

## **Inspeção geotécnica por método indireto de dutos na travessia do igarapé do Juaruna no município de Coari-AM**

Allan Coutinho Pereira <sup>1</sup>  
Willer Hermeto Almeida Pinto <sup>2</sup>  
Luiz Cláudio de Souza da Cunha <sup>1</sup>  
José Carlos Souza Alves <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Petrobras Transporte S.A.- TRANSPETRO  
Rua: São Luís, 624 - Adrianópolis  
CEP: 69057-250 - Manaus - AM, Brasil  
{allan.coutinho, luiz.cunha}@petrobras.com.br}

<sup>2</sup> LBR Engenharia e Consultoria LTDA  
Rua Genebra, 264 - 4º Andar - cj. 42 Bela Vista  
CEP 01316-010 - São Paulo- SP, Brasil  
willerhermeto.LBR@petrobras.com.br

### **Abstract.**

Perform routine pipeline inspection in Amazonia from Urucu to Manaus has been a challenge due to the difference in the region compared to other regions of Brazil, both the issue of displacement, distance and logistics, as the environmental aspect, if the forest, hydrography, indigenous groups and riverine populations around the track. Makes monitoring and controlling these ducts are constant, especially in the areas of crossings of watercourses, given the risk of a leak immediately cause, environmental impact and generate significant losses. Thus, the geophysical methods and GPR Sonar and Seismic Rasa, were employed for this type of inspection, the crossing of the stream of Juaruna, because it is an indirect method of investigation and for not providing environmental impacts. The results of this work show that using the methodology proposed for inspection of pipelines in conventional crossings is possible to identify the morphology and structures present in the channel bottom as erosion, rock outcrops, and identify objects present as tires, tree trunks, cables electric among others. In addition to mapping the possible low coverage of products and or even exposure and determine if it finds spans. All these active, natural or anthropogenic processes can compromise the integrity of the pipelines. Finally, the techniques used were of fundamental importance for detailing and monitoring of active processes in this watercourse

**Palavras-chave:** métodos geofísicos, dutos, integridade, geophysical methods, ducts, integrity

### **1. Introdução**

O processo de inspeção dos dutos na faixa Urucu-Coari-Manaus tem sido um desafio na Amazônia, devido às particularidades da região em relação às demais regiões brasileiras, tanto pela questão logística, quanto pelo aspecto ambiental e social, floresta, hidrografia, grupos indígenas e populações ribeirinhas no entorno da faixa. Faz com que o monitoramento e controle desses dutos sejam constantes, principalmente nas travessias dos cursos d'água, que são regiões suscetíveis a ocorrências geológico-geotécnicas,

É neste contexto que as inspeções nas travessias dos corpos d'água passam a ter grande importância para garantia da integridade dos dutos.

Desta forma, dois métodos geofísicos indiretos, Ground Penetrating Radar (GPR) e Sonar e Sísmica Rasa, foram empregados para esse tipo de inspeção, na travessia do igarapé do

Juaruna. Segundo Souza (2008), os estudos de terrenos submersos sejam para fins acadêmicos ou aplicados (construção de portos, barragens, marinas, hidrovias, pesquisa mineral, dutovia etc.), têm requerido, para a caracterização devida e segura das áreas, mais informações de subsuperfície que aquelas geradas pelos métodos convencionais de investigação (sondagens, testemunhagens ou amostragens). Conforme Souza (2006), os métodos geofísicos na investigação de áreas submersas rasas de superfície e de subsuperfície, os mais adequados para projetos de engenharia de localização de dutos enterrados são o GPR, Sísmica Rasa e o Sonar de Varredura Lateral.

Os rios são poderosos agentes fluviais capazes de erodir, transportar e de depositar sedimentos. Cada um desses processos está associado com as condições geomorfológicas específicas e a compreensão dos princípios físicos envolvidos, em cada caso é importante, quando se trata de tomar decisões em relação às questões ambientais, seja em termos de planejamento, gestão ou de engenharia (Novo, 2008; Cooke e Dornkamp, 1974).

O Igarapé do Juaruna está situado na faixa de duto Urucu-Coari, no estado do Amazonas. Neste trecho da faixa, este é o curso d'água com menor área de drenagem e menor extensão de talvegue, apenas 29,20 km, sendo sua bacia de drenagem apresentando forma arredondada. A Figura 1 mostra a localização da travessia do igarapé do Juaruna, bem como a sua bacia de drenagem ao longo da faixa de duto Urucu-Coari.

Esta travessia está localizada na Bacia do Solimões, com aproximadamente 450.000 km<sup>2</sup> no limite com as rochas de idade paleozoica e cuja área sedimentar recobre quase integralmente o estado do Amazonas (Reis *et al.*, 2006). Em relação ao domínio geomorfológico, a região encontra-se na porção do Tabuleiro da Amazônia Centro Ocidental, também denominada Depressão Amazônica (Ross, 1985). Esse domínio é representado por extensos tabuleiros de baixa amplitude de relevo (invariavelmente inferiores a 30 m), sulcados por rios meândricos de padrão predominantemente dendrítico e, episodicamente, treliça ou retangular, denunciando traços da tectônica neógena que afeta as rochas sedimentares da Bacia do Solimões. Segundo dados da EMBRAPA (2006), a maior parte dos solos da região próximo ao igarapé do Juaruna é composta de Argissolo Vermelho-Amarelo, variando com relação à ocorrência de caráter plúntico, aluminico, álico, distrófico e abruptico. E nas áreas mais próximo a planície de inundação os Gleissolos. Esses solos apresentam a textura entre argilosa e média.

Projetos de engenharia em áreas de travessias de corpos d'água, como no caso do lançamento de dutos rígidos submersos, necessitam de um conhecimento detalhado do fundo e sub-fundo dos rios, lagos e igarapés. A presença de obstáculos naturais e/ou antrópicos ou mesmo processos erosivos e zonas instáveis, podem comprometer a integridade do duto, causando riscos econômicos, como perda ou dano a equipamentos e danos ao meio ambiente e a sociedade (Cwik *et al.*, 2010).

A faixa Urucu-Coari tem três dutos que escoam Gás Natural, GLP e Petróleo provenientes do Pólo Arara, as características gerais destes três dutos estão descritas a seguir:

O D1 é um oleoduto de 14'' de diâmetro e espessura variando entre 0,250'' e 0,281'' (trechos de passagem de rios). Com 281,180 km de comprimento desenvolvido e aproximadamente 25.967 m<sup>3</sup> de volume. Na faixa de servidão que liga o Pólo Arara ao Terminal Aquaviário de Coari (TA COARI), no sentido Pólo Arara-Coari. Entre suas atividades, está o armazenamento e transferência de petróleo para o TA COARI e para navios-tanque.

O D3 possui 280 km de comprimento desenvolvido, 10'' de diâmetro nominal e espessura variando entre 0,250'' e 0,279'' (trechos de passagem de rios). O duto é responsável pelo transporte de GLP e permite operar apenas no alinhamento Urucu-Coari.

O gasoduto D2 liga o Pólo Arara a Coari, passando por diversas áreas intermediárias, como Cajual, Juaruna e Cutia. O gasoduto, que possui 278,8 km de comprimento e possui 18''

de diâmetro, é responsável pelo transporte do gás natural e permite operar apenas no sentido Urucu – Coari.

As travessias de rios podem ser feitas por meio de furo direcional, lançamento direto sobre o leito do rio ou cavalote, esta última utiliza elementos pré-fabricados, geralmente contendo trechos curvos utilizados freqüentemente em travessias enterradas de rios. No caso da travessia do igarapé do Juaruna, é do tipo tradicional cavalote.

Travessias são pontos importantes para monitoração e garantia da integridade de dutos, pois dependendo de fenômenos hidráulicos podem gerar trechos sobre vãos-livres, alteração do traçado original do duto ou vibrações. Estas alterações podem gerar elevados esforços mecânicos com carregamentos tanto estáticos quanto dinâmicos.

Esse trabalho teve como objetivo a aquisição de dados geofísicos de alta resolução, para o mapeamento das principais feições existentes no fundo e do subfundo da travessia do igarapé do Juaruna, visando identificar:

- cobertura dos dutos;
- condições dos dutos sob o leito do curso d'água e formações lacustres (trechos expostos ou em vãos livres, tipo de solo de fundação, situação da jaqueta de concreto, alças de deformação, e outros);
- dragagem;
- extração de areia.

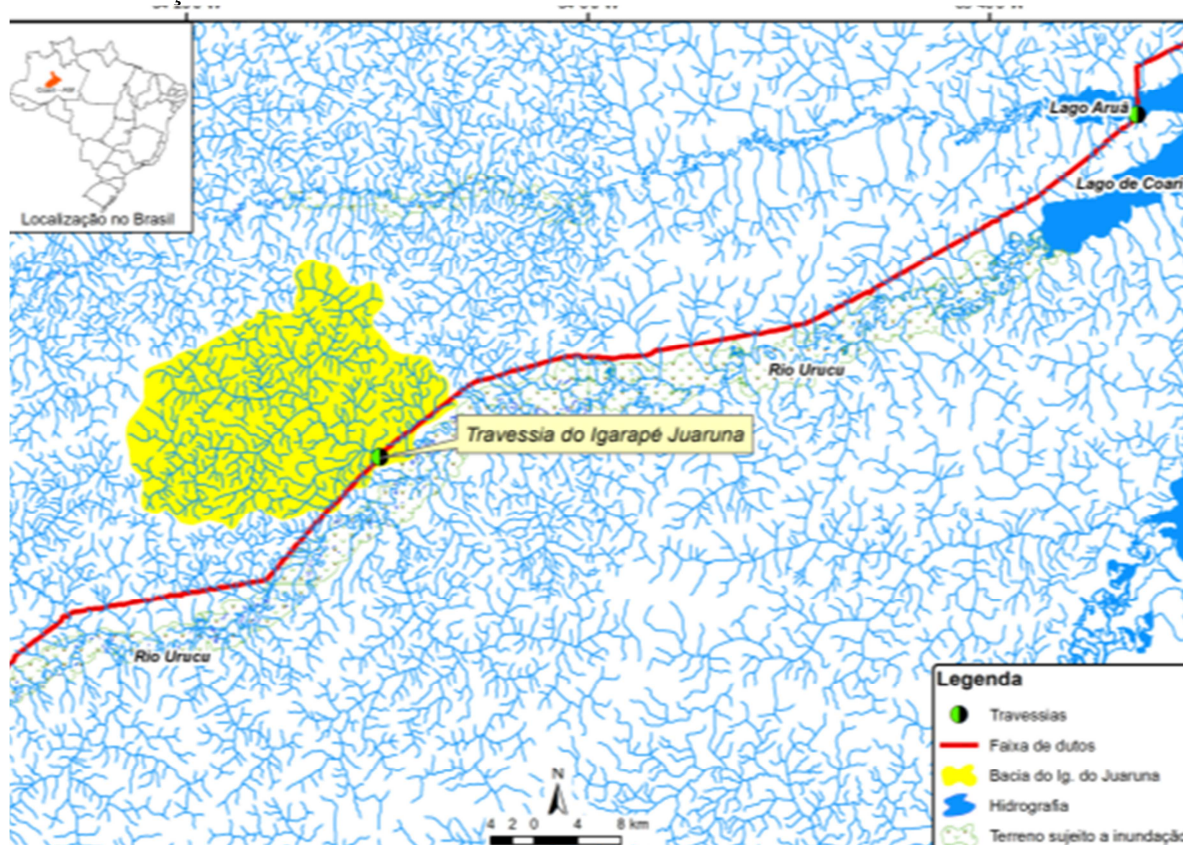


Figura 1- localização da travessia do igarapé do Juaruna na faixa de dutos Urucu-Coari

## 2 Metodologia

Os métodos geofísicos constituem um conjunto de ferramentas de investigação com aplicação, em especial, no estudo de áreas submersas rasas (áreas costeiras, rios, lagos e reservatórios), tendo em vista a natural inacessibilidade destes ambientes aos métodos de investigação convencionais. A investigação de áreas submersas, com qualquer que seja a finalidade, pode ser realizada de forma direta ou indireta. Dessa forma, esse trabalho foi realizado de forma indireta, utilizando Ground Penetrating Radar (GPR) e Sonar de Varredura Lateral e Sísmica Rasa.

O levantamento foi desenvolvido em dois períodos distintos, o primeiro corresponde ao levantamento feito com Ground Penetrating Radar realizado em 2013, o mapeamento dos dutos usando o método GPR foi realizado sobre a lâmina d'água e nas margens, essa investigação indireta e não invasiva, que se fundamenta na emissão e recepção de pulsos eletromagnéticos de altas frequências (1GHz a 25MHz) em subsuperfície. Para a identificação da continuidade dos eventuais dutos, foi estabelecida a realização de perfis paralelos entre si, equidistantes em 10m, dispostos transversalmente à Faixa de Dutos, possibilitando as demarcações das posições e profundidades das hipérbolas de difração correspondentes ao mesmo duto detectado.

O segundo período, realizado em 2014, foi utilizado de forma integrada os dados de recobrimento de sonar de varredura lateral e sísmica rasa com um perfilador de subsuperfície, também sobre a lâmina d'água e nas margens do igarapé. No levantamento sonográfico foi utilizado um sistema digital de sonar de varredura lateral modelo 4100/660P com sensor (towfish) 272 TD operando na frequência de 500 kHz. Neste levantamento foram utilizadas varreduras (range) de 25, 50 e 75 metros para cada lado da linha de navegação na travessia, proporcionando, desta forma, um recobrimento de 100% da área. A perfilagem sísmica registrou as condições de sub-superfície rasa do fundo da travessia do igarapé do Juaruna até uma penetração de 20 m. Os equipamentos utilizados na perfilagem sísmica foram um perfilador sísmico da SyQwest modelo Strata Box 3510 operando na frequência de 3.5-10 kHz e com resolução vertical de 6 cm.

## 3 Resultados e Discussão

De modo geral, as seções processadas e interpretadas oriundas do GPR apresentaram, basicamente, três feições características, as quais foram definidas como: Lâmina d'água; Sedimentos; Dutos subterrâneos ou submersos (D1, D2 e D3).

O emprego do método de GPR possibilitou a obtenção de seções contínuas em tempo real (distância percorrida x profundidade) dos perfis executados em campo denominados por radargramas, proporcionando o imageamento de alta resolução das estruturas e/ou feições em subsuperfície.

Na travessia do Igarapé do Juaruna foram observados 12 pontos com a menor cobertura e/ou provável exposição dos dutos. Em alguns perfis não foi possível detectar o sinal correspondente aos dutos e, portanto, observa-se nas tabelas como “não detectado = ND”. Os perfis ao longo da travessia que apresentaram possíveis exposições dos dutos estão apresentados na Tabela 1.

No caso da presença de dutos metálicos em subsuperfície, as feições observadas são caracterizadas por anomalias de forte reflexão do sinal GPR, devido ao valor da constante dielétrica (K) desses materiais que contrasta acentuadamente com o solo local, além de se apresentarem com configuração geométrica no formato de hipérbolas de difração. A Figura 2 mostra local com possível exposição do duto D3 ao longo da travessia do igarapé do Juaruna.

Tabela 1- Perfis com indício de provável exposição de dutos no igarapé do Juaruna

Margem Perfil	Duto 1 Profundidade	Duto 2 Profundidade	Duto 3 Profundidade	Coordenadas UTM	
				E	N
Direita-L1	0,8	0,8	0,6	369.550.614	9.513.819.651
Direita-L2i	0,8	0,6	0,6	369.557.722	9.513.825.953
Direita-L3	0,8	0,7	ND	369.564.172	9.513.832.927
Direita-L4i	ND	ND	0,6	369.570.054	9.513.840.388
Direita-L5	1,5	0,6	ND	369.575.936	9.513.847.848
Direita-L7	0,8	1	0,6	369.588.395	95.138.621.631
Direita-L8i	ND	0,6	1,6	369.595.047	9.513.868.945
Direita-L11	0,9	1	ND	369.615.002	9.513.889.293
Direita-L13	0,8	ND	ND	369.628.306	9.513.902.859
Esquerda-L1	0,8	0,8	0,9	370.000.103	9.514.322.910
Esquerda-L6i	ND	0,8	1,2	370.040.890	9.514.397.403
Esquerda-L7	1,6	1,6	0,6	370.048.045	9.514.412.824

A indicação de profundidade se refere ao nível abaixo da superfície de levantamento dos dados onde se localiza o duto, e, neste caso, é representado pelo valor em metros no eixo vertical da seção GPR. Como todo método geofísico, por ser de investigação indireta, a profundidade de investigação indicada nas seções e apresentadas nas tabelas são passíveis de incertezas e neste caso considera-se uma porcentagem de erro aceitável de 10%. Portanto, observa-se nessas tabelas que as profundidades indicadas dos dutos foram mapeadas na faixa de profundidade indicada e comentada para cada travessia.

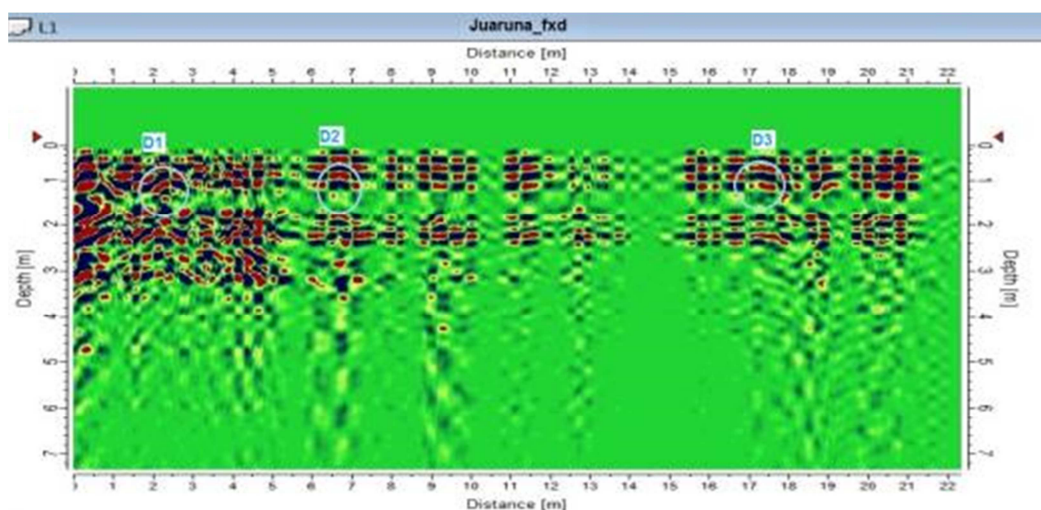


Figura 2- Perfil da margem direita do igarapé do Juaruna com baixa cobertura dos dutos.

A integração do levantamento do sonar e da sísmica rasa na travessia do igarapé do Juaruna foi possível obter a partir do primeiro refletor do dado sísmico (fundo fluvial) o mapa topobatimétrico, com o contorno das isóbatas e as cotas batimétricas observadas.

A partir das imagens de cada uma das linhas de sonar de varredura lateral, foi elaborado mosaico sonográfico representando a área levantada. Nos mosaicos sonográficos encontram-se identificados os trechos onde os dutos encontram-se provavelmente em superfície e/ou muito pouco soterrados. O critério utilizado para a identificação dos dutos aparentes teve como base os padrões sonográficos distintos - que caracterizam diferentes graus de reflexão acústica difusa (*back scattering*) provenientes do fundo submarino e dos dutos e/ou outros alvos antrópicos (cabos, toras de madeira etc).

Neste mosaico o duto aparente está representado por linha em verde D1. Já os alvos antrópicos encontram-se representados por linhas em amarelo. Os padrões sonográficos, interpretados a partir das imagens acústicas, foram posteriormente confirmados pelas interpretações sísmicas e devidamente integrados em mapas. No Igarapé Juaruna, em particular, foram observados padrões sonográficos associados a dutos aparentes em superfície no duto do D1 como mostra a Figura 3.

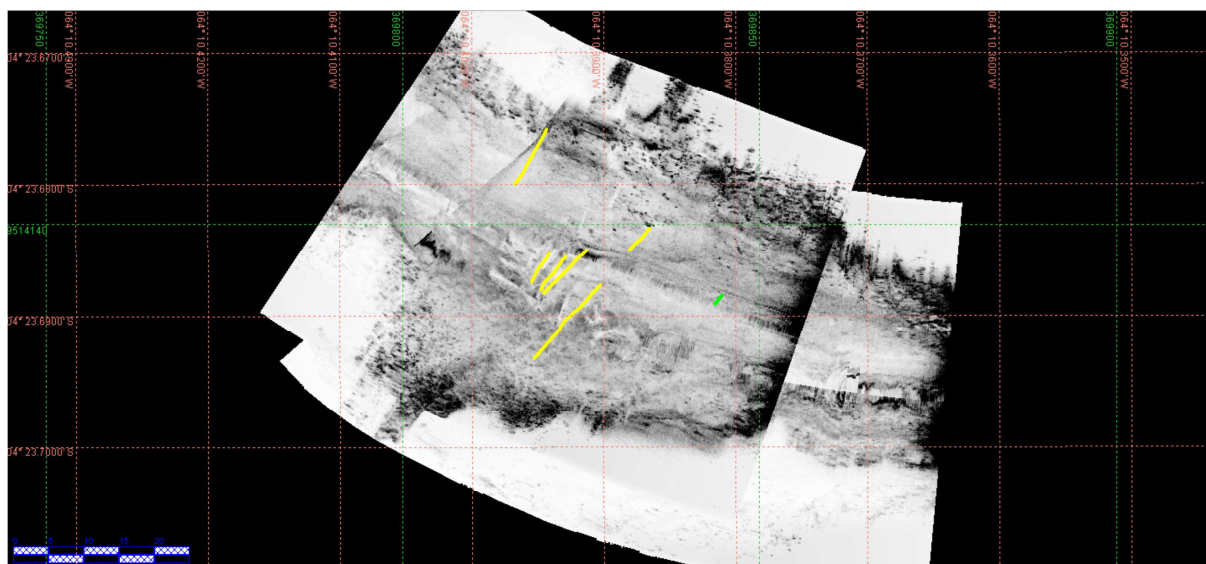


Figura 3 – Mosaico sonográfico do igarapé do Juaruna com exposição de duto D1 e alvos antrópicos.

#### 4 Conclusões

Os resultados dos métodos empregados para inspeção da referida travessia foram consoantes. Devido à incerteza inerente aos métodos indiretos, a aplicação de técnicas distintas complementares aumenta a exatidão dos dados fornecidos.

As diferenças entre os resultados das técnicas não podem ser imputadas a imprecisões ou erros dos métodos, pois foram aplicadas em épocas distintas, além disto, no período das ocorrências de chuvas intensas o nível da água, principalmente, nos igarapés quando as vazões de cheias provocam escoamentos cuja velocidade de deslocamento ultrapassa a capacidade dos solos do fundo e das margens, há modificação nas margens e no fundo do canal. Um melhor entendimento da dinâmica hidrológica e hidráulica desses canais pode ajudar na interpretação dos dados fruto das inspeções geotécnicas-geológicas das travessias.

Os resultados demonstraram o potencial do emprego dos métodos indiretos geofísicos não destrutivos para investigação dos dutos na área da travessia do igarapé do Juaruna. A

aplicação de dois ou mais métodos geofísicos aumenta a precisão Tanto o GPR quanto o sonar e a sísmica rasa se mostraram importantes e adequados para a localização dos dutos e os processos atuantes, exposição e cobertura sedimentar.

## **5 Referência Bibliográfica**

AYRES NETO – 2001 - Uso da sísmica de reflexão de alta resolução e da sonografia na exploração mineral submarina. Rev. Bras. Geof. vol.18 no.3 São Paulo.

CWIK, M. R.; MELO, A. C.; CEZAR, G. S.; PELLIZZARI, P. O. Integração de dados geofísicos e geológicos em Projetos de dutos rígidos submersos: análise dos Métodos de inferência espacial. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife - PE, 27-30 de Julho de 2010 p. 001 – 006

COOKE, R. U. & DOORNKAMP, J. C. Geomorphology In Environmental Management. 2a. Edição. Oxford, Oxford University Press, 1974.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2 ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

NOVO, E. M. L. Ambientes Fluviais. In: FLORENZANO, T. G. Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

REIS, Nelson Joaquim; ALMEIDA, Marcelo Esteves; RIKER, Silvio Lopes; FERREIRA, Amaro Luiz. Geologia e Recursos Minerais do Estado do Amazonas. Manaus: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2006.

ROSS, J.L.S. Relevo Brasileiro: uma nova proposta de classificação. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo nº 4. 1985, p. 25-39.

SOUZA, L. A. P. A investigação sísmica de áreas submersas rasas: Parte 1-Fundamentos e Demandas - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT. Boletim Sociedade Brasileira de Geofísica SBF | número 2, 2008.

SOUZA LAP. Revisão crítica da aplicabilidade dos métodos geofísicos na investigação de áreas submersas rasas. Tese de Doutorado. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 2006. 311p.