrão de drenagem mais significativo compreende o anelar, que permite a delimitação dessa estrutura, conforme mostrado por Silva (2005). De acordo com o citado autor, significativos lineamentos neotectônicos que cortam essa feição, tal como o *trend* E-W, demonstra que essa estrutura é anterior ao sistema neotectônico vigente. (Figura 6)

A análise estrutural baseada em dois afloramentos mapeados na área da anomalia morfoestrutural. Mostra falhas normais com nas direções N34W/82SE, N56E/79NW, N45E/50NW e N80W/66SW. Essas direções são concordantes com o quadro de falhas mapeados na cidade de Manaus. As direções NE-SW, mais antiga dentro desse quadro tectônico do Cenozóico, foram suplantadas por falhas NW-SE, coincidente com a direção do rio Negro, e as falhas N-S e E-W, cujo conjunto está associado ao sistema tectônico transcorrente dextral E-W de Hasui (1990). Esta circunstância mostra que a anomalia não foi gerada por um evento tectônico do Cenozóico, sendo esta mais antiga, possivelmente resultante de elemento no substrato com reflexo no relevo por acomodação e compactação diferencial semelhante os diversos estudos realizados nas bacias do Solimões e Amazonas por Cunha, 1982, 1988, 1991; Miranda 1984; Miranda *et al.*, 1994 e Cunha & Appi 1990.

#### Análise gravimétrica

Os dados observados no mapa de anomalia Bouguer obtidos neste estudo, forneceram subsídios para uma interpretação acerca do arcabouço geológico e estrutural dessa feição em particular.

Os valores de Anomalia Bouguer variam de -28,8 a -27,5 mGal, predominando valores mais elevados na porção norte e sul e, na área central, valores menores relativos a materiais com baixa densidade (Figura 7). Na porção sul da anomalia, os valores de anomalia Bouguer são da ordem de -27,8 mGal, os quais foram associados à corpos de diabásio em subsuperfície. Essa interpretação foi suportada por amostras de calha obtidas em poços de perfuração para água subterrânea, onde a 190 m foi encontrado esse material litológico. Adicionalmente, segundo Wanderlei Filho *et al.* (2006), essa área tem ocorrência em subsuperfície de diabásio, como pode ser observado no mapa de isólitias dessa rocha na Bacia do Amazonas. Nos setores norte e oeste também apresentam valores gravimétricos elevados e que podem ser correlacionados com diabásio, mas com certa ressalva, pois não há indícios diretos da presença desse tipo de rocha. Essa informação quando correlacionada com os dados de perfilagens geofísicas e sondagens elétricas verticais dos poços para água subterrânea em Manaus, realizados por Souza & Verma (2006), mostra ser precedente para anomalias gravimétricas de alta densidade. No entanto, a área da anomalia circular mostrou baixos valores compatíveis com baixa densidade de rochas, provavelmente rochas sedimentares. Os dados gravimétricos mostram que a anomalia circular não corresponde a uma feição derivada de corpos intrusivos, pois a área central da estrutura

apresentou valores incompatíveis com rochas intrusivas. Mais ainda, a correlação com diápiros de sal também não é possível, pois segundo os dados da Petrobrás, nessa região, não ocorre a isólitia de sal, conforme Wanderlei Filho *et al.* (2006). Miranda *et al.* (1994), em estudo das anomalias morfoestruturais nas bacias do Solimões e Amazonas mostram que o processo de compactação diferencial pode explicar o surgimento de feições como esta. Uma proposição interessante e que ainda deve ser confirmada com mais dados, compreende o modelo proposto por Jamteveit *et al.* (2004) para as anomalias observadas em seção sísmicas em uma bacia sedimentar na África do Sul, conforme a Figura 8. A justificativa para a formação de anomalias na superfície topográfica seria resultante de estruturas verticais formadas na extremidade das soleiras. A dissolução e reação do corpo ígneo com os sedimentos da bacia resultaria na formação de uma estrutura (crosta) na superfície do terreno. No entanto, quando ocorreu o magmatismo da Bacia do Amazonas, a unidade do Cretáceo, Fm. Alter do Chão, ainda não havia sido depositada. Isso pode levar a consideração de que a anomalia circular observada no relevo de Manaus deve ter sido exposta e, posteriormente, soterrada pelos sedimentos mais novos. Sugere-se o desenvolvimento de estudos geofísicos de detalhe (p.ex. sísmica raso) com o intuito de confirmar e avançar na caracterização morfoestrutural dessa estrutura. Uma vez que tal feição é importante para os estudos ligados à indústria petrolífera e considerando a ocorrência dessa estrutura na área urbana da cidade de Manaus, tal investigação pode resultar num modelo para as inúmeras feições morfoestruturais (circulares) presentes nas bacias do Solimões e Amazonas.

#### Agradecimentos

A CPRM – SGB pelo apoio ao desenvolvimento deste estudo

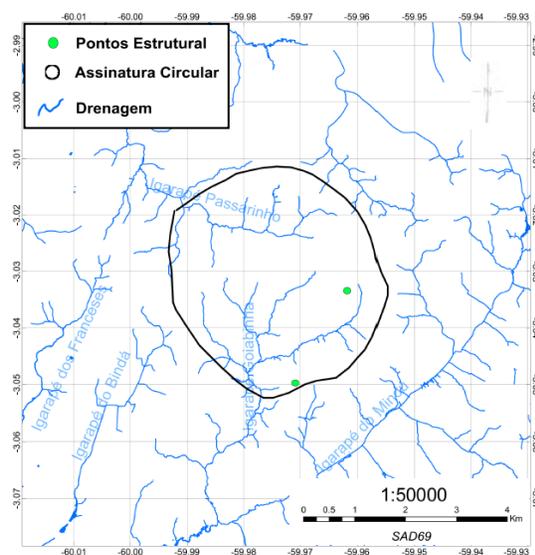


Figura 6 - Mapa de drenagem, mostrando que a anomalia circular interfere em drenagens de primeira e segunda ordem

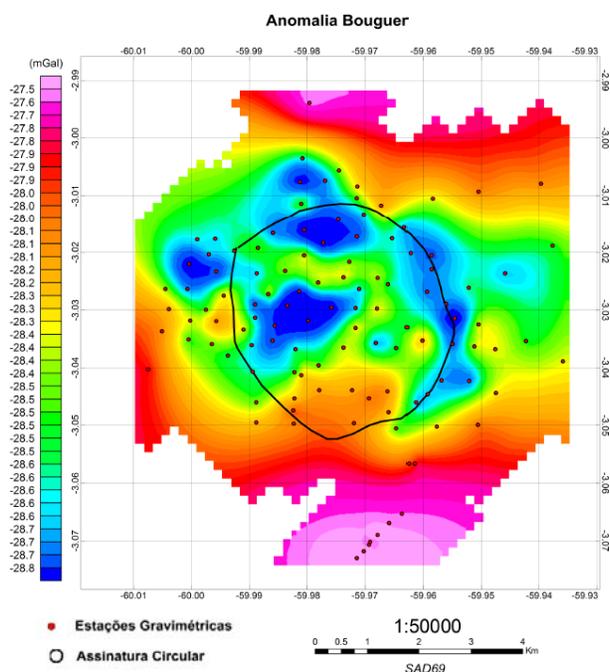


Figura 7 - Mapa de anomalia Bouguer, distribuição das estações gravimétricas e assinatura da anomalia.

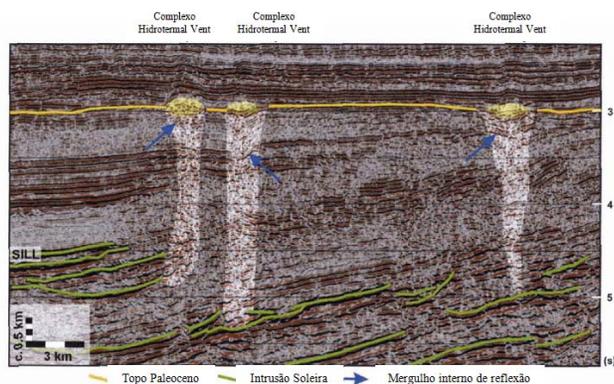


Figura 8 - Exemplos de Complexo Hidrotérmico tipo vent em seção sísmica (Jamtveit *et al.* 2004).

## Referências

ALMEIDA, F.F.M., HASUY, Y., BRITO NEVES, B.B., FUCK, R.A. **Províncias estruturais brasileiras.** In Simpósio de Geologia do Nordeste, 8, 1977, Campina Grande. Atas...Campina Grande: SBG/NE, 1977, v.1, p. 363-391.

ALMEIDA FILHO, R., DELANO, M. I & MIRANDA, F.P. **Interpretação Morfoestrutural com dados SRTM no auxílio à exploração petrolífera: um exemplo na bacia sedimentar do Amazonas.** In: Revista Brasileira de Geofísica, Vol. 28, nº 1, 89-98, 2010.

COSTA, A. R. A., WANDERLEY FILHO, J. R., **Os evaporitos e halocinese na Amazônia.** In Sal: Geologia e Tectônica, 2008, Cap. VIII, p.208-219.

CUNHA, F.M.B., APPI, V.T. **Controle Geológico na definição de grandes domínios ambientais na planície Amazônica.** Boletim de Geociências da Petrobras, 30-45, 1990.

CUNHA, F.M.B. **Aspectos morfoestruturais do baixo Amazonas.** In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 1, 1982, Belém. Anais... Belém: SBG/NO, 1982, v. 1, p. 75-83.

CUNHA, F.M.B. **Controle tectônico – estrutural na hidrografia na região do Alto Amazonas.** In: Congresso Brasileiro de Geologia, 35, 1988, Belém. Anais... Belém: SBG, 1988, v. 5, p. 2267-2276.

CUNHA, F.M.B. **Morfologia e neotectonismo do Rio Amazonas.** In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 3, SBG/No, Belém. Anais... Belém: SBG/NO, 1991, p. 193-210.

CUNHA, P.R.C., GONZAGA, F.G., COUTINHO, L.F.C., FEIJÓ, F.J. **Bacia do Amazonas.** Boletim de Geociências da Petrobras, v. 8, nº. 1, p. 47-55, 1994.

DELLANO, M.I. **Integração de dados de Sensoriamento Remoto (SRTM E RADARSAT-1), Geologia, Gravimetria e Magnetometria Para Estudo Morfoestrutural da Área do Rio Uatumã, Bacia do Amazonas.** São José dos Campos, 2007, 164p. Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

FERNANDES FILHO, L. A. **Geologia, mineralogia, geoquímica dos lateritos de Manaus - Amazonas.** Belém, 1996. 96p. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) - Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará.

HASUI, Y. **Neotectônica e aspectos da tectônica ressurgente no Brasil.** In: Work-Shop sobre Neotectônica e Sedimentação Cenozóica no Sudeste do Brasil, 1, Belo Horizonte, 1990. Anais... Belo Horizonte, SBG/SE, p. 1-31.

IGREJA, H. L. S., FRANZINELLI, E. **Estudos neotectônicos na região do baixo rio Negro – centro-nordeste do Estado do Amazonas.** In: Congresso Brasileiro de Geologia, 36, 1990, Manaus. Anais... Manaus: SBG/NO, 1990, v. 5, p. 2099-2108.

JAMTVEIT, B., SVENSEN, H., PODLADCHIKOV, Y. Y. & PLANKE, S. **Hydrothermal vent complexes associated with sill intrusion in sedimentary basins.** From: BREITKREUZ, C. & PETFORD, N. (eds) 2004. *Physical Geology of High-Level Magmatic Systems.* Geological Society, London, Special Publications, 234,233-241.

MILANI, E.J., ZALÁN, P.V. **An outline of the geology and petroleum systems of paleozoic interior basins of south America** Episodes, v.22, nº 3, p. 199-205, 1999.

MIRANDA, F. P. **Significado geológico das anomalias morfoestruturais da Bacia do Alto Amazonas.** In: Simpósio Amazônico, 2, 1984, Manaus. Anais... Manaus:SBG/NO, DNPM, 1984, v. 1, p. 103-16.

MIRANDA, F. P., BENTZ, C. M., FONSECA, L. E. N., LIMA, C. C., COSTA, A. R., NUNES, K. C., FELGUEIRAS, C. A., ALMEIDA FILHO, R. **Integração de dados se sensoriamento remoto, aeromagnetometria e topografia na definição do arcabouço estrutural da região do rio Uatumã (Bacia do Amazonas)**. PETROBRÁS/ CENPES, 1994, Superintendência de Exploração e Produção (SUPEP), Divisão de Exploração (DIVEX)/ Setor de Tectônica (SETEC).

NEVES, C. A. O. **Prospectos potenciais e áreas prioritárias para exploração na Bacia do Amazonas**. Boletim de Geociências da Petrobrás, v. 4, n<sup>o</sup>. 1, p. 95-103, 1990.

SÁ, N. C., **Redução de Observações Gravimétricas teoria e prática (apostila)**. 1994. Universidade de São Paulo, Departamento de Geofísica – IAG. 84p.

SILVA, C. L. **Análise da tectônica cenozóica na região de Manaus e adjacências**. Rio Claro, 2005, 282p. Tese (Tese de Doutorado em Geologia Regional) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas.

SIMAS, J. L. **Análise Morfoestrutural da Cidade de Manaus (AM)**. Manaus, 2009, 93p. Dissertação (Dissertação de Mestrado em Geologia Regional) – Universidade Federal do Amazonas, Instituto de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Geociências.

SOUZA, L.S.B &, VERMA, O.P. **Mapeamento de aquíferos na cidade de Manaus / AM (zonas norte e leste) através de perfilagem geofísica de poço e sondagem elétrica vertical**. In: Revista de Geologia, Vol. 19, n<sup>o</sup> 1, 111-127, 2006.

WANDERLEY FILHO, J. R., TRAVASSOS, W. A. S., ALVES, D. B.. **O diabásio nas bacias paleozóicas amazônicas – herói ou vilão?**. In: Boletim de Geociências da PETROBRAS, Rio de Janeiro, v. 14, n<sup>o</sup>.1, p. 177- 184, 2006.