



O Leque submarino do Amazonas: primeiras evidências da organização deposicional do sistema turbidítico desde sua implantação *

Caldas, N.^{1.}; Silva, C.G.^{2.}; Reis, A.T.³

1- Bolsista ANP-Lagemar/UFF 2- Deptº de Geologia, Lagemar/UFF; 3-Faculdade de Oceanografia/UERJ. * Projeto financiado pelo CT-Petro e Programa Capes-Cofecub

Copyright 2008, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no III Simpósio Brasileiro de Geofísica, Belém, 26 a 28 de novembro de 2008. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do III SimBGF, mas não necessariamente representa a opinião da SBGF ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGF.

Abstract

The analysis of 2D seismic data allowed for the first time the investigation of the entire sequence of the Amazon deep-sea Fan. The deep-sea includes a series of seismic units with several channel-levees bodies disturbed by mass-movement deposits. Depocenters shifted many times, while the present-day morphology of the fan results from the last shift of the Amazon sedimentary input. High frequency and volume of mass-movement occurrence in the area suggest that a tectonic component (gravity tectonics) may represent an important triggering factor for sediment remobilization in the Amazon fan.

Introdução

O Leque submarino do Amazonas é uma proeminente feição sedimentar localizada no extremo oeste da margem equatorial brasileira, na Bacia da Foz do Amazonas, entre as coordenadas de 47° e 51° W e 0° e 6° N (Damuth *et al.*, 1983). Sua origem é atribuída ao soergimento da Cordilheira dos Andes, a partir do Mioceno Médio (aproximadamente 10 MA) (Hoom *et al.*, 1995). Com este evento, o rio Amazonas passa a desaguar no Oceano Atlântico, fornecendo expressiva carga sedimentar para a área, o que resultou na formação de um prisma progradacional siliciclástico entre o Mioceno e o Recente. O leque do Amazonas constitui um dos maiores sistemas turbidíticos alimentados por rios no mundo, englobando uma área aproximada de 160.000 km² (Damuth *et al.* 1988). O sistema turbidítico se estende por aproximadamente 700 Km mar adentro, desde o talude continental até cerca de 5000 m de profundidade, sendo considerado o terceiro maior leque turbidítico lamoso de águas profundas do mundo atual (Rimington *et al.*, 2000).

A porção superior do leque do Amazonas (até cerca de 3000 m de profundidade) foi alvo de estudos por parte da equipe do *Ocean Drilling Program* (Damuth *et al.*, 1988; Flood e Piper, 1995, entre outros) e posteriormente foi estudada por outros pesquisadores, como Silva *et al.* (1999) e Cobbold *et al.* (2004), com enfoque na

arquitetura do sistema turbidítico durante o Pleistoceno e Holoceno. O leque submarino do Amazonas exibe um complexo sistema de canais e diques marginais, que coalescem entre si e se interdigitam com depósitos de transporte de massa, segundo muitos autores, oriundos de instabilidades de fundo do talude continental durante épocas de transgressão marinha (Maslin *et al.*, 1998; Lopez, 2001) ou também oriundos de instabilidades de fundo induzidas por tectônica gravitacional (Ferreira *et al.*, 2008). Atualmente, o leque encontra-se inativo, coberto por uma capa centimétrica de sedimentos pelágicos (Damuth *et al.* 1988).

No entanto, embora seja conhecida a idade aproximada de implantação do sistema turbidítico do Amazonas (por volta de 10 Ma segundo Brandão e Feijó (1994), entre outros), permanecem inexploradas a evolução sedimentar e organização estratigráfica deste sistema turbidítico desde sua implantação no Mioceno superior. Assim, o objetivo deste trabalho é a investigação da arquitetura sedimentar do Leque Submarino do Amazonas desde o seu estabelecimento até o Holoceno, através da análise de dados sísmicos 2D e de poços de sondagem.

Metodologia

A análise sismoestratigráfica foi realizada utilizando-se seções de sísmica de reflexão multicanal (figura 1). Os dados aqui utilizados são provenientes do Projeto Leplac VI, que contam com linhas de caráter mais regional e de maior penetração de sinal sísmico; e da Empresa PGS/Gaia, caracterizadas por linhas de maior resolução relativa, concentradas na parte mais proximal do sistema (até cerca de 3.000 m de profundidade).

As linhas sísmicas foram interpretadas em meio digital, segundo os princípios gerais da estratigrafia sísmica (ex. Mitchum *et al.*, 1977a; Mitchum *et al.*, 1977b). Inicialmente, foram identificadas as principais seqüências sísmicas que compõem a seqüência marinha da bacia da Foz do Amazonas, focalizando principalmente a identificação de elementos-chave indicativos de implantação de sistemas turbidíticos, como canais-levees e depósitos de avulsão, tipicamente encontrados em sistemas turbidíticos ao redor do mundo (p.ex., Damuth *et al.*, 1988; Flood e Piper, 1995; Droz *et al.*, 2003; Posamantier, 2003; Mayall *et al.*, 2006). A partir deste

mapeamento, foram também gerados mapas de isópacas e de profundidade dos horizontes mapeados.

Resultados

A análise sísmica das seqüências marinhas da bacia da Foz do Amazonas permitiu a individualização de três seqüências sísmicas principais (figura 2), mapeadas segundo os seus atributos sísmicos: a seqüência basal **Sb** limitada no seu topo pelo refletor azul na figura 2, cujos refletores internos se apresentam paralelos/sub-paralelos entre si, com baixa-média amplitude e continuidade e alta freqüência. Esta seqüência possui espessura máxima de 2.1s; a seqüência intermediária **S2**, limitada no seu topo pelo refletor vermelho na figura 2, é caracterizada por refletores internos paralelos/sub-paralelos, de alta amplitude e continuidade e baixa freqüência das reflexões. Apresenta espessuras de até 1.2s; e finalmente, a terceira seqüência **S3**, que se desenvolve sobre o refletor vermelho (figura 2) até o fundo submarino atual. Trata-se da seqüência mais espessa da bacia da Foz do Amazonas (em segundos), atingindo cerca de 5.6 s de espessura. Sísmicamente, a seqüência é caracterizada por elementos arquiteturais típicos de um sistema turbidítico, como canais-diques marginais, como ilustrado na figura 3. Está seqüência corresponde ao estabelecimento do sistema turbidítico do Amazonas na bacia, sendo também responsável pela intensa progradação da margem.

Uma análise mais detalhada da seqüência **S3** permite a identificação de uma série de canais, *levees* ou diques marginais e depósitos de avulsão desde a base da seqüência **S3**. Contudo, há grande dificuldade para individualização dos sistemas turbidíticos canalizados (canal-*levees*) mais basais, provavelmente tanto devido à menor dimensão das feições nestes níveis estratigráficos, como também à baixa resolução relativa dos dados sísmicos disponíveis. As feições de canal-diques marginais foram agrupadas em diferentes conjuntos da base para o topo da seqüência **S3**, de acordo com suas dimensões e padrões de interdigitação, permitindo a visualização inédita da organização do sistema turbidítico do Amazonas e de seu padrão de migração lateral desde sua implantação até os dias de hoje (figura 3). Ao mesmo tempo, estes diferentes complexos encontram-se em geral separados por depósitos de transporte de massa (processo de remobilização sedimentar) de extensão e espessuras variáveis ao longo da coluna sedimentar.

Na porção mais basal da seqüência **S3**, observamos os primeiros traços de sistemas de canais-diques marginais. Tratam-se de feições sedimentares de pequeno porte e pouca continuidade lateral, devendo representar o processo incipiente da sedimentação turbidítica associada ao aporte fluvial pontual na bacia da Foz do Amazonas (sistema 1 na figura 3). Já na porção intermediária da seqüência **S3** são encontrados sistemas de canais-diques marginais mais claramente identificados e de maiores dimensões (sistemas 2, 3 e 4 na figura 3). Estas feições não mostram um claro padrão de distribuição e migração, embora pareçam migrar ora para NW, ora para SE. É na região mais próxima ao topo da seqüência que encontram-se os grandes sistemas, com

canais que apresentam maior empilhamento vertical dos refletores (agradação do canal) e diques marginais bem desenvolvidos e com boa continuidade lateral (do sistema 5 ao 8 na figura 3). Na porção mais superior do registro sedimentar pode-se observar um conjunto de sistemas de canais-diques marginais que representam a porção mais axial do atual Leque Submarino do Amazonas (canais atual, 2, 3, 4 e 5). A partir do sistema 5, os canais-diques marginais apresentam um padrão mais claro de migração, tendendo predominantemente para NW, e estão representados na batimetria atual do fundo submarino (figura 1).

Os diversos sistemas de canais-diques marginais descritos acima encontram-se, via de regra, recobertos por unidades sísmicas caóticas e/ou transparentes e descontínuas lateralmente. Estes atributos sísmicos são compatíveis com depósitos de massa, indicativos de processos de remobilização de massa de origem gravitacional. No entanto, estas unidades caóticas apresentam diferentes espessuras e distribuição lateral ao longo da seqüência **S3**. Nas regiões laterais do registro (extremo noroeste e extremo sudeste da área) são observados grandes depósitos de massa e/ou seqüências remobilizadas, que contrastam com o caráter mais discreto dos depósitos que se encontram entre os sistemas de canal-diques marginais na região mais central do leque, estes por sua vez também diferenciados na coluna sedimentar (unidades em verde claro na figura 4).

Discussão e Conclusões

Este trabalho possibilitou, pela primeira vez, a visualização do conjunto do sistema turbidítico do Amazonas, ilustrando sua arquitetura de primeira ordem e a complexa dinâmica de deposição fortemente influenciada por depósitos de transporte de massa. Contudo, trata-se de um mapeamento de primeira ordem e uma série de questões permanecem em aberto.

Na bacia da foz do Amazonas foram identificadas três principais seqüências sísmicas: a seqüência basal **Sb**, recobrendo o embasamento; a seqüência intermediária **S2**, e a seqüência superior **S3**. No entanto, não dispomos de dados cronoestratigráficos até o momento. A seqüência **S2** parece corresponder à Megasseqüência Paleoceno-Mioceno Médio descrita por Silva *et al.* (1999); enquanto a seqüência superior **S3**, relacionada ao provável início de desenvolvimento do sistema turbidítico do Amazonas na bacia, corresponde provavelmente à Megasseqüência Mioceno Superior-Recente de Silva *et al.* (1999), com idade de aproximadamente 10 Ma. Dados cronoestratigráficos são essenciais para a devida calibração temporal dos eventos deposicionais

Os sistemas de canais-diques marginais que caracterizam a seqüência superior **S3** têm suas dimensões variáveis ao longo da coluna sedimentar. De modo geral, sistemas mais incipientes marcam a base da seqüência, enquanto sistemas gradativamente de maiores dimensões e mais desenvolvidos estão presentes para o topo da seqüência. Tomando como

exemplo diversos sistemas turbidíticos (p. ex., Pirmez e Inram, 2003), onde o tamanho das feições de fluxo canalizado (canal-dique marginal) tende a diminuir nas porções mais distais dos sistemas turbidíticos, o padrão observado na área de estudos indica provavelmente a deposição de sistemas mais distais na base da seqüência **S3**, sendo recobertos por sistemas de canais marginais gradativamente mais proximais (figura 3)

Por outro lado, freqüentes ocorrências (e de grande volume) de depósitos gravitacionais são observadas no leque submarino do Amazonas. Em sistemas turbidíticos, o disparo dos processos de instabilidade de fundo têm sido com freqüência relacionados a aumento da pressão intersticial de depósitos assentados em regiões de alto gradiente do fundo submarino, induzidos por elevações glacio-eustáticas - elevação do nível do mar - e aumento de espessura da coluna d'água (ex: Stow et al., 1996). Contudo, o leque turbidítico do Amazonas é também afetado por eventos de tectônica gravitacional (*gravity tectonics*). Esta modalidade de deformação resulta no deslizamento de espessas seqüências sedimentares sobre um nível basal de destacamento (Silva et al., 1999; Oliveira 2005; Perovano et al., 2008). Ferreira et al. (2008) sugere parecer existir um seqüenciamento entre *tectônica gravitacional* (translação e/ou rotação de cobertura sedimentar envolvendo um nível basal de *décollement*) e *fluxos gravitacionais* (deslizamentos e fluxos de detritos induzidos por instabilidade de pacotes sedimentares mais superficiais). Deste modo, os depósitos de transporte de massa observados na área podem ser oriundos tanto de eventos típicos de término de um ciclo de rebaixamento relativo do nível do mar e carreamento de correntes canalizadas para a bacia mais profunda, ou decorrentes da ocorrência de tectônica gravitacional que poderia atuar como fator suplementar para a indução de processos de remobilização sedimentar no Leque Submarino do Amazonas.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro fornecido pela Agência Nacional do Petróleo (ANP) que financia a bolsa do primeiro autor e ao apoio financeiro do CT-Petro/CNPq e do Programa Capes-Cofecub. Agradecemos também as linhas sísmicas cedidas pelo Projeto LEPLAC VI e pela empresa PGS/GAIA.

Referências (Arial Bold, 9) Veja normas da RBGf

- Brandão, J.A.S.L. & Feijó, J. 1994. Bacia da Foz do Amazonas. Boletim de Geociências da Petrobrás, 8: 91-98.
- Damuth, J.; Kowsmann, R.O., Flood, R.D., Belderson, R.H. & Gorini, M.A., 1983. Age Relationships of Distributary Channels on Amazon Deep-sea Fan: Implications for Fan Growth Pattern. *Geology*, 11:470-473.
- Damuth, J. E., Flood, R. D., Kowsmann, R. O., Belderson, R. H & Gorini, M. A., 1988. Anatomy and Growth Pattern of the Amazon Deep-sea Fan as Revealed by Long-Range Side-Scan Sonar (GLORIA) and High - Resolution Seismic Studies. *AAPG Bulletin*, 72: 885 - 911.
- Droz, L.T., Ondréas, H., Lopez, M., Savoye, B. & Spy-Anderson, F.L., 2003. Architecture of an active mud-rich turbidite system: the Zaire Fan (Congo-Angola margin southeast Atlantic): Results from ZaiAngo 1 and 2 cruises. *AAPG Bulletin*, V.87, 7:1145-1168.
- Ferreira, E., Silva, C. G., Reis, A. T., Pederneiras, R. L., Perovano, R., Gorini, C. & Vendeville, B. 2008. Movimentos de massa induzidos no Leque Submarino do Amazonas: o papel da tectônica gravitacional. III Simpósio Brasileiro de Geofísica da SBGf, Belém, 2008.
- Flood, R.D., Piper, D.J.W. & Klaus, A., 1995. Shipboard Scientific Party, 1995. Proceedings of The Ocean Drilling Program, Scientific Results, Vol 155, College Station, TX.
- Hoorn, C., Guerrero, J., Sarmiento, G.A. & Lorente M.A., 1995. Andean tectonics as a cause for changing drainage patterns in Miocene northern South America. *Geology*, March, 23(3):237-240.
- Lopez, M., 2001. Architecture and depositional pattern of the Quaternary deep sea fan of the Amazon, *Marine and Petroleum Geology* 18: 479-486.
- Mayall, M., Jones, E. & Casey M., 2006. Turbidite channel reservoirs – key elements in facies prediction and effective development. *Marine and Petroleum Geology* 23: 821-841.
- Maslin M.A.; Mikkelsen, N.; Vilela, C.; Haq, B., 1998. Sea Level Controlled Catastrophic Sediment Failures of the Amazon Fan. *Geology*, 26:1107-1110.
- Mitchum, R.M., Vail, P.R. & Sangree, J.B. 1977a. Seismic Stratigraphy and global changes of sea level, part 7: Seismic stratigraphy interpretation procedures. In: C.E. Payton (editor), *Seismic Stratigraphy: Application to hydrocarbon Exploration*. AAPG Memoir 26:135-143.
- Mitchum, R.M., Vail, P.R., Sangree, J.B. 1977b. Seismic Stratigraphy and global changes of sea level, part 6: Seismic stratigraphy interpretation procedures. In: C.E. Payton (editor), *Seismic Stratigraphy: Application to hydrocarbon Exploration*. AAPG Memoir 26:117-133.
- Oliveira, V. 2005. A tectônica gravitacional no Cone do Amazonas: compartimentação estrutural e mecanismos controladores. Dissertação de Mestrado. Lagamar - Universidade Federal Fluminense-UFF. 83 p.
- Pirmez, C. & Imran, J., 2003. Reconstruction of turbidity currents in Amazon Channel. *Marine and Petroleum Geology*, 20:823-849.
- Perovano, R.J, Reis A.T, Silva, C.G, Vendeville, B.C, Gorini, C., Ferreira, E. & Mattioda, J. 2008 A Tectônica gravitacional na Bacia da Foz do Amazonas - Leque Submarino do Amazonas: estruturação de um sistema gravitacional sob influência de múltiplos níveis de

destacamento. III Simpósio Brasileiro de Geofísica. *Abstracts*, mesmo volume.

Posamentier, H. W., 2003. Depositional elements associated with a basin floor channel-levee system: case study from the Gulf of Mexico. *Marine and Petroleum Geology* 20: 677-690.

Rimington N.; Cramp, A. & Morton, A., 2000. Amazon Fan sands: implications for provenance. *Marine and Petroleum Geology*, 17: 267-284.

Silva, S.R.P., Maciel, R.R. & Severino, M.C.G., 1999. Cenozoic tectonics of Amazon Mouth Basin, *Geo-Marine Letters*, 18: 256-262.

STOW, D. A. V., READING, H. G. & COLLINSON, J. D. 1996. Deep Seas. In: *Sedimentary Environments: Processes, Facies, and Stratigraphy*. **Blackwell Science**. p. 395-453.

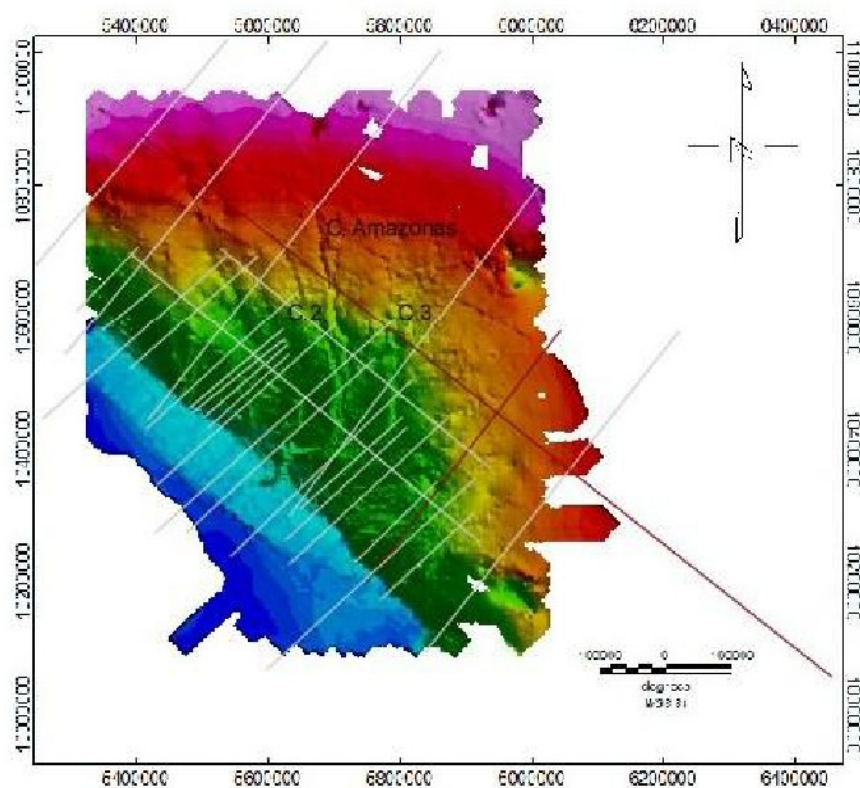


Figura 1: Mapa batimétrico da área, com a malha de dados sísmicos utilizada neste projeto. Em vermelho, as linhas Leplac VI L022 (dip) e L028 (orientação strike).

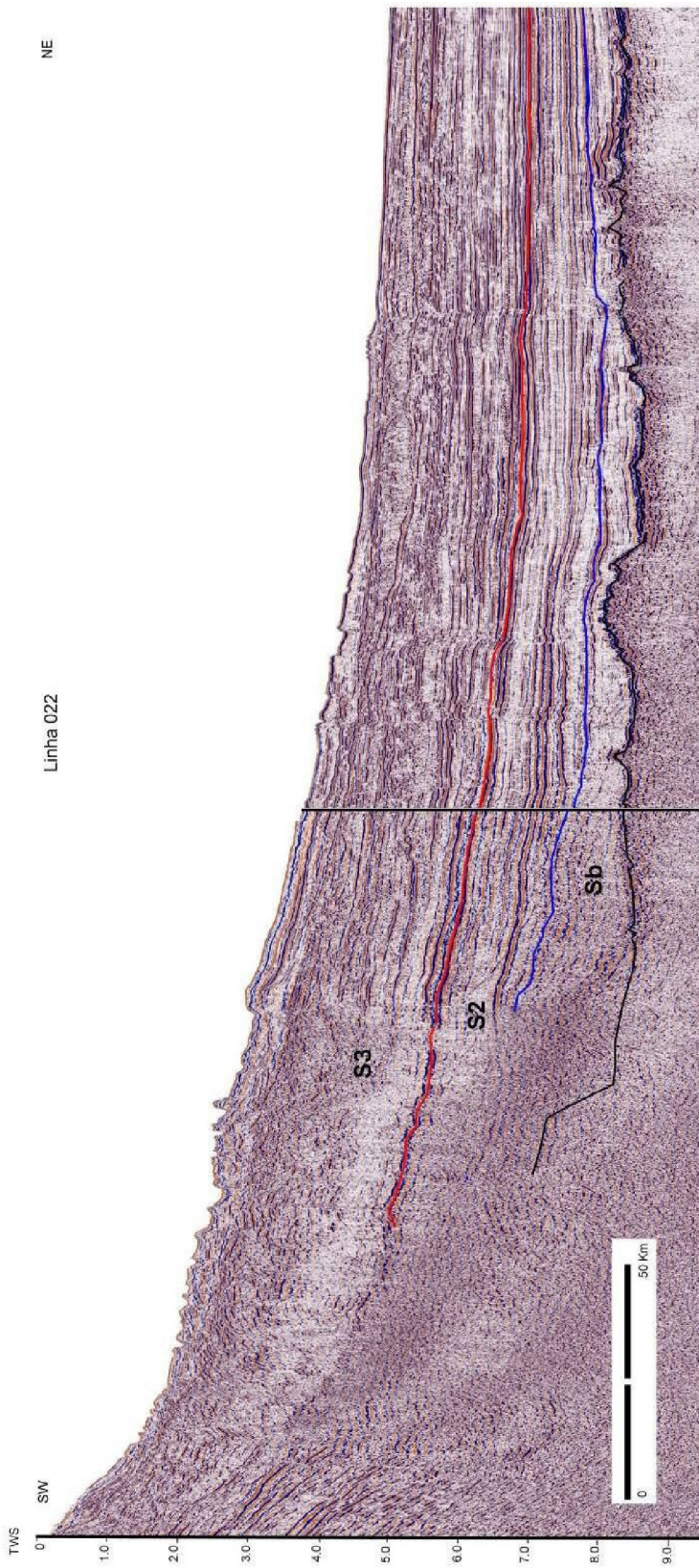


Figura 2: Linha sísmica Leplac (L022) ilustrando as principais seqüências sísmicas mapeadas na bacia da Foz do Amazonas. Localização na figura 1.

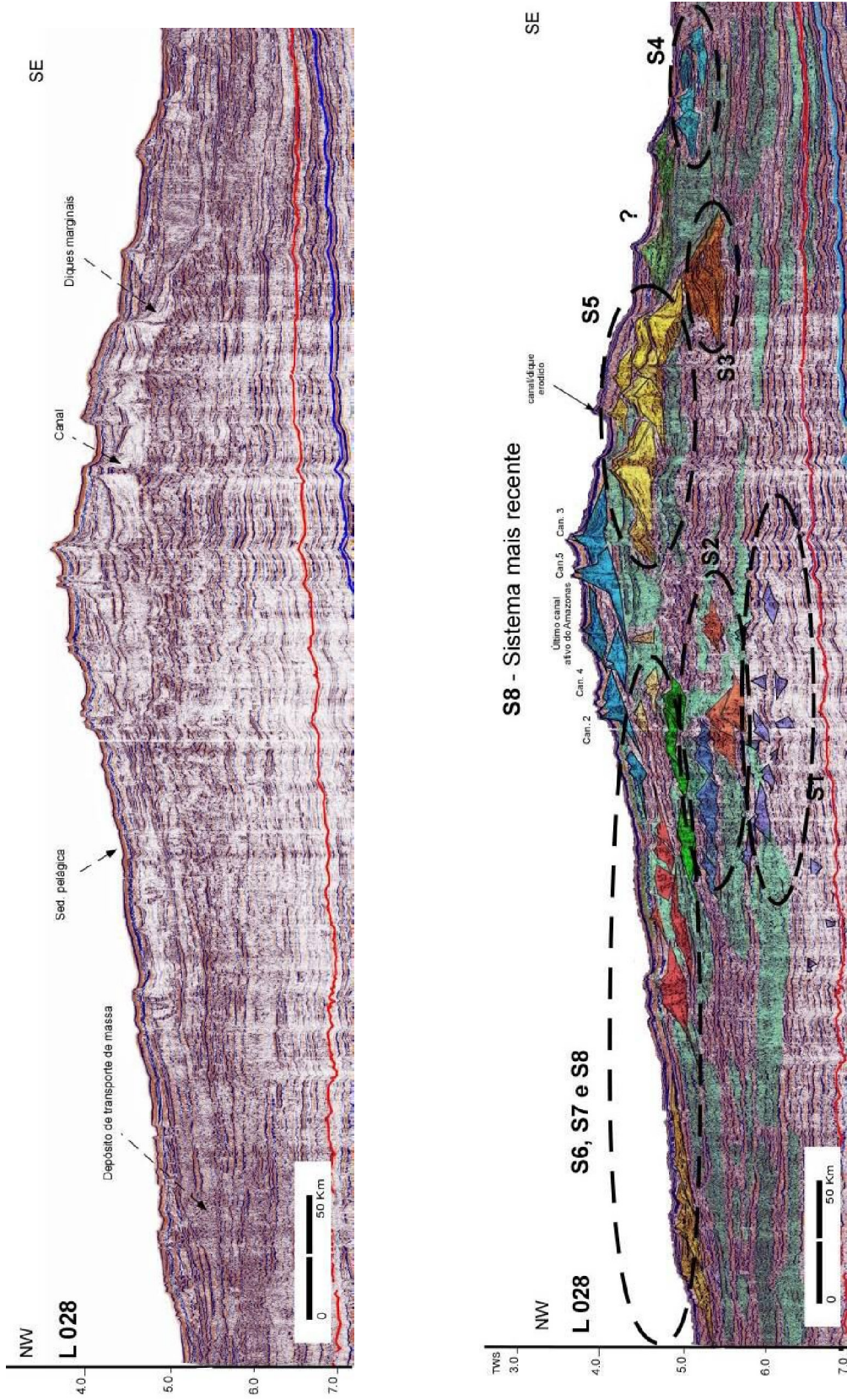


Figura 3: A- Linha sísmica Leplac (L028) não interpretada. B- Linha sísmica interpretada ilustrando o padrão de organização sedimentar do Leque submarino do Amazonas desde a sua implantação há cerca de 10 Ma. Localização na figura 1.