



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA

GEO213 – TRABALHO DE GRADUAÇÃO

GEOMORFOLOGIA SÍSMICA EM SUCESSÕES
SEDIMENTARES DE BACIAS RIFTE
CONTINENTAIS: APLICAÇÃO NA REGIÃO
SUL DA BACIA DE CAMAMU

MATEUS MAIA MARQUES

SALVADOR – BAHIA
FEVEREIRO – 2018

**Geomorfologia Sísmica em sucessões sedimentares de bacias rifte continentais:
aplicação na região sul da Bacia de Camamu**

por

MATEUS MAIA MARQUES

Orientador: Michael Holz

GEO213 – TRABALHO DE GRADUAÇÃO

DEPARTAMENTO DE GEOFÍSICA

DO

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DA

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

COMISSÃO EXAMINADORA

_____ Bc. Marco Cesar Schinelli

_____ Me. Mariana Lídia Nicácio Oliveira Souza

_____ Bc. Enock Fernandes Alves

DATA DA APROVAÇÃO: 16/02/2018

A vida é uma grande loucura.

Resumo

O trabalho visa a aplicação dos princípios da Geomorfologia Sísmica no dado sísmico 3D adquirido na região sul da zona *offshore* da Bacia de Camamu, a fim de gerar uma interpretação a respeito da dinâmica dos sistemas deposicionais existentes na sucessão sedimentar. Inicialmente, para a realização da interpretação do cubo sísmico, utilizou-se informações *a priori* de modelos geológicos já propostos e a interpretação dos perfis de poço presentes na região. A partir das primeiras análises, definiu-se uma estratégia da escolha do horizonte-alvo que seria mapeado no dado sísmico 3D através dos conceitos da interpretação sismoestratigráfica, com o objetivo de ter como resultado uma imagem que descrevesse o sistema deposicional em questão. Por fim, com o auxílio de atributos sísmicos, gerou-se imagens que mostravam elementos do sistema deposicional fluvial, sua evolução e possíveis aspectos de reservatório em sua estrutura.

Abstract

The work aims at applying the principles of Seismic Geomorphology in the 3D seismic data acquired in the southern region of the Camamu Basin, in order to generate an interpretation about the dynamics of the depositional systems that may come to run in this basin. Initially, to perform the interpretation of the seismic cube, was used a priori information of geological models already proposed and the interpretation of the well profiles present in the region. From the first analyzes, a strategy of the choice of the target horizon was defined, and that would be mapped in the 3D seismic data, through the concepts of the sismostratigraphy, in order to have as result an image that describes the depositional system in question. Finally, with the aid of seismic attributes, images were generated that showed elements of the fluvial depositional system, its evolution and possible reservoir aspects in its structure.

Sumário

Resumo	3
Abstract	4
Introdução	7
1 Fundamentos Teóricos	9
1.1 Estratigrafia de Sequências Aplicada a Bacias Rifte	9
1.2 Sismoestratigrafia	12
1.3 Atributos Sísmicos	14
1.3.1 Amplitude Instantânea	15
1.3.2 Amplitude RMS	17
1.3.3 Similaridade	17
2 Geomorfologia Sísmica	19
2.1 O dado sísmico 3D	19
2.2 Técnicas de Análise Sísmica Tridimensionais	21
2.2.1 <i>Time e Horizon Slices</i>	21
2.2.2 <i>Horizon Attributes</i>	22
2.3 Principais aplicações	23
2.3.1 Sistemas Fluviais	23
3 Geologia da Bacia de Camamu	26
3.1 Localização	26
3.2 Evolução tectônica	27
3.3 Arcabouço Estrutural	27
3.4 Contexto Estratigráfico da Bacia de Camamu	29
4 Materiais e Métodos	31
4.1 Localização dos Dados	31

4.2	Carregamento do Dado Sísmico 3D	32
4.3	Correlação Sísmica X Poço	33
4.4	Definição e Interpretação Sismoestratigráfica do Horizonte Alvo	36
4.4.1	Escolha do Horizonte e Estratégia de Interpretação	36
4.4.2	Interpretação do perfil de poço	37
4.4.3	Interpretação da DPR nas seções sísmicas	38
4.5	<i>Autotracking e Griding</i>	41
4.5.1	<i>Autotracking</i>	41
4.5.2	<i>Griding</i>	42
5	Resultados e Discussões	44
5.1	Mapas de Atributos Sísmicos	44
5.2	Interpretações Geológicas dos Mapas Sísmicos	45
5.2.1	Evolução do Sistema Fluvial	47
5.3	Aspectos de Reservatório	49
6	Conclusões	50
	Agradecimentos	51
	Referências	52

Lista de Figuras

1.1	Relação da ação do tectonismo com a criação e a destruição do espaço. (A): fase inicial do rifte. (B): criação do espaço de acomodação (subsidência do <i>hangingwall</i>), simultaneamente com a destruição de espaço (erosão do <i>footwall</i>). (C): erosão da parte soerguida do <i>footwall</i> . Fonte: Holz et al. (2015), modificado de Holz (2012).	10
1.2	Em (A) o início do rifte com a formação dos primeiros vales e pequenos falhamentos, em (B) há o desenvolvimento e interconexão desses falhamentos, em (C) por fim, forma-se o arcabouço estrutural completo da bacia rifte. Fonte: (Holz et al., 2015), modificado de Gawthorpe e Leeder (2000).	10
1.3	Modelo do Trato Tectônico de Início de Rifte - TTIR. DB seria a discordância basal, DSR seria a discordância Sin-Rifte, SIDR - Superfície de Início de Desenvolvimento de Rifte. Fonte: Troccoli (2015).	11
1.4	Modelo do Trato Tectônico de Desenvolvimento Rifte - TTDR. DB seria a discordância basal, DSR seria a discordância Sin-Rifte, SIDR - Superfície de Início de Desenvolvimento de Rifte e SMR - Superfície de Máximo Rifteamento. Fonte: Troccoli (2015).	11
1.5	Modelo do Trato Tectônico de Final de Rifte - TTFR. DB seria a discordância basal, DSR seria a discordância Sin-Rifte, SIDR - Superfície de Início de Desenvolvimento de Rifte , SMR - Superfície de Máximo Rifteamento e a DPR a Discordância Pós-Rifte. Fonte: Troccoli (2015).	12
1.6	Principais terminações de refletores sísmicos no modelo clássico. Fonte: Mitchum Jr et al. (1977).	13
1.7	Principais configurações de sismofácies Fonte: Modificado de Mitchum Jr et al. (1977).	14
1.8	Definição da posição relativa dos traços em relação a um ponto central (0,0). Fonte: dGB Earth Sciences, 2002.	18

2.1	Esquema da aquisição marítima de um dado sísmico 3D. Fonte: Adaptada do repositório de imagens da <i>Polarcus</i>	20
2.2	Modelo esquemático do dado sísmico 3D e possíveis seções que podem ser geradas a partir do cubo. Em (A) á um modelo esquemático das principais seções, em (B) as mesmas seções porém com o dado sísmo e em (C) há outros exemplos de seções verticais que podem ser amostradas a partir do dado. Fonte: Repositório de imagens da <i>SEG Wiki</i>	20
2.3	Representação das <i>Time Slices</i> (a), <i>Dip Slices</i> (b) e <i>Horizon Slices</i> (c) e suas respectivas coberturas em um evento sísmico.	21
2.4	Exemplos de <i>Attributes Horizons</i> . Fonte: (Posamentier, 2007)	22
2.5	Sistema fluvial meandrante. Fonte: Modificado do repositório de imagens <i>University of Oregon</i>	24
2.6	(a)Imagem sísmica da <i>time slice</i> de 148 ms mostrando depósitos do Pleistoceno na Bacia da Malásia na região da Tailândia. (b) Interpretações dos canais fluviais mostrados em (a). Fonte: Modificado de (Miall, 2002)	24
2.7	<i>Horizon Slices</i> que atravessam canais na região <i>offshore</i> do Golfo do México em (A) o <i>Green Canyon</i> em (B) a área do <i>De Soto Canyon</i> mostrando a evolução do sistema meandrante através da comparação entre as 2 imagens, que estão separados por 10ms. Fonte: Modificado de Posamentier e Kolla (2003)	25
3.1	Localização da Bacia de Camamu. Fonte: Modificado de Holz et al. (2017).	26
3.2	Modelo esquemático da evolução das bacias brasileiras de margem passiva. Fonte: Kùchle et al. (2005), modificado de Chang et al. (1990).	27
3.3	Mapa estrutural proposto por Ferreira et al. (2009).	28
3.4	Contexto estrutural da área de estudo, ressaltado a presença de um falhamento normal e uma zona de transferência. Fonte: Modificado de Ferreira et al. (2009).	29
3.5	Carta cronoestratigráfica da Bacia de Camamu, com destaque para o contexto estratigráfico da região interpretada no dado sísmico 3D, que abrange o final do rifte, a fase transicional e o drifte. Nesse contexto espera-se a ocorrência do Trato Tectônico de Final de Rifte e a discordância pós rifte. Fonte: Caixeta et al. (2007)	30
4.1	Mapa da localização do cubo 3D e do poço utilizado na interpretação.	31
4.2	Janela de carregamento de dados do OpendTect. Em (a) <i>Energy Source Point Number</i> , (b) <i>Ensemble (CMP) number</i> , (c) <i>Source X Coordinate</i> , (d) <i>Source Y Coordinate</i>	32

4.3	Ajuste finais dos parâmetros do cubo sísmico. Em (1) parâmetros das <i>inlines</i> , (2) <i>crosslines</i> , (3) em relação ao eixo z, (4) o datum de referência da sísmica, (5) coordenadas dos vértices do cubo.	33
4.4	Exemplo de construção de sismograma sintético. Extraído de Hart (2010). As colunas da esquerda para a direita representam, respectivamente: sônico, densidade, impedância, refletividade, pulso sísmico, traço sísmico original e sismograma sintético gerado.	35
4.5	Interpretação da DPR em uma <i>crossline</i> com o auxílio das terminações. . . .	36
4.6	Área de interpretação que foi delimitada para o trabalho.	37
4.7	Interpretação da DPR no único poço na área interpretada.	38
4.8	Interpretação sismoestratigráfica da DPR sobre a <i>crossline</i> em conjunto com a amarração sísmica do poço. Percebe-se a gradual diminuição da razão sinal-ruído a partir de 0.8s, uma das razões pelo qual optou-se delimitar a área de interpretação. Retificando que a interpretação do horizonte não foi continuada nesta seção para respeitar a área de interpretação que foi restringida.	39
4.9	Interpretação sismoestratigráfica da DPR sobre a <i>inline</i> em conjunto com a amarração sísmica do poço. Percebe-se a gradual diminuição da razão sinal-ruído a partir de 0.8s, uma das razões pelo qual optou-se delimitar a área de interpretação.	40
4.10	<i>HorizonSlice</i> da DPR importada do <i>Kingdom</i> para o <i>OpendTect</i> . A expectativa é de que a <i>horizon slice</i> fosse uniforme ao longo de sua extensão, sem nenhuma descontinuidade. Entretanto, devido aos ruídos e a irregularidade do dado, determinados locais não eram interpretáveis o que gerou vazios na seção sísmica interpretada, sendo alguns deles indicados pelas setas verdes.	41
4.11	Esquema explicativo do funcionamento do <i>autotracking</i> . Em (A) mostra o traço já trackeado e a primeira janela de busca a partir da primeira interpretação para o traço seguinte, em (B) mostra o funcionamento da janela de comparação entre os dois traços, em (C) mostra a marcação do horizonte na amostra do traço seguinte que apresenta a maior similaridade. Fonte: Modificado do Manual do <i>OpendTect</i>	42
4.12	<i>Horizon Slice</i> após a utilização do <i>Autotracking</i> . Percebe-se um pequeno refinamento em alguns vazios da seção, indicado pela seta verde. A pequena melhora pode ser atribuída ao fato de que o dado já havia sido interpretado de 1 em 1 seção, além da presença de ruídos que impediria a correlação entre traços sísmicos através do <i>autotracking</i>	43

4.13	<i>Horizon Slice</i> após a utilização do <i>grid</i> . A <i>horizon slice</i> apresenta-se totalmente uniforme já que os pequenos vazios foram interpolados pelo algoritmo <i>Continuous Curvature</i>	43
5.1	Attributes Slices. (A) Similaridade, (B) Amplitude Instantânea, (C) RMS.	44
5.2	Interpretação geológica do mapa de similaridade. Em (A) vemos o <i>horizon slice</i> sem interpretação , em (B) interpretado com elementos do sistema deposicional fluvial meandrante.	45
5.3	Interpretação geológica do mapa de amplitude RMS. Em (A) vemos o <i>horizon slice</i> sem interpretação , em (B) interpretado com elementos do sistema deposicional fluvial meandrante.	46
5.4	Bloco diagrama da interpretação geológica final.	47
5.5	Formação de um <i>cutoff</i> de calha em um sistema meandrante e suas estruturas remanescentes.	47
5.6	Quadro final com as <i>Horizon Slices</i> e <i>Time Slices</i> com o atributo de similaridade. Em todas elas a parte da seção mais escura representa a <i>time slice</i> enquanto a mais clara a <i>horizon slice</i> . Em (A) e (B) temos a <i>time slice</i> de 600, sendo a primeira sem interpretação geológica, e a segunda com. De maneira análoga seguem-se (C) e (D) para 540 ms, e (E) e (F) para 500 ms.	48
5.7	Exemplo de como as barras de acreção lateral podem formar reservatórios. Fonte: Modificado de Ramirez et al. (2012).	49

Introdução

O avanço constante das tecnologias na indústria de óleo e gás possibilita, de maneira progressiva, novos meios e ferramentas que podem nos auxiliar a consolidar os modelos geológicos gerados a partir das interpretações dos dados geofísicos. Nesse âmbito, a Sísmica 3D, que começou a ser desenvolvida na década de 70, atualmente é um recurso comumente utilizado na exploração de bacias sedimentares mais complexas e que necessitam de maiores informações a respeito de suas feições geológicas. Esse tipo de levantamento destaca-se em relação à sísmica 2D no que se refere à sua maior cobertura azimutal e à possibilidade da geração de seções *time slice*, fornecendo condições para um novo viés de interpretação dos dados sísmicos: a Geomorfologia Sísmica.

Tanto o dado sísmico 3D quanto o 2D utilizam como principal ferramenta de análise a sismoestratigrafia e a estratigrafia de sequências sendo esta última fundamental para descrever a evolução e o comportamento geológico de uma bacia sedimentar. Como inicialmente estes conceitos foram formulados para bacias de margens passivas, neste trabalho será utilizado o modelo de estratigrafia de sequências aplicados às bacias rifte, que foi desenvolvido inicialmente por (Prosser, 1993) e posteriormente foi adaptado por (Holz, Moreira e Troccoli, 2015), uma vez que a Bacia de Camamu pertence a esse contexto geológico.

Dessa forma, utilizando em conjunto o arcabouço do conhecimento geológico da região e a Geomorfologia Sísmica, é possível descrever e estudar os sistemas deposicionais que vêm a ocorrer em qualquer contexto geológico, inclusive o da bacia de Camamu. A partir dos anos 2000, Posamentier (2000) formalizou o conceito dessa técnica interpretativa que revolucionou a forma de utilizar o dado sísmico 3D. Através dele, é possível descrever e analisar elementos dos sistemas deposicionais, em subsuperfície, diretamente através de mapas gerados a partir do dado sísmico. Antigamente estes elementos eram apenas inferidos com base nas seções sísmicas 2D que cruzavam estas estruturas, ou com base no estudo das sismofácies. Assim, esta nova ferramenta eleva a confiabilidade na predição de padrões de distribuição de litologia de um reservatório, ou até mesmo na predição de fácies de rochas geradoras, selantes e reservatório.

A aplicação da geomorfologia sísmica é vasta, havendo na bibliografia diversos trabalhos que mostram a sua utilização em diversos sistemas deposicionais. Posamentier (2005) demonstrou exemplos para a sistemas fluviais, com a detecção de canais e de barras de canal, identificação de fluxos de transporte de massas como debritos e turbiditos, além da identificação de estruturas de sistemas carbonáticos como *pinnacle reefs*.

Neste trabalho o objetivo foi desenvolver uma metodologia para a interpretação geomorfológica sísmica do dado sísmico 3D da região sul da Bacia de Camamu, a fim de gerar um modelo geológico para explicar a dinâmica dos sistemas deposicionais e alguns de seus elementos que podem ocorrer nesta bacia a partir da interpretação de um horizonte estratigráfico e imagens sísmicas geradas.

Capítulo 1

Fundamentos Teóricos

1.1 Estratigrafia de Sequências Aplicada a Bacias Rifte

As bacias do tipo rifte se formam sobre um contexto geológico extensional, com o estiramento da crosta até o seu rompimento. Nesse sentido, formam-se rasgos na crosta, através do sistema de falhas e, conseqüentemente, há formação de depressões e vales, gerando as bacias rifte. A estratigrafia de sequências foi formulada inicialmente visando apenas o contexto de margens passivas, porém, diversos autores adaptaram ao longo dos anos esse modelo para as bacias rifte, sendo (Prosser, 1993) a pioneira. O modelo utilizado neste trabalho será o proposto por Holz et al. (2015).

A estratigrafia de sequências pauta-se na relação entre dois principais fatores: o espaço de acomodação e o aporte sedimentar, sendo o segundo considerado sempre constante. A partir da relação entre esses dois elementos há os diversos padrões de empilhamento e os tipos de tratos de sistemas. No contexto de bacias rifte, uma das principais diferenças para a aplicação do conceito da estratigrafia de sequências é que a variável relativa ao espaço de acomodação é controlada pelo tectonismo da região, enquanto no modelo de margens passivas ela é predominantemente controlada pela eustasia. Os pulsos tectônicos durante a evolução das bacias rifte podem tanto criar, quanto destruir, o espaço de acomodação, a partir da rotação dos *meio-grábens* (através da elevação do *footwall*, e subsidência do *hangingwall*), como é mostrado na figura 1.1.

Dessa forma, avaliar a evolução tectono-estrutural da bacia rifte é fundamental, visto que ela será um dos principais controladores da dinâmica deposicional da região. Gawthorpe e Leeder (2000) apresentaram um modelo para essa evolução, onde inicialmente haveria a criação de diversos pequenos vales e pequenos falhamentos normais e com o decorrer do tempo ocorreria o crescimento e interconexão dessas falhas, culminando na criação de um regime de falhas da borda principal que controlaria a gênese da bacia.

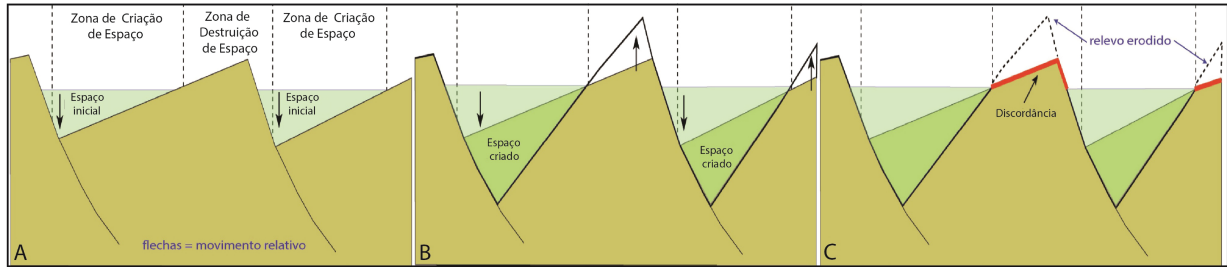


Figura 1.1: Relação da ação do tectonismo com a criação e a destruição do espaço. (A): fase inicial do rifte. (B): criação do espaço de acomodação (subsidência do *hangingwall*), simultaneamente com a destruição de espaço (erosão do *footwall*). (C): erosão da parte soerguida do *footwall*. Fonte: Holz et al. (2015), modificado de Holz (2012).

A partir dessa análise, que pode ser vista na figura 1.2, Holz et al. (2015) propuseram uma adaptação aos modelos já existentes de estratigrafia de seqüências aplicadas a bacias rifte, em que os tratos de sistemas tectônicos seriam divididos em: Trato Tectônico de Início de Rifte (TTIR), Trato Tectônico de Desenvolvimento de Rifte (TTDR) e Trato Tectônico de Final de Rifte (TTFR).

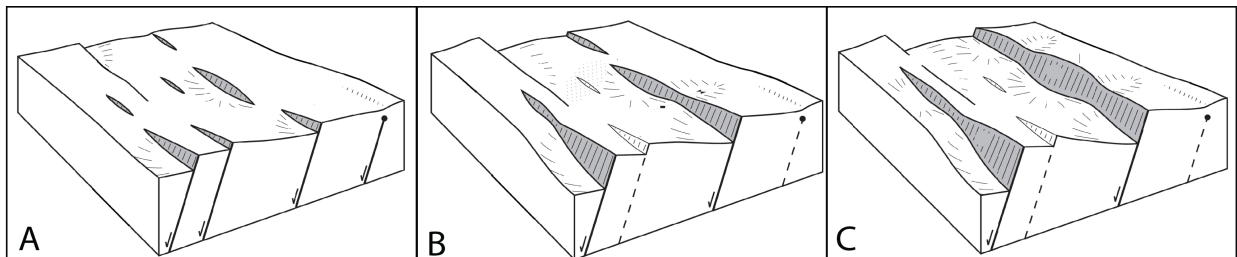


Figura 1.2: Em (A) o início do rifte com a formação dos primeiros vales e pequenos falhamentos, em (B) há o desenvolvimento e interconexão desses falhamentos, em (C) por fim, forma-se o arcabouço estrutural completo da bacia rifte. Fonte: (Holz et al., 2015), modificado de Gawthorpe e Leeder (2000).

O Trato Tectônico de Início de Rifte (TTIR) caracteriza-se pela fase inicial da bacia rifte, correspondente à formação dos primeiros falhamentos, em que há uma pequena criação de espaço de acomodação que é rapidamente preenchido pelo aporte sedimentar, estabelecendo um regime predominantemente progradacional. A base deste trato é representada pela discordância Sin-Rifte - DSR (Figura 1.3)

O Trato Tectônico de Desenvolvimento de Rifte (TTDR) é marcado pela maior intensidade dos pulsos tectônicos. Há, então, uma subsidência significativa do *hangingwall* e criação de um grande espaço de acomodação instantaneamente (se tratando da escala de tempo geológico), conseqüentemente, gera-se uma geometria estratal retrogradante, já que

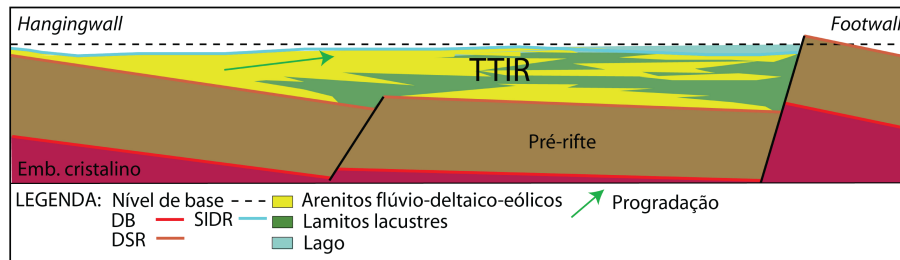


Figura 1.3: Modelo do Trato Tectônico de Início de Rife - TTIR. DB seria a discordância basal, DSR seria a discordância Sin-Rifte, SIDR - Superfície de Início de Desenvolvimento de Rife. Fonte: Troccoli (2015).

o espaço de acomodação supera o aporte sedimentar. Com o soerguimento do *footwall*, há deposição de sistemas de leques aluviais próximos a ele. Outras feições características em função da atividade tectônica da bacia são depósitos associados a turbiditos e outros fluxos de massa, que são importantes na atividade exploratória uma vez que possuem potencial para se tornarem reservatórios de hidrocarbonetos. A base do trato é marcada pela Superfície de Desenvolvimento de Rife - SIDR, e a máxima expansão do sistema lacustre (sistema deposicional predominante neste trato tectônico) é dada pela superfície de Superfície de Máximo Rifeamento - SMR. (Figura 1.4).

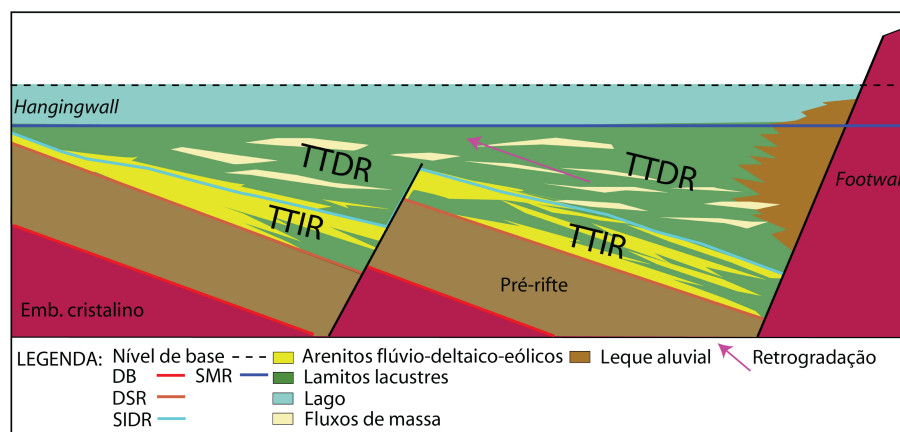


Figura 1.4: Modelo do Trato Tectônico de Desenvolvimento Rife - TTDR. DB seria a discordância basal, DSR seria a discordância Sin-Rifte, SIDR - Superfície de Início de Desenvolvimento de Rife e SMR - Superfície de Máximo Rifeamento. Fonte: Troccoli (2015).

O Trato Tectônico de Final de Rife (TTFR) tem como base a SMR e representa o fim da atividade tectônica do rife. A menor atividade tectônica nesse trato tem como consequência direta uma diminuição do espaço de acomodação, de modo que, com o decorrer do tempo

geológico, o aporte sedimentar começa a superar o espaço de acomodação, o que gera um regime progradacional neste trato de sistema tectônico. Em relação aos sistemas deposicionais, há um recuo dos sistemas lacustres, retrogradação do sistema de leque aluvial do *footwall* e predominância dos sistemas flúvio-deltaicos. A superfície de Tendências de Fácies (STF) separa TTFR1 lacustre e deltaico e de um TTFR2 predominantemente fluvial, segundo Troccoli (2015). O topo do TTFR é marcado pela Discordância Pós-Rifte (DPR), sendo esta uma discordância erosiva (Figura 1.5).

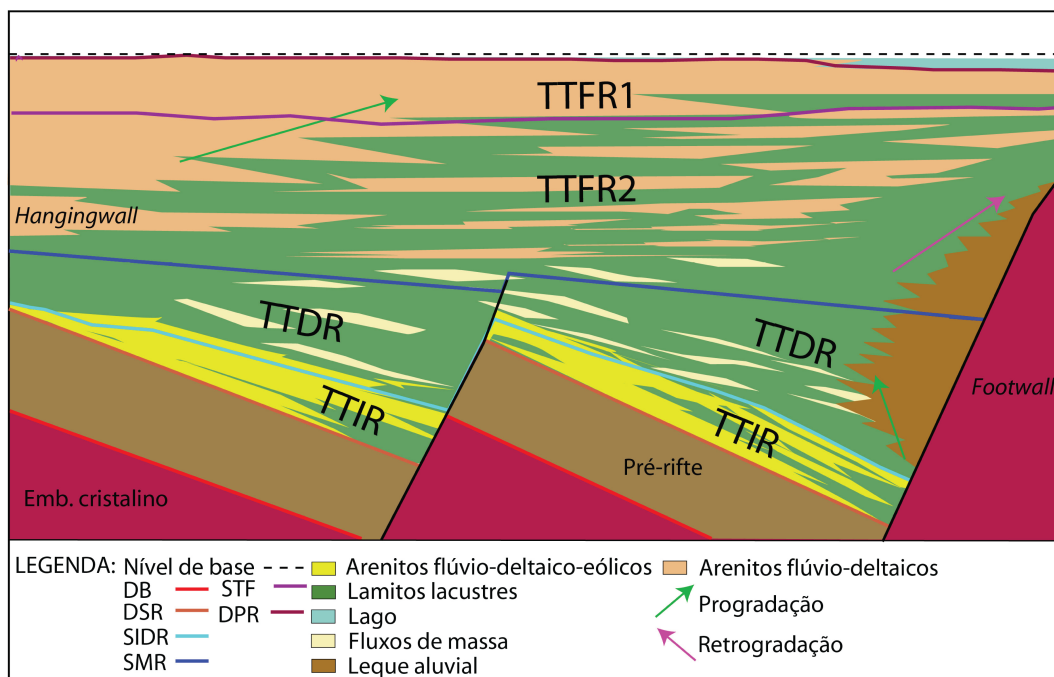


Figura 1.5: Modelo do Trato Tectônico de Final de Rifte - TTFR. DB seria a discordância basal, DSR seria a discordância Sin-Rifte, SIDR - Superfície de Início de Desenvolvimento de Rifte, SMR - Superfície de Máximo Rifting e a DPR a Discordância Pós-Rifte. Fonte: Troccoli (2015).

O entendimento da estratigrafia de sequências aplicadas a bacias rifte é fundamental para a aplicação da geomorfologia sísmica na bacia de Camamu visto que os sistemas deposicionais que serão mapeados dependem intrinsecamente da dinâmica estratigráfica. Um exemplo disso é o regime mais progradacional no TTFR que propicia a geração de sistemas fluviais, sendo estes, possíveis objetos de estudo da geomorfologia sísmica.

1.2 Sismoestratigrafia

A sismoestratigrafia é uma ferramenta que permite estudar a estratigrafia e as características deposicionais de determinada região geológica a partir de dados sísmicos. O *workflow* básico da sismoestratigrafia se dá, inicialmente, com a demarcação das terminações estratais, seguido da delimitação dos horizontes para, então, definir os tratos de sistemas. Há também a análise de sísmofácies que auxiliam na interpretação desses tratos, sequências deposicionais, etc.

Segundo Mitchum Jr et al. (1977) as principais interfaces causadoras de reflexões sísmicas entre dois pacotes com diferenças de impedância são as superfícies estratais e as discordâncias. É importante ressaltar que o valor de impedância acústica depende da densidade da rocha, e da velocidade de propagação da onda sísmica no meio rochoso.

As terminações são elementos que possuem configuração geométrica dos encontros dos limites de refletores e que podem fornecer características de empilhamento, ou deposição sedimentar, de determinadas feições geológicas. As terminações seriam componentes na interpretação sismoestratigráfica que permitem a demarcação de horizontes e discordâncias geológicas e posteriormente culminam em um modelo geológico. O esquema abaixo mostra as principais terminações (Figura 1.6)

- *Onlap*: Terminação de estratos de baixo ângulo contra superfície estratigráfica de ângulo maior. Limita lateralmente a unidade sedimentar. Pode ser desenvolvido em ambiente marinho, costeiro e não-marinho (Catuneanu, 2006).

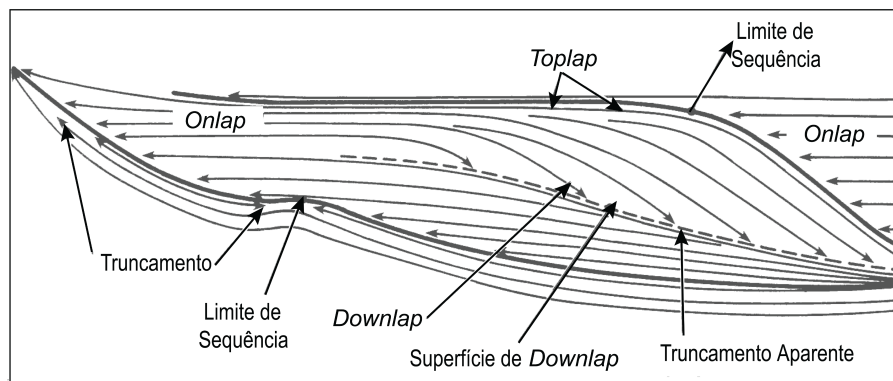


Figura 1.6: Principais terminações de refletores sísmicos no modelo clássico. Fonte: Mitchum Jr et al. (1977).

- *Downlap*: Terminação de estrato inclinado contra uma superfície de menor ângulo. É também chamado de *baselap*. Limita na base a unidade sedimentar. *Downlap* é comum na base de clinofomas progredientes, tanto em ambiente marinho raso como profundo.

É incomum a geração de *downlap* em configurações não-marinhas, exceto em ambiente lacustre (Catuneanu, 2006).

- *Toplap*: terminação de estratos inclinados contra uma superfície de menor ângulo sobrejacente, sendo resultado principalmente de não-deposição (*bypass* sedimentar) e pouca erosão. A superfície *toplap* representa o limite deposicional proximal da unidade sedimentar no topo (Catuneanu, 2006).
- Truncamento Erosivo: Terminação de estratos contra uma superfície erosiva sobreposta, em que normalmente um relevo irregular, cheio de vales e elevações, é claramente visível (Holz, 2012).

Um outro aspecto relativo à sismoestratigrafia são as sismofácies. Estas corresponderiam à resposta física da rocha em relação à propagação das ondas sônicas para determinado padrão de depósito ou pacote de rocha. Uma rocha granítica, por exemplo, por apresentar uma ausência de estratificação possui um padrão de sismofácie caótico, enquanto uma rocha com uma estratificação plano paralela, apresentaria uma sismofácie laminar. Esta análise de sismofácies não foi utilizada com tanta ênfase neste trabalho, já que inicialmente buscou-se o mapeamento apenas dos horizontes. No entanto, na Figura 1.7, pode-se encontrar as principais de configurações de sismofácies.

1.3 Atributos Sísmicos

Segundo Taner (2000), atributos sísmicos são quaisquer informações obtidas através de dados sísmicos, seja por meio de medições diretas, lógicas ou baseadas nas experiências e nos conhecimentos anteriores. Estas informações são capazes de fornecer diferentes *insights* durante o processo interpretativo, por serem capazes de realçar, destacar ou extrair dados que não são evidentes, a priori, no dado sísmico empilhado. Atualmente, a criação e o estudo de diversos atributos sísmicos tornaram-se uma grande área na geofísica, de modo que existem diversos atributos sísmicos disponíveis e a utilização de cada um depende da análise que se deseja realizar. Para o trabalho em questão, visando a geomorfologia sísmica, é importante destacar duas categorias propostas por Taner (2000):

Atributos Físicos: são relacionados com aspectos físicos qualitativos e quantitativos do dado. A magnitude do envelope do traço é proporcional ao contraste de impedância acústica. A frequência está relacionada à espessura da camada, dispersão e absorção. Velocidades médias e instantâneas são diretamente relacionadas com as propriedades físicas das rochas. Consequentemente, esses atributos são mais utilizados para classificação litológica e caracterização de reservatório.

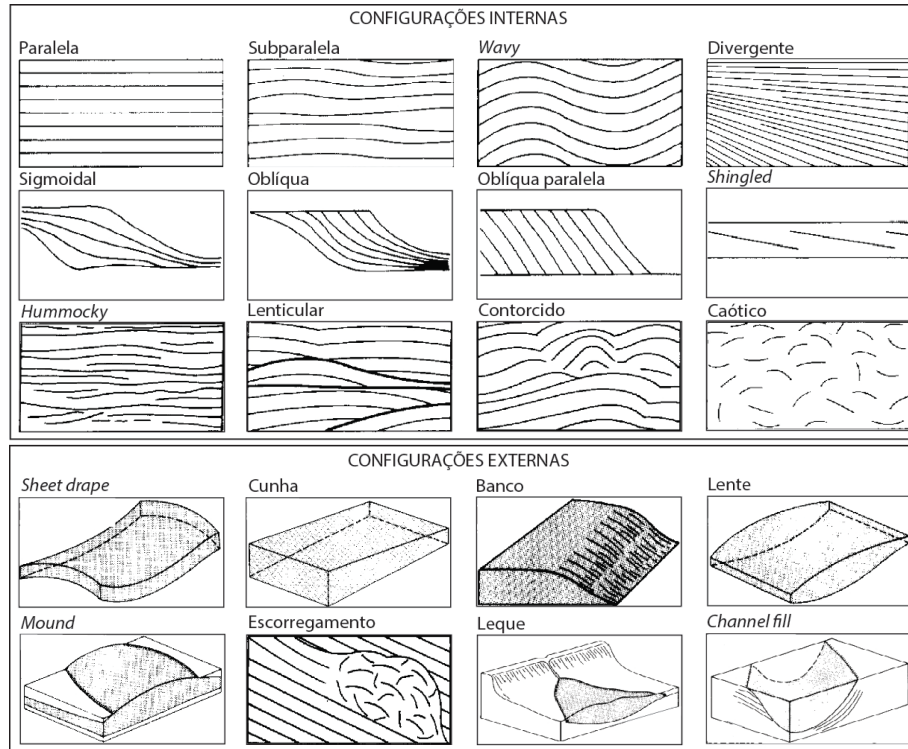


Figura 1.7: Principais configurações de sismofácies Fonte: Modificado de Mitchum Jr et al. (1977).

Atributos Geométricos: atributos geométricos descrevem a relação espacial e temporal de todos os outros atributos. A continuidade lateral medida pela coerência é um bom indicador de similaridade das camadas, bem como de suas discontinuidades. Camadas mergulhantes e com curvatura informam sobre a deposição. Estes atributos foram inicialmente projetados para ajudar na interpretação estratigráfica. No entanto, mais experiência tem mostrado que eles definem as características geométricas dos eventos e suas relações espaciais e quantificam recursos que ajudam diretamente no reconhecimento de padrões de deposição e litologias relacionadas.

Durante este trabalho foram utilizados diversos atributos. No entanto os que, de fato, auxiliaram na interpretação e na geração de resultados foram: Amplitude Instantânea, Amplitude RMS e Similaridade, sendo estes classificados como dois atributos físicos e um geométrico, respectivamente.

1.3.1 Amplitude Instantânea

A obtenção dos atributos instantâneos é feita a partir da análise do traço complexo do dado. O traço complexo $F(t)$ é composto pela componente real (no caso, o traço sísmico) dada

por $f(t)$, e pela componente imaginária (quadratura), dada por $h(t)$ e obtida através da transformada de Hilbert.

$$F(t) = f(t) + ih(t) \quad (1.1)$$

Tanto traço sísmico real quanto o traço em quadratura podem ser definidos em termos da amplitude em função do tempo $A(t)$ e da fase em função do tempo $\theta(t)$. Assim, o traço sísmico é dado pela equação,

$$f(t) = A(t) \cos \theta(t) \quad (1.2)$$

e o traço em quadratura é dado pela equação,

$$h(t) = A(t) \sin \theta(t) \quad (1.3)$$

Assim, se substituirmos as equações (1.2) e (1.3) em (1.1), temos:

$$F(t) = A(t) \cos \theta(t) + iA(t) \sin \theta(t) = A(t) e^{i\theta(t)} \quad (1.4)$$

O termo $A(t)$ é a amplitude instantânea, e também é conhecida como envelope ou *reflection strength*. Como $f(t)$ e $h(t)$ são conhecidos podemos escrever $A(t)$, da seguinte maneira:

$$A(t) = \sqrt{f(t)^2 + h(t)^2} \quad (1.5)$$

A amplitude instantânea é diretamente proporcional ao contraste de impedância acústica. Logo, refere-se à intensidade da reflexão entre dois meios diferentes sem depender da fase. Assim altos valores deste atributos podem ser associados a maiores mudanças litológicas entre camadas, dentre outros fatores. De acordo com a classificação de Taner (2000), ele é aplicado na discriminação de características como: Refletividade, *Bright Spots*; Limites de sequências; Efeito de afinamento de camadas (*tuning*); Mudanças nos sistemas deposicionais; Correlação espacial entre porosidade e outras variações litológicas.

1.3.2 Amplitude RMS

A amplitude RMS fornece uma estimativa escalonada do envelope do traço sísmico. É calculado em uma janela deslizante de N amostras com a raiz quadrada da soma de todos os valores do traço x ao quadrado onde w e n são os valores de janela, conforme apresentado na equação (1.6) .

$$x_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N w_n x_n^2} \quad (1.6)$$

A amplitude RMS se assemelha a uma versão mais suave da amplitude instantânea. É aplicado da mesma forma que a amplitude instantânea para revelar *brightspots* e anomalias de amplitude nos dados sísmicos. Em contraste com a amplitude instantânea, a resolução pode ser definida alterando o comprimento da janela, janelas mais longas produzem uma estimativa de amplitude mais suave, o que às vezes é útil. Este atributo é eficaz para destacar fácies geológicas, efeitos relacionados à compactação e discordâncias.

1.3.3 Similaridade

O atributo geométrico de Similaridade é uma forma de coerência que expressa o quanto dois ou mais segmentos de traço sísmico são parecidos (Chopra e Marfurt, 2007). O valor de similaridade vai de 0 a 1, em que 0 representa traços completamente não similares enquanto 1 representa traços com amplitude e *waveform* completamente iguais. Uma forma de se calcular a similaridade é considerando os segmentos dos traços sísmicos como sendo vetores no hiperespaço. Então, a similaridade é definida como a distância Euclidiana entre os vetores, normalizada pelo comprimento dos vetores,

$$Sim = 1 - \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n X_i^2} + \sqrt{\sum_{i=1}^n Y_i^2}} \quad (1.7)$$

Onde X_i e Y_i são os vetores de comprimento igual a n amostras, sendo $i = 1, n$

O segmento do traço é definido em uma janela de tempo e a posição é especificada através de coordenadas relativas a partir de um ponto central (0,0) em uma janela espacial que pode ser quadrada ou elíptica (Figura 1.8). Por exemplo, para escolher uma direção de investigação horizontal, devem-se escolher os pares de traços (1,0) e (-1,0).

O atributo de similaridade têm sido vastamente utilizado para a interpretação de feições que podem representar discontinuidades geológicas como, por exemplo, falhamentos e fraturas ou mudanças litológicas e estratigráficas através de fluxos de gravidade, e outros elementos deposicionais.

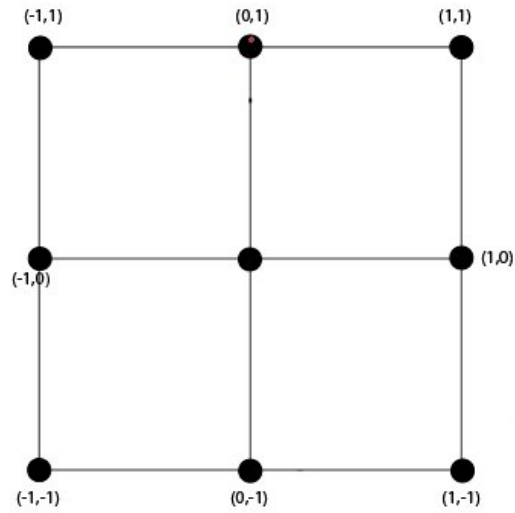


Figura 1.8: Definição da posição relativa dos traços em relação a um ponto central $(0,0)$.

Fonte: dGB Earth Sciences, 2002.

A interpretação conjunta dos atributos sísmicos permite visualizar o dado sísmico, destacando diferentes propriedades físicas ou geométricas. Assim, a interpretação conjunta das seções sísmicas com os atributos permitiu a formação de um modelo geológico apresentado no capítulo 5.

Capítulo 2

Geomorfologia Sísmica

A geomorfologia sísmica pode ser definida como a aplicação de técnicas analíticas pertencentes ao estudo das formas de relevo e à análise de superfícies antigas e em profundidade imageadas através do dado sísmico 3D (Posamentier, 2007). Esta técnica de interpretação é extremamente dependente deste tipo de dado sísmico, que se fortaleceu na indústria do petróleo à medida em que a capacidade computacional e tecnológica evoluíram. Da mesma maneira que a geomorfologia sísmica se consolidou como uma técnica interpretativa devido ao advento tecnológico, trabalhos pioneiros como Posamentier (2000) e Posamentier (2001) fundamentaram e divulgaram este ramo de estudo da interpretação sísmica.

2.1 O dado sísmico 3D

O dado sísmico 3D tem se mostrado uma poderosa ferramenta de imageamento de subsuperfície desde a década de 1970. O avanço tecnológico e a capacidade de processamento de dados cresceram rapidamente no início do século XXI e permitiram que técnicas de aquisição e processamento se tornassem viáveis para a indústria petrolífera. Atualmente, a utilização de dados 3D já está consolidada e possui algumas vantagens em relação ao método da sísmica 2D convencional, principalmente no que diz respeito à densidade de dados e a cobertura azimutal, ou seja, em relação a direção das linhas sísmicas.

A aquisição marinha do dado sísmico 3D configura-se como mostrado na figura 2.1, em que um navio de aquisição - transporta cabos próprios para o meio marinho - *streamers* - que contém os hidrofones. Estes dispositivos funcionam como receptores das ondas sísmicas que são disparadas pela fonte - *AirGun* -, registrando, assim, a resposta física das camadas de rocha em subsuperfície. É interessante notar que a medida que o navio se desloca, tem-se como resultado final um volume de dados sísmico, composto por *inlines*, seções sísmicas paralelas aos receptores, e *crosslines*, seções sísmicas perpendiculares aos receptores.

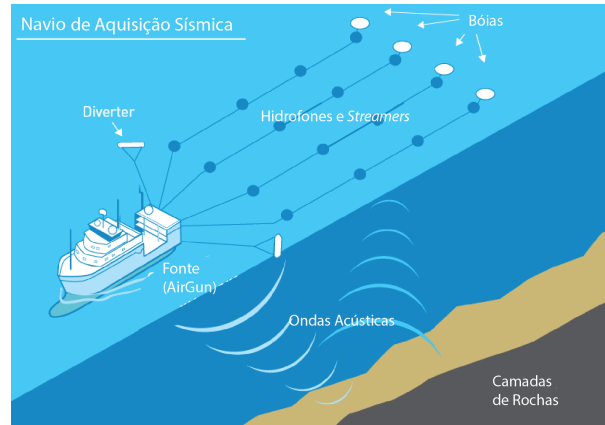


Figura 2.1: Esquema da aquisição marítima de um dado sísmico 3D. Fonte: Adaptada do repositório de imagens da *Polarcus*.

Um dos principais benefícios do dado sísmico 3D é a sua cobertura azimutal, que permite a análise de seções em qualquer direção. Este fato é importante do ponto de vista da interpretação geológica, visto que, nem sempre as direções de falhas e outros elementos geológicos seguem estritamente uma direção única e constante (em alguns casos pode ocorrer da direção da linha sísmica 2D adquirida não favorecer à interpretação dessas estruturas). Outra interface importantíssima é a confecção de seções *time slice* que, ao considerar um tempo constante, possibilita uma visão em mapa - plano (x,y) - do dado sísmico, o que permite ao intérprete obter diferentes *insights* ao analisar o dado a partir dessa perspectiva. A figura 2.2 mostra as diferentes seções que podem ser geradas a partir do cubo sísmico.

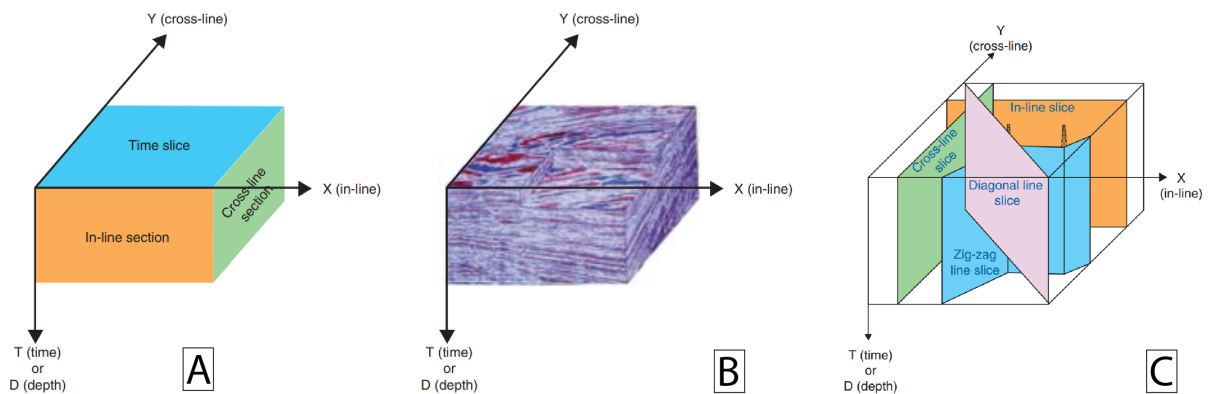


Figura 2.2: Modelo esquemático do dado sísmico 3D e possíveis seções que podem ser geradas a partir do cubo. Em (A) é um modelo esquemático das principais seções, em (B) as mesmas seções porém com o dado sísmico e em (C) há outros exemplos de seções verticais que podem ser amostradas a partir do dado. Fonte: Repositório de imagens da *SEG Wiki*

A possibilidade de gerar mapas sísmicos com coordenadas X, Y e interpretá-los, assim como a geração volumes de dados e interpretações a partir do cubo sísmico foram um dos diferenciais no *workflow* da interpretação sísmica que condicionaram o surgimento de áreas de estudo e análise como a Geomorfologia Sísmica.

2.2 Técnicas de Análise Sísmica Tridimensionais

Posamentier e Kolla (2003) propuseram exemplos de técnicas de análise de dados sísmicos tridimensionais em que a partir de cada técnica utilizada pode-se obter diferentes *insights* ou interpretações das seções sísmicas. Neste trabalho foram utilizadas as técnicas de *Time Slice*, *Horizon Slices* e *Horizon Attributes*, pois, a priori, o objetivo do trabalho é mapear canais fluviais e o ambiente deposicional fluvial a partir de um horizonte.

2.2.1 *Time e Horizon Slices*

Como dito anteriormente uma das maneiras diferentes de se enxergar o dado sísmico é utilizando planos que o atravessam horizontalmente. Para o caso do cubo 3D, essas seções horizontais são conhecidas como *time slices*, pois elas representam planos de tempo constante. Entretanto, muitas estruturas geológicas possuem determinado mergulho, de modo que, como o *time slice* é um plano horizontal constante, esses elementos geológicos não estariam bem representados nessa seção (Figura 2.3.a). Neste sentido, uma outra forma de exibir o dado 3D é através das *Dip Slices*, que são planos com um mergulho constante que funcionariam como uma primeira aproximação para estas estruturas (Figura 2.3.b). Contudo, as estruturas geológicas, em geral, não apresentam um mergulho constante: os horizontes que as representam possuem mergulho variável ao longo do dado.

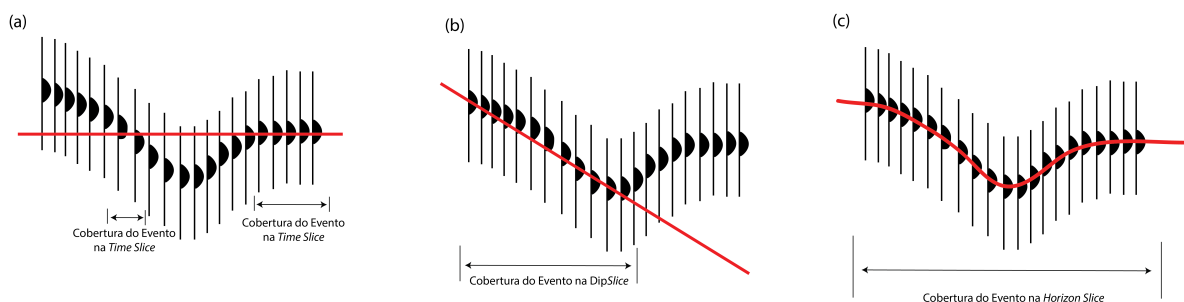


Figura 2.3: Representação das *Time Slices* (a), *Dip Slices* (b) e *Horizon Slices* (c) e suas respectivas coberturas em um evento sísmico.

Dessa forma para estudar de maneira mais confiável estes elementos desenvolveu-se a técnica de *Horizon Slices*, em que o plano horizontal é construído a partir do próprio

horizonte interpretado no dado sísmico (Figura 2.3c). Este último, dentre os três, é o que mais se aproxima de um melhor resultado, já que considera o comportamento variável do horizonte que se está mapeando.

2.2.2 *Horizon Attributes*

Os *horizons attributes* são mapas de atributos calculados ao longo dos horizontes, sendo que estes são capazes de evidenciar algumas informações que não estavam aparentes, facilitando a interpretação de alguns elementos de sistemas deposicionais. Atualmente, o acervo de atributos sísmicos existentes é extenso, a figura 2.4 mostra alguns desses atributos e como eles podem avaliar diferentes propriedades do dado sísmico. Sendo eles:

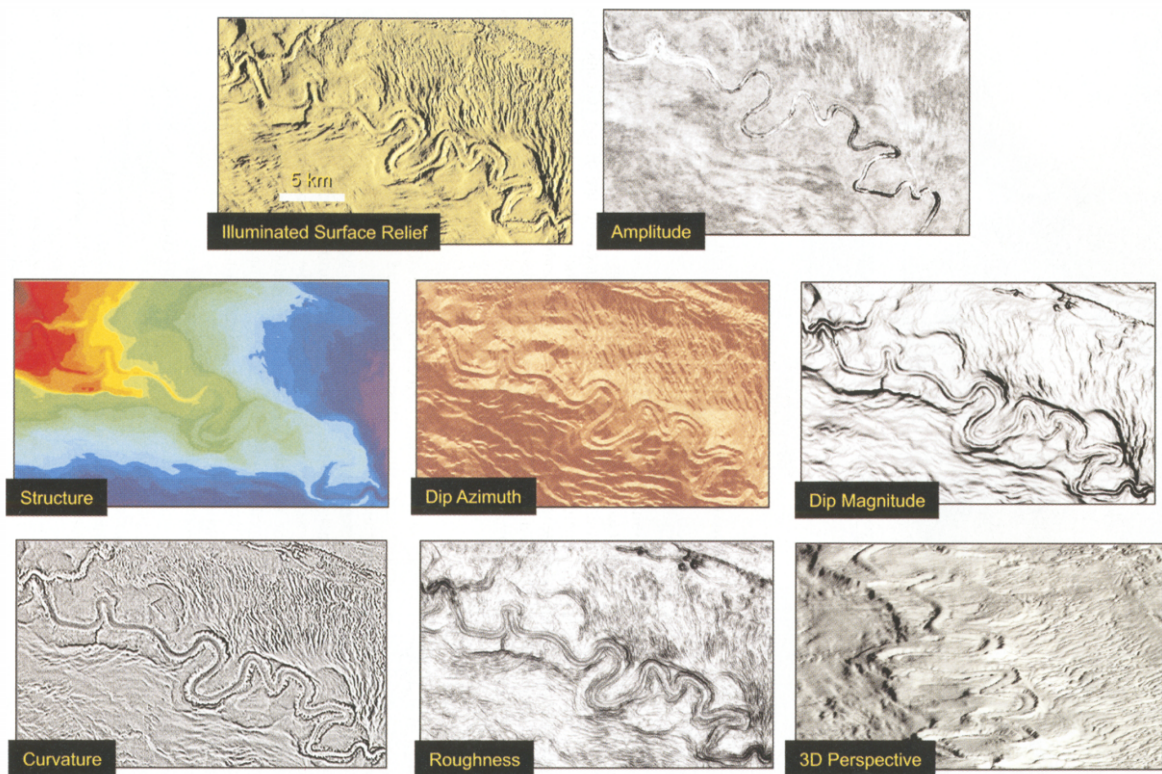


Figura 2.4: Exemplos de *Attributes Horizons*. Fonte: (Posamentier, 2007)

- *Illuminated Surface Relief*: a partir de diferentes ângulos de iluminação é possível evidenciar diferentes feições estruturais e estratigráficas.
- *Amplitude*: O parâmetro principal representado é a amplitude e seus valores ao longo do horizonte. É bastante utilizada na identificação de variações litológicas ou mudanças nos sistemas deposicionais.
- *Structure*: ilustram o mapa de tempo (ou da profundidade) para um dado horizonte.

- *Dip-Azimuth*: são mapas que associam um valor para a área de uma superfície em função da sua direção.
- *Dip-Magnitude*: o mapa desse atributo mostra os ângulos de mergulho das superfícies.
- *Curvature*: Esse mapa de atributo mostra variações de uma superfície plana, caracterizando pequenas áreas da superfície.
- *Roughness*: Descreve o grau de irregularidade da área da superfície.

Estes são apenas alguns dos atributos existentes e que são utilizados recorrentemente na análise da Geomorfologia Sísmica do dado. Entretanto, existem outros como o de Similaridade, utilizado neste trabalho, além do de Amplitude Instantânea e Amplitude RMS que também foram empregados e previamente explicados. É importante ressaltar que os atributos também podem ser utilizados em *time slices*.

2.3 Principais aplicações

A geomorfologia sísmica surge como sendo o estudo dos sistemas deposicionais usando imagens derivadas da sísmica 3D (Posamentier, 2000). Dessa maneira, há vários casos de aplicação para diversos tipos de sistemas deposicionais na bibliografia, como (Handford e Baria, 2007) que utilizaram a geomorfologia sísmica aplicada aos estudos de carbonatos e (Schwab et al., 2005) que estudaram o fluxo de turbiditos utilizando a mesma metodologia. Entretanto, neste trabalho será mais detalhado o sistema fluvial, já que foi o ambiente interpretado no dado 3D de Camamu.

2.3.1 Sistemas Fluviais

O estudo das *time* e *horizon slices* permitiram uma análise mais detalhada da geometria deste tipo de sistema deposicional. O contraste das propriedades físicas entre elementos deposicionais desse sistema geram respostas diferentes em uma imagem sísmica. Estes contrastes, então, são evidenciados pelos mais diversos atributos e dão origem às interpretações geológicas.

Um dos principais contrastes que pode ser observado nos sistemas fluviais é a diferença litológica em diferentes elementos que compõem o ambiente fluvial. Um exemplo sólido disso é que se considerarmos o caso de um sistema meandrante (Figura 2.5).

Percebe-se que há diferença litológica entre os depósitos de planície de inundação que possuem um caráter mais argiloso e granulometria mais fina e os depósitos que ocorrem no canal fluvial ou nas barras em pontal que possuem um caráter mais arenoso. Essa diferença

entre as fácies geológicas, gera uma variação das propriedades físicas das rochas, criando um contraste de impedância acústica que é registrado através da variação de amplitude na seção sísmica. É conhecido que o sistema fluvial pode ser classificado entre: retilíneo, meandrante, anastomosado e entrelaçado. Apesar de ter sido citado como exemplo apenas o meandrante, é possível identificar e descrever os outros sistemas já que eles também possuem seus próprios padrões deposicionais que geram suas respectivas respostas físicas.

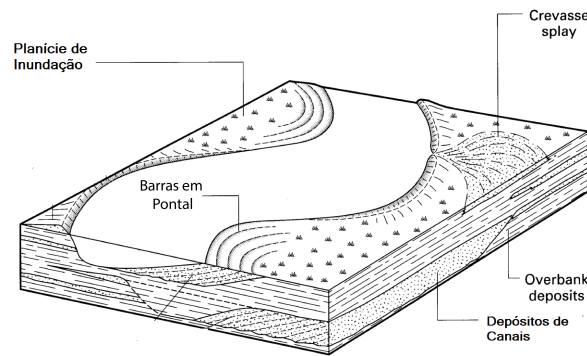


Figura 2.5: Sistema fluvial meandrante. Fonte: Modificado do repositório de imagens *University of Oregon*.

Miall (2002) investigou a arquitetura e a estratigrafia de sequências de sistemas fluviais do Pleistoceno na Bacia da Malásia. Através da utilização de *time slices*, ele conseguiu identificar diferentes padrões fluviais, incluindo canais fluviais meandrantess, entrelaçados, retilíneos e com baixa sinuosidade (Figura 2.6).

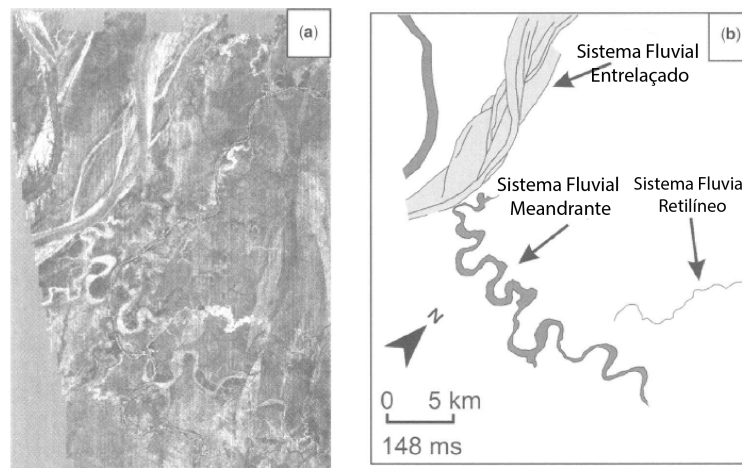


Figura 2.6: (a) Imagem sísmica da *time slice* de 148 ms mostrando depósitos do Pleistoceno na Bacia da Malásia na região da Tailândia. (b) Interpretações dos canais fluviais mostrados em (a). Fonte: Modificado de (Miall, 2002)

Posamentier e Kolla (2003) também utilizaram a análise da geomorfologia sísmica para

estudar canais fluviais, avaliando, inclusive, a evolução de canais meandrantés. Esse tipo de análise é possível, uma vez que ao variar o tempo entre *horizon slices* investiga-se um evento mais recente (menores tempos) ou mais tardios (maiores tempos), como podemos ver na figura 2.7.

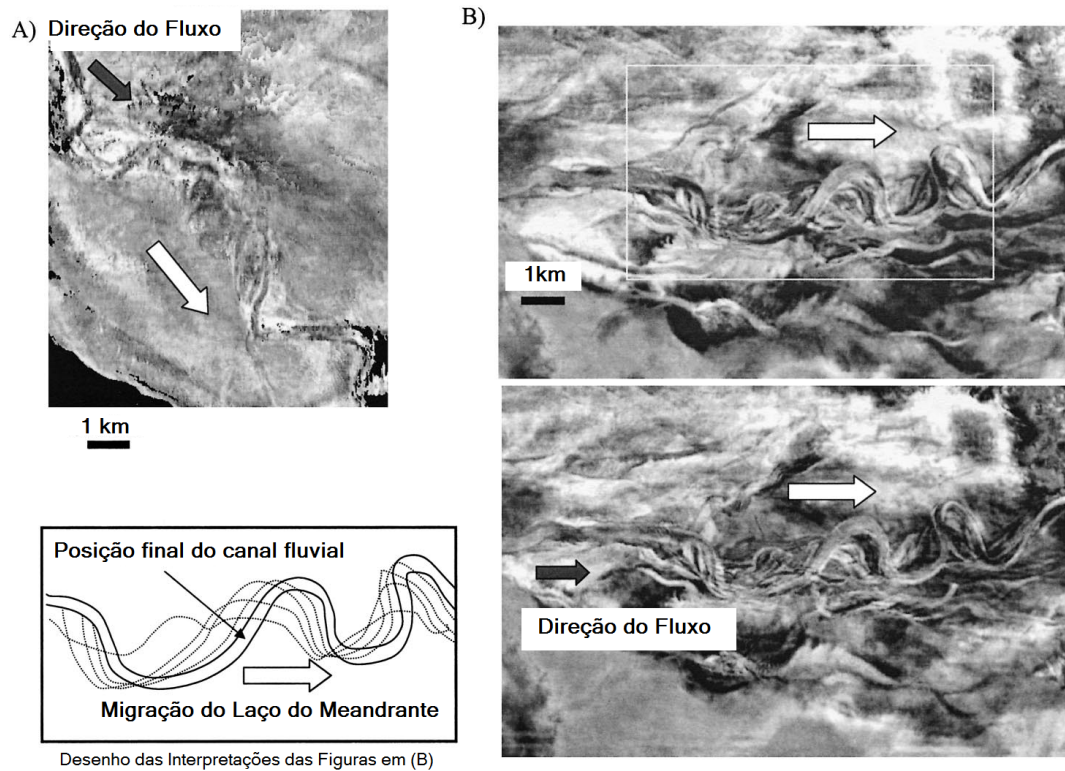


Figura 2.7: *Horizon Slices* que atravessam canais na região *offshore* do Golfo do México em (A) o *Green Canyon* em (B) a área do *De Soto Canyon* mostrando a evolução do sistema meandrante através da comparação entre as 2 imagens, que estão separados por 10ms. Fonte: Modificado de Posamentier e Kolla (2003)

Capítulo 3

Geologia da Bacia de Camamu

3.1 Localização

A Bacia de Camamu situa-se na costa leste brasileira, entre os paralelos 13° e 14° Sul, ocupando uma área de 12.929 Km², se considerada sua porção emersa e sua porção marinha até a cota batimétrica de 3.000 m (Caixeta et al., 2007). Seu limite ao norte com as Bacias do Recôncavo e Jacuípe é determinado pela falha da Barra e pelo sistema de falhas de Itapuã, respectivamente, seu limite ao sul é dado pela Bacia de Almada e pelo Alto de Itacaré, e a oeste pela falha de Maragogipe (Figura 3.1).

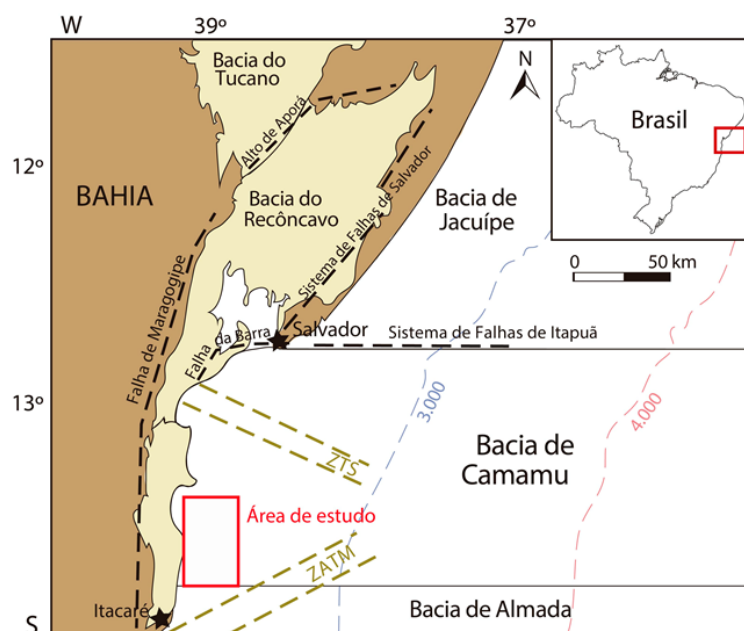


Figura 3.1: Localização da Bacia de Camamu. Fonte: Modificado de Holz et al. (2017).

3.2 Evolução tectônica

As bacias de margem passiva brasileiras, contexto no qual a Bacia de Camamu está inserida, surgiram a partir da ruptura do supercontinente Gondwana e da posterior abertura do Oceano Atlântico. A evolução da bacia de Camamu pode ser dividida em três fases geotectônicas distintas (Chang et al., 1990): (i) uma fase inicial pré-rifte, (ii) uma fase rifte, onde a distensão dura até a quebra do Gondwana e (iii) o período de pós-rifte que vai desde a deriva continental e formação de uma margem passiva no Albiano até os dias atuais (Figura 3.2).

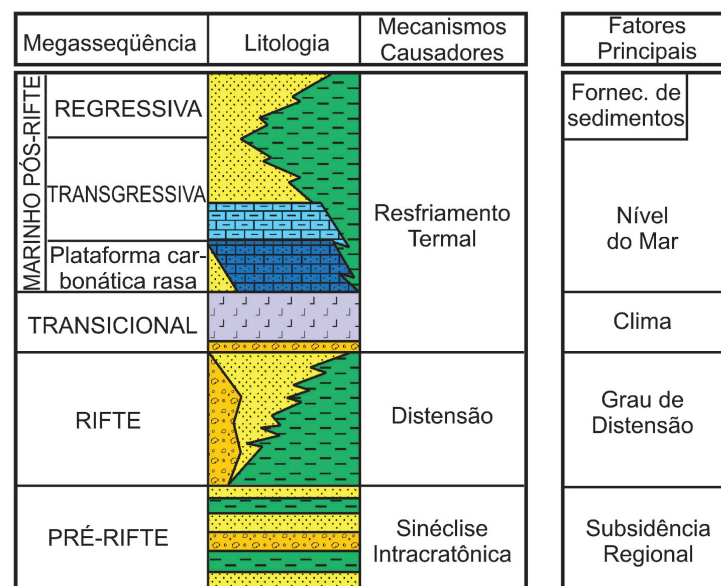


Figura 3.2: Modelo esquemático da evolução das bacias brasileiras de margem passiva.
Fonte: Küchle et al. (2005), modificado de Chang et al. (1990).

3.3 Arcabouço Estrutural

O arcabouço estrutural da Bacia de Camamu reflete bem o seu regime extensional com a presença de falhas normais na direção NNE-SSW, com mergulho predominante para o leste, havendo algumas estruturas transversais que correspondem a zonas de transferência ou acomodação. Segundo Destro et al. (1994), as falhas de transferência na porção terrestre da Bacia de Camamu são responsáveis pelo deslocamento que a borda da bacia sofre em direção ao mar, ao sul da cidade de Camamu. Na porção oeste da Bacia de Camamu, o Sistema de Falhas de Maragogipe, formado por uma série de falhas menores que se conectam, controla um longo sistema de grábens interconectados denominado Gráben de Maragogipe. Ferreira

et al. (2009), descreveu um mapa com as principais falhas e delineamentos do embasamento, demarcando também as regiões das zonas de transferência de Salvador (ZTS)(NW-SE) e a Zona de Acomodação Taipus Mirim (Figura 3.3).

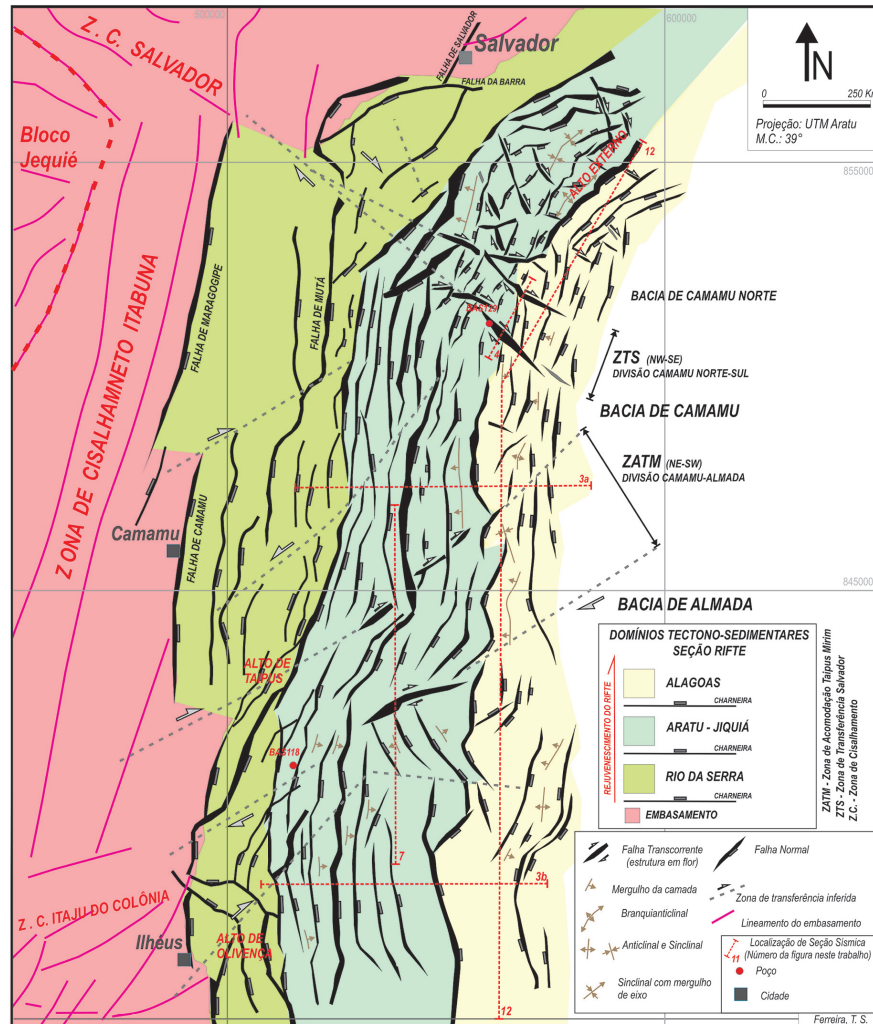


Figura 3.3: Mapa estrutural proposto por Ferreira et al. (2009).

Vale ressaltar o arcabouço estrutural da área em que está localizado o cubo sísmico (Figura 3.4), pois podemos perceber que a região mais ao norte do dado se encontra sobre uma falha normal NNE-SSW, mergulhando para o leste, enquanto a outra parte do dado se localiza, majoritariamente, sobre uma zona de transferência. Tal informação é relevante, já que no momento da interpretação, espera-se encontrar feições geomorfológicas características desse regime estrutural.

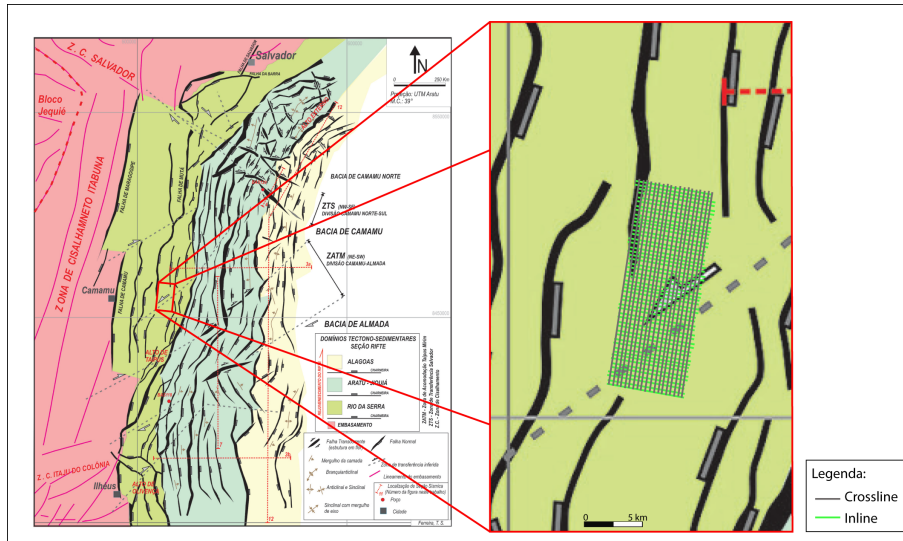


Figura 3.4: Contexto estrutural da área de estudo, ressaltado a presença de um falhamento normal e uma zona de transferência. Fonte: Modificado de Ferreira et al. (2009).

3.4 Contexto Estratigráfico da Bacia de Camamu

A estratigrafia de seqüências aplicadas a bacias riftes, como já citado neste trabalho, é uma das principais ferramentas de análise. Portanto, é importante caracterizar os padrões de empilhamentos a partir dessa ótica de estudo. Dessa forma, utilizando as interpretações já realizadas por Holz et al. (2017), tem-se que a Bacia de Camamu da região Sul foi dividida em 5 seqüências riftes.

Como o objeto de estudo deste trabalho é principalmente a geomorfologia sísmica e a dinâmica dos sistemas deposicionais, buscou-se inicialmente a discordância pós rifte como um possível horizonte estratigráfico que fosse capaz de registrar essas feições geológicas devido ao seu caráter erosivo. Apesar do dado em questão alcançar até 4 ms, sua qualidade permitiu interpretar apenas o contexto geológico destacado na figura 3.5, que abrange o final do rifte, a fase transicional e a fase drifte da bacia. Sendo assim, espera-se a ocorrência do Trato Tectônico de Final de Rifte e a discordância pós rifte, que podem ser possíveis objetos de estudo da geomorfologia sísmica.

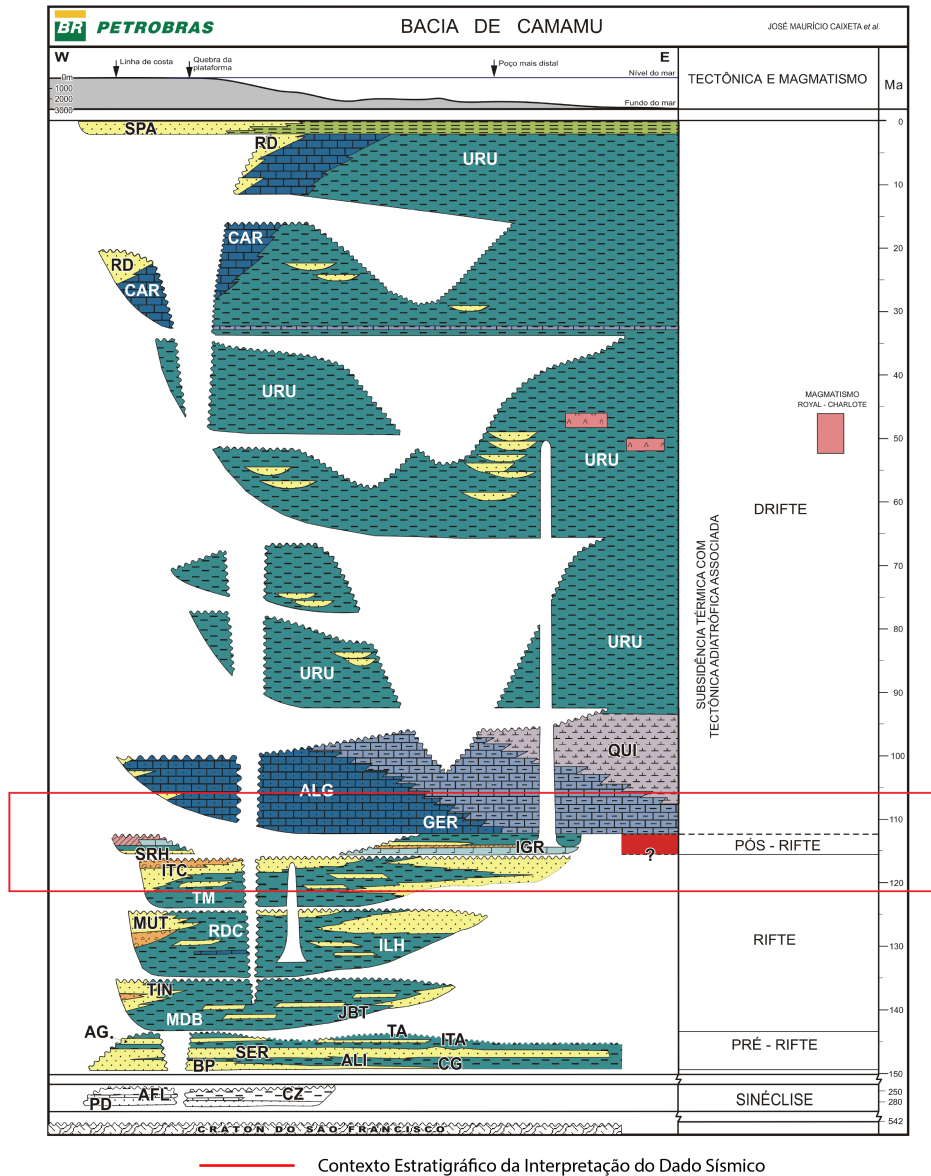


Figura 3.5: Carta cronoestratigráfica da Bacia de Camamu, com destaque para o contexto estratigráfico da região interpretada no dado sísmico 3D, que abrange o final do rifte, a fase transicional e o drifte. Nesse contexto espera-se a ocorrência do Trato Tectônico de Final de Rifte e a discordância pós rifte. Fonte: Caixeta et al. (2007)

Capítulo 4

Materiais e Métodos

A bibliografia possui um arcabouço restrito de informações para definir um *workflow* para a aplicação da geomorfologia sísmica. Dessa forma, desenvolveu-se neste trabalho uma metodologia desde o carregamento do dado sísmico 3D, até a interpretação geomorfológica dos mapas sísmicos. Os softwares utilizados foram o *Kingdom IHS* e o *OpendTect*

4.1 Localização dos Dados

O dado sísmico 3D possui aproximadamente uma extensão de 82 km² e está localizado na região sul da bacia de Camamu. As *inlines* possuem extensão de 14,6 Km e as *crosslines* 5,6 km. O poço utilizado na interpretação encontra-se na porção sul do cubo sísmico. Ao todo são 206 *inlines* e 1069 *crosslines*.

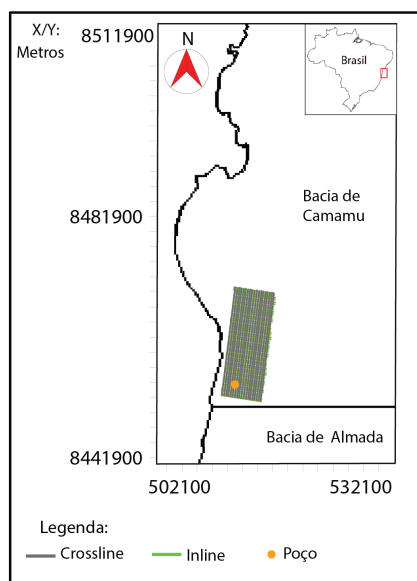


Figura 4.1: Mapa da localização do cubo 3D e do poço utilizado na interpretação.

4.2 Carregamento do Dado Sísmico 3D

O primeiro passo para o início do trabalho com o cubo sísmico consiste no seu carregamento no software de interpretação *OpendTect*. O dado 3D estava no formato SEG-Y, formato padrão definido pela Society of Exploration Geophysicists (SEG). Esse formato de arquivo SEG-Y inclui todos os dados dos traços (contendo as respostas físicas das ondas sísmicas registradas durante a aquisição) bem como três tipos de informações de cabeçalho: um *Text Header*, um *Binary Header* e um *Trace Headers*. Para o carregamento do cubo 3D é necessário as informações do *Trace Headers* - cabeçalho dos traços - que contêm informações (valores) pertinentes para cada traço (registro sísmico). Esses valores podem ser alterados para cada traço, como o número de CMP e as coordenadas geográficas X e Y do dado de cada traço. Dessa forma, lê-se manualmente através do *header* do próprio dado quais são os valores correspondentes à lacuna requisitada, inserindo os valores corretos para os parâmetros: *Energy Source Point Number*, *Ensemble (CMP) number*, *Source X Coordinate*, *Source Y Coordinate* (Figura 4.6).

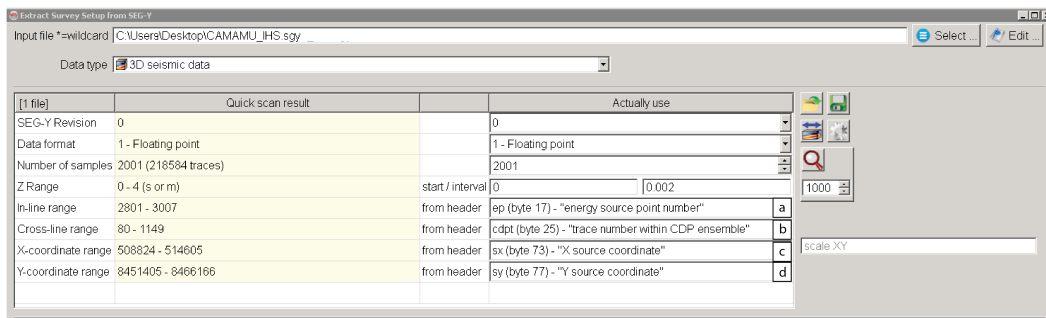


Figura 4.2: Janela de carregamento de dados do OpendTect. Em (a) *Energy Source Point Number*, (b) *Ensemble (CMP) number*, (c) *Source X Coordinate*, (d) *Source Y Coordinate*.

Após a inserção desses parâmetros são requisitadas outras informações do cubo como o número e o alcance das *inlines* e *crosslines*, a extensão em relação ao eixo z - que no caso, dado em tempo - e o datum sísmico de referência. Por último, pede-se as coordenadas geográficas de três vértices do cubo sísmico, uma vez que o quarto é calculado pelo programa através da ortogonalidade do cubo, finalizando, assim, a implementação do dado no *software* (figura 4.3). É importante fazer cuidadosamente a verificação destes parâmetros visto que muitas vezes é necessário fazer sua edição manualmente para corrigir valores equivocados.

Figura 4.3: Ajuste finais dos parâmetros do cubo sísmico. Em (1) parâmetros das *inlines*, (2) *crosslines*, (3) em relação ao eixo z, (4) o datum de referência da sísmica, (5) coordenadas dos vértices do cubo.

4.3 Correlação Sísmica X Poço

Uma das etapas mais importantes da interpretação sísmica consiste na integração entre os dados de poços e as seções sísmicas. Esta análise é importante, visto que o poço pode fornecer informações geológicas da subsuperfície através de testemunhos, perfilagens geofísicas e amostras de calhas, que não estão disponíveis no dado sísmico. Assim, através do processo de Amarração Sísmica de Poços, é possível correlacionar todos esses dados fornecidos pelos poços com os refletores e horizontes da sísmica de reflexão, o que gera um modelo geológico mais robusto e completo.

Os dados de poços são amostrados verticalmente em relação à profundidade, enquanto as seções sísmicas possuem o seu eixo vertical em relação ao tempo. Neste sentido, para haver a comparação entre esses dois tipos de dados, que estão em unidades diferentes, é preciso utilizar alguns métodos como o Perfil Sônico e Sismograma Sintético.

Perfil Sônico: O perfil sônico mede o tempo de trânsito (DT) em um pé de rocha à medida que a ferramenta perfila o poço, sendo sua medida dada em $\mu\text{s}/\text{pé}$, denominada de vagariedade (inverso da velocidade). Assim através da equação 4.1 podemos encontrar a velocidade e, substituindo V na equação 4.2, poderíamos obter uma relação tempo-profundidade

para utilizar na amarração sísmica.

$$V = \frac{1}{DT}10^6 \quad (4.1)$$

$$T = \frac{\delta Z}{V} \quad (4.2)$$

Sismograma Sintético: Apesar do perfil sônico conseguir fazer uma primeira correlação com o tempo e profundidade, ele não utiliza nenhuma informação que diz respeito à amplitude das reflexões sísmicas. Dessa forma, para avaliar este parâmetro utiliza-se o sismograma sintético. O sismograma sintético consiste na modelagem de resposta sísmica em determinada área utilizando informações de velocidade e densidade medidas em poços (Schinelli, 2011) sendo usado para prever a resposta sísmica de uma sucessão de estratos que são encontrados no poço.

O modelo do sismograma sintético baseia-se no princípio da construção de um traço sísmico $x(t)$ através de uma operação de convolução entre a função refletividade $r(t)$ das interfaces e o pulso sísmico $p(t)$ que depende de características da fonte, ou seja,

$$x(t) = p(t) * r(t). \quad (4.3)$$

Para obter o pulso sísmico utilizam-se diversos métodos matemáticos para a extração da melhor *wavelet*. Já a função refletividade é dada por

$$r(t) = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}, \quad (4.4)$$

que depende do contraste de impedância acústica (Z) entre 2 meios.

Os valores de Z são dados por,

$$Z = \rho v \quad (4.5)$$

dependem apenas da velocidade e densidade do meio. Dessa forma, substituindo a equação 4.5 na equação 4.4, obtemos

$$r(t) = \frac{\rho_2 v_2 - \rho_1 v_1}{\rho_2 v_2 + \rho_1 v_1} \quad (4.6)$$

que é a refletividade apenas em função das densidades e velocidades das rochas. Sendo assim, para obter a função refletividade $r(t)$, basta utilizar os valores de densidade obtidos nos perfis RHOB e os de velocidade obtidos a partir do perfil sônico.

Em posse de todas essas informações pode-se finalizar a modelagem de um sismograma sintético (Figura 4.4), que, uma vez comparado qualitativa e quantitativamente com o dado sísmico possibilita uma interpretação conjunta dos dados de poços com as seções sísmicas e seus refletores.

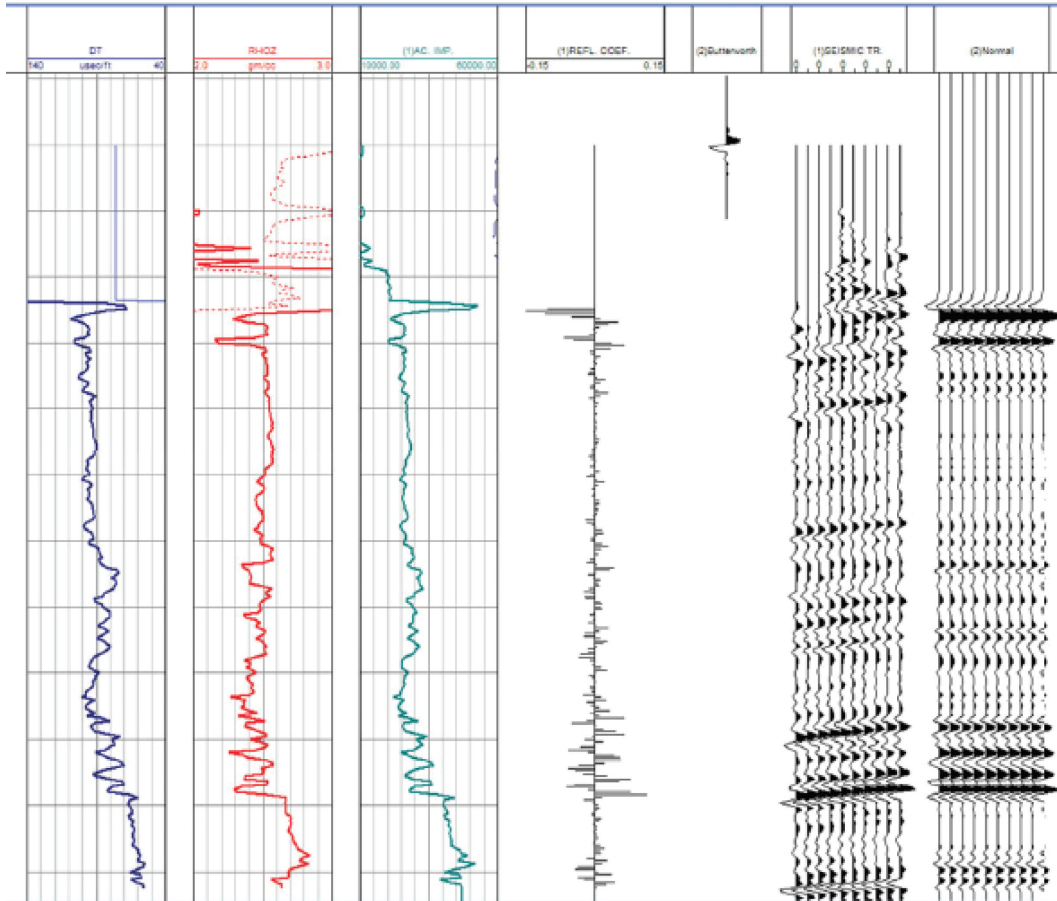


Figura 4.4: Exemplo de construção de sismograma sintético. Extraído de Hart (2010). As colunas da esquerda para a direita representam, respectivamente: sônico, densidade, impedância, refletividade, pulso sísmico, traço sísmico original e sismograma sintético gerado.

O único poço utilizado neste trabalho estava na região sul do cubo sísmico 3D e através da amarração sísmica, pode ser correlacionado com as seções, o que contribuiu significativamente na interpretação do horizonte mapeado.

4.4 Definição e Interpretação Sismoestratigráfica do Horizonte Alvo

4.4.1 Escolha do Horizonte e Estratégia de Interpretação

A interpretação de dados 3D também se diferencia em relação à sísmica 2D no que se refere à definição de uma estratégia de interpretação, pois é necessário saber previamente o que espera-se encontrar. No caso deste trabalho busca-se possíveis horizontes referentes a sistemas deposicionais fluviais que podem ocorrer na bacia rifte de Camamu. Assim, como a resolução do dado vai até 1.4 ms, haveria dois possíveis horizontes alvos que poderiam ser interpretados: ou horizontes pertencentes ao contexto do TTFR, já que ele se caracteriza por seu padrão progradacional, propiciando a formação de sistemas fluviais, ou a discordância pós-rifte, pois devido ao seu caráter erosivo e progradante o registro das estruturas geomorfológicas fluviais pode ocorrer de forma mais evidente.

Uma análise primária das seções sísmicas foi necessária para a tomada de decisão a respeito de qual horizonte seria mapeado e interpretado. Nessa primeira investigação, devido a qualidade dúbia do dado sísmico, com a presença de ruídos e a ausência de continuidade de alguns refletores, preferiu-se realizar as seguintes ações:

- **Interpretar e mapear a DPR:** esta superfície apresentava melhor continuidade e qualidade em relação às demais, além da existência das terminações sismoestratigráficas que auxiliaram o seu mapeamento (Figura 4.5). Esses fatores contribuem para uma maior confiabilidade da interpretação do horizonte.

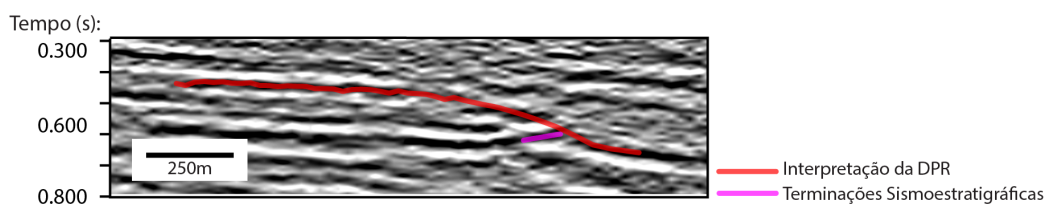


Figura 4.5: Interpretação da DPR em uma *crossline* com o auxílio das terminações.

- **Restringir as interpretações para se localizarem ao redor do poço:** como discutido anteriormente, a amarração sísmica de poços fornece uma correlação entre o dado de poço e o dado sísmico. Dessa forma, interpretações que envolvem ambos os dados apresentam maior grau de confiança. Como, de maneira geral, o dado é ruidoso, para manter um padrão de qualidade na interpretação delimitou-se uma área de interpretação ao redor do poço.

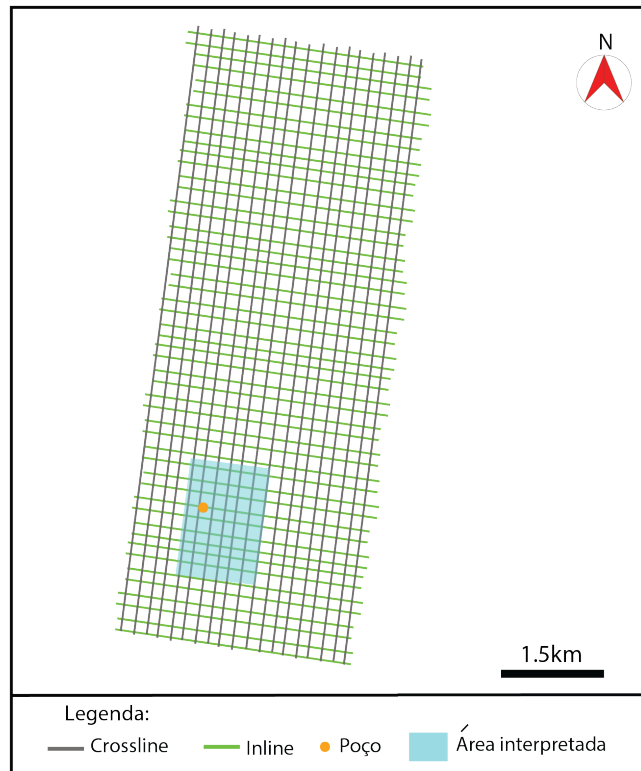


Figura 4.6: Área de interpretação que foi delimitada para o trabalho.

É importante ressaltar que uma boa continuidade dos refletores é necessária para a geração das *horizon slices* através da utilização das ferramentas de *Autotracking* e *Gridding*, ou manualmente, pois com a presença de ruídos pode-se acabar interpretando diferentes horizontes para uma mesma superfície.

4.4.2 Interpretação do perfil de poço

A interpretação da discordância pós-rifte foi realizada no perfil do poço utilizando, principalmente, os critérios de amostra de calha. Essa superfície separaria a região em que há mudança de folhelhos fluvio-deltaico-lacustres de coloração cinza ou verde para camadas mais arenosas esbranquiçadas, o que poderia indicar uma mudança no sistema deposicional (figura 4.7). Esse critério é também confirmado pela mudança nos valores registrados no perfil de Raio Gama, havendo uma diminuição desses valores para o material de rocha localizado acima dessa discordância quando comparado com o abaixo dela, podendo indicar que houve um provável rebaixamento do nível de base, provocando erosão e a discordância.

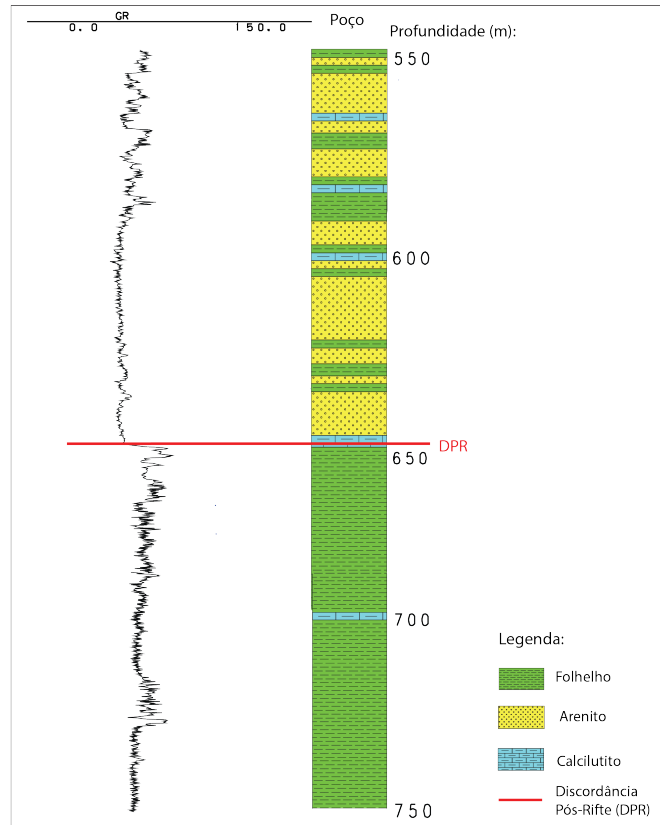


Figura 4.7: Interpretação da DPR no único poço na área interpretada.

4.4.3 Interpretação da DPR nas seções sísmicas

A interpretação dessa superfície estratigráfica foi realizada através da utilização do software *Kingdom IHS*. A interpretação foi feita primeiramente de 1 em 1 *crossline*, e posteriormente de 1 em 1 *inline*, totalizando 180 *crosslines* e 60 *inlines* interpretadas. As figuras 4.8 e 4.9 exemplificam seções sísmicas interpretadas e mostram como a amarração sísmica em conjunto com as técnicas da sismoestratigrafia se mostraram úteis para a interpretação deste horizonte. Um dos fatores que garantiram maior confiabilidade para a interpretação realizada foi a possibilidade de gerar seções compostas entre *inlines* e *crosslines* de modo que elas se complementarizassem em regiões onde uma seção apresentava ruídos. Após a finalização da interpretação das seções no software, a discordância pós-rifte foi exportada para o *OpendTect* a fim de se realizar a geração dos *horizons slices*, *attributes slices* e *time slices*.

Observa-se também nas seções sísmicas de que a ideia generalizada de que apenas pelo fato do dado ser 3D, este, por si só, já apresentaria uma qualidade sísmica superior ao dado 2D convencional, o que não é verdade, uma vez que podemos ver nas figuras 4.9 e 4.8, que as *inlines* e *crosslines* do cubo também podem apresentar uma baixa razão sinal-ruído.

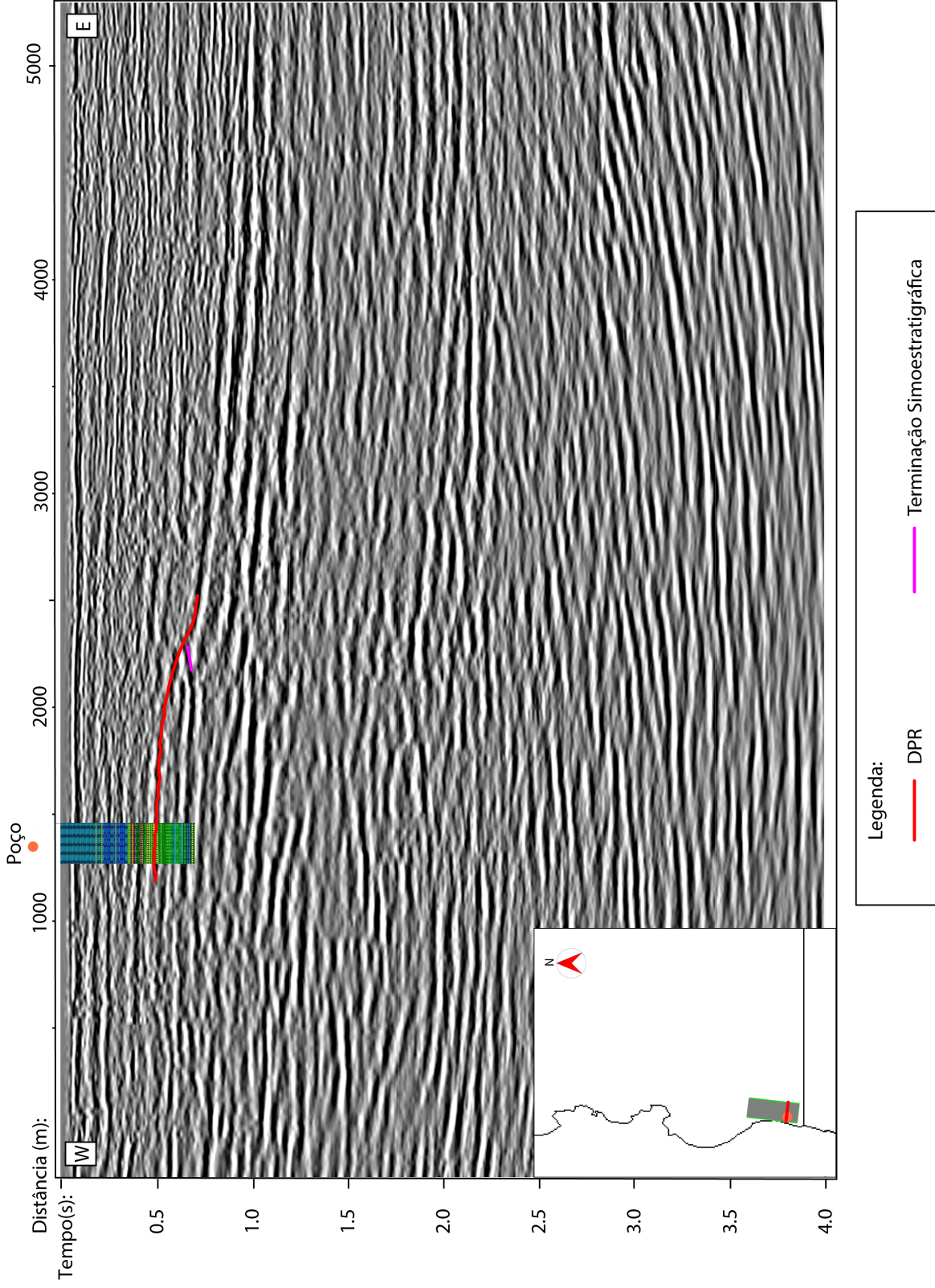


Figura 4.8: Interpretação sísmoestratigráfica da DPR sobre a *crossline* em conjunto com a amarração sísmica do poço. Percebe-se a gradual diminuição da razão sinal-ruído a partir de 0.8s, uma das razões pelo qual optou-se delimitar a área de interpretação. Retificando que a interpretação do horizonte não foi continuada nesta seção para respeitar a área de interpretação que foi restringida.

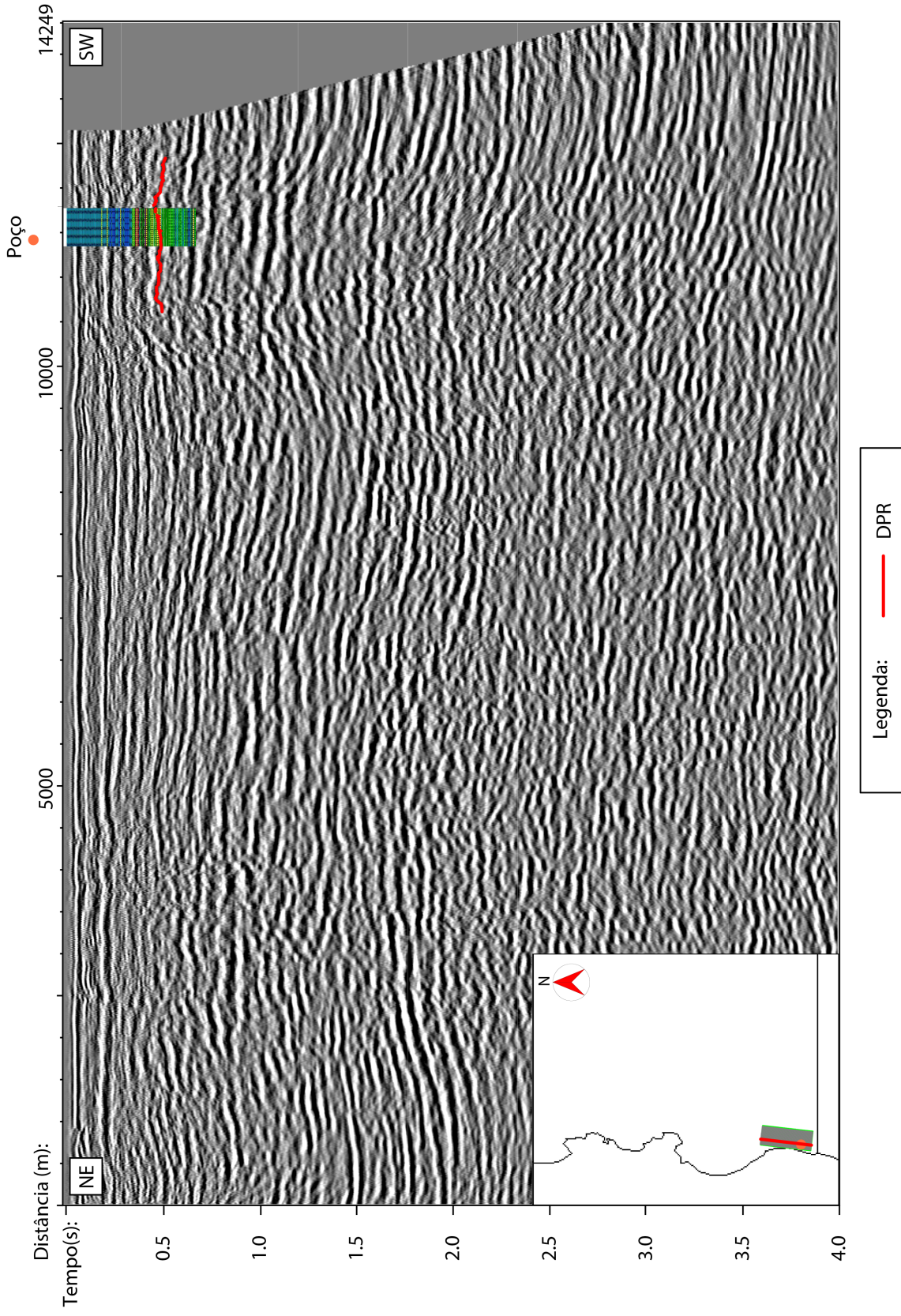


Figura 4.9: Interpretação sismoestratigráfica da DPR sobre a *inline* em conjunto com a amarração sísmica do poço. Percebe-se a gradual diminuição da razão sinal-ruído a partir de 0.8s, uma das razões pelo qual optou-se delimitar a área de interpretação.

4.5 Autotracking e Griding

Após a importação dos dados do *Kingdom IHS* para o *OpendTect* o resultado é mostrado na figura 4.10. É fácil perceber a presença de descontinuidades e alguns "buracos" no que seria a *horizon slice* interpretada devido à irregularidade do dado. Dessa forma, para refinar a interpretação, de modo a gerar uma superfície mais coerente e contínua, foram utilizadas ferramentas como o *Autotracking* e *Griding* disponíveis no próprio software.

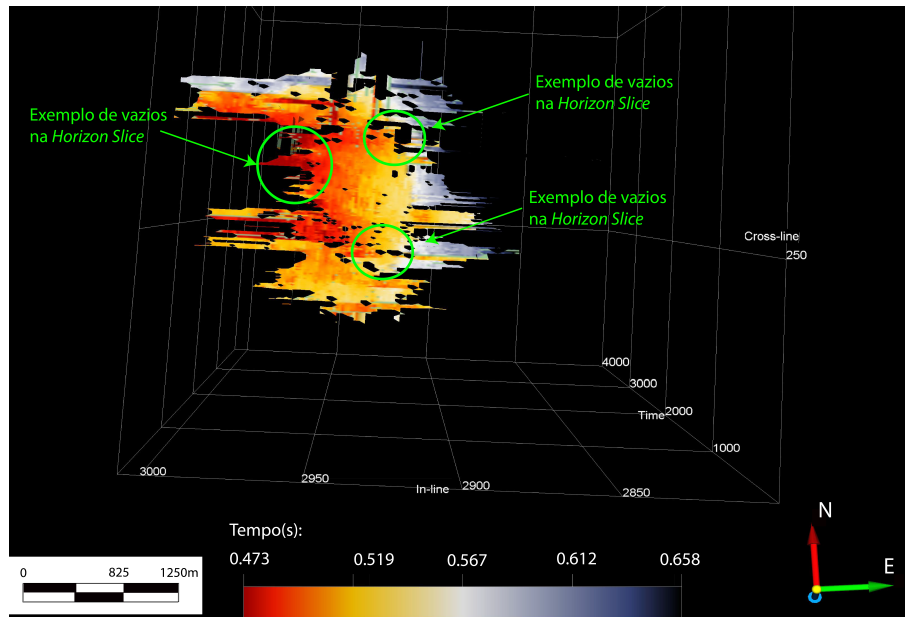


Figura 4.10: *HorizonSlice* da DPR importada do *Kingdom* para o *OpendTect*. A expectativa é de que a *horizon slice* fosse uniforme ao longo de sua extensão, sem nenhuma descontinuidade. Entretanto, devido aos ruídos e a irregularidade do dado, determinados locais não eram interpretáveis o que gerou vazios na seção sísmica interpretada, sendo alguns deles indicados pelas setas verdes.

4.5.1 Autotracking

A ferramenta de *autotracking* surge com o propósito de interpolar a interpretação entre várias seções sísmicas de modo que se torne viável a interpretação de áreas extensas de um dado 3D. Em um dado com ótima qualidade, por exemplo, o intérprete demarca os horizontes de 5 em 5 seções, ou até mesmo de 10 em 10 e a ferramenta interpreta automaticamente o espaço entre essas seções. O princípio do funcionamento deste recurso é mostrado na figura 4.11 em que podemos perceber que a partir da comparação entre 2 traços, utilizando uma amostra de um traço já interpretado, abre-se uma janela de busca para o traço mais próximo. Então, abre-se também uma janela de comparação em que o número de comparações será controlado pelo tamanho da janela de busca.

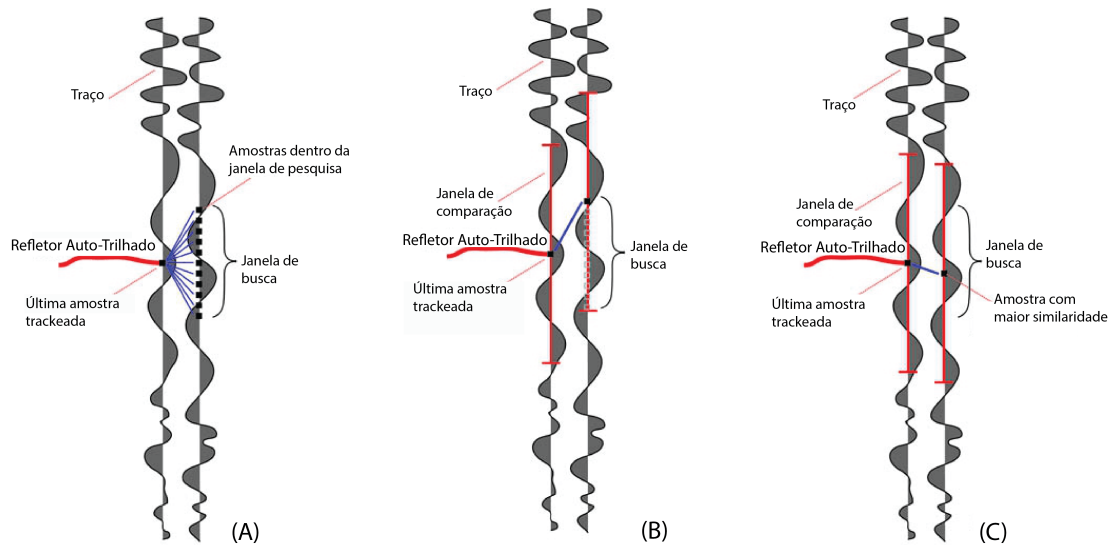


Figura 4.11: Esquema explicativo do funcionamento do *autotracking*. Em (A) mostra o traço já trackeado e a primeira janela de busca a partir da primeira interpretação para o traço seguinte, em (B) mostra o funcionamento da janela de comparação entre os dois traços, em (C) mostra a marcação do horizonte na amostra do traço seguinte que apresenta a maior similaridade. Fonte: Modificado do Manual do OpendTect.

Por fim, a amostra do traço seguinte com maior grau de similaridade é interpretada como continuidade do último refletor auto-trilhado - "trackeado". O *autotracking* foi aplicado no horizonte importado do *Kingdom*. Como a interpretação já havia sido feita de 1 em 1 seção e o dado não possui uma alta qualidade, o resultado após a utilização desse dispositivo apresentou apenas um pequeno refinamento (Figura 4.12).

4.5.2 *Griding*

Apesar da pequena melhora obtida através do *autotracking*, alguns vazios permaneceram no horizonte. Assim, de modo a utilizar o último recurso para obter a melhor *horizon slice* possível, foi utilizada a ferramenta de *Griding*. O grid tem a função de preencher os vazios indesejados remanescentes a partir de algoritmos matemáticos. É importante ressaltar que, pelo fato de serem apenas algoritmos matemáticos, eles não levam em consideração o comportamento físico dos traços (fator considerado pelo *Autotracking*), nem o caráter geológico do horizonte interpolado. Assim, é preciso ter muito cuidado na utilização deste recurso de modo a não fazer interpretações equivocadas a partir de interpolações que não condizem com a realidade. Levando este fator em consideração, foi delimitada uma área retangular baseada na área de interpretação previamente estabelecida, em que haveria uma maior densidade de dados de maneira a não interpolar grandes vazios em que não haviam interpretações. Um dos parâmetros da interpolação é que esta seria realizada de 1 em 1 *inline*,

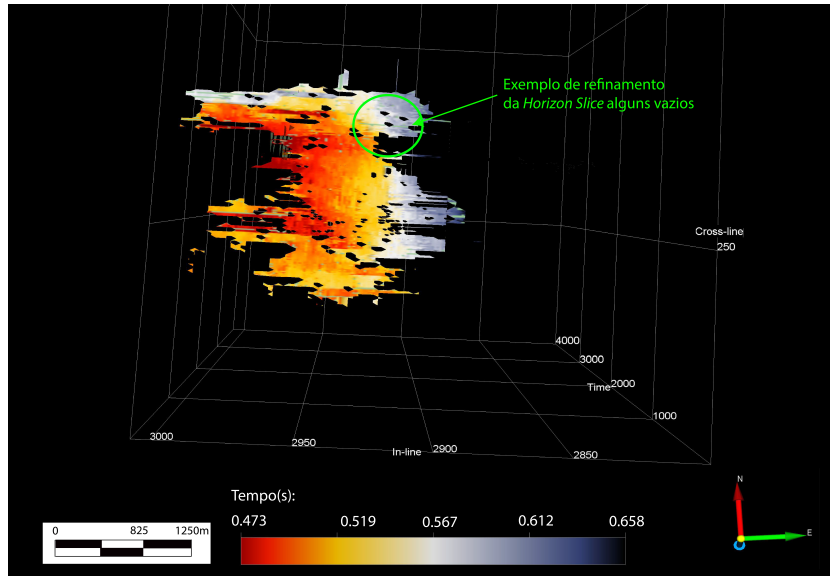


Figura 4.12: Horizon Slice após a utilização do *Autotracking*. Percebe-se um pequeno refinamento em alguns vazios da seção, indicado pela seta verde. A pequena melhora pode ser atribuída ao fato de que o dado já havia sido interpretado de 1 em 1 seção, além da presença de ruídos que impediria a correlação entre traços sísmicos através do *autotracking*.

assim como em 1 em 1 *crossline*, para obter maior resolução. O algoritmo de interpolação utilizado foi o *Continuous Curvature*, que é um plug-in desenvolvido pelo *Opentect*, uma vez que este apresentou melhores resultados do que quando comparado aos algoritmos de Extensão e Triangulação. O resultado final é mostrado na figura 4.13.

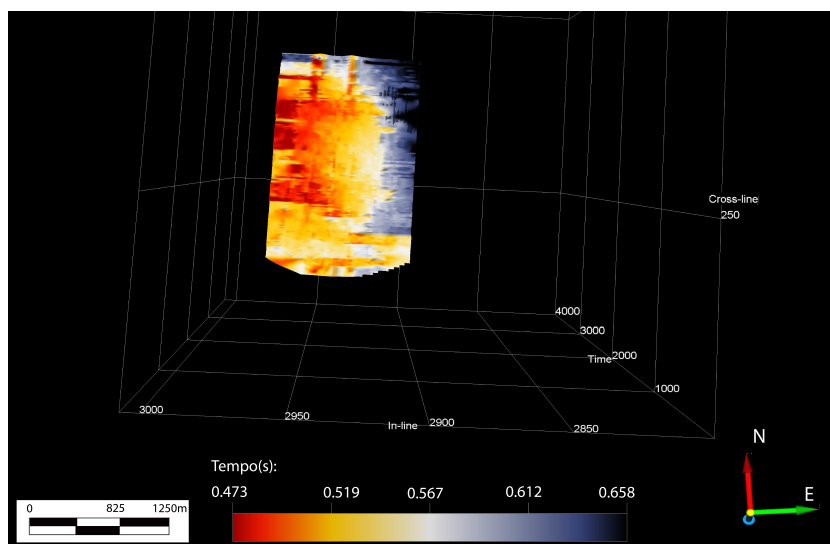


Figura 4.13: *Horizon Slice* após a utilização do *grid*. A *horizon slice* apresenta-se totalmente uniforme já que os pequenos vazios foram interpolados pelo algoritmo *Continuous Curvature*.

Capítulo 5

Resultados e Discussões

5.1 Mapas de Atributos Sísmicos

Após a geração da *horizon slice* foram aplicados os atributos de similaridade, amplitude instantânea e RMS (Figura 5.1).

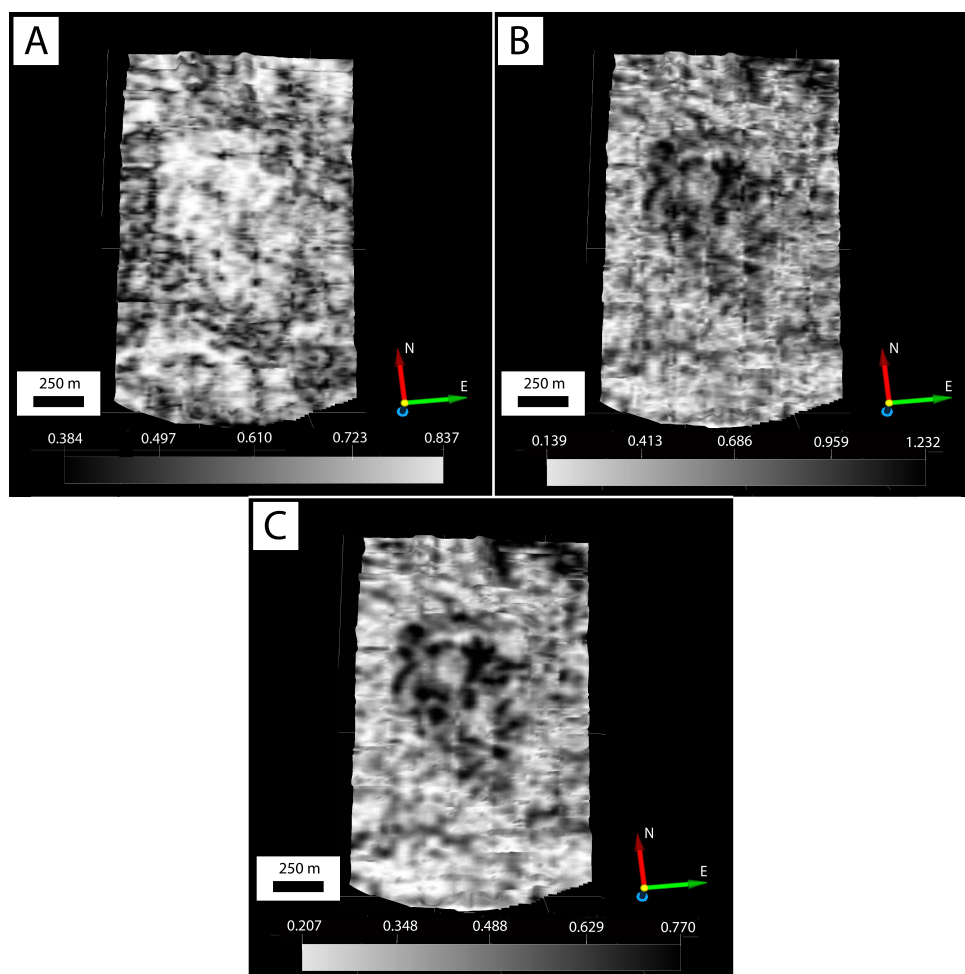


Figura 5.1: Attributes Slices. (A) Similaridade, (B) Amplitude Instantânea, (C) RMS.

5.2 Interpretações Geológicas dos Mapas Sísmicos

Os mapas de atributos permitiram *insights* para a interpretação geológica do *horizon slice*. O mapa de similaridade foi o que tornou mais evidente a existência de um sistema deposicional fluvial meandrante, uma vez que os menores valores de similaridade na seção sísmica evidenciam a presença de um possível canal fluvial, como é mostrado na figura 5.2. A atribuição de um possível canal fluvial é totalmente razoável pois considerando o preenchimento sedimentar do canal, sendo em geral, diferente do ambiente em que ele está inserido (ex: um canal abandonado preenchido por um material argiloso mais fino). O mapa de similaridade permitiu até mesmo a interpretação de um possível *crevasse splay*. Um fator interessante a se notar é o possível fluxo desse sistema meandrante seguindo a direção sul-norte, contrariando a hipótese inicial gerada pelo senso comum de que o sistema de drenagem obedeceria a direção da falha principal oeste-leste.

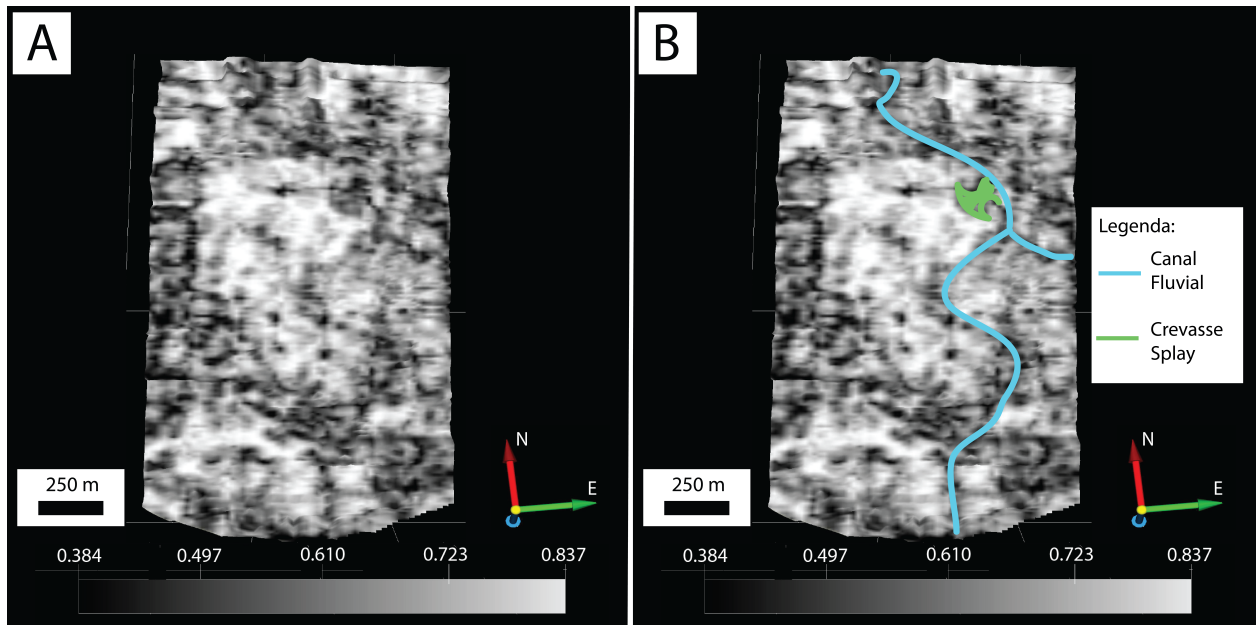


Figura 5.2: Interpretação geológica do mapa de similaridade. Em (A) vemos o *horizon slice* sem interpretação, em (B) interpretado com elementos do sistema deposicional fluvial meandrante.

Os mapas de amplitude RMS e instantânea indicam de maneira parecidas a mesma questão: anomalias de amplitude em determinadas regiões. Entretanto, no mapa de RMS estas anomalias aparecem de maneira mais suave e clara, portanto ela será levada em consideração. Apesar de não ficar tão evidente o canal fluvial através delas, é possível interpretar outra característica que são os depósitos de barras de acreção lateral. Para podermos fazer esta interpretação precisamos remeter novamente a figura 4.7 em que é mostrado o perfil de poço; nele podemos perceber que abaixo da DPR encontra-se um grande pacote de folhe-

lho enquanto acima dele há pacotes de arenito. Naturalmente, e pelos perfis de densidade e sônico, os folhelhos possuem menores valores de densidade e velocidade sísmica do que quando comparados aos arenitos, o que pode gerar altos contrastes de impedância acústica, e conseqüentemente altas amplitudes. Assim, analisando o mapa de amplitudes, considerando os canais fluviais interpretados na figura 5.2, percebe-se que há uma justaposição dos valores de altas amplitudes com os depósitos de barra em pontal, caracterizados por serem depósitos arenosos (Figura 5.3). Outro fator que corrobora para esta interpretação são menores amplitudes no que seriam os canais fluviais, uma vez que se considerarmos como canais abandonados que foram preenchidos por material argiloso, este apresentaria menor contraste de impedância, o que poderia ser a causa de menores valores de amplitude. Analogamente, o preenchimento do *Crevasse Splay*, apesar de incomum, pode ser caracterizado por materiais mais finos também devido às menores amplitudes.

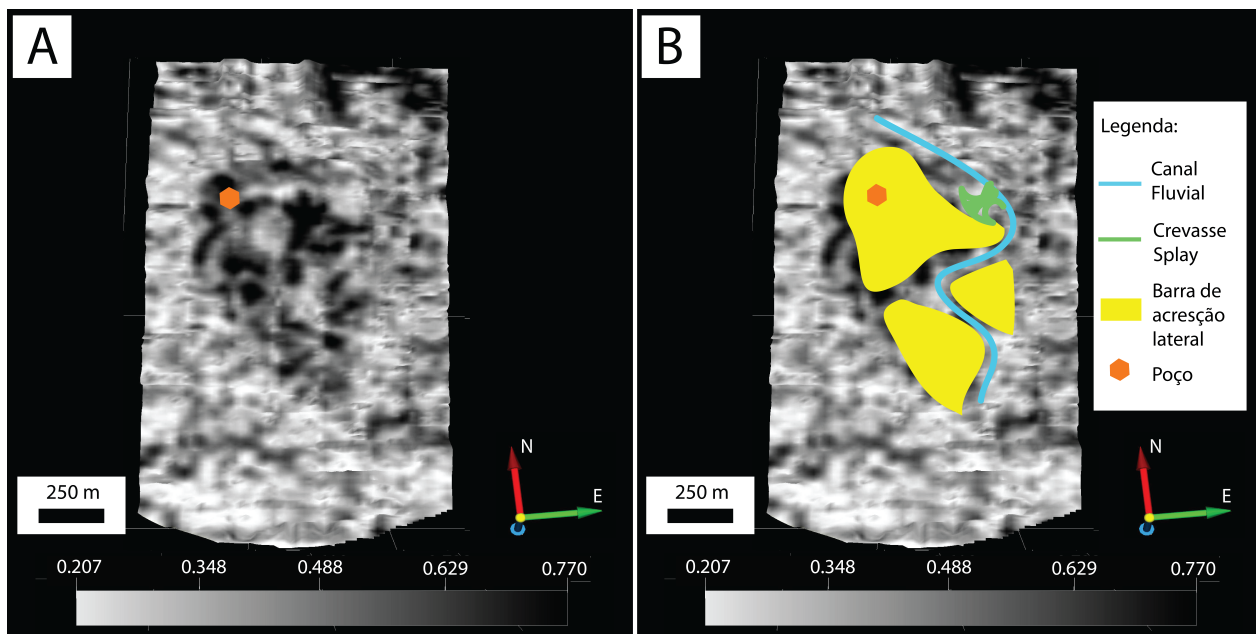


Figura 5.3: Interpretação geológica do mapa de amplitude RMS. Em (A) vemos o horizon slice sem interpretação, em (B) interpretado com elementos do sistema deposicional fluvial meandrante.

Por fim, utilizando todas as interpretações foi construído um bloco-diagrama com o modelo geológico proposto final, com todos os elementos deposicionais do sistema devidamente identificados (Figura 5.4).

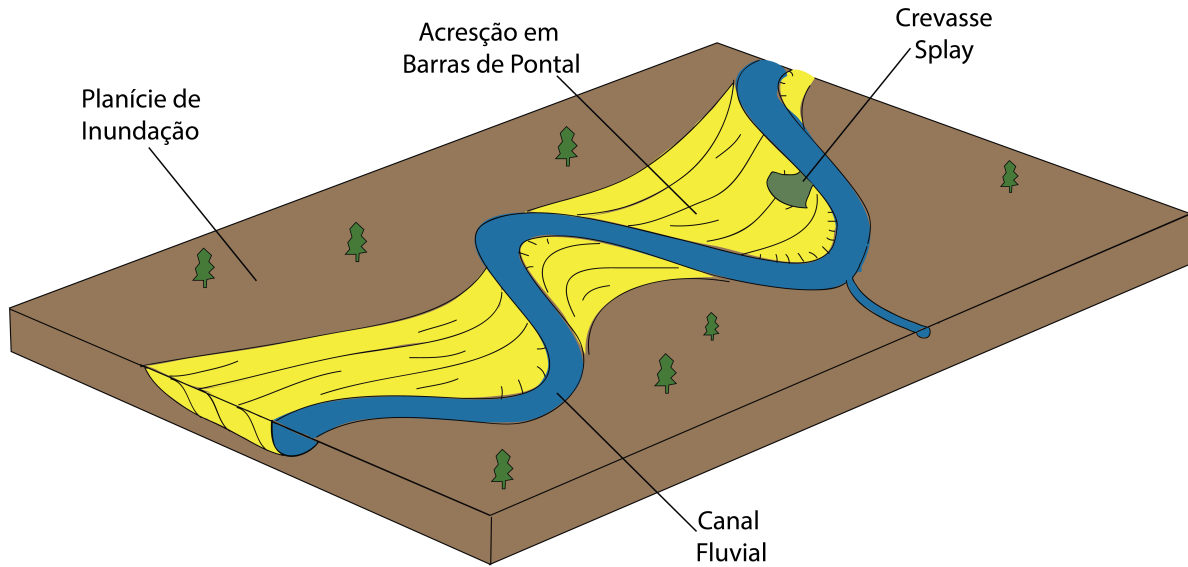


Figura 5.4: Bloco diagrama da interpretação geológica final.

5.2.1 Evolução do Sistema Fluvial

Após a interpretação da *horizon slice* avaliou-se a tentativa de estudar a evolução deste sistema. Então, a partir da sobreposição de *time slices* em conjunto com a *horizon slice*, pôde-se enxergar como esse sistema evoluiu a medida em que seções com menores valores de tempo de trânsito representariam um tempo geológico mais recente. Ambas seções estavam com o atributo de similaridade, uma vez que este evidenciou melhor o canal fluvial.

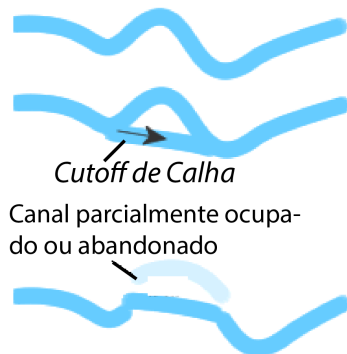


Figura 5.5: Formação de um *cutoff* de calha em um sistema meandrante e suas estruturas remanescentes.

Na figura 5.6 enxerga-se que a primeira *time slice* de 600 ms intercepta-se com a *horizon slice* apenas na parte mais oeste, sem mostrar mudança no sistema. A de 540 ms já sobrepõe-se a uma grande parte do canal fluvial e através dela podemos ver uma possível inundação que inicia a formação de um canal sobre a barra de acresção lateral, como é indicado na figura. Na *time slice* de 600 ms, quase toda a *horizon slice* já foi sobreposta e pode-se perceber que ocorreu um *cutoff* de calha (figura 5.5) e o meandro não contém mais um fluxo de corrente, gerando um canal abandonado.

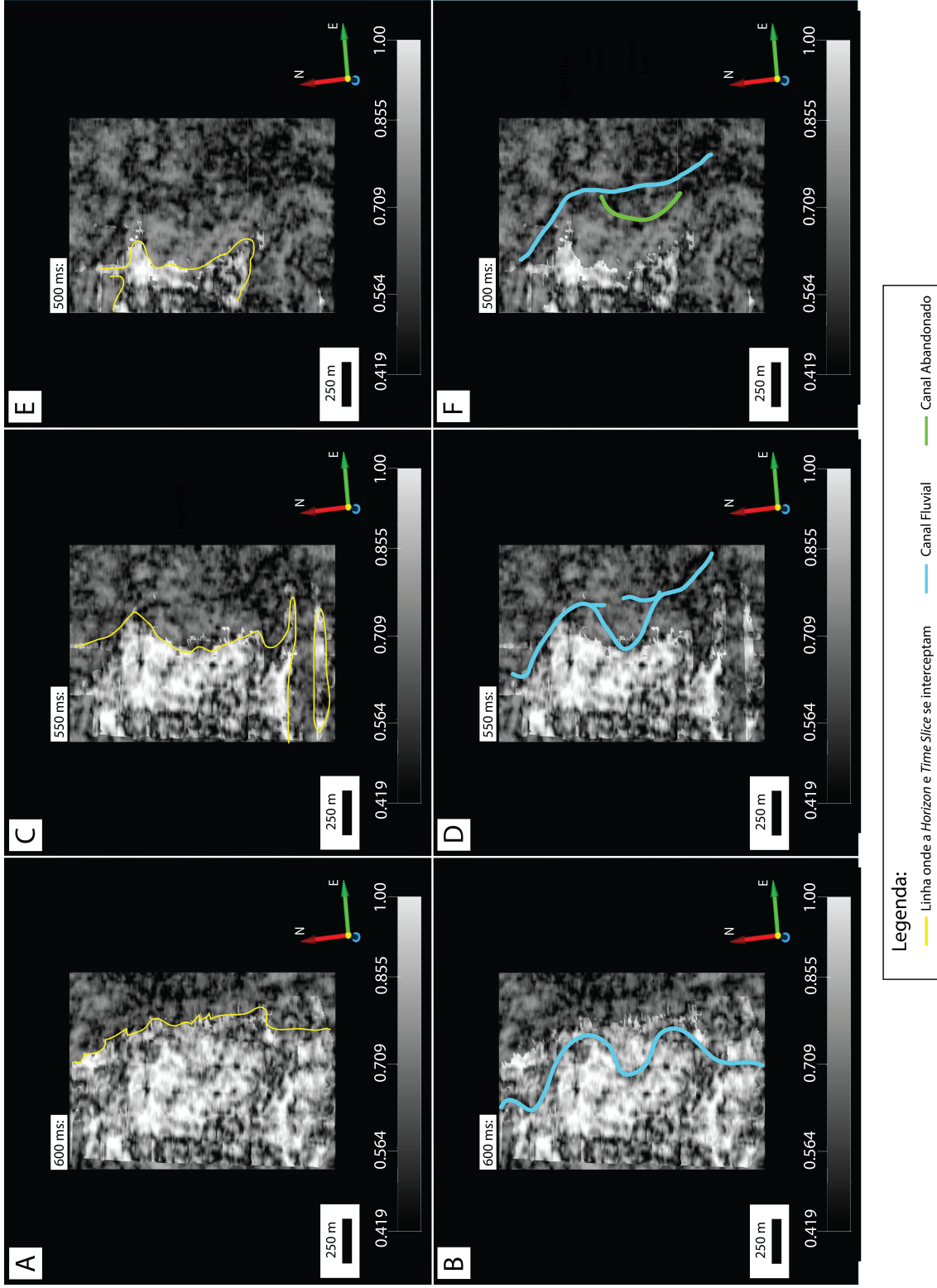


Figura 5.6: Quadro final com as *Horizon Slices* e *Time Slices* com o atributo de similaridade. Em todas elas a parte da seção mais escura representa a *time slice* enquanto a mais clara a *horizon slice*. Em (A) e (B) temos a *time slice* de 600, sendo a primeira sem interpretação geológica, e a segunda com. De maneira análoga seguem-se (C) e (D) para 540 ms, e (E) e (F) para 500 ms.

É importante ressaltar que foi possível utilizar as *time slices* como boa aproximação na geração de imagens de sistemas fluviais devido à baixa variação de mergulho do horizonte.

5.3 Aspectos de Reservatório

Os processos da dinâmica do sistema fluvial e dos seus elementos tem várias implicações importantes para a caracterização e desempenho do reservatório. Um dos elementos mais importantes nesse quesito são as barras de acreção em pontal, uma vez que estas são acumulações que possuem, em geral, litologia arenosa com uma razoável porosidade e permeabilidade, o que possibilitando que se tornem bons reservatórios. É interessante avaliar também que este elemento pode ser altamente compartimentado como resultado de cortes cruzados, ou canais de lama, já que estas estruturas podem funcionar como rochas selantes.

Dessa forma, através das *horizon slices* interpretadas pode-se inferir, de maneira mais precisa e confiável, a localização e geometria das barras de acreção lateral de um sistema fluvial meandrante, e por consequência, localizar possíveis melhores reservatórios em uma atividade exploratória na região.

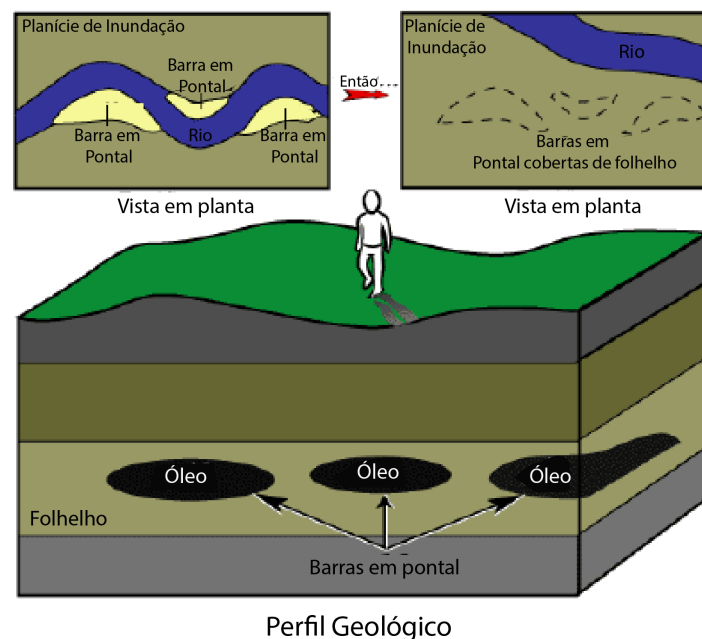


Figura 5.7: Exemplo de como as barras de acreção lateral podem formar reservatórios.

Fonte: Modificado de Ramirez et al. (2012).

Capítulo 6

Conclusões

A Geomorfologia Sísmica mostrou-se uma ferramenta importante para a interpretação de sistemas deposicionais, inclusive em bacias rifte, permitindo a identificação do tipo de sistema em questão, a delimitação de seus elementos, bem como a sua evolução.

A análise do dado 3D foi de suma importância para a geração das diferentes seções sísmicas, assim como a utilização de atributos sísmicos (Semelhança, Amplitude Instantânea e RMS) e perfis geofísicos que possibilitaram a geração de um resultado final confiável e satisfatório.

Apesar da baixa qualidade do dado sísmico, uma metodologia de trabalho foi desenvolvida de modo que restringir a área de interpretação e diminuir o intervalo de interpretação entre as *inlines* e *crosslines*, definido como sendo de 1 em 1, além da utilização das ferramentas de *Autotracking* e *Gridding* que garantiram um bom resultado.

A interpretação da geomorfologia sísmica foi bem sucedida com o reconhecimento de elementos deposicionais como canais fluviais, barras em pontal e canais abandonados que podem contribuir na identificação de melhores reservatórios neste ambiente. A perspectiva conjunta de *time slices* e *horizon slices* permitiu avaliar a evolução do sistema fluvial meandrante com a identificação de um *cutoff* de calha.

O reprocessamento dos dados sísmicos 3D em conjunto com a amarração de novos poços em uma maior extensão do cubo 3D poderia auxiliar no entendimento da dinâmica deposicional em uma escala maior na região.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a TODAS as pessoas que conheci ao longo desses quatro anos no curso de Geofísica. Bicho, nunca vi em nenhum lugar - nem acho que verei - um recinto com tanta gente boa, sangue bom e show de bola, onde cada um contribuiu, do seu jeito, para esses quatro anos felizes. Aproveito aqui para gratificar e aceitar o título que fora atribuído a mim - por quase todo mundo - como sendo uma das pessoas mais **malucas** do curso. Confesso que reneguei-o nesse período, mas no final, tenho que concordar e guardar com carinho essa qualidade que me foi designada.

Gostaria de agradecer a meu pai, professor Niltinho, que sempre batalhou por mim, e sempre esteve ao meu lado durante esses 21 anos, de dia, de tarde e de noite, sem eu nunca precisar falar nada.

Gostaria de agradecer a minha mãe, Sandra, que considero o melhor ser humano possível, que sempre faz mais pelo outro do que por ela mesma, e que sempre zelou por mim de uma forma que não consigo escrever aqui.

Gostaria de agradecer a meu irmão, Rodrigo, meu primeiro amigo pelo qual tenho grande apreço.

Gostaria de agradecer ao CDL de uma maneira que me faltam palavras.

Gostaria de agradecer ao professor Michael Holz por todo o suporte e conhecimento ao longo desses anos. Assim como agradeço a toda equipe do GETA, grupo no qual aprendi demais e tenho muito orgulho de ter feito parte.

Gostaria de agradecer também à banca na participação da conclusão deste trabalho.

A todos,
O meu Muito Obrigado!

Referências

- Caixeta, J. M.; Milhomem, P. d. S.; Witzke, R.; Dupuy, I. S. e Gontijo, G. (2007) Bacia de camamu, Boletim de Geociências da PETROBRAS, **15**(2):455–461.
- Catuneanu, O. (2006) Principles of sequence stratigraphy, Elsevier.
- Chang, H.; Kowsmann, R. O. e Figueiredo, A. M. (1990) Novos conceitos sobre o desenvolvimento das bacias marginais do leste brasileiro, Origem e evolução de bacias brasileiras. Rio de Janeiro, RJ: Petrobrás, pp. 269–289.
- Chopra, S. e Marfurt, K. J. (2007) Seismic attributes for prospect identification and reservoir characterization, Society of Exploration Geophysicists and European Association of Geoscientists and Engineers.
- Destro, N.; Amorim, J. e Witzke, R. (1994) Identificação de falhas de transferência na Bacia de Camamu, Bahia., In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 38.
- Ferreira, T. S.; Caixeta, J. M. e Lima, F. D. (2009) Controle do embasamento no rifteamento das bacias de camamu e almada, Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, **17**(1):69–88.
- Gawthorpe, R. e Leeder, M. (2000) Tectono-sedimentary evolution of active extensional basins, Basin Research, **12**(3-4):195–218.
- Handford, C. e Baria, L. (2007) Geometry and seismic geomorphology of carbonate shoreface clinoforms, jurassic smackover formation, north louisiana, Geological Society, London, Special Publications, **277**(1):171–185.
- Hart, B. S. (2010) An Introduction to Seismic Interpretation, American Association of Petroleum Geologists (AAPG).
- Holz, M. (2012) Estratigrafia de sequências–histórico, princípios e aplicações, Rio de Janeiro, editora Interciência.
- Holz, M.; Moreira, F. e Troccoli, E. (2015) A conceptual sequence stratigraphy model for continental rift successions based on the Reconcavo basin, Cretaceous, Brazil., II International Congress on Stratigraphy, Graz.

-
- Holz, M.; Vilas-Boas, D. B.; Troccoli, E. B.; Santana, V. C. e Vidigal-Souza, P. A. (2017) Conceptual models for sequence stratigraphy of continental rift successions, In: *Stratigraphy & Timescales*, vol. 2, pp. 119–186, Elsevier.
- Küchle, J.; Holz, M.; Brito, A. e Bedregal, R. (2005) Análise estratigráfica de bacias rifte: aplicação de conceitos genéticos nas bacias de camamu-almada e jequitinhonha, *Boletim de Geociências da Petrobrás*, **13**(2):227–244.
- Miall, A. D. (2002) Architecture and sequence stratigraphy of pleistocene fluvial systems in the malay basin, based on seismic time-slice analysis, *AAPG bulletin*, **86**(7).
- Mitchum Jr, R.; Vail, P. e Sangree, J. (1977) Seismic stratigraphy and global changes of sea level: Part 6. stratigraphic interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences: Section 2. application of seismic reflection configuration to stratigraphic interpretation, *AAPG Special Volumes*.
- Posamentier, H. (2005) Application of 3d seismic visualization techniques for seismic stratigraphy, seismic geomorphology and depositional systems analysis: examples from fluvial to deep-marine depositional environments, In: *Geological Society, London, Petroleum Geology Conference series*, vol. 6, pp. 1565–1576, Geological Society of London.
- Posamentier, H. (2007) Seismic geomorphology-an overview hw posamentler, 1 rj davles, 2 ja cartwrlght3 & l. wood4, *Seismic geomorphology: applications to hydrocarbon exploration and production*, **277**:1.
- Posamentier, H. W. (2000) Seismic stratigraphy into the next millennium; a focus on 3d seismic data, In: *American Association of Petroleum Geologists Annual Convention, New Orleans. Abstracts Volume*, vol. 9, p. A118.
- Posamentier, H. W. (2001) Lowstand alluvial bypass systems: incised vs. unincised, *AAPG bulletin*, **85**:1771–1793.
- Posamentier, H. W. e Kolla, V. (2003) Seismic geomorphology and stratigraphy of depositional elements in deep-water settings, *Journal of sedimentary research*, **73**(3):367–388.
- Prosser, S. (1993) Rift-related linked depositional systems and their seismic expression, *Geological Society, London, Special Publications*, **71**(1):35–66.
- Ramirez, K. M.; Cuba, P. H.; Miskimins, J. L.; Anderson, D. S. e Carr, M. M. (2012) Integrating geology, hydraulic fracturing modeling, and reservoir simulation in the evaluation of complex fluvial tight gas reservoirs, In: *SPE/EAGE European Unconventional Resources Conference & Exhibition-From Potential to Production*, SPE/EAGE European Unconventional Resources Conference & Exhibition-From Potential to Production.

- Schwab, A. M.; Homewood, P.; Van Buchem, F. e Razin, P. (2005) Seismic forward model of a natih formation outrop-the adam foothills transect (northern oman), *GeoArabia*, **10**(1):17-44.
- Taner, M. (2000) *Attributes revisited*. technical publication, rock solid images, Inc., Houston, Texas.
- Troccoli, E. B. (2015) *Sismoestratigrafia em bacias rifte e analise de atributos sismicos e filtros na interpretacao de dados 2d e 3d na Bacia do Recôncavo*, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, Brazil.