



Transporte de Massa e Hidratos de Gás no Leque Submarino do Amazonas

Felipe Ferreira de Melo, Departamento de Geologia, Universidade Federal Fluminense

Cleverson Guizan Silva, Departamento de Geologia, Universidade Federal Fluminense

Antônio Tadeu dos Reis, Faculdade de Oceanografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Érika Ferreira de Araújo, Departamento de Geologia, Universidade Federal Fluminense

Copyright 2009, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 11th 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 11th 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

Gas hydrates in the Foz do Amazonas Basin occur in association with submarine mass movement deposits mainly in the compressional front of the Upper Amazon Deep-sea Fan formed by gravitational tectonics. It is suggested that seafloor deformation due to compression initiates mass wasting, resulting in decreased overburden and causing gas hydrate destabilization which in turn generates further seafloor instabilities and mass movements. This mechanism can explain the recurrence of mass-movement deposits in the Miocene to Recent sedimentary section of the Amazon Deep-sea Fan.

Introdução

Hidratos de gás são formados por cristais de gelo contendo em seu interior moléculas de gás. São estáveis a altas pressões e baixas temperaturas, exponencialmente dependentes da temperatura e linearmente dependentes da pressão (Sloan, 1998). A estabilidade também depende da composição das moléculas de gás e do fluido dos poros (Zatsepina & Buffet, 1998). Na natureza esses hidratos encontram-se nos poros intersticiais dos sedimentos (Kvenvolden, 1993; Kvenvolden e Lorenson, 2001).

A forma molecular mais comum encontrada nos sedimentos oceânicos é o hidrato de metano. Quanto à origem, podem ser termogênicos ou biogênicos, dependendo da forma cristalográfica dos cristais de gelo, sistema isométrico (cúbico), de acordo com Tanaka (2003).

Os hidratos são considerados uma fonte potencial de energia, com volumes extraordinários, uma vez que cerca de 1m³ de hidratos pode se tornar 164 m³ de gás nas condições normais de temperatura e pressão. Estima-se que o volume de metano presente nos hidratos seja 3000 vezes maior do que a quantidade presente na atmosfera e que represente duas vezes a mais a quantidade de combustíveis fósseis na Terra (Paull e Dillon, 2001).

Na Bacia da Foz do Amazonas, as ocorrências de hidratos de gás foram mapeadas e associadas às estruturas derivadas da tectônica gravitacional

relacionada à mobilidade de folhelhos superpressurizados (Tanaka, 2003). O mapeamento estrutural da tectônica gravitacional no leque submarino do Amazonas caracterizou a deformação do conjunto de sequências sedimentares marinhas da bacia sobre um nível basal de destacamento, e permitiu a definição dos principais domínios estruturais (Silva et al., 1999; Cobbold et al., 2004; Oliveira, 2005; Da Silva, 2008; Reis et al., 2008a; Reis et al., 2008b; Reis et al., 2009): uma faixa proximal de falhamentos normais e cinturões compressivos distais; e dois compartimentos estruturais *Noroeste* e *Sudeste*, cuja evolução foi associada ao desenvolvimento de dois depocentros principais da cobertura sedimentar sob ação gravitacional (um depocentro principal a *Noroeste* e um depocentro secundário a *Sudeste*).

Melo et al. (2008a,b) identificaram ocorrências de hidratos entre as profundidades de 716 – 2.590 m e os resultados indicaram que há certa coincidência entre as ocorrências de hidratos de gás mapeadas e as estruturas do domínio compressivo. As ocorrências mapeadas situam-se entre 243 – 790 m abaixo da superfície do fundo submarino.

Melo et al (2008a,b) definiram as condições de estabilidade dos hidratos de gás com base nas informações de temperatura da água de fundo e do gradiente geotérmico local e com isto observaram que os hidratos associados às frentes compressivas no Leque Submarino do Amazonas estão em desequilíbrio com as condições teóricas de pressão e temperatura e desta forma sugeriram que condições de super-pressurização que ocorrem nas frentes compressivas permitiram a formação de hidratos mesmo em locais onde teoricamente não deveriam ocorrer.

Neste trabalho, explora-se a associação entre as ocorrências de hidratos de gás mapeadas por Melo et al. (2008a,b) com depósitos de movimentos de massa identificados por diversos autores (Damuth and Embley 1981; Damuth et al. 1988; Piper et al. 1997; Maslin and Mikkelsen 1997; Pirmez and Inram 2003; Maslin et al. 2005) e especialmente com os recentes trabalhos de Araújo (2008), Silva et al. (2009) e Reis et al. (2009).

Deslizamentos de Massa na Bacia da Foz do Amazonas

Movimentos de massa e seus depósitos associados são elementos importantes na construção sedimentar da Bacia da Foz do Amazonas, principalmente em sua seção Quaternária, onde taxas de sedimentação extremamente elevadas contribuíram para a indução de

colapsos e fluxos sedimentares para águas profundas. Depósitos de fluxos de detritos acham-se até mesmo intercalados com as seqüências de canais e leques do sistema turbidítico do Leque Submarino do Amazonas (Damuth and Embley 1981; Damuth et al. 1988; Piper et al. 1997; Maslin e Mikkelsen 1997; Pirmez e Inram 2003; Maslin et al. 2005). Estes trabalhos, entretanto, restringiram-se apenas à seção Quaternária do Leque. Maslin e Mikkelsen (1997) entre outros autores citam que variações do nível do mar e instabilidade de hidratos de gás seriam as principais causas de instabilidade.

Recentemente, Araújo (2008) e Reis et al. (2009) ampliaram o conhecimento dos processos gravitacionais para as unidades subsuperficiais mais antigas do Leque Submarino do Amazonas, demonstrando que: existe um seqüenciamento entre a evolução das frentes compressivas e a geração de instabilidade do fundo submarino.

Reis et al (2008); Araújo (2008) e Silva et al (2009) mapearam ainda megadeslizamentos nas porções da margem continental imediatamente a NW (Complexo de Megadeslizamentos do Amapá) e a SE (Megadeslizamento Pará-Maranhão) do Leque Submarino. Nestes trabalhos os autores demonstram que estes megaeventos são provavelmente disparados por instabilidades geradas em função dos gradientes extremamente elevados do talude continental a NW e SE e pela carga sedimentar anômala sob influência do Leque Submarino.

Metodologia

Aproximadamente 15000 km de linhas sísmicas multicanal 2D (Fig. 1) foram interpretadas usando o software SMT (8.0) Kingdom Suite. Os dados têm penetração máxima de 13 segundos (TWTT) e resolução vertical de 5 a 10 metros. As linhas sísmicas foram cedidas pela Marinha do Brasil (Projeto LEPLAC) e pelas empresas FUGRO e GAIA.

A batimetria foi traçada a partir da base de dados do ETOPO1 (Smith and Sandwell 1997) e de dados de maior resolução fornecidos pela Marinha do Brasil.

Resultados

Os refletores que caracterizam os BSRs encontram-se sob lâminas d'água que variam entre 0,96 – 3,47s TWT (*TWTT*). Admitindo-se uma velocidade de 1.492 m/s para a velocidade das ondas acústicas na água, obtêve-se valores de profundidade da ordem de 716 – 2.590 m.

Os BSRs puderam ser mapeados como ocorrências descontínuas entre profundidades de 1,15 – 4,09s (TWTT), com espessuras médias variando, em tempo, em torno de 0,19 - 0,62s (TWTT). Ao atribuir-se o valor de 2.550 m/s como sendo a velocidade sônica média dos sedimentos contendo hidratos de gás (Tanaka, 2003) obtêve-se espessuras médias variando entre 243 – 790 m.

Assim como Tanaka (2003) e Melo et al. (2008a e b) os hidratos foram mapeados em dois compartimentos estruturais *Noroeste* e *Sudeste*, que também foram

reconhecidos por Oliveira (2005) e Da Silva (2008). Estas ocorrências de hidratos de gás situam-se junto às estruturas do domínio compressivo (fold-and-thrust belts) da tectônica gravitacional, no Leque Superior do Amazonas, totalizando uma área de aproximadamente 113.280 km² entre profundidades de lâmina d'água de 720 e 2.600 metros

É notável a coincidência entre as regiões de depósitos de transporte de massa mapeadas anteriormente por Damuth and Embley (1981); Piper et al. (1997); Araújo (2008) e Reis et al (2009), no leque submarino do Amazonas e as ocorrências de hidratos de gás. O mesmo, no entanto não se observa nas regiões adjacentes ao leque submarino onde situam-se os megadeslizamentos do Amapá (NW) e Pará-Maranhão (SE). Nestas regiões não foram identificados hidratos (Fig. 2).

Discussões e Conclusões

Os depósitos de movimentos de massa são largamente distribuídos na Bacia da Foz do Amazonas e não se restringem somente ao Leque Submarino. São ainda presentes em praticamente toda a seqüência sedimentar pelo menos envolvendo toda a seção do leque do Amazonas desde o Mioceno Médio (Reis et al. 2009; Silva et al. , 2009).

Os hidratos de gás ocorrem preferencialmente no leque submarino superior, nas frentes compressivas, o que pode ser interpretado como decorrente de condições de superpressurização que ocasionam a formação de hidratos mesmo onde as condições de gradiente geotérmico não estão em equilíbrio com a presença de hidratos (Melo et al. 2008 a e b).

Levanta-se, portanto a hipótese de que a deformação do fundo submarino, nas frentes compressivas, gerando escarpas e posterior erosão e recuo destas escarpas por processos gravitacionais, conforme modelo proposto por Araújo (2008) e Reis et al. (2009) seriam responsáveis por remoção sedimentar, ocasionando a retirada de carga e conseqüente desestabilização dos hidratos de gás, desta forma contribuindo ainda mais para instabilidades do fundo submarino e transporte de massa. Desta forma não há necessidade de se associar a desestabilização dos hidratos com variações do nível do mar, conforme proposto por Maslin e Mikkelsen (1997). A figura 3 mostra uma seção sísmica interpretada com indicação do BSR (base dos hidratos de gás) e os depósitos de movimentos de massa. Acredita-se que após a remoção da carga sedimentar e desestabilização dos hidratos, há a migração da zona de estabilidade dos hidratos para estratos mais inferiores, e desta forma novos movimentos de massa induzidos pela tectônica gravitacional podem novamente desestabilizar os hidratos gerando novos deslizamentos. Com isto tem-se um mecanismo capaz de explicar a recorrência de eventos em toda coluna sedimentar do Leque Submarino do Amazonas.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio financeiro do CNPq/CTPETRO, CAPES, COFECUB e da FAPERJ pela bolsa de estudos para o primeiro autor. Agradecimentos às empresas GAIA e FUGRO e à Marinha do Brasil pela cessão dos dados sísmicos e Kingdom pela autorização de uso educacional do software SMT Kingdom Suite.

Referências

- Araújo E.F.S.**, 2008, Processos de instabilidade gravitacional multiescala na bacia da Foz do Amazonas: depósitos de transporte de massa e megadeslizamentos. M.Sc. Dissertation, Universidade Federal Fluminense, Brazil.
- Cobbold, P.R., K. Mourgues e K. Boyd**, 2004. Mechanism of thin-skinned detachment in the Amazon Fan: assessing the importance of fluid overpressure and hydrocarbon generation. *Marine and Petroleum Geology* 21,1013-1025
- Damuth, J.E., R.W. Embley**, 1981, Mass-transport processes on the Amazon Cone: western equatorial Atlantic. *AAPG Bulletin* 65:629-643.
- Damuth, J.E., R.D. Flood, R.O. Kowsmann et al**, 1988, Anatomy and growth pattern of Amazon deep-sea fan as revealed by long-range side-scan sonar (GLORIA) and high resolution seismic studies. *AAPG Bulletin* 72:885-911
- Da Silva R.J.P.**, 2008, Colapso gravitacional e estruturação da seção marinha da bacia da Foz do Amazonas no contexto de múltiplos níveis de destacamento. M. Sc. Dissertation, Universidade Federal Fluminense, Brazil, 99 p.
- Kvenvolden, K.A.**, 1993, Gas Hidrates: Geological perspective and global change, *Rev. Geophys.*, 31, 173-187.
- Kvenvolden, K.A. & Lorenson**, 2001, Global occurrences of gas hydrate. In: Chung-Jin-S; Sayed-Mohamed; Saeki-Hiroshi; Setoguchi-Toshiaki (eds.): *The Proceedings of the International Offshore and Polar Engineering Conference*. 11, v. 1; Stavanger, Norway, 9-16.
- Maslin, M., N. Mikkelsen**, 1997, Amazon Fan mass-transport deposits and underlying interglacial deposits: age estimates and fan dynamics. *Proc. ODP, Sci. Results*, doi:10.2973/odp.proc.sr.155.220.1997
- Maslin, M., C. Vilela, N. Mikkelsen et al**, 2005, Causes of catastrophic sediment failures of the Amazon Fan. *Quaternary Science Reviews*, 24, 2180-2193
- Melo, F.F., F.C. PEREIRA, C.G. SILVA, A.T. REIS, E. FERREIRA**, 2008a, Ocorrências de Hidratos de gás no Leque Submarino do Amazonas. In: 44º Congresso da Sociedade Brasileira de Geologia, Curitiba 2008. Anais, p. 595 e CD ROM.
- Melo, F.F., C.G. SILVA, A.T. REIS**, 2008b, Hidratos de Gás no Leque Submarino do Amazonas: Ocorrência e Formação. In: III Simpósio Brasileiro de Geofísica, Belém 2008. CD ROM, Resumo expandido.
- Oliveira V.**, 2005, A tectônica gravitacional no Cone do Amazonas: compartimentação estrutural e mecanismos controladores. Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geofísica Marinha, Universidade Federal Fluminense, Dissertação de Mestrado.
- Oliveira, V., A.T. Reis e C.G. Silva**, 2005, Fatores condicionantes da tectônica gravitacional do Cone do Amazonas. In: Ninth International Congress of the Brazilian Geophysical Society, 2005, Salvador. Ninth International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Rio de Janeiro : Sociedade Brasileira de Geofísica -SBGF, 2005. v.CD. p. 1-6.
- Oliveira, V., A.T. Reis e C.G. Silva**, 2004a, Processo de argilocinese e estruturação do pacote sedimentar da região do cone do Amazonas: resultados preliminares. In: Rio Oil & Gas 2004 - Expo and Conference, Rio de Janeiro. Technical papers, v. CD, 1-8.
- Oliveira, V., A.T. Reis e C.G. Silva**, 2004b, Análise estrutural do pacote sedimentar do cone do Amazonas: processo de argilocinese. In: XLII Congresso da Sociedade Brasileira de Geologia, Anais do XLII Congresso da SBG - Recursos Minerais e Desenvolvimento Socioeconômico, v. CD, 1-1.
- Paul, C.K, e W.P. Dillon**, 2001, Natural Gas Hydrates: Occurrence, Distribution, and Detection. *American Geophysical Union, Geophysical Monograph* 124
- Pirmez C., J. Imran**, 2003, Reconstruction of turbidity currents in Amazon Channel. *Marine and Petroleum Geology* 20:823-849
- Piper, D. J. W., C. Pirmez, P.L. Manley, D. Long, R.D. Fould, W.R. Nnormark e W. Showers**, 1997. Mass-transport deposits of the Amazon Fan. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 155, 109-146.
- Reis. A.T., C.G.Silva, B.C.Vendeville et al**, 2008a, Gravity-driven processes at the offshore Amazon Mouth Basin – Brazilian Equatorial Atlantic margin. Conference on Gravitational Collapse at Continental Margins: Products and Processes. The Geological Society of London. Abstract book, p 15
- Reis, A.T., C.G. Silva, B.C. Vendeville, R.Perovano, E. Ferreira, C.Gorini, N. Albuquerque, R. Pederneiras, V. Albuquerque e J. Mattioda**, 2008b, Gravity-driven processes at the offshore Amazon Mouth Basin – Brazilian Equatorial Atlantic margin. Gravitational Collapse at Continental Margins: Products and Processes. The Geological Society of London, 15.
- Reis, A.T.; Perovano, R.; Silva, C. G.; Vendeville, B. C.; Araújo, E.; Gorini, C.; Oliveira, V.**, 2009, Multi-scale gravitational collapse in the Amazon Deep-sea Fan: a coupled system of gravity tectonics and mass wasting processes. *Geological Society of London* (submetido).

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

Sloan, E.D. Jr., 1998, *Clathrate Hydrates of Natural Gases* (second edition), New York, Marcel Dekker, 730p.

Smith, W.H.F., e D.T. Sandwell, 1997, Seafloor topography from satellite altimetry and ship soundings, *Science* 10:1957-1962.

Tanaka, M.D., 2003, Reconhecimento das Ocorrências de Hidratos de Gás no Cone do Amazonas. Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geofísica Marinha, Universidade Federal Fluminense, Dissertação de Mestrado, xii, 78 pp.

Zatsepina, O.Y., e B.A. Buffet, 1998, Thermodynamic conditions for the study of gas hydrate in the seafloor, *J. Geophys. Res.*, 103, 24, 127-24, 139.

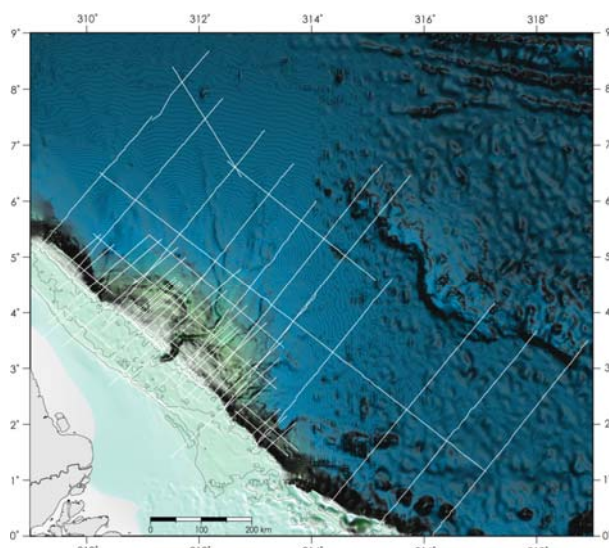


Figura 1 – Localização da Bacia da Foz do Amazonas, do Leque Submarino do Amazonas e da base de dados sísmicos utilizados. Mapa batimétrico de Araújo (2008) e Reis et al. (2009).

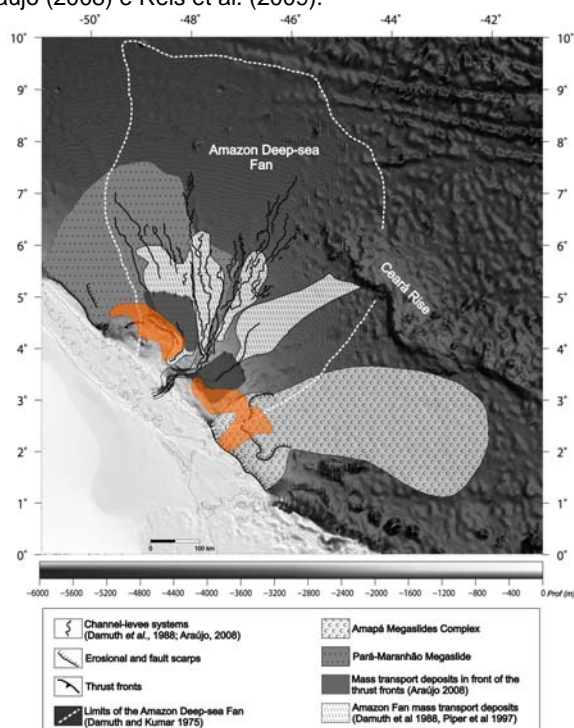


Figura 2 – Localização dos depósitos de transporte de massa mapeados por diversos autores e das ocorrências de hidratos de gás mapeadas por Melo et al. (2008a,b). Localização dos deslizamentos submarinos de acordo com Araújo (2008) e Reis et al. (2009).

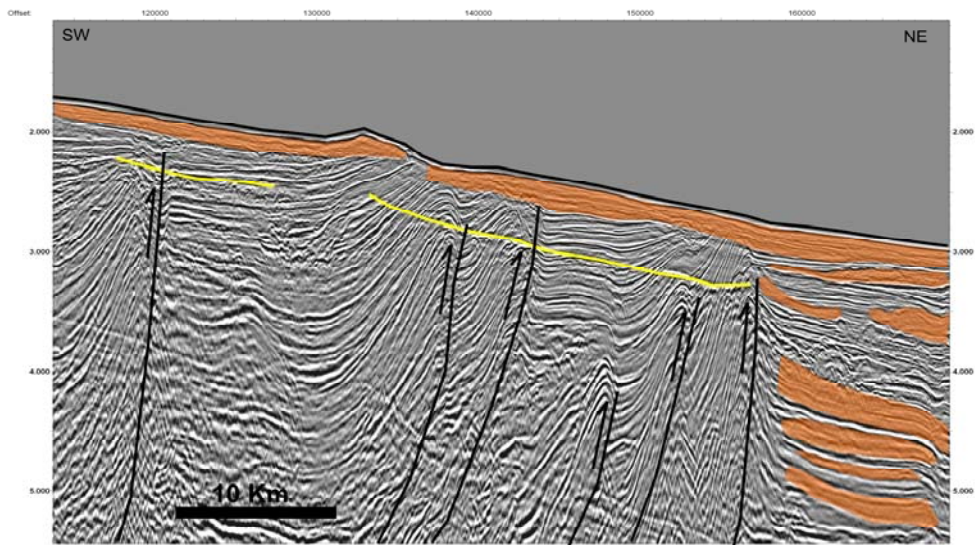


Figura 3 – Seção sísmica interpretada com indicação do BSR (Amarelo), das falhas reversas da frente compressiva e dos depósitos de movimentos de massa (laranja). A deformação compressiva gera instabilidades gravitacionais e movimentos de massa, desestabilizando os hidratos de gás, que por sua vez causam novos deslizamentos. Após remoção da carga sedimentar os hidratos se estabilizam em níveis estratigráficos inferiores.