



Tomografia sísmica com ondas P no Brasil: Resultados recentes

Marcelo Peres Rocha¹; Marcelo Assumpção¹ e Martin Schimmel²

¹Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas - USP; ²Instituto Jaume Almeira -CSIC, Barcelona, Espanha.

Copyright 2004, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no I Simpósio Regional da Sociedade Brasileira de Geofísica, São Paulo, 26-28 de setembro de 2004. Seu conteúdo foi revisado pela Comissão Tecno-científica do I SR-SBGf 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.

Resumo

Anomalias sísmicas no manto superior, obtidas com tomografia de onda P, estão sendo reveladas com a instalação de novas estações no Sudeste e na parte sul da região Nordeste do Brasil. Foram obtidas novas imagens das anomalias observadas em trabalhos anteriores (VanDecar *et al.*, 1995; Escalante, 2002; Schimmel *et al.*, 2003; Rocha, 2003; Rocha & Assumpção, 2003; Assumpção *et al.*, 2004), principalmente na região do Cráton do São Francisco, onde a maioria das novas estações foi instalada. Maiores velocidades foram observadas nas porções sul e oeste do Cráton, indicando regiões mais estáveis (antigas). Estes resultados são preliminares, pois existem estações recentemente instaladas ainda não analisadas.

Introdução

O método da tomografia sísmica com ondas P tem sido utilizado para o estudo do manto superior no Brasil desde o início da década de 90. Muitos trabalhos foram desenvolvidos (VanDecar *et al.*, 1995; Escalante, 2002; Schimmel *et al.*, 2003; Rocha, 2003 e Rocha & Assumpção, 2003; Assumpção *et al.*, 2004), revelando anomalias de velocidade no manto superior, correlacionadas com algumas das principais estruturas tectônicas do Brasil.

Como exemplos destas estruturas, temos uma anomalia de baixa velocidade interpretada como o remanescente da pluma de Tristão da Cunha, e ainda o Cráton do São Francisco com uma anomalia de alta velocidade na sua porção sul (VanDecar *et al.*, 1995). Schimmel *et al.*, (2003) mostraram uma boa correlação entre as províncias de intrusões alcalinas do Cretáceo Superior e as regiões anômalas de baixa velocidade; além disso, sob a Bacia do Paraná, anomalias de alta velocidade rasas (cerca de 200 km) e profundas, foram interpretadas respectivamente como um núcleo cratônico (conforme inferido por Cordani *et al.*, 1984) e como a litosfera subduzida da Placa de Nazca. Segundo Escalante, (2002) uma outra anomalia de baixa velocidade na região da província ígnea de Iporá em Goiás (próximo à divisa com o Mato Grosso) poderia estar relacionada ao efeito inicial da pluma Trindade, sendo consistente com o modelo proposto por Thompson *et al.*, (1998). Observou-se que a anomalia de baixa velocidade de Iporá possui uma continuação para oeste chegando à parte sul do estado de Mato Grosso (Rocha & Assumpção, 2003; Rocha, 2003; Assumpção *et al.*, 2004). Esta anomalia se

correlaciona muito bem com a província ígnea de Poxoréu no Mato Grosso e confirma o modelo de afinamento litosférico de Thompson *et al.*, (1998).

Os resultados tomográficos além de revelar anomalias profundas podem também auxiliar nos estudos de feições mais rasas (crosta, por exemplo) e na exploração mineral, pois possibilitam o entendimento de antigos processos geotectônicos formadores destas feições. Segundo Misi *et al.*, (1992), grande parte das mineralizações presentes no Cráton do São Francisco se devem a processos superficiais de intemperismo, porém não se deve invalidar sua ligação primária com os fenômenos tectônicos ocorridos nesta região.

A área de estudo está mostrada na Figura 2, onde as estações recentes estão representadas como triângulos vermelhos. Todas estações representadas em verde já foram desativadas, e todas em azul já foram utilizadas, mas continuam operando e foram utilizadas neste trabalho. A maioria destas novas estações (Figura 1) foi instalada através de colaboração entre o IAG/USP e a empresa De Beers Brasil. Foram utilizadas também estações do IAG e do Instituto de Geofísica do ETH-Zurique dentro do projeto "Brazilian Lithospheric Seismic Project" (BLSP02), estações da RESUSP (Rede Sismográfica da USP), bem como estações da Universidade de Brasília (UnB) e da Rede Mundial (GTSN, Global Telemetered Seismograph Network).



Figura 1 – Estação instalada em Correntina– BA. O sensor está enterrado sob uma caixa de madeira à direita, e o registrador está na cabine branca à esquerda com um painel solar como teto.

As fases de onda utilizadas foram a P e PKP_{df} (PKIKP), para sísmos com magnitude mínima de 4,6 mb (para as

fases PKPdf a magnitude mínima foi 5,4 mb). Buscando eliminar problemas causados pelas zonas de triplicação, os eventos foram selecionados em intervalos de distância específicos para cada fase. Para as fases P foram utilizados eventos com distâncias entre 30° e 95° e para as fases PKPdf este intervalo ficou entre 158° e 180°.

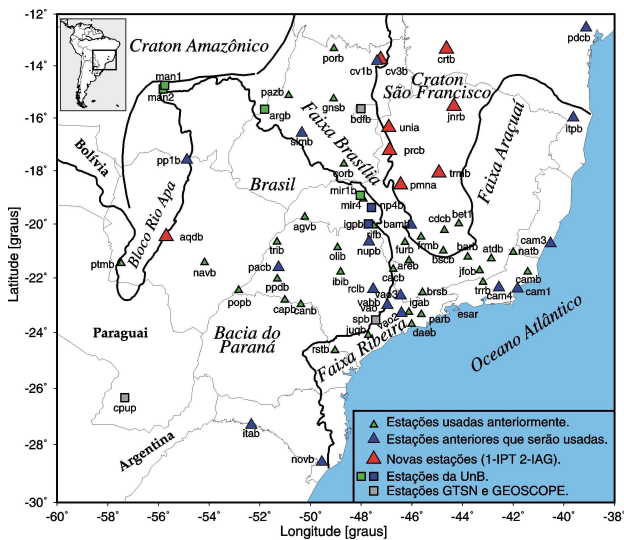


Figura 2 – Área de estudo com as estações utilizadas.

Metodologia

A tomografia sísmica feita no IAG/USP baseia-se na inversão de resíduos relativos de tempo de percurso das ondas P telessísmicas, obtidos da diferença entre o tempo de chegada observado (marcado visualmente no sismograma) e o tempo teórico calculado com modelos de referência global (neste caso o IASP91, Kenneth & Engdahl, 1991).

Métodos de correlação cruzada são utilizados para diminuir as inconsistências durante a marcação das fases (Evans & Achauer, 1993), e em consequência na obtenção dos resíduos relativos. O método utilizado foi o MCPCC (Multi-Channel Phase Cross-Correlation) de Schimmel *et al.*, (2003), que incorpora o método PCC (Phase Cross-Correlation) de Schimmel, (1999) ao método de MCCC (Multi-Channel Cross-Correlation) de VanDecar & Crosson (1990). Este método utiliza a coerência da forma de onda observada em pelo menos quatro sismogramas de estações diferentes relacionados a um mesmo evento, para determinar o tempo observado e os resíduos relativos. Utilizando este método, durante a marcação das chegadas não é necessário identificar as primeiras quebras, muitas vezes mascaradas por ruído.

Os tempos medidos com a correlação cruzada foram utilizados para determinar a estrutura de velocidade do nosso modelo tomográfico. O método de inversão foi o ACH (Evans & Achauer, 1993) que utiliza os resíduos relativos dos tempos de chegada para restringir as anomalias de velocidade ao segmento final dos raios

sísmicos e dessa forma eliminar a influência de estruturas fora do volume estudado (Figura 3).

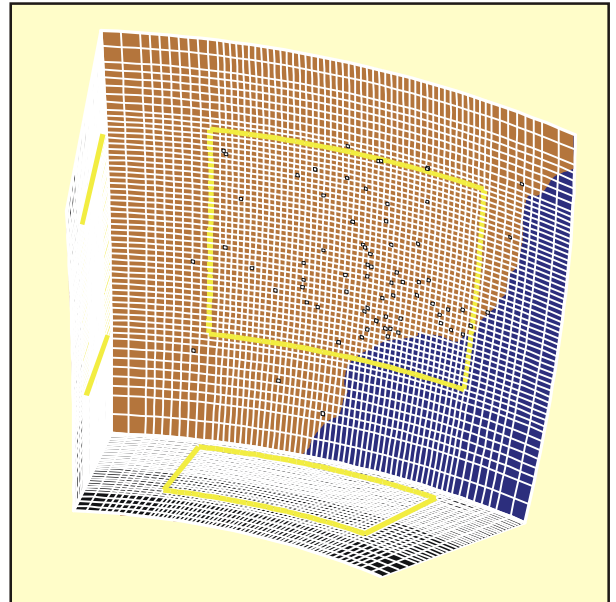


Figura 3 – Volume parametrizado utilizado na inversão dos dados. Os quadrados brancos são as estações utilizadas. A região com maior resolução está delimitada pelas linhas amarelas.

O modelo mostrado na Figura 3 é uma grade com 36 nós em profundidade, 64 em longitude e 56 em latitude. Na região central (volume delimitado pelas linhas amarelas) o espaçamento entre os nós diminui para ~33km para aumentar a resolução.

Resultados e Conclusões

Os resultados da tomografia são apresentados em seções horizontais e verticais (Figuras 4 e 5). As anomalias com cores quentes representam menores velocidades em relação ao modelo IASP91 e as cores frias representam maiores velocidades. Nas Figuras 4a, a 4f estão mostradas seções horizontais para as profundidades de 150, 200, 300, 500, 700 e 900 km. Nestas Figuras estão indicados os perfis verticais (XX', YY' e ZZ') mostrados na Figura 5.

Todas as anomalias observadas nos trabalhos anteriores são confirmadas nestes resultados (Figuras 4 e 5), porém nas regiões em que foram instaladas as novas estações, novas anomalias foram reveladas. Nas Figuras 4a, 4b e no perfil ZZ' (Fig. 5c), observou-se uma expansão da anomalia de alta velocidade sobre a parte central do cráton do São Francisco, onde não existiam dados anteriormente. No cráton do São Francisco, a região de maior intensidade de anomalia positiva continua sendo a porção sul do cráton (bloco arqueano), como mostrado anteriormente (Escalante, 2002; Schimmel *et al.*, 2003;

Rocha & Assumpção, 2003; Rocha, 2003 e Assumpção *et al.*, 2004). Foi observada uma tendência para baixas velocidades na parte central do cráton (norte de Minas Gerais); porém, como os dados da estação de Januária – MG (instalada neste local) ainda não foram analisados, esta feição ainda é preliminar.

Ficou mais nítido o limite entre as baixas velocidades na região de Goiás (Arco Magmático) e as altas velocidades sob o cráton do São Francisco e Faixa Brasília. Na região oeste, com os novos dados da estação de Aquidauana, MS, a área de baixa velocidade ficou mais restrita à Bacia do Pantanal e a área de litosfera mais espessa (velocidades mais altas) ficou mais restrita à Bacia do Paraná, como mostrado nas Figs 4a,b,c.

Agradecimentos

Trabalho feito com apoio da FAPESP (processos 96/01566-0 e 01/06066-6), CAPES, CNPq, e Fundo CT-Mineral do MCT. O trabalho dos técnicos José Roberto Barbosa e Eduardo Mandel foi essencial para o bom funcionamento das estações e qualidade dos dados. Agradecemos ao Observatório Sismológico da UnB pelos dados de suas estações. Para as estações do Sudeste e Centro-Oeste, o projeto BLSP02 contou com apoio das empresas De Beers, Embasa-BA, RTDM, IPT, e colaboração da EMATER-MG, EPAMIG, e UFMS. Agradecemos também aos proprietários que autorizaram instalação de estações sismográficas em suas terras e aos operadores locais.

Referências

Assumpção, M., M. Schimmel, C. Escalante, M. Rocha, J.R. Barbosa & L.V. Barros, 2004. Intraplate seismicity in SE Brazil: Stress concentration in lithospheric thin spots. *Geophysical J. Int.*, no prelo.

Cordani, U.G., B.B. Brito Neves, R.A. Fuck, R. Porto, A.T. Filho, & F.M.B. Cunha, 1984. Estudo preliminar de integração do Pré-cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras. *Revista Ciência Técnica Petróleo*, Rep. 15, 70pp., PETROBRÁS, CENPES, Rio de Janeiro, Brasil.

Escalante, C., 2002. Tomografia sísmica do manto superior sob o sudeste e centro oeste do Brasil: Dissertação (mestrado) IAG/USP, São Paulo, SP, 74 p.

Evans, J.R., & Achauer, U., 1993. Teleseismic velocity tomography using ACH method: theory and applications to continental-scale studies, in H. M. Iyer and K. Hirahara (Editors) *Seismic Tomography: Theory and Practice*: Chapman and Hall, London, pp. 319-360.

Kenneth, B.L.N., & Engdahl, E. R., 1991. Travel times for global earthquakes location and phase identification: *Geophys. J. Int.*, 105, 429-465.

Misi, A. & M.G. Silva, 1992. Algumas feições metalogenéticas relacionadas à evolução geodinâmica do cráton do São Francisco. In: CONGR. BRAS. GEOL., 37, São Paulo, 1992. *Bol. Resumos Expandidos...*, São Paulo, SBG, v. 2, p. 225-226.

Rocha, M. P., 2003. Ampliação da Tomografia Sísmica do Manto Superior no Sudeste e Centro-Oeste do Brasil com ondas P. 71 p. Dissertação (mestrado) - IAG-USP, São Paulo.

Rocha, M. & M. Assumpção, 2003. Tomografia sísmica do manto superior no SE do Brasil utilizando ondas P. (CD-ROM). VIII Congr Inter. da SBGf, Rio de Janeiro.

Schimmel, M, 1999. Phase Cross-Correlations: design, comparisons, and applications. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 89, 1366-1378.

Schimmel, M., Assumpção, M. & VanDecar, J. C., 2003. Seismic velocity anomalies beneath SE Brazil from P and S wave travel time inversions: *J. Geophys. Res.*, Vol. 108, doi: 10.1029/2001JB000187.

Thompson, R. N., Gibson, S. A., Mitchell, J. G., Dickin, A.P., Leonardos, O.H., Brod, J.A., & Greenwood, J.C., 1998. Migrating Cretaceous-Eocene Magmatism in the Serra do Mar Alkaline Province, SE Brazil: Melts from the Deflected Trindade Mantle Plume?. *J. Petrology*, 39, 1493-1526.

VanDecar, J.C., & Crosson, R.S., 1990. Determination of teleseismic relative phase arrival times using multi-channel cross-correlation and least squares: *Bull. Seism. Soc. Am.*, 80, 150-169.

VanDecar, J.C., James, D.E., & Assumpção, M., 1995. Seismic evidence for a fossil plume beneath South America and implications for plate driving forces: *Nature*, 378, 25-31.

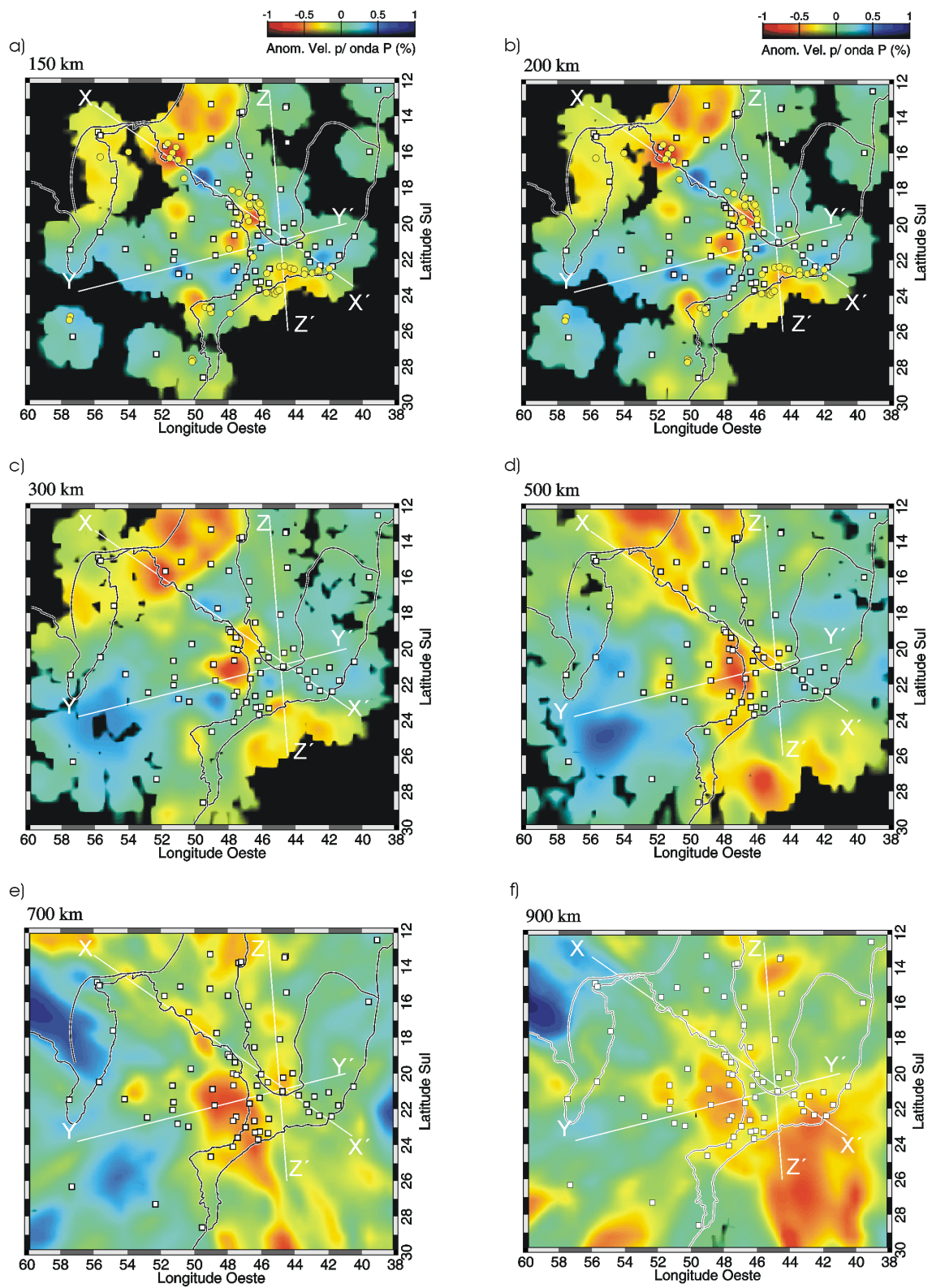


Figura 4 – Seções tomográficas horizontais. Quadrados brancos são as estações utilizadas. a) e b) Profundidades de 150 e 200 km, mostrando as intrusões alcalinas (círculos amarelos) com idades entre 90 e 55 Ma. c), d), e) e f) Seções horizontais para profundidades de 300, 500, 700 e 900 km respectivamente. Perfis XX', YY' e ZZ' correspondem à Fig. 5.

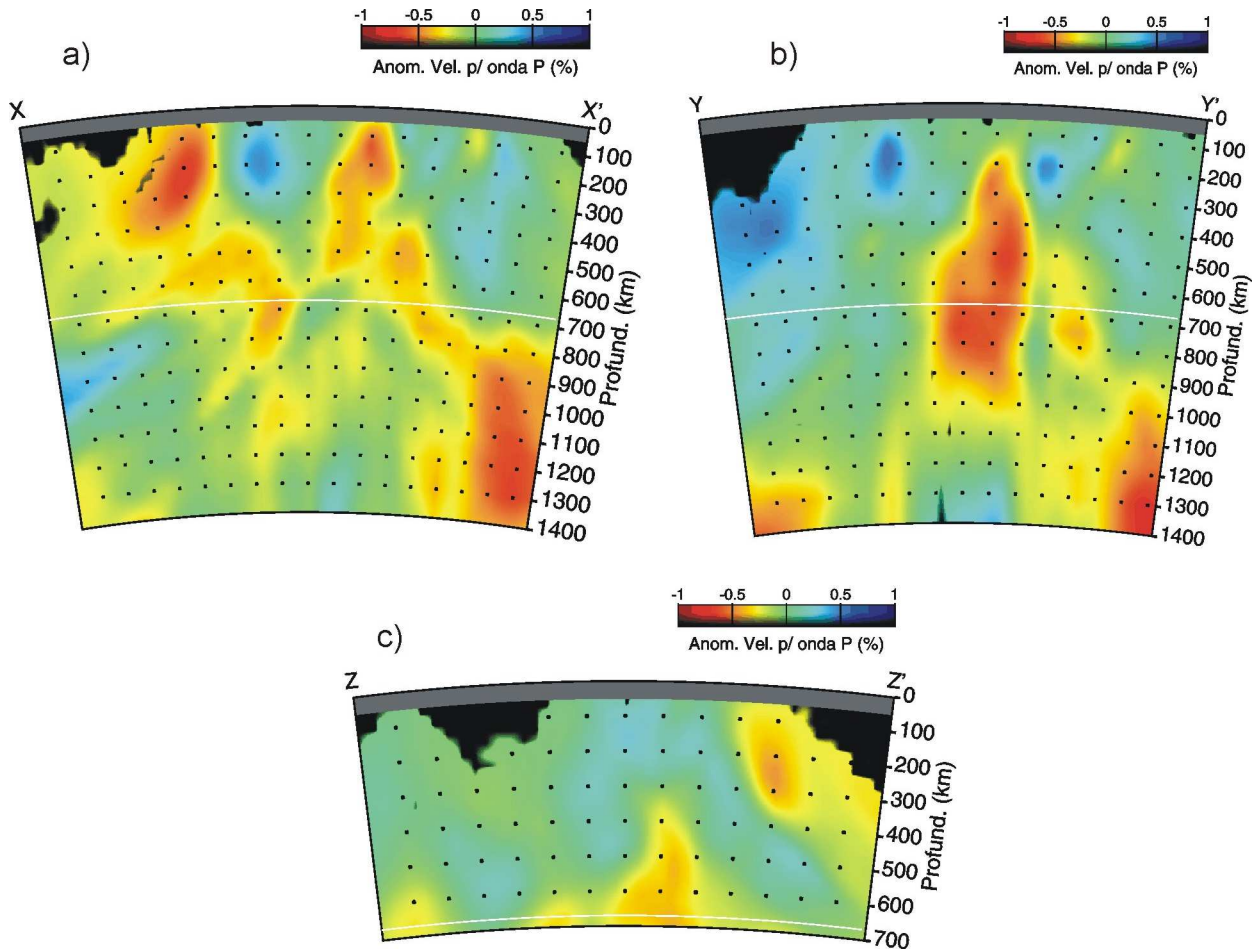


Figura 5 – Perfis tomográficos verticais. a) Seção vertical X-X' mostrando velocidades baixas a ~200km de profundidade sob a províncias ígneas de Iporá (à esquerda) e Alto Paranaíba (no centro). A anomalia no canto inferior direito é espúria e resulta de artifício da inversão. b) Seção vertical Y-Y' mostrando baixas velocidades no centro da seção, sugerida por VanDecar et al.(1995) como sendo uma parte fóssil da pluma de Tristão da Cunha. c) Seção vertical Z-Z' mostrando altas velocidades sob o cráton do São Francisco, e baixas velocidades sob a Província Alcalina da Serra do Mar.