

O Cone do Amazonas, bacia da Foz do Amazonas - uma nova discussão

*The Amazon Fan, Foz do Amazonas
basin - a new discussion*

Gil César Rocha de Carvalho

Consultant Geology and
Geophysics Halliburton/Landmark
Rio de Janeiro - RJ
gcarvalho@lgc.com

Caroline Janette Souza Gomes

Professora Associada III,
Departamento de Geologia,
Escola de Minas,
Universidade Federal Ouro Preto,
Ouro Preto, MG
caroline@degeo.ufop.br

Marcelo Augusto Martins Neto

Executive Director
Exploration and Business
Development at Vicenza Mineração
Belo Horizonte - MG
mamneto.geo@gmail.com

Resumo

O Cone do Amazonas, situado na porção profunda da bacia da Foz do Amazonas, Margem Equatorial Brasileira, constitui um dos maiores leques submarinos do mundo. É caracterizado por processos de argilocinese e pela presença de um sistema de falhas distensivo e compressivo conectado entre si por um descolamento basal. Nesse trabalho, re-examinaram-se seis linhas sísmicas de reflexão com o objetivo de contribuir para um melhor conhecimento da tectônica gravitacional, de idade controversa. A análise das feições sismoestratigráficas permitiu individualizar o embasamento acústico e seis seqüências sedimentares. Nas seções sísmicas, reconheceram-se falhas normais com idade decrescente do domínio proximal à região central. Estas falhas são pré- a sin-tectônicas em relação ao processo de deslizamento gravitacional, com raras falhas ativas até o Recente. O descolamento basal tornou-se ativo durante o Mioceno Superior. Sugere-se que isto tenha ocorrido em função de a porção basal da Formação Travosas, paleocênica, ter sofrido uma sobrecarga causada pela deposição do Grupo Pará.

Palavras-chave: Bacia da Foz do Amazonas; Cone do Amazonas, feições sismoestratigráficas, descolamento basal, Formação Travosas.

Abstract

The Amazon Fan, located in the deep-sea Foz do Amazonas Basin on the Brazilian Equatorial Margin, is one of the largest submarine fan systems in the world. It's most important features are shale diapirism and a linked extensional-compressional system on a basal detachment. In this paper, we re-interpreted six seismic reflection lines to provide new insights into the gravity tectonics of controversial age. On seismostratigraphic data, we recognized the acoustic basement and six sedimentary units. Extensional faults rooting into a detachment revealed seaward decreasing age, pre- to syn-tectonic with respect to the gravity sliding, and rare activity in the faults at present. For basal detachment became active during Mioceno Superior. Suggested is the basal portion of the paleocenic Travosas Formation that in consequence of an overload caused by the deposition of the Pará Group.

Keywords: Foz do Amazonas Basin, Amazon Fan, seismostratigraphic data, basal detachment, Travosas formation.

1. Introdução

A bacia da Foz do Amazonas localiza-se no extremo norte da Margem Equatorial Brasileira (Figura 1) e ocupa uma área total de 268.000 km² (Brandão & Feijó, 1994). Segundo Bruno (1987), 55% dessa área corresponde à plataforma continental, que se estende até a cota batimétrica de 200 m, e 45%, à região de águas profundas, conhecida como o Cone do Amazonas. Segundo Figueiredo et al. (2007), o Cone do Amazonas contém mais de 50%, em volume, dos sedimentos pós-rifte, provenientes da cadeia montanhosa dos Andes, após o seu soerguimento e a formação do rio Amazonas, no Mesomioceno. Os sedimentos teriam sido depositados em cerca de 10% do tempo da fase pós-rifte.

Segundo Damuth e Kumar (1975), o Cone do Amazonas é dividido, no sentido da planície abissal, em três domínios estruturais: um interno, o *Cone Superior*, junto à quebra da plataforma carbonática, caracterizado por falhamentos normais, soterrados; um intermediário, o *Cone Médio* e, um externo, o *Cone Inferior*, que se distingue pela presença de diápiros de argila.

Schaller e Dauzacker (1986) atribuem as estruturas distensionais do

Cone Superior a uma instabilidade gravitacional, que teria sido causada pelo declive da borda da plataforma e pela ocorrência de argilas sobrepresurizadas. A interpretação foi, posteriormente, balizada por Bruno (1987) e Silva e Maciel (1998). Enquanto o primeiro sugere que o deslizamento gravitacional estaria associado às camadas argilosas da Formação Orange, plio- a pleistocênicas, Silva e Maciel (1998) relacionam o processo, ao topo da Formação Limoeiro, de idade cretácica. Tese diferente é apresentada por Cobbold et al. (2004), a qual exclui a tectônica gravitacional como causa da configuração estrutural do leque submarino. Esses autores também interpretam o principal descolamento na seqüência cretácica (Formação Limoeiro), no entanto o descrevem como superfície subhorizontal. As estruturas distensionais estariam relacionadas a processos de sobrepresurização de sedimentos areníticos. Segundo Zalán (2005), o Cone do Amazonas constitui um típico cinturão de dobras e falhas gravitacionais, nos quais os sistemas distensivos e compressivos são conectados entre si por um descolamento basal. Outras características

seriam altas taxas de sedimentação e deformação, associadas à movimentação de argilas sobrepresurizadas. Reis et al. (2007) analisaram cerca de 9.000 km de dados 2D de sismica multicanal e identificaram duas superfícies de descolamento. Os autores, no entanto, descrevem apenas o descolamento superior e confirmam o modelo de Bruno (1987) de que um processo de deslizamento gravitacional teria ocorrido, como resultado de sobrecarga sedimentar diferencial (progradação sedimentar), em um nível móvel de argilas sobrepresurizadas (folhelhos) do cone deltáico.

Apesar das inúmeras pesquisas científicas já efetuadas na área em foco e do grande interesse econômico da região da bacia do Cone do Amazonas, o estágio atual dos conhecimentos ainda é insatisfatório. As principais questões controversas são o posicionamento do descolamento basal e a relação cronológica entre sedimentação e tectônica. Com o intuito de contribuir para o conhecimento dessas questões, seis linhas sísmicas de reflexão regionais foram reinterpretadas e construíram-se mapas de contorno estrutural e de isópacas das principais unidades.

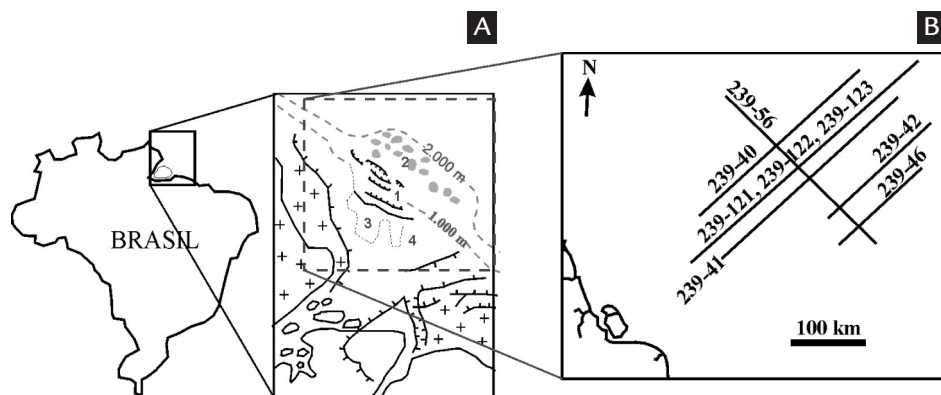


Figura 1

A) Mapa de localização da bacia da Foz do Amazonas, sem escala (modificado de Bruno, 1987).

1- Cone do Amazonas (domínio interno);
2- Cone do Amazonas (domínio externo);
3- Calhas oligocênicas;

4- Plataforma carbonática;

B) Mapa de localização das seis linhas sísmicas utilizadas nesse trabalho.

2. Geologia e litoestratigrafia

No presente trabalho, adotou-se, para a bacia da Foz do Amazonas, a litoestratigrafia proposta por Brandão e Feijó (1994), que também é empregada na nova carta estratigráfica de Figueiredo et al. (2007). No entanto, a ausência de dados de poços impediu uma caracterização completa das seqüências, o que levou a apresentação de uma nomenclatura simplificada (Tabelas 1 e 2 e Figura 2), baseada apenas em características sismoestratigráficas.

Segundo Brandão e Feijó (1994), o

processo de rifteamento da bacia da Foz do Amazonas se inicia no Jurássico (fase rifte I) e se estende ao Cretáceo Inferior (fase rifte II), no qual, durante o Aptiano/Albiano, ocorre a separação dos continentes no Atlântico Equatorial. A partir do Cretáceo Superior, desenvolve-se a bacia da Foz do Amazonas, durante a tectônica drift, como uma bacia de margem passiva. Nessa bacia, ocorre a deposição de três seqüências sedimentares distintas: as seqüências do Cretáceo Superior ao Paleoceno, do Paleoceno Superior ao Mioceno

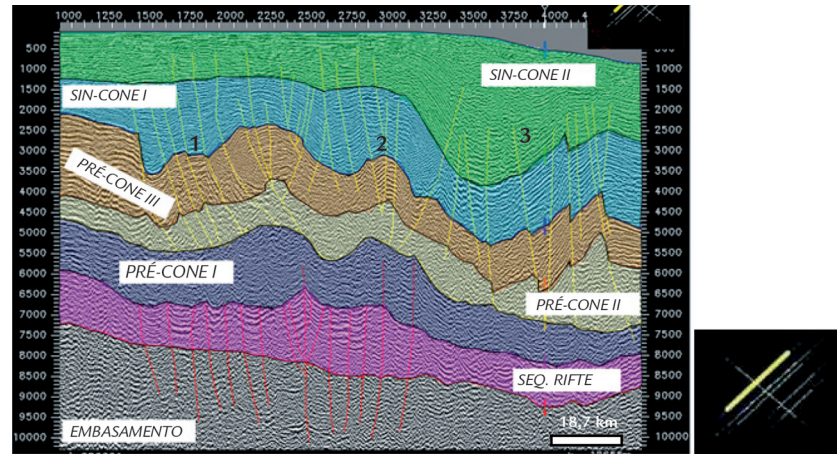
Médio e do Mioceno Médio ao Holoceno.

A Seqüência do Cretáceo Superior ao Paleoceno é representada pela Formação Limoeira, que foi estudada em detalhe por Schaller et al. (1971). Trata-se de sedimentos fluviais, intercalados com depósitos flúvio deltáicos, neríticos e batiais. Em estudo recente, Figueiredo et al. (2007) descrevem para esta seqüência uma predominância de folhelhos e siltitos. A seqüência do Paleoceno Superior ao Mioceno Médio caracteriza um sistema flúvio-deltaico, com clásticos finos

Tabela 1
Unidades litoestratigráficas segundo Brandão e Feijó (1994), sua idade e nomenclatura simplificada adotada no presente trabalho. Fm = formação.

Unidades Litoestratigráficas	Idade	Nomenclatura simplificada
Grupo Pará - Fm Tucunaré, Pirarucu e Orange (porção superior)	Plioceno ao recente	Sin-Cone II
Grupo Pará - Fm Tucunaré, Pirarucu e Orange (porção inferior)	Mioceno Superior	Sin-Cone I
Fm Marajó, Amapá e Travosas (porção superior)	Oligoceno ao Mioceno Médio	Pré-Cone III
Fm Marajó, Amapá e Travosas (porção inferior)	Paleoceno ao Eoceno	Pré-Cone II
Fm Limoeiro	Cretáceo Superior	Pré-Cone I
Fm Calçoene e Caciporé	Jurássico ao Cretáceo Inferior	Rifte
Embasamento	Pré-Cambriano	Embasamento (continental, transicional e oceânico)

Figura 2
Linha sísmica 239-40, da região do Cone do Amazonas, mostrando as seqüências interpretadas nesse trabalho. As linhas amarelas representam falhas normais pós-rifte e as vermelhas, falhas normais sin-rifte e do embasamento. Os números 1, 2 e 3 indicam depocentros nas seqüências Sin-Cone I e II.



a grosseiros (a Formação Marajó), com uma plataforma carbonática, com carbonatos de água rasa (a Formação Amapá) e com um sistema de folhelhos de talude com calcilutitos (a Formação Travosas). A seqüência deposicional mais nova da bacia da Foz do Amazonas que está re-

3. Metodologia de trabalho

Seis seções sísmicas de reflexão (Figura 1) foram reinterpretadas, utilizando-se o *software* SeisWorks da Landmark Graphics. Por falta de dados de poços, as seções sísmicas estudadas não foram migradas para a profundidade e não se efetuou uma discussão sobre a morfologia da base do descolamento da região do Cone do Amazonas.

A interpretação do dado sísmico consistiu na análise da imagem obtida pelo processamento das informações adquiridas, para entendimento do contexto geológico da bacia sedimentar. Com o intuito de melhorar a visualização dos dados sísmicos 2D, foi aplicado um filtro de ganho, o Automatic Gain Control (AGC), utilizando-se uma normalização do valor médio e uma janela operacional de 500 ms, em todas as seções sísmicas. O AGC aplica um valor

lacionada com a Orogenia Andina caracteriza um enorme leque submarino. Essa seqüência deltaica compõe o Grupo Pará (Schaller et al., 1971) com três formações: a Formação Tucunaré, representada por arenitos grosseiros de origem fluvial, gradando para arenitos finos de costa, tur-

fas e carbonatos terrígenos; a Formação Pirarucu, constituída por arenitos finos e argilitos prodeltaicos de leques submarinos (argilitos, arenitos muito finos, siltitos e folhelhos); e a Formação Orange, um espesso pacote pelítico constituído por folhelhos, siltitos e argilitos.

de ganho para cada amostra do dado, tendo como base uma média estatística de amplitudes dentro de uma janela de tempo ao redor da amostra. O objetivo geral do AGC é a normalização da média das amplitudes dentro de uma janela para o valor de um. Esse procedimento foi realizado utilizando o PostStack da Landmark.

A interpretação sísmica baseou-se na identificação de configurações internas e externas do traço sísmico para análise de padrões estratigráficos erosionais, deposicionais e geométricos, conforme descrito por Macurda (2005).

Para a descrição das seções sísmicas, elas foram divididas em três domínios estruturais: proximal (região SW, da quebra da plataforma carbonática), central e distal (região NE, dos diápiros). Os dois primeiros são caracteri-

zados pela presença de grandes falhas normais listricas, com geometria predominantemente sintética, no domínio proximal, e sintética e antitética, no domínio central (por exemplo, Figura 5B). No domínio distal, falhas reversas e diápiros, de geometria cilíndrica caracterizam uma região compressiva do Cone do Amazonas.

No programa SeisWorks da Landmark Graphics, confeccionaram-se, também, mapas de isópacas e de contorno estrutural. No entanto, no presente trabalho, esses mapas ilustrarão apenas a Seqüência Pré-Cone II. As seções sísmicas e os mapas encontram-se em ms (milissegundos) TWT (Two Way Time - tempo duplo). Com exceção da linha 239-56, a única em posição *strike*, todas as seções são apresentadas com respectiva interpretação na Figura 5.

4. Sismoestratigrafia e arcabouço estrutural

A análise conjunta das seis seções sísmicas disponíveis permitiu identificar

o embasamento e seis sequências sedimentares (Tabela 1), descritos a seguir.

A grande profundidade do embasamento dificultou o reconhecimento de seu topo a partir dos critérios normalmente empregados, de maneira que a sua delimitação se baseou não apenas em conceitos de sismoestratigrafia, mas, também, em estudos prévios (Oliveira, 2003 e Rodarte, 2001). O topo da crosta continental, de transição e oceânica,

apresenta-se mais visível na Figura 4A (detalhe da seção sísmica 239-41, da Figura 5C). A crosta continental foi reconhecida a partir da análise da amplitude do dado sísmico e pelos padrões dos refletores, do tipo ondulado e contorcido (Tabela 2). Os padrões ondulados e subparalelos indicam a presença de crosta transicional. Segundo Sperle

et al. (1989), os refletores da crosta transicional refletem a presença de material mantélico dos estágios que precederam a formação e o espalhamento da crosta oceânica. O topo da crosta oceânica foi reconhecido pela presença de refletores paralelos e subparalelos na unidade que corresponde à sua cobertura sedimentar (Fowler, 1990).

Nomenclatura simplificada	Refletores sísmicos		Figuras
	Padrões estratigráficos, erosionais e deposicionais	Padrões geométricos	
Sin-Cone II	Downlaps em direção à porção distal	X	4G
Sin-Cone I	Toplaps e onlaps	X	4F
Pré-Cone III	Onlaps próximos à região dos diápiros	X	4E
Pré-Cone II	Onlaps próximos à região dos diápiros e pull-ups	Paralelo/subparalelo, contorcido e segmentado	4D
Pré-Cone I	X	Paralelo /subparalelo e lenticular	4C
Rifte	X	Paralelo/subparalelo e ondulado	4B
Embasamento	X	Subparalelo e segmentado Ondulado/contorcido	4A

Tabela 2
Os refletores sísmicos das sequências descritas e a numeração das figuras com respectivos exemplos.

Seqüência Rifte

A Seqüência Rifte (formações Calçoene e Caciporé) é caracterizada, nas seções sísmicas, por refletores de padrão paralelo a subparalelo a ondulado e sucessões de sinais de alta variação de impedância acústica, em quase toda a região (Figuras

4B e 5). Às vezes, observa-se, também, um padrão geométrico ondulado.

Essa seqüência constitui em todas as seções sísmicas uma unidade de espessura relativamente constante que acunha e desaparece sobre a crosta transicional.

A oeste, na região da crosta continental, a seqüência é cortada por falhas normais de pequeno rejeito, que se estendem até o embasamento subjacente e, freqüentemente, também, até a unidade sobrejacente, do Pré-Cone I.

Seqüência Pré-Cone I

Os refletores da Seqüência Pré-Cone I (Formação Limoeiro) são caracterizados por fortes variações locais de impedância acústica. No topo dessa seqüência, os refletores se apresentam paralelos/subparalelos na porção oceânica

e lenticulares sobre a crosta continental (Figura 4C).

Em todas as seções sísmicas, observa-se que essa unidade sofre ligeiro espessamento no domínio distal. Uma outra variação de espessura, relativa-

mente forte, é reconhecida nas linhas 239-40, 239-121,122,123 e 239-41 (Figuras 5A, B e C), que sugere um processo de ascensão de material sob blocos da lapa de falhas normais, sobrejacentes.

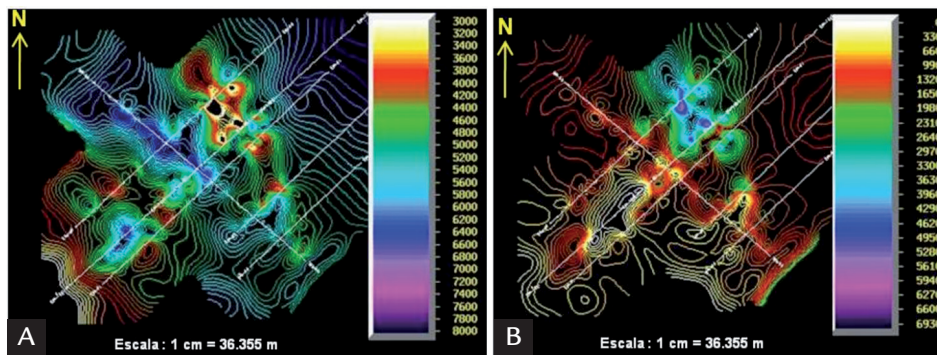
Seqüência Pré-Cone II

A Seqüência Pré-Cone II (Formações Marajó, Amapá e Travosas - porção inferior) é reconhecida nas seções sísmicas

por um sinal com amplitude bastante forte, mais facilmente identificável na parte central da região do Cone do Ama-

zonas (Figuras 4D e 5B). Os refletores possuem padrão paralelo a subparalelo, contorcido e segmentado.

Figura 3
Mapas da Sequência Pré-Cone II
A) de Contorno Estrutural (topo) e
B) de Isópacas. Escala em ms TWT
(tempo duplo).



Um grande número de feições estruturais e estratigráficas é observado nessa seqüência. Assim, por exemplo, as falhas normais lítricas que caracterizam o arcabouço estrutural da região proximal e central do Cone do Amazonas terminam na região basal dessa unidade. Essas falhas, de rejeitos variáveis, nascem no interior da seqüência Sin-Cone II, mas raramente se estendem até o topo dessa unidade. No domínio distal, ocorrem falhas reversas nucleadas na base dessa seqüência. Flexões antiformais podem ocorrer acima das falhas reversas (por exemplo, na porção distal da seção 239-46, Figura 5E) e indicam ligeiro deslocamento ascendente dos blocos da capa (possivelmente pequenos *fault-propagation folds*). A confluência das falhas normais e reversas à base da Seqüência Pré-Cone II sugere que o descolamento principal da região, em estudo, se situe nessa posição.

Além das falhas, fortes variações

de espessura caracterizam essa seqüência. Em todas as linhas sísmicas se observa um espessamento da Seqüência Pré-Cone II na região distal. Na seção 239-121,122,123 (Figura 5B), um forte afinamento se reconhece nos domínios proximal e central, onde essa seqüência quase desaparece. A variação de espessura sugere ter ocorrido fluxo sedimentar, no sentido *offshore*. O aumento de espessura e as falhas reversas, na porção distal, indicam desaceleração do processo de fluxo, em um ambiente compressivo, possivelmente associado à ligeira ascensão do topo da Seqüência Pré-Cone I, que teria agido como obstáculo.

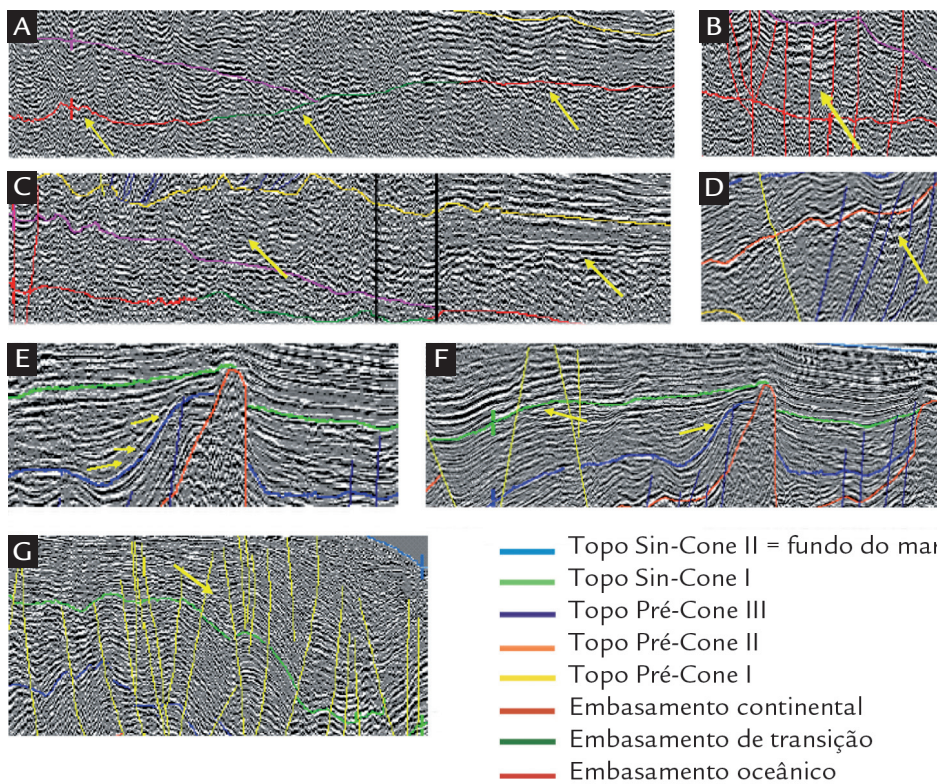
A análise cuidadosa do domínio distal de todas as seções sísmicas permite reconhecer um conjunto de feições do tipo *onlaps*, que caracteriza estruturas diapíricas ascendendo do interior da Seqüência Pré-Cone II. A presença de *pull-ups* nos refletores da Seqüência Pré-Cone II impossibilitou a determinação

da posição exata da base dos diápiros.

Os diápiros furam as seqüências sobrejacentes ou as empurram no sentido ascendente, formando estruturas antiformais (Figuras 4A - D). Esse fato, associado à presença de *onlaps*, até na base da seqüência Sin-Cone I (Figuras 4E e F), sugere ascensão contínua de material móvel da Seqüência Pré-Cone II até o Recente.

No mapa de contorno estrutural (Figura 3A), reconhece-se, na porção distal do cone, um alto alongado, na direção NW-SE, e estruturas circulares. Essas feições corroboram, em planta, o espessamento da seqüência e os diápiros, respectivamente. Além disto, observa-se, na porção central, um baixo alongado, também na direção NW-SE, que pode ser correlacionado ao afinamento da seqüência. O mapa de isópacas (Figura 3B) confirma a interpretação, mostrando espessamento e afinamento da seqüência em posições equivalentes.

Figura 4
Detalhes das seis seqüências sedimentares e do embasamento (localização nas seções sísmicas da Figura 5).
A) Embasamento; B) Seqüência Rifte; C) Seqüência Pré-Cone I; D) Seqüência Pré-Cone II; E) Seqüência Pré-Cone III; F) Seqüência Sin-Cone I e G) Seqüência Sin-Cone II. Em (E) e (F), o traço vermelho representa o topo de um diápiro. As setas indicam em (A) o topo do embasamento; em (B), (C), (D) e (G), fortes variações de impedância acústica; e, em (E) e (F), *onlaps* na base da Seqüência Sin-Cone I.



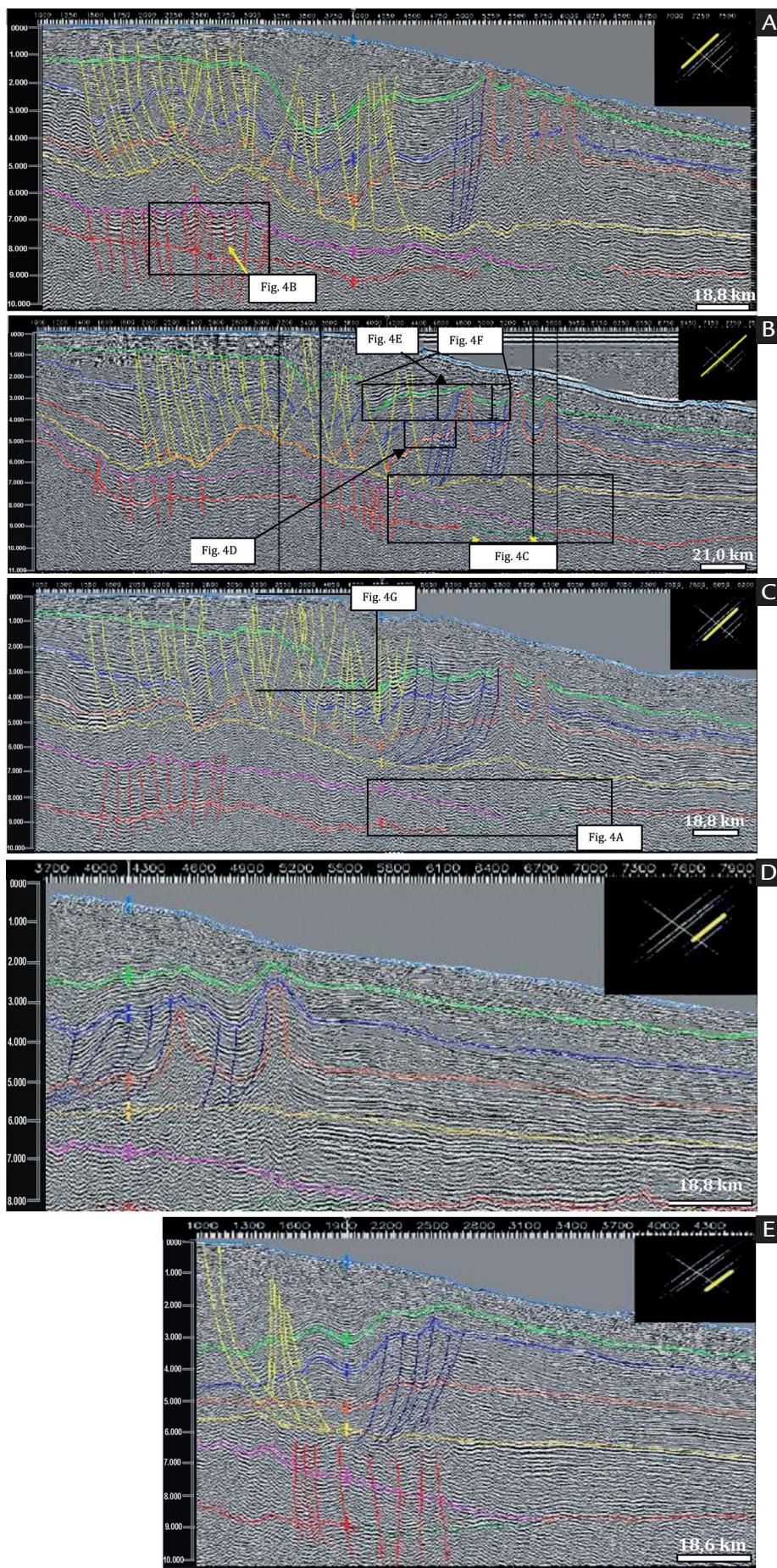


Figura 5
 As seções sísmicas interpretadas (escala vertical em ms TWT).
 A) Seção sísmica: 239-40.
 B) Seção sísmica: 239-121, 239-122, 239-123. Esta linha foi obtida através da junção automática (Point to Point) do Seisworks.
 C) Seção sísmica: 239-41
 D) Seção sísmica: 239-42
 E) Seção sísmica: 239-46

Seqüência Pré-Cone III

As seções sísmicas mostram a Seqüência Pré-Cone III (Formações Marajó, Amapá e Travosas – porção superior) caracterizada por um sinal com fortes variações de impedância acústica (Figura 5B). Ao contrário da seqüência subjacente, esta apresenta espessura levemente decrescente

Seqüência Sin-Cone I

A sedimentação da Seqüência Sin-Cone I (Grupo Pará - porção inferior) representa o início do desenvolvimento do pacote sedimentar do Cone do Amazonas (Brandão & Feijó 1994). A seqüência deposicional é relacionada à expressiva carga sedimentar siliciclástica oriunda da bacia Amazônica, durante a Orogenia Andina. Esta causou a inversão do rio Amazonas e, em conseqüência, a construção de um leque submarino.

Os refletores que compõem a Se-

Seqüência Sin-Cone II

Essa seqüência, mais nova do Cone do Amazonas, mostra padrões de *downlaps* em direção à região distal do leque (Figura 4G).

No sentido da plataforma continental, um grande número de falhas

no sentido *offshore* (Figuras 5A, B e C).

Nessa seqüência, muitas falhas normais ainda exibem rejeito significativo, o que sugere sedimentação pré-tectônica. As fortes flexões antiformais, que caracterizam algumas regiões do topo dessa seqüência, nos domínios proximal e cen-

tral, não possuem causas claras. A princípio, poderiam ser atribuídas à rotação e ao arqueamento de estratos, configurando anticlinais de *roll-over*, ou constituir o resultado da acomodação da seqüência fruto da forte afinamento da unidade subjacente.

qüência Sin-Cone I apresentam um padrão de grande variação lateral de impedância acústica e é possível observar *toplaps* em seu topo e *onlaps* na base (Figura 4F).

A análise cuidadosa das seções sísmicas revela que as falhas normais, no interior dessa seqüência, possuem comportamento diferenciado: algumas deslocam apenas a sua superfície basal (extremo sudoeste, do domínio proximal, Figura 5A) e outras cortam (e deslocam) tan-

normais não se estende até o topo da Seqüência Sin-Cone II (Figuras 5A-C), o que sugere que a atividade dessas falhas diminuiu com o tempo. É interessante notar, ainda, que a espessura dessa seqüência cresceu na região central (Figura

2), onde ocorre uma flexão sinformal. Uma evidência para esse espessamento é visível apenas na seção 239-121,122,123 (Figura 5B), onde esse espessamento está associado ao forte rejeito de uma falha normal, subjacente.

As seções sísmicas revelam, também, que os diápiros do Pré-Cone II, ainda furam ou deslocam o topo da seqüência Sin-Cone I (Figuras 5A e D). O fato demonstra que essas estruturas eram ativas até o final da deposição da Seqüência Sin-Cone II.

2), onde ocorre uma flexão sinformal. Uma evidência para esse espessamento é visível apenas na seção 239-121,122,123 (Figura 5B), onde esse espessamento está associado ao forte rejeito de uma falha normal, subjacente.

5. Discussão dos resultados

As seqüências drift (Pré-Cone I, II e III e Sin-Cone I e II)

A análise estrutural das seis seções sísmicas revela uma nítida diferença nos estilos estruturais entre o conjunto embasamento/Seqüência Rife e a seqüência drift do Pré-Cone I, II e III e Sin-Cone I e II. Além disto, nota-se um comportamento diferenciado entre as unidades do Pré- e do Sin-Cone.

Todas as seções sísmicas expõem, na Seqüência Rife e no Embasamento, falhas normais de baixo rejeito, relativas à fase rife da bacia. Apesar de a Seqüência Pré-Cone I mostrar, em sua base, ainda, estruturas da tectônica rife, a estruturação das Seqüências Pré-Cone II e III e Sin-Cone I e II não sugere qualquer controle da tectônica do embasamento na sua configuração.

A Seqüência drift é caracterizada, nos domínios proximal e central, pela presença de grandes falhas normais lístricas, sintéticas e antitéticas. Na região proximal, as falhas normais sintéticas

mostram rejeito apenas em sua porção inferior, quando deslocam o topo das Seqüências Pré-Cone I, II e, ocasionalmente, o topo da Seqüência Pré-Cone III (região sudoeste das Figuras 5A, B e C). É interessante notar, no entanto, que, no domínio central, região das falhas sintéticas e antitéticas, o deslocamento das falhas afeta, também, as seqüências sobrejacentes, mais novas (Sin-Cone I e II). O fato sugere que a idade relativa das estruturas distensivas decresce do domínio proximal à região central e que as falhas mais velhas são pré-tectônicas em relação ao processo de deslizamento gravitacional, que caracteriza a área de estudo.

No domínio distal, falhas reversas e diápiros, de geometria cilíndrica, caracterizam a região do Cone do Amazonas. Para a formação das falhas reversas e dos diápiros, as seções sísmicas estudadas permitem sugerir desaceleração de fluxo sedimentar de um nível móvel, no

domínio distal. Esta teria ocorrido em decorrência de um obstáculo no antepaís, possivelmente, o leve espessamento da unidade Pré-Cone I, subjacente.

As unidades das Seqüências Pré- e Sin-Cone se diferenciam entre si pela forma como ocorre a variação da espessura. Nas Seqüências Sin-Cone I e II, existem três domínios de altas espessuras (Figura 2). Apesar de a relação com falhas normais só ser evidente na linha sísmica da Figura 5B, sugere-se aqui a ocorrência de três depocentros, formados progressivamente. Já, nas seqüências do Pré-Cone, especialmente, no Pré-Cone II, há decréscimo de espessura na região central e aumento na porção distal (Figura 5B).

A configuração do sistema de falhas, cujas estruturas ou convergem para a base do Pré-Cone II (as falhas normais) ou dela divergem (as falhas reversas), sugere que, nessa região, ocorra a zona de descolamento basal. A principal ati-

vidade tectônica do descolamento basal é relacionada a um processo de mobilização de folhelhos, na base do Pré-Cone II. Esta teria ocorrido em decorrência à progressiva sobrecarga causada pela deposição das Seqüências do Sin-Cone.

A Formação Travosas (da Seqüência Pré-Cone II) foi descrita por Brandão e Feijó (1994) como um sistema de folhelhos de talude com calcilitos, de sedimentação regressiva. Apesar de não ter sido atingida por nenhum poço na região

do Cone do Amazonas, os autores lhe conferem a mesma composição das bacias vizinhas. A predominância de folhelhos na Seqüência Pré-Cone II (Formação Travosas), fato confirmado por Figueiredo et al. (2007), baliza a referida tese.

A comparação dos resultados com os modelos já existentes

A diferença básica entre o modelo de Bruno (1987) e a interpretação aqui apresentada diz respeito ao posicionamento do descolamento basal no Cone do Amazonas e à origem dos diápiros de argila. Segundo o autor, a instabilidade gravitacional foi induzida pela deposição do Grupo Pará, sobre uma espessa seção de argilas mal-compactadas da Formação Orange, no Mioceno Superior.

No presente trabalho, a atividade tectônica da região do Cone do Amazonas é, também, relacionada a um deslizamento gravitacional. No entanto, não se encontraram evidências para o posicionamento do descolamento na camada basal do cone, como também preconizam Schaller e Dauzacker (1986) e Reis et al. (2007). No presente estudo, uma mobilização de folhelhos foi reconhecida no interior da Seqüência Pré-Cone II.

Além disto, reconheceu-se uma idade decrescente das falhas normais, no sentido distal, de pré- a sin-tectônico em relação à tectônica gravitacional. Isto significa que o descolamento basal se formou em uma unidade rochosa mais antiga que o Sin-Cone I.

Cobbold et al. (2004) posicionam o descolamento basal próximo ao topo da seqüência cretácica (Formação Limoeira), portanto próximo à posição aqui interpretada. No entanto, os autores caracterizaram o descolamento basal como uma superfície horizontal, de comportamento dúctil, formada em sedimentos areníticos sobrepressurizados.

Os dados disponíveis, no presente trabalho, não permitem uma discussão mais detalhada sobre as características composicionais e de reologia do descolamento basal. No entanto, a presença

de diápiros na região distal da bacia e a sua relação estrutural com o sistema de falhas compressivas e distensivas, todas as estruturas conectadas entre si, constituem forte indício de que o descolamento basal tenha se desenvolvido em camadas de folhelhos. Além disto, tanto as seções sísmicas quanto o mapa de localização (Figuras 5 e 1, respectivamente) mostram que as seqüências sedimentares da região do Cone do Amazonas se situam sobre uma superfície em declive.

É importante lembrar, ainda, que o sistema compressivo aqui descrito revelou a presença de diápiros e falhas reversas simples, sem nenhuma complexidade, o que, segundo Zalán et al. (2005), caracteriza processos argilocinéticos, induzidos por sobrecarga sedimentar, deslizamento do pacote sobrejacente e compressão.

6. Conclusões

As principais conclusões sobre a análise do conjunto de dados levantados na região do Cone do Amazonas são as seguintes:

- a) O descolamento basal se formou na porção basal da Formação Travosas (Seqüência Pré-Cone II), possivelmente em camadas de argilitos sobrepressurizadas.
- b) Na Seqüência Pré-Cone II, ocorre uma variação de espessura que pode ser relacionada a uma tectônica de deslizamento gravitacional.
- c) Os diápiros e as falhas reversas da

região do Cone do Amazonas se originaram na Seqüência Pré-Cone II em decorrência do espessamento do material argiloso, no domínio distal, quando sua movimentação foi barrada por uma ligeira ascensão da seqüência subjacente.

- d) Os diápiros foram ativos até o final da deposição da Seqüência Sin-Cone II.
- e) O sistema de falhas distensivas, das regiões proximal e central, possui idade decrescente no sentido *off-shore*. A formação das falhas se ini-

ciou após a deposição da Seqüência Pré-Cone II, foi intensa durante a sedimentação da Seqüência Sin-Cone I e diminuiu na época da deposição do Sin-Cone II.

- f) O deslizamento gravitacional ocorreu no Mioceno Superior, em decorrência da sobrecarga exercida pelas seqüências sedimentares do Sin-Cone.
- g) Uma variação de espessura, nas seqüências do Sin-Cone, caracteriza um processo deposicional, de migração de depocentros, da região proximal à distal.

7. Agradecimentos

Os autores expressam os seus sinceros agradecimentos às seguintes institui-

ções e pessoas: à Universidade Federal de Ouro Preto, à Halliburton/Landmark, à

ANP (pela liberação das linhas sísmicas) e ao revisor anônimo.

8. Referências bibliográficas

- BRANDÃO, J. A. S. L., FEIJÓ, F. J. Bacia Foz do Amazonas. *Bol. Geoc. Petrobras*, v. 8, n. 1, p. 91-99, 1994.
- BRUNO, G. L. G. *Argilocinese no Cone do Amazonas, Bacia da Foz do Amazonas*. Ouro Preto: Escola de Minas, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, 1987. 103 f. 1987. (Dissertação de Mestrado em Geologia Estrutural e Tectônica).

- COBBOLD, P. R. et al. Mechanism of thin skinned detachment in the Amazon Fan: assessing the importance of fluid overpressure and hydrocarbon generation. *Marine and Petroleum Geol.*, v. 21, p. 1013-1025, 2004.
- DAMUTH, J. E., KUMAR, N. Amazon Cone: morphology, sediments, age and growth pattern. *Geol. Soc. Am. Bull.*, v. 86, p. 863-878. 1975.
- FIGUEIREDO, J. J. P. et al. Bacia da Foz do Amazonas. *Bol. Geoc. Petrobras*, v. 15, n. 2, p. 299- 309. 2007.
- FOWLER, C. M. R. *The solid earth - an introduction to global geophysics*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. 472p.
- MACURDA, D. B. *Seismic facies analysis*. D. Brandford Macurda, Jr. Inc. 2005.
- MOHRIAK, W. U. Bacias sedimentares da Margem Equatorial Brasileira. In: Bizzi, L. A, SHOBHENHAUS C., VIDOTTI, R. M., GONÇALVES J.H. (Eds.). *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil*. CPRM. Brasília, 2003, cap. 3, p. 87-165.
- OLIVEIRA, L. G. S. *Estudo gravimétrico da região do Cone do Amazonas, Bacia da Foz do Amazonas, Margem Equatorial Brasileira*. Ouro Preto: Escola de Minas, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, 2003. 125 f. (Dissertação de Mestrado em Geologia Estrutural e Tectônica).
- REIS, T. R., SILVA, C. G., OLIVEIRA, V., VENDEVILLE, B., GORINI, C., LONCKE, L., MOURGUES, R., CALDAS, N., MATTIODA, J. A tectônica gravitacional no cone submarino do Amazonas, Margem Equatorial Brasileira. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 11, INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TECTONICS, 5. *Boletim de Resumos Expandidos...* Natal: SBG, 2007. p. 38-40.
- RODARTE, J. B. M. Determinação do limite crustal na Margem Centro-Leste Brasileira: integração de um novo método com modelagens crustais e mapeamento sísmico. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 7. *Anais...* Salvador: SBG, 2001. v. 1, p. 990-993.
- SCHALLER, H., VASCONCELOS, D. N., CASTRO, C. C. Estratigrafia preliminar da bacia sedimentar da Foz do Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25. *Anais...* São Paulo: SBG, 1971. v. 3, p. 189-202.
- SCHALLER, H., DAUZACKER, M. V. Tectônica gravitacional e sua aplicação na exploração de hidrocarbonetos. *Bol. Téc. Petrobras*, v. 29, p. 193-206, 1986.
- SILVA, S. R. P., MACIEL, R.R. Foz do Amazonas Basin hydrocarbon system. In: AAPG INTERNATIONAL CONFERENCE AND EXHIBITION, 1998. Rio Janeiro, *Extended Abstract...* Rio de Janeiro, 1998. p. 480-481.
- SPERLE, M., MELLO, S. L. M., COSTA, M. P. A. Modelagem gravimétrica e magnética do limite de crostas continental/oceânica no platô do Rio Grande do Norte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOFÍSICA, 1. *Anais...* Rio de Janeiro: SBG, 1989. v. 2, p. 863- 868.
- ZALÁN, P. V. End members of gravitational fold and thrust belts (GFTBs) in the deep waters of Brazil. In: J. H. SHAW, J. H., CONNORS, C., SUPPE, J. (Eds.). *Seismic Interpretation of Contractional Fault- Related Folds: AAPG Seismic Atlas, Studies in Geology*, n. 53. p. 147-152, 2005.

Artigo recebido em 31 de janeiro de 2011. Aprovado em 16 de maio de 2011.