

Uso de dados SRTM no auxílio à pesquisa de hidrocarbonetos na Bacia Sedimentar do Amazonas.

Delano Menecucci Ibanez^{1,2}
Raimundo Almeida-Filho¹
Fernando Pellon de Miranda³

¹ Threetek Soluções em Geomática
Rua México, 41 - 17º andar – Centro – Rio de Janeiro-RJ, Brasil
(delano@threetek.com.br)

² INPE, Caixa postal 515, São José dos Campos-SP, Brasil
(rai@ltd.inpe.br)

³ Petrobras-CENPES, Ilha do Fundão, Q-7, Rio de Janeiro-RJ, Brasil
(fmiranda@petrobras.com.br)

Abstract. This article discusses results of a morphostructural analysis in the region of the Uatumã River, Amazonas Sedimentary Basin. The area has a flat topography covered by tropical rain forest. Drainage analysis automatically extracted from a SRTM digital elevation model allowed the identification of subtle structural features that may represent potential hydrocarbon traps. Results show that the combination of this new space borne topographic dataset with previous geological and geophysical information may contribute to reduce exploration risks in exploration frontier areas.

Palavras-chaves: SRTM data, morphostructural analysis; Amazonas Basin; hydrocarbon exploration; Dados SRTM; análises morfoestrutural; Bacia do Amazonas.

1. Introdução

A geração de modelos de elevação digital do terreno com base em interferometria com radar de abertura sintética (InSAR) pela Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) (Rabus et al. 2003) em 2000 abriu novas oportunidades para geocientistas. Esse tipo de produto pode ser particularmente valioso para estudos na Amazônia. Como se sabe, em imagens convencionais de sensoriamento remoto daquela região, a densa cobertura vegetal mascara feições sutis do relevo, limitando a interpretação geológica.

Em áreas de densa cobertura vegetal e espesso manto de intemperismo como a Amazônia, interpretações estruturais com base em imagens de sensoriamento remoto são feitas a partir de evidências geomórficas, expressas nos componentes da paisagem, especialmente através da rede de drenagem. Tais estruturas podem ser de duas naturezas: feições lineares, indicativas de falhas e fraturas, e feições circulares, associadas a estruturas dômicas ou a depressões estruturais. Feições lineares apontadas em produtos de sensoriamento remoto podem indicar falhas geológicas que tenham exercido papel importante no desenvolvimento dos sistemas petrolíferos de uma bacia. Por outro lado, feições estruturais dômicas sugestivas de flexuras do pacote sedimentar podem constituir potenciais trapas petrolíferos.

Arranjos na rede de drenagem podem levar ao reconhecimento de feições morfológicas sutis indicativas de padrões estruturais propícios à migração e/ou acumulação de hidrocarbonetos. Ao apontar feições estruturais indicativas de possíveis trapas, essas técnicas podem direcionar os levantamentos geofísicos e, desse modo, reduzir os riscos inerentes à exploração petrolífera em áreas de fronteira exploratória como as bacias sedimentares paleozóicas da Amazônia.

De um modo geral, duas linhas de abordagens se destacam no estudo de anomalias morfoestruturais de drenagem. A primeira, discutida por Soares e Fiore (1976) e Soares et al. (1982), tem sido empregada no Brasil por Miranda (1983) e Miranda e Boa Nova (1986). Essa abordagem propõe dois parâmetros semiquantitativos para definir o grau de estruturação de uma anomalia morfoestrutural: Fator de Confiabilidade (F_1) e Fator de Similaridade (F_2). O primeiro (F_1) fornece uma idéia do grau de segurança com que o sentido do mergulho e o traço do acamamento são inferidos por meio da configuração da drenagem; o segundo (F_2) estima quão determinada anomalia morfoestrutural assemelha-se a um modelo ideal.

A segunda abordagem, seguida por Aghassy & Berger (1981) e Berger (1994) combina a análise da drenagem com vista à reconstrução topográfica de estruturas dobradas, considerando três estágios de evolução erosiva dessas estruturas. No primeiro estágio (relevo positivo), a estrutura dômica exibe topografia central realçada, delimitada em sua base por drenagens subseqüentes. Nesse estágio evolutivo, drenagens conseqüentes radiais são os elementos dominantes dentro das estruturas. No segundo estágio (erosão inicial), o incremento da atividade erosiva resulta em inversão topográfica, com o desenvolvimento de uma calha erosiva central. O aparecimento de escarpas erosivas internas propicia o desenvolvimento de drenagens obseqüentes. No terceiro estágio (erosão avançada), ocorre expansão das drenagens obseqüentes, que acabam capturando a maior parte das drenagens conseqüentes. Na parte central, o avanço da erosão amplia a depressão central.

Esses métodos de análise de rede de drenagem foram aplicados em uma área da bacia sedimentar do Amazonas, definida entre as coordenadas de $58^\circ - 60^\circ$ W e $2^\circ - 3^\circ$ S, cujo canto inferior localiza-se próximo à cidade de Manaus (**Figura 1**). Nessa área a bacia sedimentar do Amazonas é representada por um pacote de sedimentos com idades variando do Ordoviciano ao Cretáceo, capeados por depósitos aluviais quaternários (Gonzaga et al., 2000). Feições estruturais extraídas a partir desses dados, combinadas com informações gravimétricas e aeromagnetométricas foram analisadas com vista a identificar potenciais estruturas formadoras de trapas petrolíferos na região.



Figura 1. Localização da área de estudo na Bacia Sedimentar do Amazonas, a leste da cidade de Manaus.

2. Análise dos Dados

O grau de detalhamento da rede de drenagem obtido do modelo de elevação digital do terreno gerada pela SRTM é exemplificada em um trecho da área de estudo na **Figura 2**.

Na análise dos padrões regionais procurou-se identificar aqueles padrões que pudessem ser classificados como localmente anômalos. Nesses casos eles poderiam ser indicativos de possíveis falhas e fraturas (padrões paralelo e subparalelo) ou de flexuras de camadas (padrões radial e anelar). Alguns arranjos locais foram interpretados como relacionadas à movimentação de blocos de falhas.

No caso dos padrões paralelo ou subparalelo, afluentes que correm segundo a direção de mergulho das camadas (drenagens consequentes) são, em geral, mais desenvolvidos, enquanto no flanco opostos eles são menos desenvolvidos (drenagens obsequentes) (**Figura 3**). Essa relação indicativa de forte assimetria é comum ocorrer em bacias com acentuados processos tectônicos (Hare e Gardner, 1985; Cox, 1994; Salamuni et al., 2004). Já os padrões anômalos, radial e anelar, são considerados de particular interesse para a pesquisa de hidrocarbonetos, visto que podem estar associados a flexuras de camadas sedimentares, constituindo potenciais trapas petrolíferos.

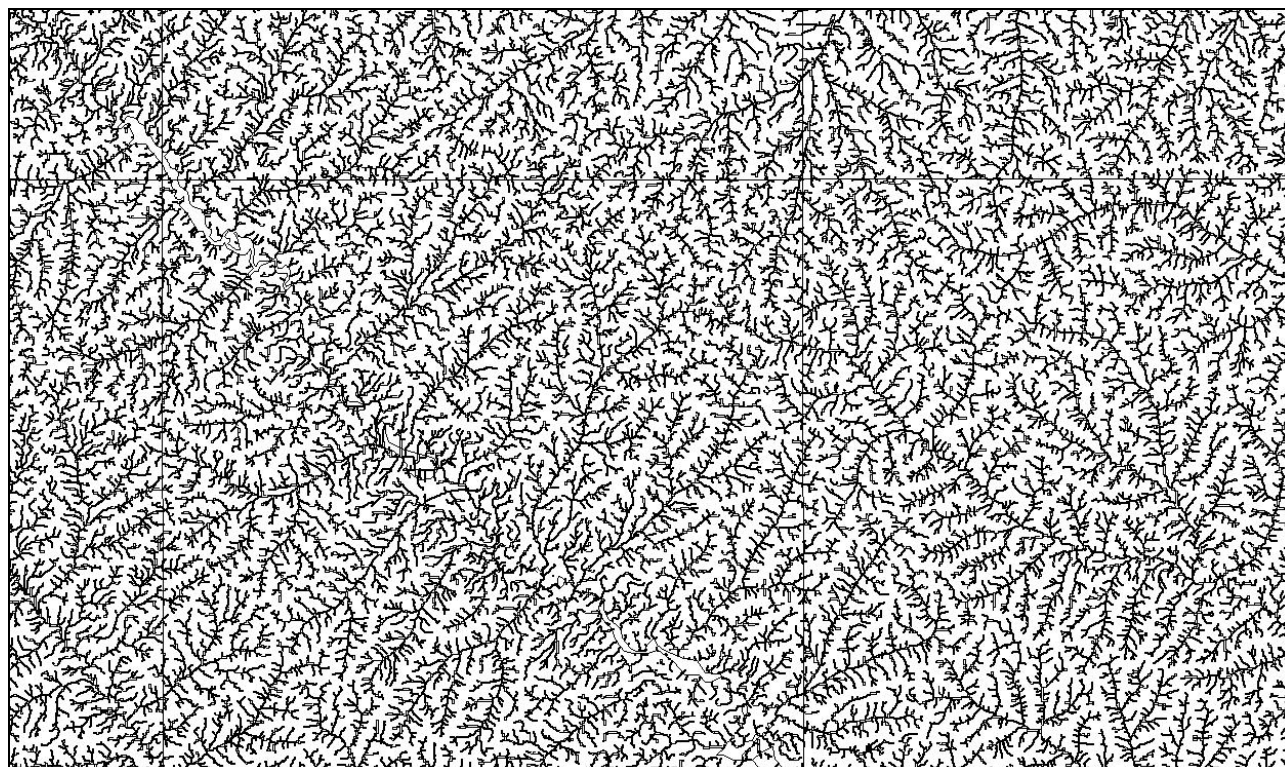


Figura 2. Exemplo de detalhamento da rede de drenagem extraída automaticamente do modelo de elevação digital do terreno gerado pelos dados SRTM na área de estudo.

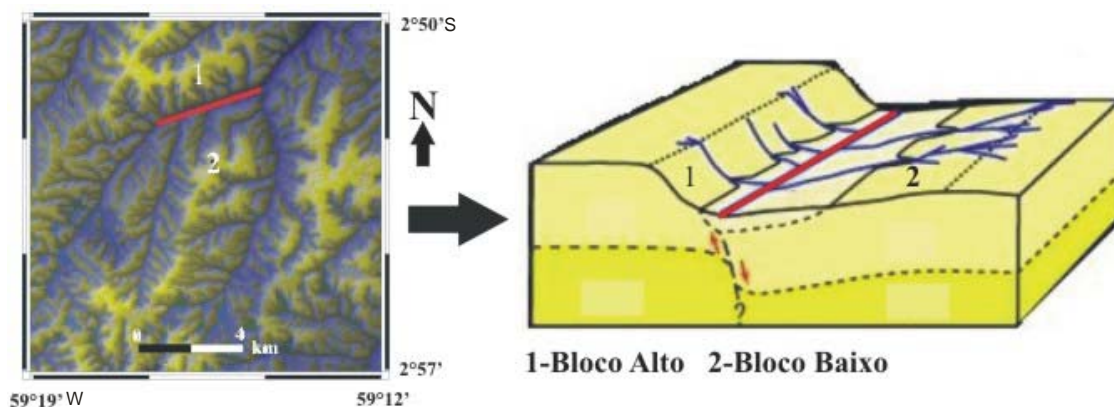


Figura 3. Assimetria de drenagem em imagem SRTM.

A análise do modelo de elevação digital do terreno permitiu a identificação de 32 anomalias morfoestruturais, indicadas na **Figura 4**. Segundo os modelos de Soares et al. (1982) e Miranda (1983), as anomalias morfoestruturais 5, 11 e 25 foram interpretadas como associadas a blocos basculados (**Figura 5**); a anomalia 16 foi interpretada como associada a domo falhado (**Figura 6**); e as demais anomalias como associadas a estruturas dômicas. Do total de anomalias identificadas, 12 foram relacionadas a estágios de erosão de relevo positivo, 15 a estágios iniciais de erosão e 5 a estágios avançados de erosão.

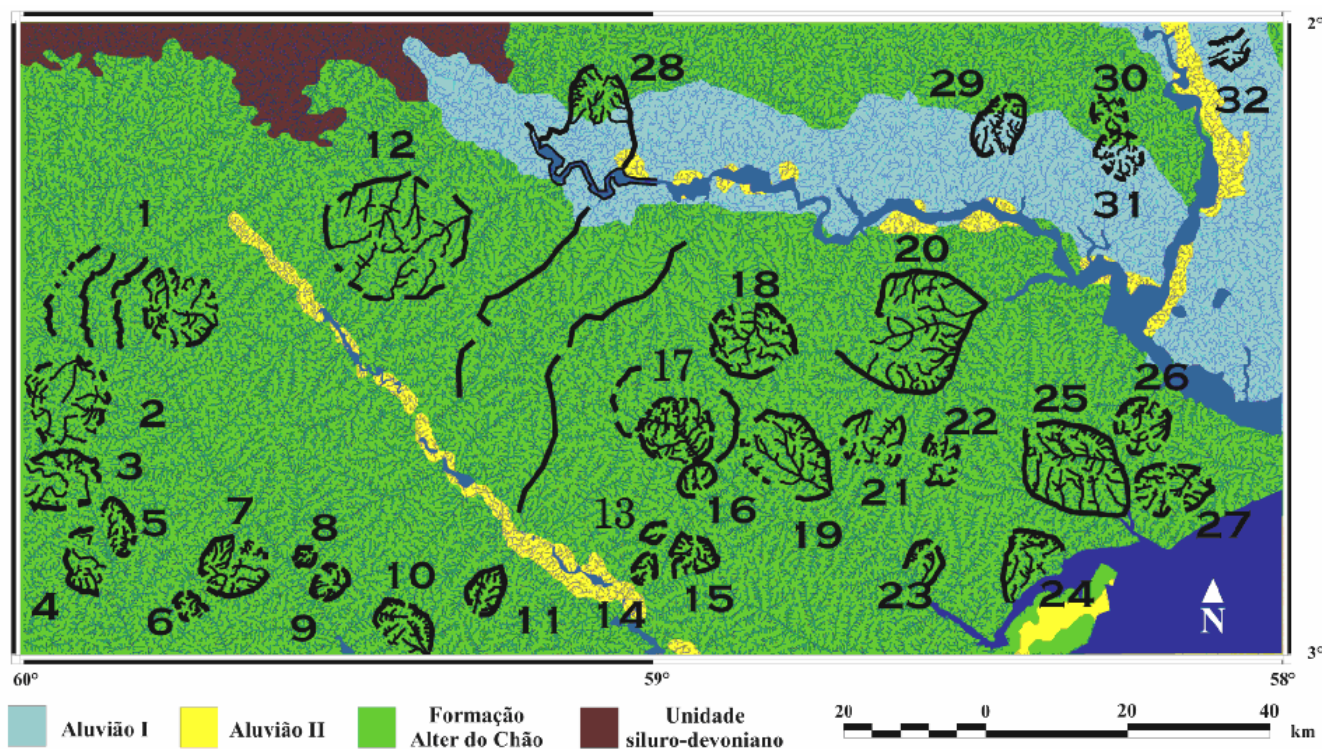


Figura 7. Mapa geológico de superfície com sobreposição da rede de drenagem e destaque das anomalias identificadas no modelo de elevação digital SRTM.

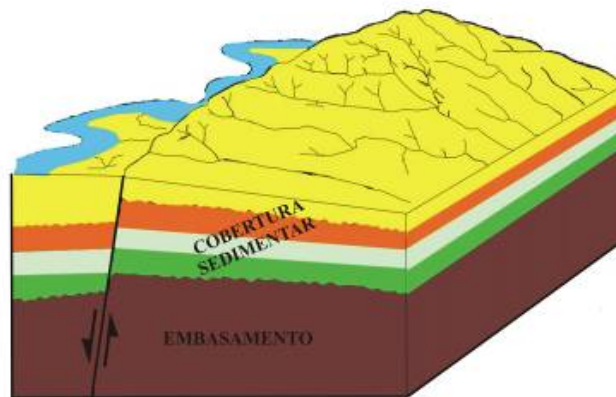


Figura 5. Modelo de anomalia morfoestrutural (estrutura dômica) em bloco basculado, forma radial ausente. FONTE: Adaptada de Miranda (1984).

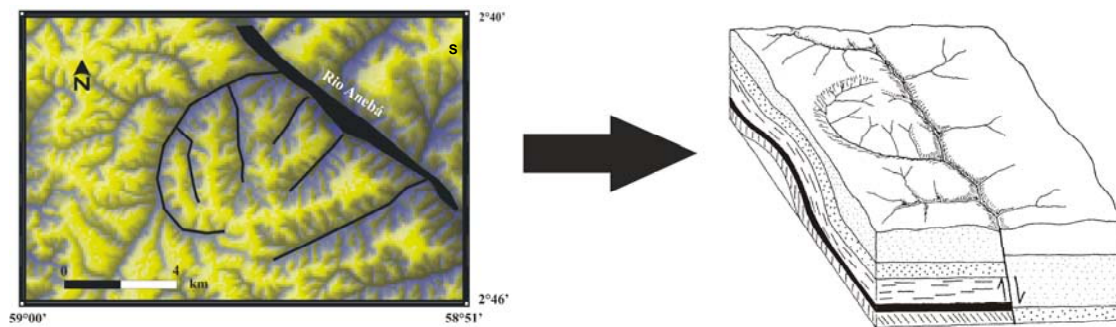


Figura 6. Anomalia morfoestrutural correspondendo ao modelo de domo falhado de Miranda (1983).

É importante mencionar que segundo Berger (1994), anomalias morfoestruturais em estágio avançado de erosão caracterizam-se por inversão topográfica, com aparecimento de uma calha central e formação de assimetria convergente (**Figura 7a**). Essa configuração requer análise cuidadosa, uma vez que a feição pode ser interpretada como uma depressão estrutural segundo o modelo de Soares et al. (1982). Contudo, os dados topográficos do modelo de elevação digital do SRTM permitem dirimir essas dúvidas. Nesse estágio erosivo das estruturas, restam apenas alguns resquícios da topografia original, identificadas a partir das cores rosa e vermelha no centro da estrutura na **Figura 7b**. Com base nessas considerações, feições nesse estágio de erosão podem ser diagnosticadas como representativas de estruturas dômicas.

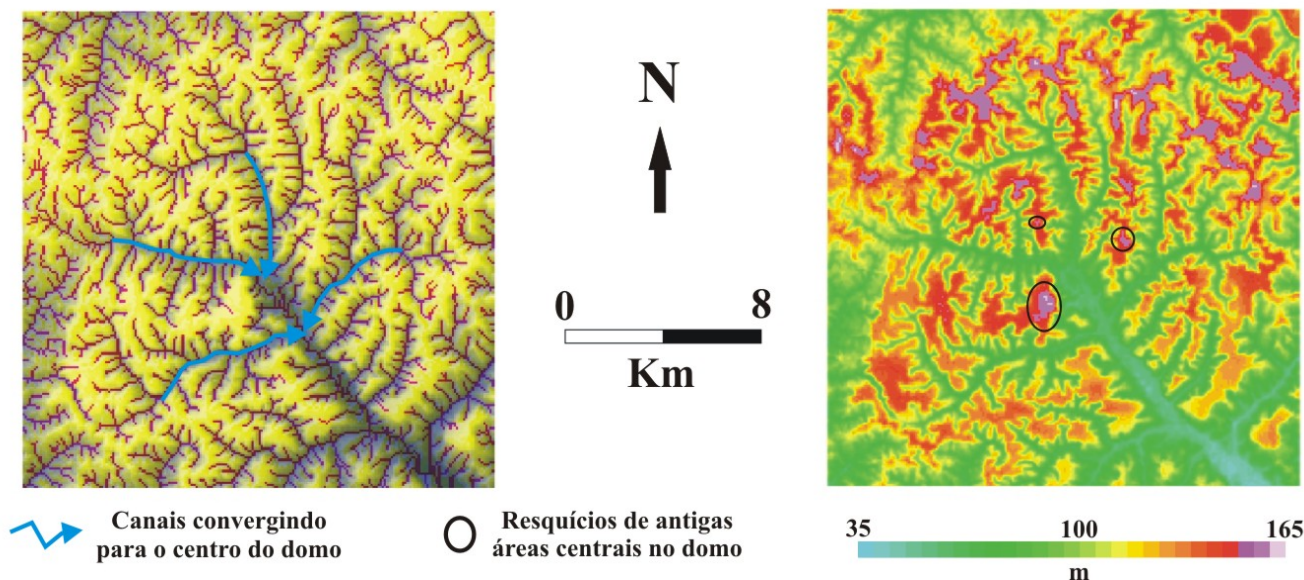


Figura 7. Anomalia Morfoestrutural 17 em estágio de erosão avançado: a) Imagem SRTM com sobreposição de canais convergindo para o centro do domo; b) Dados topográficos com a indicação de áreas mais elevadas que na borda da anomalia morfoestrutural.

As 32 anomalias morfoestruturais foram hierarquizadas com base no Fator de Similaridade (F_2), o qual é correlacionado com a probabilidade de que uma anomalia positiva seja condicionada por uma estrutura dômica em subsuperfície (Soares et al., 1982; Miranda, 1983). Em caso de igualdade dos valores de F_2 , adotou-se como desempate o Fator de Confiabilidade (F_1). Se ainda persistisse a igualdade, a prioridade foi estabelecida tendo em vista o menor estágio de erosão. Caso a igualdade ainda persistisse, a prioridade estabelecia o maior valor de F_1 para a forma anelar, que quantifica a segurança com que se interpreta essa forma indicadora do traço de acamamento (Miranda, 1983). De acordo com esses critérios, as anomalias morfoestruturais 25, 20 e 27 ocupam, respectivamente, os três primeiros postos na hierarquização.

3. Integração de Sensoriamento Remoto com Dados Geológicos e Geofísicos

A partir das relações observadas entre dados de topografia, aeromagnetometria, gravimetria, estruturais e de sensores remotos, verificou-se que várias anomalias morfoestruturais tendem a se alinhar segundo direções bem delineadas, configurando *trends* no arcabouço estrutural da bacia. Como exemplo pode ser citada a direção NE, definida pela disposição alinhada das anomalias 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 e 22, e das anomalias 23, 24, 25, 26 e 27 (**Figura 6**). Estes *trends* morfoestruturais ocorrem no interflúvio Anebá-Uatumã, na zona de charneira paleozóica, demonstrando forte relação com falhas normais mapeadas por sísmica de refração por Neves (1990). É importante mencionar ainda que também foram reconhecidos *trends* morfoestruturais de direção NW, como aquele que alinham as anomalias morfoestruturais 20, 25, 26, 27 e 28 e as anomalias 1, 13, 14 e 15, ambos associados a descontinuidades magnéticas do embasamento, reconhecidas por Miranda et al. (1994).

Com relação ao caráter prospectivo das feições morfoestruturais indicadas nos dados SRTM, merecem destaque estruturas identificadas na região de Silves, no sudeste da área de estudo. Naquela região, onde os dados gravimétricos indicam maior profundidade do embasamento (**Figura 8**), dois poços perfurados pela Petrobrás descobriram acumulações comerciais de gás.

Dados sísmicos naquela região indicam uma estrutura muito favorável mapeada no topo da Formação Itaituba, em bloco alto da charneira norte da bacia (Costa, 1993, citado por Miranda et al., 1994). Essas informações sísmicas tornam particularmente atrativas as anomalias

morfoestruturais identificadas naquela região, especialmente a de número 27, que ocupa o terceiro posto na hierarquização das anomalias morfoestruturais, posicionada sobre a estrutura mapeada por Costa (1993). Ademais, 14 outras anomalias morfoestruturais (13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25 e 26) também ocorrem nessa região, sendo que as anomalias 24 e 25 (está última ocupando o primeiro posto na hierarquização das anomalias morfoestruturais), se posicionam sobre falhas reversas mapeadas por Costa (1993), as quais podem estar associadas a anticlinais assimétricos conforme descrito por Neves (1990) naquela região.

Além do caráter prospectivo promissor dessas anomalias morfoestruturais, elas estão localizadas em região de baixa densidade de lineamentos, indicativos de possíveis falhas e fraturas. A baixa densidade de feições lineares aponta uma menor atuação dos eventos estruturadores pós-cretácicos, o que pode favorecer a preservação de hidrocarbonetos em trapas preexistentes.

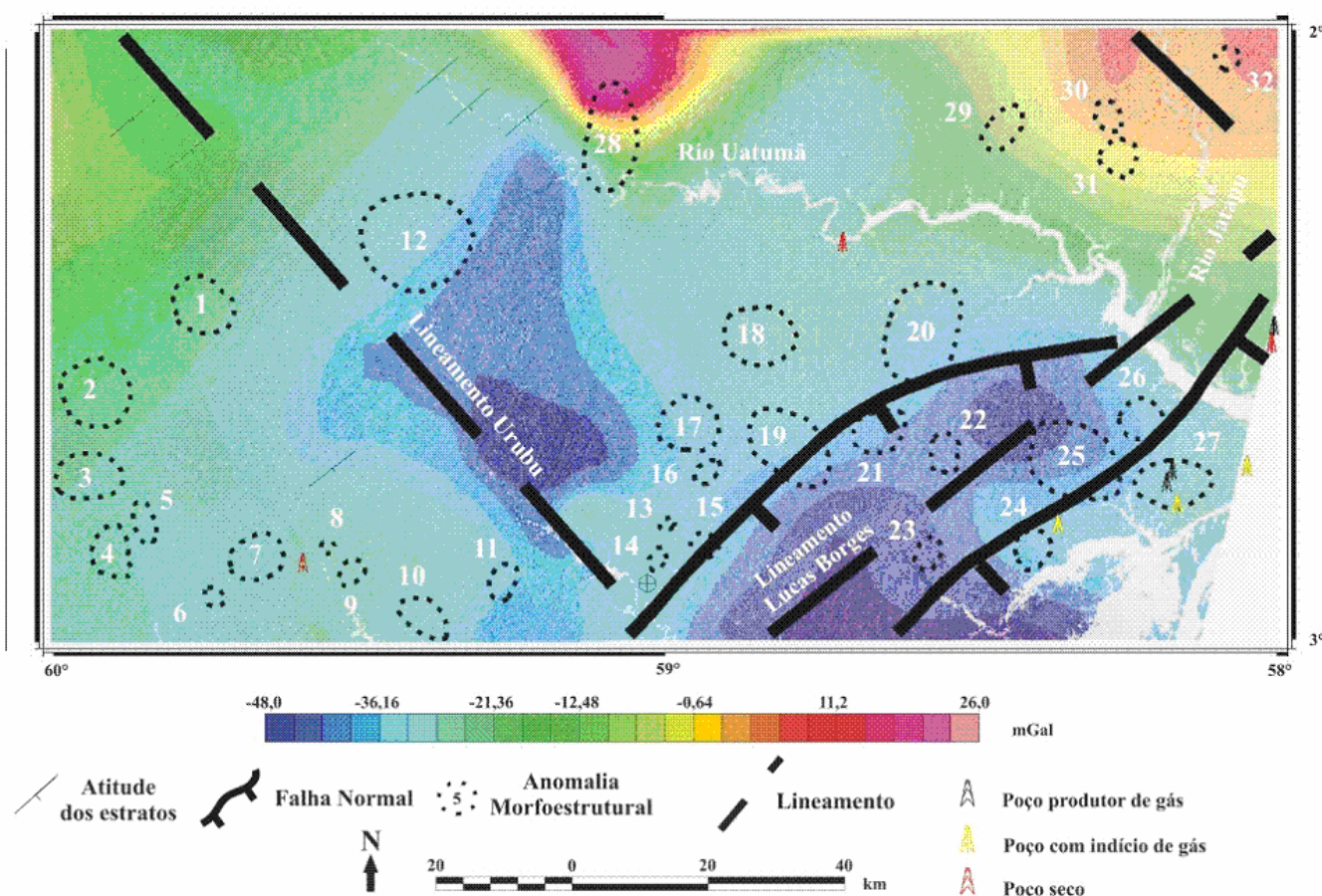


Figura 8. Mapa de anomalias Bouguer com sobreposição de dados estruturais (Miranda et al., 1994; Neves, 1990) e anomalias morfoestruturais extraídas do modelo de elevação SRTM.

4. Conclusões

Os resultados obtidos neste estudo mostram que a tecnologia de sensoriamento remoto pode contribuir decisivamente como ferramenta auxiliar de pesquisa petrolífera, apontando áreas de maior potencial. Em regiões de fronteira exploratória, onde são cada vez mais raras as descobertas de depósitos de óleo ou gás com base no concurso de uma única ferramenta exploratória, a análise sinérgica de dados adquiridos por meio de diferentes tecnologias pode reduzir os riscos das campanhas prospectivas.

5. Referências Bibliográficas

- Aghassy, J.; Berger, Z. Application of side-looking color infrared photography for structure detection in subtle topography. In: International Symposium on Remote Sensing of Environment, 15., 1981, Ann Arbor, MI. **Proceedings...** Ann Arbor, MI: ERIM, 1981. p. 491-498.
- Berger, Z. **Satellite Hydrocarbon Exploration: Interpretation and Integration Techniques**. Berlin: Springer-Verlag-Heidelberg, 1994. 319 p.
- Cox, R. T. Analysis of drainage-basin symmetry as a rapid technique to identify areas of possible Quaternary tilt-block tectonics: an example from the Mississippi Embayment. **Geological Society of America Bulletin**, v. 106, n. 5, p. 571-581, May 1994.
- Gonzaga, F. G.; Gonçalves, F. T. T.; Coutinho, L. F. C. Petroleum geology of the Amazonas Basin, Brazil: modeling of hydrocarbon generation and migration. In: Mello, M. R.; Katz, B. J. (eds.) **Petroleum Systems of South Atlantic Margins**. Tulsa, OK: American Association of Petroleum Geologists Memoir 73, 2000. cap. 13, p. 159-178.
- Hare, P. W.; Gardner, I. W. Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins. Nicoya Peninsula, Costa Rica. In: Morisawa, M.; Hack, J.T (eds.) **Tectonic Geomorphology: Proceedings 15th. Annual Binghamton Geomorphology Simp., 1985**. Boston: Unwin, 1989. p. 76-104.
- Miranda, F. P. Sensoriamento remoto na prospecção de hidrocarbonetos na Bacia do Amazonas. **Boletim Técnico Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 4, p. 268-291, Out./Dez. 1983.
- Miranda, F. P.; Boa Hora, P. P. Morphostructural analysis as an aid to hydrocarbon exploration in the Amazonas Basin, Brasil. **Journal of Petroleum Geology**, v. 9, n. 2, p. 163-178, Apr. 1986.
- Miranda, F. P.; Bentz, C. M.; Fonseca, L. E. N.; Lima, C. C.; Costa, A. R. A.; Nunes, K. C.; Felgueiras, C. A.; Almeida Filho, R. **Integração de dados de sensoriamento remoto, aeromagnetometria e topografia na definição do arcabouço estrutural da região do Rio Uatumã (Bacia do Amazonas)**. (Projeto 01.04.18) Rio de Janeiro, PETROBRAS CENPES/DIVEX/SETEC. 1994. 61 p.
- Neves, C. A. O. Prospectos potenciais e áreas prioritárias para exploração na Bacia do Amazonas. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 4, n. 1, p. 95-103, Jan./Mar.1990.
- Rabus, B.; Eineder, M.; Roth, A.; Bamler, R. The Shuttle Radar Topography Mission – a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 57, n. 4, p. 241-262, Feb. 2003.
- Salamuni, E.; Ebert, H. D; Hasui, Y. Morfotectônica da Bacia Sedimentar de Curitiba. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 34, n. 4, p. 469-478, Dez. 2004.
- Soares, P. C.; Fiori, A. P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. **Notícia Geomorfológica**, v. 16, n. 32, p. 71-104, Dez. 1976.
- Soares, P.C.; Luz, M. E. R.; Redaelli, R.; Guerra, S. M. S. Análise morfoestrutural em fotos aéreas: aplicação na prospecção de hidrocarbonetos na Bacia do Paraná. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2., 1982, Brasília,. **Anais...** Brasília, DF: CNPQ, 1982. v. 1, p.157-168.