

Extração automatizada e caracterização da rede de drenagem e das bacias hidrográficas do nordeste do Pará ao noroeste do Maranhão a partir de imagens SRTM

Elainy do Socorro Farias Martins¹
Pedro Walfir Martins e Sousa Filho¹
Francisco Ribeiro da Costa¹
Paulo Jose de Oliveira Alves¹

¹ Laboratório de Análises de Imagens do Trópico Úmido – LAIT, CG/ UFPA
Caixa Postal 86075, CEP: 66075-110, Belém, Pará
{elainy, walfir, frc, pjose} @ufpa.br

Abstract: From Shuttle Radar Topography Mission (SRTM, 90 m of spatial resolution) images were possible to extract the drainage net using an automatic process. This automatic process was carried out in the hydrographic basins of the northeast of Pará and northwest of Maranhão states, contributing in the upgrade and complementation of the IBGE and DSG plani-altimetric charts. The results indicate that hydrographic network of the study site is strongly controlled by structural framework, and based on previous studies this pattern was developed from tectonic processes since Mesozoic.

Palavras-chave: SRTM, modelo digital de elevação, drenagem, bacia hidrográfica, Amazônia, digital elevation model, drainage, hydrographic basin, Amazon.

1. Introdução

As bases cartográficas de drenagem e elevação, na escala 1:100.000 foram confeccionadas há mais de 20 anos pelo IBGE e pela DSG, e não recobrem em sua totalidade a Região Norte do Brasil, havendo ainda imensos vazios cartográficos. O uso de cartas hidrográficas antigas pode comprometer a análise dos resultados, devido à dinâmica da paisagem. A extração automatizada da hidrografia, aliado a disponibilidade das informações, possibilita a atualização dos dados a qualquer momento. A partir dos dados de elevação adquiridos pela missão SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) e utilizando técnicas de Sistema de Informação Geográfica (SIG), foi possível gerar de forma automática, a rede de drenagem e as bacias hidrográficas referente à costa de manguezais do Pará e Maranhão. Isto possibilitou a atualização destas bases e preenchendo uma grande lacuna devido à falta de informação de muitas regiões da Amazônia.

O objetivo deste trabalho foi a geração e atualização das bases cartográficas plani-altimétricas referentes à área de atuação do IBGE e DSG, na escala de 1:100.000, referentes a costa de manguezais do Pará e Maranhão, através do uso de dados SRTM. A partir dos resultados obtidos, procurou-se relacionar os padrões de drenagem e o controle estrutural das bacias hidrográficas com os processos tectônicos dominantes na Amazônia Oriental.

2. Área de estudo

A área está inserida dentro do contexto das bacias costeiras Meso-Cenozóicas de Bragança-Viseu, São Luís Graben de Ilha Nova (litoral nordeste do Estado do Pará e noroeste do Maranhão) (Aranha *et al*, 1988, Lima *et al.*, 1994).

Essas bacias costeiras formam um complexo sistema tectônico de direção noroeste, delimitadas por falhamentos normais de mesma direção. O assoalho dessas áreas sedimentares é composto por um mosaico de pequenos blocos cratônicos que são interligados por faixas móveis do evento Brasiliano-Panafricano (Aranha *et al*, 1988, 1990). Estas bacias estão encaixadas a norte pela Plataforma de Ilha de Santana, e a sul pela Faixa Móvel do Gurupi,

Arco Ferrer e Plataforma de Sobradinho. A separação entre os segmentos da bacia é feita pelos altos de gurupi e Curupu (Lima *et al.*, 1994) (**Figura 1**).

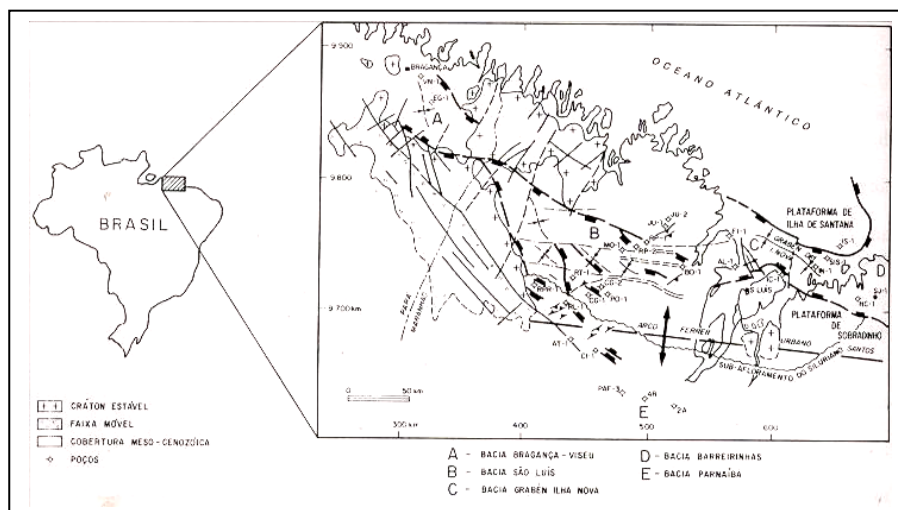


Figura 1. Mapa de localização das bacias de Bragança-Viseu, São Luís e Ilha Nova (Aranha *et al.*, 1990).

O desenvolvimento dessas bacias ocorreu como resultado de um estiramento extensional durante o Aptiano, relacionado com a abertura do Atlântico Equatorial (Cordani *et al.*, 2000).

De acordo com Aranha *et al.* (1988), a formação das bacias, sob o embasamento pré-cambriano, iniciou-se durante a fase de estiramento crustal (Aptiano) quando foi gerada uma ampla depressão onde foram depositados os sedimentos do Sistema Codó Grajaú. Na área de Ilha Nova, o nível de estiramento foi mais expressivo, mostrando um controle estrutural durante a sedimentação. No Eo-Albiano o tectonismo foi mais efetivo e gerou as linhas básicas dos riftes neo-formados com esforços tipicamente transtensivos, originados de um movimento dextral devido ao deslocamento entre as placas Sul-Americana e Africana. A característica principal dessa fase é a deposição do Sistema Itapecuru Inferior-Canárias, encaixado em blocos abatidos e rotacionados associados à falhamentos normais de direção noroeste. Localmente, essas linhas mestras mostram-se deslocadas dextrógiramente por zonas de transferência orientadas leste-oeste, balizadas por discontinuidades pré-existentes.

No Neocretáceo os autores também afirmam que o padrão de esforços associados à movimentação das placas permanece o mesmo, no entanto, componentes de cisalhamento e compressivas alteram as feições estruturais pré-existentes. Os falhamentos normais de direção noroeste foram reativados, e estruturas associadas à falhas de rejeito lateral, de direção leste-oeste, e reversas orientadas para noroeste, afetaram todas as seções pré-depositadas.

Com o fim desta última fase, ocorreu um basculamento generalizado, no sentido norte, com desenvolvimento de deposição francamente marinha na área de Ilha Nova, e erosão na região de Bragança-Viseu e São Luís. Esse padrão deve-se aos efeitos de subsidência térmica, que tiveram continuidade com a deposição do grupo Humberto de Campos, na área de Ilha Nova para nordeste.

3. Materiais e métodos

Foram utilizadas cartas topográficas IBGE e DSG, uma imagem Landsat (2000) e imagens SRTM, as quais foram processadas os programas Global Mapper 6 e ARCGIS 9.1 (Crosier *et al.*, 2005). As imagens SRTM foram tratadas no Global Mapper 6.0 e configuradas na projeção UTM_WGS84_Zona 23 Sul.

No programa ArcGIS 9.1 foram utilizadas as ferramentas *Spatial Analyst* > *Conditional* > *CON* e *Spatial Analyst_Hidrology*. Em primeiro lugar, (a) foi aplicado um condicional (CON) no raster para a eliminação dos valores menores que 1 e maiores que 37800. Em seguida foi aplicado o *Fill* (filtro), *Flow Direction* (direção do fluxo), *Flow Accumulation* (fluxo acumulado), *Basin* (bacia), *Flow Length_Downstream* (comprimento do fluxo), *Stream Order_ Straler* (ordem dos canais), *Stream to Feature* (conversão raster-shapefile). Posteriormente, (b) no raster *Stream Order* gerado, foi aplicado um condicional (value > 5) para retirar o excesso de informações e melhorar a visualização, em seguida este raster foi convertido para *shapefile*. (c) O *shapefile* gerado foi localmente editado usando-se uma imagem Landsat para a delimitação das duas margens dos maiores rios. Após a edição, a drenagem foi classificada com base em Cristofolletti (1980), Soares & Fiori (1976) e Lima (2002). Para a validação do resultado fez-se uma comparação entre a drenagem gerada e a base cartográfica de do IBGE e DSG para verificar se o resultado desta metodologia é verossímil. (d) O raster *Basin* extraiu 38 subbacias hidrográficas, que foram exportadas para o formato *shapefile*, em seguida foi feito o cálculo de área e perímetro para cada subbacia (a partir da ferramenta *XtoolsPro*) (**Tabela 1**) e posteriormente, juntamente com a drenagem, foram caracterizadas com base nos aspectos tectônicos reinantes na Amazônia Oriental.

A drenagem resultante do processo descrito anteriormente, foi localmente editada utilizando-se uma imagem Landsat TM, devido em alguns pontos as linhas geradas não apresentarem continuidade como, por exemplo, na porção próxima aos rios Mearim, Pindaré e Pericumã. Além disso, também foram editados alguns rios maiores (delimitação das duas margens dos mesmos) devido terem sido extraídos apenas como uma linha. Na porção mais a nordeste do Maranhão a drenagem não aparece devido tratar-se de um campo de dunas.

4. Resultados

Após a edição a drenagem (**Figura 2**), foi classificada com base em Cristofolletti (1980) e apresenta um padrão predominantemente dendrítico, localmente (porção nordeste do Maranhão) com um padrão retangular e anomalias em cotovelo. A densidade, com base em Lima (2002) foi classificada como de média densidade, tropia multidirecional, fraco grau de controle, sinuosidade predominantemente curva, angularidade média e assimetria predominantemente fraca.

Os canais gerados pelo *Stream Order* foram separados em 11 ordens ou magnitude, e devido ao excesso de informações foi aplicado um *CON* para filtrar o resultado o que melhorou a sua visualização. A partir do *CON* a drenagem da área foi classificada como apresentando 6 ordens que variam da ordem 6 até a ordem 11 (**Figura 3**), conseqüentemente os rios que apresentam magnitude ou ordem 11 são os principais rios da área de estudo como por exemplo os rios Gurupi, Itapecuru, Mearim.

Na área de estudo foram separadas 38 subbacias (**Figura 4**) e a descrição de cada uma pode ser observada na **Tabela 1**. Todas as subbacias apresentam uma direção predominantemente NE-SW e a maioria deságua no Oceano Atlântico.

Para o cálculo de área e perímetro, utilizou-se uma projeção de igual área (Behrmann), pois, segundo Crosier *et al.*, (2005), este sistema de projeção não interfere no cálculo de áreas, ou seja, o resultado independe do sistema de projeção usado.

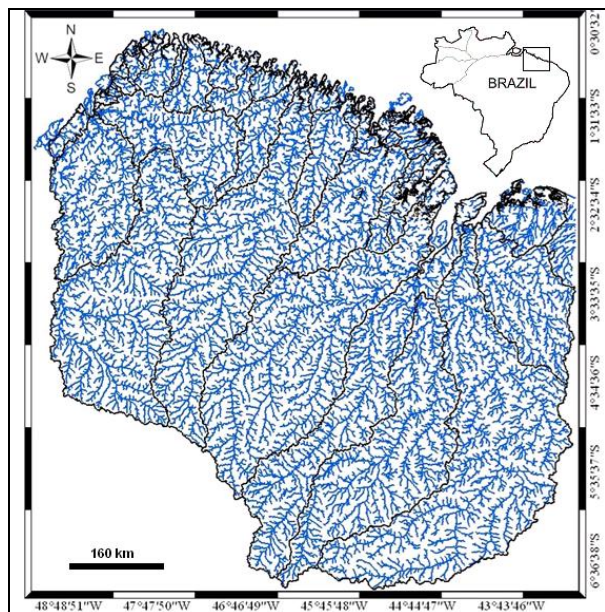


Figura 2. Mapa de drenagem do nordeste do Pará e noroeste do Maranhão.

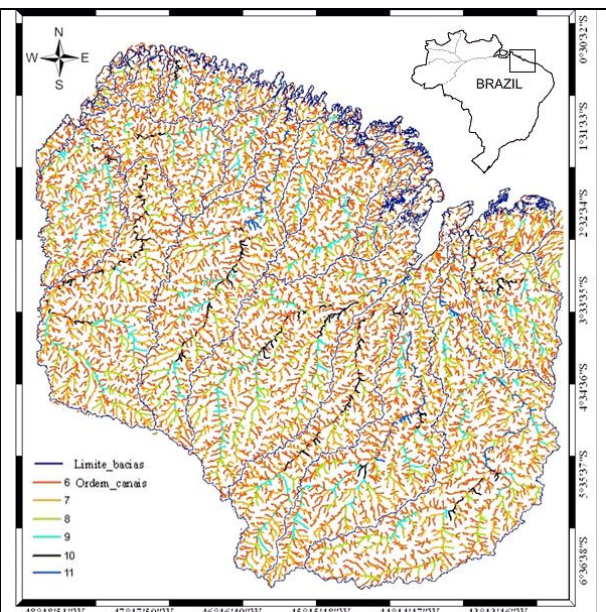


Figura 3. Mapa de ordem dos canais.

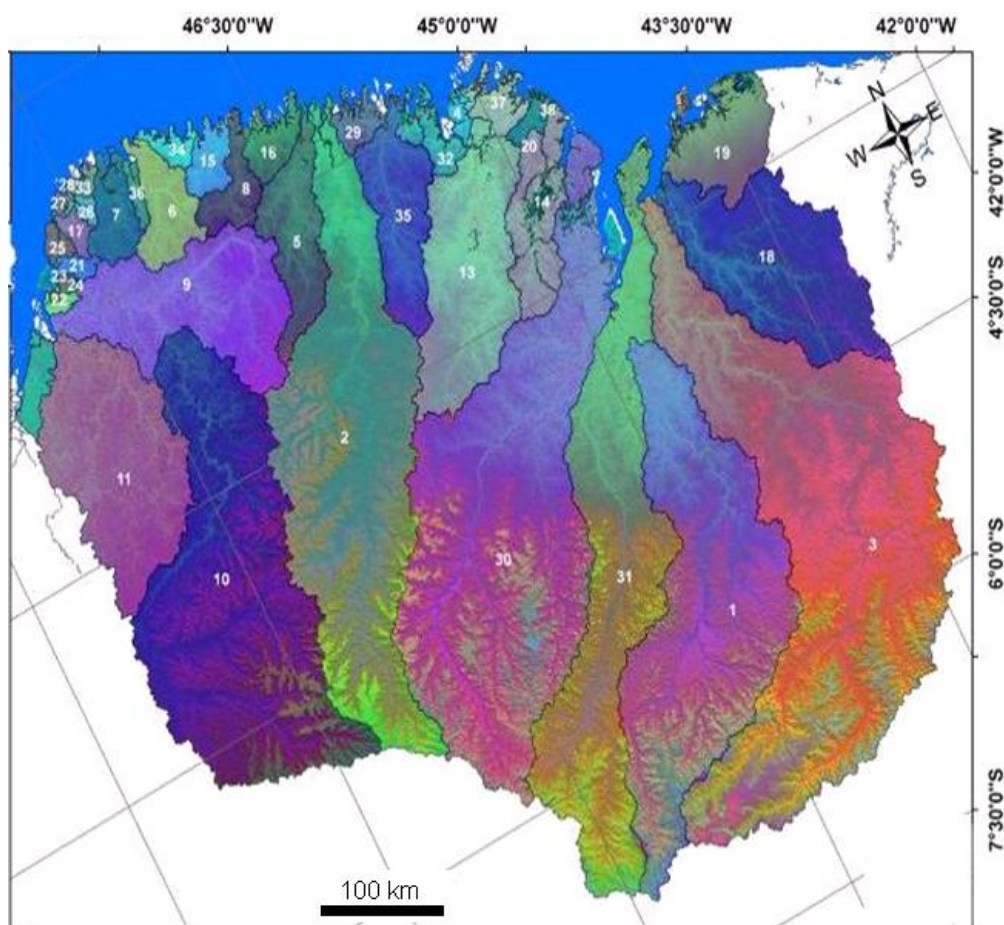


Figura 4. Mapa de subbacias hidrográficas.

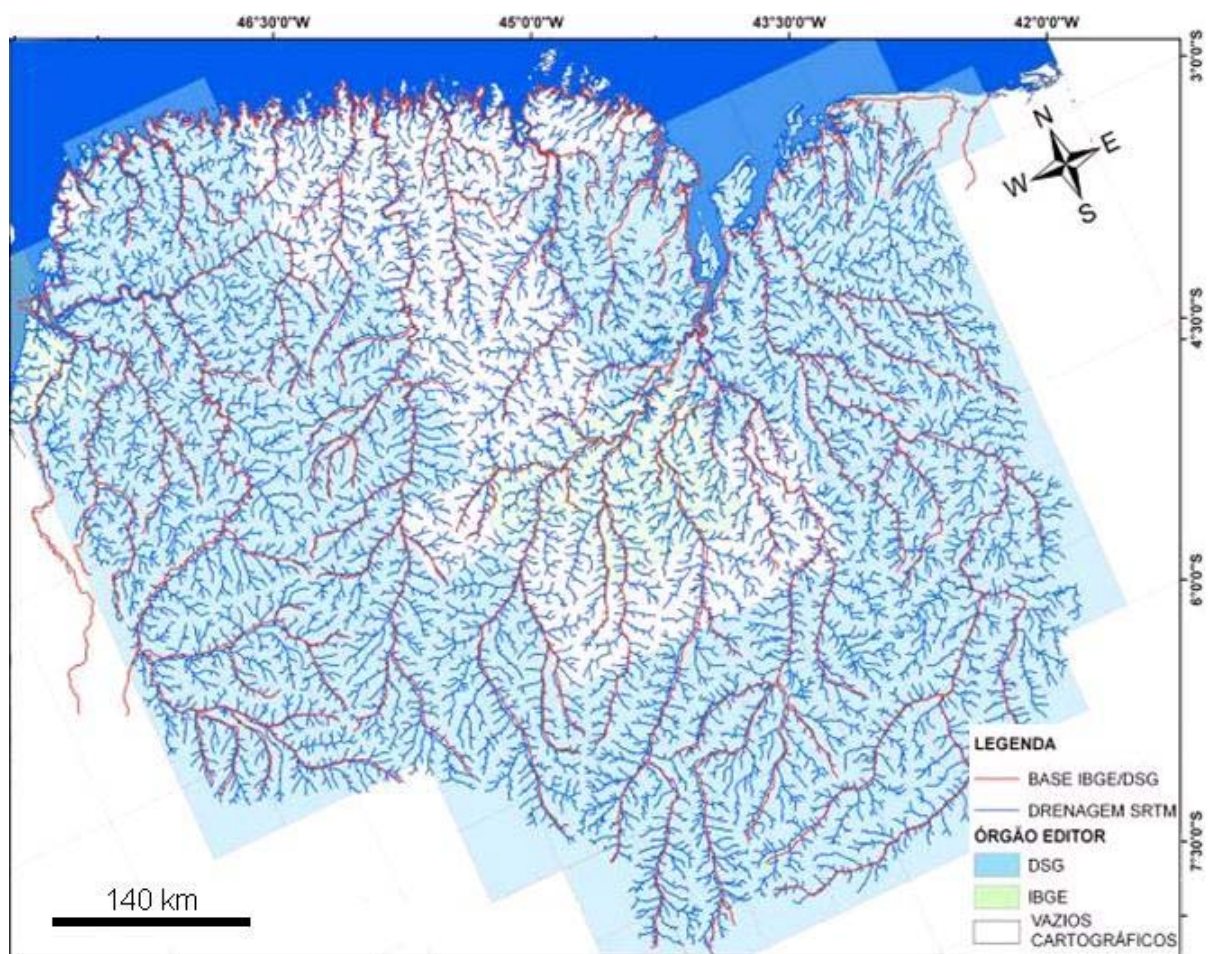


Figura 5. Mapa de comparação entre a drenagem elaborada pelo IBGE e DSG e a drenagem extraída a partir do SRTM.

De um modo geral a drenagem (**Figura 2**) apresenta um padrão predominantemente dendrítico, localmente (porção nordeste do Maranhão) com um padrão retangular. Apresenta média densidade, tropia multidirecional, fraco grau de controle, sinuosidade predominantemente curva, angularidade média e assimetria predominantemente fraca. É composta pelas bacias hidrográficas dos rios Gurupi, Itinga, Maracaçumé, Turiaçu, Pericumã, Mearim e Itapecuru, além dos rios de menor expressividade (**Figura 4**). No Rio Gurupi podem ser observadas anomalias em arco e cotovelo (**Figura 2**), o que para Ferreira Junior (1996) representam um controle exercido pelas discontinuidades orientadas nas direções NE-SW e NW-SE. As drenagens próximas ao cinturão de cisalhamento Gurupi são controladas por estruturas NW-SE.

Em comparação com a drenagem gerada pelo IBGE/DSG (**Figura 5**) pode-se observar que há bastante semelhança no resultado, porém a quantidade de informações que o SRTM disponibilizou é bem maior, além disso, a extração automatizada gerou informações em áreas de vazios cartográficos.

A partir da delimitação das subbacias (**Figura 4**) pode-se notar que as mesmas possuem uma orientação predominantemente NE-SW, exceto as bacias dos Rios Capim, Guamá, Moju e Acará que têm direção NW-SE e se localizam a oeste do Rio Gurupi desembocando na Baía do Guajará e as subbacias menores tem direção aproximadamente N-S (**Figura 4**).

A partir desta discussão é possível afirmar que a rede de drenagem da área em questão apresenta um forte controle estrutural. Segundo Costa *et al.* (1996) este controle é devido os

rios que formam o sistema hidrográfico da região Amazônica terem seus traçados fortemente controlados pelas estruturas do arcabouço tectônico regional, principalmente aquelas gerada e reativadas no Mesozóico. Portanto, as principais linhas de fraqueza crustal na região amazônica são representadas por feixes de zonas de cisalhamento e falhas orientadas em várias direções, que foram criadas através de processos tectônicos no pré-cambriano e experimentaram, em grande parte, reativações ligadas aos movimentos tectônicos do Paleozóico, Mesozóico e Cenozóico (atribuído principalmente à instalação da cadeia Andina).

De acordo com Costa *et al.* (1996), na região os quatro maiores conjuntos de estruturas geradas no mesozóico possuem orientação N-S, ENE-WSW, NE-SW e NW-SE. Todas estas direções são observadas na rede de drenagem do nordeste do Pará e noroeste do Maranhão, portanto há informações suficientes para se afirmar que a mesma advém principalmente de reativações Mesozóicas em decorrência do processo de ruptura do Gondwana e abertura do Atlântico Sul.

5. Conclusões

A rede de drenagem gerada a partir de imagens SRTM mostrou-se coerente quando comparada com a drenagem do mapeamento convencional, pois mesmo com as dificuldades de geração e extração de drenagem em locais muito arrasados. O problema de desatualização, assim como o da falta de informações em determinadas áreas, pode ser totalmente equacionado e a drenagem resultante deve ser utilizada em mapeamento de escala regional.

Com a análise da rede de drenagem pode-se verificar que a mesma está fortemente estruturada, e de acordo com Costa *et al.* (1996) e Ferreira Junior (1996) esta estruturação é consequência de reativação de estruturas Pré-Cambrianas, principalmente durante o Mesozóico, sob a influência da ruptura do Gondwana.

Desta maneira, não somente a drenagem, mas também as respectivas bacias hidrográficas apresentam este controle seguindo as principais direções geradas no Mesozóico.

O estudo da rede de drenagem e das bacias hidrográficas tem papel importante pois leva a compreensão de vários processos ativos na esculturação da paisagem terrestre (Cristofolletti, 1980), e a configuração da rede de drenagem reflete a estruturação geológica assim como a evolução morfogenética regional, Lima (2002). Portanto estudos desta natureza servem de base para um trabalho de análise estrutural a partir do comportamento da drenagem, utilização dos recursos hídricos, locação de hidrovias, turismo, dentre outros.

6. Referências

- Aranha, L.G.F.; Lima, H.P.; Souza, J.M.P.; Makino, R.K. Origem e evolução das bacias de Bragança-Viseu, São Luís e Ilha Nova. In: De Raja Gabaglia, G.P. and Milani, E.J. (eds.). **Origem e evolução de bacias sedimentares**. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, pp. 221-233, 1990.
- Aranha, L.G.F.; Lima, H.P.; Souza, J.M.P.; Makino, R.K.; Figueiras, A.J.M. Evolução tectônica e sedimentar das bacias de Bragança-Viseu, São Luis e Ilha Nova. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 35, 1988, Belém. **Anais...** Belém: SBG, 1988. Artigos, v.6, p. 1201-1212.
- Cordani et al, 2000. **Tectonic evolution of South America**. 31 International Geologic Congress. Rio de Janeiro, Brasil. 2000.
- Costa, J.B.S.; Bemerguy, R.L.; Hasui, Y.; Borges, M.S.; Ferreira Jr., C.R.P.; Bezerra P.E.L.; Costa, M.L.; Fernandes, J.M.G. Neotectônica da região amazônica: aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. **Geonomos**, v. 4, p. 23-44, 1996.
- Crosier, S.; Booth, B.; Dalton, K.; Mitchell, A.; Clarck, K. **Getting Started with ARCGIS 9**. United States, ESRI, 2005.
- Cristofolletti, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 2ªED, 1980.

Ferreira Junior, C. A. P. **Neotectônica na bacia de São Luis**. Dissertação (Mestrado em Geologia) Universidade Federal do Pará, Belém. 1996.

Lima, Humberto P. Aranha, Laércio G. F. Feijó, Flávio, J. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, 8 (1): 111-113, jan./ ma. 1994.

Lima, M. I. C. **Análise de Drenagem e seu Significado Geológico-Geomorfológico**. Belém: 2002. 1 Cd-Rom.

Soares, P.C. & Fiori, A.P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, 16 (32):71-104, 1976.

Tabela 1. Descrição de área e perímetro de cada subbacia hidrográfica.

SUBBACIA	AREA (Km ²)	PERIMETRO(Km)	FORMA APROXIMADA
MEARIM	30.971,97	1.477,48	RETANGULAR
GURUPI-ITINGA	35.200,04	2.098,41	RETANGULAR
ITAPICURU	53.077,93	2.052,52	RETANGULAR
4	508,02	345,56	RETANGULAR
PIRIÁ	5.480,87	701,96	RETANGULAR
MARACANÃ	3.426,01	468,98	TRIANGULAR
7	2.456,25	540,55	RETANGULAR
CAETÉ	2.235,97	455,33	TRIANGULAR
CAPIM-GUAMÁ	13.567,90	1.001,12	RETANGULAR
CAPIM	34.498,31	1.526,79	TRIANGULAR
ACARÁ-ACARÁ-MIRIM	16.264,97	987,87	CIRCULAR
12	1.360,65	339,25	RETANGULAR
TURIAÇU	13.032,78	1.049,98	RETANGULAR
PERICUMÃ	5.156,82	1.875,99	RETANGULAR
15	1.546,27	385,27	RETANGULAR
16	1.783,30	610,72	TRIANGULAR
17	580,06	177,27	TRIANGULAR
MUNIM	15.149,63	960,44	TRIANGULAR
PIRIÁ	5.544,52	2.005,07	TRIANGULAR
URU	1.135,75	430,45	RETANGULAR
21	480,77	168,38	RETANGULAR
22	424,54	239,71	RETANGULAR
23	71,68	57,18	RETANGULAR
24	161,46	80,37	TRIANGULAR
25	484,84	194,54	TRIANGULAR
26	312,85	147,36	RETANGULAR
27	166,54	95,40	TRIANGULAR
28	100,34	126,41	TRIANGULAR
TROMAÍ	1.172,04	549,32	TRIANGULAR

PINDARÉ	44.250,18	2.410,61	RETANGULAR
GRAJAÚ	27.354,06	2.072,07	RETANGULAR
32	1.638,25	960,99	RETANGULAR
33	378,93	253,05	RETANGULAR
34	844,16	507,25	TRIANGULAR
MARACAÇUMÉ	6.461,68	765,57	RETANGULAR
36	509,37	216,35	RETANGULAR
37	1.551,31	969,92	TRIANGULAR
38	153,28	143,56	TRIANGULAR
