

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOSCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOSCIÊNCIAS**

**ANÁLISE SISMOESTRATIGRÁFICA DA SEÇÃO RIFTE DA  
BACIA DE CAMPOS**

**PATRYCIA LEIPNITZ ENE**

ORIENTADORA - Profª Dra. Karin Goldberg

CO-ORIENTADOR - Prof. Dr. Juliano Kuchle

Volume I

Porto Alegre – 2014

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOSCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOSCIÊNCIAS**

**ANÁLISE SISMOESTRATIGRÁFICA DA SEÇÃO RIFTE DA  
BACIA DE CAMPOS**

**PATRYCIA LEIPNITZ ENE**

ORIENTADORA – Prof<sup>a</sup> Dra. Karin Goldberg

CO-ORIENTADOR – Prof. Dr. Juliano Kuchle

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Claiton M. S. Scherer

Prof. Dr. Jair Weschenfelder

Prof. Dr. Ubiratan Faccini

Dissertação de mestrado apresentada  
como requisito parcial para a obtenção  
do Título de Mestre em Ciências.

Porto Alegre 2014

CIP - Catalogação na Publicação

ENE, PATRYCIA  
ANÁLISE SISMOESTRATIGRÁFICA DA SEÇÃO RIPTE DA  
BACIA DE CAMPOS / PATRYCIA ENE. -- 2014.  
67 f.

Orientadora: KARIN GOLDBERG.  
Coorientador: JULIANO KUCHLE.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências,  
Programa de Pós-Graduação em Geociências, Porto  
Alegre, BR-RS, 2014.

1. BACIAS RIPTE. 2. BACIA DE CAMPOS. 3.  
SISMOESTRATIGRAFIA. 4. ESTRATIGRAFIA DE SEQUÊNCIAS.  
5. BOCRETÁCIO. I. GOLDBERG, KARIN, orient. II.  
KUCHLE, JULIANO, coorient. III. Título.

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à equipe do Projeto Deep Rift e à BG Group, pelo fornecimento dos dados e a oportunidade de participar desse projeto.



## RESUMO

A Bacia de Campos está limitada pelo Alto de Vitória ao Norte e pelo Alto de Florianópolis ao sul, possuindo uma área de aproximadamente 100.000 km<sup>2</sup>. Sua seção rifte é composta pela porção basal a mediana do Grupo Lagoa Feia, e inclui a principal rocha geradora da bacia, reconhecidamente rica em matéria orgânica, sendo a maior produtora de hidrocarbonetos do Brasil, e rochas reservatório carbonáticas. O presente estudo foca sua análise no intervalo rifte, onde foi realizada uma interpretação e mapeamento sistemático de linhas sísmicas 2D em uma área chave da bacia. Esta análise é baseada em adaptações de modelos já existentes de evolução de bacias rifte, e nos conceitos de estratigrafia de sequências aplicados à sismoestratigrafia. Através da interpretação e mapeamento das seções sísmicas, foi possível elaborar um modelo evolutivo para a fase inicial da Bacia de Campos, com a elaboração de uma carta cronoestratigráfica e estabelecimento dos tratos de sistemas que distinguem as diferentes fases de evolução dos meio-grábens reconhecidos. O resultado foi a delimitação de três tratos de sistemas tectônicos, que permitiram uma compreensão detalhada da complexa evolução e desenvolvimento das calhas da Bacia de Campos durante a fase rifte.

Palavras-chave: Bacia de Campos, Sismoestratigrafia, Bacia Rifte, Eocretáceo, Estratigrafia de Sequências

## ABSTRACT

The Campos Basin is limited northward by the Vitória High and southward by the Florianópolis High, with an area of approximately 100,000 km<sup>2</sup>. The rift section in the Campos Basin comprises the basal and median portions of the Lagoa Feia Group, and includes the main source rocks in the basin, which is known to be rich in organic matter and is the best hydrocarbon producer in Brazil, as well as carbonate reservoir rocks. The present study focuses its analysis on the rift section, where a systematic mapping and interpretation of 2D seismic lines in a key area of the basin was carried out. This analysis is based on adaptations of existing evolution models for rift basins, and the concepts of sequence stratigraphy applied to seismic stratigraphy. Through the interpretation and mapping of seismic sections, it was possible to propose an evolution model for the initial phase of the Campos Basin, with the construction of a chronostratigraphic chart and the establishment of systems tracts that distinguish different stages on the evolution of the recognized half-grabens. The result was the delimitation of three tectonic systems tracts that allowed the detailed understanding of the complex evolution and trough development of the Campos Basin during the rift phase.

Key words: Campos Basin, Seismic Stratigraphy, Rift Basin, Early Cretaceous, Sequence Stratigraphy

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: O modelo de Wernicke (1985) mostrando o processo de deslizamento sob uma zona de cisalhamento de raiz sub-horizontal. (Extraído de Wernicke, 1985),.....9
- Figura 2: Modelo de múltiplos descolamentos de Lister (1986) baseado no modelo inicial de Wernicke (1985), com uma complexidade avançada do sistema de descolamento e desenvolvimento de meio-grábens adjacentes. (Extraído de Lister, 1986) ..... 10
- Figura 3: Modelo do sistema de meio-gráben com seus principais elementos e compartimentações. O ponto que regula a ocorrência de *footwal* ou *hangingwall* é denominado *tilt point*. (Extraído de Kuchle, 2006)..... 11
- Figura 4: Modelo geométrico básico de Bosence (1998) com critérios estratigráficos para separar a seção sin-rifte das seções pré e pós-rifte, e suas discordâncias respectivas. (Modificado de Bosence, 1998)..... 12
- Figura 5: Modelo esquemático de Gawthorpe & Leeder (2000) para o processo de conexão de falhas (*fault linkage*), que controla o desenvolvimento de falhamentos em um rifte, principalmente a falha de borda. Observa-se que no início (A) as falhas apresentam pouco rejeito e pequena extensão lateral. A conectividade lateral (B) faz gradualmente aumentar a extensão do falhamento e seu rejeito, até a fase de amplo estabelecimento (C). (Extraído de Gawthorpe & Leeder, 2000)..... 13
- Figura 6: Ilustração esquemática do modelo de propagação de falha (*fault propagation*) de Morley (2002), com (a) ligação progressiva de falhas laterais durante um longo período evolutivo, onde se desenvolve uma ampla área deposicional no meio-gráben; (b) ligação progressiva de curta duração e sistemas de falhamentos laterais, desenvolvendo uma falha de borda. (Extraído de Morley, 2002). ..... 14
- Figura 7: Seções esquemáticas do modelo evolutivo de riftes de Morley (2002), com (a) estágio rifte inicial (depressão sinforme), (b) meio-gráben inicial, (c) meio-gráben maturo, e (d) final do meio-gráben. (Extraído de Morley, 2002)..... 16
- Figura 8: modelo extraído de Kuchle & Scherer (2010) mostrando em a) o modelo estratigráfico, b) o modelo sismoestratigráfico e em c) a carta cronoestratigráfica de uma bacia rifte, com os tratos tectônicos e suas superfícies limítrofes. .... 18

Figura 9: relação das terminações com os limites de sequências deposicionais. (Modificado de Catuneanu, 2002 e Mitchum, 1977).....	20
Figura 10: Conceitos básicos de sequências deposicionais. Em 1a, uma seção estratigráfica genérica, com unidades estratigráficas numeradas de 1 a 25, marcando os limites das sequências deposicionais. Em 1b, a seção cronoestratigráfica da mesma seção 1a, evidenciando hiatos com erosão ou não deposição. (Extraído de Mitchum, 1977).....	21
Figura 11: configuração interna de uma seção sísmica. (Extraído de Mitchum, 1977) .....	22
Figura 12: Localização da Bacia de Campos, entre os Arcos de Vitória e Cabo Frio. (Modificado de Moraes, 1989).....	24
Figura 13: Carta estratigráfica da Bacia de Campos. (Extraído de Winter <i>et al.</i> , 2007) .....	25
Figura 14: Arcabouço estrutural da Bacia de Campos. (Extraído da ANP: site ANP - Round 4) .....	28
Figura 15: Seção geológica esquemática da Bacia de Campos. (Extraído de Rangel <i>et al.</i> , 1998) .....	29

## SUMÁRIO

1. TEXTO EXPLICATIVO .....	6
2. INTRODUÇÃO.....	7
3. ESTADO DA ARTE .....	8
3.1. CONCEITOS FUNDAMENTAIS SOBRE BACIAS RIFTE.....	8
3.2. METODOLOGIA DE INTERPRETAÇÃO SISMOESTRATIGRÁFICA.....	19
4. CONTEXTO GEOLÓGICO .....	24
5. ARTIGO SUBMETIDO.....	31
6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	63
7. REFERÊNCIAS .....	65

## 1. TEXTO EXPLICATIVO

Sobre a Estrutura desta Dissertação:

Esta dissertação de mestrado está estruturada em torno de um artigo submetido a uma publicação em periódico. Conseqüentemente, sua organização compreende as seguintes partes principais:

a) Introdução sobre o tema e descrição do objeto da pesquisa de mestrado, onde estão sumarizados os objetivos e a filosofia do projeto de pesquisa desenvolvido, o estado da arte sobre o tema, uma breve discussão teórica sobre a metodologia aplicada e os principais resultados alcançados.

b) Artigo, inserido no corpo da dissertação, submetido a periódico com corpo editorial permanente e revisores independentes, escrito pelo autor durante o desenvolvimento de seu mestrado.

## 2. INTRODUÇÃO

A Bacia de Campos foi, por anos, a bacia mais prolífera do Brasil, possuindo as maiores reservas de óleo brasileiras (Guardado et al., 2000) até a descoberta das reservas do pré-sal. O foco do trabalho está voltado para a seção rifte da Bacia de Campos que compreende o Grupo Lagoa Feia. É neste Grupo que se encontram as principais rochas geradoras da bacia, folhelhos ricos em matéria orgânica, e alguns reservatórios. Essas rochas foram depositadas em ambiente continental de abertura do rifte, em um lago salobro a hipersalino (Guardado et al., 2000). Com os avanços na área de bacias rifte desde os anos 90 e a modernização de dados sísmicos, há muito a se contribuir para a história evolutiva da seção rifte da Bacia de Campos.

A estrutura de um rifte é um meio-gráben composto por uma margem flexural e uma falha de borda. Eventos tectônicos em uma bacia rifte geram subsidência do *hangwall* e soerguimento do *footwall*. Isso resulta na geração de espaço de acomodação e deposição de sedimentos, formando *onlaps*, que marcam a evolução do preenchimento da bacia (Kuchle & Scherer, 2010). O estudo da seção rifte da Bacia de Campos ainda é limitado. Desta forma, foi realizado um estudo sismoestratigráfico para melhor compreender o padrão de preenchimento, identificação das rochas geradoras e potenciais reservatórios e sua distribuição espacial no intervalo analisado.

Com isso, este trabalho teve como principais objetivos:

- Mapeamento sistemático da seção rifte em toda a área de estudo;
- Determinação das principais superfícies do intervalo;
- Determinação das sismofácies dominantes no Grupo Lagoa Feia;
- Proposição de um modelo evolutivo e de preenchimento para a área de estudo.

### 3. ESTADO DA ARTE

Foi realizada uma revisão bibliográfica sobre processos de formação e evolução de uma bacia rifte e sobre a aplicação dos conceitos fundamentais da estratigrafia de sequências através da interpretação sísmica. Esta revisão teve por objetivo buscar subsídios para elaborar um modelo consistente da evolução da seção rifte da Bacia de Campos.

#### 3.1. CONCEITOS FUNDAMENTAIS SOBRE BACIAS RIFTE

O modelo de Wernicke (1985), baseado no modelo de cisalhamento simples, estabelece o deslizamento de uma placa superior sobre uma placa inferior, em uma zona sub-horizontal. Isso faz com que a calha rifte sofra uma expansão ao longo de um eixo paralelo ao sistema de descolamento sub-horizontal profundo, e a ascensão mantélica migre ao longo da zona de descolamento, até chegar à zona de maior afinamento crustal. A ruptura de um rifte deste tipo gera duas bacias marginais com estruturas distintas, e comumente com extensões de crosta continental estirada desproporcionais (figura 1). Assim, a evolução do rompimento crustal gera bacias diferentes em cada margem continental, tendo uma extensa seção sin-rifte na região à esquerda do modelo, e discretas seções sin-rifte à direita. O rompimento crustal não se dá exatamente abaixo do meio-gráben principal, pois neste modelo esta não é a zona de maior afinamento crustal – que no final do processo evolutivo, encontra-se lateralmente adjacente ao meio-gráben principal, com exposição dos complexos de núcleos metamórficos. É nesta zona que ocorrerá a abertura e geração dos primeiros SDR's (*seaward dipping reflectors*) e crostas oceânicas iniciais.



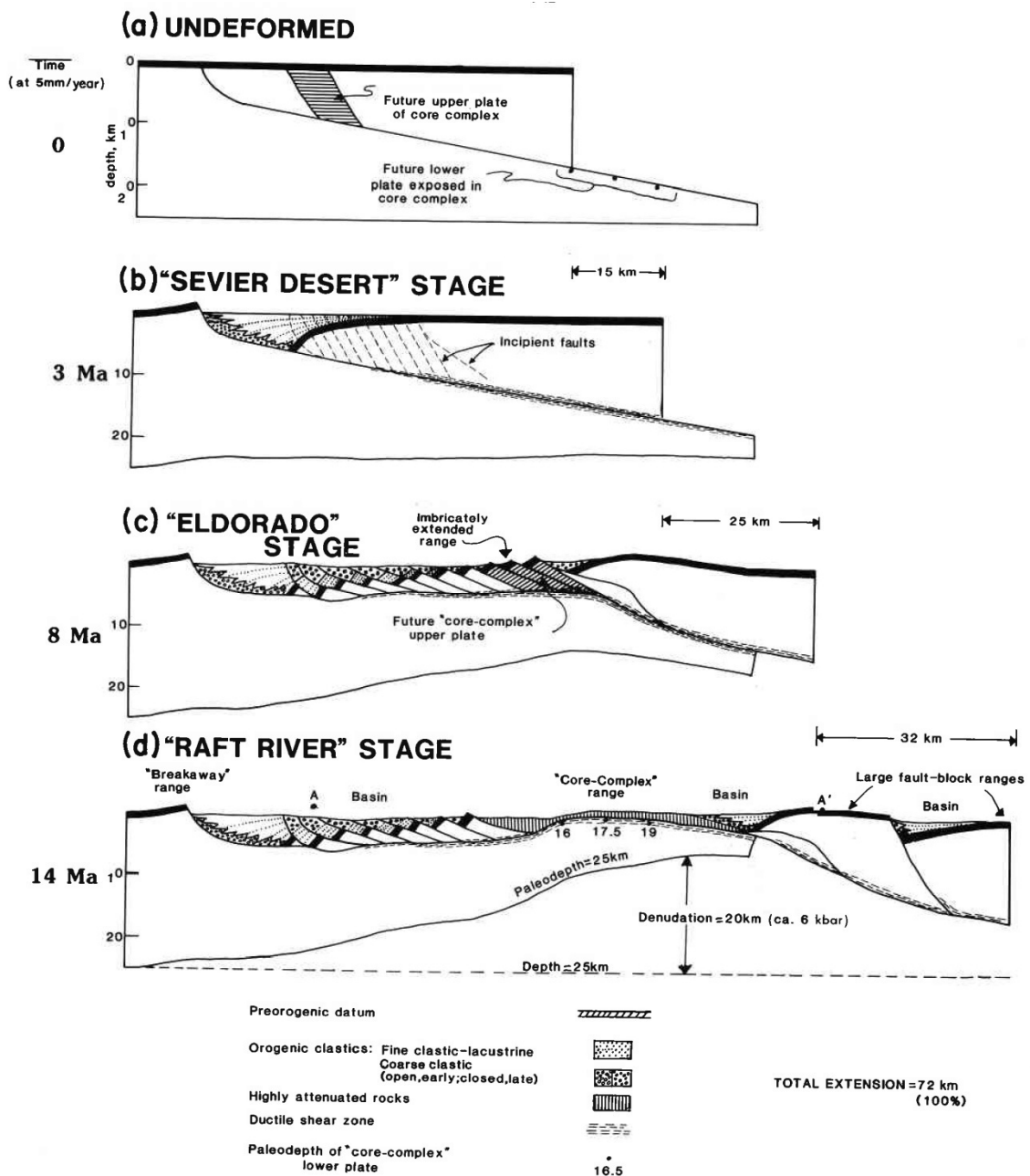


Figura 1: O modelo de Wernicke (1985) mostrando o processo de deslizamento sob uma zona de cisalhamento de raiz sub-horizontal. (Extraído de Wernicke, 1985).

Lister *et al.* (1986) adapta o modelo de cisalhamento simples de Wernicke (1985) para um sistema com uma superfície de deslocamento que paralisa em uma posição, criando uma nova superfície de deslocamento em outra posição, ou ocorrem duas superfícies de deslocamento ao mesmo tempo. Ou seja, este modelo prevê a ocorrência simultânea de duas ou mais zonas de rifteamento em superfície, comumente com a concentração da deformação em outra superfície de

deslocamento preferencial e abandono da primeira. Na realidade o processo é o mesmo, mudando somente a geometria física do modelo com a adição de elementos complexantes (figura 2).

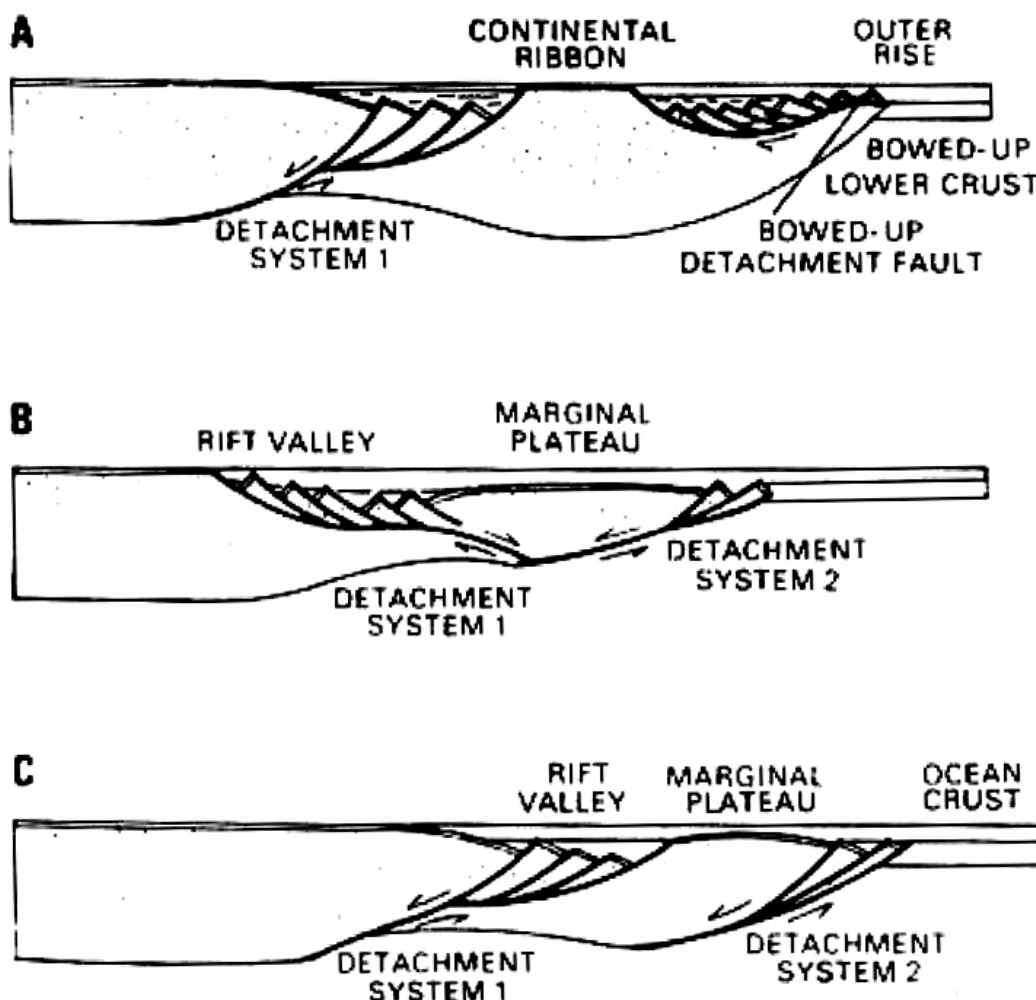


Figura 2: Modelo de múltiplos descolamentos de Lister (1986) baseado no modelo inicial de Wernicke (1985), com uma complexidade avançada do sistema de descolamento e desenvolvimento de meio-grábens adjacentes. (Extraído de Lister, 1986)

É importante ressaltar a geometria do meio-gráben como fator influente na sedimentação de uma bacia rifte. O meio-gráben é composto por um bloco que forma uma rampa de declive variável, o *hangingwall*, e um bloco que sustenta a falha de borda, o *footwall* (figura 3). Porém, em uma área onde há um conjunto de meio-grábens adjacentes, comum em sistemas rifte, o *footwall* de um meio-gráben é o *hangingwall* do meio-gráben adjacente, o que torna esses sistemas extremamente

complexos. Desta forma, considera-se *hangingwall* (figura 3) toda a região do meio-gráben que sofre subsidência, enquanto que toda a região que sofre soerguimento é denominada de *footwall* (Kuchle, 2004).

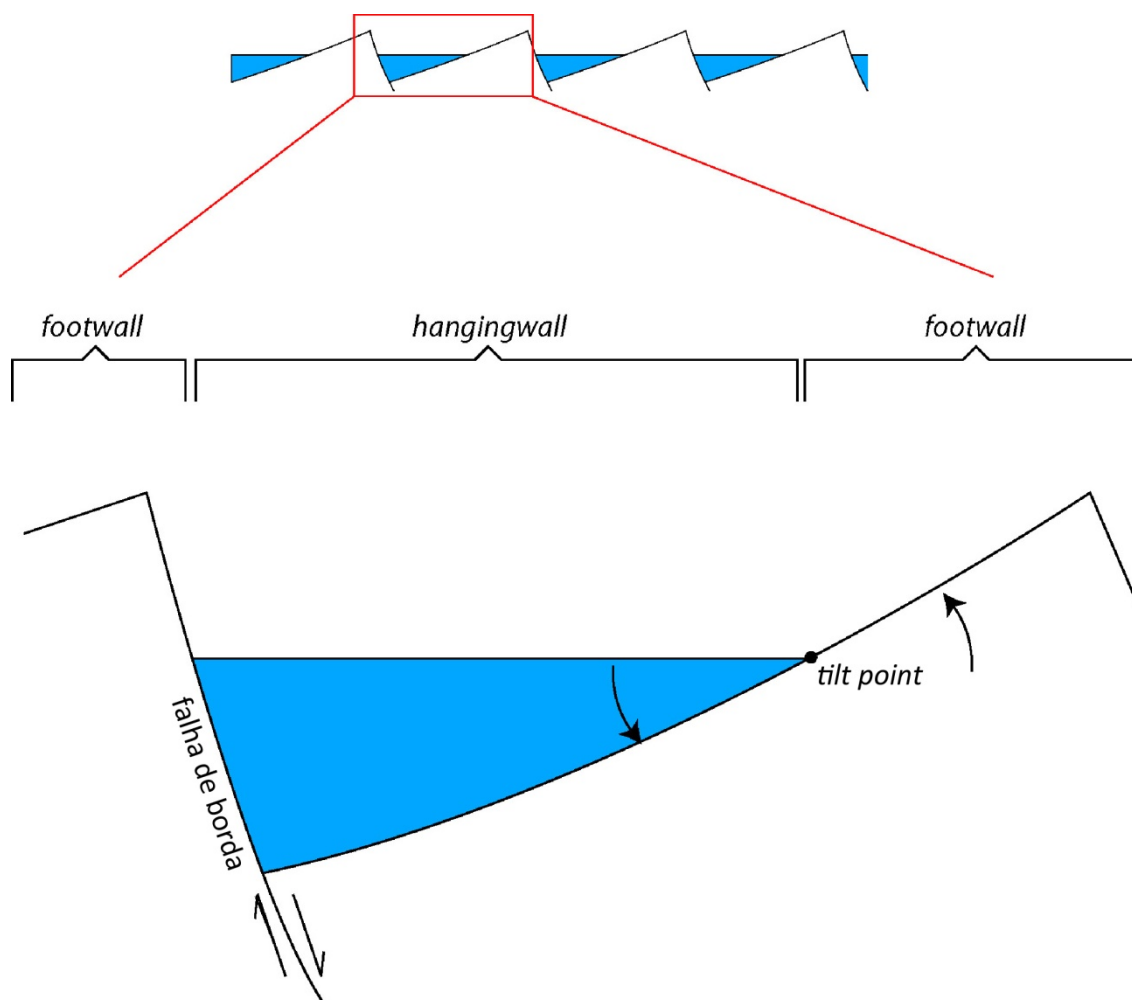


Figura 3: Modelo do sistema de meio-gráben com seus principais elementos e compartimentações. O ponto que regula a ocorrência de *footwall* ou *hangingwall* é denominado *tilt point*. (Extraído de Kuchle, 2006)

Visando construir um arcabouço teórico para propor um modelo tectono-estratigráfico evolutivo de bacia rifte, foram revisados diversos modelos que melhor encaixavam na evolução da seção rifte da Bacia de Campos. Bosence (1998) propôs um modelo de reconhecimento da seção rifte através da identificação de discordâncias. O processo de rifteamento é identificado por dois limites: na base, uma discordância pré-rifte, separando a fase sin-rifte da fase pré-rifte, e no topo, uma discordância pós-rifte, seguida da fase pós-rifte (figura 4). As fases pré-rifte e

pós-rifte apenas são assim denominadas a fim de identificar o evento sin-rifte e assim individualizá-lo dos demais. Os estratos sin-rifte apresentam geometria divergente, reflexo da movimentação tectônica durante a fase rifte, enquanto os estratos pós-rifte são plano-paralelos e horizontais, refletindo um contexto deposicional posterior à atividade tectônica elevada da fase rifte.

Prosser (1993) propõe um modelo de devolução tectono-estratigráfico aplicando a estratigrafia de sequência e propondo tratos de sistemas tectônicos para a análise de bacias do tipo rifte, assim prevendo que os padrões de empilhamento devem ser a base de análise e fatiamento das sequências deposicionais componentes de um meio-gráben, e que este fatiamento deve ser realizado a partir dos tratos de sistemas tectônicos.

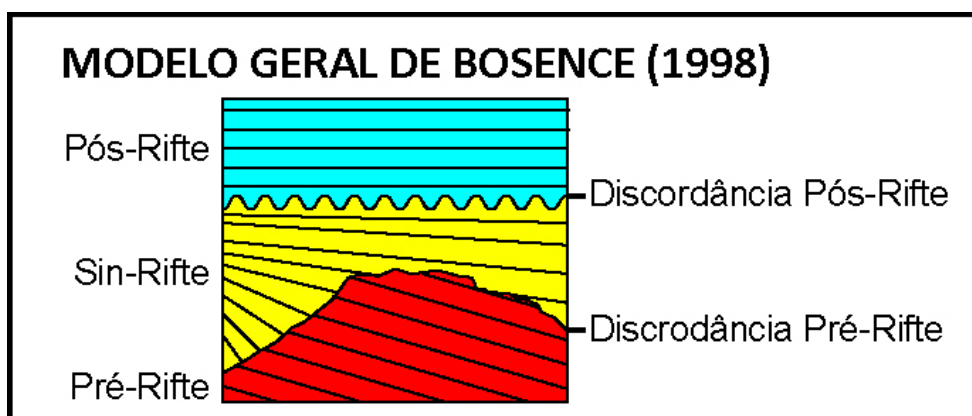
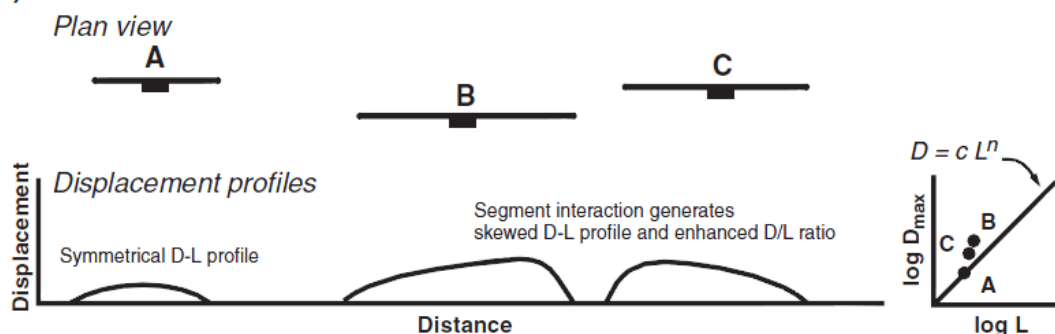


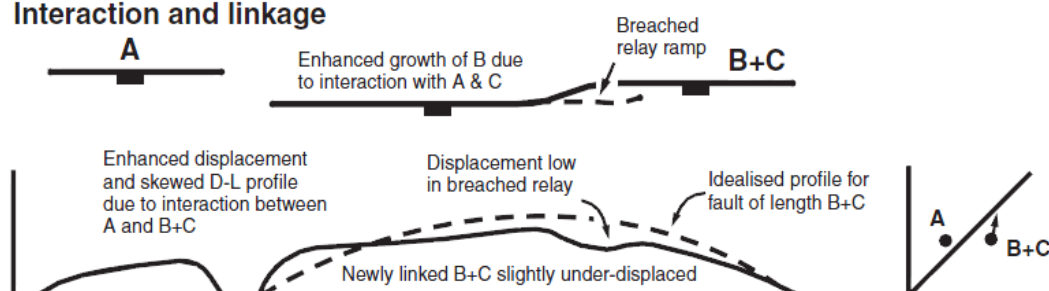
Figura 4: Modelo geométrico básico de Bosence (1998) com critérios estratigráficos para separar a seção sin-rifte das seções pré e pós-rifte, e suas discordâncias respectivas. (Modificado de Bosence, 1998)

Gawthorpe & Leeder (2000) propuseram um modelo evolutivo com enfoque estrutural, não dando a mesma atenção para padrões de empilhamento. Esse modelo tem como aspecto mais importante o início do rifte, no qual propõe um modelo de conexão do sistema de falhas denominado *fault linkage*. Nesse modelo, as falhas encontram-se inicialmente paralelas e não conectadas umas às outras, cada uma com seu deslocamento baixo e individual. A ligação destas falhas se dá ao longo da evolução, gerando falhas maiores e conectando seus deslocamentos, gerando deslocamentos ainda maiores, até a ligação completa das falhas, formando uma falha de borda bem desenvolvida (figura 5).

### A) Initiation



### B) Interaction and linkage



### C) Through-going fault zone

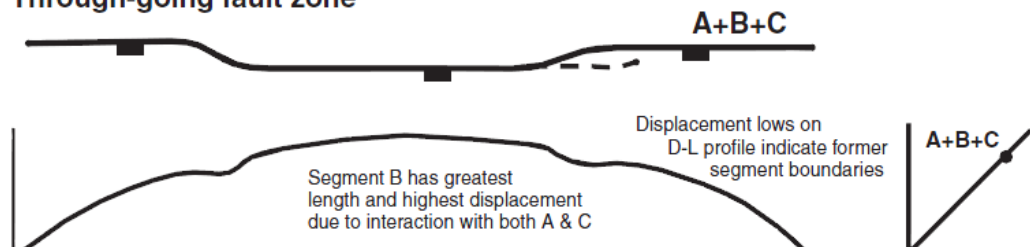


Figura 5: Modelo esquemático de Gawthorpe & Leeder (2000) para o processo de conexão de falhas (*fault linkage*), que controla o desenvolvimento de falhamentos em um rifte, principalmente a falha de borda. Observa-se que no início (A) as falhas apresentam pouco rejeito e pequena extensão lateral. A conectividade lateral (B) faz gradualmente aumentar a extensão do falhamento e seu rejeito, até a fase de amplo estabelecimento (C). (Extraído de Gawthorpe & Leeder, 2000).

Em Morley (2002), é possível observar um enfoque nos aspectos estruturais e controles de falhas sobre a sedimentação e preenchimento dos meio-grábens, assim como no modelo proposto por Gawthorpe & Leeder (2000). Porém Morley (2002) dá um enfoque maior na falha de borda como principal controladora da estruturação e preenchimento de um meio-gráben, fortemente baseado em dados extraídos de bacias africanas. Apresenta um modelo de *fault propagation* semelhante ao *fault*

*linkage* de Gawthorpe & Leeder (2000), onde um sistema de falhas paralelas, desconectadas e de baixo deslocamento lateral sofre uma expansão lateral, conectando-se e gerando uma grande falha de borda do meio-gráben estabelecido (figura 6). Este modelo estabelece que todas as falhas de borda se desenvolvem inicialmente como pequenas falhas isoladas, de pequeno rejeito, e a sua conectividade lateral é que estabelece a geometria de meio-gráben amplo a partir de meio-grábens menores e isolados.

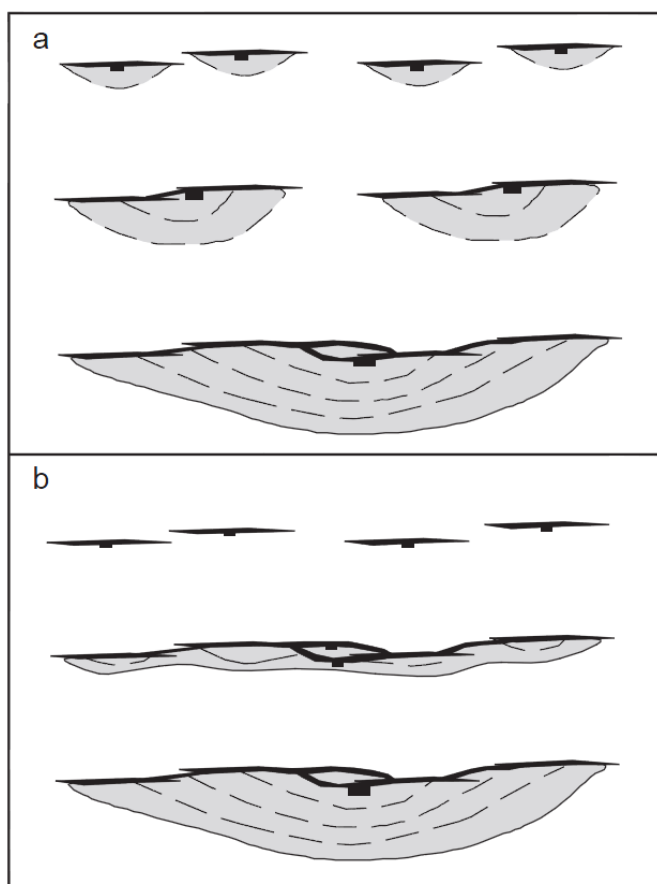


Figura 6: Ilustração esquemática do modelo de propagação de falha (*fault propagation*) de Morley (2002), com (a) ligação progressiva de falhas laterais durante um longo período evolutivo, onde se desenvolve uma ampla área deposicional no meio-gráben; (b) ligação progressiva de curta duração e sistemas de falhamentos laterais, desenvolvendo uma falha de borda. (Extraído de Morley, 2002).

O aspecto mais relevante desse modelo é a sua proposta de evolução do início do rifte, baseada na propagação de falha. Inicialmente, desenvolve-se uma ampla bacia, com espessuras relativamente pequenas, condicionada por falhas de pequeno rejeito e sem grandes extensões laterais, sem a presença de uma falha de borda. Nesse primeiro momento, a deformação é uniforme e bem distribuída ao



longo de toda a área durante o processo de rifteamento inicial. Seguido disso, o desenvolvimento da falha de borda inicia-se a partir da *fault propagation*, desenvolvendo o meio-gráben inicial, com suas geometrias deposicionais características (divergência de estratos), com concentração da deformação na falha de borda, mesmo com falhas secundárias ativas. No estágio seguinte, o amplo desenvolvimento do meio-gráben se segue a partir da propagação efetiva e expansão para um meio-gráben maior, onde ocorre a migração da falha de borda e subsequente erosão dos estratos do rifte inicial por soerguimento do *footwall* da falha de borda. O estágio final marca a estagnação tectônica e preenchimento final da estrutura, com efetiva erosão do *footwall*. Assim, os estratos do rifte inicial permanecem preservados somente abaixo dos estratos depositados no início do meio-gráben, e a área de deposição da bacia deve ter sido maior no momento de sua deposição (figura 7).

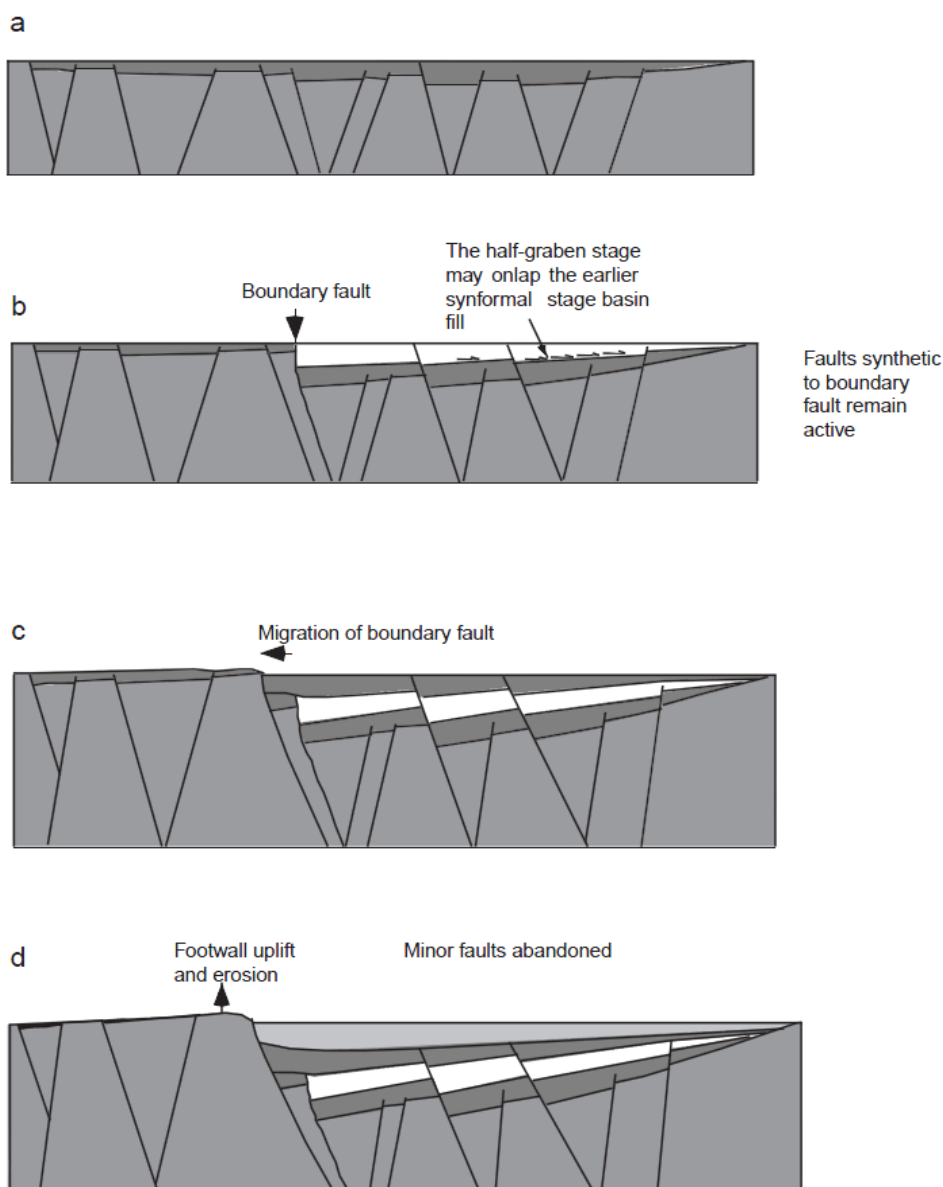


Figura 7: Seções esquemáticas do modelo evolutivo de riftes de Morley (2002), com (a) estágio riftes inicial (depressão sinformal), (b) meio-gráben inicial, (c) meio-gráben maduro, e (d) final do meio-gráben. (Extraído de Morley, 2002)

Kuchle & Scherer (2010), abordam uma discussão do modelo de evolução de uma bacia riftes com base nos diferentes modelos propostos anteriormente. Assim, afirmam que após o estiramento e formação de calhas decorrentes do cisalhamento puro, simples ou híbrido, inicia um reequilíbrio com o reajuste térmico da bacia, que provoca uma subsidência térmica devido ao resfriamento litosférico. Essa subsidência gera uma área maior que a área da calha riftes. Somado a isso está a subsidência gerada pela carga de sedimentos que preencheu essa calha. Assim,



estes autores elaboraram um modelo estratigráfico baseado no arranjo dos sistemas deposicionais, com padrões de empilhamento, para determinar as fases evolutivas de uma bacia rifte (figura 8). O modelo utiliza uma compartimentação interna baseada nos Tratos Tectônicos inicialmente utilizados por Prosser (1993) e baseados no conceito de Tratos de Sistemas de Brown & Fischer (1977). Definem que o início da fase rifte é demarcado por uma discordância sin-rifte, e o final por uma discordância pós-rifte, definidos pela relação estratal interna da fase rifte elaborada por Bosence (1998). Este modelo usa como base para reconhecer as fases que compõe a seção rifte os padrões de empilhamentos que as constituem, sendo possível rastrear na sísmica os tratos tectônicos baseando-se em: terminações estratais de refletores, configurações de refletores e geometrias das fácies sísmicas. Assim, se identificam diferentes padrões sismoestratigráficos que são a resposta sísmica ao conjunto de variáveis controladoras de cada trato, sendo assim possível individualizá-los.

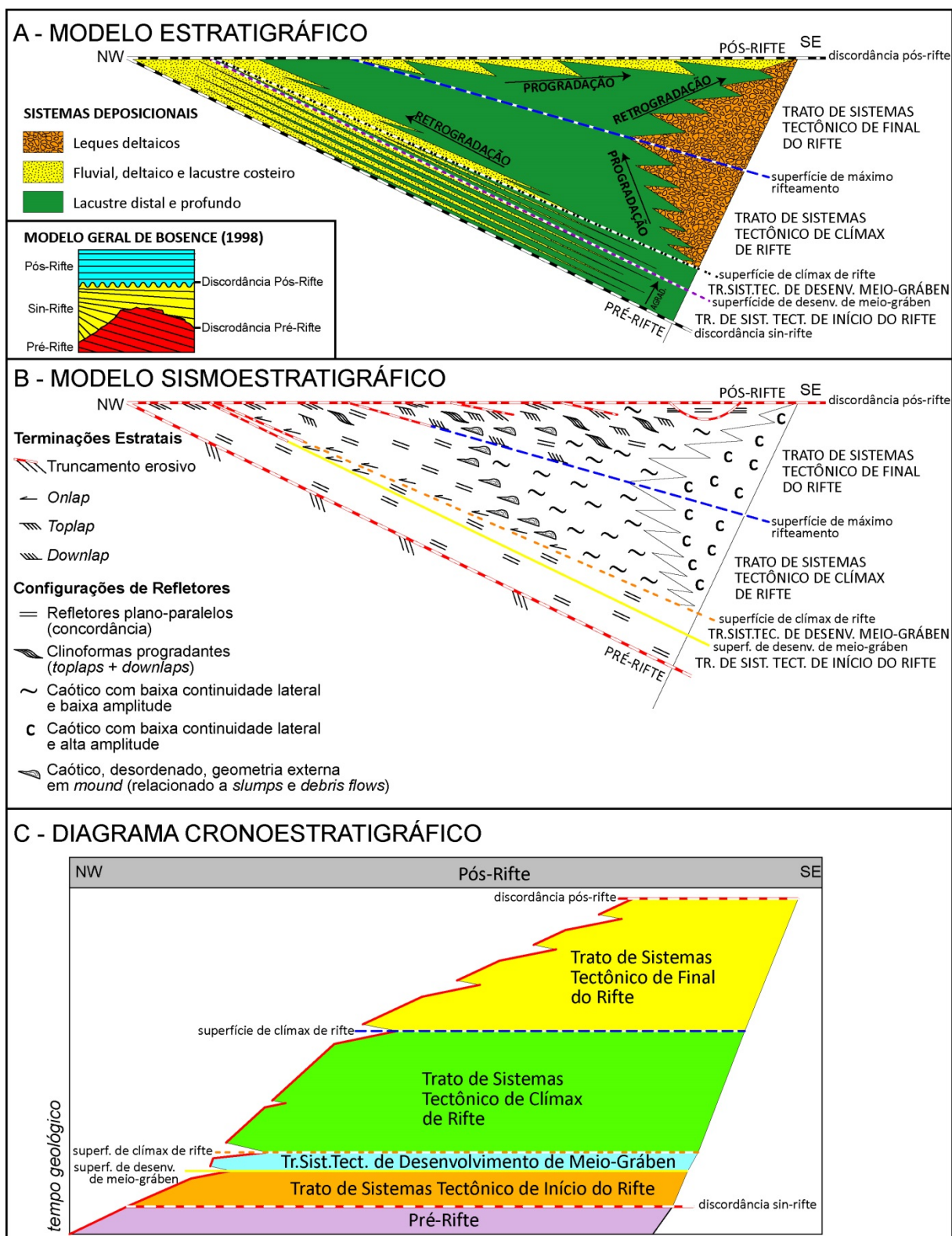


Figura 8: modelo extraído de Kuchle & Scherer (2010) mostrando em a) o modelo estratigráfico, b) o modelo sismoestratigráfico e em c) a carta cronoestratigráfica de uma bacia rifte, com os tratos tectônicos e suas superfícies limítrofes.

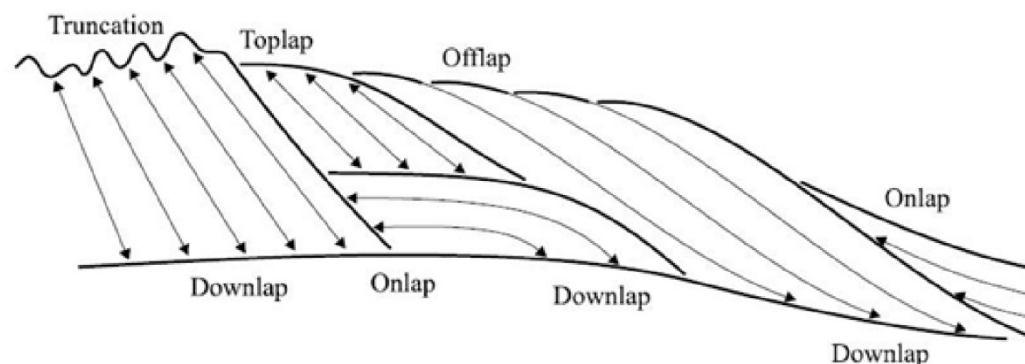
### 3.2. METODOLOGIA DE INTERPRETAÇÃO SISMOESTRATIGRÁFICA

Para a análise sismoestratigráfica, foi realizada a seleção de linhas sísmicas com boa qualidade dos levantamentos sísmicos e uma boa cobertura geográfica. Esses critérios foram determinantes para a seleção da área de estudo, assim como a melhor interceptação dos meio-grábens mapeados.

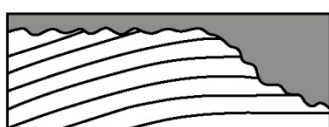
O reconhecimento de elementos estratigráficos interpretados na sísmica foi baseado nos princípios da sismoestratigrafia. Esses conceitos foram abordados e definidos por Mitchum, Vail e outros autores no Memoir 26 da AAPG – *Seismic Stratigraphy: Applications to Hydrocarbon Exploration* (Payton, 1977). Na primeira fase de interpretação das linhas sísmicas, foi seguido um *workflow* onde foram interpretados os refletores e suas terminações, seguido pela interpretação das unidades estratigráficas (e superfícies chave), sismofácies e finalizando com a elaboração de uma carta cronoestratigráfica, que forneceu informações para a elaboração dos tratos de sistemas (assim como o mapeamento sistemático) e para o modelo de evolução da seção rifte da bacia.

Mitchum *et al.* (1977) define os conceitos de *onlap*, *downlap* e *toplap* como estilos de terminações, podendo apresentar uma origem meramente geométrica, ou origem interpretativa, que determina que esse conjunto de terminações é um limite de uma unidade deposicional, e ainda significar uma erosão. Abaixo são descritas as principais terminações utilizadas na interpretação dos refletores (figura 9):

- *Onlap*: estratos horizontais que terminam em uma superfície inclinada.
- *Downlap*: estratos inclinados terminam mergulhando sobre uma superfície, horizontal ou menos inclinada, basal.
- *Toplap*: refletores que terminam em uma superfície superior. Resultado de uma não-deposição ou erosão.



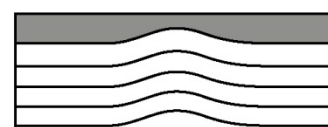
### LIMITE SUPERIOR



Truncamento Erosivo



Toplap

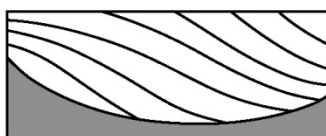


Concordância

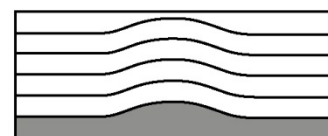
### LIMITE INFERIOR



Onlap



Downlap



Concordância

Figura 9: relação das terminações com os limites de seqüências deposicionais. (Modificado de Catuneanu, 2002 e Mitchum, 1977)

Com a interpretação dos refletores finalizada e utilizando-se desses conceitos, foi possível caracterizar unidades sísmicas e as superfícies que separam os conjuntos de eventos deposicionais internos às estruturas. Uma unidade estratigráfica possui um limite no topo e na base, podendo ser concordante ou discordante, definido por terminações de refletores. Essas unidades representam conjuntos de estratos cronoestratigraficamente relacionados, individualizando diferentes fatias do tempo geológico, e suas superfícies limítrofes representam períodos de não deposição ou erosão (figura 10). Essa definição está associada ao conceito de tratos de sistemas de Brown & Fischer (1977).



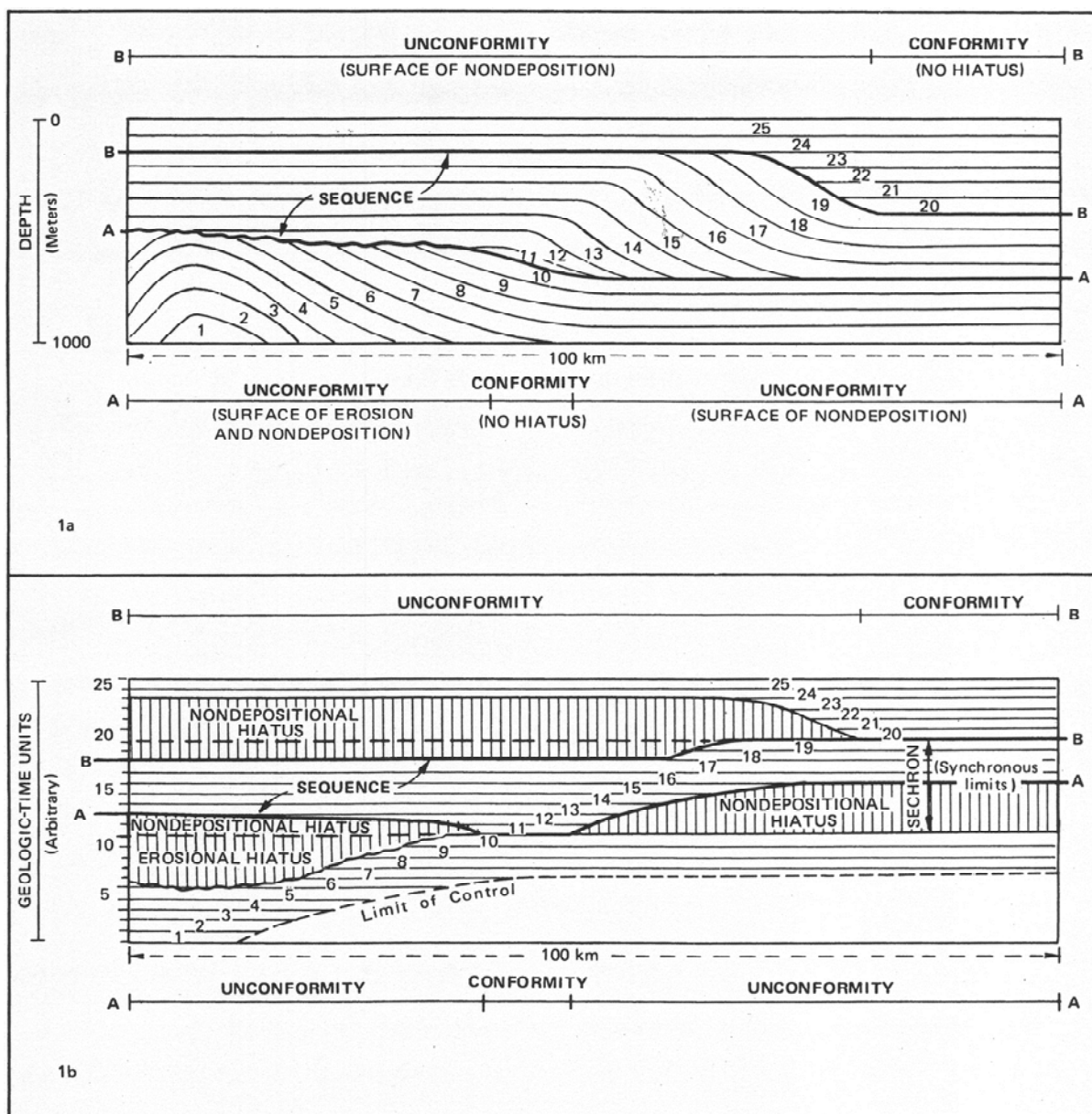


Figura 10: Conceitos básicos de seqüências deposicionais. Em 1a, uma seção estratigráfica genérica, com unidades estratigráficas numeradas de 1 a 25, marcando os limites das seqüências deposicionais. Em 1b, a seção cronoestratigráfica da mesma seção 1a, evidenciando hiatos com erosão ou não deposição. (Extraído de Mitchum, 1977)

Uma sismofácies é uma unidade sísmica tridimensional mapeável, composta por um grupo de refletores cujos parâmetros diferem das unidades adjacentes. Pode ser descrita conforme uma série de parâmetros, como sua configuração de refletores, amplitude, continuidade, frequência e geometria interna e externa (figura 11). A identificação desses parâmetros permite a interpretação do ambiente deposicional, fonte de sedimentos e o contexto geológico em que essa fácies sísmica foi

depositada (Mitchum *et al.*, 1977). Além do mais, correlacionando a sísmica com dados de perfis de poço, é possível sugerir a litologia correspondente a um determinado padrão sísmico. Os padrões sísmicos não apresentam necessariamente uma relação temporal, podendo ocorrer de forma distribuída no espaço e tempo.

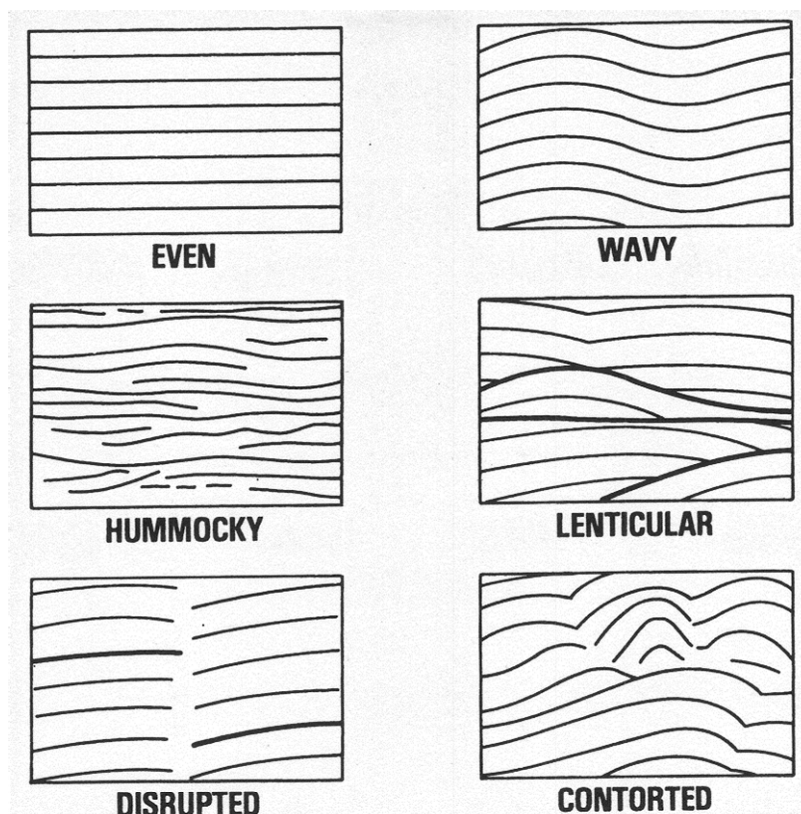


Figura 11: configuração interna de uma seção sísmica. (Extraído de Mitchum, 1977)

Finalizada interpretação das linhas sísmicas pela metodologia proposta por Vail *et al.*, (1977), é elaborada uma carta cronoestratigráfica (Wheeler, 1958). Nessa carta são transportados os dados interpretados em uma linha sísmica: as unidades estratigráficas, distribuídas em fatias de tempo (figura 10), e as sismofácies, resultando numa clara distribuição temporal e espacial das unidades e preenchimentos definidos na sísmica. É com a interpretação de cartas cronoestratigráficas de diferentes linhas sísmicas que se compreende o arcabouço estratigráfico e estrutural, averiguando assim se as superfícies definidas apresentam

relevância regional, marcando erosões ou superfícies de não-deposição. Isso fica explícito em uma carta cronoestratigráfica devido à relação entre as unidades estratigráficas mapeadas, identificada quando uma superfície que separa uma unidade da outra apresenta terminações marcantes, sendo recorrente em um significativo conjunto de linhas sísmicas que cobrem a área, ou quando uma unidade muito mais antiga se encontra em contato direto com uma unidade mais recente, suprimindo unidades entre elas (figura 8c e figura 10). Os tratos definidos no presente trabalho baseiam-se no conceito estabelecido por Brown & Fischer (1977): um conjunto de sistemas deposicionais relacionados a um período de tempo específico, delimitadas por superfícies deposicionais ou erosivas que representam períodos distintos na evolução da bacia.

Após a interpretação detalhada das linhas sísmicas e elaboração e interpretação da carta cronoestratigráfica, foi realizado um mapeamento sistemático no *software* Petrel. Esse mapeamento consiste em rastrear as superfícies chave que limitam os tratos de sistemas definidos no presente trabalho em toda a malha que cobre a área de estudo, a fim de gerar mapas de isócronas para melhor representar a evolução da fase rifte da bacia.

## 4. CONTEXTO GEOLÓGICO

A Bacia de Campos está localizada na margem leste brasileira, estendendo-se desde as imediações da cidade de Cabo Frio, litoral do Estado do Rio de Janeiro, até o sul do Estado do Espírito Santo, entre os paralelos 21° e 23° Sul. Esta bacia limita-se a norte com a Bacia do Espírito Santo por uma elevação do embasamento denominada Alto de Vitória, e a sul com a Bacia de Santos pelo Alto de Cabo Frio (figura 12). Abrange uma área total de 115.800 km<sup>2</sup>, com uma pequena porção em terra, e o restante em mar.

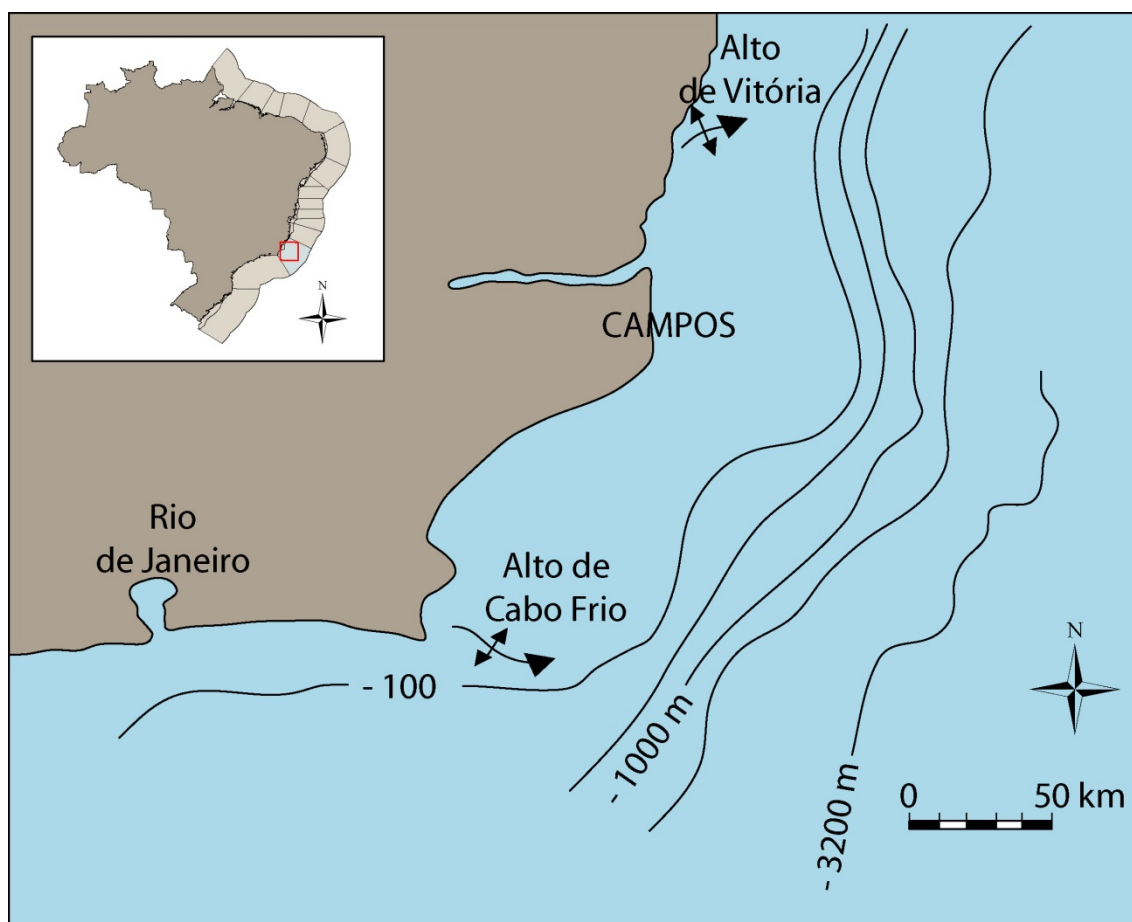


Figura 12: Localização da Bacia de Campos, entre os Arcos de Vitória e Cabo Frio. (Modificado de Moraes, 1989)



A primeira carta estratigráfica da Bacia de Campos foi proposta por Schaller (1973), e posteriormente modificada por Rangel *et al.* (1994). A carta estratigráfica mais recente da Bacia de Campos foi proposta por Winter *et al.* (2007) (figura13). Nesta nova proposta, as formações Lagoa Feia e Macaé foram elevadas a Grupo, e os membros componentes das mesmas foram respectivamente elevados à Formação.

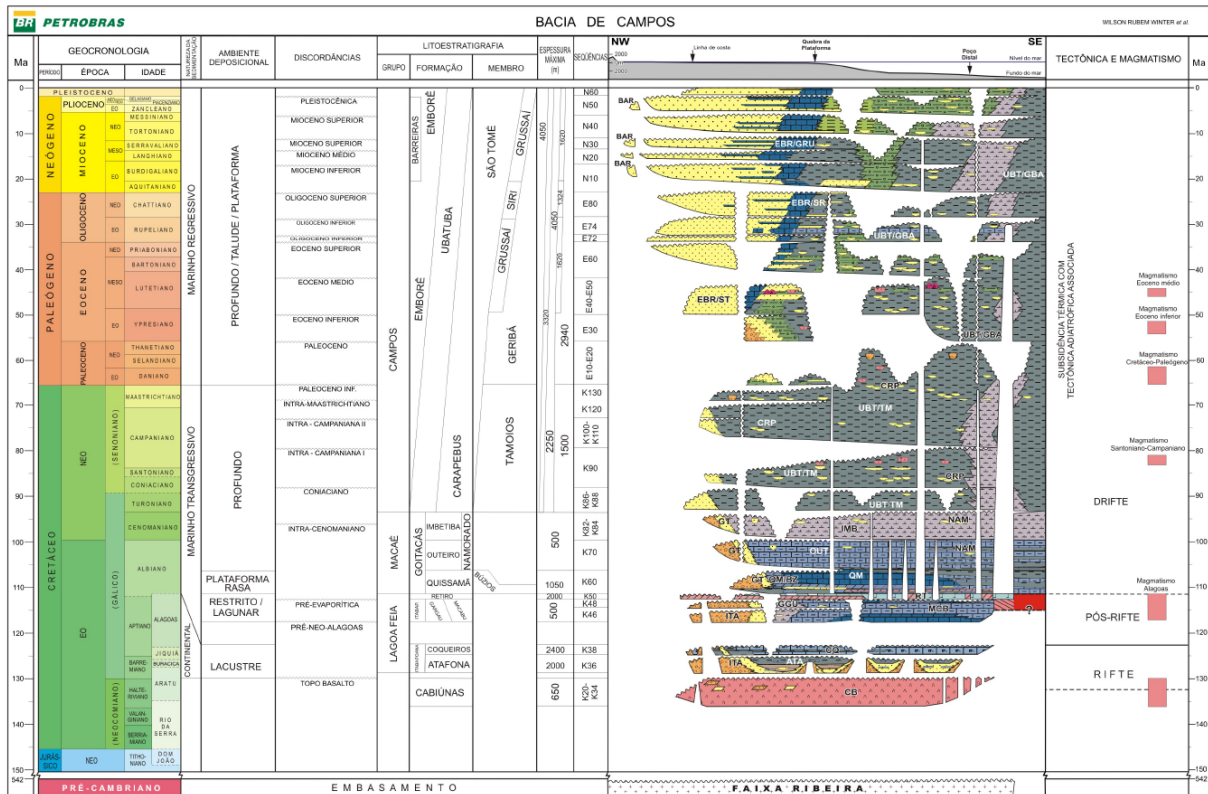


Figura 13: Carta estratigráfica da Bacia de Campos. (Extraído de Winter *et al.*, 2007)

O enfoque do trabalho está na sucessão rifte da Bacia de Campos, que corresponde à Formação Cabiúnas e à porção inferior do Grupo Lagoa Feia (formações Atafona, Coqueiros e Itapoboana) (Winter *et al.*, 2007). A Formação Atafona foi depositada no Andar Barremiano (andares locais Aratu superior e Buracica), a Formação Coqueiros tem idade do Barremiano superior ao Aptiano inferior (andar local Jiquiá), e a Formação Itapoboana do Barremiano ao Aptiano inferior (Winter *et al.*, 2007). O embasamento cristalino da Bacia de Campos é constituído por gnaisses de idade pré-cambriana (Rangel *et al.*, 1994; Winter *et al.*, 2007). Sobrepostos a estes ocorre a Formação Cabiúnas, caracterizada por uma

sucessão vulcano-sedimentar de idade neocomiana (Misuzaki *et al.*, 1988) com espessuras máximas perfuradas de 650 m (Winter *et al.*, 2007). Esta unidade é constituída por derrames de basaltos toleiíticos, com amígdalas preenchidas por calcita e clorita, tufos, brechas hidrovulcânicas, e rochas epiclásticas e de granulometria fina (Mizusaki, 1986; Mizusaki *et al.*, 1988).

O Grupo Lagoa Feia é caracterizado por sedimentos siliciclásticos, carbonáticos e evaporíticos depositados durante a fase rifte e pós-rifte (figura 13). Segundo Guardado *et al.* (2000), as espessuras deste pacote variam de 200 m para mais de 1.500 m, tendo sido depositado em ambiente continental. O Grupo Lagoa Feia é composto pelas formações Atafona, Itapaboana, Coqueiros, Macabu, Gargaú e Retiro. A Formação Atafona é constituída por arenitos, siltitos e folhelhos depositados em ambiente lacustre alcalino onde se precipitaram minerais de talco e estevensita (Winter *et al.*, 2007). A Formação Coqueiros é representada por depósitos de coquinas, compostos predominantemente por moluscos bivalves, intercalados com folhelhos e carbonatos lacustres (Winter *et al.*, 2007). Segundo Baumgarten *et al.* (1988), os depósitos de coquinas são compostos por ciclos deposicionais de fácies de calcirrudito, calcarenito, calcilito e aleatoriamente fácies de bioacumulados, podendo formar pacotes com espessuras maiores que 100 metros (Winter *et al.*, 2007). A Formação Itapaboana é composta por conglomerados, arenitos, siltitos e folhelhos depositados nas porções proximais da bacia e ao longo da falha de borda (Winter *et al.*, 2007). As formações Macabu e Gargau são constituídas por sedimentos carbonáticos, margas e arenitos, depositados em ambiente transicional raso (Winter *et al.*, 2007). A Formação Retiro é caracterizada por depósitos evaporíticos compostos por anidrita, halita e carnalita/silvita depositadas em ambiente marinho/lagunar sob clima árido (Winter *et al.*, 2007). As camadas de halita foram remobilizadas, originando domos de sal que cortam as camadas subjacentes (Rangel *et al.* 1994). A porção superior do Grupo Lagoa Feia (formações Gargaú, Macabu, Retiro e Itapaboana superior) foi depositada já na fase pós-rifte da Bacia de Campos.

A Bacia de Campos apresenta dois estilos tectônicos distintos: tectônica diastrófica, que afeta os sedimentos da fase rifte, e tectônica adiastrófica,

relacionada à halocinese, que atua sobre os sedimentos da fase transicional e drifte (Chang et al., 1990).

Nas estruturas da fase rifte observa-se um paralelismo entre os falhamentos da bacia e os principais alinhamentos do embasamento adjacente, com direção NE (Dias *et al.*, 1990). O padrão tectônico exibido na seção rifte é o de *horsts*, grábens e meio-grábens, alongados na direção NE, limitados por falhas sintéticas e antitéticas. Falhamentos subordinados ocorrem nas direções NNW-SSE e E-W (figura 14). A Charneira de Campos é uma feição importante na bacia, pois separa as áreas de embasamento raso e embasamento profundo, em cujo bloco baixo se depositou uma espessa seção rifte (figura 15). Dentre os altos presentes na Bacia de Campos destaca-se o Horst Regional de Badejo, com mergulho para N (Chang et al., 1990). Nos altos contemporâneos à deposição do Grupo Lagoa Feia foram depositados os melhores reservatórios de coquinas (Baumgarten *et al.*, 1988). Por outro lado, nos baixos sindeposicionais de Corvina-Parati, São Tomé, Marlim e Norte de Albacora acumularam-se espessas seções de pelitos, que constituem as rochas geradoras da Bacia de Campos. Uma importante discordância de idade aptiana, conhecida como discordância pré-Alagoas, separa o padrão tectônico da fase rifte do padrão da fase pós-rifte.

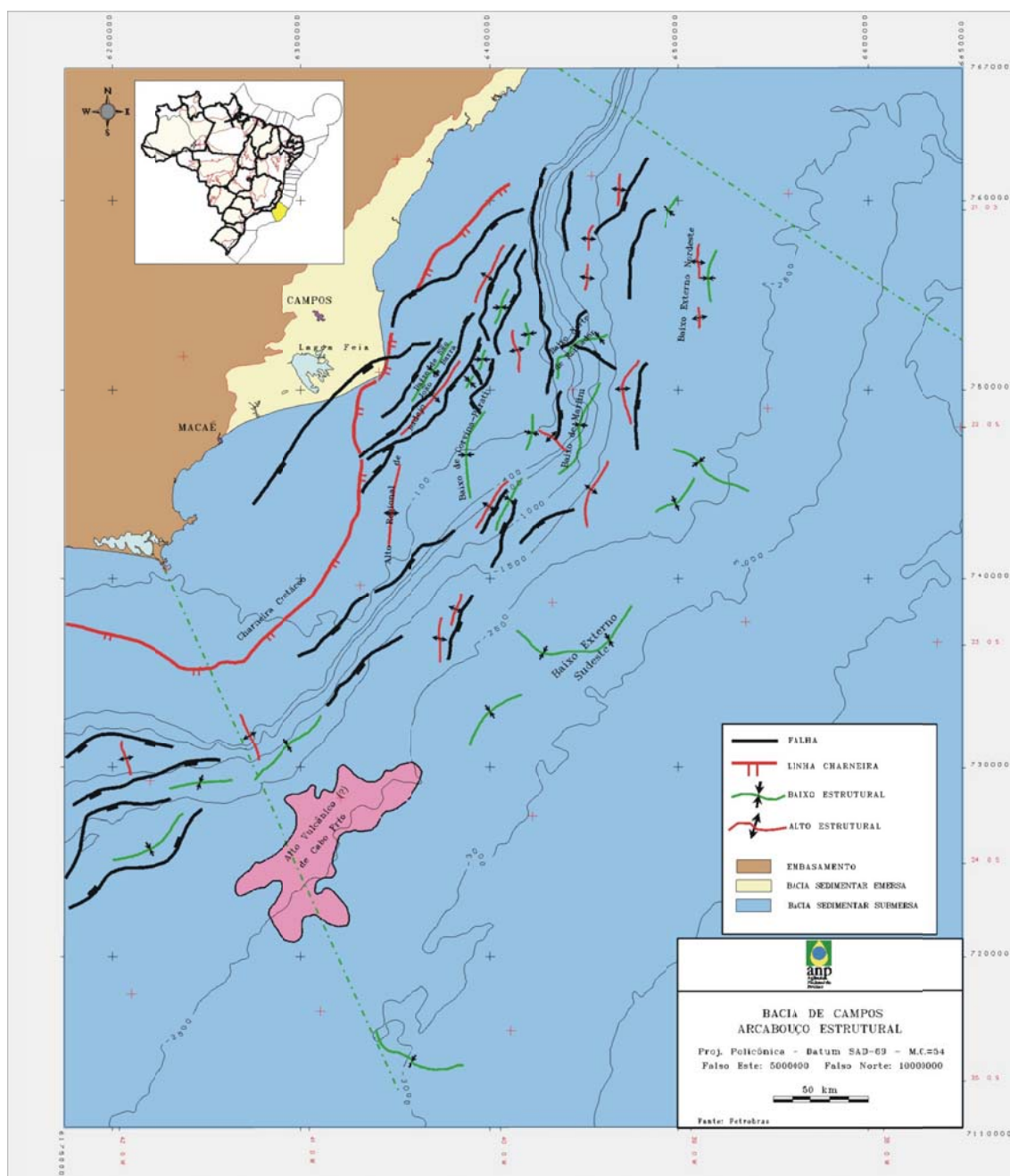


Figura 14: Arcabouço estrutural da Bacia de Campos. (Extraído da ANP: site ANP - Round 4)

O padrão tectônico da fase pós-rifte é caracterizado principalmente por falhas relacionadas ao fluxo de sal, de geometria lítrica, com anticlinais e calhas associadas, domos e diápiros de sal e estruturas geneticamente relacionadas (figura 14 e figura 15). Algumas reativações de falhas do embasamento também afetaram os sedimentos da fase transicional e drifte.



### SEÇÃO GEOLÓGICA ESQUEMÁTICA REGIONAL DA BACIA DE CAMPOS CAMPOS BASIN SCHEMATIC CROSS-SECTION

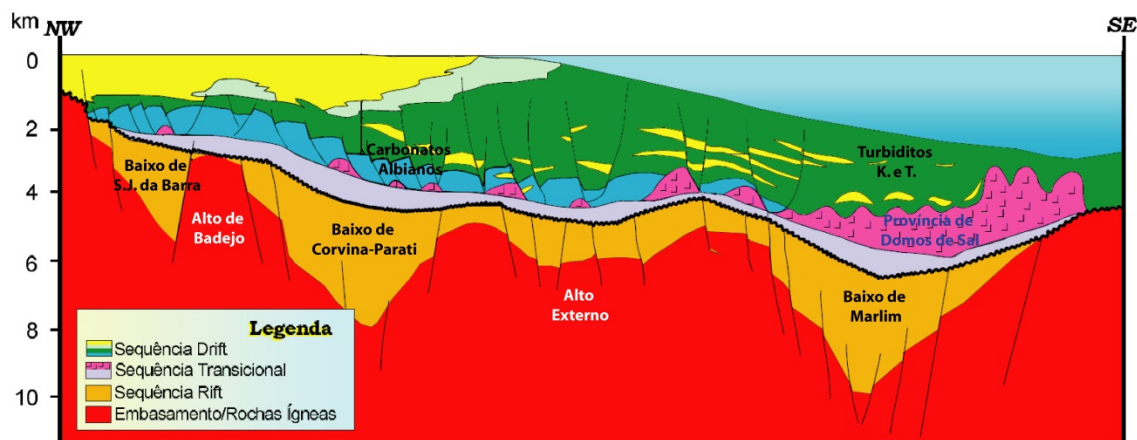


Figura 15: Seção geológica esquemática da Bacia de Campos. (Extraído de Rangel *et al.*, 1998)

A Bacia de Campo é uma das grandes bacias produtoras de óleo do Brasil. A geração de hidrocarbonetos na Bacia de Campos ocorreu a partir da maturação térmica de folhelhos e margas de idade barremiana, do Grupo Lagoa Feia, depositados na fase rifte em ambiente lacustre de água salobra a hipersalina, com incursões marinhas intermitentes no Barremiano Superior (Guardado *et al.*, 2000). O Grupo Lagoa Feia foi dividida em quatro sequências: basal, talco-estevensítica, coquinas e clástico-evaporítica (Dias *et al.*, 1990). As melhores fácies orgânicas estão presentes na sequência das coquinas, com espessura de até 200 metros e valores de carbono orgânico total entre 2% e 6%, chegando localmente a 9%. A matéria orgânica é classificada como sendo do tipo I e II. Esta rocha geradora está matura na maior parte da bacia, tendo alcançado pico de geração nos depocentros da bacia. Nas áreas de águas ultraprofundas, deve-se considerar também a possibilidade de geração efetiva a partir de folhelhos do Albo-Turoniano, em função de uma história de soterramento mais favorável do que nas áreas até agora perfuradas, onde tais pelitos revelaram bom potencial gerador, apesar de ainda imaturos e pouco espessos. As rochas geradoras do Grupo Lagoa Feia atingiram a janela de geração de óleo apenas no Terciário, com início durante o Oligoceno/Mioceno, persistindo até hoje na maior parte da bacia (Mello *et al.*, 1994; Dias *et al.*, 1990). Um fato importante na bacia é a constatação da ocorrência de óleo pesado, por biodegradação. Observa-se, ainda, a coexistência de óleo com

características diversas de viscosidade no mesmo reservatório, atribuída a pulsos diferenciados de migração.

Os principais reservatórios da Bacia de Campos são os arenitos turbidíticos da Formação Carapebus (Neocretáceo a Paleogeno), os carbonatos (Formação Quissamã) e turbiditos (Formação Namorado) do Grupo Macaé, as coquinas (Formação Coqueiros) do Grupo Lagoa Feia e os basaltos da Formação Cabiúnas. Os reservatórios arenosos, principais produtores da Bacia de Campos, são reconhecidos como parte de sequências sedimentares que se desenvolveram do Cretáceo ao Recente, em resposta ao efeito combinado das mudanças eustáticas do nível do mar, pequenas taxas de subsidência térmica e significativo aporte sedimentar decorrente da denudação continental, a oeste. Por outro lado, as calhas e vales que representaram áreas de captação desses reservatórios foram criados como decorrência de halocinese durante o Eocretáceo e, localmente, escape e colapso de sal. A soma desses eventos deu lugar à redeposição de grandes volumes de areias inconsolidadas da plataforma como fluxos gravitacionais e correntes de turbidez em ambiente marinho profundo, tanto no talude continental médio e inferior como na planície abissal (Guardado *et al.*, 1989).

## 5. ARTIGO SUBMETIDO

### **Evolução complexa de um meio-gráben: seção rifte da Bacia de Campos - Brasil, baseada em análise sismoestratigráfica**

### **Half-Graben Complex Evolution: The Rift Section of Campos Basin - Brazil, Based on Seismic Stratigraphic Analysis**

Patrycia ENE\*<sup>1</sup>, Juliano KUCHLE<sup>2</sup>, Renata ALVARENGA<sup>3</sup> & Karin GOLDBERG<sup>4</sup>

<sup>1,3</sup> UFRGS – Pós-Graduação em Estratigrafia. Av. Bento Gonçalves, 9500. CEP 91501-970. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. [patrycia.n@gmail.com](mailto:patrycia.n@gmail.com), [renatalvarenga@yahoo.com.br](mailto:renatalvarenga@yahoo.com.br)

<sup>2</sup> UFRGS – Departamento de Paleontologia e Estratigrafia. Av. Bento Gonçalves, 9500. CEP 91501-970. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. [juliano.kuchle@ufrgs.br](mailto:juliano.kuchle@ufrgs.br)

<sup>4</sup> UFRGS – Departamento de Mineralogia e Petrologia. Av. Bento Gonçalves, 9500. CEP 91501-970. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. [karin.goldberg@ufrgs.br](mailto:karin.goldberg@ufrgs.br)

#### **Abstract**

The rift section in the Campos Basin, offshore Brazil, comprises the basal and median portions of the Lagoa Feia Group, and includes the main source rock in the basin, which is the best hydrocarbon producer in Brazil, as well as carbonate reservoir rocks. Interpretation and systematic mapping of 2D seismic lines across two important half-grabens, integrated with lithological well-log data, allowed the construction of a chronostratigraphic chart and an evolutionary model for the initial phase of the Campos Basin. Ten seismic stratigraphic units, bounding surfaces and three seismic facies were defined, representing the main lithological groups in the rift section. The Campos Basin stratigraphy recorded important developments during its tectonostratigraphic evolution, subdivided in tectonic systems tracts: the rift initiation systems tract, the high tectonic activity systems tract, and the low tectonic activity systems tract. Analysis of each evolutionary step led to a tectonostratigraphic model, in which basin filling was complex and interdependent in the different troughs of the Campos Basin.

Keywords: Campos Basin, Seismic Stratigraphy, Rift Basin, Early Cretaceous, Sequence Stratigraphy

## Resumo

A seção rifte da Bacia de Campos é composta pela porção basal a mediana do Grupo Lagoa Feia, e inclui a principal rocha geradora da bacia, maior produtora de hidrocarbonetos do Brasil, e rochas reservatório carbonáticas. A interpretação e mapeamento sistemático de linhas sísmicas 2D em uma área chave da bacia onde ocorrem dois meio-grábens, integradas com dados de perfis litológicos de poço, e a construção de uma carta cronoestratigráfica, permitiu elaborar um modelo evolutivo para a fase inicial da Bacia de Campos. Assim, foram definidas dez unidades sismoestratigráficas, superfícies limítrofes chave e três sismofácies, que representam os principais grupos litológicos da seção rifte. A Bacia de Campos apresentou em sua evolução tectonoestratigráfica três importantes estágios, subdivididos em tratos de sistema tectônico: o trato de sistema de início de rifte, o trato de sistema de alta atividade tectônica, e o trato de sistemas de baixa atividade tectônica. A análise de cada etapa evolutiva levou à proposição de um modelo tectonoestratigráfico, onde o preenchimento da bacia foi complexo e interdependente entre as diferentes calhas da Bacia de Campos.

Palavras-chave: Bacia de Campos, Sismoestratigrafia, Bacia Rifte, Eocretáceo, Estratigrafia de Sequências

## 1. Introdução

A Bacia de Campos possui uma área de até 100.000 km<sup>2</sup>, e mais de 1.600 poços perfurados (Guardado *et al*, 2000). Esta bacia é de extrema importância econômica para o Brasil, pois comporta mais de 90% das reservas atuais de petróleo do país (Winter *et al*, 2007), excluindo as reservas do pré-sal, descobertas na última década, que compreendem a ampla área entre as bacias de Santos, Campos e Espírito Santo, aumentando consideravelmente as reservas brasileiras de hidrocarbonetos. Durante a fase rifte, produziu-se um sistema de vales alongados na direção SW-NE, onde se desenvolveram *horsts*, grábens e meio-grábens, limitados por falhas sintéticas e antitéticas, orientados preferencialmente segundo esta direção (Dias *et al*, 1990).

O Grupo Lagoa Feia, depositado na fase rifte (Fig. 1), inclui rochas ricas em matéria orgânica que são as geradoras da bacia, e rochas carbonáticas, que incluem tanto os clássicos reservatórios explorados desde a década de 1970 como os recentes reservatórios do pré-sal. O



estudo da seção rifte da Bacia de Campos ainda é limitado, principalmente devido a sua grande profundidade, que resulta em limitações tecnológicas na aquisição sísmica e na viabilidade de perfuração deste intervalo. O presente trabalho visou realizar um estudo sismoestratigráfico para compreender o padrão de preenchimento de um meio-gráben, e como esse padrão foi controlado pelos fatores condicionantes da evolução de uma bacia rifte, além de estabelecer critérios de mapeamento de um arcabouço estratigráfico dentro da seção rifte da bacia.

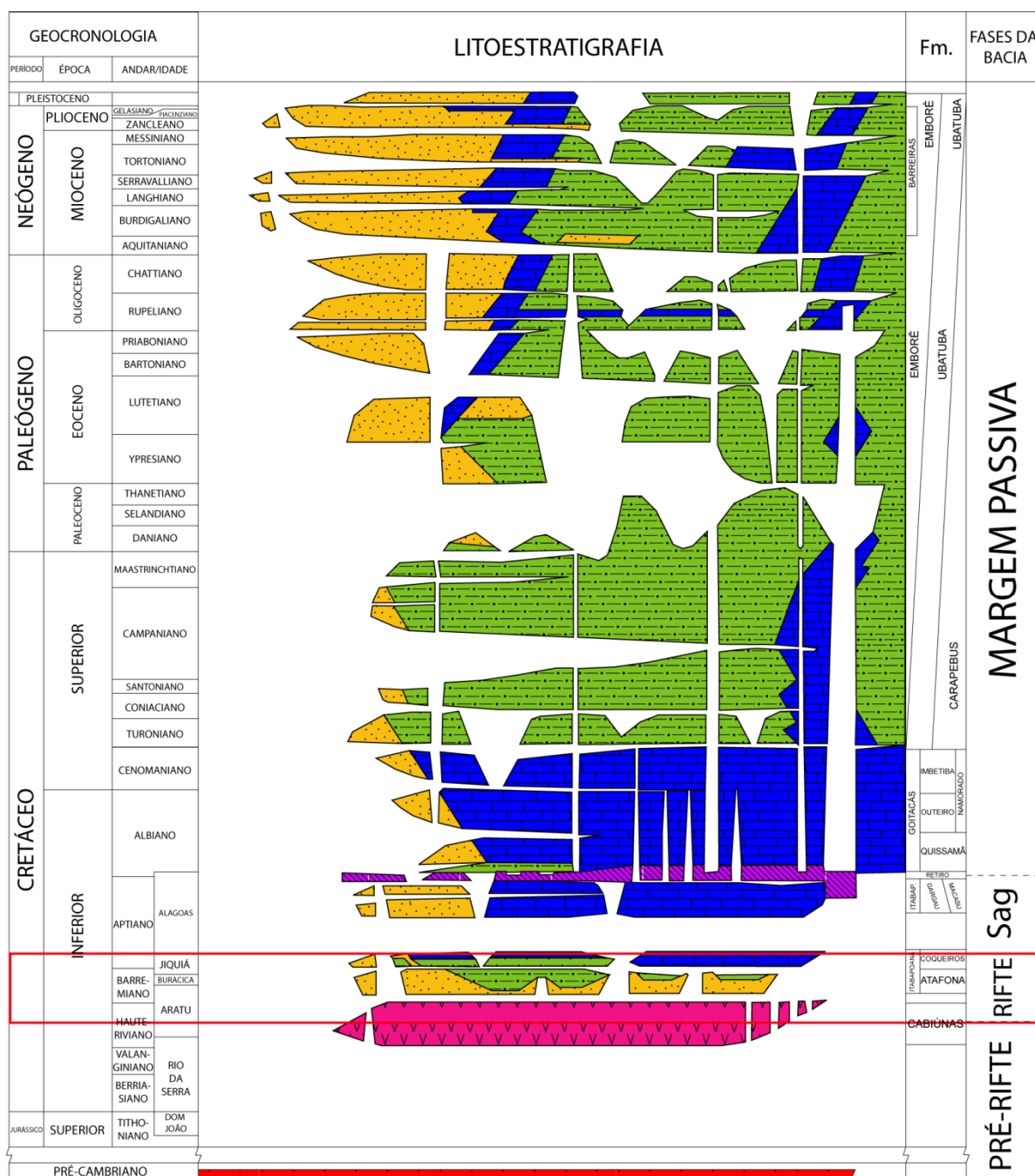


Figura 1. Carta estratigráfica simplificada da Bacia de Campos, com o intervalo de estudo em destaque no retângulo vermelho (modificado de: Winter, 2007).

A metodologia utilizada (Kuchle & Scherer 2010), específica para o mapeamento de seções rifte, foi adaptada de Vail et al. (1977), Prosser (1993) e Neal & Abreu (2009). O mapeamento de superfícies deposicionais possibilitou a identificação de unidades sismoestratigráficas. Através da correlação entre perfis litológicos, atributos sísmicos e a

análise dos refletores, foram individualizadas as sismofácies que melhor representam o conjunto de litologias do Grupo Lagoa Feia. Foram ainda construídos mapas das superfícies de base e topo do rifte, e das superfícies internas da seção rifte. São duas as superfícies internas, uma que separa o intervalo de desenvolvimento das estruturas de meio-gráben de um intervalo com maior atividade tectônica, e uma superfície que separa o intervalo com maior de outro com menor atividade tectônica, limitado pela subsequente fase sag – não analisada neste estudo.

Foram utilizados dados de linhas sísmicas 2D e dados de perfis litológicos de poços, relacionados às seções sísmicas a partir de dados de *checkshots*, obtendo assim, um controle dos dados de rocha em relação à sísmica. Em linhas sísmicas selecionadas (*dip* e *strike*), foi realizado o mapeamento e interpretação de refletores sísmicos para identificação das superfícies chave e estruturas encontradas na área estudada. As superfícies principais foram definidas pelas terminações dos refletores sísmicos (com a identificação de *onlaps*, *toplaps*, *downlaps*), sendo assim possível estabelecer, além das unidades sismoestratigráficas, os tratos de sistemas (sensu Brown & Fischer, 1977) relacionados a um controle específico (tectônico), da mesma forma que Posamentier et al. (1988) utilizaram para variações do nível relativo do mar.

Esta abordagem fornece uma metodologia sequencial de análise que pode ser aplicada em outras regiões da bacia, ou em outras bacias rifte, ou até mesmo, em outros tipos de bacias. A metodologia sequencial permite a obtenção e interpretação dos dados através do seguinte fluxograma: (1) interpretação dos refletores e suas terminações, (2) identificação das superfícies deposicionais e definição das unidades sismoestratigráficas, (3) análise e caracterização das superfícies deposicionais, definindo superfícies estratigráficas e reconhecendo eventos deposicionais ou erosivos relacionados a padrões e variáveis

específicas, (4) caracterização das sismofácies, para definir os padrões relacionados aos elementos arquiteturais, sistemas deposicionais ou ambientes de sedimentação (dependendo da escala e resolução), e (5) a integração em um diagrama cronoestratigráfico, que sintetiza os eventos erosivos, os pacotes deposicionais e seus preenchimentos, bem como seus padrões de preenchimento e tendências deposicionais e variáveis controladoras.

## 2. Localização e Contexto Geológico

A margem divergente da América do Sul tem uma extensão de 10.500 km, do Delta do Orinoco, na Venezuela, até a *Tierra del Fuego*, no sul da Argentina (Milani & Thomaz Filho, 2000). É uma extensa província geológica que se originou através dos mecanismos que causaram a quebra do Gondwana e resultaram na separação das placas da África e América do Sul desde o Mesozóico (Figueiredo & Milani, 2000). O rompimento continental gerou, ainda, uma série de bacias rifte interligadas que evoluíram para um mar restrito ou proto-golfo que, com sua abertura, evoluiu para formar uma margem passiva marinha, resultando no que é hoje o Oceano Atlântico Sul (Chang et al., 1992). Durante o rifteamento, foram reconhecidos três domínios ao longo da margem continental: Domínio Atlântico Central, Domínio Atlântico Equatorial e Domínio Atlântico Sul (Milani & Thomas Filho, 2000).

A Bacia de Campos pertence ao domínio extensional da porção sul do continente sul-americano – Domínio Atlântico Sul. Esse domínio foi marcado predominantemente por falhas normais *dip-slip*. Esse conjunto de falhas normais, que se distribui sobre este domínio, evoluiu de um padrão de rifteamento para uma margem passiva em formação. O processo de rifteamento e subsequente abertura do Oceano Atlântico foram eventos marcantes ao longo de toda a margem da América do Sul. Com o início do fraturamento crustal no Jurássico, a margem meridional da Argentina começou a tomar forma. Esse evento se propagou até o nordeste brasileiro no Neocomiano (Milani & Thomaz Filho, 2000). No Aptiano, as placas

americana e africana estavam finalizando o processo de quebra próximo ao Equador. Desta forma, o sistema do Atlântico Sul inicia-se no Platô das Malvinas, ao sul da Argentina, e tem seu limite na Plataforma de Touros, no nordeste brasileiro, compreendendo todas as bacias marginais nessa extensão. Dentro deste domínio, está situado o Platô de São Paulo, que compreende as Bacias de Santos e Campos, e é delimitado pelo Alto de Florianópolis, ao sul, e pelo Alto de Vitória, ao norte (Figueiredo & Milani, 2000; Milani & Thomaz Filho, 2000)

A área de estudo está inserida na porção submersa da Bacia de Campos (Fig. 2). Esta bacia situada-se no estado do Rio de Janeiro, sudeste do Brasil, e possui uma área de aproximadamente 100.000 km<sup>2</sup>, onde apenas 500 km<sup>2</sup> correspondem a sua área emersa. Ao norte, faz limite com a Bacia do Espírito Santo, sendo separada pelo Alto de Vitória, e, ao sul, com a Bacia de Santos, tendo como limite o Alto de Cabo Frio (Rangel et al., 1994). Seu embasamento cristalino corresponde ao domínio gnáissico do Pré-Cambriano presente na região. A Bacia de Campos tem sua origem associada à quebra do *Gondwana* e apresenta dois estilos estruturais marcantes. Há um padrão de falhamento de blocos, relacionado ao rifteamento inicial, e falhamentos lístricos decorrentes da tectônica salífera adiastrófica na porção superior (Guardado et al., 1990). Assim, nos estágios iniciais de abertura do Oceano Atlântico, formou-se um *rift valley* alongado na direção SW-NE, onde se desenvolveram grábens, meio-grábens e *horsts*. Essas estruturas originaram altos e depocentros lacustres, onde foram depositadas as principais rochas geradoras de petróleo encontradas na Bacia de Campos, compreendidas no Grupo Lagoa Feia.

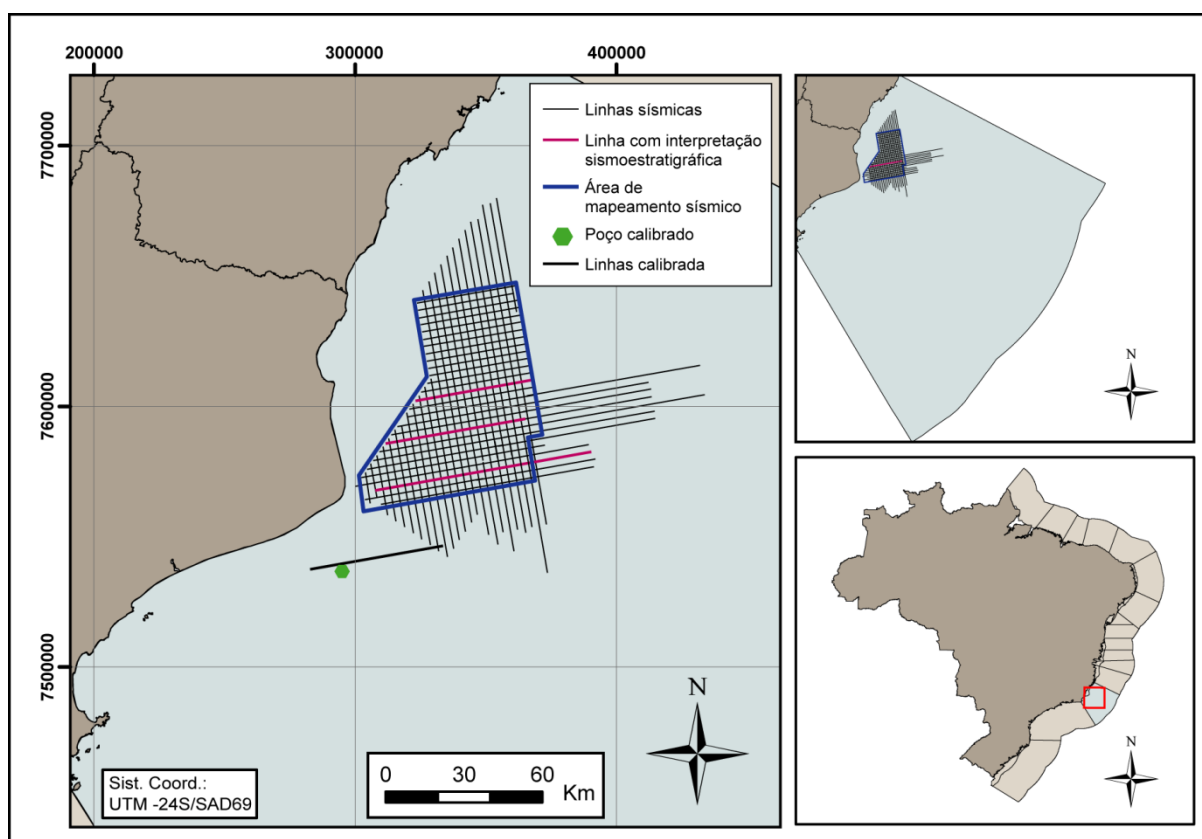


Figura 2. Mapa de localização da Bacia de Campos na costa brasileira, com a área de estudo e linhas sísmicas interpretadas. Em verde, a localização do poço calibrado junto à sísmica para a definição das sismofácies.

A bacia teve seu início associado ao rifteamento com intensa atividade vulcânica que resultou em um substrato vulcânico extrusivo e deu origem à Formação Cabiúnas que apresenta idades de 120 a 130 Ma. O preenchimento da bacia é dividido em três megassequências estratigráficas, associadas às fases tectônicas: megassequência rifte, megassequência transicional e megassequência marinha, correspondente à fase de margem passiva (Dias et al., 1990). O pacote rifte inclui as rochas mais antigas da bacia, pertencentes ao Neocomiano Superior - Barremiano, que fazem parte do intervalo basal a intermediário do Grupo Lagoa Feia (Winter et al., 2007), e é composto por depósitos lacustres interdigitados com rochas vulcanoclásticas da Formação Cabiúnas. A sequência transicional compreende o intervalo superior do Grupo Lagoa Feia, composto principalmente por um espesso pacote clástico basal, com intercalações de carbonatos lacustres na seção intermediária a superior



(reconhecidos como os recentemente descobertos reservatórios do pré-sal), e sucedidos por evaporitos no topo. Esta sequência tem uma idade aptiana, e marca a passagem de um ambiente continental para marinho. A unidade marinha de margem passiva é composta por quatro sequências: carbonática nerítica rasa, hemipelágica, transgressiva e regressiva (Winter et al., 2007).

O Grupo Lagoa Feia constitui, em sua maioria, a seção rifte da Bacia de Campos, que corresponde ao intervalo estudado no presente trabalho. Na porção basal do Grupo Lagoa Feia, estão depositados conglomerados com clastos de basalto, depósitos de fan-deltas associados às falhas de borda, arenitos finos a grossos, folhelhos ricos em matéria orgânica, siltitos e *rudstones/grainstones*, denominados na literatura prévia como “coquinas” (Abrahão & Warne, 1990; Guardado, 1990; Rangel et al., 1994), embora não apresentem traços característicos de retrabalhamento intenso. Essas rochas caracterizam uma deposição continental, em ambiente lacustre. Os *rudstones/grainstones* são bioacumulados de bivalves e ostracodes com pouco retrabalhamento, que formam espessos pacotes de rochas porosas. A parte superior do Grupo Lagoa Feia é composta por sedimentos continentais grossos, com conglomerados do Aptiano e folhelhos avermelhados do Neoaptiano que gradam para evaporitos pertencentes ao Membro Retiro, com intercalações rítmicas de halita e anidrita (Grassi et al., 2004). As rochas dessa fase constituem a seção sag da Bacia de Campos.

A exploração de hidrocarbonetos na Bacia de Campos iniciou-se na década de 50 com a perfuração de um poço em terra. Na década de 60 foram realizados os primeiros levantamentos sísmicos, e em 1974 foi descoberto o primeiro campo de óleo da bacia (Grassi et al., 2004). As principais rochas reservatório da bacia incluem desde basaltos fraturados, *rudstones/grainstones* e carbonatos albianos, até turbiditos do Cretáceo e Terciário, sendo que as duas primeiras ocorrem na seção rifte. Os basaltos alcalinos neocomianos, intercalados

com rochas sedimentares e vulcanoclásticas, formam o embasamento econômico da bacia. Esses basaltos fraturados e vesiculares estão saturados de óleo e são explorados em alguns campos da bacia, como nos Campos de Badejo e Linguado (Grassi et al., 2004). Os *rudstones/grainstones* do Barremiano (seção sin-rifte – dentro do intervalo de estudo) são compostos de bioacumulados de conchas de bivalves e ostracodes. O óleo presente nesses reservatórios é de boa qualidade. Esses reservatórios são alimentados por uma rocha geradora, responsável pelo óleo e gás produzido na bacia, que consiste em um folhelho rico em estevensita, depositado em um ambiente lacustre. A rocha geradora pode ter se formado em depressões rasas, associadas à fase inicial de distensão e rifteamento, ou durante o desenvolvimento dos meio-grábens durante a fase tafrogênica da evolução do rifte, quando lagos profundos anóxicos se formaram (Milani & Thomaz Filho, 2000) na fase sin-rifte, caracterizando uma migração primária ou de pouca extensão. A composição química da água do lago, alcalina e rica em Mg, contribuiu para a formação por precipitação química da estevensita encontrada em testemunhos de toda seção (Abrahão & Warne, 1990). A janela do óleo foi atingida no Cretáceo médio, mas somente no Mioceno o pico de maturação foi alcançado. A maior parte da sequência de rochas geradoras ainda está na janela do óleo, e em apenas em alguns grábens essas rochas penetraram a janela do gás (Mello, 2006).

### 3. Análise Sismoestratigráfica

Mitchum, *et al.* (1977) define como sequências sísmicas, pacotes com refletores concordantes que são separados por superfícies de descontinuidade definidas pelas terminações dos refletores (*onlap*, *downlap*, *toplap*, truncamento erosivo ou estrutural). Esses pacotes são compostos por estratos geneticamente relacionados e limitados no topo e na base por discordâncias ou conformidades correlativas, derivando da denominada sequência deposicional (Vail et al., 1977), posteriormente definida por Posamentier et al. (1988) como

um conjunto de estratos geneticamente relacionados limitados no seu topo e base por discordâncias e conformidades correlatas, e composta internamente por tratos de sistemas. Assim, por associação, a sequência sísmica original de Vail et al. (1977) acaba por ser equivalente a sequência deposicional de Posamentier et al. (1988).

As sequências sísmicas têm como superfícies limítrofes discordâncias ou conformidades correlativas. Já as unidades sísmicas, propostas por Brown & Fischer (1977) como unidades sismoestratigráficas, são estratos cronoestratigraficamente relacionados que remetem a diferentes eventos no tempo, limitados por superfícies mapeáveis ao longo de toda a bacia e preenchidos por uma sucessão de sistemas deposicionais. As superfícies limítrofes são mapeadas com base na sua continuidade lateral, definindo um evento temporal dentro de uma unidade. É importante ressaltar que o reconhecimento desses pacotes se dá da mesma forma que uma sequência sísmica (pelas terminações de refletores), porém nem sempre as unidades sísmicas são limitadas no topo ou base por uma discordância. Suas superfícies limítrofes são apenas superfícies de controle temporal que individualizam estratos em diferentes eventos temporais. Desta forma, Brown & Fischer (1977) utilizam o conceito de trato de sistemas para definir conjuntos de sistemas deposicionais relacionados a um período de tempo específico para fundamentar as unidades sismoestratigráficas, delimitadas por superfícies deposicionais ou erosivas, e que denotam períodos distintos na evolução da bacia.

### 3.1. Interpretação dos Refletores

Para a análise sismoestratigráfica da área de estudo, foram interpretadas três linhas sísmicas 2D (Fig. 2) em tempo. A interpretação sismoestratigráfica destas três linhas forneceu o arcabouço estratigráfico geral através da delimitação de superfícies chave, que foram mapeadas em 64 linhas sísmicas 2D (29 linhas *dip* e 35 *strike*). A seleção das linhas interpretadas considera (1) a distribuição espacial na área de estudo, (2) a qualidade do sinal

sísmico e (3) a representatividade das estruturas e padrões de reflexões para a área de estudo. A análise sismoestratigráfica consistiu em rastrear todos os refletores e suas terminações, seguindo os seguintes parâmetros: configuração dos padrões geométricos, amplitude, continuidade e frequência (Fig. 3). Como o enfoque do presente estudo é a seção rifte, foram mapeados os horizontes definidores do intervalo sin-rifte: o topo da Formação Cabiúnas como superfície basal, e a discordância de pós-rifte que separa a seção sin-rifte da seção sag da bacia como superfície de topo (Fig. 3B). Adicionalmente, foi mapeada a base do sal como superfície funcional para controle e posicionamento da seção sin-rifte. De forma geral, os horizontes do topo da Formação Cabiúnas e a discordância pós-rifte compreendem a seção sin-rifte mapeável da área de estudo, e seus significados estratigráficos serão discutidos a seguir. O intervalo de estudo compreende dois meio-grábens, compostos por duas falhas de borda situadas a leste de cada meio-gráben. Essas estruturas se conectam na parte superior a intermediária do intervalo de estudo, e ambas possuem vergência para leste. Assim, os meio-grábens foram denominados como MG-01 e MG-02, respectivamente, em um corte de oeste para leste. Com a seção sin-rifte definida, foi realizada a interpretação dos refletores e terminações desta seção (Fig. 3A). Desta forma, observou-se um padrão de refletores paralelos entre si na base do rifte. Na seção intermediária do intervalo de estudo, os refletores passam a apresentar uma boa continuidade e um padrão divergente, indicando uma atividade tectônica sin-deposicional, característica da seção sin-rifte. Também se observou truncamentos estruturais, associados a pequenas falhas. O padrão divergente dos refletores é bastante característico de bacias rifte (Bosence, 1998), sendo definidor de uma fase sin-rifte da bacia, que é delimitada por uma discordância pré-rifte na base e uma discordância pós-rifte no topo. Acima da fase rifte ocorre o sag, que não foi analisado por não fazer parte do intervalo de estudo.



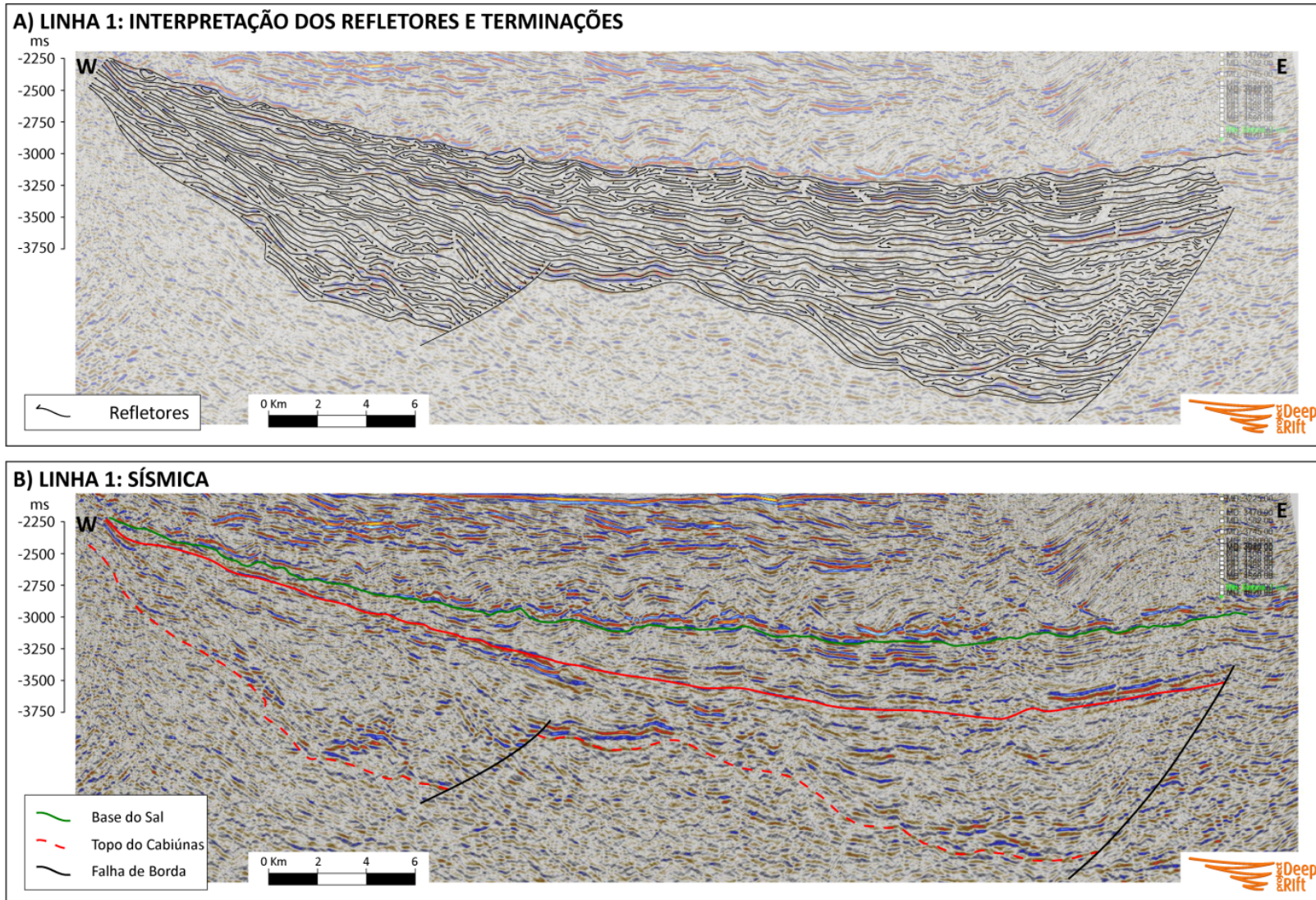


Figura 3. Interpretação dos limites dos meio-grábens, em (A) os refletores e suas terminações, e em (B) a sísmica não interpretada com topo e base da estrutura.

### 3.2. Unidades Sismoestratigráficas

Os refletores e suas terminações fornecem, como determinado por Vail *et al.* (1977) e Mitchum *et al.* (1977), a caracterização sismoestratigráfica de superfícies deposicionais. Entretanto, ao contrário dos modelos propostos e derivados da sismoestratigrafia de Vail *et al.* (1977), que estabelecem como discordâncias estas superfícies, as sucessivas terminações de refletores relacionadas a e rastreáveis como uma superfície individual não necessariamente representam hiatus deposicionais. Assim, o conceito de tratos de sistemas de Brown & Fischer (1980) serve como base para a caracterização das unidades sismoestratigráficas. O rastreamento de terminações de refletores ao longo de uma superfície define o limite de base ou de topo de uma unidade sismoestratigráfica. Foram assim definidas dez unidades sismoestratigráficas (Fig. 4A), denominadas de US-1 a US-10, da base para o topo nos dois meio-grábens estudados (MG-1 e MG-2). O MG-01 apresenta oito dessas unidades e o MG-02, sete, sendo que quatro delas se repetem em ambos meio-grábens. As duas primeiras unidades (US-1 e US-2) apresentam um padrão geométrico diferenciado, onde os refletores não mostram divergência em direção à falha de borda, tanto no MG-01 quanto no MG-02. Isto indica que a falha de borda já se encontrava ativa, mas em um padrão estrutural sinformal e atuando como uma falha com mesma expressão das demais. O intervalo compreendido pelas US-1 e US-2, em ambos meio-grábens, retratam uma fase evolutiva sem a estruturação de meio-gráben estabelecida. Da unidade US-3 a US-7 os refletores apresentam um padrão divergente, com refletores em *offlap* nas porções centrais dos meio-grábens, alguns truncamentos estruturais e *onlaps*. O intervalo compreendido pelas unidades US-3 a US-7 marca então, uma fase de intensa atividade tectônica sin-deposicional controlada por estruturas de meio-gráben, com falhas de borda bem estabelecidas tanto no MG-01 quanto no MG-02. Adicionalmente, observa-se que os meio-grábens MG-01 e MG-02 encontravam-se



isolados durante a formação das unidades US-3 a US-5. Nas unidades US-8 e US-9, os refletores são predominantemente paralelos, apresentando suaves divergências localizadas, especialmente sobre os antigos depocentros controlados pelos meio-grábens, indicando que ainda havia uma tectônica incipiente durante a deposição dessas unidades. O topo da unidade US-9 apresenta um truncamento erosivo e é limitada por um refletor contínuo em toda extensão da área de estudo, que separa a US-9 da US-10. A US-10 corresponde à fase sag, que compreende a seção pós-rifte, caracterizada por uma atividade tectônica incipiente e regional de reajuste isostático que antecede a ruptura continental, não sendo detalhada no presente estudo.

### 3.3. Sismofácies

A definição de sismofácies de Brown & Fischer (1980), baseada nas publicações do *Memoir 26* da AAPG de 1977 (Payton, 1977), diz que uma sismofácies é uma unidade tridimensional composta por reflexões sísmicas cujos elementos (configuração geométrica das reflexões, amplitude, continuidade, frequência e intervalo da velocidade) diferem dos elementos das unidades adjacentes. As fácies sísmicas são interpretadas para conhecimento da litologia, estratificação e aspectos deposicionais que geraram as reflexões dentro dessas unidades sismofaciológicas, e fornecem uma variedade de informações úteis para determinação de análogos litoestratigráficos. Essa análise é mais eficiente quando há disponibilidade de perfis litológicos de poço e testemunhos para relacionar as sismofácies dentro de um contexto litológico de uma sequência deposicional.

As sismofácies foram interpretadas com base na sua configuração, continuidade, amplitude, frequência dos refletores, velocidade intervalar e forma do conjunto de reflexões. Posteriormente as mesmas foram calibradas com os perfis compostos de uma área próxima a área de estudo, mais ao sul, onde foram descritos testemunhos em poços adjacentes e, a partir

disso, definidas as associações de fácies.. Assim, integrando dados de poço e sísmica, foi possível relacionar a litologia dominante em cada sismofácies e propor um modelo dos processos deposicionais que preencheram esses meio-grábens durante a fase rifte da Bacia de Campos. Essa calibração proporcionou maior entendimento da relação do suprimento de sedimentos com o controle tectônico, possibilitando a criação de um modelo evolutivo dessa bacia.

Segundo Mitchum et al. (1977), sismofácies são unidades sísmicas tridimensionais mapeáveis, compostas por grupos de refletores cujo os parâmetros definidores diferem das unidades faciológicas adjacentes. Porém, as fácies sísmicas não tem necessariamente um controle temporal e podem ocorrer em diferentes unidades sísmicas. Assim, foram definidas quatro sismofácies, três presentes no intervalo rifte e a quarta representando a fase sag, não estudada (Fig. 5).

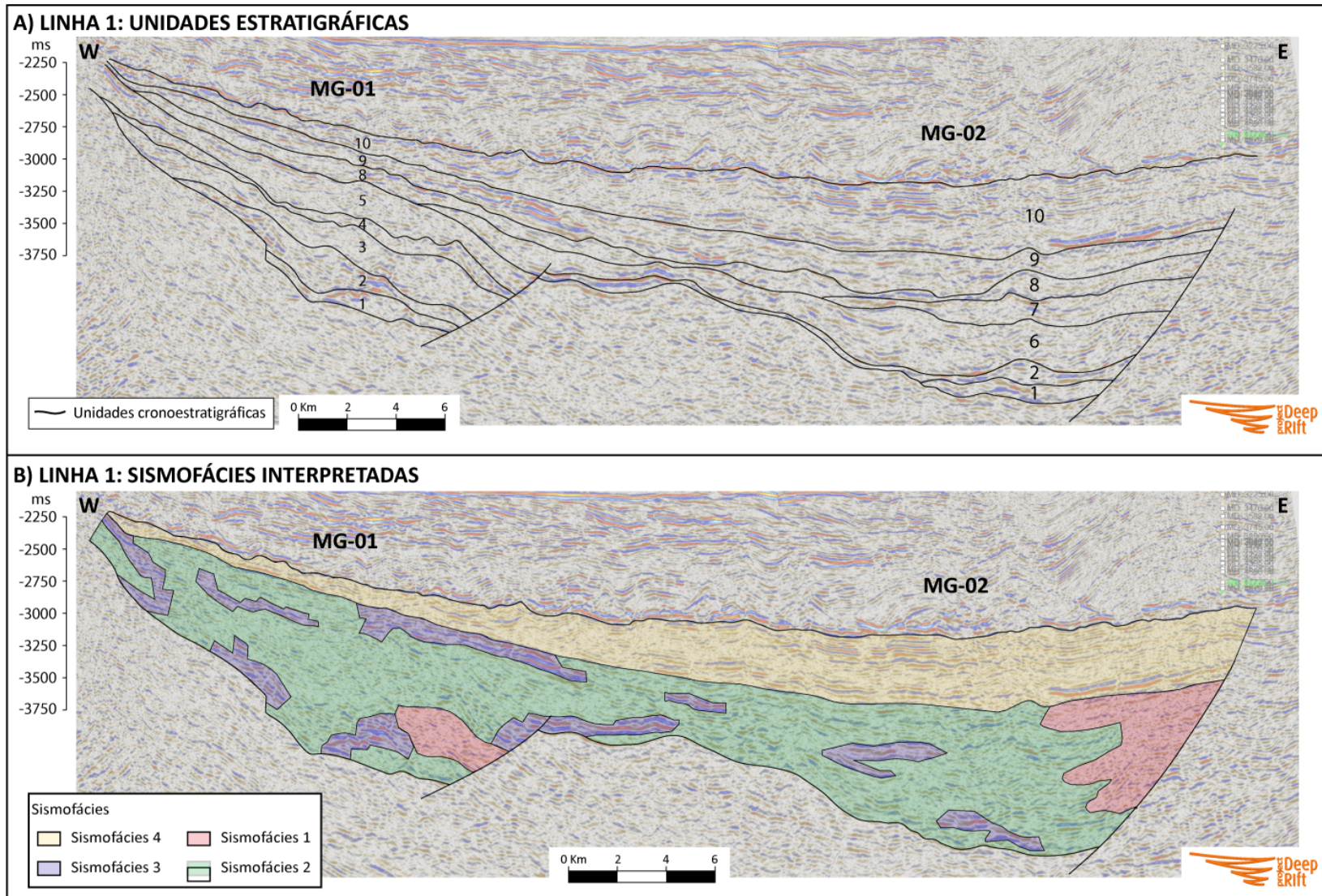


Figura 4. Unidades sismoestratigráficas de 1 a 10 dispostas nos dois meio-grábens estudados (A), e as sismofácies interpretadas (B).



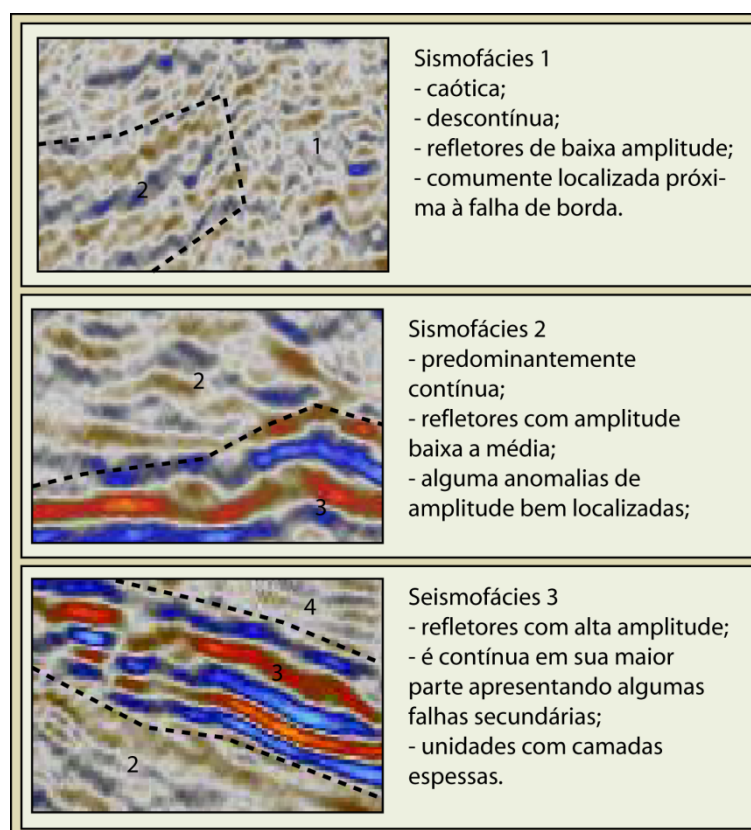


Figura 5. Características definidoras das três principais sismofácies identificadas no intervalo de estudo e suas feições.

A sismofácies 1 apresenta uma configuração de refletores caótica, sem continuidade e com amplitude baixa a média (Fig. 5). Sua ocorrência está geograficamente associada às falhas de borda, sugerindo que sua deposição é controlada pela falha de borda (Fig. 4B). Esta sismofácies é interpretada como depósitos de fan-delta, originados da erosão decorrente da elevação do bloco de *footwall* da falha de borda. São comumente depósitos conglomeráticos, e foram denominados de **Depósitos da Falha de Borda**.

A sismofácies 2 tem uma configuração divergente em sua maior parte e porções com configuração *hummocky* no depocentro de ambos meio-grábens. Os refletores são de baixa amplitude e variam de contínuos a descontínuos, com terminação de refletores dominantes em *onlap* (Fig. 5). Da mesma forma que a sismofácies 3, sua disposição é variada ao longo do intervalo, não existindo uma região preferencial de deposição e ocorre ao longo de toda a

bacia, temporal e espacialmente, principalmente englobando os depósitos da sismofácies 3 (Fig. 4B). A sismofácies 2 é interpretada como os depósitos lacustres de *background*, podendo compreender também, assim como a sismofácies 3, depósitos de fluxos gravitacionais, mas devido a sua baixa amplitude e menor continuidade lateral, são esperados depósitos mais finos em relação a sismofácies 3. Foram assim denominados de **Depósitos de *background* e Ressedimentados Dominados por Grãos Finos.**

Na sismofácies 3, os refletores apresentam uma configuração paralela, com alta a média amplitude e boa continuidade (Fig. 5). Predominam terminações em *onlaps* e alguns truncamentos estruturais cortando a sismofácies que apresenta uma geometria tabular. Esta sismofácies foi interpretada como rudstones/grainstones. Estão dispostos na forma de mounds e gradações laterais para a sismofácies 2, não sendo possível determinar tendências proximais ou distais em relação à sismofácies 2, não sendo possível estabelecer, por exemplo, uma filiação com depósitos de margem lacustre. A sismofácies 3 tem ocorrência dispersa no espaço e em diversas unidades temporais distintas, podendo ocorrer tanto na margem flexural, quanto no depocentro dos meio-grábens (Fig. 4B). Autores como Rangel & Carminatti (2000) e Abrahão & Warme (1990) afirmam que os depósitos de carbonatos grossos se encontram em altos estratigráficos, e são interpretados como depósitos de margem rasa. Entretanto, a sismofácies 3 é aqui interpretada como resultado do retrabalhamento e erosão de uma margem rasa. Pulsos tectônicos resultaram no soerguimento e instabilização da plataforma carbonática, e decorrente redeposição dos sedimentos por fluxos gravitacionais. Esses depósitos foram denominados de **Depósitos Ressedimentados Dominados por Grãos Grossos.**

A sismofácies 4 compreende toda fase sag da bacia, e não foi analisada.

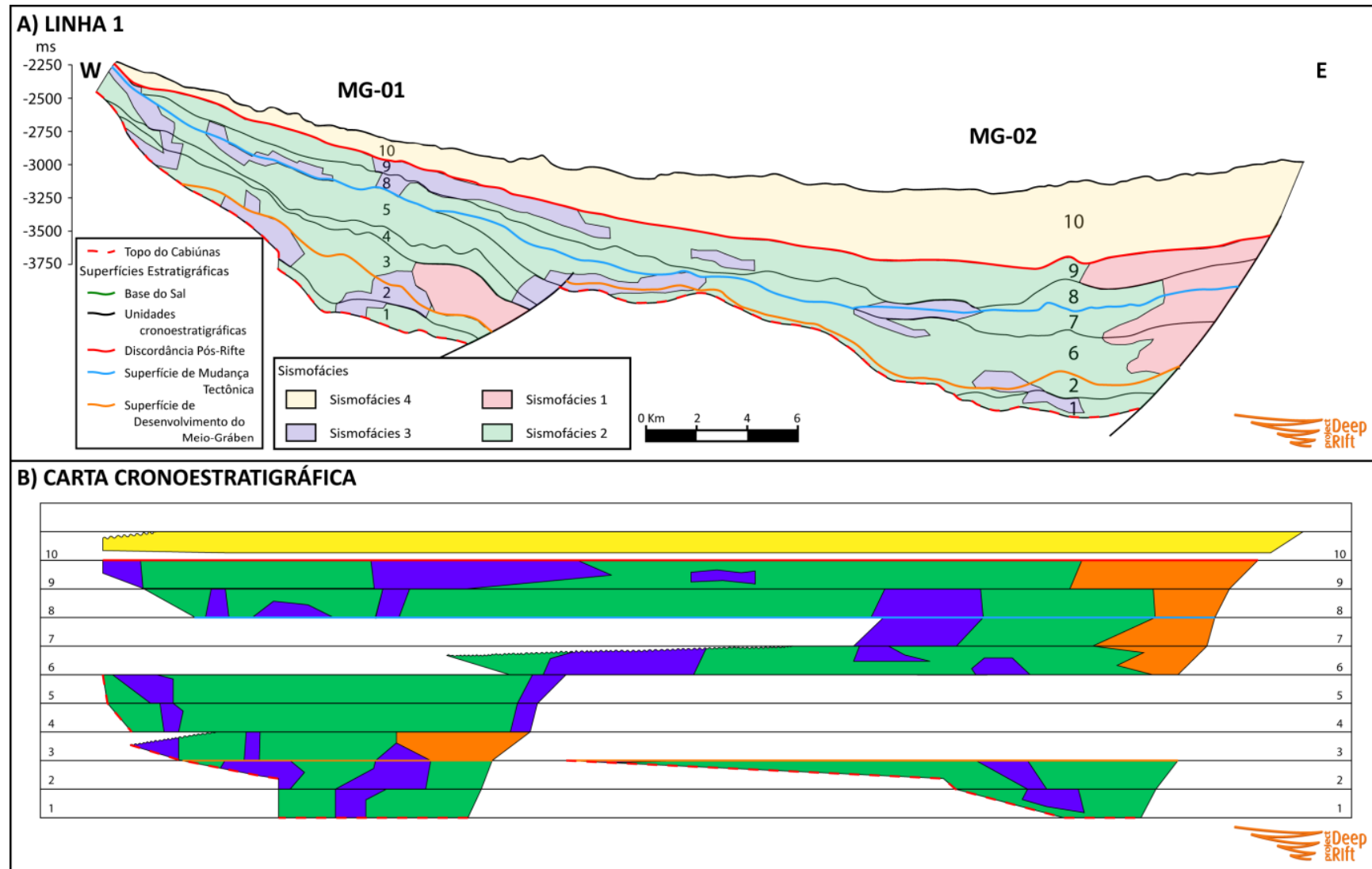
### 3.4. Carta Cronoestratigráfica

Seguindo a metodologia proposta por Vail et al. (1977), é necessário o estabelecimento de um contexto temporal para as unidades caracterizadas. Este contexto temporal remete aos fundamentos da *time stratigraphy* de Wheeler (1958), onde a observação de eventos deposicionais baseado em fatias de tempo permite estabelecer variações geográficas e de preenchimento ao longo do tempo geológico. Desta maneira, a produção de uma carta cronoestratigráfica acaba sendo fundamental para uma compreensão dos processos controladores e seus registros geológicos – as unidades sismoestratigráficas, preenchidas pelas sismofácies.

A carta cronoestratigráfica mostra a evolução temporal do intervalo de estudo, do início do rifte até a porção pós-rifte (não detalhada), conforme apresentada na figura 6. Inicialmente observa-se o isolamento dos meio-grábens MG-01 e MG-02 durante as unidades US-1 e US-2. Em seguida observa-se que deposição continua no MG-01 (US-3 a US-5), enquanto não há deposição no MG-02. Da US-6 a US-7, não ocorre deposição no MG-01. Durante este período a deposição continua, controlada pela falha de borda, no MG-02. Por fim, na US-8 e US-9 a área de deposição se expande, cobrindo toda a extensão da área de estudo, incluindo MG-01 e MG-02. As sismofácies 2 e 3 não apresentam um padrão deposicional específico, ocorrendo aleatoriamente ao longo do espaço e tempo de desenvolvimento da bacia. Observa-se que, enquanto o MG-01 estava em desenvolvimento, sua falha de borda não gerou grande volume de depósitos relacionados à mesma, restringindo a sismofácies 1 à US-3, ao contrário do desenvolvimento do MG-02, que teve grande contribuição dos depósitos caóticos da sismofácies 1 adjacentes a sua falha de borda. A relação entre as sismofácies 2 e 3 novamente indica um padrão aleatório de ocorrência lateral, sem relações distais ou proximais, o que sugere que a sismofácies 3 (carbonatos) é composta



por depósitos ressedimentados intercalados nos sedimentos de *background* da sismofácies 2, sem excluir a possibilidade de gradações para depósitos mais finos entre as sismofácies 3 e 2. No diagrama cronoestratigráfico, observa-se dois importantes hiatos que revelam a migração da atividade tectônica de um meio-gráben para outro, com o desenvolvimento de dois depocentros, que formam uma única bacia nos estágios finais da sua evolução. Isso indica que houve uma migração da atividade tectônica que controlava a falha de borda no MG-01, com uma história evolutiva única até a US-5, para a falha de borda do MG-02 na US-6. A partir desse momento, possivelmente não houve deposição no MG-01 e ocorre a deposição somente no MG-02, criando um hiato no MG-01 no período que compreende as unidades US-6 e US-7.



#### 4. Evolução Tectônica e Estratigráfica

O modelo evolutivo tectonoestratigráfico foi baseado na distribuição espacial e temporal das unidades estratigráficas e sismofácies interpretadas. Como descrito anteriormente, nas unidades US-1 e US-2, ocorreu uma deposição isolada, sem um claro controle da falha de borda, em ambos os meio-grábens, sugerindo que a falha de borda estivesse ativa apenas como uma falha de mesma hierarquia das demais (Fig. 6). Posteriormente, nas unidades US-3 a US-5, apenas o MG-01 esteve ativo, sem deposição aparente ou visível na escala sísmica no MG-02 (Fig. 6). Já durante as US-6 e US-7, o principal controle é a falha de borda do MG-02, sem aparente atividade da falha de borda do MG-01. Isso indica que a atividade tectônica migrou do MG-01 (US-3 a US-5) para o MG-02 (US-6 a US-7), fazendo com que o MG-01 virasse uma margem flexural durante as US-6 e US-7 (Fig. 6). As US-8 e US-9 apresentam um padrão deposicional muito mais amplo, ainda com controle por falhas, mas com uma expansão da área deposicional, e por fim capeadas pela US-10 (sag – não analisada).

Nos estágios iniciais de abertura do rifte, que compreende as unidades estratigráficas US-1 e US-2, a movimentação de blocos ocorre simultaneamente em ambos meio-grábens. Essas unidades compreendem o **Trato de Sistemas de Início de Rifte**, onde a atividade tectônica é crescente e bem distribuída em toda a área de estudo (Fig. 6). Esse trato é limitado na base pela superfície denominada Topo do Cabiúnas e no topo pela Superfície de Desenvolvimento do Meio-Gráben e representa uma fase de depressão sinformal relacionada ao início do rifteamento (Morley, 2002). Esses estágios deposicionais ocorrem de forma síncrona na bacia, quando a sedimentação era uniforme. No mapa de isócronas (Fig. 7A), que reflete a profundidade em tempo sísmico, é possível observar maior espessura em tempo sísmico nos depocentros de ambos meio-grábens. Fica visível neste trato que a deposição era

bem distribuída em toda bacia e o considerável afinamento na espessura das margens flexurais indica a erosão devido ao soerguimento dessa área durante a movimentação das falhas de MG-01 e MG-02 e a exposição dos altos estruturais.

Posteriormente ocorre o **Trato de Sistemas de Alta Atividade Tectônica**, limitado na base pela Superfície de Desenvolvimento do Meio-Gráben e no topo pela Superfície de Mudança Tectônica. Esse estágio é marcado pela significativa movimentação das falhas de borda dos dois meio-grábens e alta geração de espaço de acomodação. O padrão divergente da sísmica indica a alta atividade tectônica durante essa etapa de evolução das duas estruturas, que tomam a forma de dois meio-grábens bem desenvolvidos (Fig. 6). Segundo Prosser (1993), essa transição ocorre quando a taxa de subsidência da bacia muda de relativamente baixa (taxa de sedimentação aproximadamente igual à de subsidência) para alta, quando a taxa de subsidência ultrapassa a taxa de sedimentação. Na área de estudo, a sedimentação durante esse trato é dada por pulsos tectônicos que geram escorregamentos de sedimentos de regiões mais rasas. É dominada pelos depósitos de carbonatos (rudstones/grainstones) grossos e finos da margem flexural erodida, e é nessa fase onde há maior representatividade das fácies de depósitos de falha de borda, comumente conglomeráticos. Ao longo da Superfície de Mudança Tectônica, truncamentos no topo apontam forte erosão da margem flexural. É durante esse trato que o MG-01 cessa a movimentação de sua falha de borda e passa a ser margem flexural do MG-02 (Fig. 6). Na isócrona do trato de alta atividade tectônica fica evidente a estruturação dos meio-grábens, e o espessamento restrito à área de acomodação gerada pela movimentação das falhas de borda (Fig. 7B), além da ocorrência de erosões nas margens flexurais (bloco de *footwall*), indicando a contínua movimentação na forma de rotação nos meio-grábens.

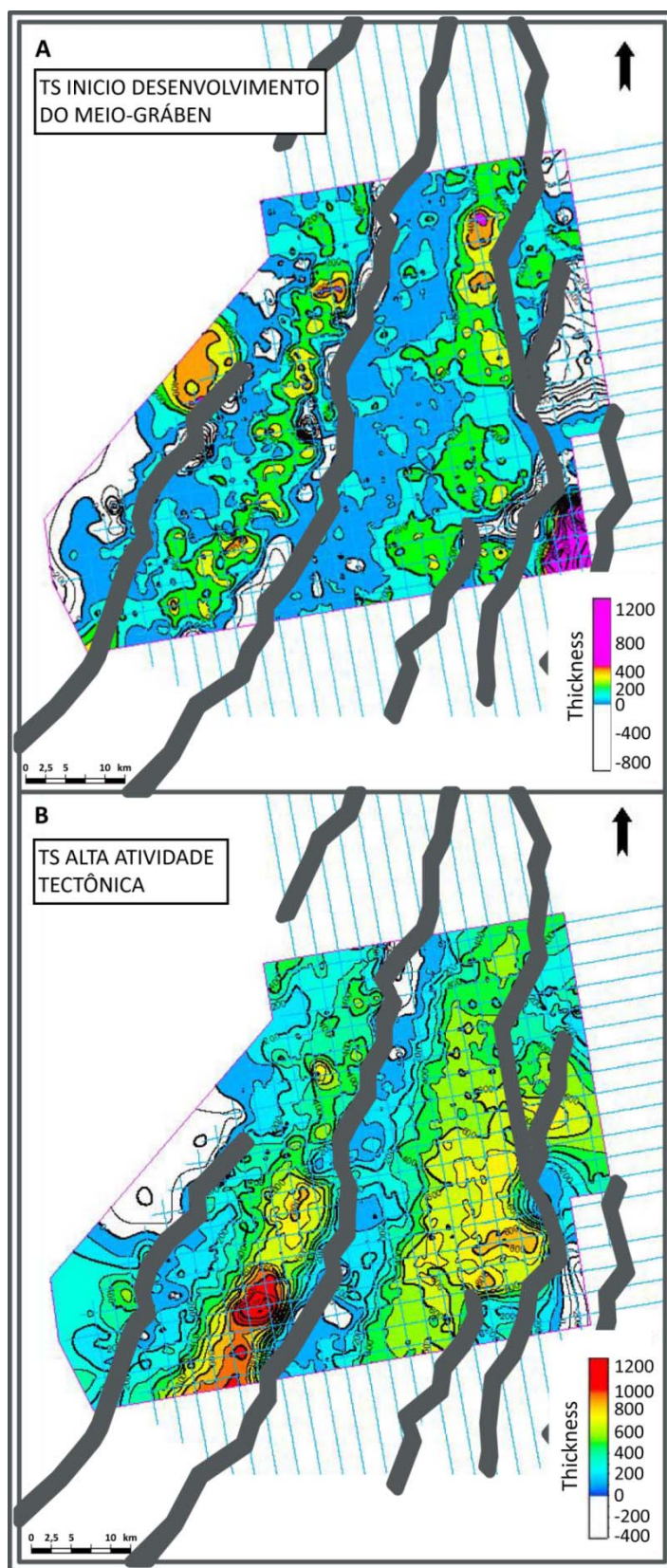


Figura 7. Mapa de isócronas mostrando a espessura em tempo sísmico da evolução dos meio-grábens nos tratos de Início de Desenvolvimento do Meio-Gráben (A) e de Alta Atividade Tectônica (B).



No **Trato de Sistemas de Baixa Atividade Tectônica**, limitado na base pela Superfície de Mudança Tectônica e no topo pela Discordância Pós-Rifte, os refletores apresentam um padrão paralelo, sem nenhuma divergência, indicando que a movimentação da falha de borda do MG-02 foi lenta nesse estágio da evolução da bacia. Morley (2002) propôs que uma série de falhas alinhadas pode evoluir para uma única falha de borda em ambientes rifte, através do modelo de *fault propagation*, que nada mais é que a expansão da atividade tectônica até que essas falhas se acoplem umas às outras, formando uma única falha de borda. Núcleos de falhas menores são expandidos com o aumento da atividade tectônica, unindo pequenas bacias e gerando um grande depocentro em uma única bacia. O modelo de *fault propagation* ainda afirma que o cessamento da atividade tectônica pode ocorrer de forma abrupta ou prolongada, com lenta diminuição da atividade, que fica restrita a algumas áreas da falha de borda. Na área de estudo observa-se uma lenta diminuição da atividade tectônica no intervalo do trato de sistemas de baixa atividade, como se o modelo de *fault propagation* ocorresse de forma inversa, criando diferentes depocentros dentro de uma mesma bacia durante este trato. O mapa de isócronas dessa fase indica espessamento local em alguns pontos da bacia (Fig. 8A), diferentemente dos depocentros ao longo das falhas de borda do trato de sistemas de alta atividade tectônica. Isto sugere que nesses locais a deformação concentrou-se, com uma marcante diminuição da atividade da falha de borda, nas terminações laterais. É possível identificar pequenos depocentros ainda ativos, resultando no preenchimento final da calha (Fig. 8A). Este padrão de diminuição dos depocentros no sentido axial indica que, juntamente com a menor divergência dos estratos, a atividade tectônica, embora presente, era baixa.

Após a discordância pós-rifte, inicia-se a fase sag da Bacia de Campos, na qual não foram individualizadas sismofácies, apenas identificada de forma geral para definir o intervalo de estudo. Essa fase é limitada no topo por uma superfície funcional denominada de



Base do Sal, e na base pela Discordância Pós-Rifte. No mapa de isócronas que compreende toda a fase rifte é possível identificar a estruturação de ambos os meio-grábens que compõe a área de estudo, podendo ser facilmente identificáveis a margem flexural, área menos espessa, de cada meio-gráben e seus respectivos *footwalls*, área mais espessa (Fig. 8B). Entretanto, embora os meio-grábens sejam evidentes no mapa de isócronas total da seção sin-rifte, o MG-01 somente esteve ativo durante o período compreendido pelas US-3 a US-5, passando a servir como margem flexural para o MG-02 no período compreendido pelas US-6 a US-9.

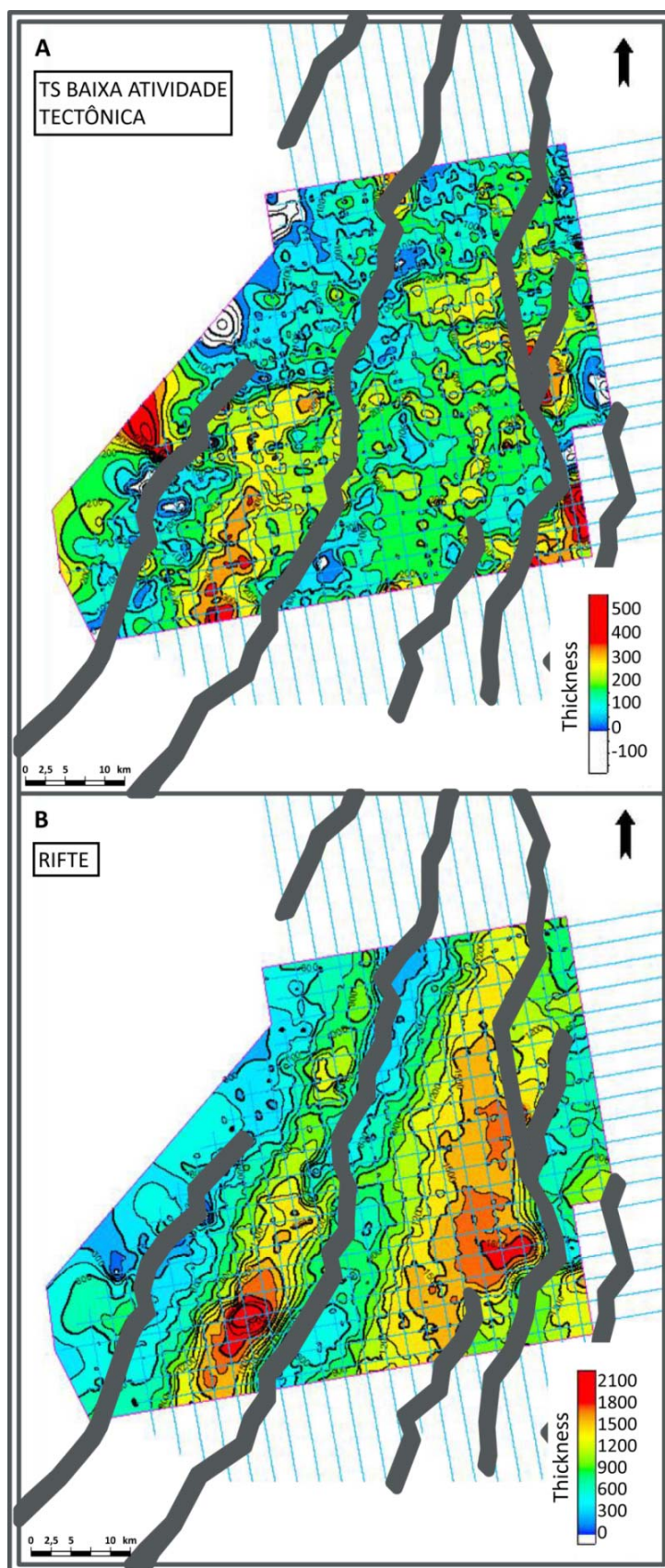


Figura 8. Mapa de isócronas mostrando a espessura em tempo sísmico da evolução dos meio-grábens no trato de Baixa Atividade Tectônica (A) e de toda a fase Rifte (B).

## 5. Conclusões

Através do mapeamento sistemático em linhas sísmicas 2D, foi possível a caracterização de refletores e definição de superfícies sísmicas, sismofácies e tratos tectônicos que abrangem toda a área de estudo. Este mapeamento sistemático permitiu compreender a evolução tectonoestratigráfica do intervalo rifte na área de estudo.

A integração da interpretação sísmica com dados de poço levou a geração de um modelo evolutivo para os meio-grábens da Bacia de Campos no intervalo rifte que engloba o Grupo Lagoa Feia. Durante sua evolução, a Bacia de Campos apresenta três importantes estágios de desenvolvimento na fase rifte: o trato de sistema de início de rifte, onde a bacia ainda é uma depressão sinformal, sem estruturas de meio-grábens desenvolvidas; o trato de sistema de alta atividade tectônica, com padrão de refletores divergentes e alta geração de espaço de acomodação; e por fim, o trato de sistemas de baixa atividade tectônica, onde ocorre uma significativa diminuição na atividade das falhas de borda, gerando deposição pontual de sedimentos ao longo da falha de borda, em um modelo de “*fault restriction*”, inverso ao de “*fault propagation*” de Morley (2002). A evolução durante o trato de sistemas de alta atividade tectônica mostrou uma complexa evolução, com a migração da deformação do MG-01 para o MG-02, transformando, no final, o MG-01 em uma margem flexural do MG-02. Este processo evolutivo transformou o preenchimento dos meio-grábens em um padrão extremamente complexo e de difícil caracterização, pois muito dos depósitos do MG-02 podem ser ressedimentados, oriundos da margem flexural que erode o MG-01. Desta forma, a relação entre meio-grábens, complexa e multifásica, e mesmo dentro de um trato de sistemas, leva a um padrão evolutivo peculiar, somente observável a partir da definição e caracterização das unidades sismoestratigráficas.

## Agradecimentos

Este estudo é resultado de uma dissertação de mestrado em forma de artigo que está integrada ao Projeto *Deep Rift*, desenvolvido em parceria entre a Universidade do Rio Grande do Sul e o BG Group, amparado pela Lei do Petróleo. Agradecemos especialmente ao *Global Technology Centre* do BG Group plc pelo apoio financeiro e contribuições técnicas ao projeto. Adicionalmente, agradecemos ao Programa de Pós-Graduação em Geociências, à UFRGS pela infraestrutura disponibilizada e à ANP pelo compromisso com investimentos em pesquisa e desenvolvimento.

## Referências Bibliográficas

Abrahão, D.; Warme, J. E. Lacustrine and Associated Deposits in a Rifted Continental Basin – Lower Cretaceous Lagoa Feia Formation, Campos Basin, Offshore Brazil. 1990. *In: Katz, B.J. Lacustrine Basin Exploration, Case Studies and Modern Analogs*. American Association of Petroleum Geologists. *AAPG Memoir 50*. P. 287-305.

Bosence, D. W. J. Stratigraphic and sedimentological models of rift basins. *In: Purser, B. H.; Bosence, D. W. J. Sedimentation and Tectonics of Rift Basins: Red Sea - Gulf of Aden*. London: Chapman & Hall. 1998. P. 9-25.

Brown, L. F., Jr.; Fischer, W. L. Seismic Interpretation of Depositional Systems: Examples from Brazilian Rift and Pull-Apart Basins. 1977. *In: Payton, C. E. (Ed.). Seismic Stratigraphy – applications to hydrocarbon exploration*. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists. 1977. *AAPG Memoir 26*. P. 213-248.

Brown, L. F., Jr.; Fischer, W. L. 1980. *Seismic Stratigraphic Interpretation and Petroleum Exploration - Continuing Education Course Note Series #16*. American Association of Petroleum Geologists.

Chang, H.K., Kowsmann, R.O., Figueiredo, A.M.F., Bender, A. Tectonics and stratigraphy of the East Brazil Rift system: an overview. 1992. *Tectonophysics*, 213, p. 97-138.

Dias, J. L. *et al.* Aspectos da evolução tectono-sedimentar e a ocorrência de hidrocarbonetos na Bacia de Campos. *In: Raja Gabaglia, G. P.; Milani, E. J. Origem e Evolução de Bacias Sedimentares*, Rio de Janeiro. 1990. P. 333-360.

Figueiredo, A. M. F.; Milani, E. J. Petroleum Systems of South American Basins. *In: Cordani, U. G.; Milani, E. J.; Thomaz Filho, A.; Campos, D. A. Tectonic Evolution of South America*, 2000. Rio de Janeiro. Brazil. P. 689-718.

Grassi, A. A.; Castro, A. H. A.; Albertão, G. A. Bacias Sedimentares Brasileiras - Bacia de Campos. *In: Informativo - Fundação Paleontológica Phoenix*, Aracaju, Sergipe. Brazil. 2004. Ano 6, v. 65, p. 1-6.



Guardado, L. R.; Spadini, A. R.; Brandão, J. S. L.; Mello, M. R. Petroleum System of the Campos Basin, Brazil. 2000. In: Mello, M. R.; Katz, B. J. (Ed.). *Petroleum system of South Atlantic margins*. American Association of Petroleum Geologists. *AAPG Memoir 73*. V. 73, p. 317-324.

Kuchle, J.; Scherer, C. M. S.. Sismoestratigrafia de bacias rifte: técnicas, métodos e sua aplicação na Bacia do Recôncavo. 2010. Boletim de Geociências da Petrobras. V.18, n.2, p. 179-206.

Mello, M. R. 3D Petroleum System Modeling and Exploration Risk Assessment of the Greater Campos Basin: go deep for giant oil and gas fields. 2006. In: Rio Oil & Gas Expo and Conference, 2006, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro, V. 1.

Milani, E. J.; Thomaz Filho, A. Sedimentary Basins of South America. In: Cordani, U. G.; Milani, E. J.; Thomaz Filho, A.; Campos, D. A. *Tectonic Evolution of South America, 2000*. Rio de Janeiro. Brazil. P. 389-449.

Mitchum Jr., R. M.; Vail, P. R.; Sangree, J. B. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 6: stratigraphic interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences. In: Payton, C. E. (Ed.). *Seismic Stratigraphy – applications to hydrocarbon exploration*. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists. 1977. *AAPG Memoir 26*. P. 117-133.

Morley, C. K. Evolution of large normal faults: Evidence from seismic reflection data. 2002. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, Tulsa, Oklahoma. V. 86, n. 6, p. 961-978.

Neal, J.; Abreu, V. Sequence stratigraphy hierarchy and the accommodation succession method. *Geology*, September, 2009. V. 37, p. 779-782.

Posamentier, H. W.; Jervey, M. T.; Vail, P. R. 1988. Eustatic Controls on Clastic Deposition I – Conceptual Framework. In: Wilgus, C. K.; Hastings, B. S.; Kendall, C. G. ST. C.; Posamentier, H. W.; Ross, C. A.; Van Waggoner, J. C. (Ed.). 1988. *Sea-level changes: an integrated approach*. Tulsa: SEPM – Society for Sedimentary Geology. P. 109-124. (SEPM Special Publication, 42).

Prosser, S. Rift-related linked depositional systems and their seismic expression. 1993. In: Williams, G. D.; Dobb, A. (Ed.). *Tectonics and Seismic Sequence Stratigraphy*. London: Geological Society of London. P. 35-66. (Geological Society Special Publication, 71).

Rangel et al. Bacia de Campos. 1994. Boletim de Geociências Petrobras, Rio de Janeiro, Brazil. V. 8 (1), p. 203-217.

Rangel, H. D.; Carminatti, M. Rift lake stratigraphy of the Lagoa Feia Formation, Campos Basin, Brazil. 2000. In: Gierlowski-Kordesch, E. H.; Kelts, K. R. (Ed.). *Lake basins through space and time: AAPG Studies in Geology*. V. 46, p. 225-244.

Vail, P. R.; Mitchum Jr., R. M.; Todd, R. G.; Widmier, J. M.; Thompson, S., III; Sangree, J. B.; Bubb, J. N.; Hatlelid, W. G. Seismic stratigraphy and global changes of sea level. In: Payton, C. E. (Ed.). *Seismic stratigraphy - applications to hydrocarbon exploration*. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists. 1977, p. 49-212. (AAPG. Memoir, 26).

Wheeler, H. E. Time Stratigraphy. 1958. American Association of Petroleum Geologists Bulletin. vol. 42. p. 1047-1063.

Winter, W. R.; Jahnert, R. J.; França, A. B. Bacia de Campos. 2007. Boletim de Geociências Petrobras, Rio de Janeiro, Brazil. v. 15, n. 2, p. 511-529.



## 6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Assim, a partir dos resultados obtidos com o levantamento de dados foram alcançadas as seguintes conclusões e considerações:

- O método de interpretação de Vail et al. (1977) ainda se mostra eficiente nos dias de hoje. Com o avanço da tecnologia na área de levantamentos sísmicos, e a criação de softwares que auxiliam na interpretação, é possível chegar a modelos evolutivos concisos seguindo a prática elaborada nos anos 70 e aperfeiçoada por modelos mais recentes, como de Neal & Abreu (2009) e Kuchle & Scherer (2010). Sua atual aplicabilidade deve-se a melhor compreensão da evolução de bacias rifte para atividade de exploração na indústria de hidrocarbonetos. Ainda mostra-se eficiente na identificação de unidades estratigráficas e contextualização das sismofácies que representam possíveis reservatórios e rochas geradoras, integrando a metodologia da sísmica com a descrição de poços e outras ferramentas. Ainda fornece informações do que possivelmente controla a deposição dessas sismofácies, dando ideia da procedência dos sedimentos que abastecem a bacia.

- Adaptando o modelo de tratos de sistemas para bacias rifte de Kuchle & Scherer (2010), e o modelo de propagação de falhas normais de Morley (2002), foi possível determinar tratos de sistemas relacionados a diferentes estágios da evolução tectônica para a fase rifte da Bacia de Campos. Estes tratos de sistemas tectônicos são: (1) trato de sistemas de início de rifte, que é caracterizado por uma depressão sinformal, (2) trato de sistemas de alta atividade tectônica, que apresenta um padrão divergente de deposição dos estratos e alta geração de espaço de acomodação e (3) trato de sistemas de baixa atividade tectônica, definido por estratos paralelos e o preenchimento final da fase rifte.

- Embora a relação entre os dois meio-grábens seja complexa, foi possível chegar a um modelo conciso através da análise sismoestratigráfica realizada neste trabalho e apresentar o padrão evolutivo dos meio-grábens estudados.
- Com base nos resultados da análise realizada, foi possível determinar os tratos de sistemas baseados na evolução tectono-estratigráfica da Bacia de Campos e visualizar as principais superfícies erosivas internas à seção rifte. Nos mapas de isócronas, ficou evidente a “desaceleração” na deformação das falhas, ocorrendo o inverso do modelo de Morley (2002) na fase final do rifte. Assim, conclui-se que durante os estágios iniciais, o modelo de *fault propagation* se mostrou mais apropriado, e na fase final do rifte, um modelo de *fault restriction*, onde a diminuição da deformação passa a subdividir a principal falha de borda em pequenas falhas, que geram depocentros locais.
- Durante o trato de sistemas de alta atividade tectônica a evolução foi complexa, com migração da deformação entre os meio-grábens (do MG-01 para o MG-02). O processo evolutivo transformou o preenchimento dos meio-grábens em um padrão extremamente complexo e de difícil caracterização com depósitos ressedimentados no MG-02.
- Apesar de muitos trabalhos já terem sido desenvolvidos na área da Bacia de Campos, ainda há muito a ser explorado na evolução da bacia. O presente trabalho propõe um modelo que agrega novas ideias aos modelos existentes, mostrando a importância do uso e integração de ferramentas já estabelecidas e explorando suas aplicações na obtenção de resultados que constituem um modelo evolutivo complexo.

## 7. REFERÊNCIAS

- Baumgarten, C. S.; Dultra, A. J.; Scuta, M. S.; Figueiredo, M. V.; Sequeira, M. F. P. B. 1988. Coquinas da Formação Lagoa Feia, Bacia de Campos: Evolução da Geologia de Desenvolvimento. Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro. V. 2, n. 1, p. 27-36.
- Bosence, D. W. J. Stratigraphic and sedimentological models of rift basins. *In: Purser, B. H.; Bosence, D. W. J. Sedimentation and Tectonics of Rift Basins: Red Sea - Gulf of Aden.* London: Chapman & Hall. 1998. P. 9-25.
- Brown, L. F., Jr.; Fischer, W. L. 1980. *Seismic Stratigraphic Interpretation and Petroleum Exploration - Continuing Education Course Note Series #16.* American Association of Petroleum Geologists.
- Chang, H. K.; Bender, A. A.; Kowsmann, R. O., Mello, U. T. 1990. Origem e evolução termomecânica de bacias sedimentares. *In: Guilherme Pederneiras Raja Gabaglia e Edison José Milani. Origem e Evolução de Bacias Sedimentares.* PETROBRAS, Rio de Janeiro. p. 49-71.
- Dias, J.L., Scarton, J.C., Esteves, F.R., Carminatti, M., Guardado, L.R. 1990. Aspectos da evolução tectono-sedimentar e a ocorrência de hidrocarbonetos na Bacia de Campos. *In: Gabaglia, G.P.R., Milani, E.J. (coords.). Origem e evolução de bacias sedimentares,* PETROBRAS, CENSUD, Rio de Janeiro, 333-360.
- Gawthorpe, R. L.; Leeder, M. R. Tectono-sedimentary evolution of active extensional basins. 2000. *Basin Research*, V. 12, p. 195-218.
- Guardado, L.R.; Gamboa, L.A.P.; Lucchesi, C.F. 1989. Petroleum geology of the Campos Basin, Brazil: a model for producing Atlantic type basins. *In: J.D. Edwards and P.A. Santogrossi (eds.), Divergent/passive margin basins.* AAPG Memoir 48, p. 3-80.

Guardado, L.R., Spadini, A.R., Brandão, J.S.L., Mello, M.R. 2000. Petroleum System of the Campos Basin, Brazil. *In*: Mello, M.R., Katz, B.J. (eds.). Petroleum systems of South Atlantic margins. AAPG Memoir 73, p. 317- 324.

Kuchle, J. & Scherer, C. M. S. 2010. Sismoestratigrafia de bacias rifte: técnicas, métodos e sua aplicação na Bacia do Recôncavo. Boletim de Geociências da Petrobras. V.18, n.2, p.179-206.

Kuchle, J.; Holz, M.; Brito, A. F. & Bedregal, R. P. 2006. Análise estratigráfica de bacias rifte: aplicação de conceitos genéticos nas bacias de Camamu-Almada e Jequitinhonha. Boletim de Geociências da Petrobras, v.13, n.2, p.227-244.

Lister, G. S.; Etherridge, M. A.; Sismond, P. A. 1986. Detachment faulting and evolution of passive continental margins. *Geology*, v. 14, p. 246-250.

Mello, M.R., Mohriak, W.U., Koutsoukos, E.A.M., Bacocoli, G. 1994. Selected Petroleum Systems in Brazil. *In*: Magoon, L.B., Dow, W.G. (eds.). The Petroleum System – from Source to Trap. AAPG Memoir 60, p. 499-512.

Mizusaki, A.M.P., Thomaz Filho, A. Valença, J.G. 1988. VolcanoSedimentary Sequence of Neocomian age in Campos Basin (Brazil). *Revista Brasileira de Geociências*. V. 18, p. 247-251.

Mitchum Jr., R. M.; Vail, P. R.; Sangree, J. B. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 6: stratigraphic interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences. *In*: Payton, C. E. (Ed.). *Seismic Stratigraphy – applications to hydrocarbon exploration*. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists. 1977. *AAPG Memoir* 26. P. 117-133.

Mizusaki, A.M.P. 1986. Rochas ígneo-básicas do Neocomiano da Bacia de Campos – caracterização e comportamento como reservatório de hidrocarbonetos. Dissertação de Mestrado, Universidade federal do Rio de Janeiro, 103 pp.

Morley, c. K. 2002. Evolution of large normal faults: Evidence from seismic reflection data. American Association of Petroleum Geologists. Bulletin, Tulsa, Okla., v. 86, n. 6, p. 961-978.

Neal, J.; Abreu, V. Sequence stratigraphy hierarchy and the accommodation succession method. *Geology*, September, 2009. V. 37, p. 779-782.

Prosser, S. Rift-related linked depositional systems and their seismic expression. *In: Williams, G. D.; Dobb, A. (Ed.) Tectonics and Seismic Sequence Stratigraphy*. London: Geological Society of London, 1993. Geological Society Special Publication. V. 71, p. 35-66.

Rangel, H.D., Martins, F.A.L., Esteves, F.R., Feijó, F.J. 1994. Bacia de Campos. *Boletim de Geociências da PETROBRAS*. V. 8(1), p. 203-218.

Schaller, H. 1973. Estratigrafia de Bacia de Campos. *In: Congresso Brasileiro de Geologia 27, Aracaju*. V.3, p. 247-258.

Vail, P. R.; Mitchum Jr., R. M.; Todd, R. G.; Widmier, J. M.; Thompson, S., III; Sangree, J. B.; Bubb, J. N.; Hatlelid, W. G. Seismic stratigraphy and global changes of sea level. *In: Payton, C. E. (Ed.) Seismic stratigraphy - applications to hydrocarbon exploration*. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists, 1977a. P. 49-212.

Wernicke, B. 1985. Uniform sense, normal simple shear of the continental lithosphere. *Canadian Journal of Earth Sciences*. V. 22, p. 108-125.

Wheeler, H. E. Time Stratigraphy. 1958. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*. V. 42, p. 1047-1063.

Winter, W. R.; Jahnert, R. J.; França, A. B. 2007. Bacia de Campos. *Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro*. V. 15, n. 2, p. 511-529.



## ANÁLISE SISMOESTRATIGRÁFICA DA SEÇÃO RIFTE DA BACIA DE CAMPOS

Área de Concentração: Estratigrafia

Autor: Patrycia Leipnitz Ene

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Karin Goldberg (UFRGS)

Co-orientador: Prof. Dr. Juliano Kuchle

Examinador: Prof. Dr. Claiton Marlon dos Santos Scherer

Data: 06/05/2014

Conceito: A

A dissertação analisada consiste em trabalho de boa qualidade, onde a autora efetua uma análise sismoestratigráfica da seção rifte da Bacia de Campos, buscando o entendimento do preenchimento sedimentar de dois meio-grabens lateralmente associados. O estudo é inédito, tendo tanto interesse local (bacia de campos), como internacional (padrões e estilos de preenchimento de bacias riftes e definição dos mecanismos controladores da sedimentação). Os objetivos são claros e bem definidos, que de uma forma geral são alcançados. O trabalho utiliza uma metodologia adequada para análise sismoestratigráfica. Primeiro, as unidades sísmicas foram individualizadas através da terminação dos refletores, posteriormente interpretou-se as fácies sísmicas e finalmente, construiu-se diagrama de Wheeler mostrando a distribuição das fácies e unidades sísmica no tempo e espaço. A autora faz uma revisão conceitual pertinente sobre o tema, seguida da apresentação do artigo que compõem o corpo da tese. As figuras estão de uma forma geral boas, com legendas claras e autoexplicativas.


O capítulo de estado da arte está bem escrito, abrangendo de forma objetiva os diferentes aspectos referentes a análise estratigráfica de bacias riftes, assim como os aspectos conceituais referentes a sismoestratigrafia. Entretanto, apesar da autora discutir de forma competente cada um dos modelos de preenchimento de bacias riftes, faltou uma análise crítica e comparativa entre eles, ressaltando-se as semelhanças e diferenças, bem como a sua aplicação em contextos onde se trabalha quase que exclusivamente com seções sísmicas.

O artigo apresenta alguns erros conceituais ou aspectos que merecem uma discussão mais detalhada, destacando-se:

- (1) Pg. 40 - Mitchum et al nunca usou o termo sequência sísmica. Na verdade, estes autores definem sequências deposicionais tendo com base dados sísmicos
- (2) Pg. 41 Não existe uma equivalência precisa entre as sequências deposicionais de Mitchum e de Posamentier. Na maioria dos casos as sequências de Mitchum seriam mais equivalentes aos tratos de sistemas de Posamentier. Para ressaltar isto, Catuneanu (2006, pg. 6) denomina o modelo de Mitchum como Sequência Depositional I e o modelo de Posamentier como Sequência Depositional II.
- (3) Não está suficientemente claro, com base nos dados, que o trato de início de rifte representaria uma ampla sinéclise. O confinamento dos estratos da US-1 e 2 na calha dos meio-grabens pode significar que estes representam os estágios iniciais de desenvolvimento dos mesmos. Morley ressalta que o início do rifte pode estar associado a amplas sinéclises ou a pequenos meio-grabens. Ou seja, parece razoável a interpretação das US 1 e 2 como vinculadas a pequenos meio grabens isolados, até porque as sismofácies identificadas são as mesmas que aquelas presentes nas unidades sísmicas posteriores. Como estes meio grabens são incipientes, não se observam feições de crescimento de seção nas linhas sísmicas. Acredito que os autores devessem discutir esta possibilidade no artigo.
- (4) Sugiro que sejam elaborados bloco diagramas ilustrando a evolução dos meio-grabens. Este tipo de figura é excelente para efetuar uma síntese, ajudando na compreensão do modelo.
- (5) Algumas figuras apresentam problemas. Ver as marcações feitas por mim ao longo do texto.

Apesar dos pontos destacados anteriormente, considero a dissertação de ótima qualidade, estando o aluno e os orientadores de parabéns.

Programa de Geologia do Petróleo  
UFRGS/ANP

  
Claiton M. S. Scherer  
Coordenador

Depart. Paleontologia e Estratigrafia/UFRGS

<b>ANEXO I</b>
Título da Dissertação
<b>“ANÁLISE SISMOESTRATIGRÁFICA DA SEÇÃO RIFTE DA BACIA DE CAMPOS”.</b>
Área de Concentração: ESTRATIGRAFIA
Autor: <b>PATRYCIA LEIPNITZ ENE</b>
Orientador: Profa. Dra. Karin Goldberg
Examinador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Gomes Paim
Data: 21/06/2014
Conceito: A
<b>PARECER:</b>
<p>A autora demonstrou que faz jus ao grau de Mestre em Geociências. A forma como sua dissertação foi redigida (itens introdutórios e conclusões + artigo) não produziu repetições cansativas que, por vezes, resultam deste formato, além de ter proporcionado a evidente vantagem de garantir, de antemão, uma divulgação científica mais ampla ao trabalho realizado. O artigo está compatível com a revista para a qual foi submetido (Pesquisas em Geociências – UFRGS).</p> <p>A redação de sua dissertação está boa, necessitando apenas pequenos reparos apontados no anexo a esse parecer. Os objetivos são claros (e foram alcançados) e a metodologia adequada. O estado da arte, se não foi exaustivo, foi qualificado e suficiente para o propósito da dissertação. Além disso, os conceitos aprendidos foram aplicados de forma lógica e sequencial na análise dos dados. As interpretações foram, via de regra, apresentadas de forma lógica. Cabe, no entanto, referir que, por vezes, as interpretações não foram comprovadas de forma plenamente satisfatória. Em alguns casos as figuras não possuíam tamanho suficiente para visualizar</p>



aspectos chaves na caracterização dos refletores e sismofácies (e.g. seções sísmicas). Além disso, não foram apresentados os dados de poços que teriam permitido a correlação sismofácies / litofácies. Por fim, existem alguns conceitos e referências que não me pareceram adequados e devem ser ajustados. Além dessas considerações, algumas sugestões específicas, sejam de cunho científico ou afeitas a redação ou edição de figuras, são discriminadas em documento anexo. Solicito que essas sugestões sejam repassadas a autora visando ser consideradas nas etapas de revisão do manuscrito submetido bem como em futuras publicações.



Assinatura:

Data: 17/02/2013

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

<b>ANEXO I</b>
Título da Dissertação/Tese:
<b>“ANÁLISE SISMOESTRATIGRÁFICA DA SEÇÃO RIFTE DA BACIA DE CAMPOS”</b>
Área de Concentração: <b>ESTRATIGRAFIA</b>
Autor: <b>PATRYCIA LEIPNITZ ENE</b>
Orientador: Profa. Dra. Karin Goldberg
Examinador: Prof. Dr. Jair Weschenfelder
Data: 28 abril 2014
Conceito: <b>B (BOM)</b>
<b>PARECER:</b>
<p>A Dissertação de Mestrado “ANÁLISE SISMOESTRATIGRÁFICA DA SEÇÃO RIFTE DA BACIA DE CAMPOS”, conforme o seu texto explicativo (página 6), <i>‘está estruturada em torno de um artigo submetido à publicação em periódico’</i>.</p> <p>O artigo, inserido no corpo da Dissertação (pg. 31), é precedido dos capítulos Introdução, Estado da Arte e Contexto Geológico, e seguido do capítulo de Conclusões e Considerações Finais, os quais pretendem ser integrativos para formar um conjunto.</p> <p>Em termos gerais, a Dissertação apresenta alguns problemas e erros que poderiam ter sido evitados através de uma revisão final, detalhada e atenta do texto, figuras e demais itens que compõem o trabalho:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- A numeração das páginas iniciais e o uso de números arábicos ou romanos não são coerentes; também, as primeiras páginas não estão devidamente numeradas.</li> <li>- Algumas citações bibliográficas não foram devidamente listadas nas Referências das páginas 65 a 67 (Kuchle, 2006; Brown &amp; Fischer, 1977; Payton, 1977; Catuneanu, 2002; Moraes, 1989; Site ANP e outros).</li> <li>- Das figuras: os textos das figuras devem ser no vernáculo local; a figura 13 está muito pequena, não permitindo a leitura de diversas palavras. As figuras em geral poderiam ser melhoradas, com legendas, escalas, textos maiores, tradução dos termos, etc.</li> <li>- Alguns mapas estão incompletos por não apresentarem legendas, sistemas de coordenadas ou as toponímias citadas no texto. O mapa da figura 12 é simplório e desprovido de rigor cartográfico.</li> <li>- Ocorre o uso frequente e indiscriminado de palavras em inglês, inclusive no artigo submetido (em português). Com raras exceções, esses termos podem e devem ser usados no vernáculo local. Se ocorrer o uso de palavras estrangeiras, essas devem ser diferenciadas no texto - normalmente em itálico.</li> </ul> <p>A estrutura geral do trabalho é satisfatória, diferindo um pouco da estrutura tradicional por apresentar um artigo inserido na monografia.</p>



Do Artigo submetido:

- Não é mencionado o período ao qual foi submetido o artigo; isso daria uma ideia aproximada da abrangência e temática da publicação alvo;

- O texto e as figuras do artigo submetido à publicação são mais bem acabados em relação ao restante do trabalho. Considero que ambos deveriam ser equivalentes, para compor uma unidade de estudo/apresentação. Foram usadas fontes, tamanhos e formatações de texto diversas.

- A figura 2 não apresenta a toponímia que é largamente citada no texto. As figuras 7 e 8 não são claras, pois não apresentam dados de coordenadas e legenda, e apresenta ainda termos em inglês (*thickness*).

A informação de que a fase 'sag' não é analisada no artigo se repete diversas vezes - uma vez seria suficiente.

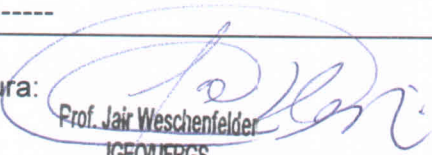
O texto cita que um poço foi usado para calibrar a interpretação sísmica. No entanto a ligação poço-perfil sísmico não é devidamente apresentada e as inferências sobre a deposição e tipos litológicos não ficam claras ao leitor.

Em termos gerais cabe ressaltar que o trabalho de Dissertação de Mestrado contribui, através dos aspectos metodológicos empregados e os modelos sismoestratigráficos propostos, nos estudos evolutivos e de reservatórios da bacia de Campos. É uma abordagem interessante e passível de ser empregada para outras bacias sedimentares análogas, permitindo uma melhor modelagem e entendimento desses ambientes de sedimentação em suas fases mais complexas.

-----

-----

Assinatura:

  
Prof. Jair Weschenfelder  
IGEO/UFRRGS

Data:

28/4/2014

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno: