

Evidência de uma mega captura fluvial no Rio Negro (Amazônia) revelada em modelo de elevação digital da SRTM

Raimundo Almeida Filho¹
Fernando P. de Miranda²
Carlos H. Beisl³

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
C.P. 515 – São José dos Campos-SP, Brasil
rai@ltid.inpe.br

²Petrobras-CENPES, Ilha do Fundão
Q-7 – Rio de Janeiro-RJ, Brasil

³Coppe/UFRJ
C.P. 68.552 – Rio de Janeiro-RJ, Brasil

Abstract. Few kilometers east of the city of Manaus, in the heart of Amazônia, the Rio Solimões and its main tributary, the Rio Negro, converge to form the Rio Amazonas, which is responsible for about 15% of all freshwater discharge in the oceans. Not far from the confluence, is the Anavilhanas Archipelago on the Rio Negro, the largest group of freshwater islands in the world. Refuge of extremely diversified fauna and flora, the region constitutes the Anavilhanas Ecological Station. Analysis of elevation data produced by the Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) shows signs of a paleo-route of the Lower Rio Negro. Flowing southward, its confluence with the Rio Solimões appeared to be located where today is the mouth of the Rio Manacapuru, about 70km west of Manaus. The analysis of these evidences, combined with previous geological and geophysical information, suggests that the present course of the Rio Negro in the region of the Anavilhanas Archipelago results from a mega fluvial capture, caused by an active neo-tectonic regime prevailing in the region.

Palavras-chave: SRTM, Captura Fluvial, Rio Negro, Neotectônia, Amazônia.

1. Introdução

A Poucos quilômetros a leste da cidade de Manaus, no coração da floresta amazônica, o Rio Solimões e seu principal tributário, o Rio Negro, se juntam para formar o Rio Amazonas, responsável por cerca de 15% de toda a água doce despejada nos oceanos. Próximo à confluência desses dois grandes rios fica o Arquipélago das Anavilhanas, o maior agrupamento de ilhas fluviais do mundo, constituindo um intrincado padrão composto por centenas de ilhas, lagos, canais, pântanos e bancos de areia parcialmente submersos, e mais evidentes durante os períodos de vazante e seca, de julho a outubro. Refúgio de diversificada fauna e flora, uma lei federal criou na região a Estação Ecológica das Anavilhanas.

Dados de elevação digital do terreno obtidos pela Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM), mostram sinais de um provável paleocurso do baixo Rio Negro. Pelo seu traçado é possível inferir que a confluência dos rios Negro e Solimões localizava-se onde hoje fica a desembocadura do Rio Manacapuru, a cerca de 70km a oeste da cidade de Manaus (Figura 1). A análise dessa evidência, à luz de informações geológicas e geofísicas disponíveis sobre a Amazônia Central, sugere que o traçado atual do Rio Negro na região das Anavilhanas resultaria de uma mega captura fluvial, por efeito de uma neotectônica ativa na região.

2. Os Dados SRTM

A SRTM utilizou um modelo especialmente modificado de um sistema de radar, colocado a bordo do *Space Shuttle Endeavour*, durante uma missão de onze dias, em fevereiro de 2000.

A missão coletou dados de elevação digital do terreno entre as latitudes 60° norte e 56° sul, usando frequências de radar em bandas C e X.

Padrões de interferometria causados pela combinação de dois conjuntos de sinais provenientes de uma mesma área foram convertidos em dados de elevação topográfica. A Figura 2 ilustra esquematicamente a configuração do sistema SRTM. O sinal refletido por determinado ponto da superfície do terreno chega em tempos diferentes em duas antenas, uma colocada na bainha de carga do ônibus espacial e outra na extremidade de um braço mecânico de 60m de comprimento. Conhecendo-se as diferenças nos tempos de retorno dos sinais nas duas antenas, acurados modelos de elevação digital puderam ser obtidos.

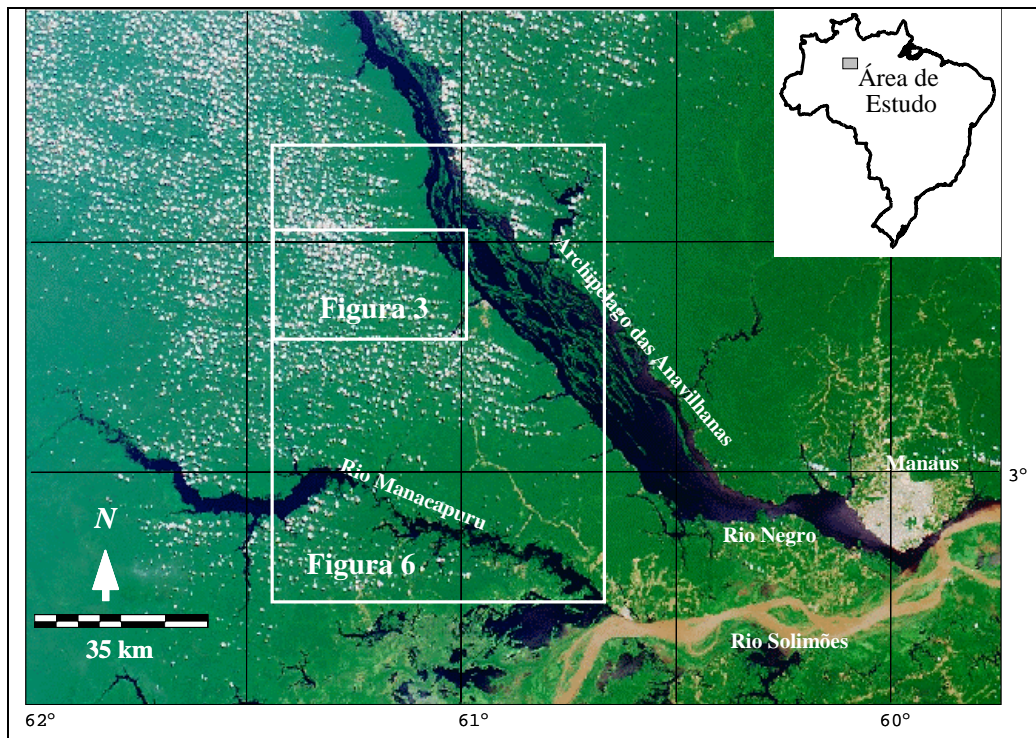


Figura 1. Localização da área de estudo de estudo através de uma composição colorida do Landsat-5 TM [5(R)+4(G)+3(B)].

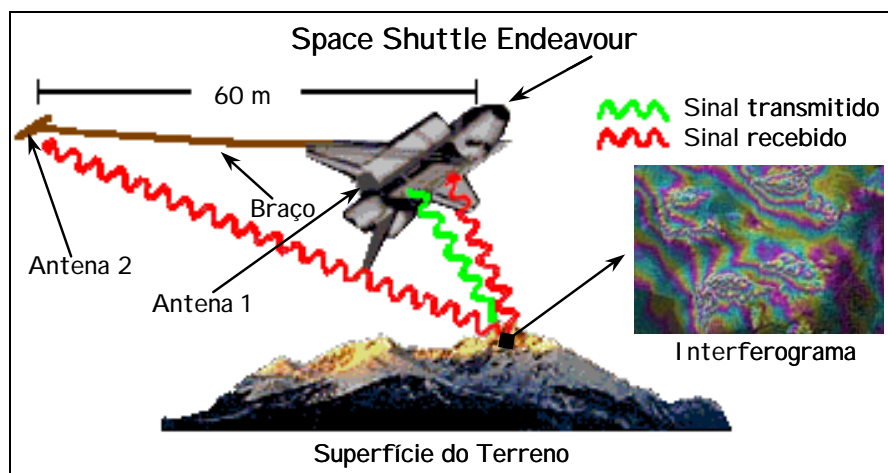


Figura 2. Configuração esquemática do sistema SRTM (fonte: Rabus et al., 2003).

3. Análise dos Dados

A Figura 3 é trecho de uma imagem do modelo de elevação digital do terreno, na região de estudo. Neste produto, tons mais claros e mais escuros indicam áreas de topografia relativamente mais elevadas ou rebaixadas, respectivamente. Indicados por setas é possível observar os traços de um sistema de drenagem relictos (tons de cinza intermediários), com fluxo geral para sul, com sentido oposto aos cursos dos rios Padauari e Carabinani, pertencentes à bacia do Rio Negro, que fluem para nordeste. Seguindo-se para sul o traçado desse possível paleovale (Figura 1), verifica-se que sua antiga embocadura no Rio Solimões ficaria onde hoje está a foz do Rio Manacapuru, cerca de 70km a oeste de Manaus.

No perfil transversal a essas feições, é possível constatar que elas formam vales com cotas topográficas rebaixadas em cerca de 20m em relação aos interflúvios (Figura 3).

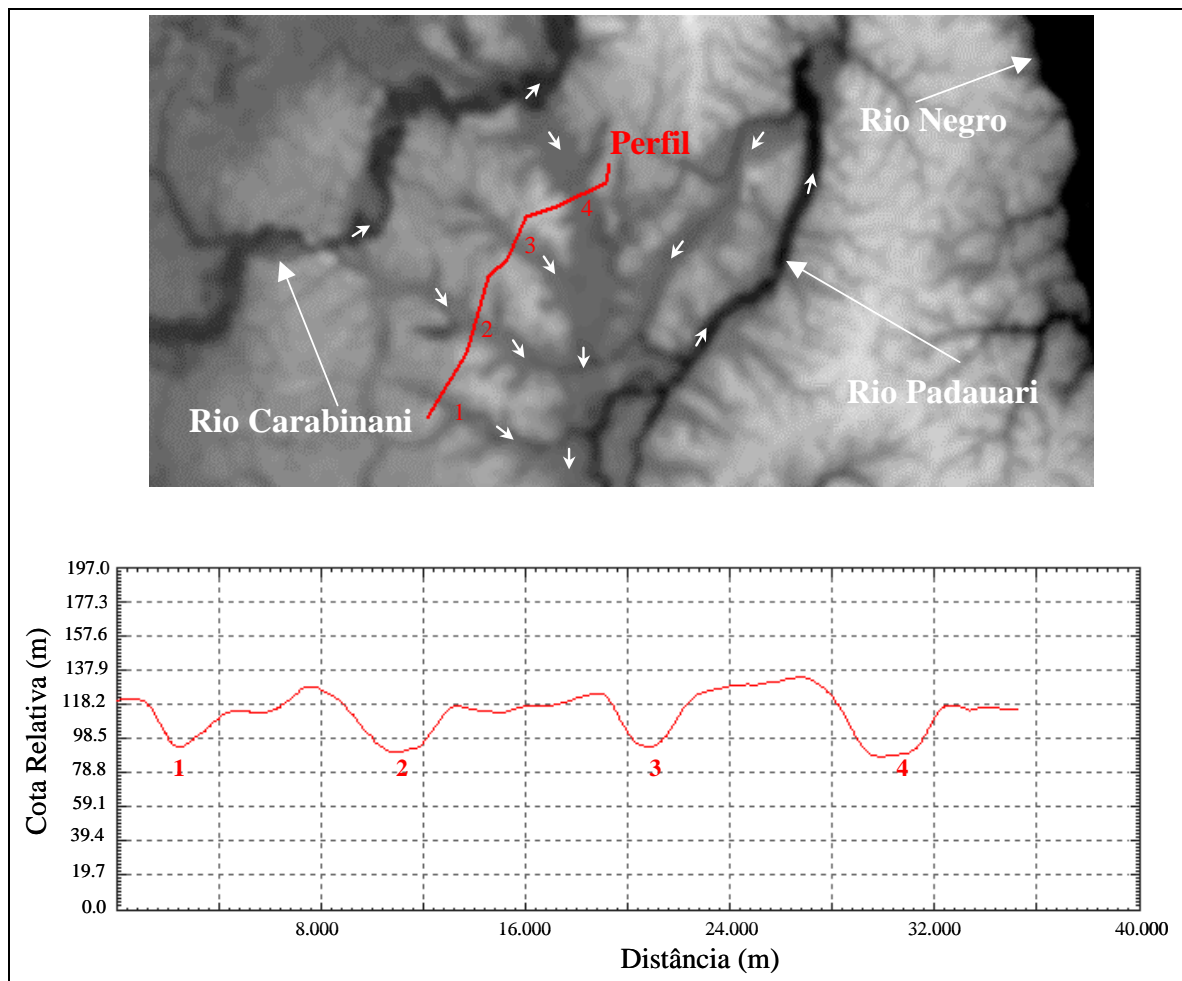


Figura 3. Perfil topográfico indicando que os “vales” ocupam cotas topográficas cerca de 20m mais baixas que os respectivos interflúvios (Figura 1 para localização).

As feições observadas nos dados SRTM são também perceptíveis em imagens das bandas 4, 5 e 7 do sensor *Thematic Mapper* (TM) do satélite Landsat-5. Isso denota que há variações no padrão de cobertura vegetal ao longo desses vales, em relação às áreas de interflúvios adjacentes. Entretanto, como essas mesmas feições não são detectadas em imagens de radar do satélite JERS-1, quer tenham sido elas obtidas na estação de cheia ou de seca, aparentemente não há variações na arquitetura de dossel capazes de provocar alterações no

sinal de retorno do radar em banda-L, mas apenas na resposta espectral da vegetação na faixa do infravermelho (Figura 4).

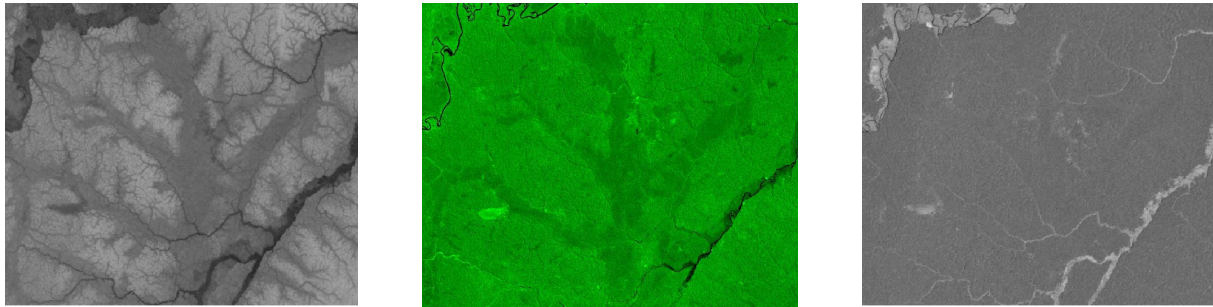


Figura 4. Detalhe da área de estudo observado através do modelo de elevação do SRTM, de uma composição colorida do Landsat-5 TM [7(B)+4(G)+5(R)] e de uma imagem de radar do JERS-1 obtida na estação de cheia.

4. Análise no Contexto Geológico

Do ponto de vista geológico, a região da confluência dos rios Negro e Solimões pertence à Bacia Sedimentar do Amazonas (Figura 5). O embasamento pré-cambriano que aflora na porção norte da área mergulha para sul, acomodando uma pilha de sedimentos paleozóicos que chega a atingir cerca de 2.500m de espessura na extremidade sul da área de estudo. Esse pacote sedimentar pode ser organizado em três mega-seqüências, separadas por discordâncias regionais: Ordoviciano Superior-Devoniano Inferior, Devoniano Médio-Carbonífero Inferior e Carbonífero Médio-Permiano. Tais seqüências são cobertas por depósitos sedimentares do Cretáceo, Terciário e Quaternário (Gonzaga et al, 2000).

Vários autores têm postulado o controle neotectônico sobre feições da paisagem e sobre os cursos de alguns rios na Amazônia Central. Observando em fotografias aéreas o paralelismo entre os cursos do Rio Negro, na região das Anavilhanas, do Rio Preto da Eva e do Rio Urubu, Sternberg (1950) foi o primeiro a conjecturar sobre essa hipótese.

Com base na análise de dados geológicos e geofísicos, Hasui et al. (1984) identificaram blocos estruturais que compõem o embasamento da Bacia do Amazonas, separados por extensos sistemas de falhas. O limite entre dois desses blocos (Japurá e Maecuru) é alinhado na direção NW-SE, a mesma direção seguida pelo Rio Negro na região das Anavilhanas.

Franzinelli & Igreja (1990, 2002) discutiram os efeitos de uma neotectônica sobre o controle da drenagem e da sedimentação fluvial na região, postulando que a orientação NW-SE do Rio Negro na região das Anavilhanas é controlada por uma falha transcorrente dextral. Tal conjectura encontra concordância nas observações de Gonzaga et al. (2000), que identificam na Bacia Sedimentar do Amazonas efeitos de uma tectônica de natureza transcorrente, desenvolvida a partir do Paleogeno.

Com base em um mosaico de radar do satélite japonês JERS-1, com imagens adquiridas entre fevereiro e março de 1993 (período intermediário entre as estações de cheia e seca dos rios da Amazônia), Forsberg et al. (2000) mostraram que a falha transcorrente já mencionada na região das Anavilhanas prossegue para NW, controlando a distribuição de extensas áreas de inundação nos rios Paduari, Carabinini, Jaú, Unini e Caurés. Tal fato evidencia o papel de uma atividade neotônica no controle da dinâmica fluvial na região.

A constatação de atividades recentes dessas falhas geológicas indica uma acentuada instabilidade tectônica na região, reflexo de sua instabilidade sísmica, que alguns autores (e.g. Assumpção. & Suárez, 1988; Costa, 2002.) consideram reflexos de movimentos das placas tectônicas do Caribe, de Nazca e da América do Sul.

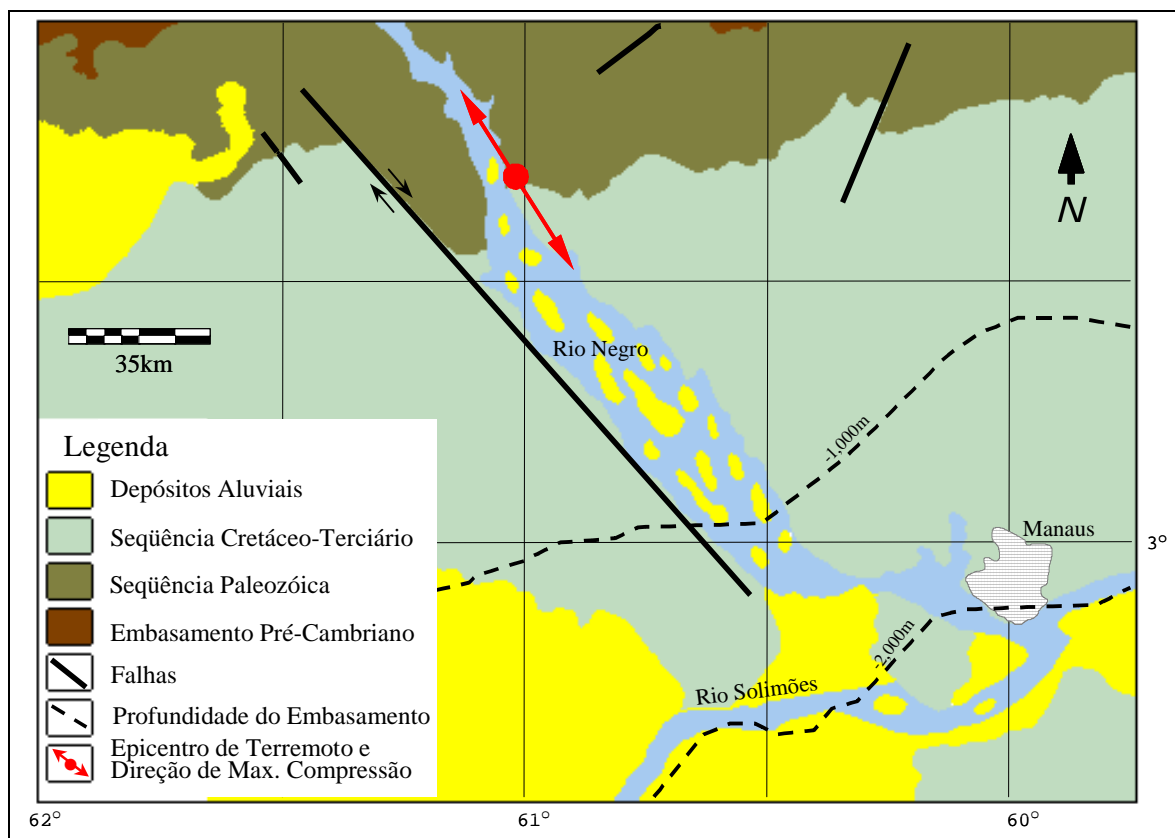


Figura 5. Esboço geológico da área de estudo (modificado de Schobebenhaus et al., 1984).

O primeiro registro dessa instabilidade encontra-se no diário de Samuel Fritz (IHGB, 1917), missionário jesuíta do século XVII, que reportou os estragos causados por um terremoto observado por ele no trecho entre as desembocaduras dos rios Urubu e Negro: “...no anno passado de 1690, pelo mez de junho ocorreu um grandíssimo terremoto (...): penhascos caídos, arvores grossissimas derraigadas e lançadas ao rio; terras muito altas desmoronadas (...) no meio de pedras e arvores amontoadas sobre as margens; por toda parte lagoas abertas, bosques destruídos e tudo sem ordem misturado (...). Continuavam as ruínas por quatro léguas de rio; terra a dentro tinha sido maior o estrago” (pág. 391).

Assumpção & Suárez (1988) obtiveram a orientação de tensão máxima horizontal provocada por um terremoto de magnitude 5.1 m_b , ocorrido em 14 dezembro de 1963, com epicentro na margem esquerda do Rio Negro, na região das Anavilhanas. Os resultados indicaram hipocentro com profundidade de 45km e eixo de máxima compressão orientado segundo N31W, concordante com a orientação da falha de rasgamento que alinha o baixo curso do Rio Negro indicada na Figura 5.

Dados de elevação digital do terreno gerados pela SRTM apontam indícios de uma aparente “desorganização” da rede de drenagem na área de estudo, possivelmente como consequência da instabilidade neotectônica da Amazônia Central, reportada pelos autores acima. A Figura 6 (Figura 1 para localização) é o modelo de elevação digital da área de estudo, em tons de cinza e a cores. Neste, valores topográficos (relativos) foram computados de modo a expressarem um padrão codificado de cores, variando entre azul escuro (cota zero) e magenta (115 metros).

Através do modelo de elevação do terreno, é possível constatar que os rios Paduari e Carabinani fluem em sentido oposto ao gradiente topográfico regional, que aumenta de sul/sudoeste para norte/nordeste. Por outro lado, o sentido do fluxo do provável paleocurso é

oposto ao daqueles rios, obedecendo ao caimento atual da topografia regional (de norte/nordeste para sul/sudoeste). Essa constatação sugere uma acentuada mudança no nível de base topográfico regional, como pode ser inferido pelo perfil topográfico da Figura 7. Ele evidencia que as calhas do Rio Padauari e do seu principal afluente pela margem direita estão sendo escavadas sobre a topografia rebaixada do paleocurso.

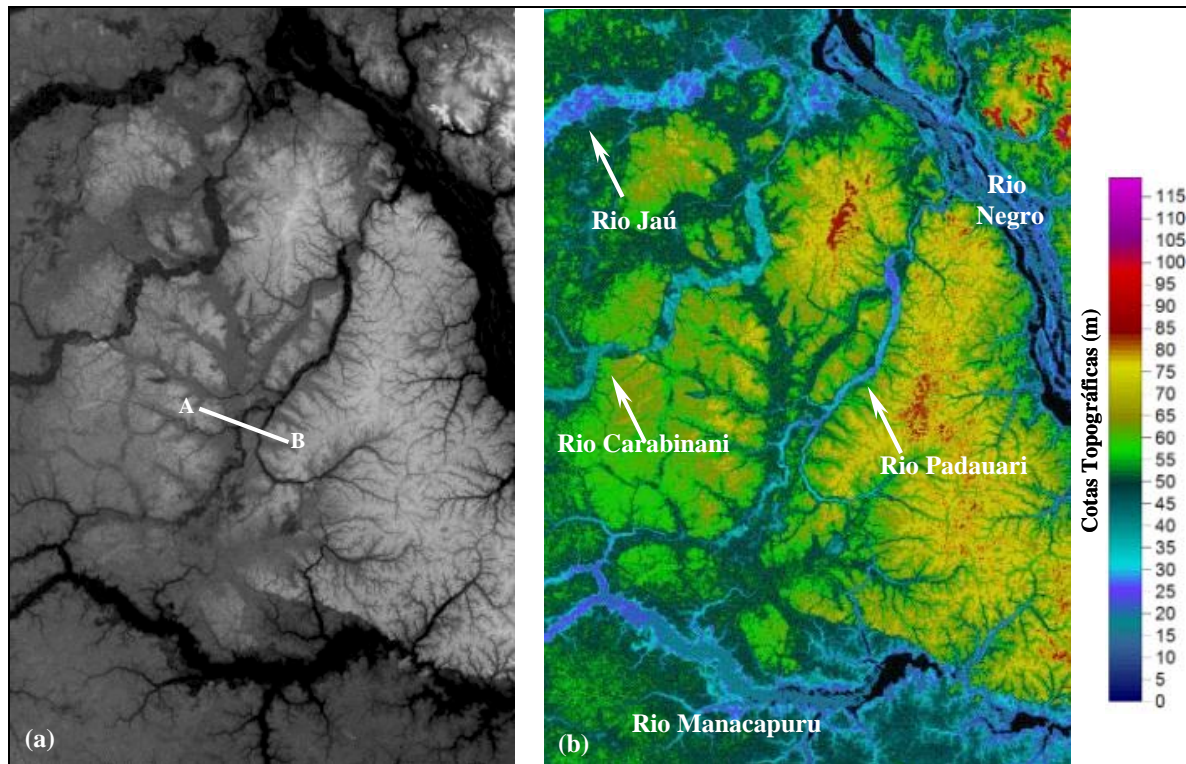


Figura 6. Modelo de elevação digital da área de estudo em tons de cinza (a) e em cores (b), sendo possível constatar que os rios Padauari e Carabinani fluem em sentido oposto ao gradiente topográfico regional, que aumenta de sul/sudoeste para norte/nordeste (Figura 1 para localização).

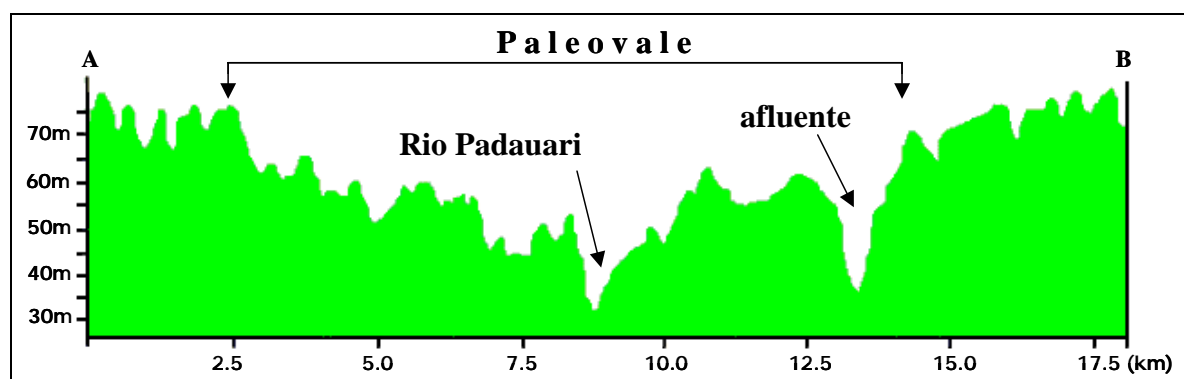


Figura 7. Perfil topográfico indicando que o Rio Padauari e seu principal afluente pela margem direita escavam seus leitos sobre a topografia mais rebaixada do paleocurso (Figura 6a para localização).

5. Conclusões

Dados de elevação digital do terreno obtidos pela SRTM mostram sinais de um provável paleocurso do Rio Negro, representativo de um sistema de drenagem relictivo, com fluxo geral para sul. Parte da rede hidrográfica atual, representada pelos rios Paduari e Carabinani, afluentes pela margem direita do Rio Negro, flui em sentido oposto, de sudoeste para nordeste. Tal configuração é sugestiva da existência de um controle neotectônico sobre a paisagem, como reflexo da instabilidade sísmica da região. Esse cenário de aparente desorganização espacial da drenagem é compatível com a hipótese de uma mega captura fluvial, na região do Arquipélago das Anavilhanas. Para corroborá-la faz-se necessária a coleta de dados de geologia de superfície, assim como estudos palinológicos nos paleovales, de modo a determinar o estilo estrutural, a idade e o contexto paleoclimático em que se desenvolveu o fenômeno da suposta captura.

Referências

- Assumpção, M. & Suárez, G. 1988. Source mechanisms of moderate-size earthquakes and stress orientation in mid-plate South America. *Geophysical Journal*, v. 92: 253-267.
- Costa, A.R.A. *Tectônica cenozóica e movimentação salífera na Bacia do Amazonas e suas relações com a geodinâmica das placas da América do Sul, Caribe, Cocos e Nazca*. 2002. 237 p. Dissertação Mestrado - Universidade Federal do Pará. 2002.
- Forsberg, B.R., Hashimoto, Y., Rosenqvist, A., & Miranda, F.P. 2000. Tectonic fault control of wetland distributions in the Central Amazon revealed by JERS-1 radar imagery. *Quaternary International*, v.72: 61-66.
- Franzinelli, E. & Igreja, H.L.S. 1990. Utilização de sensoriamento remoto na investigação na área do baixo Rio Negro e grande Manaus. In: VI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1990, Manaus. *Anais*. 1990. v. 3: 641-648.
- Franzinelli, E. & Igreja, H.L.S. 2002. Modern sedimentation in the lower Negro River, Amazonas State, Brazil. *Geomorphology*, v. 44: 259-271.
- Gonzaga, E.G., Gonçalves, E.T.T., & Coutinho, L.E.C. 2000. Petroleum geology of the Amazon Basin, Brazil: modeling of hydrocarbon generation and migration. In M.R. Mello and B.J. Katz, eds, *Petroleum system of South America margins*. AAPG Memoir 73: p. 159-178.
- Hasui, Y., Haraluy, N.L.E., & Schobebenhaus, C. Elementos geofísicos e geológicos da Região Amazônica. In: III Simpósio Amazônico. DNPM, 1984, Brasília. *Anais*. 1984, p. 129-147.
- Instituto Histórico e Geográfico Brasileiro-IHGB. 1917. O Diário do Padre Samuel Fritz. *Revista do Instituto Histórico e Geográfico Brasileiro*, v. 81: 354-397.
- Rabus, B., Eineder, M., Roth, A., & Bamler, R. 2003. The Shuttle radar topographic mission- a new class of digital elevation model acquired by spaceborne radar. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 57: 241-262.
- Schobebenhaus, C., Campos, D.A., Derze, G.R. & Asmus, H.E. 1984. *Geologia do Brasil. Texto Explicativo do Mapa Geológico do Brasil e da Área Costeira Adjacente Incluindo Depósitos Minerais*. Departamento Nacional da Produção Mineral. Brasília, 501 p.
- Sternberg, H.O. 1950. Vales tectônicos na planície Amazônica? *Revista Brasileira de Geografia*, v. 12: 513-533.