

## **Extração automática de lineamentos e análise neotectônica preliminar da região hidrográfica centro amazonense utilizando dados de interferometria de radar.**

Willian Sérgio Marques Palha  
Albertino de Souza Carvalho

UFAM – Universidade Federal do Amazonas/DEGEO  
Av. General Rodrigo Octávio Jordão Ramos 3000, Aleixo  
69077-000 Manaus-Amazonas  
wspalha@ufam.edu.br; alsocar@ufam.edu.br

**Abstract.** Remote sensing and GIS techniques are being applied to extract structural information from interferometric radar data. The results was used to explain the neotectonic patterns founded in Manaus region. The structural lineaments shows two preferencial directions: N50-60W and N40-60E. The extracted data allowed subdivide the studied area in eighth (08) morphostructural domains and to individualize eleven (11) tectonic blocks.

Palavras-chaves: remote sensing, automatic extraction of lineaments, neotectonic analysis, sensoriamento remoto, extração automática de lineamentos; análise neotectônica.

### **1. Introdução**

A região hidrográfica centro amazonense aqui considerada estende-se desde o limite oeste da cidade de Manaus, região do arquipélago fluvial de Anavilhanas, nas proximidades do município de Novo Airão até a porção leste do município de Itacoatiara. O limite norte é atinge a porção extremo norte do município de Presidente Figueiredo e São Sebastião do Uatumã. O limite sul está definido pelos municípios do Careiro e Autazes (**Figura 01**). A área está inserida nas folhas topográficas em escala 1:100.000, denominadas de: Acará (SA-20-Z-B-II-462, Fazenda Rio Branco (Folha SA-20-Z-B-III-463), Novo Airão (Folha SA-20-Z-B-V-516), Igarapé Coanã (Folha SA-20-Z-B-VI-517), Efigênio Sales (Folha SA-21-Y-A-IV-518), Manaus (Folha SA-20-Z-D-III-578), Manaus E (Folha SA-21-Y-C-I-579).

O desenvolvimento morfodinâmico desta região foi controlado por diversos fatores do meio físico, onde se destaca não só o clima e os processos erosivos antigos e atuais, mas também a constituição litológica do substrato e a tectônica, este último relacionado, principalmente, ao regime neotectônico atuante nos últimos 25 milhões de anos (Terciário Superior até o Quaternário). Segundo Igreja (1998) as estruturas encontradas nesta região são o resultado local da colisão continental das Placas do Nazca e do Caribe com a Placa Sul-Americana. Para o autor o fenômeno reativou linhas estruturais herdadas do Pré-Cambriano e instalou novas direções estruturais de fraquezas. Já para Bemerguy et al.(1995) o atual quadro neotectônico da Amazônia não tem relação direta com a implantação do cinturão Orogênico Andino e nem com o cinturão transcorrente da região do Caribe, mas se deve a um binário dextral E-W decorrente de rotação da placa Sulamericana para oeste. Regionalmente, inúmeros trabalhos (Hasui, 1990; Costa & Hasui,1997, dentre outros) defendem em seus escopos gerais um sistema de movimentação translacional e rotacional do continente da América do Sul e nem sempre a aplicação de modelos regionais encontram suporte nos estudos de escala local.

Como a caracterização dos sistemas tectônicos em uma determinada região é dificultada pela coexistência de estruturas geradas em diferentes pulsos tectônicos, além disso, um determinado elemento estrutural não configura, por si só, um estilo estrutural, torna-se necessário, deste modo, que investigações mais detalhadas sejam realizadas. Para uma determinada região, deve-se levar em conta um grande número de elementos estruturais e suas



estudos baseados em palinomorfos, os sedimentos da Formação Alter do Chão, se posicionariam no intervalo Albiano-Cenoniano. O terceiro conjunto é constituído pelos depósitos aluvionares recentes, de idade Quaternário/Terciário, constituídas por associações de sedimentos de canal fluvial (areias e siltes) e de planície de inundação (argila e caulim). Na região de Manus, os lateritos têm ampla distribuição e boa representatividade, e embora não representem uma unidade litoestratigráfica formal, são de grande importância no entendimento da geologia do Cenozóico, pois contituem excelentes marcadores estratigráficos (Fernades Filho et al., 1997). Recobrimdo grande parte desta área observa-se a ocorrência de uma cobertura areno-argilosa de coloração amarelada, que, regionalmente, é correlacionada à Argila de Belterra (Sombroek, 1996).

### 3. Características dos Dados de Radar Interferométrico (SRTM)

Neste trabalho foram utilizados dados do Modelo Digital de Elevação (DEM) proveniente do *Shuttle Radar Topography Mission* (Farr & Kobrick, 2000). O conjunto de dados é o resultado da parceria entre *The National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e *The National Imagery and Mapping Agency* (NIMA), assim como, da participação das Agências Espaciais da Alemanha e Italiana que também geraram modelos de elevação do terreno. O ônibus espacial Endeavour foi lançado em fevereiro de 2000 com a missão de efetuar o levantamento topográfico da superfície do globo terrestre com imageamento interferométrico (SIR-C), usando das bandas C e X, comprimento de ondas 5.6 e 3cm respectivamente. A partir destes dados foram produzidos os modelos digitais de elevação (DEM-*Digital Elavation Model*) com elevada resolução planialtimétrica, permitindo mapeamento em escalas de 1:90.000 até 1:24.000. Os dados foram disponibilizados recentemente no *site* do USGS - Serviço Geológico dos Estados Unidos da América, (<http://edu.usgs.gov/srtm/data/interferometry>), representando, deste modo, os primeiros dados topográficos digitais com cobertura continental existentes para a América do Sul.

### 4. Metodologia

Os dados de sensoriamento remoto foram processados no Laboratório de Sensoriamento Remoto do Centro de Apoio Multidisciplinar da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), através do *software* SPRING-Sistema de **PR**ocessamento de **IN**formações Georeferenciadas tanto para o tratamento digital das imagens interferométricas quanto para a construção do banco de dados geográficos que integraram as demais informações disponíveis sobre a área de estudo. Paralelamente algumas operações, como por exemplo, a extração automática dos lineamentos e alinhamentos foram realizadas no PCI- *Geomatica Software Solutions/Biblioteca de algoritmos/Extração de Lineamentos*.

A metodologia geral aplicada neste trabalho é sintetizada na **Figura 2**.

A análise e a interpretação visual dos dados de sensoriamento remoto foi baseada em Santos et al. (2000). Esta etapa divide-se em (1) Identificação dos elementos naturais de paisagem da imagem; (2) Análise dos elementos das imagens e (3) Interpretação dos elementos de imagens – etapa onde são extraídos os elementos texturais do relevo, da drenagem e da tonalidade das imagens de radar ou do matiz em produtos integrados.

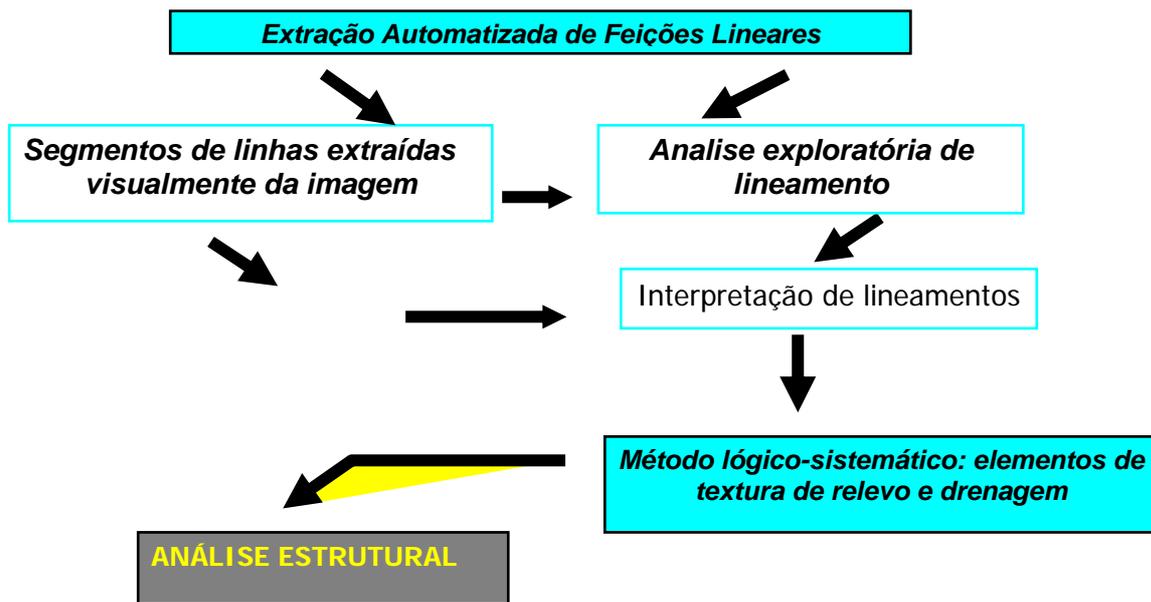


Figura 2 – Síntese metodológica da análise de lineamentos estruturais.

## 5. Resultados e discussões

Os resultados obtidos passaram por uma criteriosa validação quanto à sobreposição de alinhamentos, descontinuidades e duplicação de linhas ocorridas no processamento da extração automática. Paralelamente, além desta validação os resultados foram interpretados segundo os critérios de caracterização de formas de relevo e de drenagem.

Cabe ressaltar que o pequeno número de alinhamentos e lineamentos estruturais observados na porção mais ao sul da área de estudo, margem direita do rio Solimões, se deve a edição dos resultados obtidos através da técnica de extração automática de lineamentos. Nesta porção, a rede de drenagem é bastante anômala, não permitindo uma definição óbvia das estruturas. Entretanto, a aparente falta de estruturação não significa inexistência de estruturas, e sim que elas estão mascaradas (sobrepostas) por uma sedimentação quaternária recente. O relevo desta porção é constituído de terrenos planos a suavemente ondulados, característicos de planície aluvionar, onde encontram-se os sedimentos inconsolidados de idade Terciária-Quaternária, os quais atingem cotas topográficas que variam entre 30 e no máximo 50 m de altitude. Deste modo, é importante destacar, que nesta porção da área de estudo a estruturação geral é NE-SW e NW-SE. Essas duas direções principais imprimem arranjos paralelos dos elementos de relevo, controlando trechos dos rios e produzindo anomalias na drenagem: padrões paralelos, trechos afogados, encurvamentos anômalos e assimetria de canal.

Já na porção central da área de estudo o relevo é constituído por um sistema de colinas e morros de direção geral NW-SE. Os topos são sustentados por uma superfície erosiva com cotas que variam entre 60 a 120m de altitude e vales altamente dissecados orientados sistematicamente para NE-SW, em cotas de fundo que variam entre 20 a 50m de altitude.

A porção mais ao norte da área de estudo não será discutida neste artigo. Esta porção representa o embasamento ou substrato Proterozóico que é caracterizada por grandes variações topográficas, de formas de relevo e de drenagem resultantes de uma estruturação mais antiga.

Segundo os critérios de interpretação foi possível individualizar oito (08) domínios morfoestruturais com base essencialmente no traçado de limite de sub-bacias (ANA, 2004) associado com os parâmetros clássicos de análise de drenagem e relevo (**Figura 3**).

Numa escala de maior detalhe, podem ser individualizados onze (11) blocos tectônicos que são definidos e delimitados pelos alinhamentos de drenagem (**Figura 4**). Os falhamentos limítrofes dos blocos mostram direções preferenciais N50-60W e N10-20E (**Figura 5**), marcados pelos rios: Cuieras, Tarumã-Mirim, Tarumã-Açu, Puraquequara, Rio Preto da Eva e Urubu. Os lineamentos menores, extraídos automaticamente, também mostram a mesma direção preferencial dos alinhamentos regionais (**Figura 6**).

Do mesmo modo, outro conjunto de alinhamentos secundários de direção preferencial N40-60E (**Figura 7- Roseta**), tanto em frequência relativa quanto absoluta. Note-se que estes alinhamentos secundários são comuns a todos os blocos identificados. Ao contrário da direção N50-60W, não é tão evidente o desenvolvimento de pequenos lineamentos associados a esta direção.

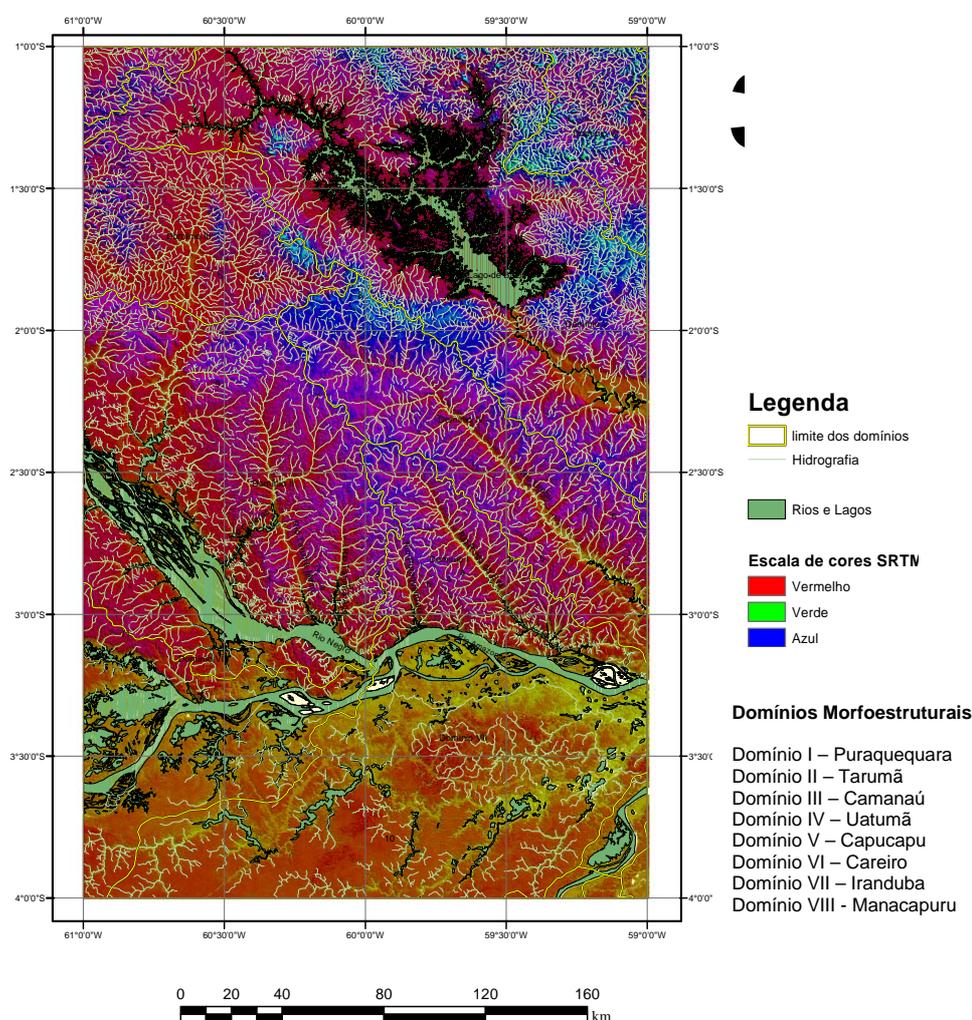


Figura 3 - Mapa de Domínios Morfoestruturais da região de Manaus - Presidente Figueiredo-AM.

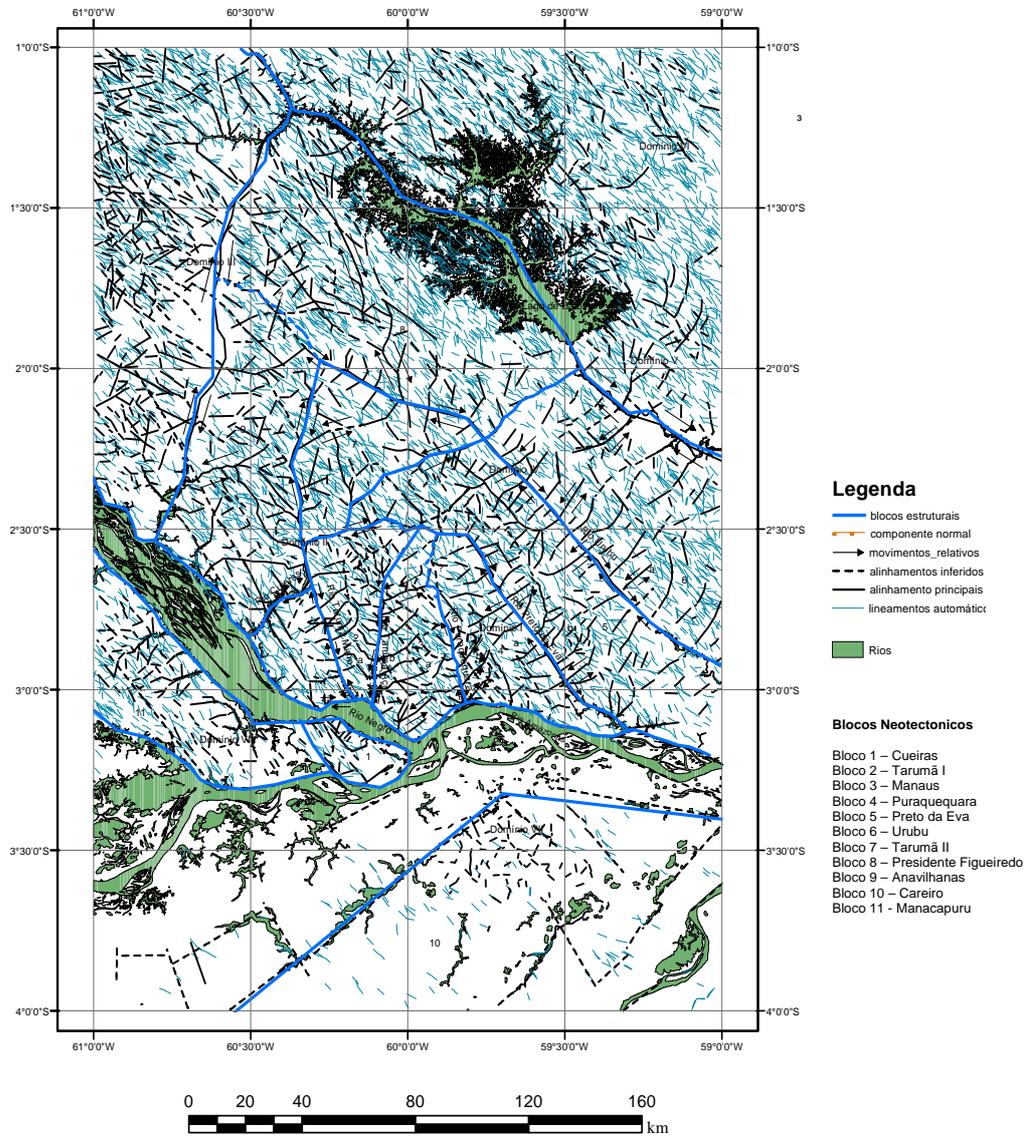


Figura 4 - Mapa de Blocos Tectônicos da região de Manaus - Presidente Figueiredo-AM.

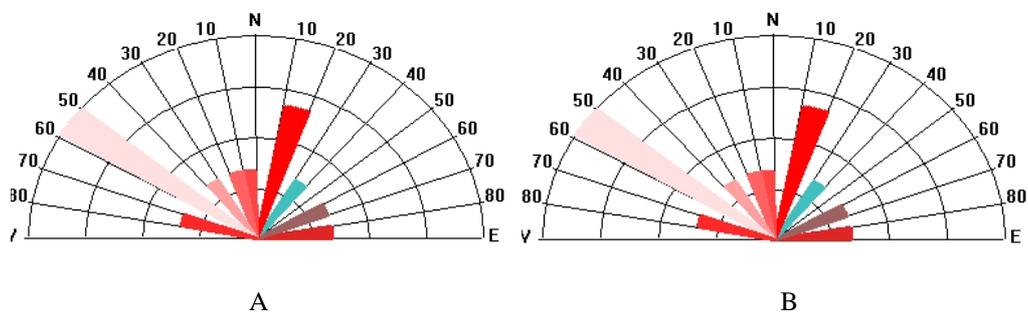


Figura 5 – Diagrama de roseta dos principais lineamentos observados na região central da área de estudo. A – Frequência Relativa e B – Frequência Absoluta.

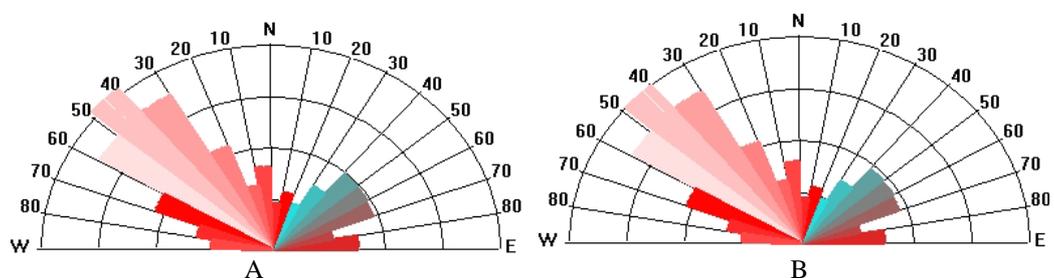


Figura 6 - Diagrama de roseta dos alinhamentos secundários observados na região central da área de estudo. A – Frequência Relativa e B – Frequência Absoluta.

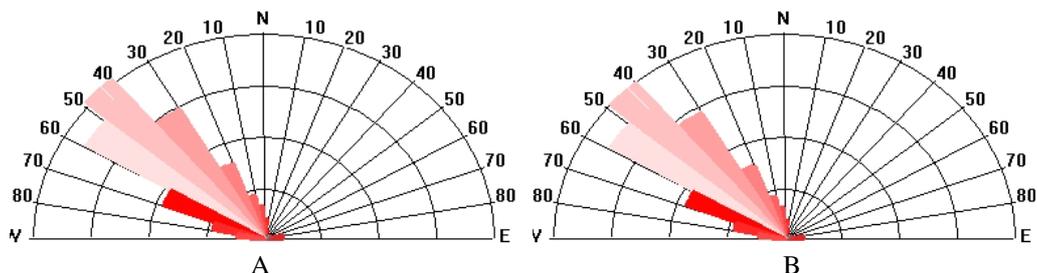


Figura 7 - Diagrama de roseta dos lineamentos extraídos automaticamente na região central da área de estudo. A – Frequência Relativa e B – Frequência Absoluta.

## 6. Conclusões

A utilização de dados de radar interferométrico (SRTM) é uma ferramenta importante para estudos de mapeamento geológico-estrutural-tectônicos conduzidos em áreas com extensa cobertura vegetal, espesso manto de intemperismo e dificuldade de acesso.

Em relação a área de estudo, a metodologia aplicada permitiu a extração de alinhamentos e lineamentos que possibilitou a identificação de 08 domínios morfoestruturais diferentes e também a individualização de 11 blocos tectônicos. Neste contexto foram identificadas direções preferenciais de grandes alinhamentos, N40-50W, marcados pelos rios Tarumã-Mirim, Puraquequara, Preto da Eva, Urubu e Uatumã e N10-20E pelos rios Cuieiras e Tarumã-Açu, os quais limitam os blocos tectônicos individualizados. Secundariamente é

identificado um conjunto bem marcante de alinhamentos menores de direção N40-60E, que controlam os afluentes dos rios principais.

Independente dos modelos tectônicos propostos, quer na escala continental, regional ou mesmo local, para a área de Manaus e adjacências, o que se depreende do trabalho realizado é que a utilização de novos produtos e ferramentas computacionais aumenta a eficácia da análise estrutural e contribui para a construção de modelos tectônicos mais consistentes. Obviamente que a metodologia aplicada não deve ser utilizada isoladamente, mas sim em associação com as técnicas clássicas de interpretação visual e, essencialmente, com dados de levantamentos de campo.

## 7. Referências Bibliográficas

- Albuquerque, R. 1922. Reconhecimentos geológicos no Vale do Amazonas. Serv. Geol. Min. Boletim, 3:84p.
- ANA 2004 -Agência Nacional de Águas, em <http://www.ana.gov.br>, em 16.11.2004.
- Bermerguy, R.L.; Sena Costa, J.B.; Hasuy, Y.; Borges, M.S. 1995 Tectônica e Paleogeografia da calha do rio Amazonas. IN: Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, 5, Gramado, RS, Anais do....Porto Alegre. SBG, p.419-420.
- Caputo, M. V.; Rodrigues, R.; Vasconcelos, D. N 1972. Nomenclatura estratigráfica da Bacia do Rio Amazonas. In: Anais ... XXVI Congr. Bras. de Geol., Belém, SBG, v.3,p.35-46.
- Costa, J. B. S. & Hasui, Y. 1997. Evolução Geológica da Amazônia. In: COSTA, M. L. & ANGÉLICA, R. S. (Coordenadores) Contribuições à Geologia da Amazônia. FINEP-SBG/NO:15-90.
- Deamon, R. F. e Contreiras, C.J.A. 1971. Zoneamento palinológico da bacia do Amazonas. In: Anais... do XXV Congr. Bras. de Geol., São Paulo, SBG, v.3, p.79-88.
- Farr, T. G. & Kobrick, M. 2000 Shuttle Radar Topography Mission produces a wealth of data, Amer. Geophys. Union Eos, 2000. v. 81, p. 583-585.
- Fernandes Filho, L.A.; Costa, M.L. & Costa, J.B.S. 1997. Registros neotectônicos nos lateritos de Manaus- Amazonas. Ver. Geociências, São Paulo, 16(1) 9:33.
- Franzinelli, E. e Piuci, J. 1988. Evidências de Neotectonismo na Bacia Amazônica. **Anais...** VIII Congr. Latino Amer. de Geol., Belém, SBG, p80-90. Geociências, UNESP, São Paulo, 1997, 16(1):9-13.
- Hasui, Y. 1990. Neotectônica e Aspectos Fundamentais da Tectônica Ressurgente no Brasil. In: Workshop Sobre Neotectônica e Sedimentação Continental no Sudeste Brasileiro. Belo Horizonte, SBG (Núcleo MG), Boletim *SBG/MG*, 11:11-31.
- Igreja, H. L. S. 1998. Aspectos do Modelo Neotectônico da Placa Sul-Americana na Província Estrutural Amazônica, Brasil. (Tese para Professor Titular da Universidade do Amazonas. Manaus) – AM.
- Nogueira, A. C. R. 1999. Paleossolos da Formação Alter do Chão, Cretáceo-Terciário da Bacia do Amazonas, regiões de Presidente Figueiredo e Manaus. In: Boletim. de Res. Exp. do 5º Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil, Rio Claro, UNESP, p.261-266.
- Santos, A. R.; Paradella, W. R., Veneziani, P.; Morais, M.C. 2000. Radar aplicado ao mapeamento geológico e prospecção mineral: aplicações. São José dos Campos: INPE/ADIMB, 103p.
- Sombroek, W.G. 1996- Amazon Soils. A reconnaissance of soils of the Brazilian Amazon region. Wageningen: Centre for Agriculture, 292p.