

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
Curso de Pós-graduação em Geofísica

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO



ANÁLISE
SISMOESTRATIGRÁFICA DAS
SEQUÊNCIAS TRANSICIONAL E
DRIFTE DA BACIA DE ALMADA

JOSÉ WELINGTON DOS SANTOS JÚNIOR

SALVADOR – BAHIA
OUTUBRO – 2019

Análise Sismoestratigráfica das sequências Transicional e Drifte da Bacia de Almada

por

JOSÉ WELINGTON DOS SANTOS JÚNIOR

Geólogo (Universidade Federal da Sergipe – 2014)

Orientador: Prof. Dr. Michael Holz

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Submetida em satisfação parcial dos requisitos ao grau de

MESTRE EM CIÊNCIAS

EM

GEOFÍSICA

ao

Conselho Acadêmico de Ensino

da

Universidade Federal da Bahia

Comissão Examinadora

Dr. Michael Holz

Dr. Claudio Borba

Dr. Joelson da Conceição Batista

Aprovada em de outubro de 2019

A presente pesquisa foi desenvolvida no Grupo de Estratigrafia Teórica e Aplicada, com recursos do CnPq.

C416 dos Santos Júnior, José Welington,
Análise Sismoestratigráfica das sequências Transicional e
Drifte da Bacia de Almada / José Welington dos Santos Júnior.
— Salvador, 2019.
94 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Michael Holz
Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Geofísica. Insti-
tuto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, 2019.

1. Sismoestratigrafia. 2. Estratigrafia de Sequências 3. Bacia
de Almada 4. Atributos Sísmicos 5. Transicional 6. Drifte

550.3(134.3)(043)

*"As oportunidades multiplicam-se à
medida que são agarradas" (Sun
Tzu)*

Agradecimentos

Primeiramente a Deus, que permitiu que isso acontecesse da maneira mais incrível possível: aprendendo; conhecendo pessoas; compartilhando vivências e conhecimentos.

À minha família: minha mãe, Marinalva; minha esposa e companheira, Flávia; meus irmãos, Fábio e Viviane; meu tio Zé; minha cunhada Márcia. Pessoas que sempre estiveram do meu lado e entenderam o meu propósito, os dias que não estive próximo, o cansaço com a luta.

Ao meu orientador, Michael Holz, por toda a compreensão que teve com a minha jornada. Ensinos de academia e de vida que sempre levarei comigo e que espero poder contar sempre que a vida permitir.

Aos amigos que o GETA me deu, e que faço aqui questão de mencionar: Adevilson, Ana Clara, André, Caio, Cora, Daniel, Edric, Flávio, Leonardo, Lorena, Vinícius, Maísa, Maria, Paulão, Priscilla e Wilker. Quem me conhece, sabe o quanto eu valorizo as amizades que eu tenho, e eu valorizo cada momento que passamos juntos: reuniões, broncas, brincadeiras...enfim, foram dois anos de muito companheirismo ao lado de vocês. Isso não acabará nunca! Estarão sempre na minha cabeça e no meu coração.

Aos professores Porsani, Alex e Michelângelo, pela colaboração e paciência que tiveram comigo nessa jornada.

Aos integrantes do laboratório Progeologia: professor Antônio Garcia, Samuel, Márcio, Karen, Arthur, Misael, juntamente com a galera do Projeto Geoengenharia. Com vocês a minha jornada na pesquisa foi iniciada. Serei sempre grato a vocês.

Agradeço ao Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia (CPGG/UFBA) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte acadêmico, apoio financeiro e logístico que tornou possível a realização deste trabalho.

Agradeço à Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) pelo fornecimento dos dados que viabilizaram esta pesquisa.

Deixei por último, neste agradecimento, as pessoas que sempre olham para mim, apesar de

não estarem mais aqui conosco: meus avós, Luiz e Alice, e meu pai Welington. Tenho a certeza de que eles estão muito orgulhosos por mim.

A MINHA GRATIDÃO A VOCÊS SERÁ ETERNA. OBRIGADO!

Resumo

O presente trabalho visa a interpretação de dados de poço e de linhas sísmicas 2D pós-empilhadas da área que abrange a Bacia de Almada, auxiliada pela interpretação de perfis geofísicos de poço. A base de dados compreende um conjunto de 50 linhas sísmicas pós-stack migradas, sendo 22 linhas dip e 28 linhas strike. A metodologia do trabalho conta com as principais etapas para a realização de uma interpretação sismoestratigráfica padrão, contemplando a confecção de sismograma sintético de dado de poço para correlação com as linhas sísmicas, além da utilização de atributos sísmicos, úteis para a identificação de terminações estratais, superfícies stratigráficas e feições estruturais, como discordâncias e falhas, por exemplo.

A análise sismoestratigráfica permitiu compreender o processo de preenchimento da Bacia de Almada, desde a região do embasamento raso até a região de águas profundas, onde foram identificadas uma sequência de segunda ordem referente à fase transicional e seis sequências de segunda ordem associadas à fase drifte. As interpretações mostraram que a evolução do drifte passou por três fases distintas do ponto de vista deposicional: primeiro uma fase transgressiva, compreendida entre o Turoniano e o Eomaastrichtiano, seguida de uma fase de sedimentação concentrada na região de plataforma entre o Neomaastrichtiano e o Mesoeoceno e finalmente uma fase regressiva, compreendida do Mesoeoceno ao recente. Foram mapeadas algumas feições geológicas importantes da bacia, tais como complexos de transporte de massa e um cânion na região da plataforma e talude, conhecido como Cânion de Almada.

A Bacia de Almada encontra-se inserida na categoria das bacias brasileiras da margem leste passiva, no sudeste do Estado da Bahia. Apesar da disponibilidade de dados sísmicos e do seu potencial petrolífero, ainda é considerada uma bacia pouco explorada. A área de estudo consiste de um polígono de aproximadamente 9500km². O mapeamento estratigráfico considerou as discordâncias que limitam o topo da sequência rifte, através da DPR (Discordância Pós-rifte); topo da sequência Transicional, através da DPT (Discordância Pós-Transicional); e os topos de cada sequência Drifte.

A interpretação sísmica estrutural considerou a Falha de Aritaguá que, junto com outras falhas normais que se desenvolveram na região, compartimentou a bacia em três trechos principais de falhas normais de alto ângulo e rejeito, formando-se assim um sistema de falhas. O mapeamento estratigráfico considerou sequências de segunda e terceira ordem. Os resultados da interpretação permitiram a confecção de mapas e seções geológicas, de maneira a ilustrar os principais sistemas sedimentares atuantes em cada estágio de sedimentação da bacia, de acordo com seus respectivos tratos tectônicos interpretados.

Palavras Chaves: Sismoestratigrafia. Estratigrafia de Sequências. Bacia de Almada. Transicional. Drifte. Atributos sísmicos.

Abstract

The present work aims to interpret well data and post-stacked 2D seismic lines from the Almada Basin area, aided by the interpretation of well geophysical profiles. The database comprises a set of 50 migrated post-stack seismic lines, 22 dip lines and 28 strike lines. The methodology of the work has the main steps for the accomplishment of a standard seismic stratigraphic interpretation, contemplating the elaboration of synthetic seismogram of well data for correlation with the seismic lines, besides the use of seismic attributes, useful for the identification of stratum terminations, stratigraphic surfaces and structural features such as disagreements and faults, for example.

The seismic stratigraphic analysis allowed us to understand the process of filling the Almada Basin, from the shallow basement region to the deepwater region, where a third order sequence related to the transitional phase and six third order sequences associated with the Drifte phase were identified. Interpretations have shown that drifte evolution has gone through three distinct depositional phases: first a transgressive phase, between the Turonian and the Eomaastrichtian, followed by a concentrated sedimentation phase in the plateau region between the Neomaastrichtian and the Mesoeocene and finally a regressive phase, from Mesocene to recent. Some important geological features of the basin were mapped, such as mass transport complexes and a canyon in the platform and slope region, known as Almada Canyon.

The Almada Basin is included in the category of passive east bank Brazilian basins in southeastern Bahia. Despite the availability of seismic data and its oil potential, it is still considered a poorly explored basin. The study area consists of a polygon of approximately 9500km². The stratigraphic mapping considered the disagreements that limit the top of the rift section through the DPR (Post-Rift Disagreement); top of the Transitional section, through DPT (Post Transitional Disagreement); and the tops of each Drifte subsection.

The structural seismic interpretation considered the Aritaguá Fault that, along with other normal faults that developed in the region, compartmentalized the basin into three main sections of normal high angle faults and tailings, thus forming a fault system. Stra-

tigraphic mapping considered second and third order sequences. The interpretation results allowed the elaboration of maps and geological sections, in order to illustrate the main sedimentary systems acting in each sedimentation stage of the basin, according to their respective interpreted tectonic tracts.

Keywords: Seismic stratigraphy. Sequence stratigraphy. Almada Basin. Transitional Drifte Seismic attributes.

Índice

Agradecimentos	4
Resumo	6
Abstract	8
Índice	10
Índice de Tabelas	12
Índice de Figuras	13
Introdução	15
1 Geologia da Bacia de Almada	18
1.1 Formação do Atlântico Sul	18
1.1.1 Megassequência Continental	19
1.1.2 Megassequência Transicional Evaporítica	20
1.1.3 Megassequência Carbonática de Plataforma Rasa	20
1.1.4 Megassequência Marinha Transgressiva	21
1.1.5 Megassequência Marinha Regressiva	21
1.2 Bacia de Almada	21
2 Aspectos Teóricos	27
2.1 Introdução	27
2.2 Unidades Sedimentares	28
2.3 Variáveis que controlam a sedimentação	28
2.4 Tratos de Sistemas Geométricos	29
2.5 Noções de Sismoestratigrafia	31
3 Metodologia	36
3.1 Banco de Dados	37

3.1.1	Controle de Qualidade de Dados	37
3.1.2	Linhas Sísmicas	38
3.1.3	Carregamento dos Dados	39
3.2	Interpretação dos Perfis Geofísicos de poços	41
3.3	Correlação Sísmica-Poço	43
3.4	Atributos Sísmicos	45
3.5	Interpretação Sísmica	46
3.6	Interpretação Estrutural	47
3.7	Interpretação Estratigráfica	48
3.7.1	Indicação das superfícies estratigráficas	48
4	Análise Sismoestratigráfica	49
4.1	Falha de Aritaguá	49
4.2	Canion de Almada	50
4.3	Discordância Pós-Rifte	53
4.4	Discordância Pós-Transicional	54
4.5	Sequência Transicional	54
4.6	Sequência DRIFTE-1	56
4.7	Sequência DRIFTE-2	57
4.8	Sequência DRIFTE-3	58
4.9	Sequência DRIFTE-4	58
4.10	Sequência DRIFTE-5	59
4.11	Sequência DRIFTE-6	59
5	Análise de Dados	60
5.1	Seções Sísmicas Interpretadas	60
5.2	Seções Sísmicas Compostas Interpretadas	60
5.3	Mapas de Topos Estruturais	61
5.4	Mapas de Isópacas	61
6	Conclusões	73
	Referências Bibliográficas	75

Índice de Tabelas

Índice de Figuras

1.1	Reconstruções paleogeográficas para as sequências sin-rifte (I, II e III) e as megassequências evaporítica transicional e plataforma carbonática rasa (Modificado de Chang (1990))	19
	22figure.1.2	
1.3	Principais feições estruturais associadas à Bacia de Almada. Área de estudo destacada pelo polígono vermelho. Fonte: Ferreira et. al.(2009)	23
1.4	Principais feições estruturais associadas à Bacia de Almada. Área de estudo destacada pelo polígono vermelho. Fonte: Ferreira et. al.(2009)	24
1.5	Carta estratigráfica da Bacia de Almada.	26
2.1	Quadro comparativo da hierarquização das unidades sedimentares (modificado de Holz,2012).	28
	29figure.2.2	
2.3	Padrão de empilhamento estratal de acordo com a relação entre o nível de base (NB) e aporte sedimentar (modificado de Catuneanu, 2006).	30
2.4	Conceitos de transgressão, regressão normal (RN) e regressão forçada (RF), definidos como a interação entre mudanças no nível de base e a taxa de sedimentação (modificado de Catuneanu, 2006).	32
2.5	Principais terminações de refletores. Fonte: Vail e Mitchum (1977).	33
2.6	Configurações internas de sismofácies. Modificado de Vail et. al.(1977).	33
2.7	Parâmetros de reflexão de sismofácies e seus respectivos significados geológicos. Fonte: Mitchum et al. (1977) apud Veeken (2007)	35
3.1	Informações do header que serão utilizadas no carregamento.	39
3.2	Informações de dados de poços sendo carregadas	40
3.3	Área de estudo, mostrando as linhas sísmicas, poço e dados culturais utilizados.	41
3.4	Tabela de fácies sedimentares de acordo com a média de GAPI no perfil GR	42
	43figure.3.5	
3.6	Informações do <i>header</i> que serão utilizadas no carregamento.	45

3.7	Atributos sísmicos calculados e plotados em seção no software IHS Kingdom (amplitude, TecVA, fase e frequência instantâneas). Fonte: Vilas-Boas (2016).	47
4.1	Localização do sistema de falhas da parte emersa (oeste) e imersa (leste) da bacia, mostrando o arcabouço estrutural simplificado com as suas falhas limítrofes com direção N50E (modificado de Netto & Sanches 1991). Localização do sistema de falhas da parte emersa (oeste) e imersa (leste) da bacia, mostrando o arcabouço estrutural simplificado com as suas falhas limítrofes com direção N50E (modificado de Netto & Sanches 1991).	50
4.2	Interpretação que mostra a localização do Cânion de Almada.	52
5.1	Seção sísmica dip da região norte da Bacia de Almada: (A) não interpretada; (B) interpretada. Em ambos os casos, utilizando o atributo amplitude	63
5.2	Seção sísmica dip da região centro-norte da Bacia de Almada: (A) não interpretada; (B) interpretada. Em ambos os casos, utilizando o atributo amplitude	64
5.3	Seção sísmica dip da região centro-sul da Bacia de Almada: (A) não interpretada; (B) interpretada. Em ambos os casos, utilizando o atributo amplitude	65
5.4	Seção sísmica dip da região central da Bacia de Almada: (A) não interpretada; (B) interpretada. Em ambos os casos, utilizando o atributo amplitude	66
5.5	Seção sísmica cortando toda a porção da região leste da Bacia de Almada: (A) não interpretada; (B) interpretada. Em ambos os casos, utilizando o atributo amplitude	67
5.6	Seção sísmica localizada na porção central da Bacia de Almada: (A) não interpretada; (B) interpretada. Em ambos os casos, utilizando o atributo amplitude	68
5.7	Seção sísmica composta que passa pelas porções proximal, de talude e distal da Bacia de Almada: (A) não-interpretada, (B) interpretada. Em ambos os casos, utilizando o atributo amplitude	69
5.8	Seção sísmica composta que passa pelas porções proximal e de talude do centro norte da Bacia de Almada: (A) não-interpretada, (B) interpretada. Em ambos os casos, utilizando o atributo amplitude	70
5.9	Mapas de topo estrutural para as superfícies interpretadas no referido trabalho	71
5.10	Mapas de isópacas para as superfícies interpretadas no referido trabalho	72

Introdução

A indústria do petróleo impulsionou, nos últimos 80 anos, diversas áreas científicas que sofreram grandes avanços tecnológicos, entre elas a geofísica, que estuda o substrato geológico através dos denominados métodos indiretos. Entre os métodos geofísicos, a sísmica de reflexão é aquela que apresenta o maior sucesso na exploração de acumulações de hidrocarbonetos, por conta da profundidade que pode ser alcançada durante uma investigação e, também, pela quantidade de informações fornecidas pelas seções sísmicas, responsáveis pelo imageamento das feições em subsuperfície, a partir do registro do tempo duplo de trânsito de ondas acústicas.

Assim, a principal ferramenta utilizada para este estudo é a estratigrafia de sequências. Esta ferramenta revolucionou os conceitos teóricos para o entendimento do preenchimento sedimentar de uma bacia, tornando-se um passo essencial e indispensável. A estratigrafia de sequências, ao qual estuda a gênese e a sucessão espacial e temporal de unidades chamadas de sequências deposicionais (Holz, 2012), atua como uma ferramenta na interpretação estratigráfica dos dados sísmicos, ou também chamada de sismoestratigrafia. As sequências analisadas refletem a interação entre as taxas de eustasia, subsidência e suprimento de material. Atualmente, pesquisadores estão retratando estas adaptações da estratigrafia de sequências para as bacias que diferem do contexto de margem passiva. Para riftes continentais, o trabalho tido como referência é o de Prosser (1993). Outros autores também retratam estas adaptações, como Catuneanu, Martins-Neto e Eriksson (2012) e Küchle (2011)

A interpretação sísmica, utilizando-se dos conceitos da estratigrafia de sequências, requer grande conhecimento do intérprete sobre os depósitos sedimentares da bacia investigada, bem como da associação com outras informações geofísicas, como dados de perfis geofísicos de poços, e geológicas, como estudo de afloramentos, testemunhos e amostras de calha. Seu principal objetivo é a confecção de um modelo geológico de bacia. Para a confecção do mesmo, faz-se necessária a utilização de etapas básicas, entretanto cruciais, como o carregamento de dados, até as etapas mais complexas, como a identificação do sistema deposicional de um determinado intervalo de interesse. A principal ferramenta para esta análise é a estratigrafia de sequências. Esta ferramenta revolucionou os conceitos teóricos vigentes para

o entendimento do preenchimento sedimentar de uma bacia, tornando-se um passo essencial e indispensável.

A análise de atributos sísmicos pode auxiliar o intérprete na identificação de terminações estratigráficas e continuidade de refletores, além do reconhecimento de feições estruturais e estratigráficas (Payton, 1977). Os atributos basicamente são informações contidas no sinal sísmico, obtidas através de medições diretas, lógicas ou baseadas na experiência de conhecimentos anteriores (Taner, Koehler e Sheriff, 1979). A utilização de atributos sísmicos (como o TecVA, amplitude, fase e frequência instantânea) permitem o realce de feições nas seções como falhas, refletores de diferentes sismofácies e variações de amplitude que não são facilmente visualizáveis na seção sísmica em amplitude.

De acordo com Küchle (2011), com a quebra do monopólio e subsequente atuação da Agência Nacional do Petróleo como concessionária de blocos de exploração e produção de hidrocarbonetos em território brasileiro, as Bacias de Almada, bem como as de Camamu e Jequitinhonha, renovaram-se como bacias de fronteira exploratória.

A margem continental brasileira é constituída por várias bacias, dentre as quais se encontra a Bacia de Almada, localizada na área de estudo do trabalho. Situada no extremo sul do Estado da Bahia, entre os paralelos 14^o e 14^o37' Sul e os meridianos 38^o e 39^o Leste, estendendo-se mar adentro até a crosta oceânica e ocupando uma área de aproximadamente 7500km², até a cota batimétrica de 3000m, de acordo com Gontijo (2007). O limite norte da bacia ainda encontra certo grau de especulação, mas neste trabalho foi colocado como sendo o Alto de Taipus, e ao sul pelo Alto de Olivença, fazendo fronteira com a Bacia de Jequitinhonha. Ferreira (2009) mapeou e constatou a presença de rochas evaporíticas no registro sedimentar da sequência de transição dessa bacia. Mesmo com uma boa disponibilidade de dados sísmicos e com o aumento das operações exploratórias nos últimos anos, estudos mais aprofundados ainda são necessários, principalmente quando comparada com outras bacias sedimentares da margem leste brasileira, como as bacias de Santos e Campos. A bacia está integrada ao sistema rifte que se implantou no Cretáceo Inferior, quando teve início o processo de separação das placas Sul-Americana e Africana.

Diversos estudos foram realizados na região, a partir da década de 60, mesmo com pequena disponibilidade de tecnologias para análise sismoestratigráfica. Com as ferramentas disponíveis hoje em dia (sísmica 2D e 3D, estratigrafia de sequências, modelagem geológica, etc.), novas descobertas podem ser feitas nos próximos anos.

No presente trabalho, serão estudadas as sequências transicional e drifte da Bacia de Almada, a partir de dados de poço e de sísmica 2D, onde ocorrerá a junção das interpretações dos dados com a ferramenta da estratigrafia de sequências como linha de raciocínio para o

entendimento da história de deposição das rochas que compõem o registro geológico local.

1

Geologia da Bacia de Almada

1.1 Formação do Atlântico Sul

As bacias das margens Leste, Sudeste e Equatorial incluem várias bacias, dentre as quais podem ser citadas as de Pelotas e Campos, passando pelas Bacia de Almada, Camamu, Sergipe-Alagoas e Pernambuco-Paraíba, de acordo com Chang (1974), ocupando a planície costeira, plataforma continental e talude da porção oeste do Oceano Atlântico Sul. Foram originadas a partir da separação entre os continentes Sul-americano e Africano, como parte do processo de fragmentação do Supercontinente Gondwana, iniciado no Triássico, com a implantação de riftes no Atlântico Central. O evento de implantação desse sistema de riftes, também conhecido como a Reativação Wealdeniana (Almeida 1967 apud Zalán 2004), foi em parte controlado pelas estruturas impressas no embasamento durante a Orogenia Brasileira ou Pan-Africana (Almeida et al. 1977; Almeida et al. 2000). Na região do Atlântico Sul, o processo de abertura foi iniciado no Neojurássico, com a instalação dos primeiros riftes na costa da Argentina (intervalo de 170 a 120 Ma da Figura 2.1; Urien e Zambrano 1996 apud Almeida e Carneiro 2004). Nessa região, a crosta oceânica foi implantada no Eocretáceo, deslocando o sistema de riftes para norte do Lineamento vulcânico de Florianópolis (Asmus 1984) até a Sub-bacia de Alagoas.

A estratigrafia geral, do Jurássico até o Cretáceo, das bacias da margem do Leste Brasileiro, pode ser representada por cinco megassequências: continental, evaporítica transicional, plataforma carbonática rasa, transgressiva marinha e regressiva marinha (Ponte, 1978). A figura 1.1 abaixo mostra um resumo de todas as megassequências que serão analisadas.

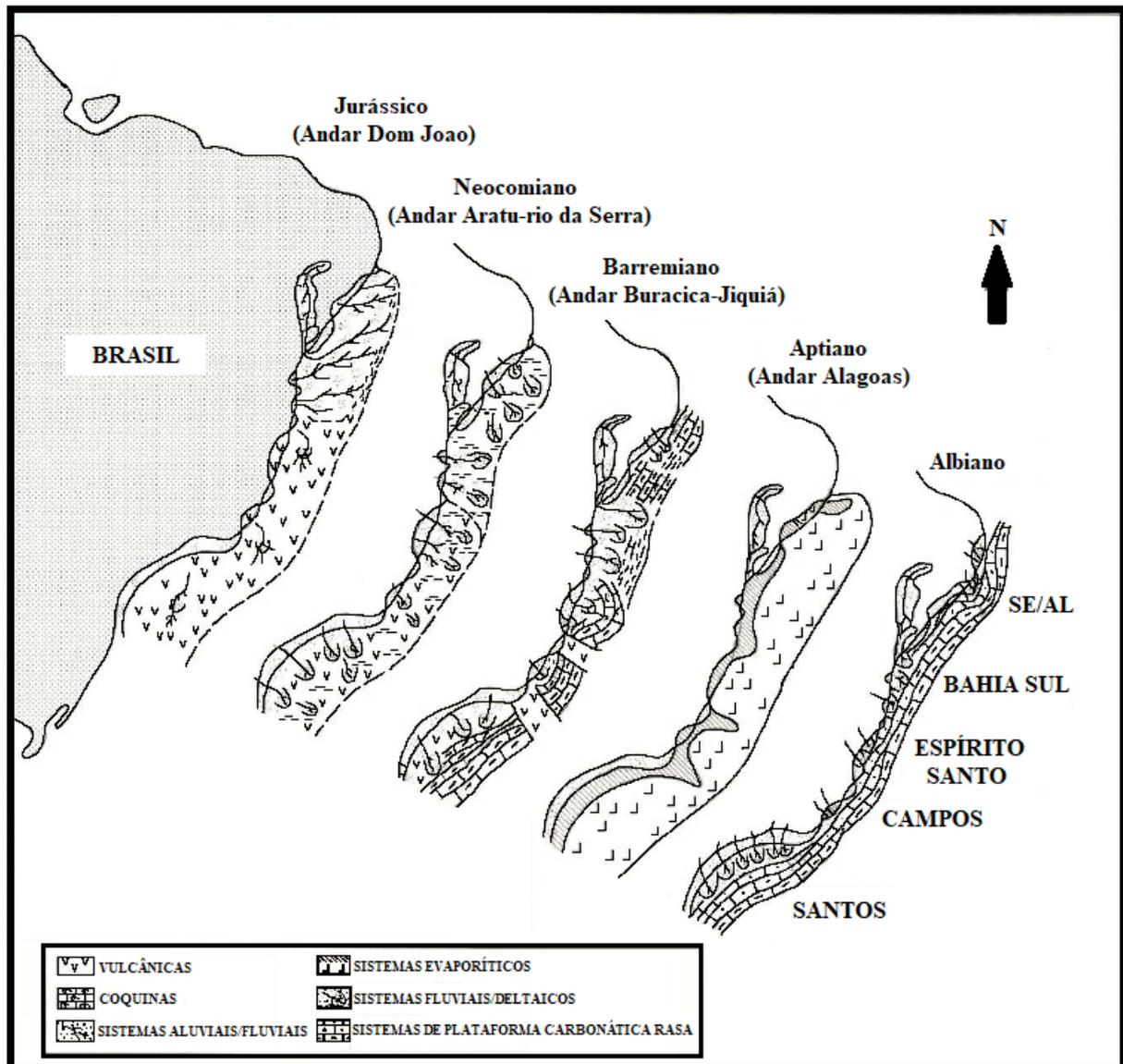


Figura 1.1: Reconstruções paleogeográficas para as seqüências sin-rifte (I, II e III) e as megasseqüências evaporítica transicional e plataforma carbonática rasa (Modificado de Chang (1990))

1.1.1 Megasseqüência Continental

Formada por três seqüências que, em conjunto, formam a chamada seqüência rifte ou seqüência sin-rifte, sendo a primeira seqüência, denominada sin-rifte I, foi pouco afetada por falhamentos, enquanto as outras duas seqüências, sin-rifte II e III, foram intensamente falhadas.

- **Sin-rifte I** - Durante o Jurássico (Andar Dom João ou Volgiano), duas áreas separaram-se como consequência do processo inicial de ruptura do continente Gondwana. Ao norte da Bacia do Espírito Santo, uma enorme depressão foi formada, conhecida como a Depressão Afro-Brasileira (Ponte, 1971), que logo foi preenchida por um complexo de

leques fluviais de clima árido e depósitos grosseiros fluviais com quantidade restrita de evaporitos, representando ambientes locais de playas, juntamente com depósitos eólicos. Ao sul da Bacia do Espírito Santo ocorreu uma sequência vulcânica, como ocorre na Bacia do Baixo do Rio Congo no Zaire.;

- **Sin-rifte II** - Ocorreu durante o Cretáceo Inferior, gerando uma série de meio-grábens, rapidamente subsidentes, ao longo de toda a margem. Ao norte, formou-se uma série de lagos profundos e estratificados com clásticos flúvio-deltaicos, além de calcarenitos relacionados a inundações episódicas. Ao sul, o vulcanismo foi bastante acentuado (Ponte e Asmus, 1978). Com o tempo, os lagos se tornaram progressivamente mais rasos e os eventos vulcânicos menos marcantes. Os lagos ao norte foram preenchidos por pacotes de clásticos flúvio-deltaicos e ao sul a sedimentação passou a se caracterizar por rochas lacustres de textura fina associadas com clásticos vulcânicos;
- **Sin-Rifte III** - Esta sequência, depositada durante o Barremiano, é caracterizada pela presença de coquilhas de grande extensão e continuidade lateral, intercaladas com siliciclásticos grosseiros a finos, formando, de acordo com Bertani (1984), depósitos de ambientes do tipo playa e lagos de clima úmido.

1.1.2 Megassequência Transicional Evaporítica

Depositada durante o Aptiano, é composta por sedimentos considerados de transição entre ambientes continentais e marinhos. Foi depositada durante uma ampla discordância pós-rifte (que, no presente trabalho, será chamada de DPR), responsável pela peneplanização geral da topografia modelada pela sequência rifte. Essa superfície foi coberta por clásticos grosseiros derivados das terras altas adjacentes, e gradualmente inundada por água salgada proveniente do oceano. Uma pequena passagem do mar evaporítico formou-se ao longo de toda a margem do Leste Brasileiro ao norte da Bacia de Pelotas e culminou na deposição de uma suíte completa de evaporitos.

1.1.3 Megassequência Carbonática de Plataforma Rasa

Ocorreu durante o Albiano, quando a estreita passagem marinha para os evaporitos do Aptiano permitiu a formação de uma extensa plataforma carbonática de alta energia, composta por calcários de água rasa. Ao longo da antiga linha de costa Albiana, sistemas clásticos do tipo fan-delta foram desenvolvidos e se intercalaram com rochas carbonáticas.

1.1.4 Megassequência Marinha Transgressiva

No fim do Albiano, a sequência de carbonatos de alta energia deu lugar a uma sequência de baixa energia, composta por calcilitos, margas e folhelhos, depositados a partir de ambiente mais profundo.

1.1.5 Megassequência Marinha Regressiva

Composta por um grupo de sistemas deposicionais, como fandeltas, plataforma carbonática, talude e bacia, gerando um padrão progracional, onde dominam os sistemas siliciclásticos a sul e plataformas carbonáticas a norte. Algo interessante a notar é que o sistemas de águas profundas vão sofrendo sensíveis diferenças seguindo do sul ao norte: na Bacia de Campos, por exemplo, existem extensos corpos turbidíticos de areia, ficando mais pobres em areias, passando pela Bacia de Almada, chegando na Bacia de Sergipe-Alagoas.

1.2 Bacia de Almada

A bacia de Almada pertence ao conjunto de bacias da margem continental brasileira. Sua evolução possui um padrão sistemático bem definido, compreendendo primeiramente uma sequência continental, passando por uma fase transicional comumente evaporítica e, finalmente, evoluindo para uma sequência marinha (transgressiva e depois regressiva). Está localizada na costa leste brasileira, limitada pelos paralelos 14°15' e 15°S, tratando-se de um polígono que ocupa uma área de aproximadamente 7500km². De acordo com Gontijo (2007), limita-se a norte com a Bacia de Camamu (sendo que este limite ainda é objeto de discussão) pelo Alto de Taipus, identificado em águas rasas; a sul, com a Bacia de Jequitinhonha, pelo alto do embasamento conhecido como Alto de Olivença; a oeste, com o embasamento pré-cambriano, através de falhas normais, sendo a principal delas a Falha de Aritaguá; e a leste a bacia se prolonga até atingir a cota batimétrica de 3000 metros. A figura 1.1 mostra a localização da Bacia de Almada.

Alguns autores consideram que a Bacia de Almada é parte integrante da Bacia de Camamu-Almada, como Ferreira (2009), que sugere que elas se encontrem seccionadas pela chamada Zona de Acomodação Taipus-Mirim (ZATM). Outros autores, que também tratam a Bacia de Camamu-Almada como única, consideram que a ZATM seja apenas uma feição estrutural que não delimita partes de uma mesma bacia ou as bacias separadamente, como mostrada na figura 1.3. Neste trabalho, a Bacia de Almada será considerada como única para análise.

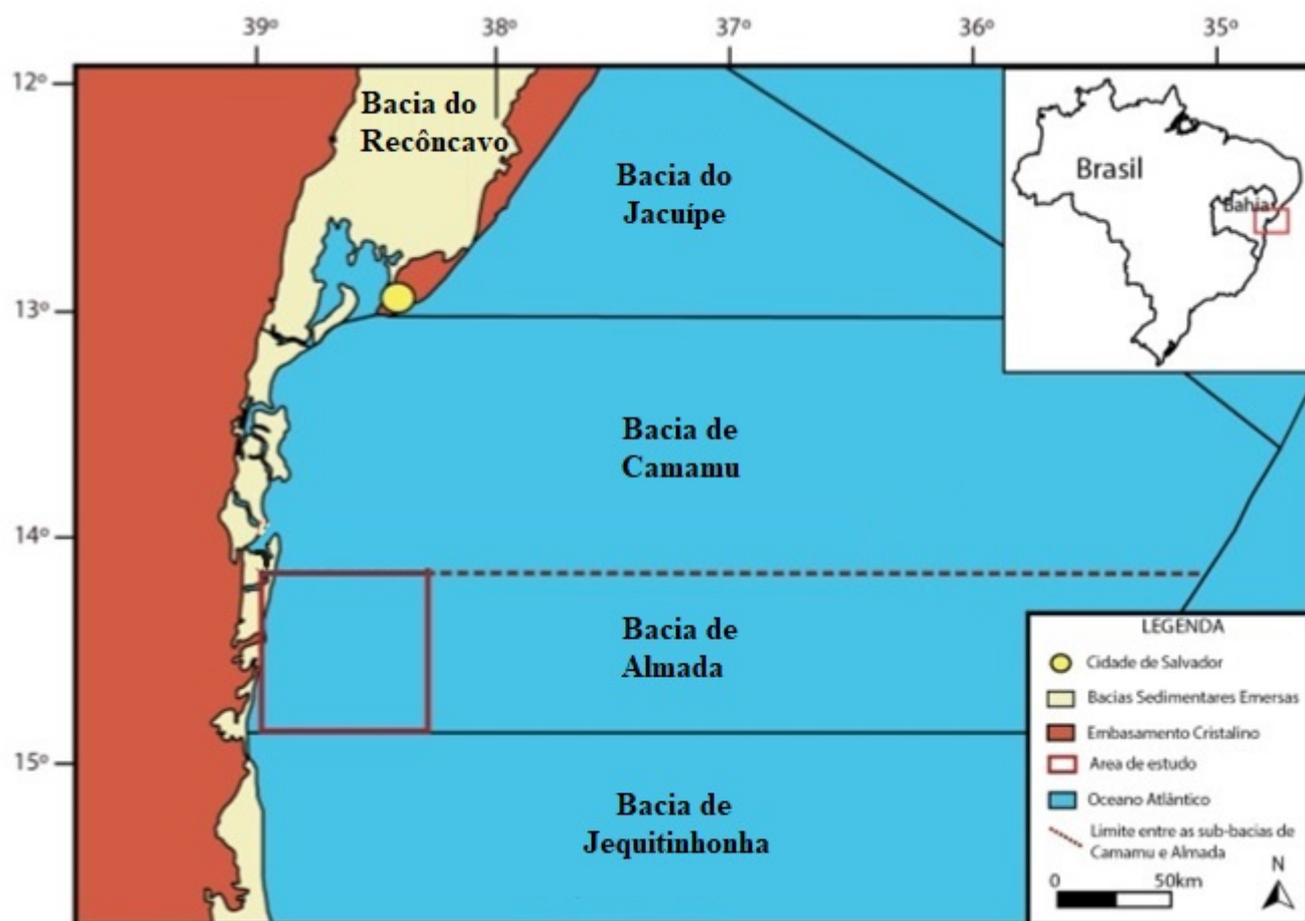


Figura 1.2: Localização da Bacia de Almada, onde a região dentro do retângulo vermelho constitui-se na área de estudo. Fonte: (Brandão., 2017)

A configuração estrutural da Bacia de Almada é típica de uma bacia de margem passiva, que evoluiu após um estágio inicial de estiramento, até a fragmentação do Supercontinente Gondwana, durante o Eocretáceo. Está relacionada a duas fases de subsidência distintas: rifte e termal. A primeira ocorre durante a fase de fraturamento do Gondwana (tafrogenese), relacionado à extensão litosférica (Chang e Kowsmann 1987), responsável pela configuração do arcabouço estrutural da bacia. A arquitetura básica do estágio rifte é de grábens, horsts e principalmente meio-grábens (Ojeda, 1983), com falhas normais de direção NE-SW, estendendo-se até a crosta oceânica. Subsequentemente ocorre a fase de subsidência termal, devido ao resfriamento da anomalia térmica produzida durante a extensão crustal (Chang e Kowsmann, 1987).

Falhas normais sintéticas e antitéticas de direção N-S aproximadamente dividem a Bacia de Almada em três compartimentos estruturais (Netto e Sanches 1991): oeste, central e leste. O compartimento oeste estende-se por praticamente metade da área emersa da bacia, sendo limitado a leste pela falha do Apipique. Entre as falhas do Apipique e de Aritaguá, está o

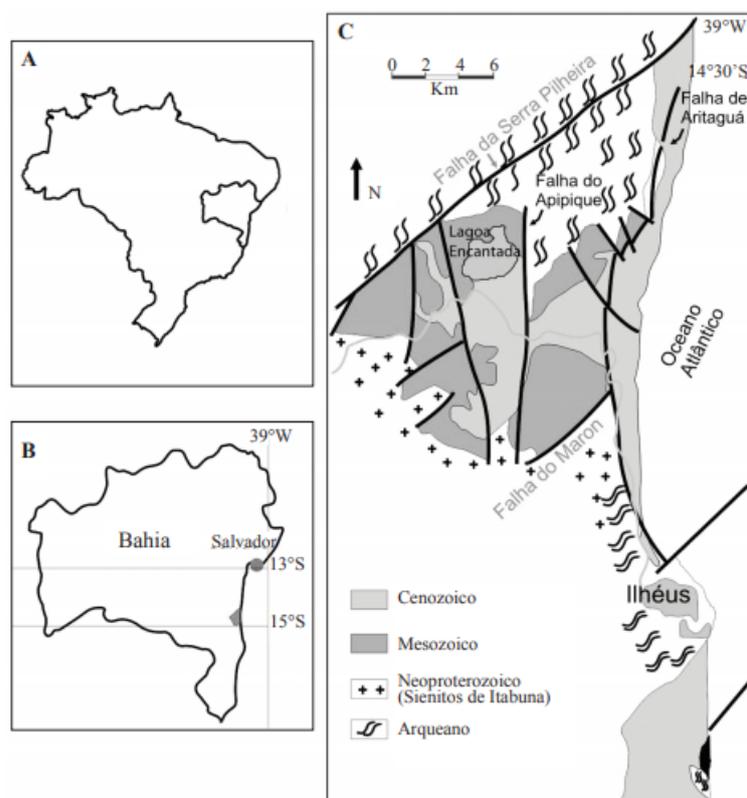


Figura 1.4: Principais feições estruturais associadas à Bacia de Almada. Área de estudo destacada pelo polígono vermelho. Fonte: Ferreira et. al.(2009)

O intervalo de estudo abrange as sequências transicional e drifte da Bacia de Almada. Essas formações depositadas distribuem-se entre o Coniaciano e o Holoceno, compondo um sistema transgressivo e posteriormente regressivo (figura 1.5), de acordo com Netto (1991)

A seguir, será feita uma análise geral da Bacia de Almada, com uma descrição das sequências sedimentares de cada estágio, além de suas respectivas unidades litoestratigráficas, baseada na carta estratigráfica proposta por Gontijo (2007).

- **Embasamento** - As rochas mais antigas do embasamento são de idade neo-arqueana, compostas por gnaisses, rochas máficas e ultramáficas pertencentes ao Orógeno Itabuna-Salvador-Curaçá;
- **Sequência Pré-Rifte** Esse estágio de evolução tectono-sedimentar ocorre entre o Neojurássico e o Eocretáceo, composto por esforços extensionais, gerados a partir da ascensão de plumas mantélicas, que foram responsáveis por uma flexura continental do paleocontinente Gondwana, também denominada de Depressão Afro-Brasileira, de acordo com Cainelli (2003). A partir disso, iniciou-se a deposição de uma significativa sequência sedimentar, compostos por arenitos fluviais e folhelhos lacustres das Formações Sergi, de idade Jurássico Superior, e Itaípe, do Cretáceo Inferior, ambas

pertencentes ao Grupo Brotas;

- **Sequência Rifte** Drifte desenvolveu-se no Cretáceo Inferior (Andar Rio da Serra ao Alagoas Inferior), entre o Barremiano e o Aptiano, e apresenta-se fragmentada, devido à interação contínua entre as plumas mantélicas oriundas do manto superior e a crosta continental do Gondwana, apresentando assim falhas normais de alto ângulo de mergulho e grandes rejeitos, gerando um significativo espaço de acomodação, permitindo a geração de lagos profundos. Assim, foi dominante a deposição de sedimentos finos, como argilas e areias finas, além de areias médias a grossas oriundas de eventos de fluxos gravitacionais, pertencentes à Formação Morro do Barro, além de conglomerados e leques aluviais próximos à região de borda falhada, pertencentes à Formação Rio de Contas, e depósitos flúvio-deltaicos na margem de lagos continentais, representados pela Formação Taipus-Mirim;
- **Sequência Transicional ou Pós-Rifte** A megassequência transicional, de idade aptiana (Andar Alagoas), marca a separação definitiva do Gondwana, de acordo com Gamboa (2008), que resulta no fim do rifteamento, iniciando-se, assim, a fase de subsidência térmica da bacia, em detrimento à subsidência mecânica. Nesta fase ocorrem as primeiras incursões marinhas na bacia, iniciando assim o estabelecimento de um ambiente marinho proximal, de acordo com Gontijo (2007). É marcada por extensas áreas ocupadas por domos de sal em regiões de águas profundas, sendo que estes domos tem uma presença restrita em regiões mais proximais. É associada às sequências evaporíticas do Membro Igrapiúna e sobrepostas aos carbonatos e siliciclásticos continentais do Membro Serinhaém, que compõem a Formação Taipus-Mirim; e
- **Sequência Pós-Rifte ou de Margem Passiva** A megassequência pós-rifte marca o início da sedimentação marinha na bacia, com uma sequência transgressiva e outra regressiva. No Albiano formou-se uma plataforma carbonática rasa, com deposição dos calcarenitos e calcilutitos da Formação Algodões, que gradam para margas e folhelhos na direção da bacia. A partir do Cretáceo Superior, em ambiente marinho, depositou-se a Formação Urucutuca, composta de folhelhos de talude e raros arenitos. A partir do Eoceno, ocorrem fácies litorâneas e plataformais progradantes, que correspondem às areias da Formação Rio Doce e calcários da Formação Caravelas. Na região emersa da bacia, ocorrem registros esparsos da Formação Barreiras, de origem aluvial e idade terciária a quaternária.

2

Aspectos Teóricos

2.1 Introdução

A estratigrafia é uma ciência geológica que estuda os tratos rochosos, bem como seus atributos físicos, de acordo com a sua gênese e disposição temporal. Tal definição contempla todos os tipos de rochas (sedimentares, ígneas e metamórficas), onde o estratígrafo tem a responsabilidade de descrever a sucessão de rochas, e assim interpretar sua origem. A interpretação é baseada em diversos fatores, por exemplo, a litoestratigrafia utiliza como principal fator o aspecto litológico das rochas, separando-as em conjuntos que diferem em granulometria e/ou composição mineral. Entretanto, existem diversas outras maneiras de interpretar e classificar os estratos rochosos, entre elas a: cronoestratigrafia, bioestratigrafia, pedoestratigrafia, aloestratigrafia, dentre outros. Contudo, elas utilizam de características determinísticas das rochas, sem abordar diretamente o contexto geológico do ambiente que as formou.

Com o advento da sedimentação episódica, (Hsü, 1983) e (Dott, 1983), o conceito da estratigrafia de sequências, representando uma revolução no meio geocientífico, foi fortemente embasado na estratigrafia formal porém muito mais aplicável aos modelos universais. O novo modelo permite dividir o preenchimento de uma bacia sedimentar em pacotes (sequências deposicionais) geneticamente relacionados e delimitados pelas discordâncias e concordâncias relativas; portanto, diferente do modelo anterior, a estratigrafia de sequências visa a compreensão dos fatores que influenciam na sedimentação (clima, tectônica e eustasia), e assim descrever a história de deposição dos estratos rochosos presentes numa região.

2.2 Unidades Sedimentares

Mesmo o novo modelo de estratigrafia apresenta como base conceitual a análise de litofácies, pois é a partir dela que se é inferido os sistemas deposicionais e seus agrupamentos genéticos. Posteriormente a uma análise de fácies sedimentares (conhecida como a unidade sedimentar básica fundamental) é que o estratígrafo passa a ter um caráter mais interpretativo a respeito dos mecanismos de controle do preenchimento sedimentar de uma bacia, diferente do caráter apenas descritivo das formações na "antiga estratigrafia".

A partir do conjunto de fácies sedimentares é que são obtidos as demais unidades sedimentares, analisado para cada uma delas o padrão de empilhamento. Cada unidade sedimentar tem sua abrangência espacial e temporal, onde quanto menor a ordem da unidade, maior será essa abrangência, ou seja, uma seqüência deposicional constitui uma espessura de sedimentos, bem como um tempo de formação, muito maior do que uma parasseqüência (exemplificando em magnitudes, uma seqüência deposicional pode representar alguns milhares de metros de espessura que foram formados durante milhões de anos, enquanto que parasseqüências não ultrapassam dezenas de metros formados num período de dezenas de milhares de anos). Como resumo, a figura 2.1 esquematiza a hierarquização das unidades sedimentares.

Ordem	Registro geológico	Duração em anos (a)	Principal mecanismo controlador	Área de aplicação
1 ^a	Bacia - Preenchimento	50-200 Ma	Tectônica global	Mapeamento regional
2 ^a	Megasseqüências	5-50 Ma	Tectônica e eustasia	de bacias (Estratigrafia)
3 ^a	Seqüência deposicional	0,1-5 Ma	Tectônica e eustasia	Mapeamento em escala
4 ^a	Parasseqüência	10-100 ka	Ciclos climáticos (Milancovitch)	semiregional, de porções
5 ^a	Parasseqüência	1-10 ka		de uma bacia (Estratigrafia)
6 ^a	Sistema deposicional	até 10 ka	Mudanças alo/autocíclicas no ambiente deposicional	Mapeamento local, caracterização de reservatórios (Sedimentologia)
7 ^a	Elemento arquitetônico e sucessão/associação de fácies			
8 ^a	Fácies	horas/dias/anos		

Figura 2.1: Quadro comparativo da hierarquização das unidades sedimentares (modificado de Holz,2012).

2.3 Variáveis que controlam a sedimentação

Hiatos deposicionais, eventos catastróficos e mudanças climáticas são alguns exemplos de fatores que deixam "marcas" no registro sedimentar de uma bacia, pois interfere no conjunto entre clima, tectônica e eustasia, responsável pelo controle da sedimentação. Tal controle passa pelo conceito de nível de base, que influencia na relação entre aporte sedimentar e espaço de acomodação.

Simplificadamente, em fases de nível de base alto, existe muito espaço para ser preenchido pelo sedimento suprido; o contrário ocorre em nível de base baixo. Tais processos resultam, respectivamente, nas transgressões e regressões. No caso de nível de base alto, o sedimento não chega a se distribuir por toda a bacia, ficando confinado nos ambientes continentais e junto à linha de costa. Se o nível de base continua subindo, aumenta-se o espaço de acomodação, e assim a linha de costa se retrai gradativamente, configurando uma transgressão.

No caso das bacias brasileiras de margem leste passiva, cada estágio de sua evolução tectono-sedimentar é controlado por um fator principal diferente, como por exemplo, na fase rifte das bacias o fator mais importante é a tectônica, enquanto que na fase drifte, a eustasia assume a maior importância. A Figura 2.2 mostra um modelo esquemático de todos os estágios da evolução de uma bacia de margem passiva, elucidando os fatores principais na sedimentação.

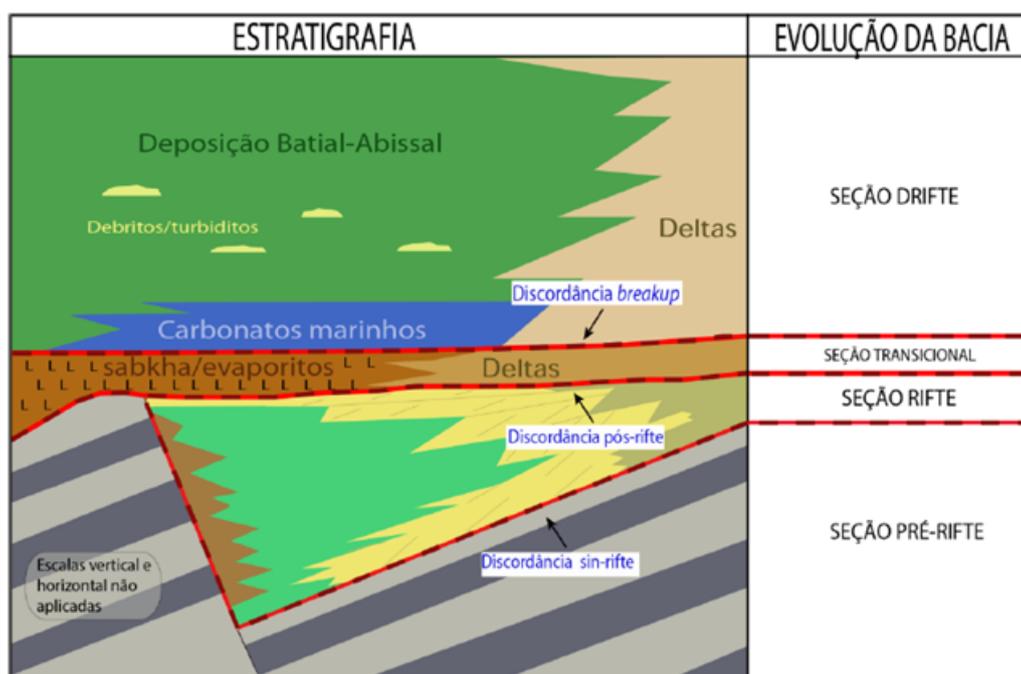


Figura 2.2: Modelo esquemático de evolução de uma bacia de margem passiva com seus respectivos estágios, litologias, mecanismos controladores e fatores principais de sedimentação. Fonte: (Holz, 2017)

2.4 Tratos de Sistemas Geométricos

Um conjunto de parassequências (introduzido por Van Wagoner et. al. (1988)) com um mesmo padrão de empilhamento, determina um trato de sistemas geométrico (termo proposto por Thorne e Shift (1991)). O trato reúne um padrão de parassequências que pode ser

progradacional, retrogradacional ou agradacional com relação à linha de costa, apresentando, portanto, um arranjo de fácies característico e uma geometria de empilhamento específica para cada trato de sistemas (vide Fig. 2.3). O avanço dos sedimentos em relação à linha de costa é influenciado principalmente pelas variações do nível de base, contudo, não é um indicador direto para sua avaliação, e sim sua relação com o aporte sedimentar; por exemplo, se num período geológico o mar transgride sobre a linha de costa, entretanto, o volume de sedimentos supera o espaço criado, ocorrerá então uma progradação (mecanismo que ocorre nos chamados tratos de sistemas de nível baixo e de nível alto na estratigrafia de sequências clássica).

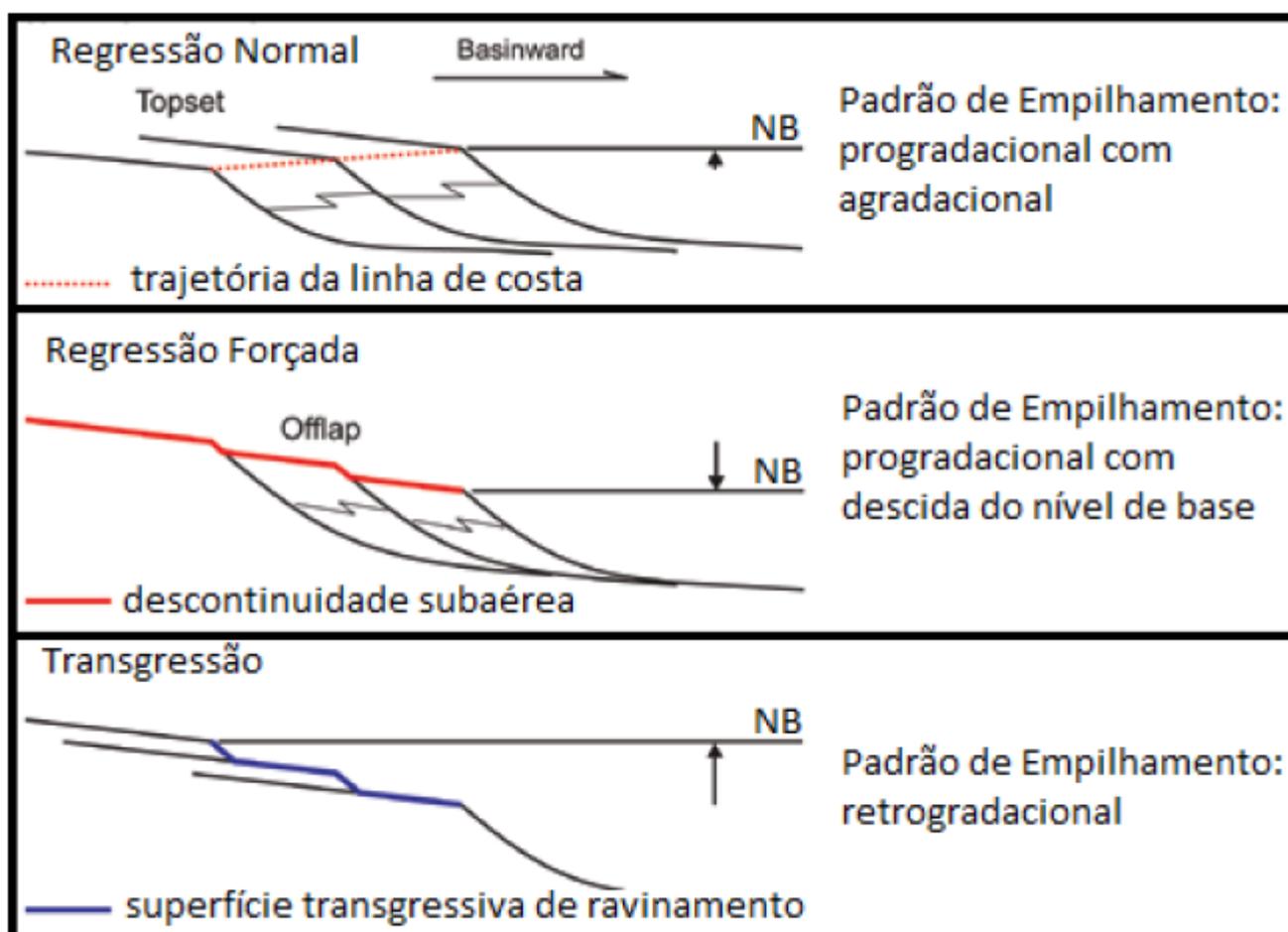


Figura 2.3: Padrão de empilhamento estratal de acordo com a relação entre o nível de base (NB) e aporte sedimentar (modificado de Catuneanu, 2006).

O modelo da estratigrafia de sequências clássica, aplicável com sucesso nas bacias de margem passiva, contempla quatro principais tratos de sistemas geométricos na composição de uma sequência deposicional, limitada entre duas superfícies de discordância. São eles:

- Trato de sistemas de nível baixo

- **Trato de sistemas transgressivo**
- **Trato de sistemas de nível alto**
- **Trato de sistemas de regressão forçada**

Na Fig. 2.4 segue uma curva da variação do nível de base ao longo do tempo, identificando os respectivos tratos de sistemas geométricos, dentro de um ciclo que determina uma sequência sedimentar.

Basicamente, a sequência sedimentar se inicia com depósitos progradantes num trato de sistemas de nível baixo (TSNB), repousando sobre a superfície discordante, até que o sistema se torne retrogradacional, ou seja, o mar transgride e o espaço de acomodação se torna superior ao aporte sedimentar, o que resulta no trato de sistemas transgressivo (TST), que se encontra imediatamente após a superfície regressiva máxima (SRM). Quando o mar atinge as maiores distâncias sobre a costa, forma-se então a chamada superfície transgressiva máxima (STM) da sequência, e sobre o ela repousam os depósitos progradantes do trato de sistemas de nível alto (TSNA). Ao demonstrarem uma inconsistência no modelo clássico, quando se assumia apenas os três tratos de sistemas anteriores, Thorne e Shift (1991) trouxeram a ideia do trato de sistemas de regressão forçada (TSRF) que, de uma maneira geral, ocorre em regime de mar regressivo, onde o espaço de acomodação diminui drasticamente em relação ao aporte sedimentar. Os depósitos deste último trato encontram-se sobre a superfície basal de regressão forçada (SBRF), que na parte mais proximal coincide com a discordância limite da sequência, contudo na parte mais distal, iniciando aproximadamente na primeira terminação estratal superior, eles divergem, contornando o TSRF.

2.5 Noções de Sismoestratigrafia

A sismoestratigrafia, definida primeiramente por Vail et al. (1977), utiliza a ferramenta da estratigrafia de sequências para interpretação de dados sísmicos, tendo em vista que as reflexões sísmicas e suas respectivas terminações estratais permitem a aplicação direta de conceitos geológicos baseados em uma estratigrafia física. Através de tal interpretação é possível a localização de sequências deposicionais nas seções sísmicas, e juntamente com informações geológicas da área e dados fornecidos por perfilagem de poços, ou ainda outros perfis geofísicos (como gravimetria, magnetometria, condutividade, etc.), permitem mapear as camadas e feições presentes em subsuperfície, e assim identificar possíveis estruturas que concebem o armazenamento de hidrocarbonetos.

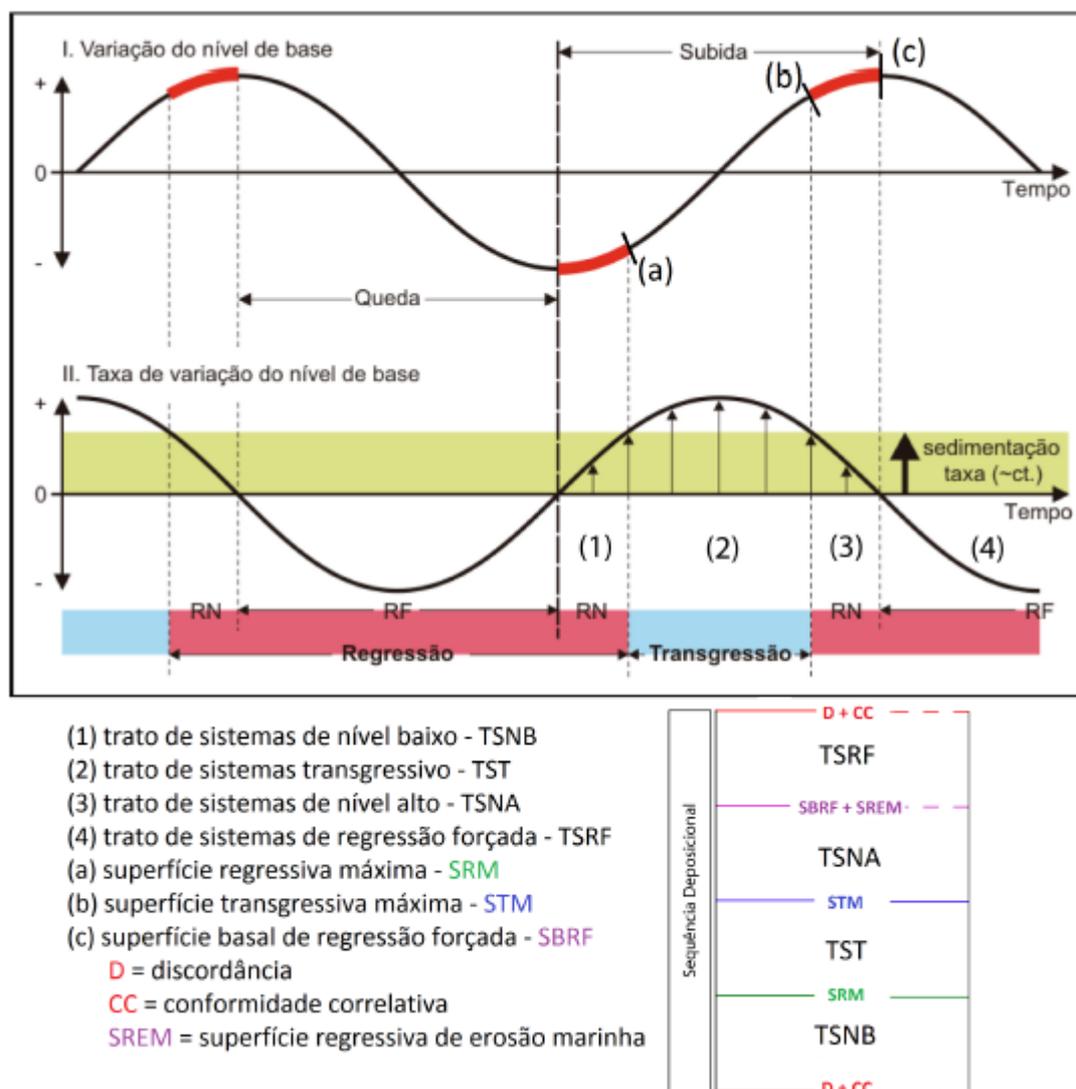


Figura 2.4: Conceitos de transgressão, regressão normal (RN) e regressão forçada (RF), definidos como a interação entre mudanças no nível de base e a taxa de sedimentação (modificado de Catuneanu, 2006).

As terminações de refletores configuram um dos primeiros parâmetros a serem analisados na interpretação sísmica, sendo fundamental na definição dos limites de uma sequência deposicional, bem como das superfícies que limitam tratos de sistemas geométricos, já que eles são correlacionáveis com as terminações estratigráficas, ou seja, na imagem sísmica representam o padrão dos estratos geológicos locais. Tradicionalmente como definido pela escola da Exxon no *Memoir 26* (Payton, 1977) e discutido por Vail (Bally, 1987), as terminações são onlap, downlap, toplap e truncamento erosivo, como mostrado na figura 2.5.

Outro critério a ser analisado na sismoestratigrafia é referente ao padrão dos refletores, levando em consideração principalmente a intensidade de sua amplitude, continuidade e disposição. Tais critérios configuram o chamado estudo das fácies sísmicas (ou sismofácies),

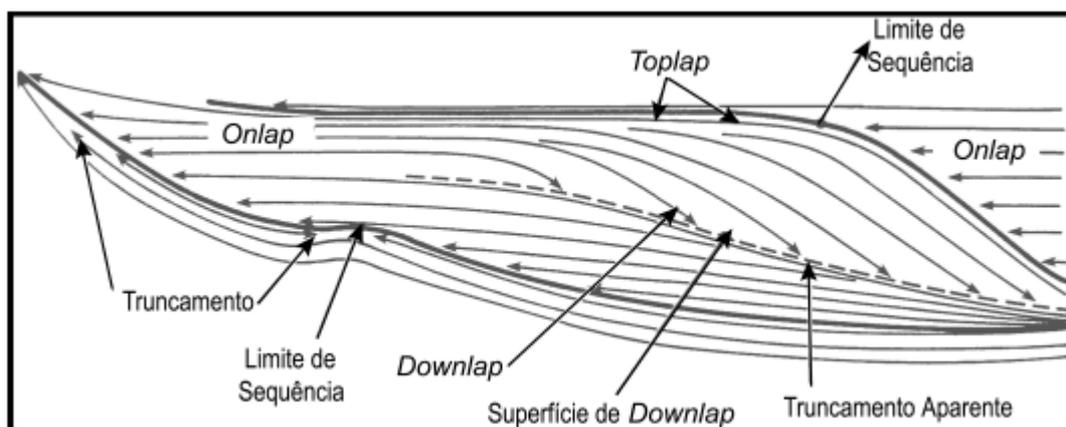


Figura 2.5: Principais terminações de refletores. Fonte: Vail e Mitchum (1977).



Figura 2.6: Configurações internas de sismofacies. Modificado de Vail et. al.(1977).

onde exemplos de classificações de configurações internas são ilustradas na Figura 2.6.

A seguir, é exibido um resumo dos conceitos e aplicações das principais terminações de refletores de uma sequência deposicional:

- **Onlap** - É uma terminação estratal onde retores horizontais, terminam contra uma superfície inclinada e evidencia hiato entre as rochas acima e abaixo da superfície marcada. Geralmente encontrado na base dos pacotes estratigráficos, representam a sedimentação desenvolvida durante a subida do nível de base após a geração do limite de sequências, representando dessa forma eventos transgressivos;
- **Downlap** - É uma terminação estratal na qual refletores inclinados terminam sobre uma superfície inclinada ou não com um ângulo maior do que o ângulo da superfície de deposição. Geologicamente, representa uma situação de progradação.;
- **Toplap** - É uma terminação estratal superior onde refletores inclinados terminam em forma hiperbólica contra uma superfície horizontal ou não que envolve não deposição/bypass sedimentar, ou seja, pouco ou nenhuma erosão. Geologicamente, trata-se de situação de progradação do trato de nível alto ou baixo em águas relativamente rasas e com baixa taxa de subsidência, típicas de bacias de margem passiva ou de bacias intracratônicas.;
- **Truncamento Erosivo** - É uma superfície erosiva que claramente envolve basculamento e/ou erosão dos estratos. Geologicamente, reflete a resposta da sedimentação a uma queda acentuada do nível de base, seguido de erosão.

A partir desta ferramenta, juntamente com informações geológicas complementares, é possível mapear feições situadas em subsuperfície, inferir padrões deposicionais, reconhecer fácies, agrupar em tratos, delimitar superfícies genéticas e definir sequências deposicionais.

Embora as terminações sejam uma ferramenta útil, elas são muito bem aplicadas quando não se tem uma tectônica pós-deposicional presente na bacia. Nesses casos, é difícil distinguir a relação estratigráfica original, por exemplo, um downlap pode ser confundida com onlap. Outro fator que contribui de forma negativa para o mapeamento das terminações, embora seja um problema inerente apenas ao dado 2D é a direção em que a linha sísmica é feita em relação a direção de deposição, isto é, se dip, ou strike pois um onlap claro em uma linha dip possivelmente não aparecerá na strike.

Demarcadas as terminações estratais, são mapeadas as superfícies sísmicas ou superfícies de onlap, downlap, truncamento ou discordância e toplap sendo feita a individualização das sequências sísmicas com posterior agrupamento em sequências deposicionais. Uma análise mais rigorosa pode ser feita para segmentar as sequências em tratos de sistemas conforme o modelo clássico (bacias de margem passiva).

Em uma análise mais específica o intérprete sísmico poderá avaliar qualitativamente cada

sequência em termos de fácies sísmicas, isto é, amplitude, continuidade, frequência do sinal, e também a forma com que determinadas feições aparecem. Essa segmentação em fácies permite associar a determinados sistemas deposicionais que estejam presentes no contexto da bacia. Um melhor resultado pode ser conseguido quando se calibra determinadas fácies, ou sejam, suas propriedades com informações litológicas ou interpretações já estabelecidas com base em poços.

Após a delimitação das sequências deposicionais e dos tratos geométricos, o próximo aspecto que deve ser observado na sismoestratigrafia refere-se a fácies sísmicas, que representa o padrão de configuração dos refletores sísmicos, considerando os parâmetros de intensidade da amplitude, continuidade e frequência representados na figura 2.7 (Veeken, 2007). Cada parâmetro pode estar relacionado a alguma variação geológica e a análise de cada um permite a realização de certas interpretações. A amplitude, por exemplo, indica contrastes de impedância acústica que geologicamente se referem à velocidade-densidade das rochas da sucessão estratigráfica. A continuidade dos refletores, por outro lado, pode refletir o padrão de acomodação dos depósitos. Por fim, a frequência sísmica pode indicar a variações litológicas verticais.

PARÂMETROS DE REFLEXÃO E OS RESPECTIVOS SIGNIFICADOS GEOLÓGICOS	
PARÂMETROS DAS SISMOFÁCIES	INTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA
CONFIGURAÇÃO DOS REFLETORES	<ul style="list-style-type: none"> • PADRÕES DE ACOMODAÇÃO • PROCESSOS DEPOSICIONAIS • CONTATOS COM FLÚIDOS • EROSIÃO E PALEO TOPOGRAFIA
CONTINUIDADE DOS REFLETORES	<ul style="list-style-type: none"> • CONTINUIDADE DAS CAMADAS • PROCESSOS DEPOSICIONAIS
AMPLITUDE DOS REFLETORES	<ul style="list-style-type: none"> • CONTRASTE DE VELOCIDADE-DENSIDADE • ESPAÇAMENTO ENTRE AS CAMADAS • PRESENÇA DE FLÚIDO
FREQÜÊNCIA DOS REFLETORES	<ul style="list-style-type: none"> • ESPESSURA DA CAMADA • PRESENÇA DE FLÚIDO
INTERVALO DE VELOCIDADE	<ul style="list-style-type: none"> • INDICAÇÕES DA LITOLOGIA • ESTIMATIVA DA POROSIDADE • PRESENÇA DE FLÚIDO
FORMA EXTERNA E ASSOCIAÇÃO DE SISMOFÁCIES	<ul style="list-style-type: none"> • AMBIENTE DEPOSICIONAL • ÁREA FONTE DE SEDIMENTOS • CONTEXTO GEOLÓGICO

Figura 2.7: Parâmetros de reflexão de sismo fácies e seus respectivos significados geológicos. Fonte: Mitchum et al. (1977) *apud* Veeken (2007)

3

Metodologia

A metodologia do projeto passa pelas etapas convencionais de uma interpretação sismoestratigráfica de linhas sísmicas 2D, interpretação de perfis geofísicos e posterior análise sismoestratigráfica da Bacia de Almada, dando uma às seções transicional e drifte da bacia.

Inicialmente os dados foram organizados e submetidos a um controle de qualidade, para serem posteriormente carregados no software de interpretação sísmica. Os perfis geofísicos do poço, especialmente os de raios gama, foram interpretados sob a óptica da estratigrafia de sequências, assim como a interpretação sísmica realizada em seguida. A interpretação sismoestratigráfica foi também auxiliada pela análise de atributos sísmicos do traço complexo, e com as interpretações feitas sobre os dados de poços, através da correlação sísmica-poço realizada com a confecção de sismogramas sintéticos. As superfícies demarcadas na interpretação ilustraram a disposição das camadas em subsuperfície da região estudada.

Através do software IHS/Kingdom, foi possível realizar a metodologia descrita, de maneira que tais softwares já se encontram em computadores disponíveis aos alunos de pós-graduação em geofísica da UFBA, nas dependências do GETA-UFBA (Grupo de Estratigrafia Teórica e Aplicada - UFBA). Os dados de linhas sísmicas e perfis de poços são públicos, fornecidos pela ANP, em parceria com o GETA, através do projeto RECAMU.

Na interpretação das seções sísmicas, primeiramente deve-se demarcar as terminações de refletores, para então delimitar superfícies estratigráficas, de modo a separar as sequências deposicionais. Integrando as informações geológicas e as de perfilagens geofísicas de poços com as superfícies estratigráficas demarcadas, deve-se então mapear as fácies sísmicas e caracterizar os possíveis sistemas deposicionais associados a cada sequência deposicional. Realizada a interpretação, e encontrando concordâncias com informações geológicas já pre-

sentes na literatura, é possível então criar modelos geológicos da região estudada.

O principal objetivo do trabalho consiste na interpretação sismoestratigráfica dos depósitos localizados na Bacia de Almada. Contudo, para tal objetivo foi necessário um mapeamento prévio das principais falhas da região, como por exemplo a Falha de Aritaguá, que já foi assunto de trabalhos anteriores, como por exemplo Adegas, Scherer e Born (2012). O mapeamento sísmico estrutural foi auxiliado pelos atributos sísmicos calculados, especialmente o TecVA, e de trabalhos feitos na região da bacia, como Gontijo et al. (2007), Carvalho et al. (1965) e Ferreira et al. (2009), entre outros trabalhos. Os critérios para a interpretação das principais feições estruturais, como a DPR e o sistema de falha serão apresentados a seguir.

3.1 Banco de Dados

Os dados sísmicos e de poços foram disponibilizados para o projeto RECAMU - Reavaliação da seção rifte da Bacia de Camamu, sob a óptica da estratigrafia de sequências e com o apoio da sismoestratigrafia. Tal projeto é desenvolvido por integrantes do GETA-UFBA, em parceria com a GEOPARK. As seções sísmicas e perfis adquiridos junto ao projeto também foram disponibilizados aos alunos de mestrado e graduação em geologia e geofísica do GETA-UFBA. O presente trabalho utilizou da interpretação de dados de 1 poço e 50 linhas sísmicas de ordem pública.

Os dados de poços adquiridos não incluíam apenas os perfis geofísicos, mas também continham arquivos gerais de poços com as informações de perfilagens, coordenadas geográficas, descrições de amostras de calha e etc. Os dados sísmicos adquiridos eram todos 2D em formato SEG-Y (padrão da Society of Exploration Geophysics).

3.1.1 Controle de Qualidade de Dados

Antes do carregamento dos dados no software de interpretação sísmica utilizado, os mesmos foram submetidos a um controle de qualidade e um tratamento das informações presentes em cada arquivo.

O controle de qualidade dos perfis digitais do poço foi realizado por observações relevantes quanto à qualidade/contabilidade dos valores registrados nos perfis geofísicos, onde, em zonas desmornadas (registrados pelo calíper) e informações ausentes de alguns perfis foram anotados. Para sintetizar as principais informações referentes à interpretação individual do poço e as curvas que ele contém, é feito um inventário que resume as profundidades mapea-

das das principais superfícies estratigráficas, os tipos de curvas perfiladas e as coordenadas geográficas.

Após a avaliação dos perfis, foi observado que alguns deles necessitavam de correção, pois apresentavam valores anômalos do padrão das curvas, especialmente em zonas desmoronadas. A correção das curvas foi auxiliada pelos perfis compostos recebidos, onde, em zonas desmoronadas, foram aplicados alguns métodos matemáticos utilizando equações) que relacionam diferentes curvas, para obter informações de trechos não perfilados e reduzir o erro médio associado a essas correções. O tratamento pode ser resumido em três etapas:

- Retirar valores incoerentes (como valores nulos, negativos ou de ordens superiores ao parâmetro avaliado);
- Avaliar quais são os trechos desmoronados ou que não foram perfilados para ver os trechos com as medidas mais confiáveis;
- Preencher os trechos não perfilados ou melhorar os desmoronados. Isso pode ser feito em intervalos onde se tenha o perfil de resistividade para que, através da equação de Faust, 1953, se obtenha as velocidades. Outra opção, é obter as velocidades através do perfil de densidade utilizando a equação de Gardner et al. (1974).

3.1.2 Linhas Sísmicas

Como primeiro procedimento após a chegada dos dados sísmicos, foi realizada uma avaliação da qualidade das amplitudes dos traços, bem como uma verificação das informações do levantamento de cada linha sísmica (contidas no header dos dados). Todos os arquivos recebidos estavam em formato SEG-Y. Para tal verificação foi utilizado o software SeisSee, bem como uma visualização das amplitudes das linhas sísmicas.

As principais informações de aquisição verificadas foram: tempo de registro, taxa de amostragem, geometria, coordenadas geográficas e o datum escolhido no levantamento. Feições que se mostraram indesejáveis (ruídos) foram avaliadas de forma subjetiva, através da visualização do padrão de amplitude dos dados, tais como: reflexões múltiplas (dobro do tempo, polaridade invertida, etc.), hipérboles de difrações e "sorrisos de migração"(efeitos de borda).

Outras informações indiretas foram inseridas, tais como se a aquisição é marinha ou terrestre e uma avaliação geral da qualidade do dado para ser interpretada posteriormente. O controle de qualidade foi importante não apenas para verificar a concordância entre os dados solicitados e os recebidos, mas também para auxiliar no carregamento dos dados no

software de interpretação sísmica, e numa posterior escolha da linha de referência para o ajuste sísmico temporal entre as linhas ("mistie analysis").

3.1.3 Carregamento dos Dados

Depois do controle de qualidade, os dados foram todos carregados no software de interpretação sísmica IHS Kingdom escolhido para a aplicação da metodologia, sendo observado o georreferenciamento para um único datum de referência (sendo escolhido o SAD-69). As linhas sísmicas encontravam-se inicialmente no formato SEG-Y, padrão definido pela Society of Exploration Geophysicists (SEG). As informações necessárias para o carregamento, como coordenadas geográficas, tempo de amostragem, entre outros, foram encontradas no *trace header*, *header* binário e *header* EBCDIC. Para a visualização dessas informações foi utilizado o software SEISSEE, como mostrado na figura 3.1.

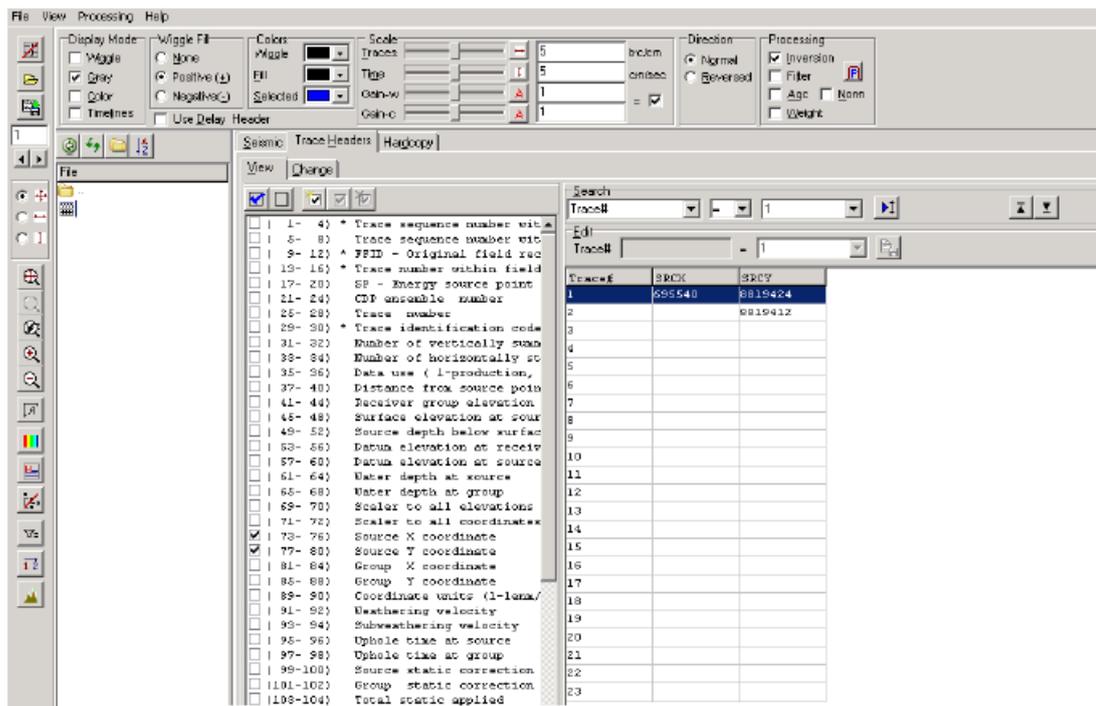


Figura 3.1: Informações do header que serão utilizadas no carregamento.

As linhas sísmicas foram inseridas logo após a verificação das informações no programa SEISSEE. Os dados de localização dos poços foram inseridas manualmente (nome, coordenadas da locação, profundidade medida, altura do Kelly Bushing), como mostra a figura 3.2 abaixo.

Os topos de formação foram criados e configurados, seguido do carregamento dos arquivos de perfis geofísicos dos poços (no formato .las). A fase de carregamento de dados foi concluída

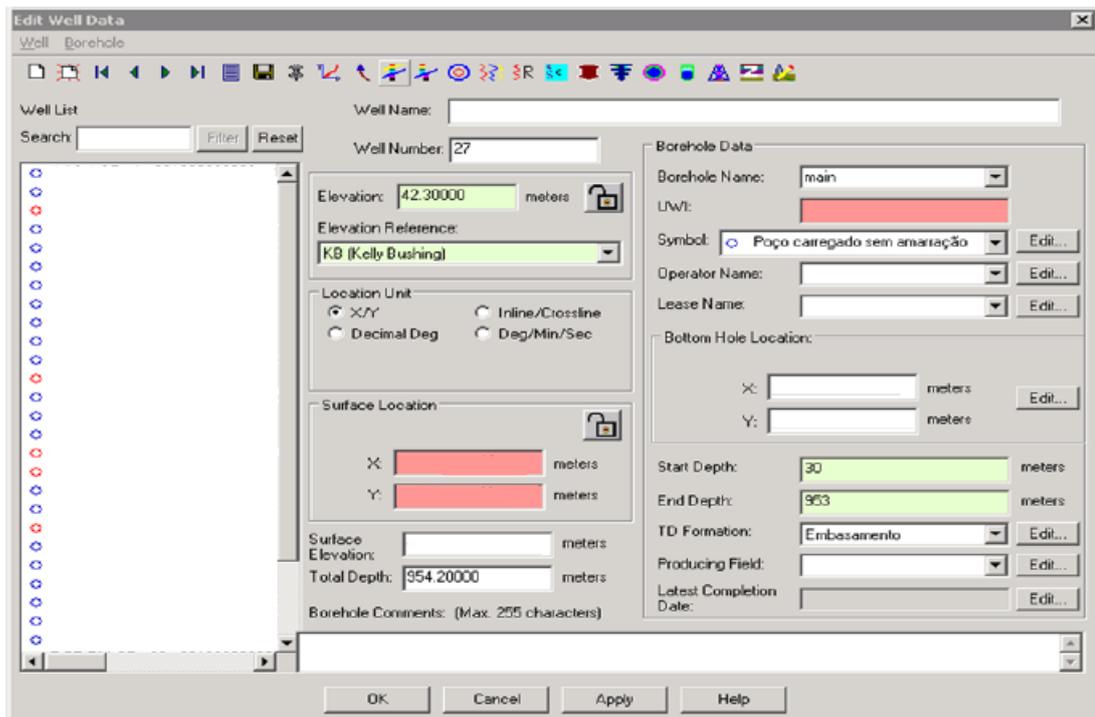


Figura 3.2: Informações de dados de poços sendo carregadas

com a inserção dos dados culturais, para que uma noção da localização dos dados fosse notada.

Perfil Geofísico de Poço

O arquivo em LAS foi importado ao software após a criação do poço, inserindo a coordenada geográfica da boca e fundo do poço, onde também foram adicionadas tabelas da profundidade vertical e efetiva dos poços no caso dos poços direcionais.

Dados Sísmicos

Os dados sísmicos em formato SEG-Y foram todos importados, sendo necessária a verificação do datum sísmico de cada linha (considerando que existem linhas de levantamentos distintos) e os dados que estavam em diferentes referências do SAD-69, foram convertidos automaticamente. Em seguida, foi verificada a concordância da leitura das informações carregadas, contidas no header do arquivo, como por exemplo, taxa de amostragem, tempo de registro e coordenadas geográficas do CDP. Ilustrando o carregamento dos dados, foi gerado o mapa da Figura 3.3 mostrando a disposição das linhas sísmicas (em cinza) e dos poços (em verde) sobre o mapa estrutural da porção sul da Bacia do Almada.

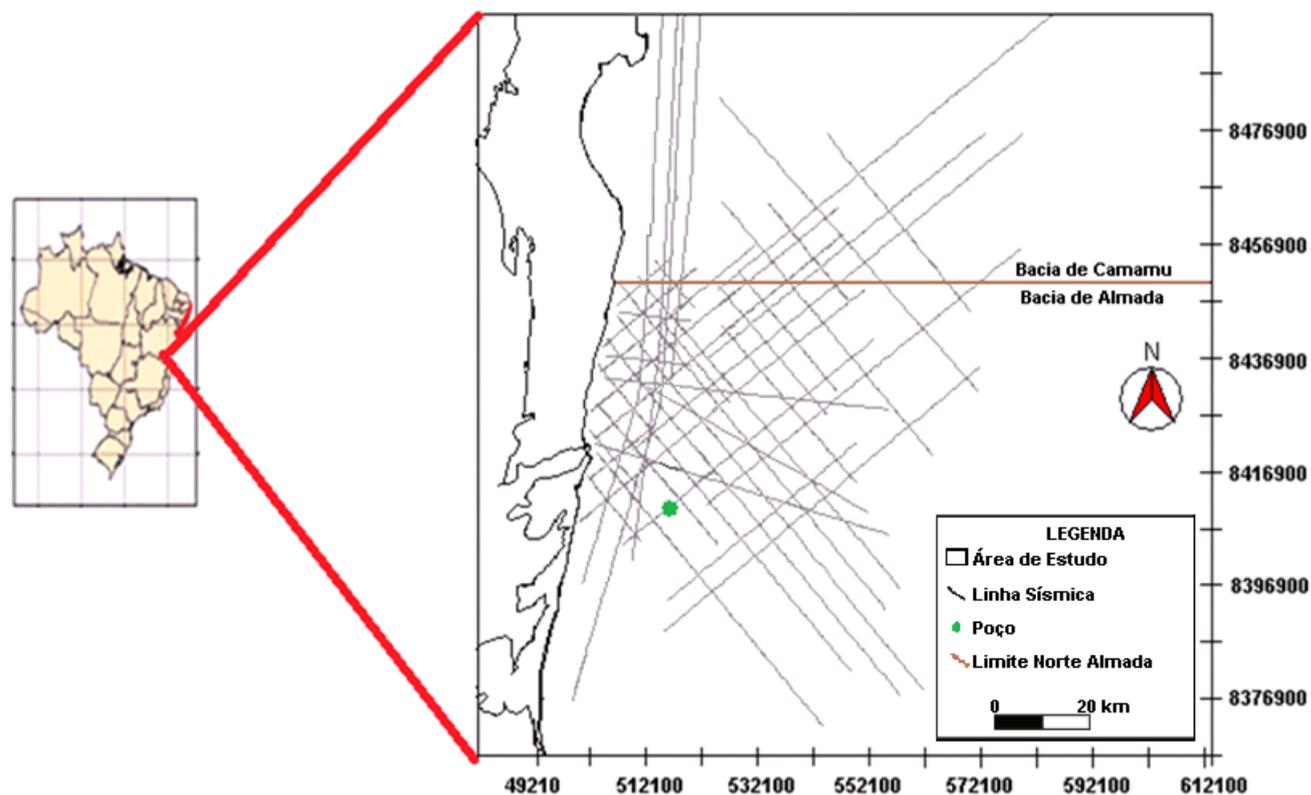


Figura 3.3: Área de estudo, mostrando as linhas sísmicas, poço e dados culturais utilizados.

Dados Culturais

Após todo o levantamento bibliográfico, foram escolhidos alguns mapas da região de estudo. A Figura 3.3 ilustra um mapa da região estudada, carregado no software IHS Kingdom, tendo como referência os trabalhos desenvolvidos por Ferreira et al.(2009), Carvalho et al. (1965) e Gontijo et al. (2007). Para a importação dos dados culturais, foi necessário um ajuste de escala e localização dos mapas em relação ao mapa de estudo do projeto. Os mapas serviram de grande auxílio, não apenas na localização dos poços e dados sísmicos em relação à área da bacia às quais estão inseridas, mas também na interpretação propriamente dita.

3.2 Interpretação dos Perfis Geofísicos de poços

Respeitando uma interpretação sísmica convencional, primeiramente serão analisados os perfis geofísicos do poço selecionado, principalmente os perfis de raios gama (GR), potencial espontâneo (SP), sônico, calíper e de densidade, que são perfis muito úteis na identificação de diferentes litologias, e, conseqüentemente, na marcação de superfícies estratigráficas.

Código	Fácies	Resposta Média no perfil GR (em GAPI)	Possível(is) transporte(s)
C	Conglomerado	70	Fluxo gravitacional
Ag	Arenito grosso	55	Fluxos aquosos e gravitacional
Am	Arenito médio	15	Fluxos aquosos e gravitacional
Af	Arenito fino	30	Fluxos aquosos e gravitacional
S	Siltito	45	Fluxos aquosos e gravitacional
Fvr	Folhelho vermelho	50	Suspensão e decantação
Fcz	Folhelho cinza	80	Suspensão e decantação

Figura 3.4: Tabela de fácies sedimentares de acordo com a média de GAPI no perfil GR

Basicamente, os perfis de raios gama são indicadores diretos de argilosidade quando aplicados em rochas sedimentares, sendo os maiores níveis de radiação gama atribuídos a um maior conteúdo de argila das formações, explicados pela maior radiação dos argilominerais em frente à sílica (resultando em níveis maiores de radiação gama em um folhelho do que em um arenito, por exemplo). A análise dos níveis de radiação gama (quantificados pelo GAPI) permite a individualização de sete principais fácies sedimentares, ilustradas pela Figura 3.4.

O padrão das curvas de raios gama, junto com a fácies interpretada do nível de radiação, são úteis na interpretação dos ambientes deposicionais formadores; a inferência dos principais sistemas deposicionais, referentes às diferentes fácies litológicas, são evidenciadas na tabela da Figura 3.5.

Na ausência do perfil de raios gama, o perfil de potencial espontâneo permite diferenciar litologias, similarmente ao GR porém com uma menor confiabilidade. O perfil SP é baseado no potencial elétrico que aparece, naturalmente, entre dois pontos do terreno ou do interior de um poço. As argilas, em frente às areias, possuem um potencial de membrana que permite a condução iônica de elétrons, o que aumenta os valores de SP nas formações de argila, em comparação com areias. A presença de fluidos influencia de forma significativa nos valores de SP, o que torna a interpretação direta da litologia a partir do log não tanto confiável. Perfis como o cáliper e o sônico são úteis na identificação de setores do poço que apresentam desmoronamentos, muitas vezes provocados pela presença de argila pouco compactada.

O perfil cáliper basicamente mede o diâmetro do poço, enquanto que o sônico avalia os tempos de trânsito de uma onda mecânica atravessando a formação. Os perfis sônico e de densidade são úteis também na conversão de profundidade para tempo dos perfis de poço.

Sistema Depositional	Fácies no sistema	Resposta no RG
		GR
		0.0 90
Leque aluvial	C, Ag, Af	
Flúvio-deltaico	Ag, Am, Af, S	
Flúvio-eólico	Am, Af, Fvr	
Lacustres	Turbiditos	
	Am, Af	
	Folhelho	
	Fvr, Fcv, S	

Figura 3.5: Tabela de sistemas deposicionais, fácies características e resposta média do GR. A escala do GR foi reduzida de 0 a 90 GAPI. Fonte: (Soeiro, 2004)

3.3 Correlação Sísmica-Poço

Após a interpretação dos perfis, foram confeccionados sismogramas sintéticos a fim de correlação entre os dados de poços e as seções sísmicas; vale salientar que para tal correlação alguns processos devem ser realizados como a conversão de profundidade para tempo na construção dos sismogramas sintéticos (igualando a unidade vertical analisada, o tempo), bem como suavizações dos traços sintéticos estimados a partir dos perfis de poço, considerando as diferentes resoluções entre os traços na sísmica (da ordem de dezenas de hertz) e nos sintéticos construídos com os perfis de poços (atingindo até dezenas de kHz), o que facilita a comparação e ajuste entre as curvas. O modelo convolucional do traço sísmico explica a formação de um traço sísmico:

$$t = \omega * r \quad (3.1)$$

Sendo t o traço sísmico obtido a partir da deconvolução entre a wavelet (w) e a função refletividade (r). Sinteticamente, no método sísmico um pulso artificial (wavelet) é gerado na superfície, atravessa as rochas em subsuperfície, e retorna ao encontrar interfaces entre camadas rochosas que apresentam contrastes de impedância acústica (produto entre a velocidade sísmica, v , e a densidade média da camada, (ρ)). A fração da amplitude inicial do sinal que retorna à superfície é função da magnitude deste contraste de impedância, dado pela função refletividade:

$$r = \frac{\rho_1 v_1 - \rho_2 v_2}{\rho_1 v_1 + \rho_2 v_2} \quad (3.2)$$

Sendo ρ_1 e v_1 respectivamente a densidade e velocidade sísmica para a camada superior, e ρ_2 e v_2 respectivamente a densidade e velocidade sísmica para a camada inferior. Na criação dos traços do sismograma sintético, serão solicitadas as curvas do sônico e de densidade, onde elas trazem aproximações da velocidade sísmica e da densidade das camadas, respectivamente. Tomando tais velocidades e densidades das camadas, a partir dos perfis descritos, é possível a obtenção da função refletividade, onde, convolvido com uma wavelet estimada têm-se então os traços sintéticos (respeitando do traço sísmico). Vale ressaltar que a estimativa desta wavelet passa por algoritmos presentes no software que simulam um pulso artificial, um deles por exemplo é o Ricker's wavelet, sendo um pulso simétrico dado pela Equação:

$$\omega(t) = 1 - \left(\frac{4t}{T}\right)^2 \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{4t}{T}\right)^2\right) \quad (3.3)$$

Onde t representa o tempo, e T o intervalo de tempo entre dois picos negativos.

Construídos os sismogramas sintéticos, eles foram então comparados com as seções sísmicas, onde a correlação foi realizada pelo ajuste dos picos de reflexões entre as camadas, ao qual deve-se observar o momento de máximo coeficiente de correlação. Tal ajuste é otimizado pelo bulk shift, o que seria o deslocamento de uma janela de tempo dos traços sintéticos, e pela mudança na fase. Todo o processo anteriormente descrito é realizado pelo próprio software de interpretação, e um exemplo de uma amarração concluída pode ser visualizada através do painel de correlação da Figura 3.6.

3.4 Atributos Sísmicos

Como uma ferramenta na interpretação sísmica, a análise de atributos sísmicos permite ao intérprete não só melhor mapeamento de feições estruturais, como falhas e contorno do embasamento, mas também a identificação de terminações estratigráficas, continuidade de refletores e reconhecimento de diferentes fácies sísmicas, levando a uma interpretação mais apurada.

Taner et al. (1979), continuando as pesquisas sobre atributos sísmicos iniciada por O'doherty e Anstey (1971), foi um dos primeiros trabalhos que introduziram a análise dos atributos do traço em sua parte complexa, que podem ser calculadas através das transformadas de Fourier e de Hilbert, obtendo-se a parte real e imaginária do traço, respectivamente.

Após o carregamento dos dados, devem ser calculados, para todas as seções sísmicas disponíveis, os principais atributos sísmicos do traço complexo utilizados na interpretação sísmoestratigráfica; são eles: amplitude, fase e frequência instantâneas, além do TecVA (Técnica Volume de Amplitudes).

Basicamente, o atributo de amplitude instantânea (ou envelope) informa a intensidade

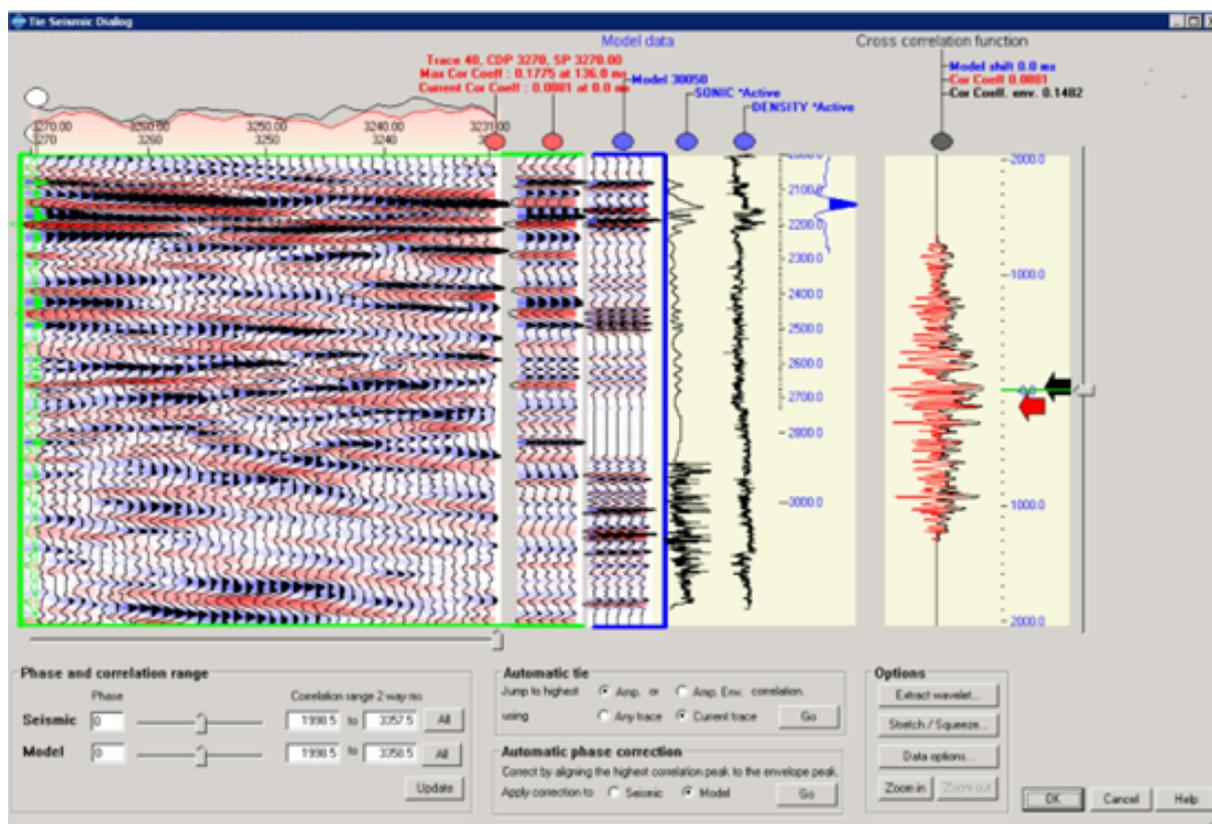


Figura 3.6: Informações do header que serão utilizadas no carregamento.

do contraste de impedância acústica entre cada interface das camadas geológicas. Já o atributo de fase instantânea indica a medida de continuidade dos eventos na seção sísmica, sendo muito útil na identificação de falhas, pinchouts, inclinação de camadas, entre outros.

A interpretação sísmica foi auxiliada com a utilização de alguns atributos sísmicos, definidos por Tanner (2001) como qualquer informação obtida por meio de dados sísmicos, seja por meio de medições diretas, lógicas ou baseadas nas experiências e nos conhecimentos anteriores. Entre todos os atributos empregados neste estudo, os mais importantes foram os do traço complexo: amplitude instantânea, TecVA (Técnica Volume de Amplitudes), além de fase e frequência instantânea (figura 3.7).

O atributo de amplitude instantânea (também chamado de envelope) retrata a intensidade do contraste de impedância acústica (que reflete a mudança de propriedades físicas elásticas e de densidade) entre as camadas geológicas. Por outro lado, o atributo de fase instantânea é útil na identificação de continuidade de refletores nas seções sísmicas, e sua utilização se mostrou importante na identificação do padrão de inclinação das camadas sedimentares, falhas, padrão geométrico interno das camadas, depósitos de canais, entre outros, enquanto o atributo de frequência instantânea foi relevante para a determinação da espessura de camadas, por exemplo. Vale ressaltar que fase e frequência instantâneas se tornaram ainda mais importantes nas seções que apresentavam baixo padrão de amplitude dos refletores

O atributo de TecVa, também chamado de pseudo-relief, representa reflexões sísmicas de dados pós-empilhados com aparência de relevo topográfico, a partir de transformações matemáticas feitas no dado original. A interpretação deste atributo foi utilizada na identificação de falhas, descontinuidades e estruturas associadas à mudança de sismofácies como leques aluviais e diápiros de sal.

3.5 Interpretação Sísmica

Após a interpretação dos dados do poço, e sua correlação com as seções sísmicas, chega-se então à interpretação sísmica, ao qual irá se basear nos conceitos da estratigrafia de sequências aplicadas às seções drifte, tendo o auxílio da análise de atributos sísmicos empregados.

A interpretação pode ser realizada seguindo dois principais aspectos: estruturais e estratigráficos. Na interpretação estrutural, importantes alvos de identificação são sistemas de falhas e a superfície de embasamento. O presente trabalho prioriza a caracterização do padrão de empilhamento dos depósitos sedimentares, por isso o maior foco na interpretação estratigráfica, definindo as superfícies estratigráficas baseadas na estratigrafia de sequências para seções drifte, e assim delimitando os tratos de sistemas identificados.

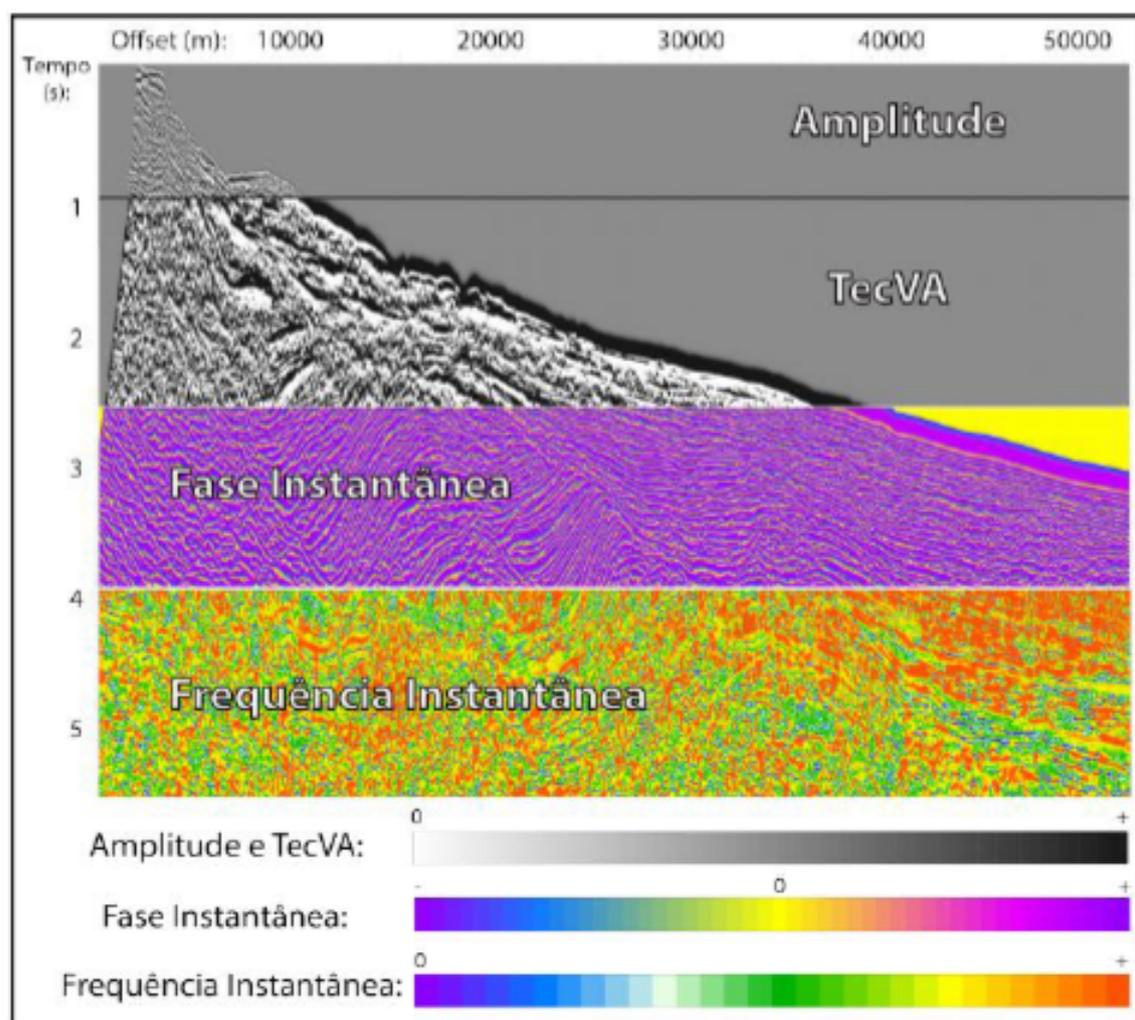


Figura 3.7: Atributos sísmicos calculados e plotados em seção no software IHS Kingdom (amplitude, TecVA, fase e frequência instantâneas). Fonte: Vilas-Boas (2016).

3.6 Interpretação Estrutural

Inicialmente, na interpretação das seções sísmicas, é indicado a marcação de algumas feições estruturais ocasionadas com os processos tectônicos sofridos nas bacias estudadas. A indicação das principais falhas presentes nas seções é importante na posterior interpretação das superfícies estratigráficas, onde, muitas vezes, as falhas são facilmente reconhecidas pela descontinuidade de refletores que se repetem em diferentes tempos (indicando um deslocamento vertical ou subvertical das camadas).

Na interpretação estrutural, também se deve investigar a presença de diápiros de sal que inclinam camadas e podem provocar falhas lítricas no seu entorno. Na região de estudo é evidente, inclusive aflorante, diápiros de sal na fase drifte da bacia, que são identificáveis nas seções sísmicas devido a uma sismofácies caótica, com formato diapírico, apresentando uma

série de onlaps muitas vezes indicado por refletores inclinados ao seu redor.

3.7 Interpretação Estratigráfica

Seguindo um procedimento básico de interpretação sismoestratigráfica, primeiro devem ser demarcados as terminações de refletores, para então delimitar as superfícies estratigráficas, identificando as sequências deposicionais. Integrando as informações geológicas e as de perfisagens geofísicas do poço com as superfícies estratigráficas demarcadas, deve-se então mapear as fácies sísmicas e assim caracterizar os possíveis sistemas deposicionais associados a cada sequência.

A caracterização dos sistemas deposicionais numa interpretação estratigráfica, passa pela definição dos tratos de sistemas associados aos padrões de refletores, apenas possibilitado com uma boa resolução sísmica (tanto vertical quanto horizontal). Portanto, neste estudo, será buscada uma definição dos tratos de sistemas tectônicos associados às camadas geológicas das seções transicional e drifte da bacia.

3.7.1 Indicação das superfícies estratigráficas

Posterior à marcação das principais falhas, como um dos primeiros passos da interpretação estratigráfica, deverão ser identificadas as superfícies estratigráficas. Primeiramente, identificam-se as discordâncias, caracterizadas principalmente pela presença de truncamentos erosivos abaixo e onlaps acima delas, auxiliadas geralmente pela alta amplitude apresentada pelo refletor correspondente, principalmente em grandes mudanças de litologia (como por exemplo, as discordâncias que separam diferentes estágios tectônicos, como a discordância pós-rifte, DPR).

4

Análise Sismoestratigráfica

O principal objetivo do trabalho consiste na interpretação sismoestratigráfica dos depósitos transicional e drifte localizados na Bacia de Almada. Contudo, para tal objetivo, foi necessário um mapeamento prévio de falhas da região, sobretudo a falha de Aritaguá. O mapeamento sísmico estrutural foi auxiliado pelos atributos sísmicos calculados, especialmente o TecVA, e de trabalhos como os de Neto e Sanchez (1991) e Adegas, Scherer e Born (2012). Os critérios para a interpretação das principais feições, como a falha de Aritaguá e o cânion de Almada, serão apresentados a seguir.

4.1 Falha de Aritaguá

A figura 4.1 abaixo ilustra o arcabouço estrutural da parte oeste (emersa) da bacia. As falhas limites definem o padrão romboédrico e têm direção geral N50E, de idade Cretáceo Inferior (Andar Rio da Serra), pertencente à fase rifte. Este padrão é formado pelas falhas de Apipique, Aritaguá, Maron e da Serra Pilheira, que delimitam a bacia, colocando o embasamento em bloco alto e a seção sedimentar no bloco baixo. Estas falhas formam um sistema, associando falhamentos sintéticos e antitéticos, de direção dominante N-S.

Este compartimento interno, a oeste, estende-se por aproximadamente metade da área emersa da bacia. O limite leste do compartimento central da bacia corresponde à Falha de Aritaguá, que possui componente gravitacional, com bloco baixo para leste, e componente transcorrente, com movimentação sinistral.

A Falha de Aritaguá localiza-se além dos limites da parte emersa da Bacia de Almada. Possui um traço encurvado e côncavo para leste. No bloco baixo é encontrada a Formação

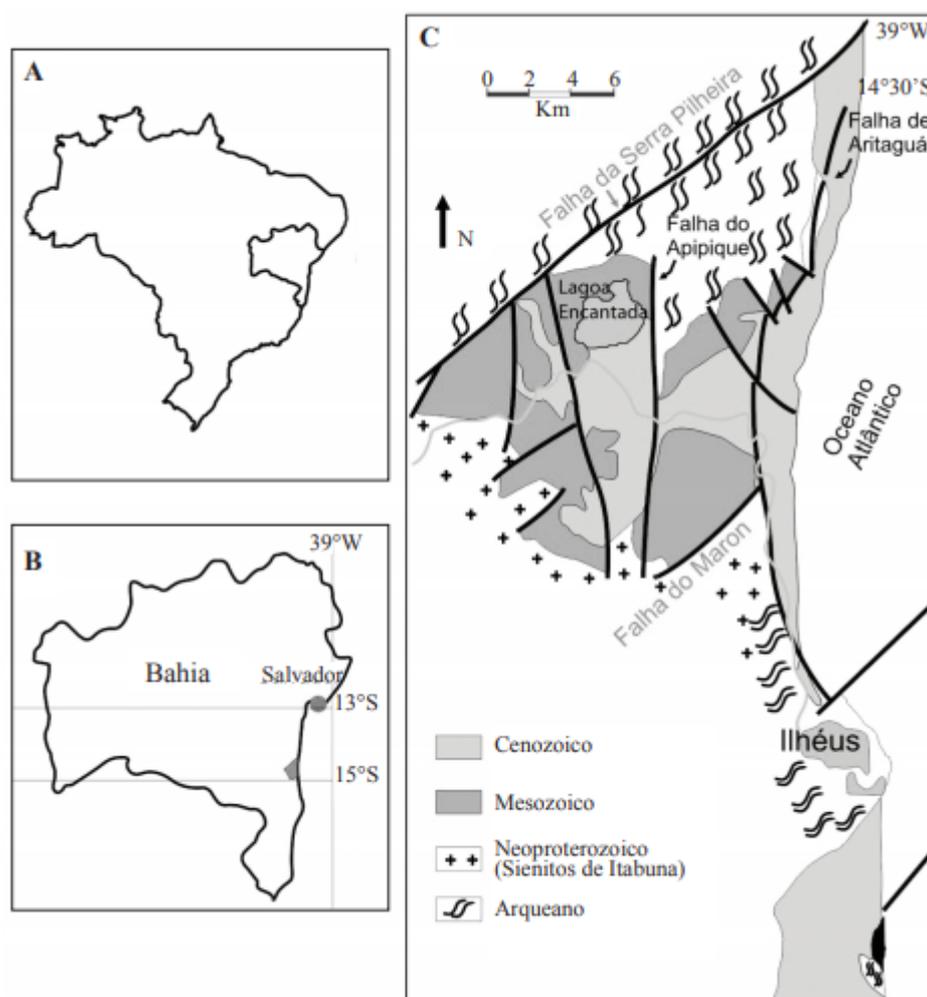


Figura 4.1: Localização do sistema de falhas da parte emersa (oeste) e imersa (leste) da bacia, mostrando o arcabouço estrutural simplificado comas suas falhas limítrofes com direção N50E (modificado de Netto & Sanches 1991). Localização do sistema de falhas da parte emersa (oeste) e imersa (leste) da bacia, mostrando o arcabouço estrutural simplificado comas suas falhas limítrofes com direção N50E (modificado de Netto & Sanches 1991).

Rio de Contas, de idade Cretáceo Inferior (Barremiano), ausente no bloco alto. De acordo com Netto e Sanchez (1991), as rochas sedimentares mais antigas que o Andar Aratu têm o mesmo padrão de espessura em ambos os lados da falha, o que permite datar a Falha de Arataguá como de idade Buracica.

4.2 Canion de Almada

De acordo com D'Ávila (2004), o Cãnion de Almada é um conduto submarino de origem tectônica, com canais turbidíticos de alta energia, gerados por fluxo de alta eficiência, inter-

calados a depósitos pelíticos com influência prodeltaica, frequentemente remobilizados como fluxo de massa, desenvolvendo depósitos caóticos, com domínio de slumps e debris flows, que foi ampliado pela repetida passagem de correntes de turbidez, que ocorreram durante o Cretáceo (mais precisamente entre a fase rifte e o Albiano), através de eventos que reativaram antigas falhas NE e NW do embasamento como sistemas transcorrentes. A continuação destes esforços, do Cenomaniano ao Maastrichtiano, desenvolveu falhas normais que controlaram um cânion submarino que evoluía desde o continente, onde se formava um estuário entre montanhas, até a região profunda da bacia. O cânion recebeu sedimentos trazidos por inúmeras cheias fluviais catastróficas, que disparavam fluxos hiperpícnais que evoluíram como correntes de turbidez, provocando erosão do substrato e levando grande volume de sedimentos para a bacia. Parte da carga depositou-se no cânion, formando canais turbidíticos preenchidos por conglomerados e arenitos.

Segundo Shepard (1981), os mecanismos mais comuns para a formação dos cânions são:

- A erosão por sistemas fluviais e posterior submergência da margem (Spencer, 1903), como evidenciado pela continuidade dos cânions submarinos com cânions subaéreos e com os vales de grandes rios;
- A escavação dos cânions por correntes de turbidez (DALY, 1936);
- A origem como vales glaciais afogados (Shepard, 1933) e, menos comumente;
- O controle tectônico para a formação dos cânions (Wegener, 1924). (Bruhn e Moraes, 1989) considerou que o Cânion de Almada foi originado apenas pela escavação provocada durante a passagem de inúmeras correntes de turbidez.

A figura 4.2 abaixo mostra uma interpretação, através do topo da camada que chamaremos posteriormente de DRIFTE-3, que ilustra e posiciona o Cânion de Almada, de orientação NW-SE.

O condicionamento de fácies de conglomerados e arenitos grossos, por estas falhas, é registrado por longo período na história da bacia, e estes depósitos estão associados com as falhas, tanto para a fase pré-rifte e rifte da bacia como para a Formação Urucutuca, de acordo com Ferreira (2009). Os pacotes mais espessos de conglomerados, estão situados nas proximidades de falhas do embasamento, que delineiam a borda do cânion, segundo D'Ávila (2004).

Mendes (1998) classificou o cânion de Almada como maduros, conforme denominação de Cainelli (1992), apresentando várias e sucessivas fases de erosão e preenchimento, e de

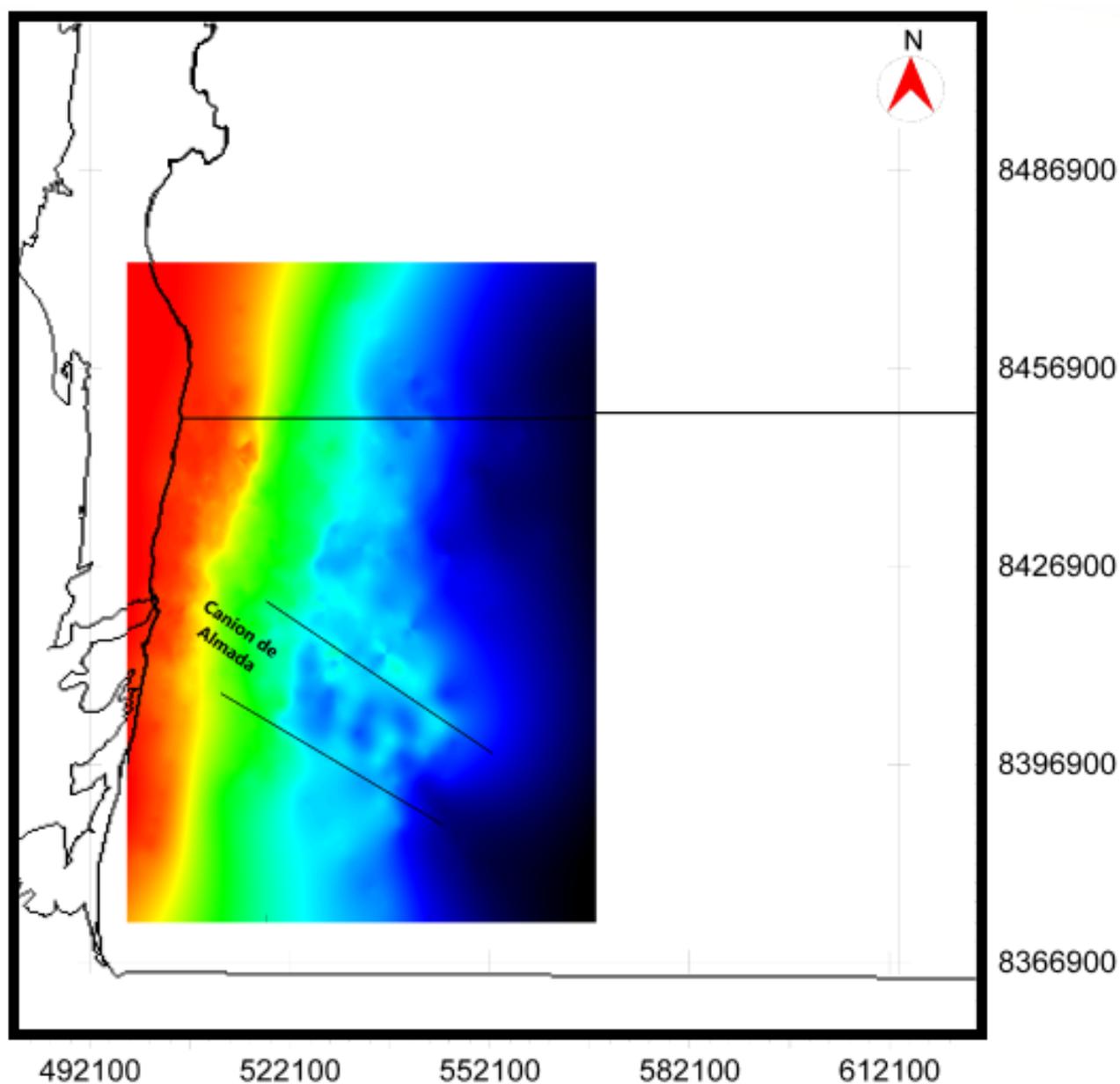


Figura 4.2: Interpretação que mostra a localização do Cânion de Almada.

cânions de assoalho de bacia, conforme (Bonham-Carter, 1988), sendo que estas feições negativas foram originadas, controladas e assoreadas durante as variações tectono-eustáticas entre o Neocretáceo e o Eoterciário. O cânion de Almada situava-se junto à plataforma continental e apresentaram como principal mecanismo precursor o avanço do sistema fluvial, causado pela variação negativa do nível do mar. A combinação do tectonismo diastrófico e da halocinese controlou o posicionamento estrutural e a localização destes paleocânions.

4.3 Discordância Pós-Rifte

A discordância pós-rifte (DPR), segundo (Dias, 2004), configura uma fase de quiescência tectônica com falhamentos expressivos ocorrendo somente de forma localizada, ou seja, expressiva diminuição da taxa de criação de espaço de acomodação, e, além disso, representa o início do predomínio da atuação subsidência térmica na Bacia de Almada. Essa discordância está relacionada a um evento de expressivo rebaixamento do nível de base. Neste trabalho, a DPR foi interpretada tanto pela análise do dado de poço quanto pela análise das linhas sísmicas e, de acordo com o modelo estratigráfico adotado, representa o limite entre as sequências Rifte e Transicional.

Na análise dos dados de poço, interpretou-se esta superfície com bom grau de confiança, principalmente devido à mudança na espessura e na ocorrência de litologia na calha, não sendo registrados indícios de sedimentação evaporítica. O critério utilizado para demarcação desta superfície foi mudança na amostragem de camadas de folhelhos flúvio-deltaico-lacustres para camadas mais arenosas, indicando um ambiente deposicional diferente. Ambos os critérios também foram sustentados pela diminuição no valor registrado no perfil de raio gama para os folhelhos situados logo abaixo e os folhelhos situados logo acima da marcação sugerida, indicando um provável evento de rebaixamento do nível de base, provocando erosão e originando a discordância em questão.

Na interpretação sísmica, o principal critério utilizado para interpretação dessa superfície foi uma série de truncamentos subjacentes a ela que podem ser vistos em grande parte das linhas sísmicas da área de estudo. Esta superfície se apresenta como uma extensa discordância angular sobreposta à sismofácies que representam blocos rotacionados típicos da sequência rifte e sotoposta a sismofácies que representam diápiros de sal típicos da sequência transicional.

É importante salientar que em diversas seções sísmicas, especialmente naquelas onde foram mapeadas espessas camadas de sal, os fenômenos de subida aparente dos refletores sísmicos, absorção e dispersão do sinal sísmico foram atuantes, dificultando a marcação da DPR. Dessa forma, o critério utilizado para demarcação da discordância, nestas seções, foi a identificação do primeiro refletor horizontal de alta amplitude e com continuidade, situado abaixo da sismofácies caóticas associada às rochas evaporíticas, que configura a base da camada de sal e, conseqüentemente, o limite inferior da sequência Transicional.

4.4 Discordância Pós-Transicional

A Discordância Pós-Transicional (DPT) representa uma importante mudança no contexto geotectônico da sedimentação das bacias da margem leste brasileira. A partir dela, estabelece-se um regime de subsidência térmica e, também, pode ser correlacionada com topo da formação litoestratigráfica Taipus-Mirim, de acordo a carta estratigráfica proposta por Gontijo (2007). Na área de estudo, esta superfície é geralmente bem marcada nos poços devido a mudanças nos litotipos e variações no perfil de raios gama, porém, na interpretação sísmica geralmente se mostra como uma superfície de conformidade correlativa, apresentando feições erosivas somente em porções restritas da bacia, principalmente na porção proximal à margem flexural.

A análise dos dados de poço configurou um importante auxílio para interpretação dessa superfície na área de estudo. Para o poço utilizado, a Discordância Pós-Transicional foi marcada no momento em que as camadas de arenitos diminuem de espessura, dando lugar ao aumento de espessura dos folhelhos, que configura a mudança da sedimentação de rochas salinas para sedimentação de folhelhos e rochas carbonáticas. Assim como na marcação da DPR, os critérios citados foram sustentados por variações negativas do perfil de raio gama, indicando rebaixamento do nível de base.

A interpretação sísmica da DPT teve mais de um critério para sua demarcação. Em área de menor expressão geográfica são vistas feições erosivas e, portanto, a Discordância Pós-Transicional é marcada com base em truncamentos situados sob esta superfície. Por outro lado, em grande parte da área de estudo, esta superfície foi marcada sobre o refletor que representava a transição de uma sismofácies paralela, com refletores mostrando alta continuidade horizontal, alto padrão de amplitude e baixa frequência, para uma sismofácies de baixo padrão de amplitude e configuração interna transparente, sendo associada à provável presença da intercalação de rochas carbonáticas e folhelhos, que pode apresentar baixo contraste de impedância acústica, representantes da sequência drifte. Nas porções distais da bacia, onde há evidências de halocinese, o topo da seção transicional é marcado no topo das estruturas geradas com a movimentação do sal.

4.5 Sequência Transicional

A sequência transicional foi depositada durante o final do Neoptiano, formando mini-bacias evaporíticas de águas rasas, associadas a um ambiente marinho restrito. Em termos litoestratigráficos, Gontijo (2007) mostra a presença de camadas siliciclásticas, relacionadas a

depósitos flúvio-deltaico-lacustres, representando o membro Serinhaém, pertencente à formação Taipus-Mirim, e depósitos evaporíticos, relacionados a um ambiente marinho-restrito, litoestratigraficamente denominados de membro Igrapiúna da mesma formação.

A sequência transicional foi mapeada ao longo de toda área de estudo; entretanto, é possível discriminar características importantes em diferentes áreas da bacia, tais como nas espessuras da camada (intervalo de tempos sísmicos), nos padrões das sismofácies mapeadas e nas litologias registradas nos perfis litológicos dos poços estudados. Correlacionando esses aspectos com a interpretação estrutural, foi possível dividir a área de estudo em três diferentes setores: região proximal, região do talude e região distal.

A análise de poço localizado na parte proximal da bacia permitiu identificar que, nesta região, a sequência transicional é composta por depósitos associados tanto à sedimentação siliciclástica, quanto por camadas pelíticas (folhelhos). O poço, localizado na porção centro-norte da área de estudo, apresenta um registro sedimentar bem representativo desta região e ilustra a alternância entre diversos ciclos de deposição pelítica, interrompidos por influxos de sedimentação siliciclástica, indicando, possivelmente, variações no nível de base ao longo da deposição da seção transicional. No poço selecionado, a seção transicional apresenta uma espessura total de aproximadamente 70 a 100 metros. Por outro lado, as camadas de folhelho. A ausência de outros sais na região proximal pode estar relacionada a não deposição de um ciclo evaporítico completo, onde a variação da salinidade é mais intensa, ou a dissolução destes minerais que são quimicamente mais solúveis.

Em termos de interpretação sísmica, na região proximal, a seção transicional apresenta espessura sísmica aproximadamente constante e pode estar associada a dois tipos de sismofácies. A primeira, de configuração interna paralela, geralmente representada por dois pares de refletores de alta amplitude, com continuidade evidente e baixa frequência. O outro padrão está associado a sismofácies de configuração interna também paralela e contínua, com refletores de média a baixa amplitude e frequência variando de intermediária a alta. A porção sul da área de estudo não contém dados de poços, na região proximal, mas semelhanças entre as sismofácies de ambas as regiões são indícios de que o registro sedimentar apresenta o mesmo comportamento, com a deposição de rochas pelíticas e siliciclásticas.

Na região do talude da bacia, a sequência transicional na região do talude da bacia, não foi feita nenhuma interpretação através dos dados de poço. Entretanto, na interpretação sísmica da região do talude, a sequência transicional apresentou valores de espessura variando com variações. Nas seções sísmicas que a sequência transicional apresenta maiores valores de espessura, ela está associada a uma sismofácies paralela, com refletores evidenciando alta continuidade horizontal, alto padrão de amplitude e baixa frequência. Entretanto, nos locais

em que a sequência apresenta valores de espessuras menores, é relacionada a, no máximo, um par de refletores, com baixa amplitude e baixa continuidade lateral. Acredita-se que nessas regiões os dados utilizados não apresentam resolução sísmica confiável para o mapeamento da sequência transicional.

Exemplos desses casos são vistos na região norte de estudo onde a DPR encontra-se abruptamente mais rasa e associada a falhas que apresentam expressivos rejeitos, configurando possíveis altos estruturais, resultantes do processo de rifteamento da bacia.

Na região distal, assim como no talude, não foram utilizados dados de poços para a referida interpretação. Em termos de fácies sísmicas, a sequência transicional encontra-se associada a uma configuração interna fortemente caótica, com refletores de baixo padrão de amplitude. Nas linhas sísmicas distais ocorrem os fenômenos de atenuação e dispersão do sinal sísmico. As maiores espessuras indicam que esta área poderia representar o depocentro da bacia, no momento de deposição desta sequência, para onde as rochas evaporíticas devem ter migrado por fluxo gravitacional, das regiões mais rasas. O contínuo acúmulo de sal, associado a pressão litostática, exercida pelas sequências superiores, e aos falhamentos da bacia, foram precursores para ocorrência de fenômenos ligados à halocinese. Tais fenômenos são comprovados pela identificação, nas seções sísmicas, de diversas estruturas ligadas à movimentação do sal: diápiros, muralhas e almofadas de sal, além de mini-bacias. A deformação das camadas da sequência Drifte, com dobras e falhas expressivas, que estão sobrepostas a sequência transicional, também é uma das evidências de atuação da halocinese. Nos diápiros que apresentam maior expressão vertical são vistas também sismofácies classificadas como transparentes.

4.6 Sequência DRIFTE-1

A Sequência Drifte-1 é limitada na base pela Discordância Pós-Transicional (DPT) e no topo pela Superfície 1, que possui caráter erosivo e corresponde à denominada Discordância Pré-Urucutuca, correspondendo a uma sequência de idade Albiano-Cenomaniano

Essa sequência se distribui por toda a bacia, cobrindo a seção transicional com espessuras que variam de pequenas a médias, porém aumentando em direção a bacia. Na região da plataforma, próximo a quebra para o talude ela praticamente inexistente, fruto dos efeitos erosivos posteriores da Superfície 1 (onde é notada a presença da Discordância Pré-Urucutuca). Na porção proximal, é reconhecido que durante a sua deposição deve ter ocorrido reativação das falhas formadas durante a fase rifte, uma vez que algumas falhas atingem essa sequência. Litologicamente essa sequência formou-se na plataforma carbonática rasa, com deposição

dos calcarenitos, calcilutitos e, em menor quantidade, arenitos e folhelhos, pertencentes à Formação Algodões, que corresponde à parte superior do Grupo Camamu, que gradam para margas e folhelhos na direção da bacia. A Formação Algodões subdivide-se nos membros Germânia, caracterizado por uma expressiva ocorrência de terrígenos (arenitos e folhelhos), associados a calcarenitos e calcilutitos, e Queipe, constituído de calcilutitos e margas, e quantidades menores de folhelhos calcarenitos e arenitos, como apresentado por Netto et al. (1994).

Na análise do dado de poço, verifica-se uma intercalação de arenitos (que possui espessuras variando de 3 a 50 metros), com espessuras diminuindo da base para o topo, ao mesmo tempo que é notada a presença de folhelhos (com espessuras que vão de 1 a 10 metros) que, da base para o topo, inicialmente diminuem de espessura e, conforme vai chegando ao topo da formação, vai apresentando um novo aumento na espessura da referida litologia. Assim, com as camadas de arenitos diminuindo sua espessura ao mesmo tempo que os folhelhos estão aumentando, pode-se concluir que nessa sequência se inicia um momento transgressivo na bacia, ou seja, um momento onde a taxa de deposição sedimentar é maior que a taxa de acomodação.

4.7 Sequência DRIFTE-2

A Sequência Drifte-2 é limitada no topo pela Superfície 2 e na base pela Superfície 1, onde se encontra a Discordância Pré-Urucutuca. A sequência Drifte-2 possui idade Turoniano-Campaniano.

É representada pela Formação Urucutuca, que reúne folhelhos cinza-escuros ou esverdeados, com intercalações de arenitos turbidíticos relacionados a rebaixamentos do nível do mar. Em algumas porções da plataforma continental, (Gontijo, 2007) cita o conteúdo em clásticos grosseiros, representando o preenchimento de canais escavados durante estes rebaixamentos eustáticos (inclusive o Cânion de Almada, um dos alvos do referido estudo). A fase transgressiva continua nessa sequência, sendo que a deposição da Formação Urucutuca identifica o aprofundamento da bacia e a substituição dos depósitos plataformais (arenitos, que passam a ter, a partir desse momento, espessuras entre 2 e 5 metros), pertencentes à Formação Algodões, por pelitos de ambiente batial (com espessuras que variam de 2 a 10 metros). A espessura dos estratos nessa seção são menores que na sequência anterior (Drifte-1), mostrando que a sua ocorrência é limitada, talvez por conta dos eventos erosivos da base e do topo da sequência. A transgressão também é notada por conta do aumento do perfil GR no poço.

4.8 Sequência DRIFTE-3

A Sequência DRifte-3 é limitada no topo pela Superfície 3 e na base pela Superfície 3 Campaniano-Paleoceno. No perfil composto do poço, a disponibilidade da coluna litológica está até o Maastrichiano. Nesse período, nota-se uma espessa camada de folhelho (aproximadamente 60 metros), intercaladas, a partir do Maastrichiano, com delgadas camadas de arenitos (em torno de 2 metros de espessura) e padrão de GR transgressivo no início. De acordo com Gontijo (2007), em áreas proximais, conglomerados e algumas lentes de carbonatos estão presentes nesta seção. A referida litologia não foi encontrada nesse poço em particular. Chega um momento que o padrão retrogradacional mostrado pelo perfil GR começa a diminuir, mostrando que esse padrão dá a vez a uma mudança nas intensidades das taxas de deposição e acomodação, iniciando, a partir desse momento, um padrão progradacional (taxa de deposição maior que a taxa de acomodação), sendo que essa variação dos valores de GR, que até então variava muito mais rapidamente, passa a sofrer variações cada vez menores, indicando uma lenta progradação (lembrando que, a partir do Eopaleoceno, os dados litológicos não estão mais disponíveis no perfil composto, fazendo com que a continuação da interpretação seja feita apenas pelo GR)

4.9 Sequência DRIFTE-4

A Sequência DRifte-4 é limitada no topo pela Superfície 4 e na base pela Superfície 3, durante o intervalo Paleoceno-Eoceno. Litologicamente, a Formação Urucutuca continua sendo depositada, com folhelhos depositados de maneira quase prioritária, juntamente com algumas lentes de arenitos localizados nas porções proximal e distal da bacia. De acordo com Gontijo (2007), na seção proximal, os folhelhos estão intercalados com marcas e calcarenitos, marcando a base da seção progradante da bacia. No talude, as quantidades de arenitos e calcarenitos diminuem drasticamente, e na parte distal da bacia, os folhelhos estão intercalados com arenitos, margas, calcilitos e calcarenitos, caracterizando um ambiente nerítico profundo a batial.

O perfil GR é o único modo de interpretarmos o que acontece com as seções, a partir do Maastrichiano. Assim, foi feito um trabalho conjunto de análise da carta estratigráfica feita por Gontijo (2007) e análise do GR feito no perfil composto do referido poço. O que se nota, a partir do Maastrichiano (onde termina a seção litológica do perfil composto), é uma progradação um pouco mais brusca no início e mais suave a partir da profundidade 1700 metros, mantendo esse padrão até a profundidade 1470 metros, onde temos outro momento de brusca progradação, que será considerado como o topo desta sequência.

4.10 Sequência DRIFTE-5

A Sequência DRifte-5 é limitada no topo pela Superfície 5 e na base pela Superfície 4 Eoceno-Oligoceno. De acordo com Gontijo (2007), esta seção, que continua apresentando caráter regressivo, é representada pela progradação dos sedimentos pelíticos da Formação Urucutuca, juntamente com os sedimentos plataformais relacionados às Formações Rio Doce (arenitos) e Caravelas (carbonatos), este último sugerindo o desenvolvimento de uma plataforma carbonática na bacia e diminuem drasticamente em direção à bacia. Em relação ao perfil GR temos, na base dessa seção, a uma profundidade de aproximadamente 1470 metros, uma abrupta progradação, mostrada através de uma rápida diminuição do GR. A partir disso, os valores do GR diminuem suavemente, continuando a fase regressiva que se iniciou no topo da sequência Drifte-3

4.11 Sequência DRIFTE-6

A Sequência DRifte-5 é limitada no topo pela Superfície 6 e na base pela Superfície 5 durante o intervalo Oligoceno-Mioceno. De acordo com Gontijo (2007), esta sequência continua com seu caráter regressivo, com a progradação dos sedimentos plataformais relacionados às formações Rio Doce e Caravelas, além dos folhelhos da formação Urucutuca. Além disso, encontra-se a formação Barreiras, que ocorre ao longo de toda a faixa litorânea do Brasil. Em relação ao dado de poço, o perfil GR continua com um padrão levemente progradacional (diminuição do GR) até o topo da perfilagem produzida

5

Análise de Dados

Após a interpretação e análise sismoestratigráfica da área de estudo, elaborou-se seções sísmicas, com apenas uma linha e compostas, mapas de topos estruturais para as superfícies mapeadas, além de mapas de isópacas para cada área estudada.

5.1 Seções Sísmicas Interpretadas

Abaixo estão representadas as seções sísmicas das linhas dip (figuras 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4) e strike (5.5 e 5.6), que foram analisadas no capítulo anterior. São de extrema importância para o entendimento da área e da dinâmica da camada de sal, bem como das seções que são depositadas após ela, assim como o entendimento da dinâmica das sequências transicional e drifte.

5.2 Seções Sísmicas Compostas Interpretadas

Para melhor correlação da sequência transicional, nos diferentes setores da bacia, além de demonstrar o espessamento das camadas nas sequências transicional e drifte da Bacia de Almada, foram confeccionadas seções sísmicas compostas, representadas pelas figuras 5.7 e 5.8. As seções ilustradas foram importantes para delimitar as sequências transicional e drifte que foi sedimentada acima do sal mostrando, de uma maneira geral, como a bacia é formada.

5.3 Mapas de Topos Estruturais

Após a interpretação sismoestratigráfica realizada, foram confeccionados mapas de tempos das superfícies estratigráficas encontradas, bem como do topo do embasamento, com o intuito de sintetizar a disposição das sequências ao longo da área de estudo, que pode ser observada na figura 5.9. Através dos mapas foi possível inferir a posição dos depocentros no momento de deposição de cada sequência (indicados pelas cores mais próximas ao violeta), além das principais falhas (regiões de alta convergência das curvas de nível) e seus rejeitos associados.

A figura configura as plotagens dos valores de tempo sísmico correlacionados com as superfícies estratigráficas, desde a DPR até a última superfície mapeada, que corresponde ao topo da Sequência DRIFTE-6. Ilustrando o aprofundamento preferencial das superfícies que limitam a sequência transicional no sentido sudeste em direção às porções mais distais da bacia. Os valores mais altos, representados com as cores mais escuras, na região sudeste da área de estudo, sugerem a localização do depocentro (diápiro de sal), no momento de deposição desta sequência, nesta parte da bacia.

As imagens demonstram também que o aprofundamento citado das superfícies ocorreu de forma gradual, sem variações abruptas nos valores de tempo sísmico ao longo da bacia. Do ponto de vista geológico, pode ser correlacionado com atuação local (vista apenas em específicas regiões da bacia) da subsidência mecânica, responsável pela criação de falhas com expressivos rejeitos, e, portanto, a predominância da atuação de um regime de subsidência térmica que não atuou uniformemente ao longo da Bacia de Almada.

Na porção norte da área de estudo, próximo ao limite com a Bacia de Camamu, as configurações das curvas de isovalores e as seções sísmicas indicam um raseamento das superfícies estratigráficas, possivelmente pela presença de altos estruturais ligados às movimentações tectônicas da Zona de Acomodação Taipus-Mirim.

5.4 Mapas de Isópacas

O mapeamento das superfícies estratigráficas permitiu a confecção de mapas de espessuras (ou de intervalos de tempo) das sequências sedimentares delimitadas. Estes mapas são úteis na análise de espessura das camadas rochosas, permitindo assim inferir a localização dos depocentros durante a deposição de cada sequência interpretada, os períodos de maior criação de espaço de acomodação, e ainda o sentido dos principais fluxos de sedimentação. As sequências da fase drifte apresentam espessuras que aumentam gradualmente no sentido sudeste, na região central da bacia. A partir de análise entre as sequências marinhas, de

maneira geral, há uma tendência de aumento das espessuras com os depósitos mais recentes. A figura 5.10 abaixo mostra os mapas de isópacas extraídos das interpretações do referido trabalho.

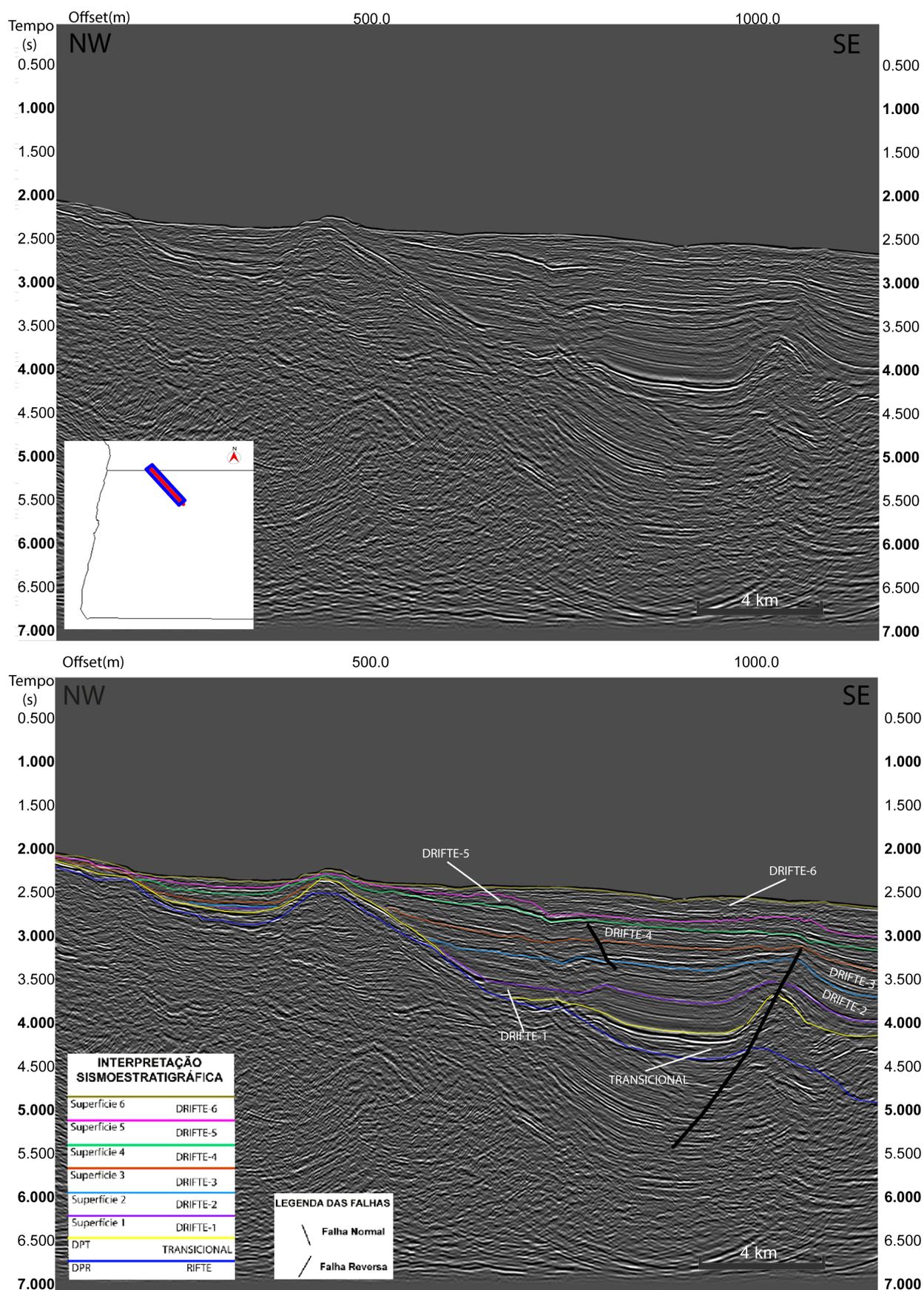


Figura 5.1: Seção sísmica dip da região norte da Bacia de Almada: (A) não interpretada; (B) interpretada. Em ambos os casos, utilizando o atributo amplitude

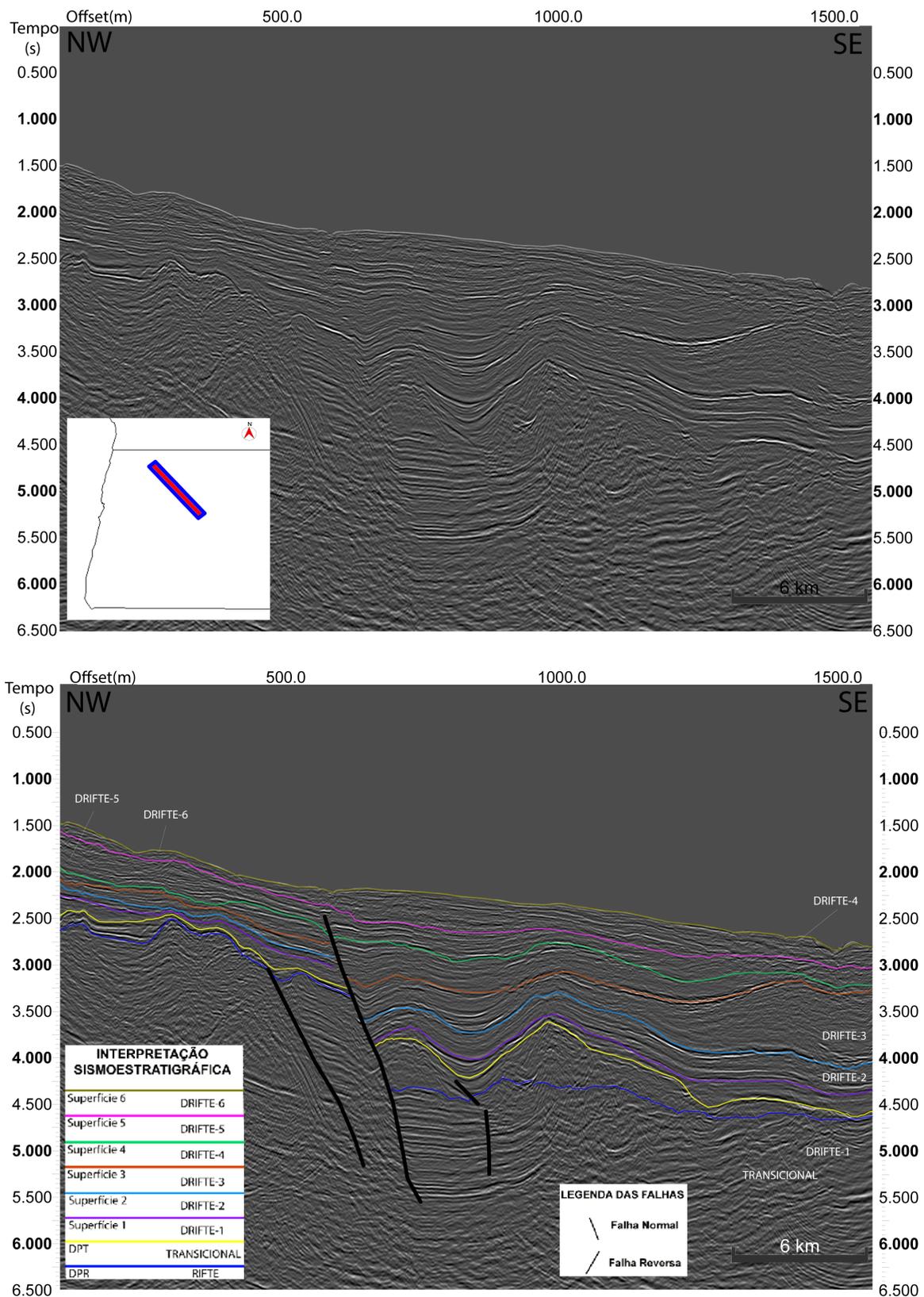


Figura 5.2: Seção sísmica dip da região centro-norte da Bacia de Almada: (A) não interpretada; (B) interpretada. Em ambos os casos, utilizando o atributo amplitude

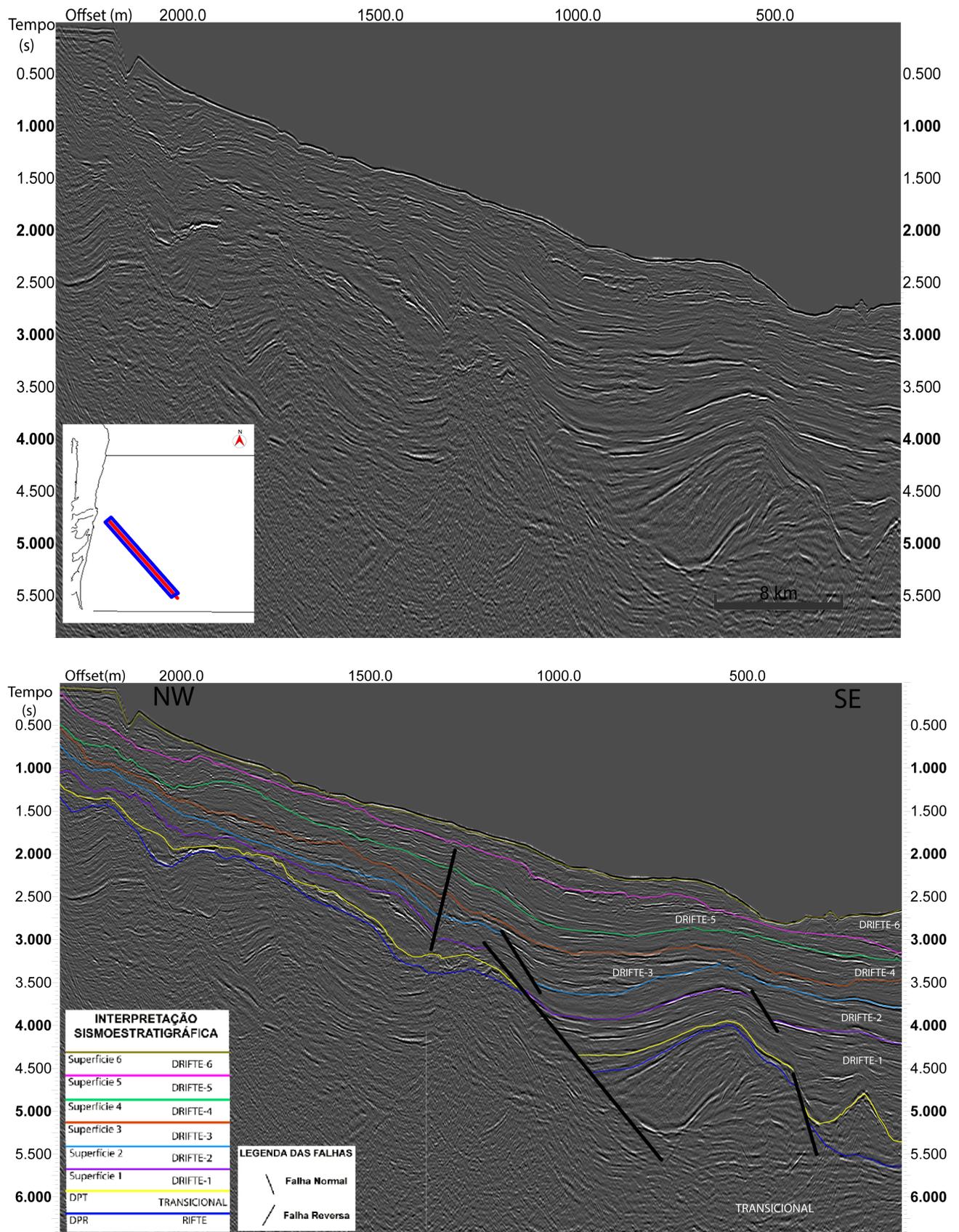


Figura 5.3: Seção sísmica dip da região centro-sul da Bacia de Almada: (A) não interpretada; (B) interpretada. Em ambos os casos, utilizando o atributo amplitude

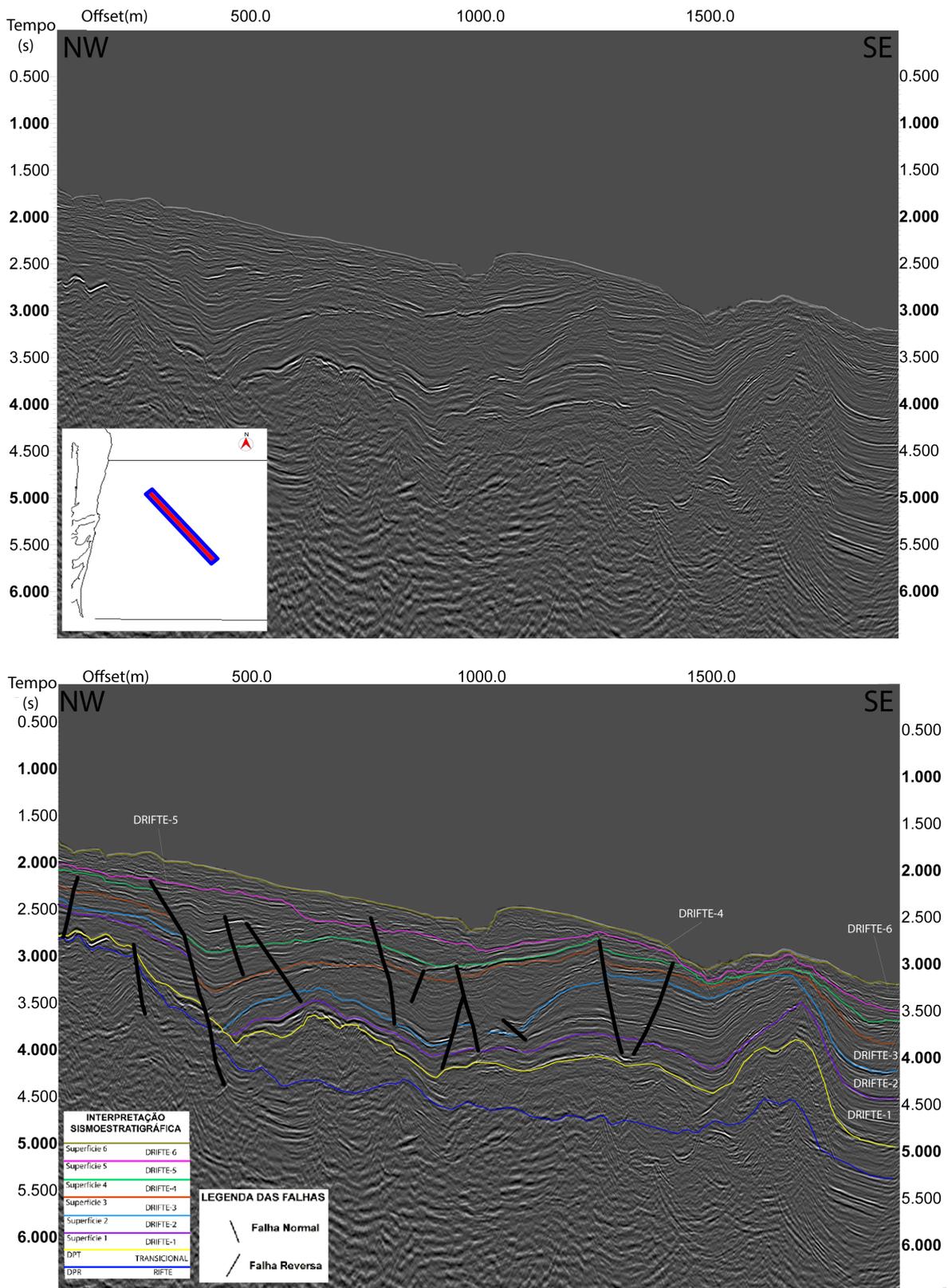


Figura 5.4: Seção sísmica dip da região central da Bacia de Almada: (A) não interpretada; (B) interpretada. Em ambos os casos, utilizando o atributo amplitude

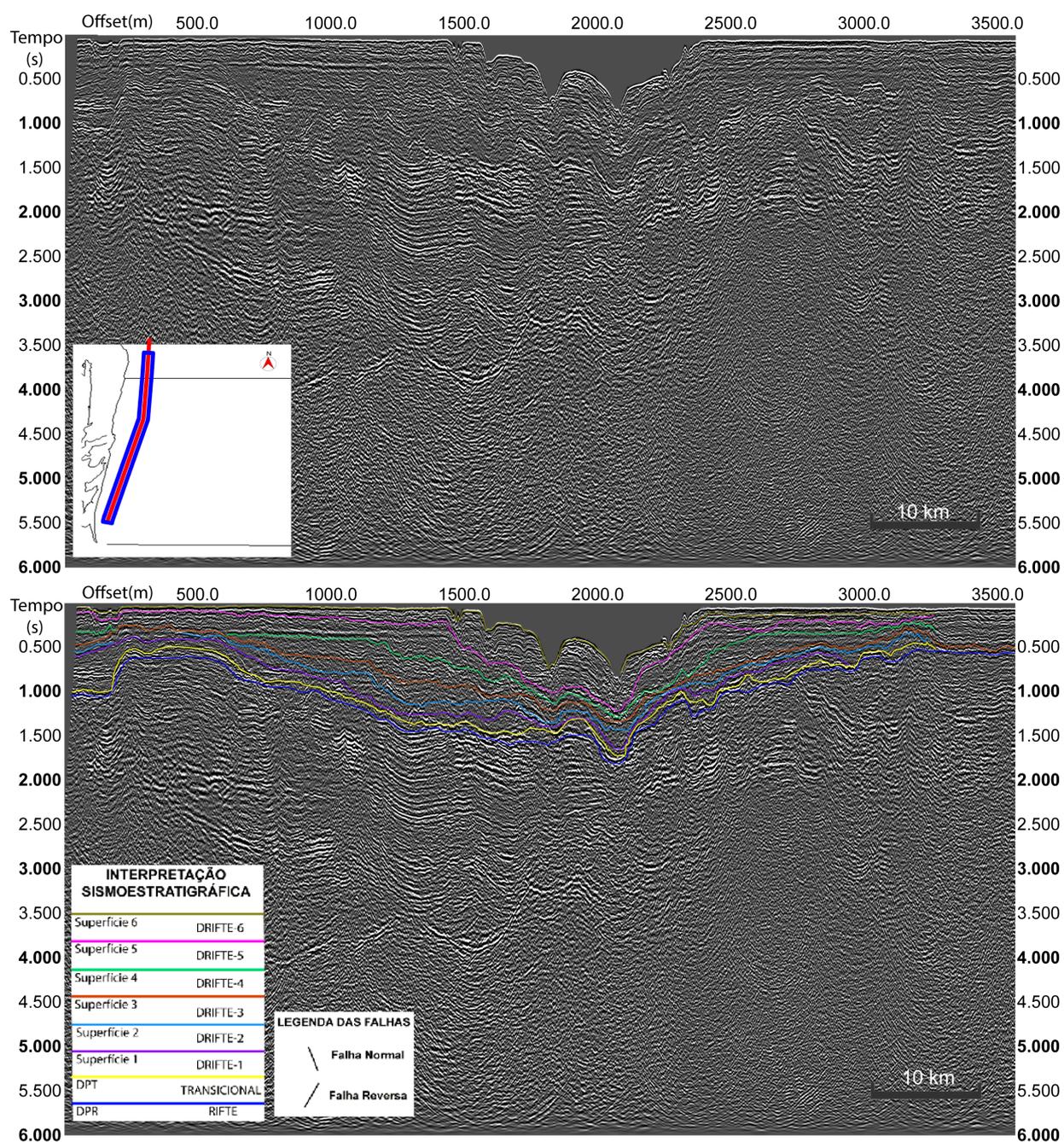


Figura 5.5: Seção sísmica cortando toda a porção da região leste da Bacia de Almada: (A) não interpretada; (B) interpretada. Em ambos os casos, utilizando o atributo amplitude

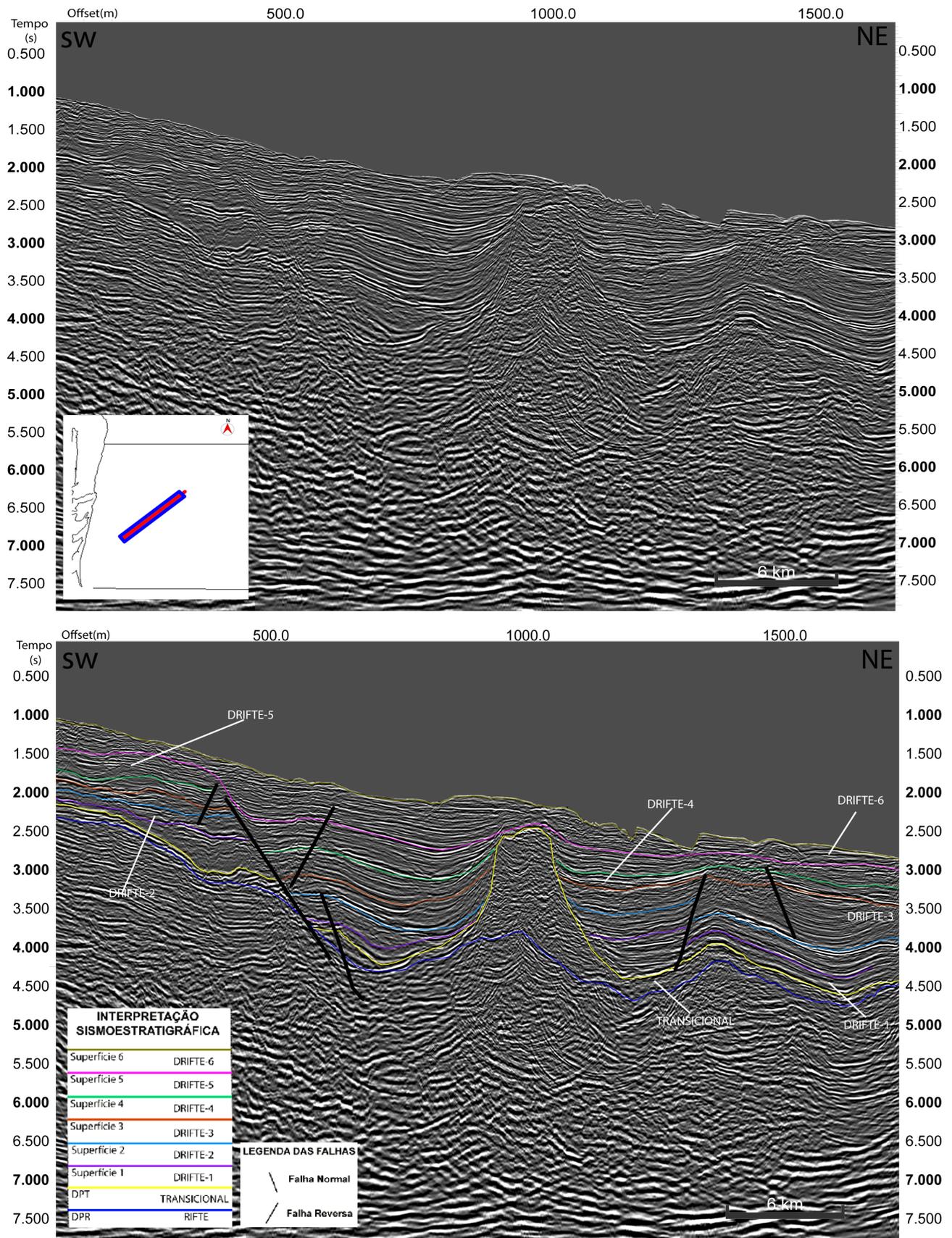


Figura 5.6: Seção sísmica localizada na porção central da Bacia de Almada: (A) não interpretada; (B) interpretada. Em ambos os casos, utilizando o atributo amplitude

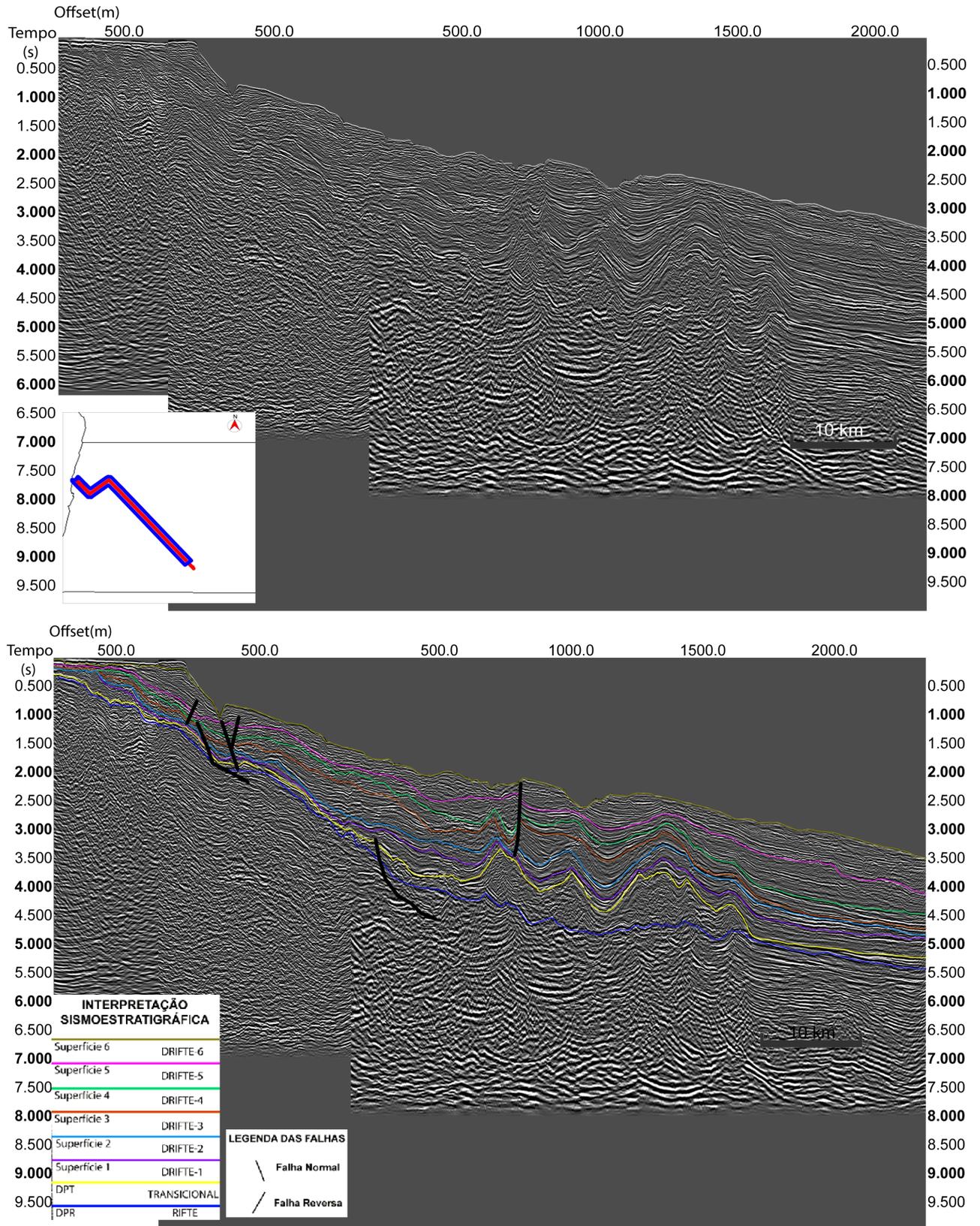


Figura 5.7: Seção sísmica composta que passa pelas porções proximal, de talude e distal da Bacia de Almada: (A) não-interpretada, (B) interpretada. Em ambos os casos, utilizando o atributo amplitude

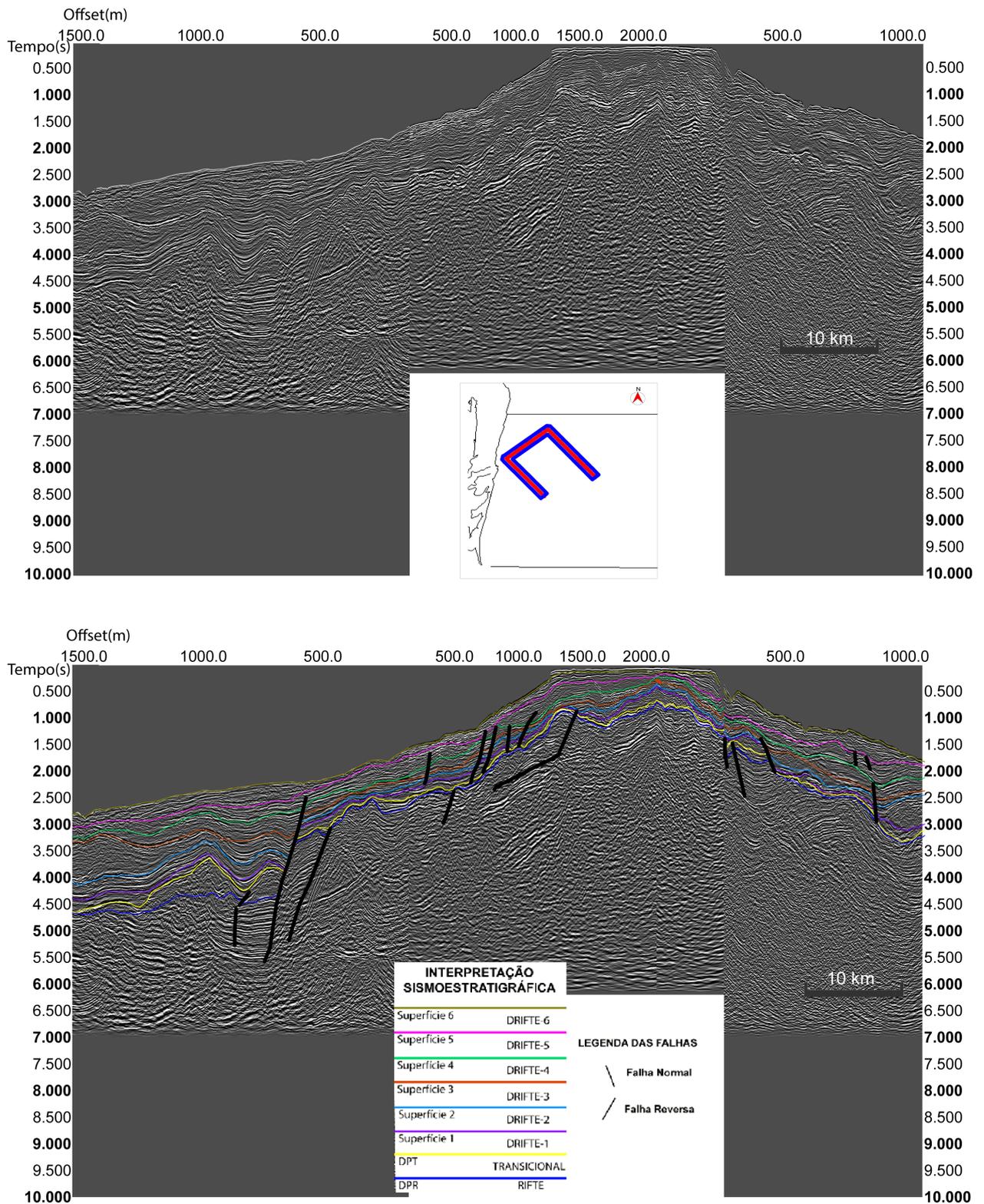


Figura 5.8: Seção sísmica composta que passa pelas porções proximal e de talude do centro norte da Bacia de Almada: (A) não-interpretada, (B) interpretada. Em ambos os casos, utilizando o atributo amplitude

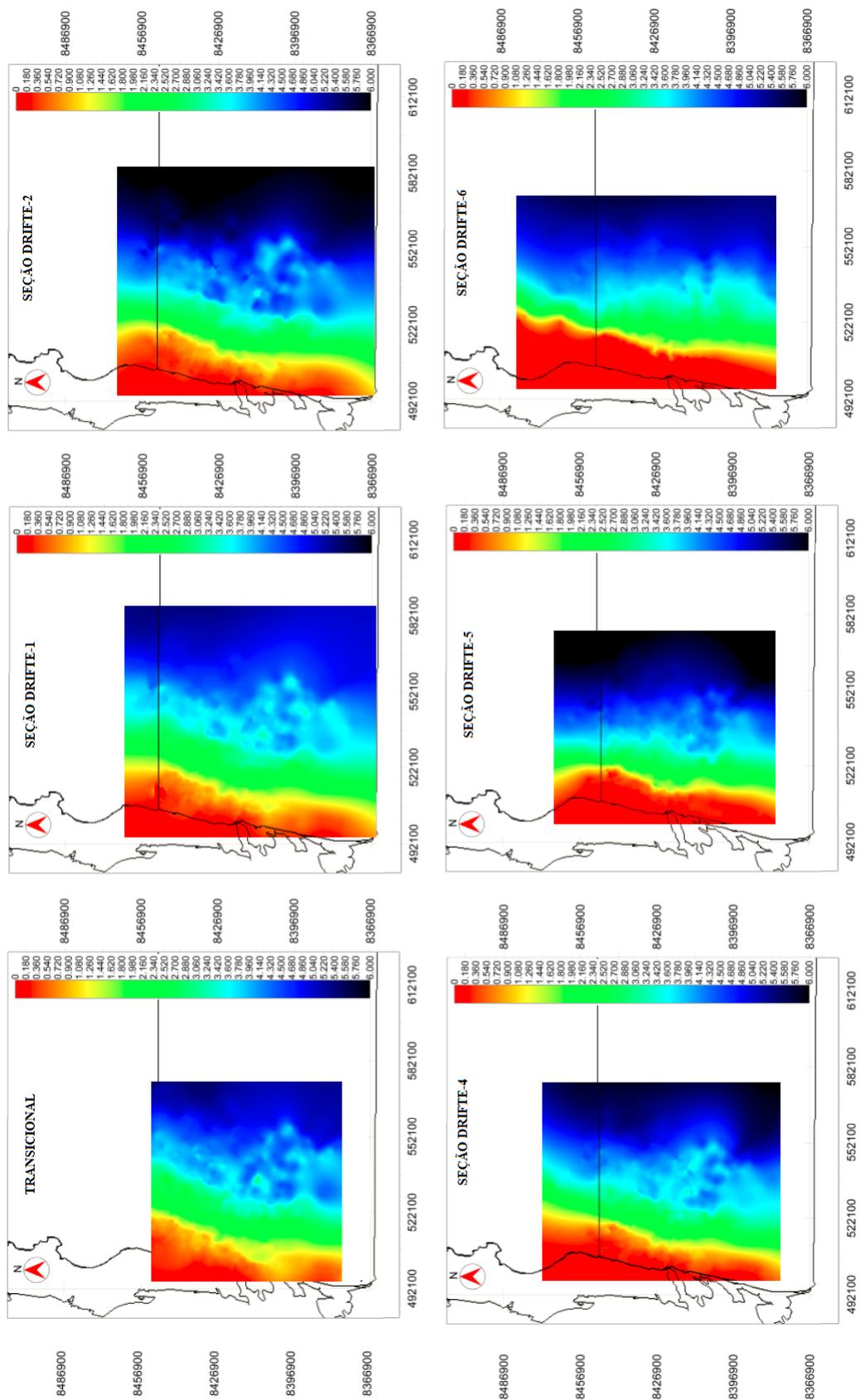


Figura 5.9: Mapas de topo estrutural para as superfícies interpretadas no referido trabalho

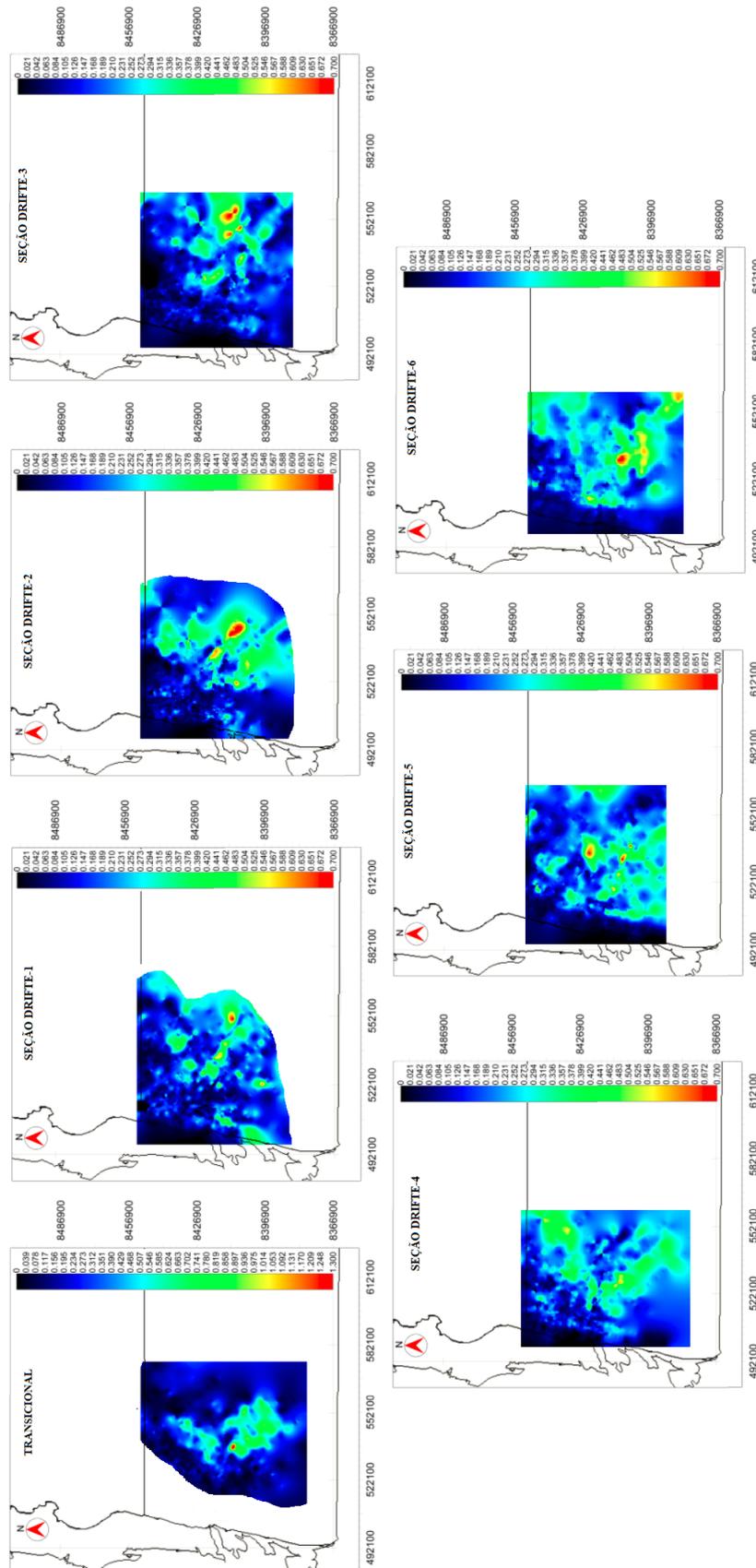


Figura 5.10: Mapas de isópacas para as superfícies interpretadas no referido trabalho

6

Conclusões

As interpretações estrutural e sismoestratigráfica identificou as principais características que o referido trabalho teve como objetivo. A integração dos dados geológicos e geofísicos foi fundamental, possibilitando uma análise das sequências transicional e drifte da área de estudo, que corresponde à Bacia de Almada.

A interpretação sismoestratigráfica permitiu a identificação das discordâncias que limitam a sequência transicional na base e no topo, que respectivamente correspondem à Discordância Pós-Rifte (DPR) e a Discordâncias Pós-Transicional (DPT). A DPR consiste numa expressiva discordância angular, enquanto que a DPT apresenta truncamentos em porções localizadas da bacia ocorrendo como uma conformidade correlativa na maior parte da área de estudo. As superfícies foram interpretadas com bom grau de confiabilidade no dado de poço e demarcadas nas linhas sísmicas, onde.

A análise sismoestratigráfica possibilitou o reconhecimento de 7 sismo fácies associadas ao mapeamento das sequências transicional e drifte: Transicional, DRIFTE-1, DRIFTE-2, DRIFTE-3, DRIFTE-4, DRIFTE-5 e DRIFTE-6, sendo possível fazer correlações com os padrões geológicos sedimentares da região. A sismo fácies DRIFTE-1, por exemplo, foi correlacionada às intercalações de folhelhos e arenitos da sequência Drifte, sendo um importante critério para mapear o limite superior da sequência transicional com a drifte.

Os mapas de topos estruturais e de isópacas permitem visualizar o mergulho e espessamento da seção transicional predominante para a região sudeste, onde, também a partir da análise dos mapas citados, foi possível identificar o depocentro da área de estudo, no momento de deposição dessa sequência. Interpreta-se que camadas de sal devem ter migrado, por fluxo gravitacional, das porções mais rasas da bacia para este depocentro, tanto

da região do talude quanto da porção norte da área de estudo, no limite entre as bacias de Camamu e Almada, segundo Ferreira (2009).

No dado de poço utilizado para o presente trabalho, não foram encontradas rochas evaporíticas na sequência transicional. Mesmo assim, foi possível mapear as Discordâncias (DPR e DPT) e gerar a correlação com a linha sísmica localizada na referida região. No restante da área de estudo, a sequência transicional é composta majoritariamente por sedimentos siliciclásticos, com ocorrências pouco expressivas de sais na região proximal e no extremo sul da bacia.

Na área correspondente ao depocentro, foram mapeadas e interpretadas estruturas autóctones ligadas à elevação da camada de sal, como diápiros, muralhas e almofadas de sal, como também foram mapeadas estruturas ligadas a deflação de sal.

Após analogias com estudos realizados em outras bacias, percebe-se que a tectônica do sal pode ter atuado gerando dois principais tipos de trapas acumuladoras de petróleo: as trapas formadas pelo acunhamento de corpos de rocha reservatório contra os flancos de diápiros de sal, e trapas associadas às estruturas dômicas desenvolvidas sobre almofadas de sal.

Por fim, com o objetivo de melhor aproveitamento do potencial exploratório da área de estudo, sugerem-se que sejam feitas análises geoquímicas para avaliar potencial gerador dos intervalos que preenchem as mini-bacias na Bacia de Almada.

Referências Bibliográficas

- Bertani, R.T. & Carozzi, A. (1984) Microfacies, depositional models and diagenesis of lagoa feia formation (lower cretaceous) campos basin, offshore brasil, *Ciência-Técnica-Petróleo*, **14**, Petrobras/Cenpes.
- Bonham-Carter (1988) Integration of geological datasets for gold exploration in nova scotia, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **54**(11):1585–1592.
- Brandão., A. G. (2017) Caracterização sismoestratigráfica da seção transicional na porção centro-sul da bacia de camamu-almada, p. 95 p.
- Bruhn, C. e Moraes, M. (1989) Turbiditos da formação urucutuca na bacia de almada, bahia: um laboratório de campo para estudo de reservatórios canalizados, *Boletim de Geociências da PETROBRÁS*, **3**(3):235–267.
- Cainelli, C. (1992) Sequence stratigraphy, canyons, and gravity mass flow deposits in the Piaçabuçu Formation, Sergipe-Alagoas Basin, Brazil, Tese de Doutorado, Thesis (PhD) – University of Texas, Austin, 1992.
- Cainelli, C., M. W. (2003) Some remarks on the evolution of sedimentary basins along the eastern brazilian continental margin, *Marine and Petroleum Geology*, **22**:206–216.
- Catuneanu, O.; Martins-Neto, M. A. e Eriksson, P. G. (2012) Sequence stratigraphic framework and application to the precambrian, *Marine and Petroleum Geology*, **33**(1):26–33.
- Cuinas Filho, E.P.; Bedregal, R. . A. e. F. R. . L. L. . (1991) Integração de informações de sensoriamento remoto, gravimetria e magnetometria no estudo do arcabouço estrutural do embasamento da bacia camamu-almada, ba., *Sociedade Brasileira de Geologia*, **21**(2004):69–88, XLII Congresso Brasileiro de Geologia, 2004, Araxá (MG)- Anais.
- DALY, R. A. (1936) Origin of submarine canyons, *American Journal of Science*, **31**(5):401–420.
- Dias, J. (2004) Tectônica, estratigrafia e sedimentação no andar aptiano da margem leste brasileira., *Boletim de Geociências da Petrobras*, **13**:7–25.

- Dott, R. H. (1983) Episodic sedimentation; how normal is average? how rare is rare? does it matter?, *Journal of Sedimentary Research*, **53**(1):5–23.
- D'Ávila (2004) Fácies e modelo deposicional do canyon de almada, bacia de almada, bahia, *Bol Geoc Petrobras*, **12**(2):251–286.
- Ferreira, T.; Caixeta, J. e. L. D. (2009) Controle do embasamento no rifteamento das bacias de camamu e almada, *Boletim de Geociências da Petrobrás*, **17**:69–88.
- Gamboa, L.A.P. Machado, M. P. D. S. D. D. F. J. D. S. S. M. W. S. P. A. S. (2008) Evaporitos estratificados no atlântico sul: interpretação sísmica e controle tectono-estratigráfico na bacia de santos, *Sal: Geologia e Tectônica, Exemplos nas Bacias Brasileiras*, pp. 340–359.
- Gontijo, G. A.; Millhomen, P. C. J. D. I. (2007) Bacia de almada., *Boletim de Geociências da Petrobrás*, **15**(2):p. 463–474.
- Holz, M. (2012) *Estratigrafia de Sequencias: Historico, Principios e Aplicacoes*, Interciência, ISBN 8571932905.
- Holz, M., V.-B. D. T. E. S. V. S. P. (2017) Conceptual models for sequence stratigraphy of continental rift succession., **2**:p. 119–186.
- Hsü, K. (1983) Actualistic catastrophism address of the retiring president of the international association of sedimentologists, *Sedimentology*, **30**(1):3–9.
- Küchle, J.; Scherer, C. M. d. S. B. C. C. A. R. d. S. e. A. F. (2011) A contribution to regional stratigraphic correlations of the afro-brazilian depression the dom joão stage (brotas group and equivalent units late jurassic) in northeastern brazilian sedimentary basins, *Journal of South American Earth Sciences*, **31**(4):358–371.
- Mendes, M. (1998) *Evolução, análise estratigráfica e sistemas turbidíticos em paleocânions submarinos: exemplos de Almada (BA) e Regência (ES)*, Tese de Doutorado, Dissertação de Mestrado, UFRGS, Porto Alegre.
- Netto, A. S., S. C. P. (1991) Roteiro geológico da bacia do almada, *Revista Brasileira de Geociências*, **21**(1991):69–88.
- Payton, C. E. e. a. (1977) *Seismic Stratigraphy: Applications to Hydrocarbon Exploration (AAPG Memoir 26)*, American Association of Petroleum Geologists, ISBN 0891813020.
- Ponte, F. (1971) *Evolução paleogeográfica do brasil oriental e da África ocidental*. petrobras, Unpublished Internal Report CPEG, **4**.
- Ponte, F. e Asmus, H. (1978) Geological framework of the brazilian continental margin, *Geologische Rundschau*, **67**(1):201–235.
- Prosser, S. (1993) Rift-related linked depositional systems and their seismic expression, *Geological Society*, **71**(1):35–66.

- Shepard, F. P. (1933) Canyons beneath the seas, *Scientific Monthly*, Amsterdam, **37**:31–39.
- Shepard, F. P. (1981) Cânions submarinos: múltiplas causas e persistência de longa data, *boletim AAPG*, **65**(6):1062–1077.
- Soeiro, P. (2004) Notas de aula da disciplina “perfilagem de poços”, Curso Programa Trainees Petrobrás 2004.
- Spencer, J. W. (1903) Submarine valleys off the american coast and in the north atlantic, *Bulletin of the Geological Society of America*, **14**(1):207–226.
- Taner, M. T.; Koehler, F. e Sheriff, R. E. (1979) Complex seismic trace analysis, *GEOPHYSICS*, **44**(6):1041–1063.
- Wegener, A. (1924) *The origin of continents and oceans.*, New York: Dutton, p. 212.