



## O magmatismo das cadeias vulcânicas da margem Equatorial Brasileira – Uma análise sísmica preliminar

Marcos Vinícius Moraes dos Santos (Oceanografia-FAOC/UERJ), Antônio Tadeu dos Reis (Oceanografia-FAOC/UERJ),

Copyright 2019, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 16<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 19-22 August 2019.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 16<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 study focus on the seismo and chronostratigraphic analyses of the relation between occurrences of magmatic bodies coupled both to the North Brazilian and the Fernando de Noronha volcanic ridges and the surrounding siliciclastic marine sedimentary infilling. Such analyses evidence that magmatic bodies occur as layered volcanic spill bodies as wide as 50 km and as thick as 1,5 s (twtt), presenting themselves as protruding bodies stemming directly from the major volcanic seamounts of both the North Brazilian and the Fernando de Noronha volcanic ridges and interbedded with the basin sedimentary layers. However, chronostratigraphic ties based on exploratory well data show that such volcanic spills are not synchronic occurrences along the North Brazilian and the Fernando de Noronha Ridges: along the North Brazilian Ridge, major volcanic spills are older, occurring mainly between 38 and 14,9 Ma; whereas along the Fernando de Noronha Ridge they occur much later, between 14.9 Ma and the Recent. As a main conclusion, this study reveals that the magmatic evolution the North Brazilian and the Fernando de Noronha ridges are coupled with a long history of volcanic activities, which are not exactly synchronous neither along both ridges, nor along one single ridge itself

### Introdução

A Cadeia Norte Brasileira (CNB) e a Cadeia Fernando de Noronha (CFN) são feições vulcânicas que se estendem, principalmente, ao longo da porção mais profunda, entre as bacias de Barrerinhas e Potiguar (Figura 1). A presença de tais cadeias constitui provável fator de controle na compartimentação e arquitetura sedimentar dessa porção da Margem Equatorial Brasileira. Entretanto, permanecem ainda desconhecidos, entre outros, tanto a origem de tal vulcanismo como também sua forma, frequência de ocorrência e sua interação com a deposição sedimentar marinha na área.

O presente estudo tem como foco a análise temporal e o padrão de ocorrência de uma série de corpos magmáticos associados às cadeias vulcânicas e interdigitados à sedimentação, identificados através da interpretação de perfis sísmicos de reflexão adquiridos para o projeto LEPLAC (Figura 2). Para tal, o presente

estudo visa determinar as formas de ocorrência, a abrangência em área e o volume dos derrames magmáticos observados, interdigitados à sucessão sedimentar da porção profunda das bacias sedimentares na área (Figura 1). Ressalta-se que tal tema pode trazer contribuição para os estudos sobre a evolução dessas cadeias, sobre a história de subsidência da área, assim como sobre o padrão do fluxo de calor (parâmetro fundamental para estudos de maturação de hidrocarbonetos) nas bacias marginais associadas.

### Método

Esse trabalho se baseia na interpretação sísmica e na correlação cronoestratigráfica das ocorrências de corpos magmáticos adjacentes aos vários segmentos das cadeias vulcânicas, a fim de se definir o padrão de ocorrência desses corpos (único ou múltiplos) e os principais intervalos temporais de sua ocorrência. Para esse fim foram realizados: (i) a análise e detalhamento dos padrões sismoestratigráficos dos corpos magmáticos adjacentes às cadeias, baseada nos conceitos clássicos da estratigrafia sísmica (e.g., Mitchum Jr., 1977; Vail et al, 1977; Van Wagoner et al., 1988); (ii) a análise da relação estratigráfica entre os corpos magmáticos e as sucessões sedimentares siliciclásticas, buscando-se definir se tratam-se de intrusões magmáticas (tipo *sill*) ou de eventos vulcânicos catastróficos (isolados ou de longa duração); (iii) a elaboração de mapas de isópacas das ocorrências dos corpos magmáticos observados adjacentes aos edifícios vulcânicos principais que formam as cadeias.

### Resultados

Os principais resultados até o momento são:

EM TERMOS ESPACIAIS: Através da análise sísmica dos perfis disponíveis, foi possível mapear uma série de altos vulcânicos não aflorantes no fundo submarino que ocorrem de forma contínua e alinhados unindo as feições aflorantes dos vários montes submarinos no leito marinho da Cadeia Norte Brasileira (CNB) e da Cadeia Fernando de Noronha (CFN) (linha preta na Figura 2). Deste modo, fica claro que as cadeias de montes submarinos isolados constituem na verdade ocorrências lineares e quase ininterruptas de vulcanismo, principalmente nos seus segmentos E-W, em continuidade à Zona de Fratura de Romanche e de direção NW-SE (que apresentam um pedestal estrutural contínuo de cerca de 850 km de extensão). Apresenta-se também de forma bastante linear o segmento E-W (norte) da CNB (com dois grandes segmentos que totalizam cerca 590 km), em aparente

continuidade à Zona de Fratura São Paulo e sua cadeia transversal, também mapeada na Figura 2.

Corpos magmáticos múltiplos e/ou isolados estão também associadas lateralmente aos edifícios principais que formam a CNB e a CFN, ao longo de quase toda as suas extensões (linha vermelha na Figura 2). A ocorrência desses corpos magmáticos contribui para um aumento da extensão lateral do magmatismo, que ultrapassa os contornos dos edifícios vulcânicos principais que constituem as cadeias lineares CBN e CFB (linha preta na Figura 2).

**EM TERMOS SISMOESTRATIGRÁFICOS** - Os corpos magmáticos adjacentes às cadeias aqui mapeados possuem assinaturas sísmicas particulares (Figura 3): (1) ocorrem em forma de cunhas, sendo mais espessas próximo ao edifício vulcânico principal, e afinando-se distalmente. As maiores espessuras podem ultrapassar 1,5 s (twtt) ou cerca de 4.500 m de espessura, se estendendo lateralmente por até 50 km (Figura 4); (2) seu topo é marcado por padrão de reflexão hiperbólica, de alta amplitude e alto nível de refletividade; (3) apresentam sismofácies internas predominantemente caóticas; (4) algumas das ocorrências contam com a presença de alguns refletores internos contínuos e de alto nível de reflectividade.

**EM TERMOS CRONO-ESTRATIGRÁFICOS** – A correlação dos perfis sísmicos com dados cronoestratigráficos de poços exploratórios permitiu observar-se que os corpos magmáticos ocorrem predominantemente: (A) entre as superfícies de idades de 38 a 14.9 Ma, nas porções associadas à CNB; e (B) entre 14.9 Ma e o Recente, na região proximal à CFN (Figura 5). Ainda através da análise dos dados sísmicos é possível observar que as ocorrências magmáticas ocorrem de forma extrusiva, depositadas sobre o paleo leito marinho e anteriormente à sedimentação que as recobre, como demonstra as terminações em *onlap* da sedimentação que recobre as ocorrências de corpos magmáticos (Figuras 3 e 6).

Ademais, a análise dos perfis sísmicos revela também estágios evolutivos da subsidência margem. Por exemplo, as maiores espessuras de ocorrências de corpos magmáticos associados à CNB estão, ao menos geograficamente, ligadas a locais de maior subsidência, como observado pela configuração de cunhas sedimentares em crescimento (*Sedimentary growth wedges*). Com isso podem-se verificar que estágios de maior subsidência local seguem às ocorrências dos espessos corpos vulcânicos (Figura 6).

### Discussões e Conclusões

Os resultados do presente estudo trazem novas informações tanto sobre a configuração geométrica da CNB e da CFN, como também de fases de vulcanismo associados a tais cadeias, com idades que divergem daquelas comumente atribuídas à formação das cadeias na literatura científica.

Em termos espaciais, os resultados do trabalho evidenciam que a Cadeia Norte Brasileira e a Cadeia Fernando de Noronha são representadas não somente por montes submarinos aflorantes no leito marinho, mas correspondem a cadeias contínuas ou quase contínuas formadas por vulcanismo, constituindo feições vulcânicas contínuas na forma de grandes muralhas com segmentos de extensão de até cerca de 850 km (setores E-W sul e NW-SE da CNB, contínuos, como mostrado na Figura 2).

Por outro lado, a origem dessas cadeias permanece ainda muito debatida na literatura: se associada à presença de *hot spot* (e.g., Mizusaki et al., 2002, Ernesto, 2005, ao estudarem a CFN); uma antiga posição do rift-valley meso-oceânico (Le Pichon e Hayes, 1971, com relação à CNB); ou se decorrente de vulcanismo derivado de decompressão do manto ao longo de zonas de fraturas (e.g., Azevedo, 1991, ao analisar a CNB). Da mesma forma, a idade de formação das cadeias é incerta. Hayes e Ewing (1970), por exemplo, através da extrapolação da taxa de sedimentação obtida de estudos da leg IV do Deep Sea Drilling Project nos sites 25 e 25A, sugeriram uma idade de formação entre 80 - 100 Ma para a CNB. Além disso, a presença de fragmentos de carbonatos limonitizados, a topografia de topo achatado e fragmentos de limonita ao longo da CNB sugerem fases de exposição subaérea e intemperismo, indicando que ao menos no local da sondagem houve uma subsidência de cerca de 2.000 m desde o Mioceno Médio, pelo menos neste local (Hayes e Ewing, 1970). Para a CFN, Mizusaki et al. (2002) propõem uma idade de formação entre 12 a 2 Ma.

Os resultados do presente estudo não produzem resultados suficientes que possam indicar nem a idade nem a origem do vulcanismo da CNB e da CFN. Contudo, os resultados trazem novas informações sobre idades e ocorrências de episódios vulcanismo associadas à CNB e à CFN que mostram atividades vulcânicas recorrentes ao longo do tempo:

(i) primeiramente, o estudo mapeou a ocorrência de corpos magmáticos múltiplos e/ou isolados associadas lateralmente aos edifícios principais que formam a CNB e a CFN, ao longo de quase toda as suas extensões (linha vermelha na Figura 2), o que contribui para um aumento da extensão lateral do magmatismo que caracteriza as cadeias, que ultrapassa os contornos dos edifícios vulcânicos principais que constituem as cadeias lineares CBN e CFB (linha preta na Figura 2);

(ii) além disso, as relações estratigráficas entre os corpos magmáticos e sedimentação siliciclástica circundante mostram que os corpos magmáticos são na verdade corpos extrusivos (vulcanismo) e não intrusões do tipo *sill* (Figuras 3, 5 e 6). Derrames vulcânicos intercalados à sedimentação siliciclástica da margem (Figura 3), com espessuras que por vezes ultrapassam os 1.5 s (twtt), são depositados como típicos corpos extrusivos submarinos. Regionalmente o padrão e frequência de tais derrames associada a cada monte submarino é variável ao longo da CNB e da CFN, podendo apresentar apenas uma ocorrência, ou ser recorrente ao longo do tempo associado ao mesmo monte submarino (Figura 3);

(iii) ao mesmo tempo, a presença de alguns refletores sísmicos, contínuos e de alto nível de refletividade, internos aos derrames vulcânicos indicam a ocorrência em alguns locais de mais de um evento de extrusão magmática com pequeno espaço temporal (Figura 3). Tais ocorrências apontam que o vulcanismo de cada corpo vulcânico identificado se deu de forma variada dependendo do local: as vezes com evidência sísmica que indicam a ocorrência de episódios vulcânicos contínuos; as vezes na forma de corpos vulcânicos individuais, mas formados por diversos episódios distintos, variando conforme o segmento analisado das cadeias vulcânicas;

(iv) embora não se possa determinar a idade do vulcanismo que forma a CNB e a CFN, o presente estudo revela atividades vulcânicas recorrentes associadas às cadeias. Ao longo dos segmentos da CNB extrusões vulcânicas isoladas ou múltiplas ocorrem principalmente entre 38 a 14,9 Ma; já ao longo da CFN, extrusões vulcânicas ocorrem a partir dos 14,9 Ma, podendo ser quase aflorantes (Figura 5B);

(v) os registros de vários derrames vulcânicos fornecem claros indícios de que a história evolutiva do magmatismo da CNB e da CFN se deu através de múltiplos derrames e/ou pulsos magmáticos que modificaram a forma das cadeias e o volume de material vulcânico expelido, com provável papel no padrão de soerguimento das cadeias, assim como na subsidência das bacias marinhas envolvidas.

#### Agradecimentos

Nós agradecemos à Marinha do Brasil e ao Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO) pela liberação dos dados sísmicos provenientes do projeto LEPLAC e à Agência Nacional do Petróleo (ANP) pela concessão dos dados de poços e perfis sísmicos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

#### Referências

- AZEVEDO, R. 1991. Tectonic Evolution of Brazilian Equatorial Continental Margin Basins. PhD Thesis, Imperial College, London, 455 p.
- ERNESTO M. 2005. Paleomagnetism of the post-Paleozoic alkaline magmatism in the Brazilian Platform: questioning the mantle-plume model. In: P. Comin-Chiaramonti & C. B. Gomes, eds. Mesozoic to Cenozoic alkaline magmatism in the Brazilian Platform. São Paulo, Edusp/Fapesp. p. 689-705.
- HAYES, D.E. & EWING, M.; 1970. North Brazilian Ridge and adjacent Continental Margin. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 54, p. 2120-2150
- LE PICHON, X. & HAYES, D. E. 1971. Marginal Offsets, Fracture Zones and the Early Opening of the South Atlantic. Journal of Geophysical Research 7626: 6283-6293.
- MITCHUM JR., R.M., VAIL P.R. & SANGREE J.B. 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 6: stratigraphic interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences. AAPG, Memoir 26, p. 117-133.
- MIZUSAKI, A.; THOMAZ-FILHO, A.; MILANI, E.; DE CÉSERO, P. 2002. Mesozoic and Cenozoic igneous activity and its tectonic control in northeastern Brazil. Journal of South American Earth Sciences, v. 15, p. 183-198
- VAIL, P. R.; MITCHUM, R. M. Jr.; TODD, R. G.; WIDMIER, J. M.; THOMPSON, S.; SANGREE, J. B.; BUBB, J. N. & HATLELID, W. G.. 1977. Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level. AAPG Memoir 26, p. 49– 212
- VAN WAGONER, J.C., POSAMENTIER, H.W., MITCHUM, R., VAIL, P.R., SARG, J.F., LOULIT, T.S., HARDENBOL, J., 1988. An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions. SEPM Special Publication, 42, p. 39-45.

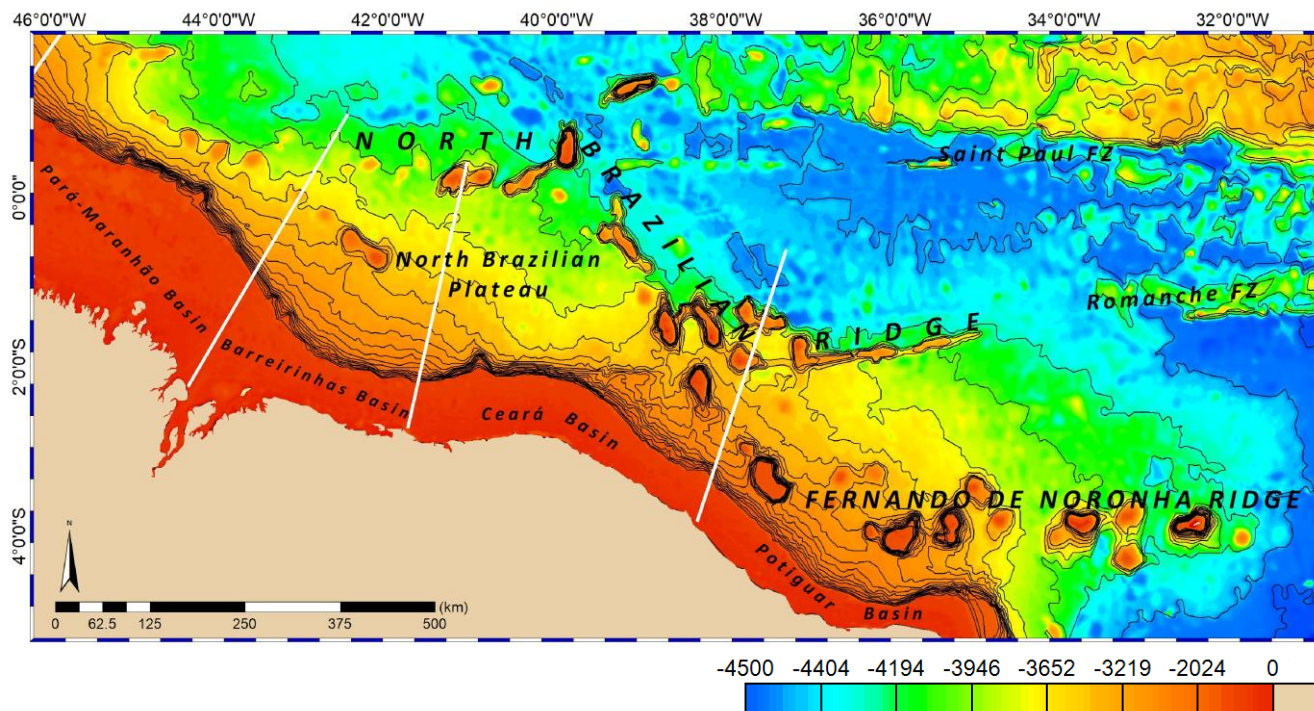


Figura 1: Localização da área de estudo e principais feições associadas, elaborado com dados TOPEX. Isóbatas espaçadas a cada 250 m.

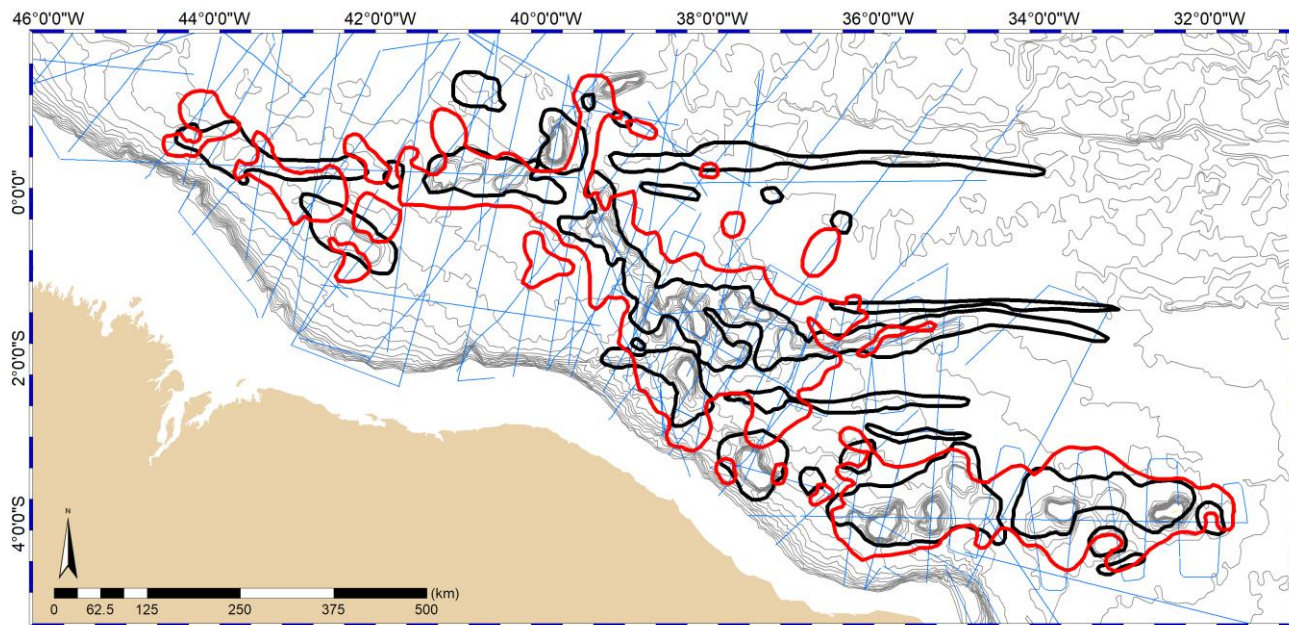


Figura 2: Mapa estrutural elaborado através da interpretação dos dados sísmicos disponíveis. No mapa, as linhas azuis representam os perfis sísmicos utilizados, as linhas pretas representam os altos do embasamento mapeados, as linhas vermelhas representam a localização dos eventos magmáticos, enquanto que as finas linhas cinzas representam as isóbatas, espaçadas a cada 250 m.

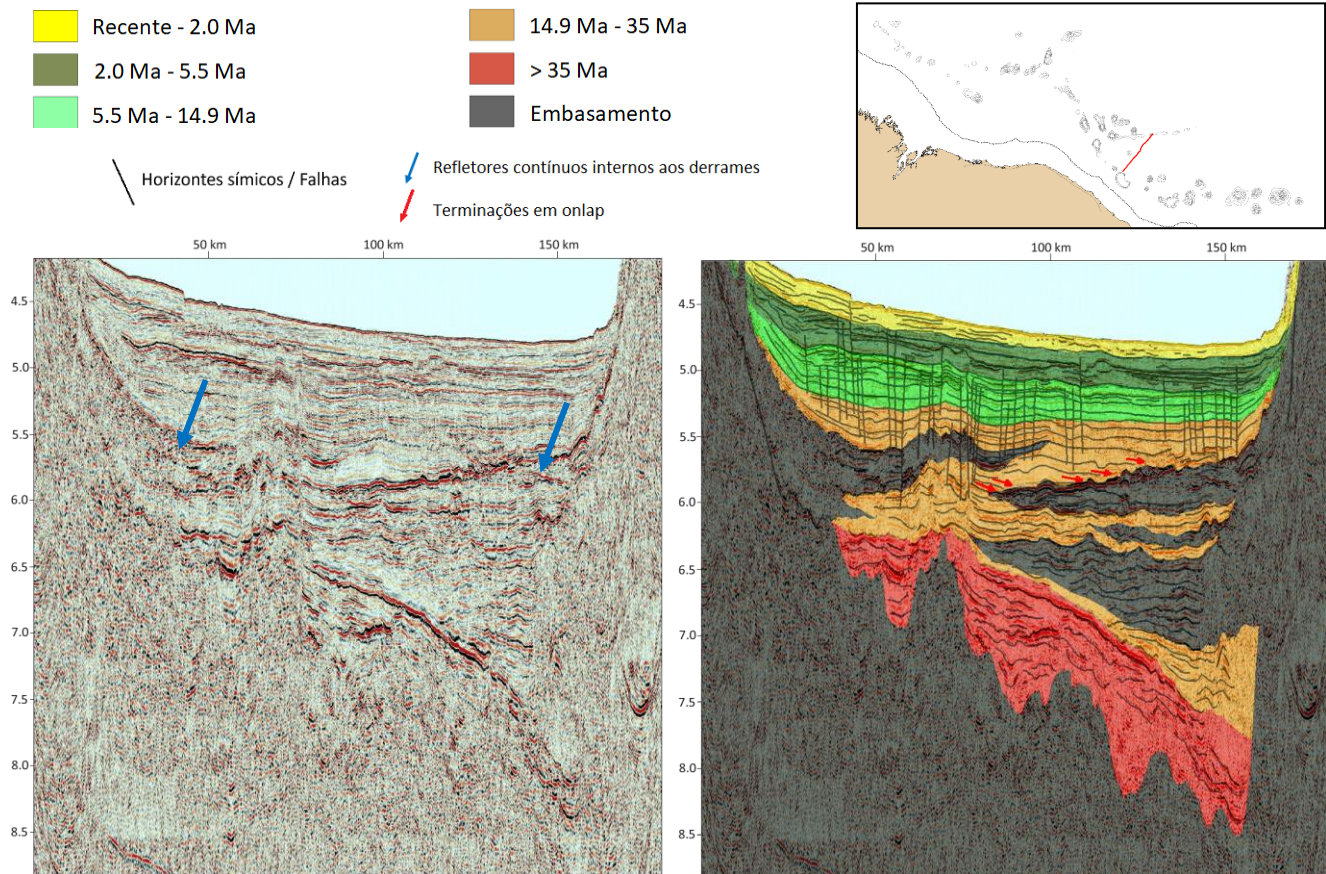


Figura 3: Exemplos de eventos magmáticos que associados à montes submarinos da margem equatorial brasileira. Note que as setas vermelhas próximas aos depósitos magmáticos representam as terminações em onlap dos refletores sísmicos, enquanto que as setas azuis representam a ocorrências de refletores contínuos internos aos derrames.

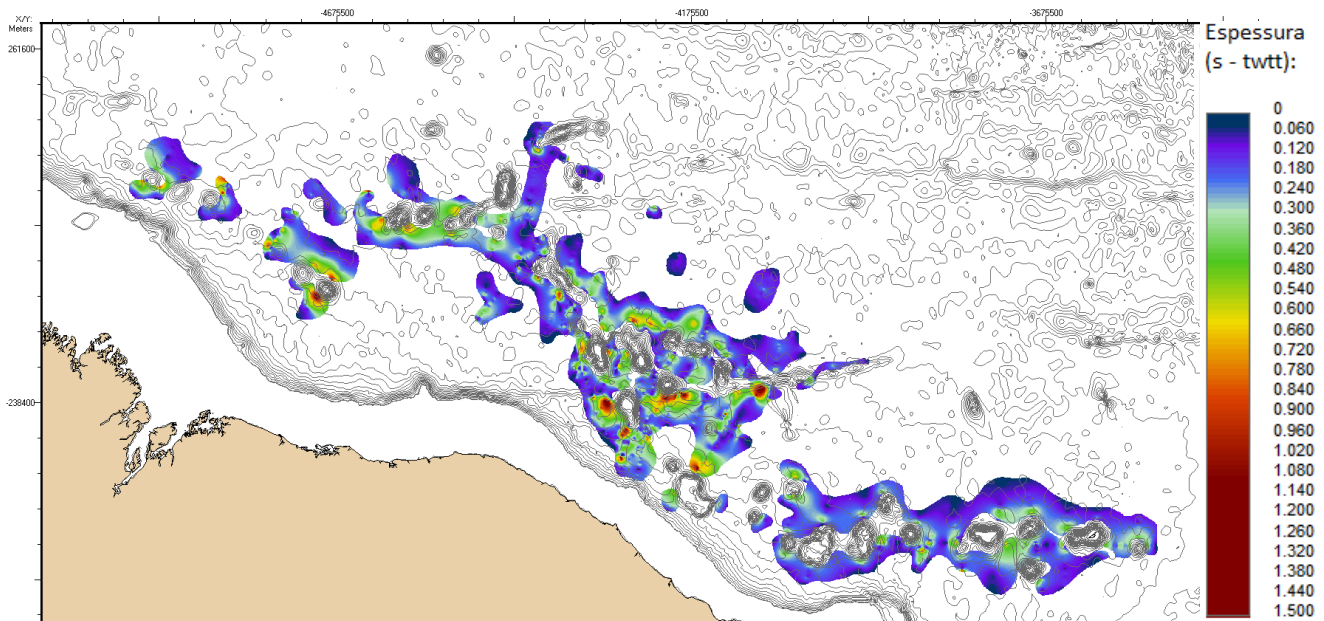


Figura 4: Mapa de espessuras dos depósitos magmáticos. Note o padrão de maiores espessuras próximas às cadeias vulcânicas e o padrão de afinamento distalmente à estas.

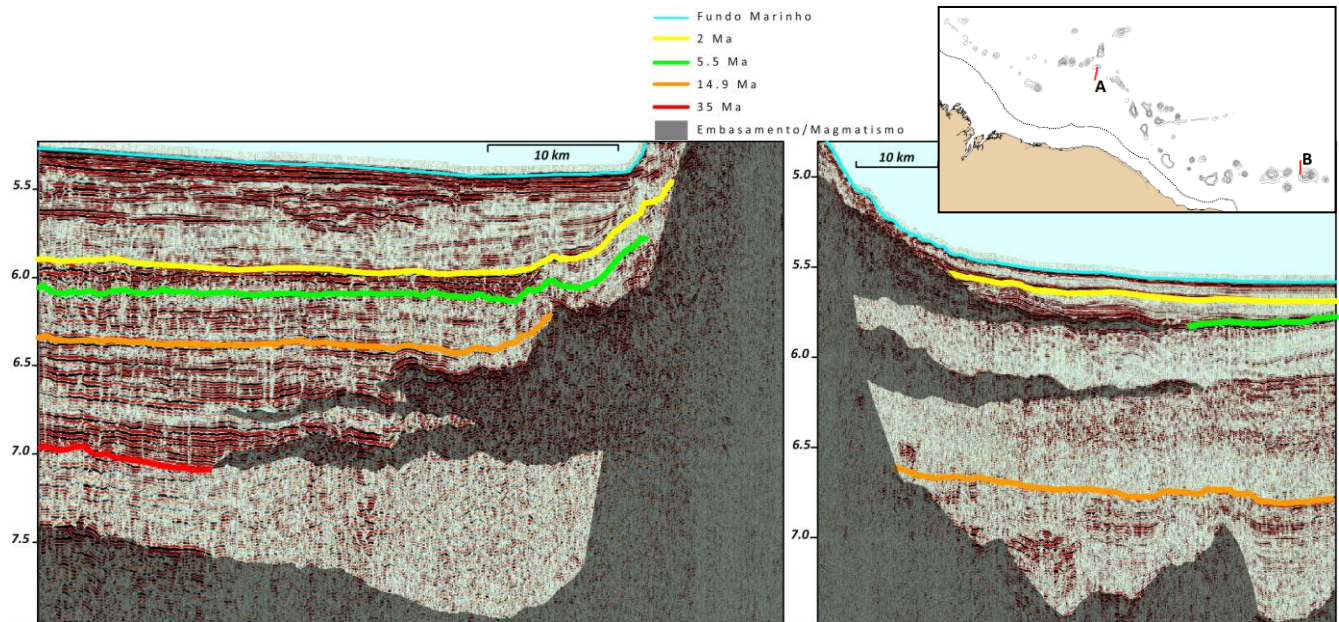


Figura 5: Diferenças entre os padrões de ocorrências magmáticas associados à Cadeia Norte Brasileira (Figura A) e a Cadeia Fernando de Noronha (Figura B), principalmente no que diz respeito às idades de formação.

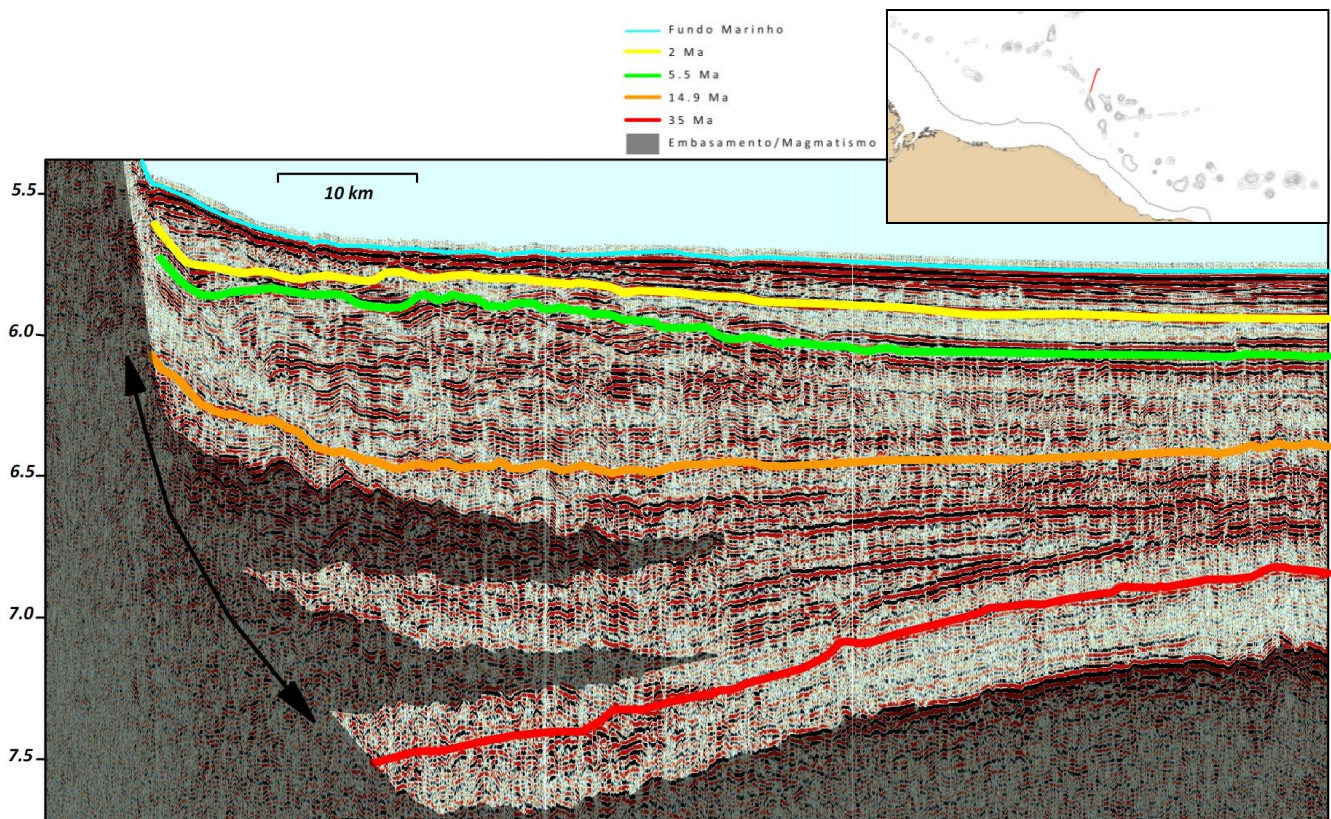


Figura 6: Perfil sísmico distal à Cadeia Norte Brasileira que destaca a subsidência da margem. Note que esta ocorre desde o início do magmatismo até o topo do horizonte atribuído à 14.9 visualizável através do padrão de Sedimentary growth wedges, delimitada pela seta preta.