

## Interpretação 2D de linha sísmica na Bacia Pará-Maranhão.

Joana Nogueira da Cruz , Graduação UFF, Brasil.  
Cleverson Guizan , UFF, Brasil.

Copyright 2009, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 11<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, August 24-28, 2009.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 11<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

### Abstract

This work aims to interpret the gravity-sliding tectonics that occurs in the Pará-Maranhão (PAMA) Basin, located in the Brazilian Equatorial Margin. This basin is considered a frontier area, in which there is a lack of studies about their structural evolution that controls the formation of traps, associated with gravity-sliding tectonics. This tectonics is responsible for major structures that could trap large hydrocarbons accumulations. Thus, their knowledge is very important for understanding the petroleum system in PAMA basin. The 2D seismic interpretation of the LEPLAC's survey has helped to identify some of these structural traps as well as associate them to the main detachment surface. It was also pointed a very characteristic feature in the basin that is related to gravity deposits originated by sediments and sedimentary rocks that came from the continental shelf that in some cases were reworked by ocean contour currents creating a series of paleocanyons in the basin.

### Introdução

As bacias sedimentares da margem continental da costa norte brasileira, conhecida como Margem Equatorial, são pouco estudadas se comparadas com as bacias da costa sudeste (ex. Santos e Campos). Esse fato é observado pela quantidade de levantamentos sísmicos e de poços perfurados.

A evolução tectono-estratigráfica dessas bacias é diferente daquelas tipicamente extencionais, como por exemplo a Bacia de Campos. Nas bacias da Margem Equatorial são identificadas estruturas com componentes compressivos e transcorrentes (Szatmari et al, 1987). Em especial na Bacia do Pará-Maranhão (PAMA) pode-se identificar diversas estruturas chamadas por Zalán (2001) de *gravitational-folding-and-trust belts*. Em relação a estratigrafia, a ocorrência da plataforma carbonática que vai do Cretáceo Superior até o Recente, configura uma feição características, principalmente nas Bacia de Barreirinhas (BAR) e de Pará-Maranhão (Zanotto e Szatmari, 1987; Milani et al. 2001).

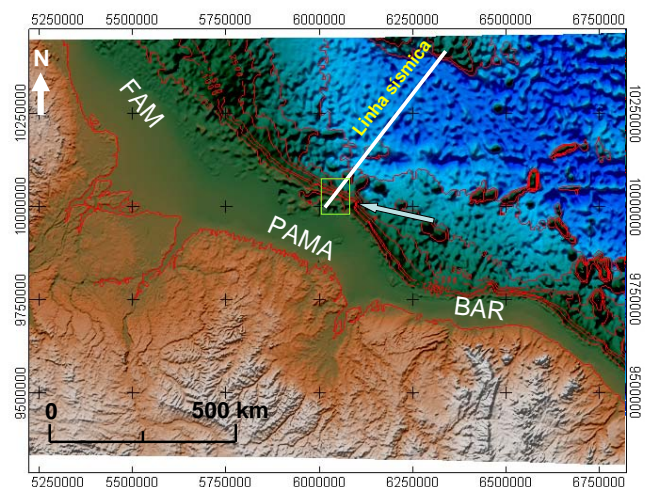
Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo mostrar os primeiros resultados obtidos a partir da interpretação de uma seção sísmica 2D na Bacia do PAMA, onde identificou-se principalmente as estruturas

zona de deslizamento, áreas com a incidência de zonas de empurrão e presença de possíveis paleocanais.

A Bacia do PAMA está localizada na Margem Equatorial (Figura 1), em frente aos estados de Pará e Maranhão, entre os meridiano 47° e 44° oeste uma área total de 50.000 Km<sup>2</sup>.

Não existe um consenso quanto a área total da bacia, Brandão e Feijó (1994) indicam uma área de 48.000km<sup>2</sup>, Cainelli (1985), defende que a Bacia Pará-Maranhão teria uma área total de 80.000km<sup>2</sup>, sendo 54.000km<sup>2</sup> de plataforma de embasamento raso e 26.000km<sup>2</sup> de área prospectável, se for incluída a porção do embasamento raso. Zanotto e Szatmari (1987) comentam que a bacia é limitada a NE pela cota batimétrica de 200m e a SE pela Bacia de Barreirinhas, a NW pela Bacia da Foz do Amazonas e a SW pelo embasamento raso da plataforma do Pará-Maranhão, cobrindo uma área de 25000 km<sup>2</sup> totalmente submersa.

A área de estudo abrange em grande parte a borda da plataforma continental e talude, onde é possível identificar um intervalo com ocorrência de falhas de empurrão e dobras, bem como algumas feições que possivelmente estão associadas com correntes de fundo marinho, modificando a deposição e sedimentação da bacia.



**Figura 1.** Localização da área de estudo (área verde indicada pela seta). FAM (Bacia da Foz do Amazonas), PAMA (Bacia Pará-Maranhão) e BAR (Bacia de Barreirinhas).

### Contexto Geotectônico da Bacia Pará-Maranhão

De acordo Françolin e Szatmari (1987) a formação das bacias da margem equatorial ocorreu durante a separação dos continentes Sulamericano e Africano com tendência a movimento divergente E-O, apresentando suas primeiras evidências no Jurássico Superior. A bacia experimentou vários estágios tectônicos (Zanotto e Szatmari, 1987), tendo sua formação iniciado durante o Jurássico Superior, quando a área encontrava-se próxima à parte ocidental da África. Posteriormente ocorreram esforços compressoriais durante o Cretáceo Inferior (Neocomiano), gerando amplos e suaves altos ENE-WSW. Esses esforços tem sua origem devido a rotação horária da Placa Sul-Americana em relação à África, que segundo Rabnowitz e LaBrecque (1979), no início da separação o movimento divergente a norte era menor que a sul, ocasionando rotação no sentido horário. Ainda no Cretáceo Inferior, ao final do andar Alagoas, ocorreram esforços extensionais relacionados à abertura do Atlântico Sul, que segundo Zanotto e Szatmari (1987), estariam ocorrendo os primeiros registros sedimentares da bacia, com deposição de sedimentos clásticos, que podem ser observados em grábens e semigrábens. Esse evento rifte continuou até o Albiano, sendo também observado nas outras bacias da margem equatorial brasileira. Com a contínua separação dos continentes, durante o Albiano Superior ao Cenomaniano, desenvolveu-se uma plataforma carbonática. Finalmente, do Cretáceo Superior ao Neógeno, onde prevalece a fase de deriva continental, houve deposição de uma extensa plataforma carbonática, que para águas profundas prograda para folhelhos marinhos, sendo conhecida como Grupo Humberto de Campos.

### Contexto Estratigráfico da Bacia Pará-Maranhão

O preenchimento sedimentar desta bacia está relacionado a diferentes fases tectônicas: *rift*, transicional e deriva continental. A Bacia do Pará-Maranhão apresenta nos seus registros conhecidos mais antigos de idade Albiana, representada pela Formação Canárias associado ao evento *rift*, sendo constituída por sedimentos lacustre, nerítico fluvio-deltaico.

A fase de transição é representado pela Formação Caju que se estende desde o Albiano até Cenomaniano, com sedimentação nerítico a restrito.

Finalmente, a fase de deriva representado pela Grupo Humberto de Campos (Formação Travosas, Formação Areinhas e Formação Ilha de Santana), ocorrendo em ambiente abissal, batial e nerítico. A Formação Travosas ocorre desde o Cenomaniano até o Mioceno, a Formação Areinhas possui idade Cenomaniano até o Pleistoceno e a Ilha de Santana vai do Campaniano/Maastrichtiano até Pleistoceno.

### Método

A metodologia aplicada neste estudo envolve a confecção de mapa batimétrico regional, utilizando o *software Geosoft* com base de dados do ETOPO 2. A interpretação da uma seção sísmica 2D (Figura 1) do levantamento do LEPLAC

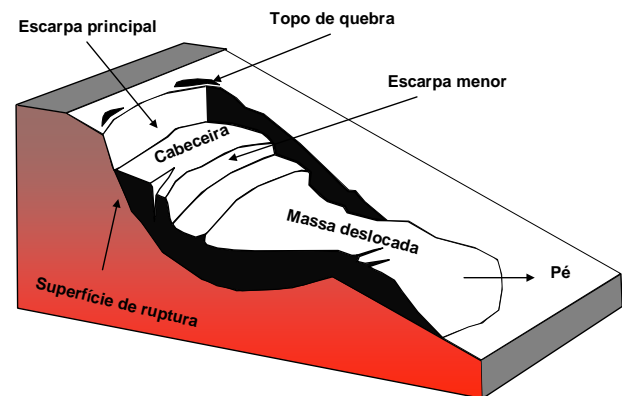
(S0.M.B999.P0521.E0501.L003) foi realizada com auxílio do *software Kingdom*.

### Interpretação

A interpretação geológica e geofísica da seção permitiu identificar feições estruturais e sedimentares, divididas em três regiões (Figura 3) neste estudo.

O talude continental da bacia situa-se em média situa-se nas isóbatas de 80m a 3400m e a variação de inclinação varia de 3° a 8°, podendo chegar a 16° na sua porção superior. Os cânions que escavam o talude alinham-se preferencialmente na direção NE-SW (Tanaka, 2006).

Na área 1 (Figura 3) pode-se identificar um deslizamento de massa no talude, em que provavelmente ocorreu em tempo recente, sendo evidente a identificação de sua escarpa, bem como a zona de deslizamento, porém sua área de depósito não foi possível visualizá-la (Figura 4). As feições típicas de deslizamento submarinos denominadas por Varnes (1978) são: escarpa principal, ocorrida na parte superior da ruptura, pequenas escarpas e o local onde há uma resistência ao movimento de massa.



**Figura 2:** Esta figura exemplifica feições típicas de deslizamento submarino. Varnes (1978) modificado por Hampton (1996)

Já a área 2 (Figura 3) identifica-se feições estruturais controladas pela tectônica *gravity sliding* que geram um sistema de falhas de empurrões e dobras que poderiam ser importantes trapas para acumulação de hidrocarbonetos. Na figura 5 observa-se a zona de descolamento (linha verde) em que parte de um bloco sedimentar, com limite superior identificado pela linha azul, deslocou-se para seções mais profundas gerando diversas falhas de empurrão e dobramentos na frente do bloco (linhas amarelas). O limite superior do bloco gerado pela tectônica *gravity sliding* foi interpretado utilizando marcadores estratigráficos de mudança relativa do nível do mar – *onlap* e *downlap* sendo reconhecidos na seção sísmica. Desta forma foi possível inferir a existência de dois principais eventos responsáveis pela configuração da área 2 em destaque (Figura 5). O primeiro está relacionado à fase gravitacional que gerou uma falha normal de grande rejeito, onde através da superfície de descolamento toda camada desce ocasionando falhas de

empurrão e dobras na frente do bloco. Neste mesmo evento houve um soerguimento na frente deste bloco e uma depressão na parte traseira do bloco, possibilitando a geração de espaço de acomodação. O segundo evento está relacionado com a deposição sedimentar na zona de acomodação, tal superfície pode ser mapeada utilizando as terminações do *down lap* sobre o limite superior do bloco (Figura 5 - linha azul).

Na área 3 (figura 6) pode-se identificar feições de canais que pode ser interpretada como de origem de fluxo de turbidez que percorreram a região mais distal da bacia escavando o substrato. Tanaka 2006, interpreta essas feições como sedimentos retrabalhados por correntes de contorno que formam canais com depósitos sedimentares tipo *levees*.

### Conclusão

As interpretações da linha do LEPLAC possibilitaram a identificação algumas trapas, bem como associá-las as principais zonas de descolamentos, onde acredita-se que estejam associadas a uma sequência de folhelhos que possibilitaria o descolamento entre a sequência onde predomina a tectônica *gravity sliding* da sequência da que não ocorre. Outro fato que merece destaque foi a possibilidade de separar a configuração atual da região de descolamento em dois grandes eventos, bem como identificação de deslizamentos submarinos de massa e presença de feições de canais. Esses canais podem ter sido originados talvez pelos dois processos em conjunto, onde os depósitos originados por correntes de turbidez tenham descido pelo talude e depositado na bacia oceânica e posteriormente correntes de contorno tenham gerados feições de canais onde pode-se inclusive identificar feições de *levees*.

### Acknowledgments

Agradecemos a CNPQ pelo incentivo financeiro, aos geólogos da PETROBRAS Victor Hugo Pinto, Fabio Bagni e Arnaldo Tanaka pelos esclarecimentos.

### References

**A. Tanaka.** Interação entre os processos gravitacionais e a ação das correntes de fundo no talude continental da bacia Pará-Maranhão no Neogeno, 2006.

**E.J. Milani, J.A.S.L. Brandão, P.V. Zalán & L.A.P. Gamboa.** Petróleo na Margem Continental Brasileira: Geologia, Exploração, Resultados e Perspectivas. Brazilian Journal of Geophysics, Vol. 18(3), 2000.

**J. B. L.Françolin, P. Szatimari.** Mecanismo de rifteamento da porção Oriental da Margem Norte Brasileira. Revista Brasileira de Geociências. Vol.17(12). p.196-207, 1987.

**J.A.S.L. Brandão, F.J. Feijó.** Bacia do Para-Maranhao. Boletim de Geociências. Vol.8 (1), p. 101-102, 1994.

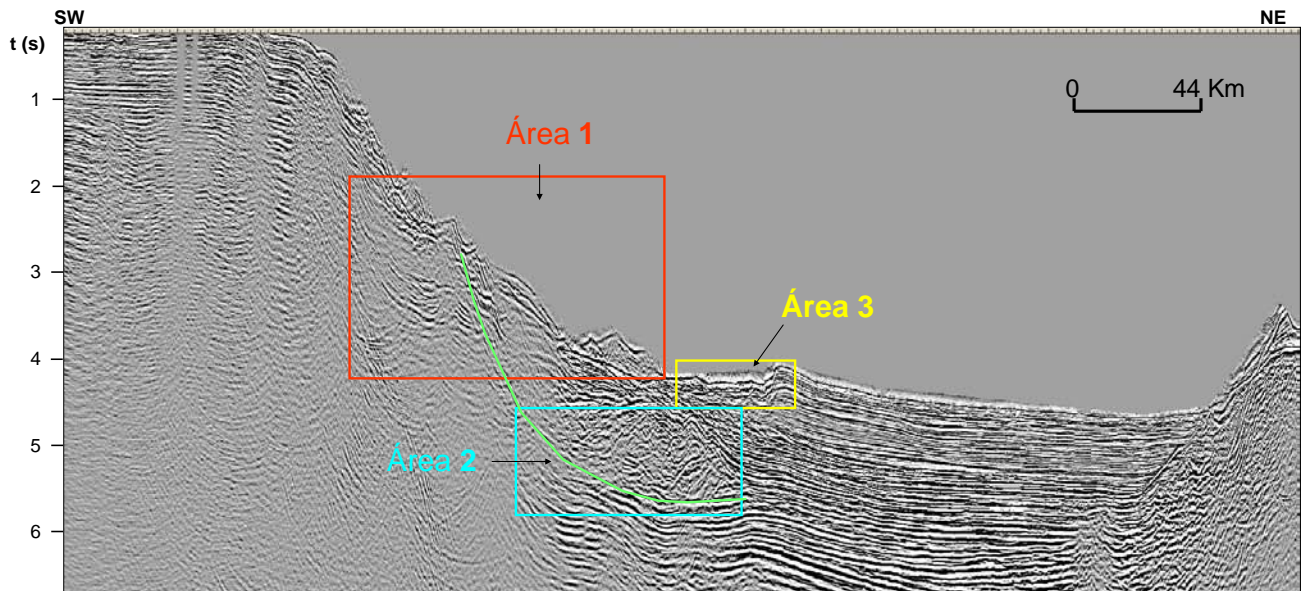
**O. Zanotto, P. Szatmari.** Mecanismo de Rifteamento da Porção Ocidental da Margem Norte Brasileira, Para-Maranhão. Revista Brasileira de Geociências. Vol.17 (2), p.189-195, 1987.

**J. B. L.Françolin, P. Szatmari., O. Zanotto, S. Wolff.** Evolução Tectônica da Margem Equatorial Brasileira. Revista Brasileira de Geociências. Vol.17 (2), p180-188, 1987.

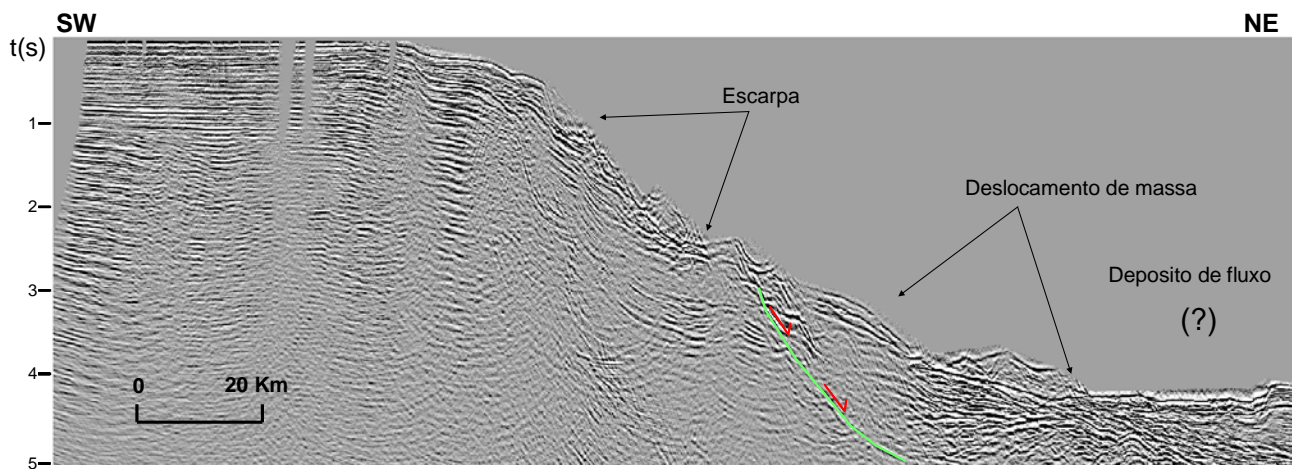
**Hampton,M.A; Lee,H.J; Locat,J.** Submarine Landslides. *Reviews of Geophysics*, 34, pages 33-59, 1 / February 1996.

**Varnes, D.J.** Slope movement types and processes. *Land-slides – Analysis and Control*, edited by R. L. Schuter and R.J. Krizek. .Spec. Rep.176, pp.12-33, Transp. Res. Board, Natl. Res. Council.,Washington, D. C.,1978.

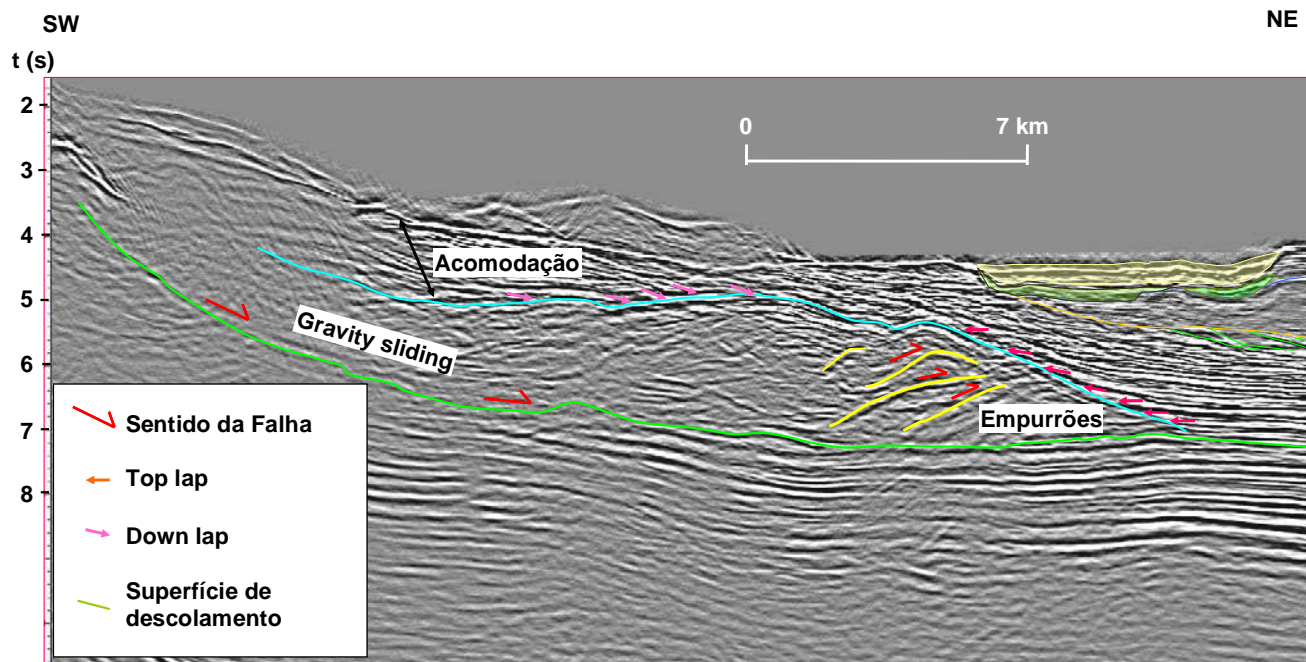




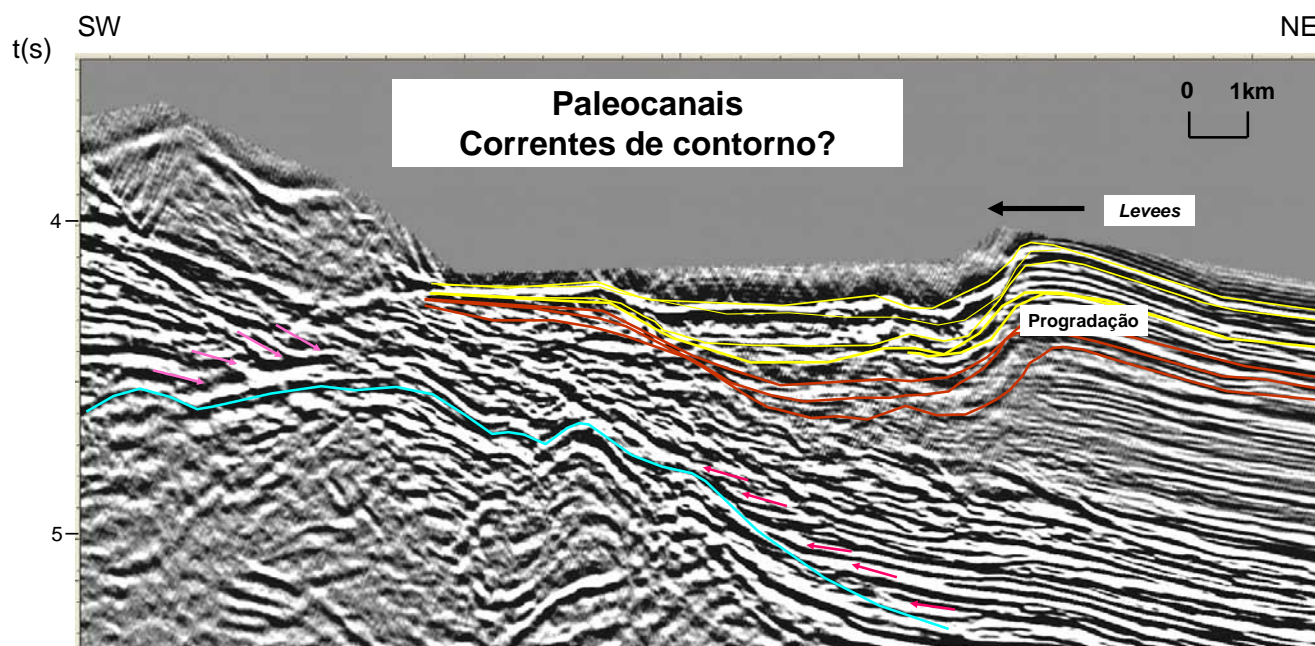
**Figura 3:** Seção sísmica 2D regional da Bacia do Pará-Maranhão apresentando localização regional da área de estudo, bem como as áreas detalhadas no decorrer do trabalho. Área 1 : fluxo de massa. Área 2: Paleocanais. Área 3: falhas reversas



**Figura 4:** Zona de deslizamento submarino (localização Figura 3- Área 1). Seção sísmica 2D da Bacia do Pará-Maranhão apresentando indicações de deslocamento de massa.



**Figura 5.** Seção sísmica 2D interpretada. (Figura 3 - Área 2). Seção sísmica 2D local da Bacia do Pará-Maranhão apresentando suas principais estruturas. Linha verde representa a base da superfície de descolamento e a linha azul indica o topo. Seta preta indica o espaço gerado para sedimentação.



**Figura 6:** Seção sísmica mostrando depósitos sedimentares (Figura 3 – Área 3).