

4.4 Mapas de isópacas

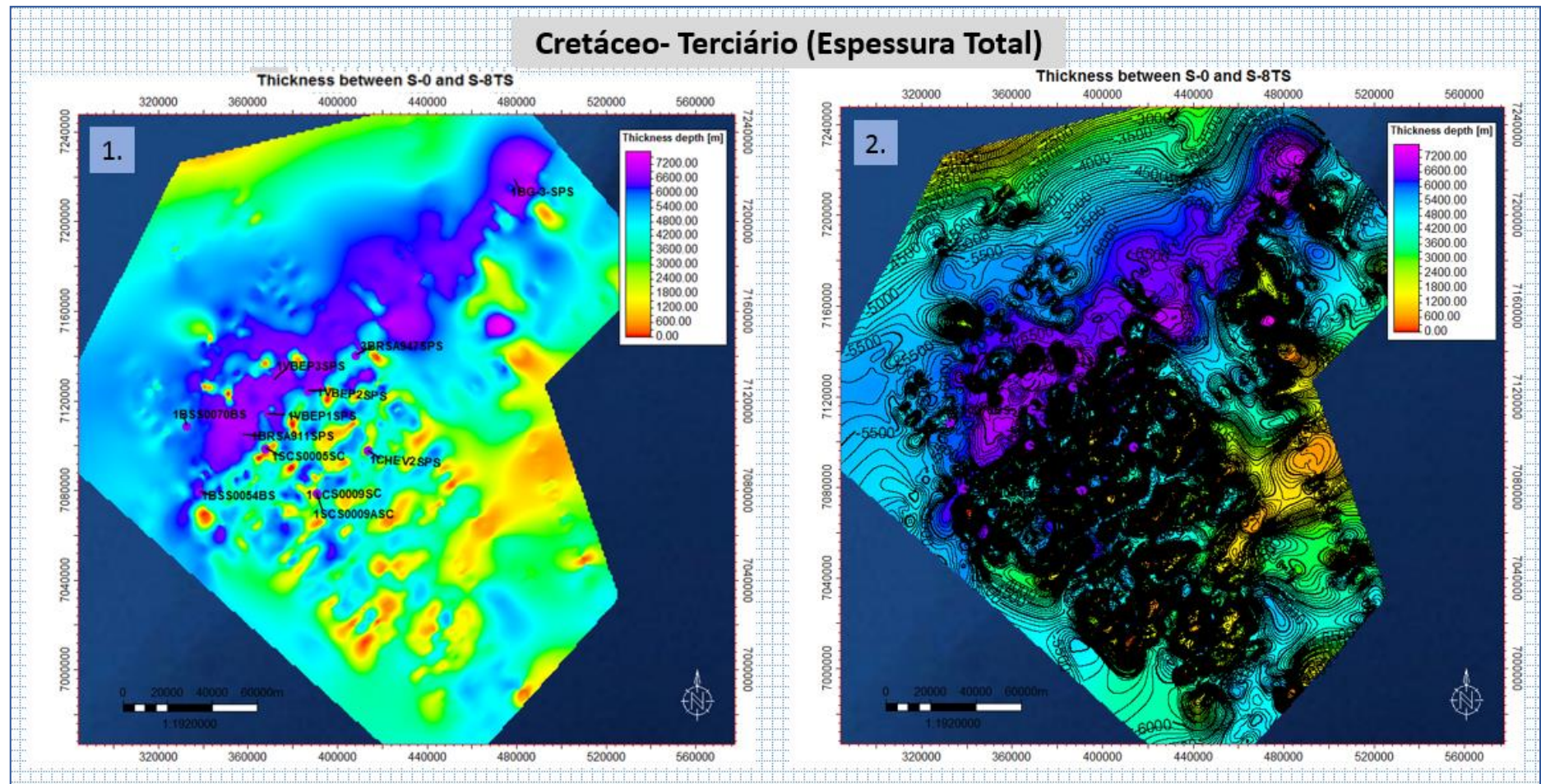
A interpretação sismoestratigráfica da porção sudoeste da Bacia de Santos permitiu a subdivisão do intervalo sedimentar em 9 sismossequências estratigráficas (Tabela 7). Estas subdivisões foram interpoladas para gerar mapas de isópacas e a partir destes mapas, foram identificados depocentros que permitem deduzir alguns fatores que atuaram durante a deposição sedimentar, como a influência de domos salinos que agiram como barreira à deposição em áreas mais distais além do aumento da taxa de sedimentação após o soergimento da Serra do Mar e colapso na área do estudo.

Os mapas de isópacas permitiram a compreensão de componentes como influxo sedimentar e variação do nível do mar na sedimentação e evolução da área de estudo. A partir da análise dos mapas foi possível observar a espessura sedimentar depositada na área de estudo. A movimentação dos evaporitos, formando as muralhas na área mais distal, permitiu a criação de depocentros que foram preenchidos pelo grande aporte sedimentar gerado pelo surgimento da Serra do Mar.

O Mapa de Isópacas Total propõe uma estimativa de como ocorre a distribuição sedimentológica a partir da ruptura do Supercontinente Gondwana até o período recente (Figura 37). O mapa mostra os maiores altos e depocentros da área estudada considerando a história geológica da Bacia de Santos. A partir da análise deste mapa conclui-se que a porção intermediária atuou como um depocentro sedimentar. Além disso, esses depocentros tiveram relação com a mobilidade dos sedimentos Aptianos devido ao grande aporte sedimentar ocorrido durante períodos como o Cretáceo superior e Paleoceno.

É identificada a existência de um depocentro principal localizado na porção sudoeste da área de estudo, com espessuras de até 7200 m. A disposição do depocentro é uma calha de direção NE-SW que concentra as maiores espessuras de sedimento. Essa calha reflete um forte controle estrutural, devido tanto à subsidência tectônica quanto à halocinese. A borda sudeste da calha, por sua vez, é controlada pela halocinese, devido à presença de grandes diápiros de sal. A formação desses diápiros pressupõe que haja a retirada de sal de outras porções da bacia para que este corpo seja alimentado, o que é responsável pela criação de espaço de acomodação adicional nas regiões adjacentes.

Figura 37 - Isópaca entre S-Fundo Marinho e S-8TS (Topo da sal), Espessura total



Nota: 1. Sem contornos 2. Contornos estruturais.

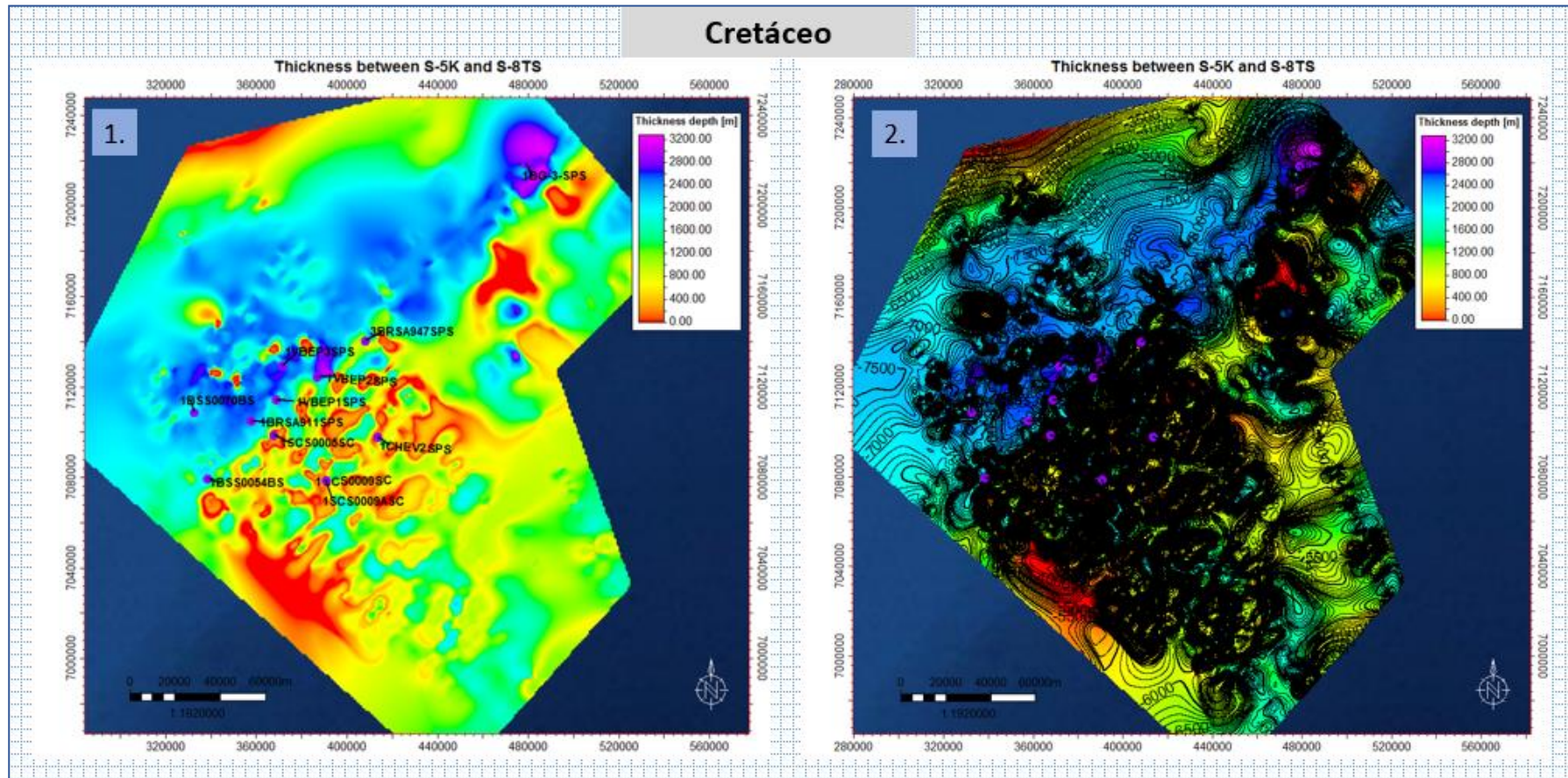
Fonte: A autora, 2016. 1. Sem contornos 2. Contornos estruturais.

No mapa de isópaca terciário entre os horizontes S-0FM e S-5K (Figura 39) foi identificado um depocentro principal localizado na porção sudoeste da área de estudo, com espessuras de até 4000 m. Há um segundo depocentro, com espessuras entre 3600 até 2800, em uma distribuição ainda NE-SW e um forte controle estrutural, devido tanto à subsidência tectônica quanto à halocinese.

É identificado um depocentro principal no mapa de Isópaca do Cretáceo entre os horizontes S-5K e S-8TS (Figura 38) localizado na porção sudoeste da área de estudo, com espessuras de até 3200 m. A disposição do depocentro é uma calha de direção NE-SW que concentra as maiores espessuras de sedimento. Essa calha reflete um forte controle estrutural, devido tanto à subsidência tectônica quanto à halocinese.

Existe uma migração importante na localização dos depocentros com maior espessura, do NE, no Cretáceo, com uma espessura máxima de 3200, ao SW, no Terciário, com uma espessura máxima de 4200 aproximadamente (Figuras 38 e 39). Porém, a disposição do depocentros com espessuras entre 2400 e 3200 na direção NE-SW se conservam para todas as sequências estudadas do Cretáceo e Terciário, evidenciando o controle na sedimentação e rejuvenescimento da área fonte para o Terciário.

Figura 38 - Isópaca entre S-5K (Cretáceo) e S-8TS (Topo da sal), Cretáceo



Nota: 1. Sem contornos 2. Contornos estruturais.

Fonte: A autora, 2016.

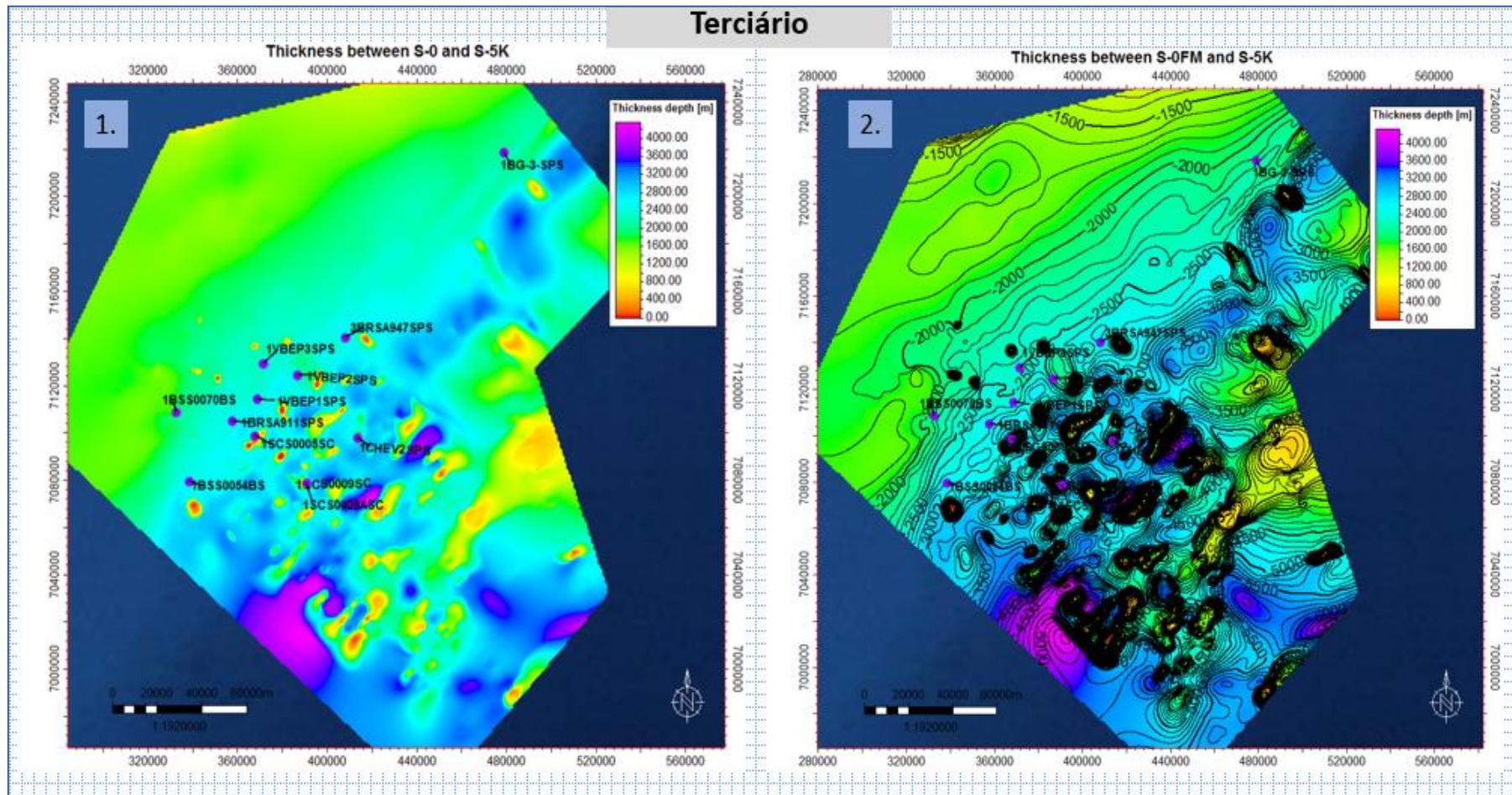


Figura 39 - Isópaca entre S-0FM Fundo Marinho e S-5K (Cretáceo), Terciário

Nota: 1. Sem contornos 2. Contornos estruturais.

Fonte: A autora, 2016.

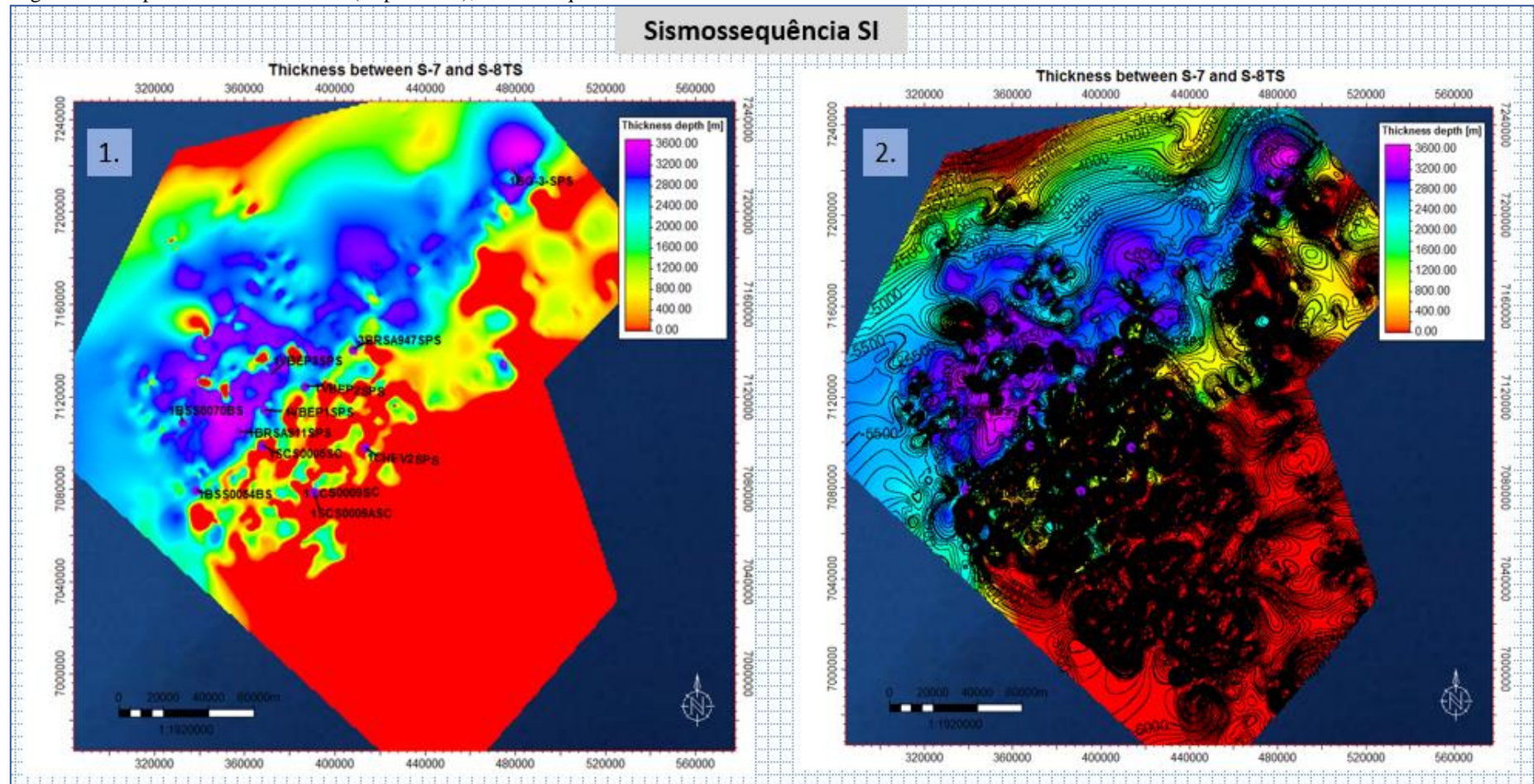
A sedimentação da sismossequência SJ (Sal) ocorreu sobre a superfície de discordância, que se apresentava com morfologia relativamente plana, sem grandes irregularidades. Com a ruptura do Gondwana e deriva continental em curso, uma charneira flexural se delineou originando uma bacia com fisiografia de rampa. No Albiano houve incremento acentuado do espaço de acomodação devido à subsidência diferencial, com a formação da geometria em rampa, e à subida eustática do nível do mar. O movimento do sal talude abaixo, com retirada de massa da área da rampa, incrementou ainda mais o espaço de acomodação.

O mapa de isópaca da sismossequência SI apresenta depocentro principal a sudoeste, com espessuras de até cerca de 3600 m. Observa-se que neste tempo, o sal constituía-se numa importante barreira à deposição nas porções mais distais da bacia (Figura 40).

O mapa de isópaca da sismossequência SH apresenta depocentros principais ao NE e depocentros nas mini-bacias formadas entre as estruturas de sal, com espessuras de até cerca de 2200 m. Observa-se que as maiores espessuras de sedimento encontram-se mais distais em relação à sequência anterior, refletindo a queda do nível relativo do nível do mar experimentada no fim da deposição dessa sequência. As maiores espessuras referem-se aos depósitos de fluxo gravitacional de trato de sistema de mar baixo que ultrapassaram a barreira do sal (Figura 41).

O mapa de isópaca da sismossequência SG (Maastrichtiano) apresenta um depocentro principal a sudoeste e outro secundário a nordeste, ao longo da calha de direção NE-SW, com espessuras de até 1400 m (Figura 42). Observa-se, portanto, que não possui uma migração acentuada com relação aos depocentros principais das sequências anteriores. Da base ao topo da sismossequência SH até SF (Paleoceno) se evidencia o maior extensão e desenvolvimento dos depocentros, com espessuras entre 2200m e 1400 m. Para o Limite K/T o desenvolvimento em tamanho, é maior em relação às sismossequências anteriores, com uma espessura aproximada de 1500 m, demonstrando maior contribuição sedimentar para finais do Cretáceo e Terciário Inferior (Figuras 42 e 43).

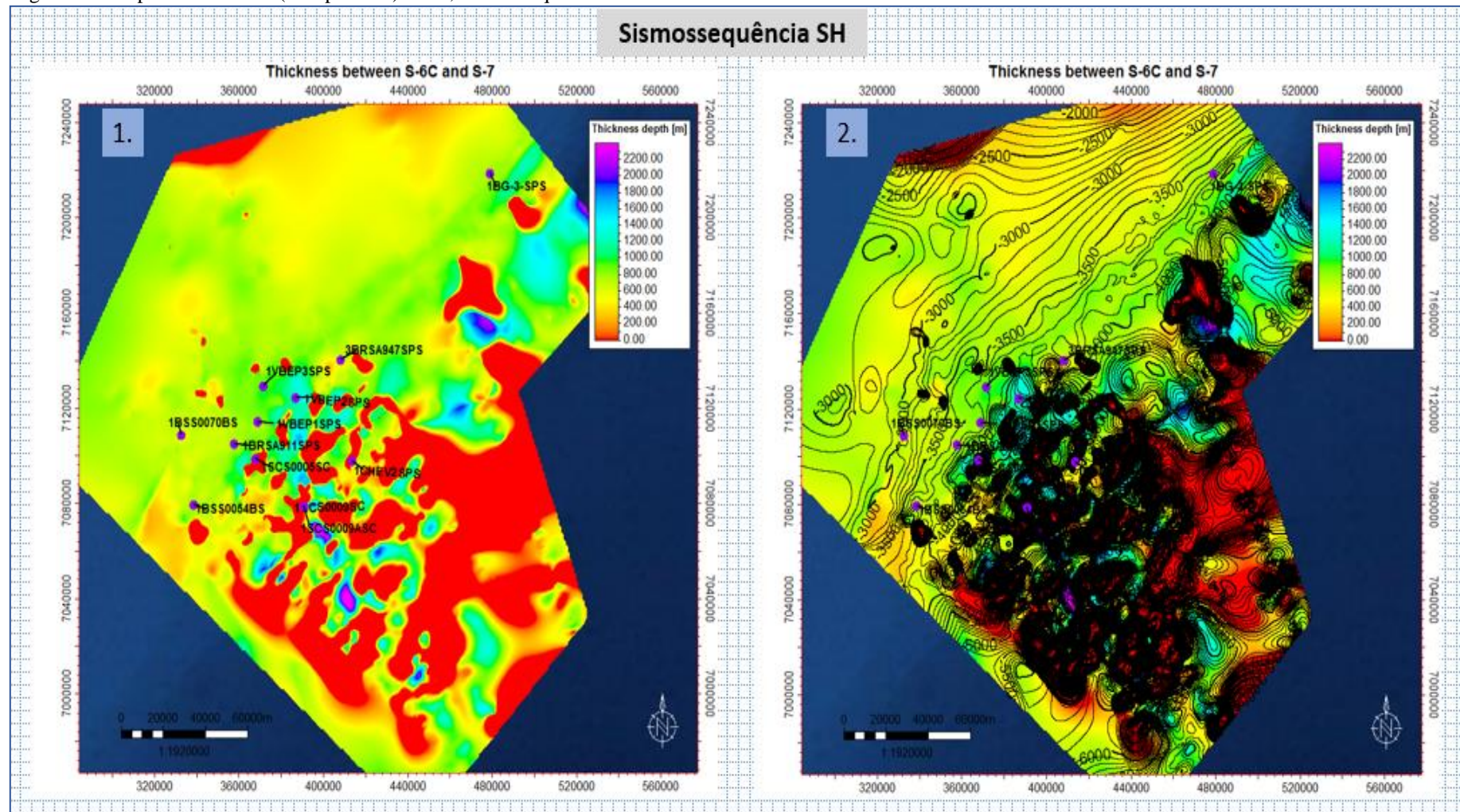
Figura 40 - Isópaca entre S-7 e S-8TS (Topo da sal), Sismossequência SI



Nota: 1. Sem contornos 2. Contornos estruturais.

Fonte: A autora, 2016.

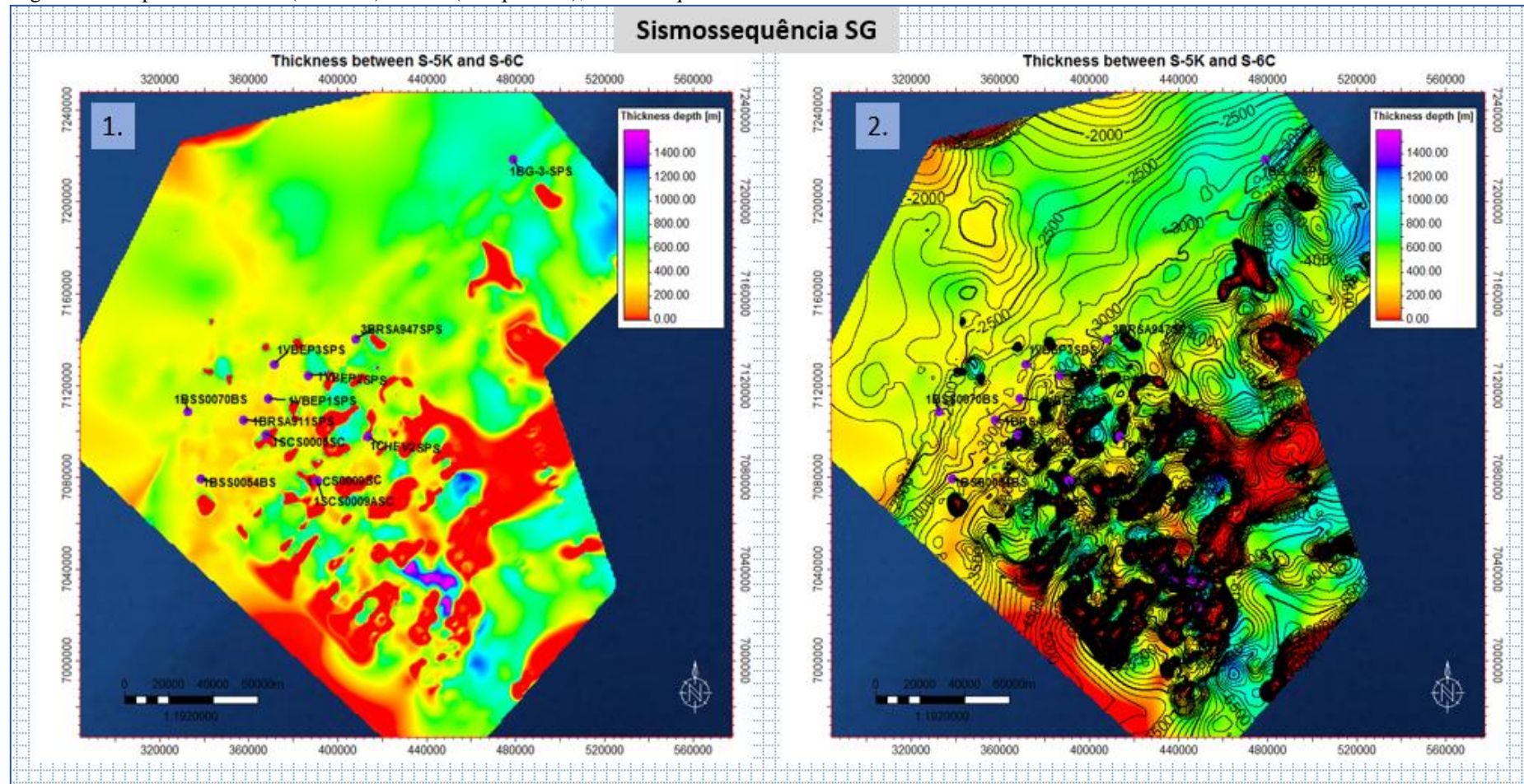
Figura 41 - Isópaca entre S-6C (Campaniano) e S-7, Sismossequência SH



Nota: 1. Sem contornos 2. Contornos estruturais.

Fonte: A autora, 2016.

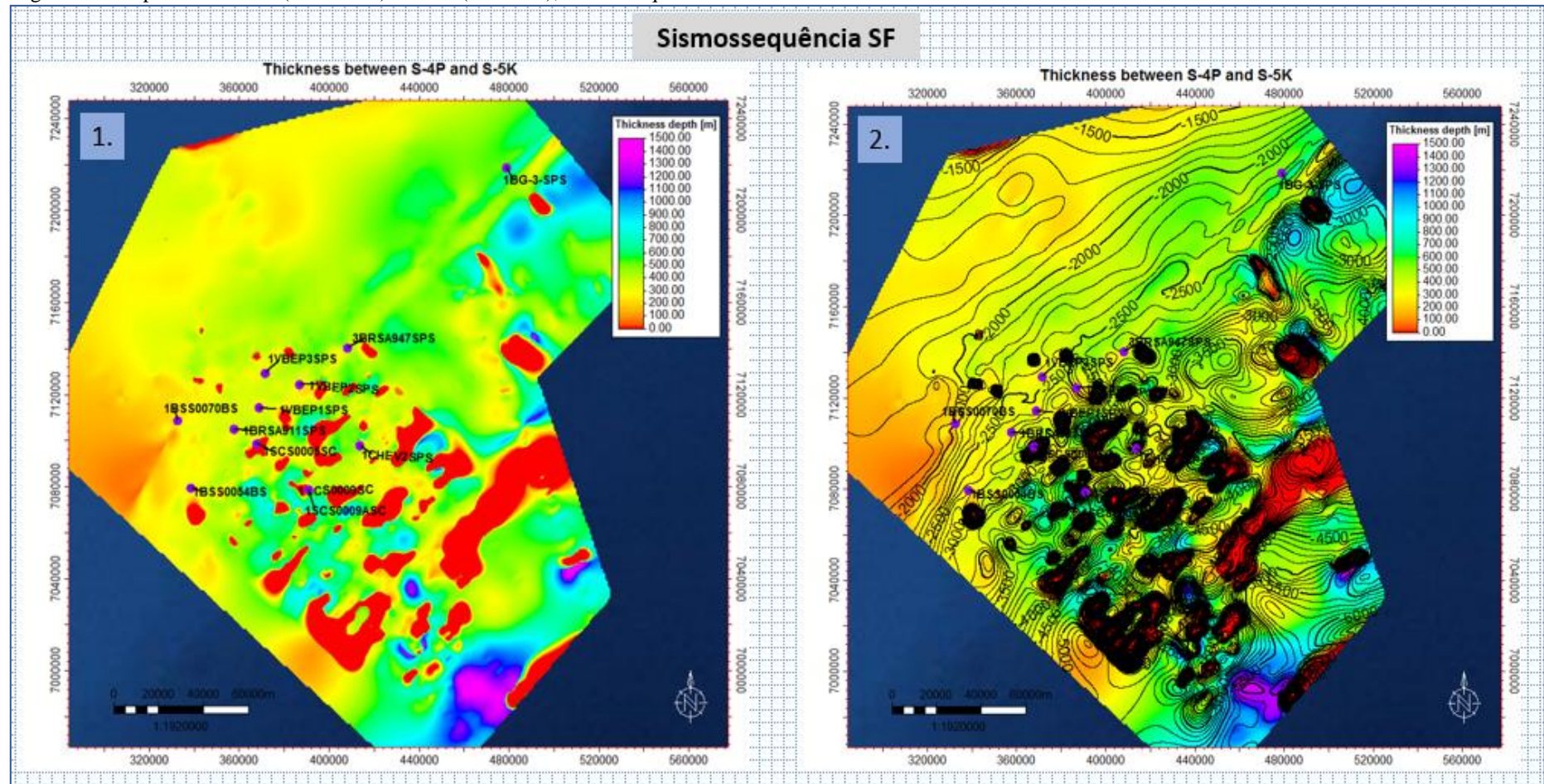
Figura 42 - Isópaca entre S-5K (Cretáceo) e S-6C (Campaniano), Sismossequência SG



Nota: 1. Sem contornos 2. Contornos estruturais.

Fonte: A autora, 2016.

Figura 43 - Isópaca entre S-4P(Paleoceno) e S-5K (Cretáceo), Sismossequência SF



Nota: 1. Sem contornos 2. Contornos estruturais.

Fonte: A autora, 2016.

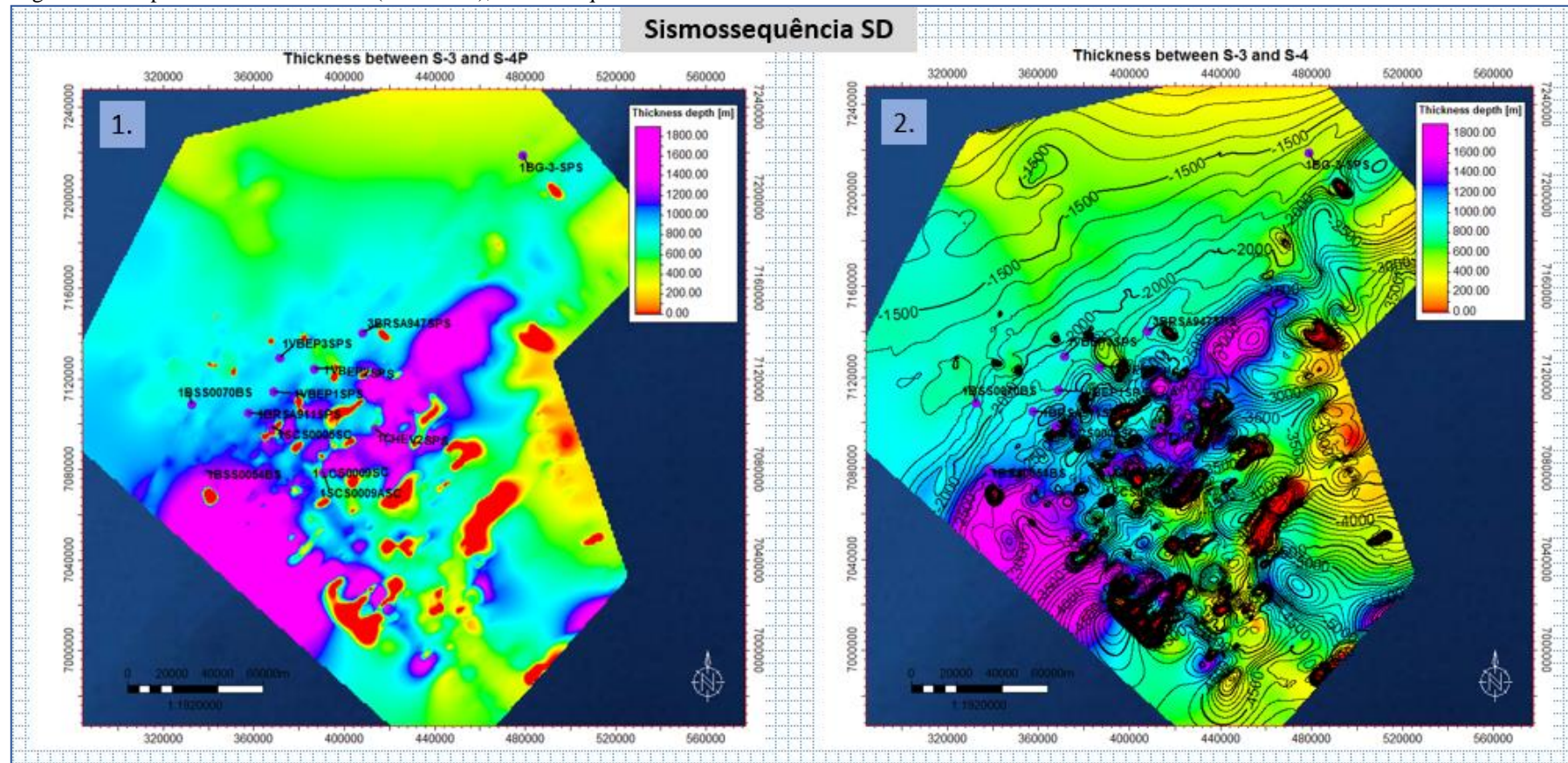
A sismossequência SD apresenta um depocentro principal a sudoeste e outro secundário a nordeste, ao longo da calha de direção NE-SW. É a sismossequência que apresenta as maiores espessuras para o Terciário, mostrando-se bem desenvolvida em todas as linhas, com espessuras de até 1800m (Figura 44). A deposição dessa proeminente cunha sedimentar reflete o estabelecimento de uma drenagem mais organizada e possante. Observa-se que neste tempo, o sal constituía-se em uma importante barreira à deposição ainda nas porções mais distais da bacia.

A sismossequência SC apresenta o depocentro na porção SE da área de estudo, com espessuras de até 1300 m (Figura 45). Observa-se, portanto, que houve a migração do depocentro principal, que durante a deposição das sismossequências anteriores encontrava-se preferencialmente a sudoeste. Essa migração ocorreu provavelmente devido à disponibilidade do espaço de acomodação, esgotado na porção sudoeste pela deposição da espessa sismossequência SD.

Na sismossequência SB identificou-se o depocentro principal a SE, com espessuras de até cerca de 1300 m. Observa-se que as maiores espessuras de sedimento encontram-se pouco desenvolvidas em relação à sismossequência anterior, refletindo as variações relativas do nível do mar experimentada na deposição dessa sismossequência. (Figura 46).

A sismossequência SA apresenta depocentro na porção SW da área de estudo, com espessuras de até 1200 m (Figura 47). Observa-se, portanto, que houve uma pequena migração dos depocentros principais da sismossequência anterior e, além disso, um desenvolvimento importante do depocentro identificado na sismossequência SA, que durante a deposição das sismossequências anteriores encontrava-se preferencialmente a sudeste. Essa migração ocorreu provavelmente devido à disponibilidade do espaço de acomodação, esgotado na porção sudeste pela deposição da sismossequência SB.

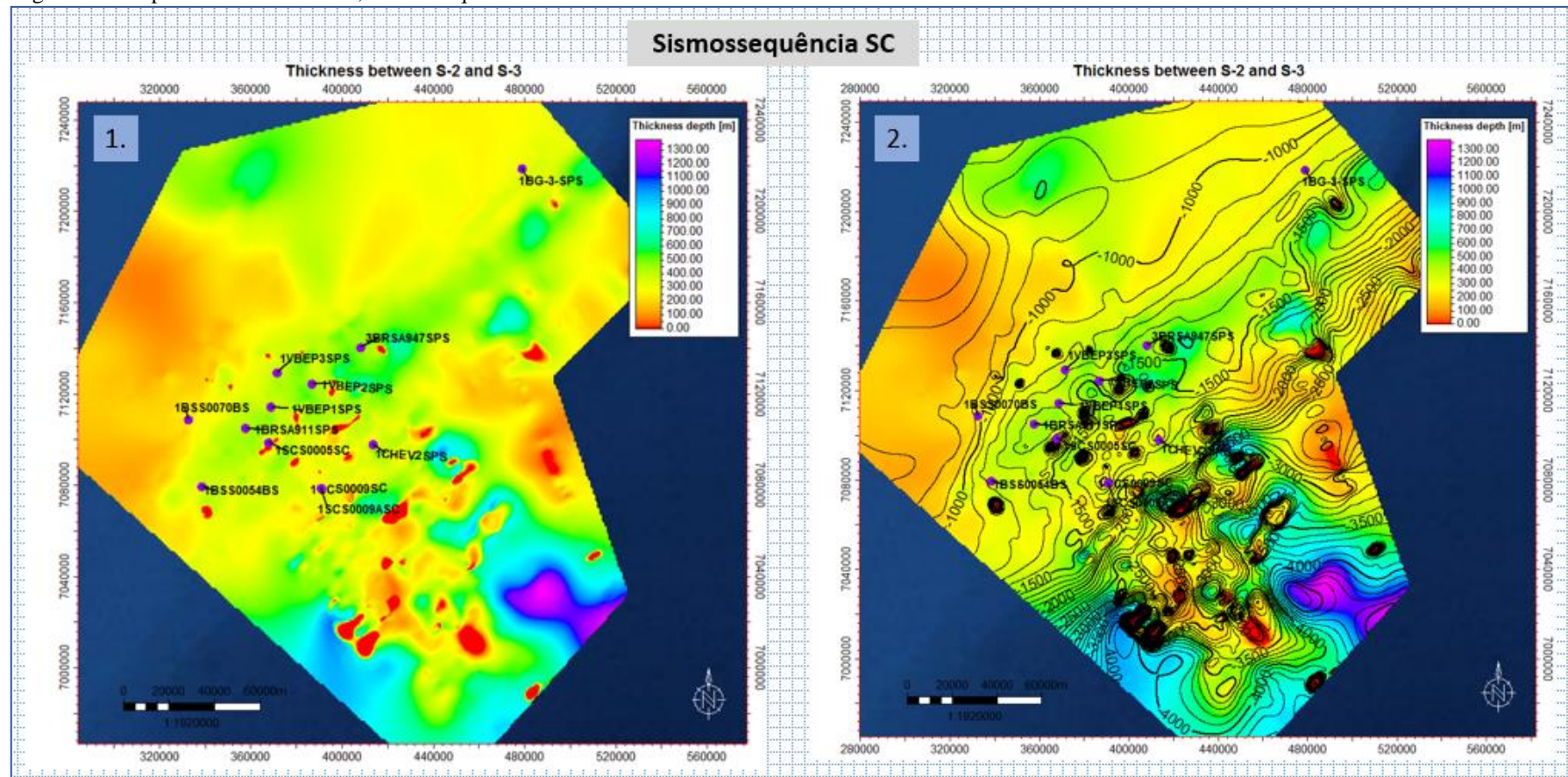
Figura 44 - Isópaca entre o S-3 e S-4P (Paleoceno), Sismossequência SD



Nota: 1. Sem contornos 2. Contornos estruturais.

Fonte: A autora, 2016.

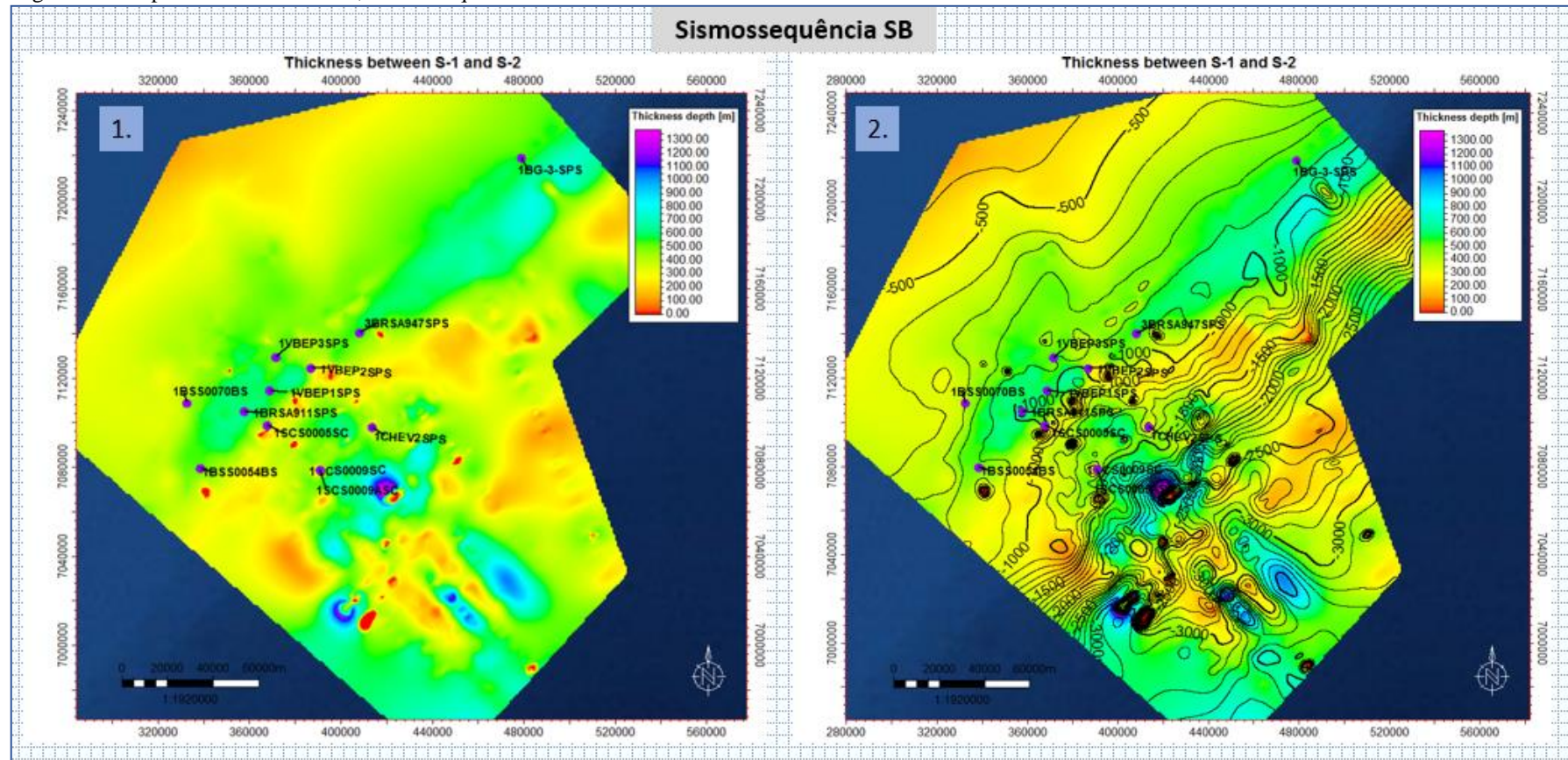
Figura 45 - Isópaca entre o S-2 e S-3, Sismossequência SC



Nota: 1. Sem contornos 2. Contornos estruturais.

Fonte: A autora, 2016.

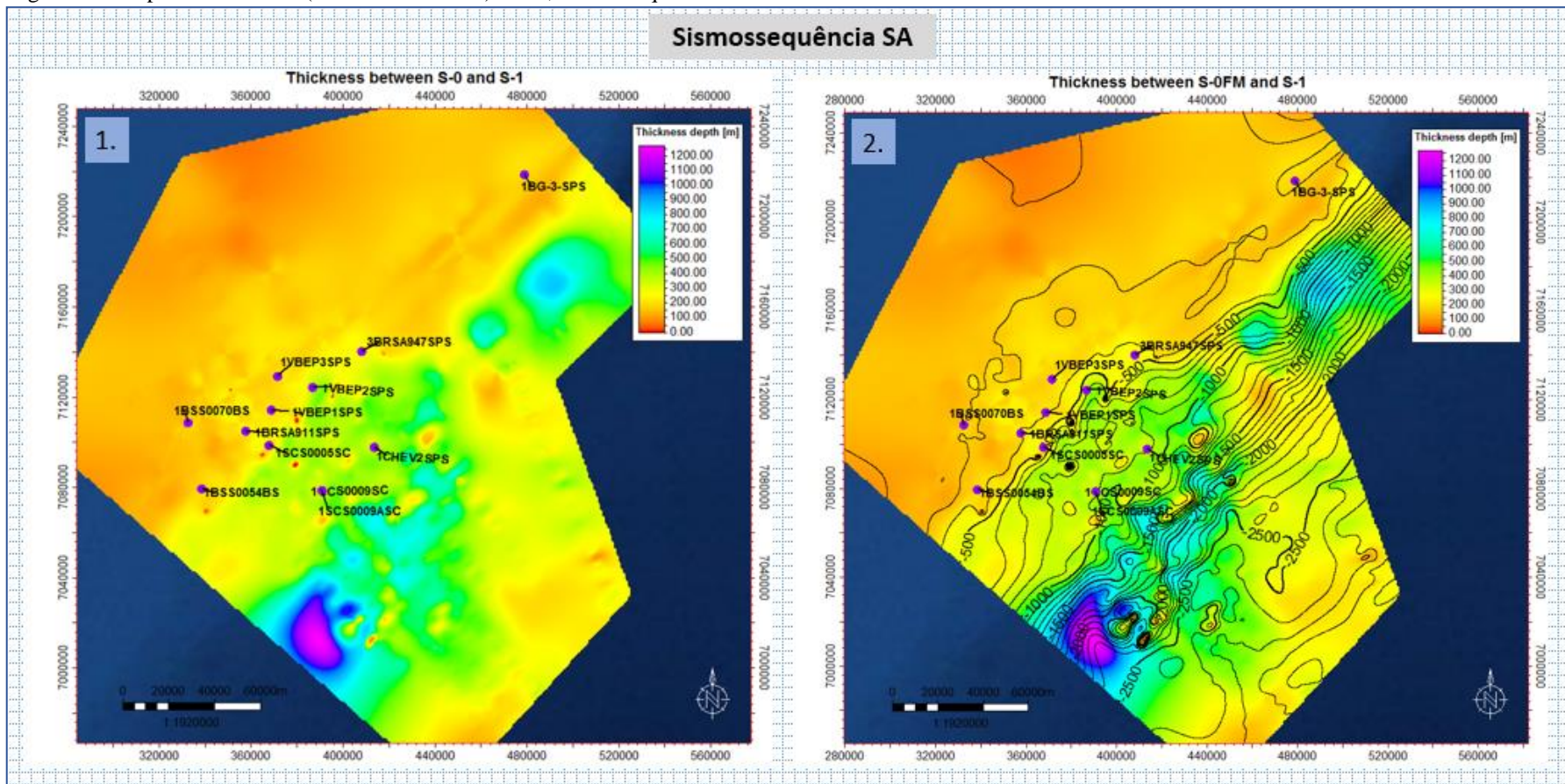
Figura 46 - Isópaca entre o S-1 e S-2, Sismossequência SB



Nota: 1. Sem contornos 2. Contornos estruturais.

Fonte: A autora, 2016.

Figura 47 - Isópaca entre o S-0 (Fundo do marinho) e S-1, Sismossequência SA



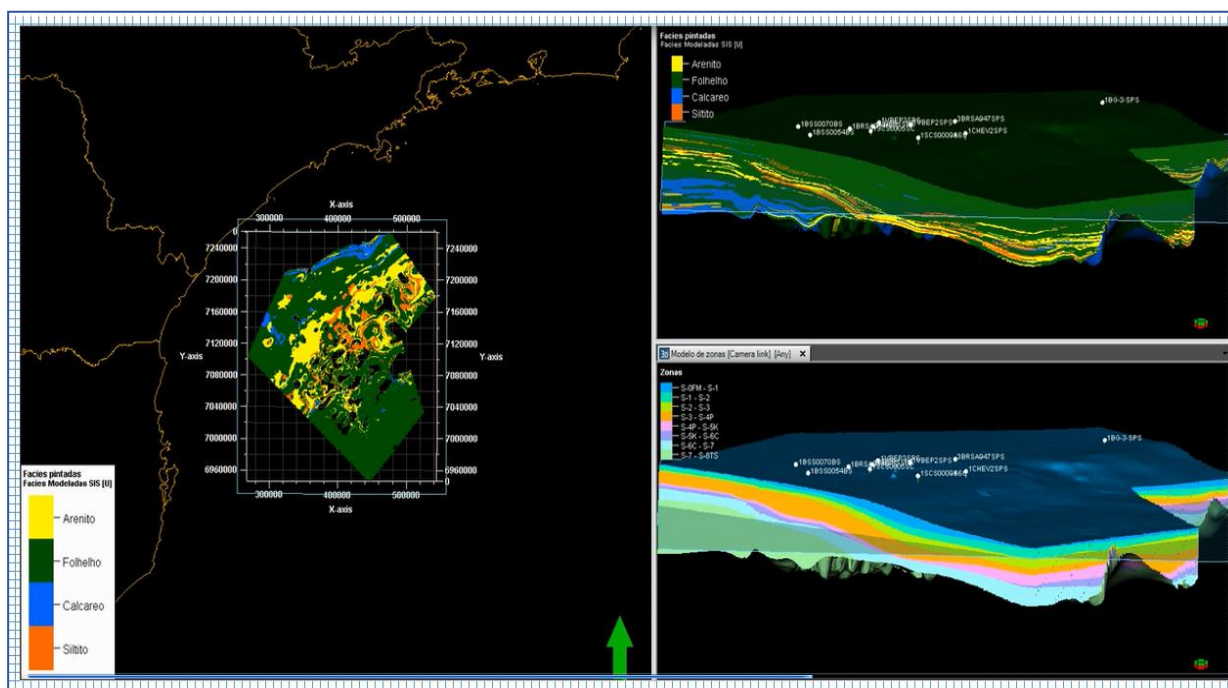
Nota: 1. Sem contornos 2. Contornos estruturais.

Fonte: A autora, 2016.

4.5 Modelagem 3D

Com base nas sismossequências identificadas (caracterizadas por um padrão de clinofórmias progradantes para as sismossequências SH, SG, SF, SD, pertencentes ao Cretáceo superior e Paleógeno. Desenvolvidas em um contexto de nível de mar subindo e que refletem a instalação de proeminentes sistemas de leques e deltas durante esse período) e também nos depocentros identificados através dos mapas de isópacas e nas direções aproximadas de aporte sedimentar (observadas nas seções sísmicas *dip* e *strike*), foi construído um modelo sedimentar para todas as sismossequências, porém enfocando-se no Cretáceo superior e Paleógeno (Figura 48), com o intuito de identificar os sistemas de drenagem alimentadores dos sistemas deltaicos Terciários e os leques para o Cretáceo da porção sudoeste da Bacia de Santos.

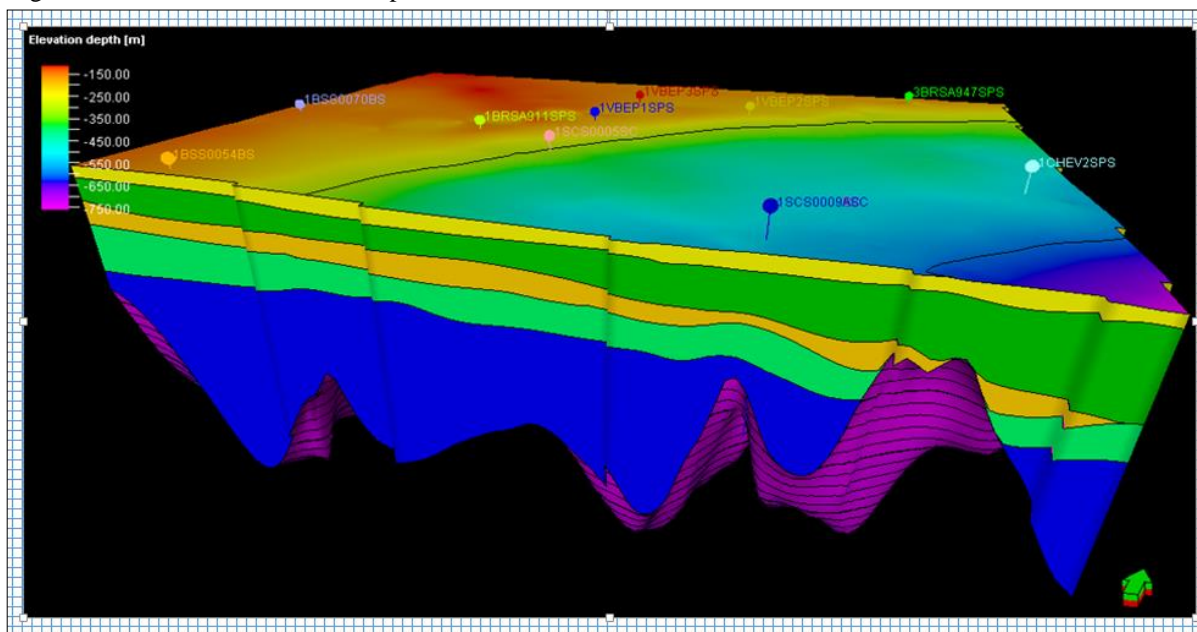
Figura 48 - Modelagem sedimentar 3D representando as sismossequências interpretadas



Fonte: A autora, 2016.

Através da geração do modelo sedimentar, conseguiu-se obter a distribuição espacial das fácies principais da área de estudo. A interpretação sísmica foi o ponto mais importante para a construção do Modelo 3D, pois através desta foi possível reconhecer e interpretar as superfícies-chave. (Figura 49).

Figura 49 - Modelo 3D Sedimentar para a zona de estudo



Fonte: A autora, 2016.

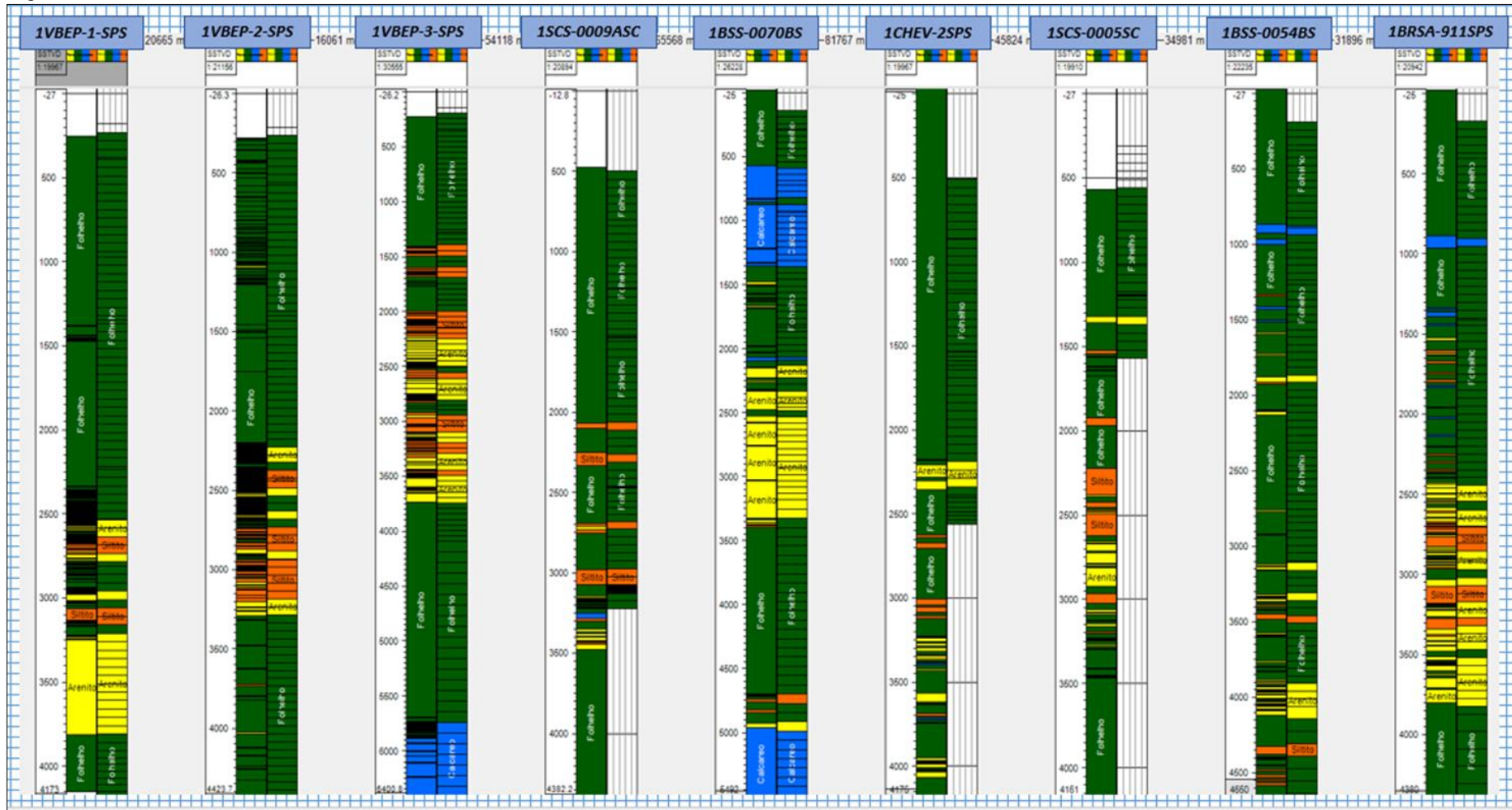
4.6 Modelo Sedimentar

O modelo de fácies gerado através da prévia atribuição de fácies principais (Areia, folhelho, calcário, siltito) honram os dados originais dos perfis do poço (Figura 50). Contudo, há uma extensa área sem o controle de dado condicionante feito pelos poços. Nessa extensa área pode-se incorrer em uma interpretação com uma porcentagem de erro considerável.

Pelas realizações do modelo de litofácies é possível observar que extensas áreas apresentam continuidade de litofácies, fato que está relacionado com a variografia que condiciona o resultado gerado pelo algoritmo de Simulação Gaussiana (*Sequential indicator simulation* – SIS), bem como a quantidade e distribuição do dado condicionante, no caso os onze poços da área de estudo.

A distribuição da litofácies arenito tem uma distribuição majoritária na região e em torno dos poços 1-VEP-1-SPS, 1-VEP-2-SPS, 1-VEP-3-SPS e 1-BSS-0070BS sendo a região mais propensa a desenvolver os depósitos de leques e depósitos deltaicos na área de estudo.

Figura 50 - Fácies sedimentares



Nota: As Colunas da esquerda representam as fácies sedimentares a partir do perfil composto dos poços da área de estudo e as colunas da direita representam o upscaling das fácies para a construção do modelo 3D sedimentar.

Fonte: A autora, 2016..

Verticalmente pode ser observado que há extensas e contínuas camadas da litofácies arenito com intercalações da litofácies folhelho e calcário nas zonas com menor deformação do sal, e menos bem definidos os depósitos da litofácies siltito em geral para toda a área modelada. Evidencia-se a influência na deposição das fácies areia para toda a área modelada, resultado da tectônica do sal para o Albiano até o recente (Figura 51).

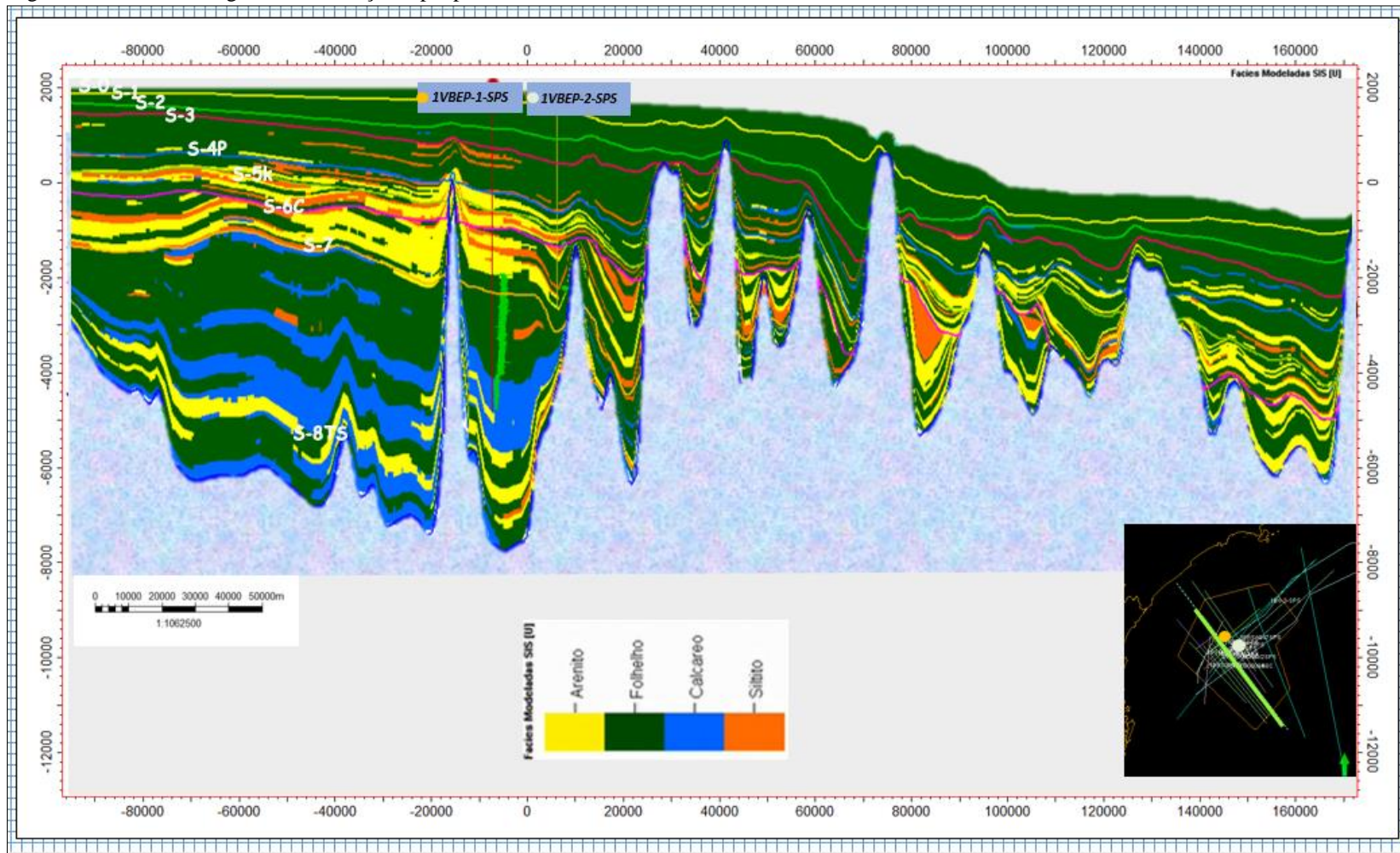
O pacote evaporítico da sismossequência SJ, associado à fase transicional (golfo) foi depositado numa relativa aquiescência tectônica. Sua movimentação posterior foi de grande importância na formação de estruturas e na distribuição faciológica dos sedimentos marinhos sobrepostos a ele. Nessa fase, na Bacia de Santos foi depositada a seção evaporítica da Fm. Ariri constituída principalmente por anidrita e halita.

A sismossequência SI foi gerada numa elevação do nível mar. Em termos de litologia, observa-se a deposição de ciclos de carbonatos que se repetem e nota-se o estreitamento da camada evaporítica na plataforma e talude superior em todas as seções sísmicas.

As sismossequências SH e SG (Maastrichtiano) marcam o estabelecimento definitivo das condições oceânicas. Esta sequência é constituída por depósitos em forma de cunha com configuração interna de refletores plano-paralelos a subparalelos. Os depósitos sedimentares desta sismossequência são constituídos por folhelhos, carbonatos e areias em menor proporção. Segundo Viviers & Azevedo (1988), neste intervalo tanto a Bacia de Campos como a Bacia de Santos estiveram sob a influência do evento anóxico observado nas porções profundas da margem continental, denotando seu caráter global.

As configurações lenticulares observadas nas seções sísmicas da sismossequência SF (Paleoceno) são características associáveis com clinofomas progradantes com padrões de *downlaps* e com importante contribuição de sedimentos siliciclásticos provenientes do continente (Serra do Mar) (Zalán 2005). Do Paleoceno ao recente a variação eustática global controlou o desenvolvimento da bacia nesse intervalo, situação que se tratará no próximo capítulo.

Figura 51 - Perfil estratigráfico em direção dip a partir do modelo sedimentar 3D



Nota: O perfil representa as fácies sedimentárias modeladas.

Fonte: A autora, 2016.

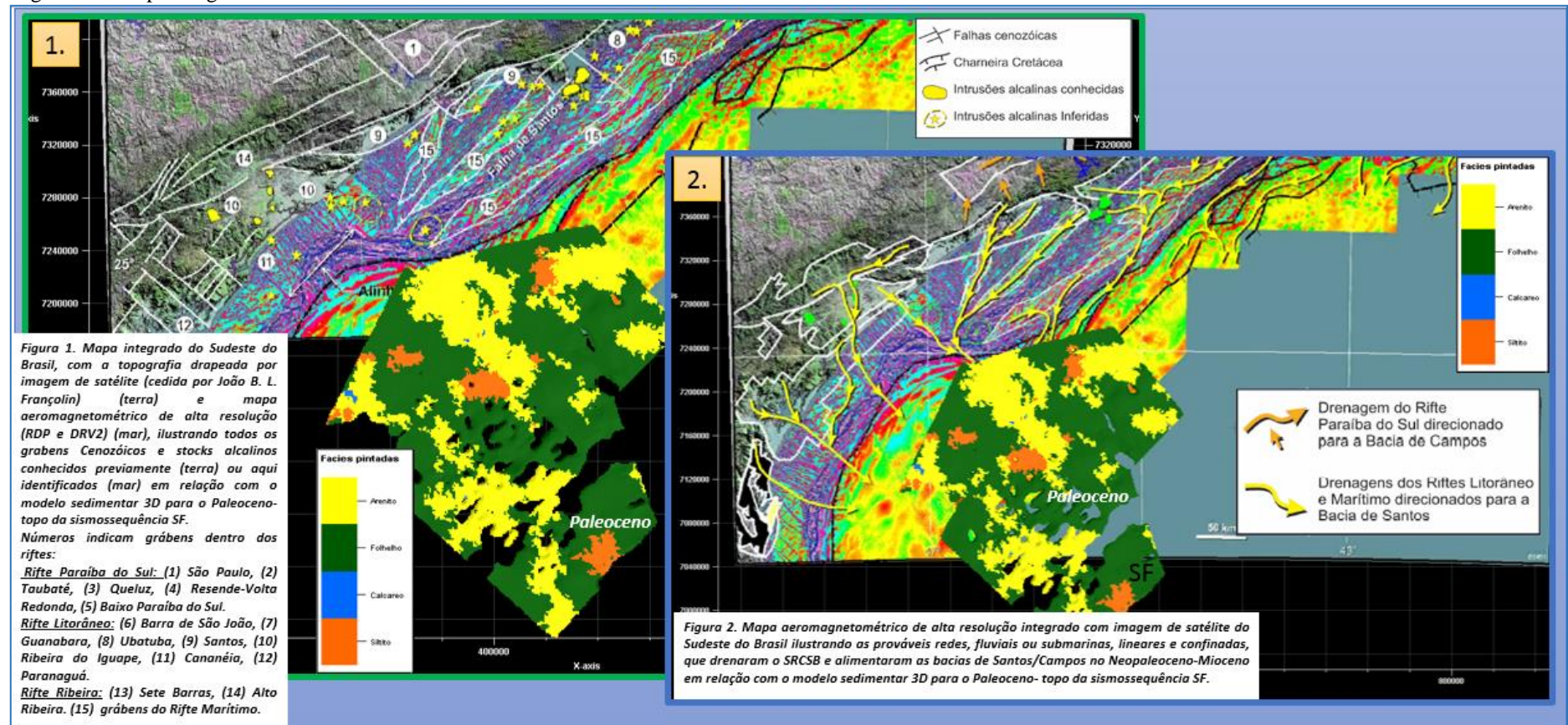
4.6.1 Implicações sedimentares da evolução tectônica do Sistema de Riftes Cenozóicos e relação com a modelagem sedimentar 3D na área de estudo.

Com a interpretação sísmica e sequencial da área de estudo começa-se a ter um arcabouço estratigráfico que mostra como o cenário é complexo desde o ponto de vista do sincronismo dos fatores que têm relação com a sedimentação. A eustasia em relação ao contexto tectônico possui um papel muito importante no desenvolvimento da bacia e, portanto, na área de trabalho.

Buscando o entendimento da sedimentação do Cretáceo superior e Paleógeno para a zona de estudo, procura-se uma relação com o trabalho da evolução tectônica do Sistema de Riftes Cenozóicos feito por Zalán & Oliveira (2005). A modelagem sedimentar 3D sugere que as drenagens alimentadoras para o sudoeste do sistema sedimentar para o Terciário para a área de estudo eram provenientes dos grabens (11) Cananéia, (12) Paranaguá, e possivelmente, para o noroeste os grabens (8) Ubatuba, (9) Santos pertencentes aos riftes litorâneos. Além disso se interpreto se clara influência alimentadora do sistema sedimentar dos grabens do riftes Marítimos (15). Figura 52.

A modelagem Sedimentar 3D demonstra que a seção terciária contrasta fortemente com a seção do Cretáceo Superior sotoposta. Esta última é caracterizada por uma grande cunha de areia para a área de trabalho, que reflete um grande aporte sedimentar e uma sedimentação bastante espessa. Essa sequência Senoniana marca o início da megassequência marinha regressiva. Tanto a seção terciária quanto a seção do Cretáceo Superior poderiam estar relacionadas à origem e evolução da Serra do Mar. Zalán & Oliveira (2005) propõem dois pulsos de soerguimento da Serra do Mar um no Cretáceo Superior e o outro no Terciário.

Figura 52 - Mapa integrado do Sudeste do Brasil



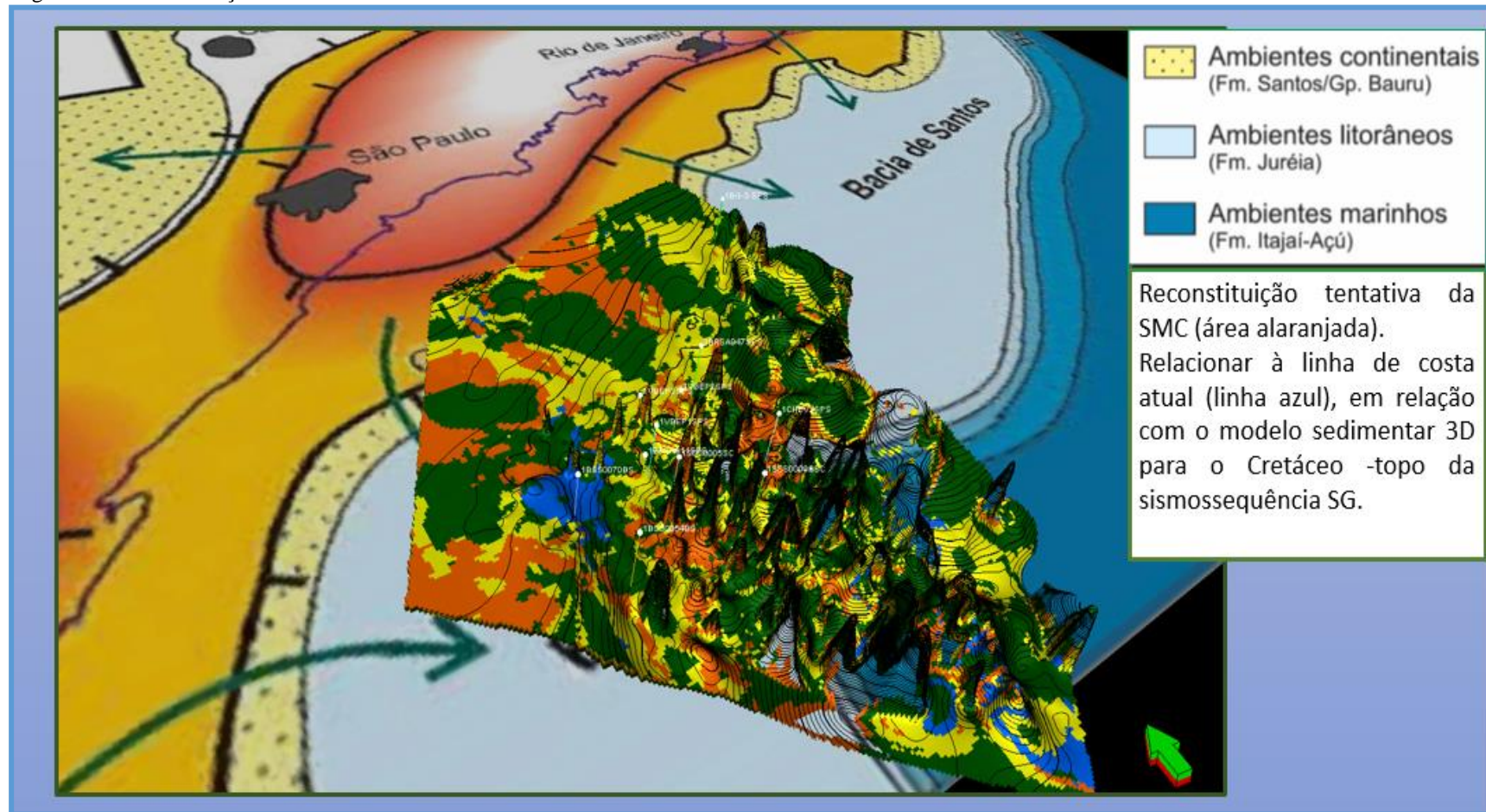
Legenda: Figura 2. Mapa aeromagnetométrico de alta resolução integrado com imagem de satélite do Sudeste do Brasil ilustrando as prováveis redes, fluviais ou submarinas, lineares e confinadas, que drenaram o SRCSB e alimentaram as bacias de Santos/Campos no Neopaleoceno-Mioceno Zalán & Oliveira (2005) em relação ao modelo sedimentar 3D para o Paleoceno-topo da sismossequência SF.

Fonte: ZALAN; OLIVEIRA, 2005. Adaptada pela autora, 2016. Mapa com a topografia drapeada por imagem de satélite (cedida por João B. L. Françolin) (terra) e mapa aeromagnetométrico de alta resolução (RDP e DRV2) (mar), ilustrando todos os grabens Cenozóicos e stocks alcalinos conhecidos previamente (terra) ou aqui identificados (mar) Zalán & Oliveira (2005) em relação ao modelo sedimentar 3D para o Paleoceno-topo da sismossequência SF.

A seção do Cretáceo superior está relacionada ao primeiro pulso de soerguimento, que implantou um megaplanalto na região sudeste, chamado de Serra do Mar Cretácea, caracterizando-se por uma sedimentação não organizada nas drenagens do sistema (Figura 53).

O registro terciário representado por clinoformas progradantes reflete o estabelecimento de drenagens organizadas, situação que se observa na modelagem sedimentar 3D para as sismossequências SF e SD, o que é perfeitamente explicado pelo desenvolvimento do sistema de riftes do Sudeste do Brasil no Cenozoico. O desenvolvimento desses riftes está associado ao segundo pulso de soerguimento da Serra do Mar, que se deu por colapso gravitacional. O megaplanalto começou a quebrar e colapsar localmente no final do Paleoceno e mais abrangentemente no início do Eoceno. O clímax do colapso gravitacional deu-se no Mesoeoceno (48,6-40,4 Ma), e o colapso continuou ao longo do Neoeoceno/Oligoceno/Eomioceno. O colapso gravitacional, dado pela imensa instabilidade, rebaixou grabens e soergueu ombreiras por rebote elástico. A região do embasamento raso foi rebaixada. As áreas soerguidas representaram uma renovação da área-fonte, mas por estarem mais recuadas em direção ao continente, o aporte em direção à bacia foi feito pelos sistemas de drenagem (Zalán & Oliveira, 2005).

Figura 53 - Reconstituição tentativa da SMC



Fonte: ZALAN; OLIVEIRA, 2005. Adaptada pela autora, 2016. Relacionar à linha de costa atual (linha azul) Zalán & Oliveira (2005), em relação com o modelo sedimentar

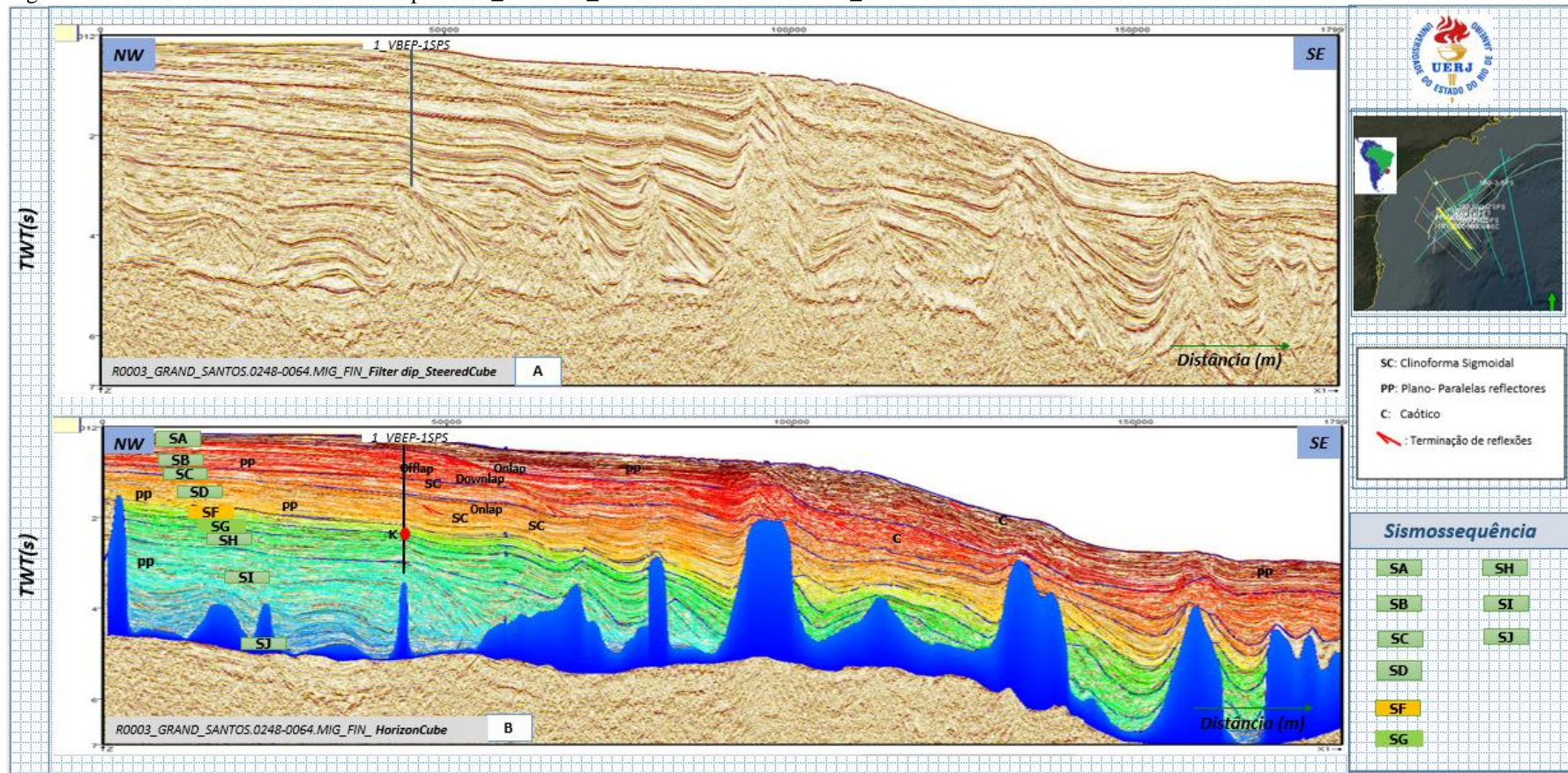
4.7 Interpretação estratigráfica de sequências

Com base na interpretação sismoestratigráfica e trabalhos existentes na Bacia de Santos, realizou-se uma interpretação preliminar identificando-se padrões de sismofácies e terminações dentro das sismossequências identificadas, com o objetivo de identificar os tratos de sistema e parassequências para construir a curva eustática relativa para a área de estudo em conjunto com o diagrama de Wheeler. Serão apresentadas as interpretações para a linha sísmica dip R0003_0259_2D_SPP_2Q_1999.SPP993241.MIG_PSTM mostrando os resultados mais lógicos de acordo à tendência estratigráfica sequencial da Bacias de Santos.

Ressalta-se a dificuldade em aplicar a estratigrafia de sequências à área de estudo afetada pela tectônica do sal, a qual impediu a interpretação através do rastreamento automático dos horizontes, mostrando alguns equívocos quanto à correta continuidade dos horizontes, e à idade relativa destes visualizados no diagrama de Wheeler. Dessa forma, os resultados gerados pelo software devem ser analisados criticamente considerando-se as limitações dos dados interpretados.

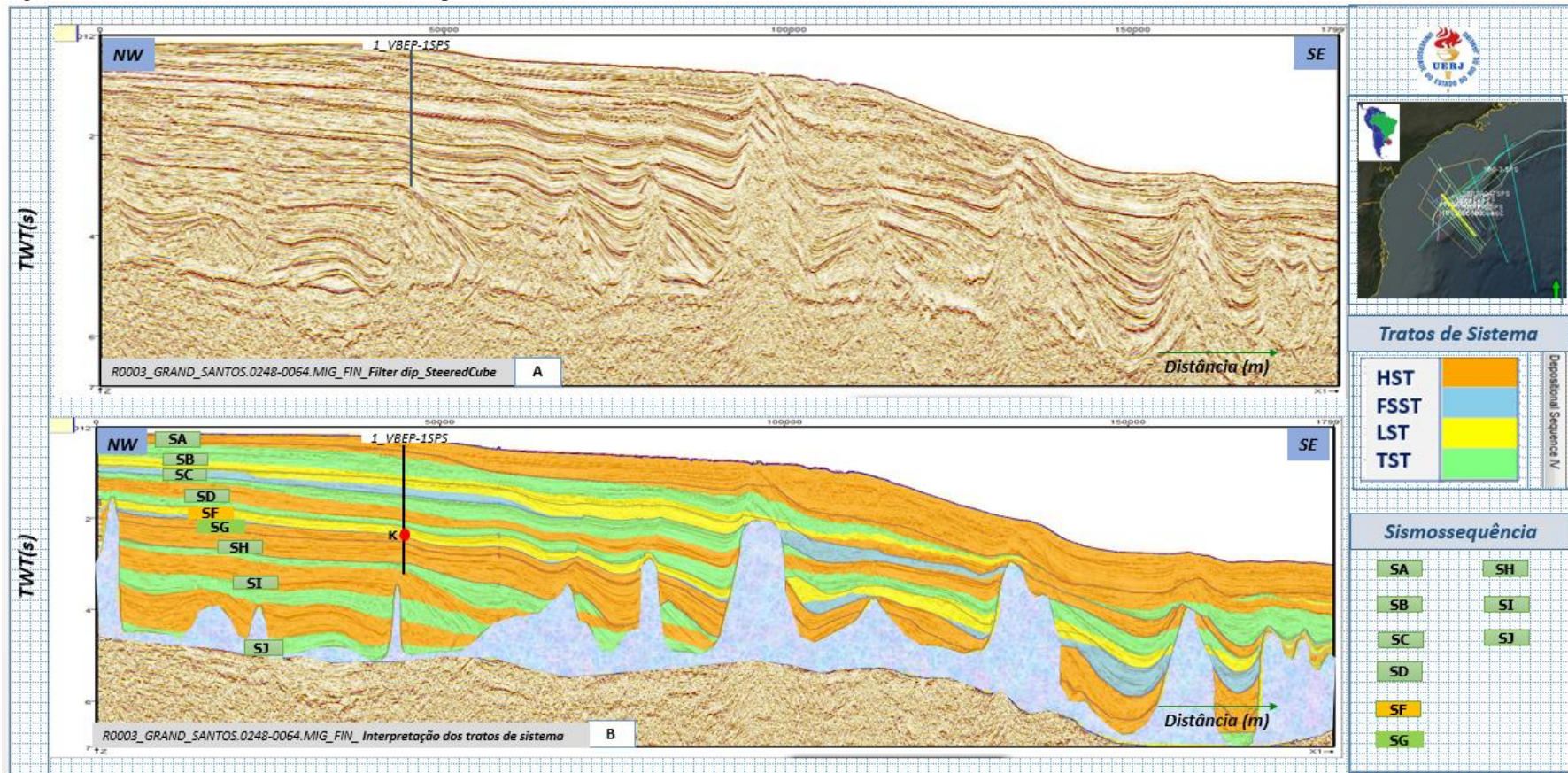
A interpretação para a zona de plataforma com pouca deformação interna pôde dar resultados confiáveis. O sistema de deposição para o Cretáceo Superior é dominado por uma sedimentação grossa de *Fan delta* e o Paleógeno é essencialmente marcado pela deposição de siliciclásticos de sistemas deltaicos e carbonatos de borda de plataforma. Embora haja uma grande dificuldade em aplicar a estratigrafia de sequências nesses sistemas, optou-se por utilizar os conceitos de Sequências tipo IV propostas por Hunt & Tucker (1992, 1995). Eles propõem que o limite de sequência seja dado por uma discordância ou sua conformidade correlata, reconhecendo quatro tratos de sistema: mar baixo, transgressivo, mar alto e sistema de queda, interpretando sequências de segunda e terceira ordem, principalmente.

Figura 54 - *Horizon Cube* Linha sísmica dip R0003_GRAND_SANTOS.0248-0064.MIG_FIN



Nota: A: *Filter dip_Steered Cube* B: *HorizonCube gerado*. Detalhe dos horizontes sísmicos mapeados, Sismofácies identificadas e principais padrões de terminação.
Fonte: A autora, 2016.

Figura 55 - *Tratos de sistema* Linha sísmica dip R0003_GRAND_SANTOS.0248-0064.MIG_FIN



Legenda: A: *Filter dip_Steered Cube* B: *Interpretação tratos de sistemas*. TST: trato de sistemas transgressivos; HST: trato de sistemas de mar alto; LST: trato de sistemas de mar baixo e FSST: sistema de queda.

Fonte: A autora, 2016.

O software utilizado na interpretação se denomina *OpendTect* com os módulos de *Horizon Cube* e SSIS. O procedimento completo empregado está descrito no capítulo de Materiais e Métodos. Com a linha sísmica filtrada, ou seja, com menor ruído para realizar o mapeamento denso, obteve-se o *Horizon Cube* o qual permitiu definir e confirmar as clinofomas e terminações estratais interpretadas na sísmica na fase normal (Figura 54). Paralelo a este processo, desenhou-se a curva eustática relativa para a área de estudo que corresponde à base da interpretação dos tratos de sistema e o diagrama de Wheeler (Figura 55).

A sismossequência SJ até a base da Sismossequência SH possui comportamento transgressivo e foi interpretada em resposta aos efeitos combinados de uma tendência eustática geral para a elevação do nível do mar. Compreende os sedimentos depositados em ambiente tectonicamente ativo pelos depósitos de sal do Albiano, com contínua subsidência. Observa-se uma subida gradual e de longa duração da curva eustática.

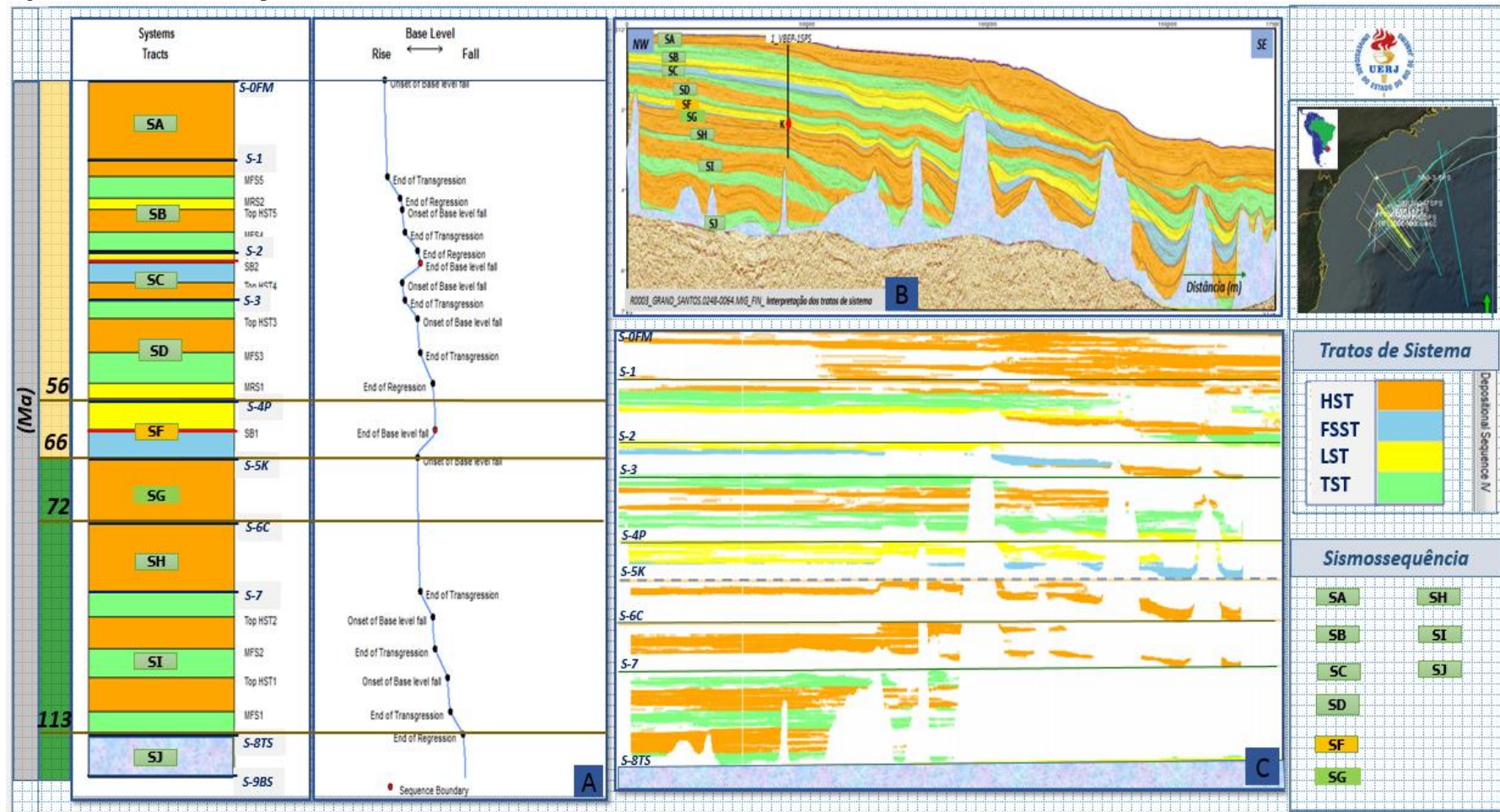
O limite K/T representado pelas sismossequências SG e SH representa o limite de sequência, gerado pela queda do nível do mar (FSST). A sismossequência SG até SA, segunda fase de deposição pós-deriva continental, é representada por um pacote sedimentar desenvolvido a partir da sismossequência SF (Paleoceno), a qual é caracterizada por espessas cunhas progradantes, com contínua subsidência. Para as sismossequências terciárias, a resposta das taxas de variação do nível de base revela como se dá a criação de espaço de acomodação na bacia. A deposição de sedimentos progradacionais na plataforma rasa da bacia é devido à criação de espaço de acomodação. Este, por sua vez, é fruto de um aumento do nível relativo do mar, que resulta da interação entre eustasia e subsidência tectônica. Sugere-se, no entanto, que essa retrogradação ocorra pela subsidência do embasamento raso ocasionado pela carga sedimentar devido ao colapso gravitacional da Serra do Mar, mostrado pela curva eustática relativa desenhada neste trabalho, e que exhibe uma tendência de subida gradual do mar com clinofomas progradacionais. Em contrapartida à curva eustática global do mar está a curva eustática relativa da área de estudo, que se mostra de forma contrária para o terciário (Figura 56).

A deposição da sismossequência SG do Cretáceo Superior inicia-se nas condições de um trato de sistema de mar alto, apresentando um padrão de empilhamento agradacional a progradacional. Conforme se processa a deposição, o padrão de empilhamento se torna crescentemente progradacional, refletindo um nível relativo do mar estacionário ou iniciando sua queda, tomando lugar um trato de sistemas de mar baixo. A sedimentação do trato de

sistemas de mar baixo é caracterizada por um depósito de fluxo gravitacional, grandemente influenciado pela instabilidade gerada pela movimentação do diápiro de sal.

A deposição da sequência SB se dá novamente em condições de mar alto que representa um trato de sistema transgressivo. A sequência SB apresenta um padrão de empilhamento predominantemente agradacional a progradacional. Pequenas variações relativas do nível do mar são observadas internamente a essa sequência, sendo observado um padrão de empilhamento essencialmente progradante com um componente agradacional.

Figura 56 - Linha sísmica dip R0003_GRAND_SANTOS.0248-0064.MIG_FIN



Legenda: A. Curva eustática relativa B. Tratos de sistema C. Diagrama de Wheeler. TST: trato de sistemas transgressivos; HST: trato de sistemas de mar alto; LST: trato de sistemas de mar baixo e FSST: sistema de queda.

Fonte: A autora, 2016.

CONCLUSÕES

O fluxo de trabalho de modelo-independente por Catuneanu (2009) e utilizado como base deste trabalho se mostrou satisfatório em sua aplicabilidade. Assim, foi possível individualizar nove unidades sismoestratigráficas, além da aplicação dos métodos de interpretação sismoestratigráfica integrada a modelos propostos na bibliografia, permitindo a identificação da terminação dos refletores, a individualização em unidades sismoestratigráficas, uma melhor compreensão dos padrões estratigráficos e definindo o arcabouço sismoestratigráfico para a sequência drift na área de estudo.

A análise e interpretação dos dados de sísmica 2D amarrados aos dados de poço permitiram a identificação dos depocentros e sua migração ao longo da história da bacia. Os mapas de isópacas permitiram a compressão de componentes como influxo sedimentar e variação de nível de mar na sedimentação e evolução da área de estudo. A partir da análise dos mapas foi possível observar a espessura sedimentar depositada na área de trabalho ao sudoeste Bacia de Santos. A movimentação dos evaporitos, formando as muralhas na área mais distal, permitiu a criação de depocentros que foram preenchidos pelo grande aporte sedimentar gerado pelo surgimento da Serra do Mar. A deposição aptiana ocorreu em um ambiente com baixa atividade tectônica. Contudo, devido à grande capacidade plástica dos evaporitos e a intensa deposição das sequências sobrepostas houve uma extraordinária mobilidade dos sedimentos evaporíticos em áreas mais proximais com conseqüente acúmulo na parte mais distal da área de estudo, gerando os domos e diápiros de sal interpretados. Alguns domos exerceram uma espécie de bloqueio à migração de sedimentos para áreas da bacia. Estruturalmente, a margem continental do sudeste brasileiro na área de estudo apresenta uma evolução tectônica distensional, com orientação preferencial na direção NE-SW. Isto fica evidenciado pela identificação no mapa de isópaca total de alinhamentos nesta mesma direção.

Com base na interpretação sismoestratigráfica e sequencial das linhas sísmicas no presente trabalho, foi possível observar que o preenchimento da Bacia de Santos durante o Terciário é dado essencialmente por sistemas deltaicos. O registro Terciário pode ser dividido em pelo menos cinco sismossequências, caracterizadas essencialmente por um padrão de clinofórmulas prográdantes, separadas por superfícies de inundação máxima. Essas sequências refletem o estabelecimento de drenagens crescentemente organizadas durante o Cenozoico, tendência exibida na modelagem 3D sedimentar. A seção terciária contrasta fortemente com a

seção do Cretáceo Superior sotoposta. Esta última é caracterizada por um grande aporte sedimentar com drenagens pouco organizadas em contraste ao Terciário correspondente às sismossequências SF, SD, SC, SB e SA.

As sismossequências SH até o topo e SG marcam o início da megassequência marinha regressiva, que tomou lugar após o máximo transgressivo representado pela sismossequência SI. Tanto a seção terciária quanto a seção do Cretáceo Superior parecem estar relacionadas à origem e evolução da Serra do Mar. Zalán & Oliveira (2005) propõem dois pulsos de soerguimento da Serra do Mar: um no Cretáceo Superior e o outro no Terciário. A seção do Cretáceo Superior está relacionada ao primeiro pulso de soerguimento, que implantou um megaplanalto na região sudeste, chamado de Serra do Mar Cretácea. Esse megaplanalto estendia-se até a charneira de Santos, de modo que havia um enorme desnível entre o megaplanalto e a bacia. Esse megaplanalto ergueu-se a partir do Coniaciano, em resposta à passagem da placa sul-americana sobre um hot spot. A não-deposição ou erosão de sedimentos Cretácicos sobre o embasamento raso da bacia, a oeste da Charneira de Santos, e a presença de sedimentos Terciários sobre o embasamento raso, sugerem que esta configuração da bacia estabeleceu-se apenas no Terciário. A superfície extremamente plana do embasamento raso observada claramente nas linhas sísmicas, sobre a qual encontra-se uma delgada cobertura de sedimentos cenozoicos, é interpretada como a Superfície de Aplainamento Japi, rebaixada à sua cota mínima durante o colapso gravitacional ocorrido no Terciário. A superfície Japi é entendida como o término de um processo erosivo que arrasou o relevo surgido com o soerguimento senoniano realizado na plataforma continental e região adjacente do continente.

O registro Terciário representado por clinofomas progradantes reflete o estabelecimento de drenagens organizadas, o que é perfeitamente explicado pelo desenvolvimento do sistema de riftes do Sudeste do Brasil no Cenozoico. O desenvolvimento desses riftes está associado ao segundo pulso de soerguimento da Serra do Mar, que se deu por colapso gravitacional, situação que se reflete na modelagem sedimentar para as sismossequências SF e SD, principalmente.

Com base na modelagem sedimentar 3D, sugere-se que as drenagens alimentadoras para o sudoeste do sistema sedimentar para o Terciário para a área de estudo eram provenientes dos grabens (11) Cananéia, (12) Paranaguá, e possivelmente, para o noroeste os grabens (8) Ubatuba, (9) Santos pertencentes aos riftes litorâneos. Além disso se interpreto se clara influência alimentadora do sistema sedimentar dos grabens do riftes Marítimos (15).

O trabalho multidisciplinar com diferentes ferramentas da área de geociências, tais como a geofísica, sedimentologia e estratigrafia de sequências possibilitou o entendimento da relação entre o registro sedimentar do Cretáceo e Terciário na área de estudo e os eventos ocorridos na região continental adjacente, como o surgimento da Serra do Mar e o desenvolvimento do sistema de riftes Cenozóicos do sudeste do Brasil. Porém, a elaboração de um arcabouço cronoestratigráfico foi limitada pela baixa qualidade dos dados de poço e bioestratigráficos para um melhor controle de qualidade dos eventos tectônicos e sedimentares.

REFERÊNCIAS

Almeida, F. F. M. & Carneiro, C. D. R. Origem e evolução da Serra do Mar. *Revista Brasileira de Geociências*, 28(2): 135-150, jun. 1998.

Alves, E.C. 1981. Estrutura da margem continental brasileira e das áreas oceânicas e continentais adjacentes. In: PETROBRÁS. *Estruturas e tectonismo da margem continental brasileira, e suas implicações nos processos sedimentares e na avaliação do potencial de recursos minerais; relatório final*. Rio de Janeiro, PETROBRÁS/CENPES/ DINTEP. p. 187-269. (Projeto REMAC 9).

ANP, 2007. *Seminário Técnico-ambiental da Nona Rodada de Licitações – Bacia de Santos*.

ANP, 2013. *Seminário Técnico-ambiental da Primeira Rodada de Partilha de Produção – Área de Libra*.

Assine, M. L.; Corrêa, F. S.; Chang, H. K. Migração de depocentros na Bacia de Santos: importância na exploração de hidrocarbonetos. *Revista Brasileira de Geociências*, 38(2-suplemento): 111-127, jun. 2008.

Catuneanu, O. *Principles of Sequence Stratigraphy*, Elsevier, Amsterdam (2006) 375 pp.

Catuneanu, O.; Abreu, V.; Bhattacharya, J. P.; Blum, M. D.; Dalrymple, R. W.; Eriksson, P. G.; Fielding, Christopher R.; Fisher, W. L.; Galloway, W. E.; Gibling, M. R.; Giles, K. A.; Holbrook, J. M.; Jordan, R.; Kendall, C. G. St.C.; Macurda, B.; Martinsen, O. J.; Miall, A. D.; Neal, J. E.; Nummedal, D.; Pomar, L.; Posamentier, H. W.; Pratt, B. R.; Sarg, J. F.; Shanley, K. W.; Steel, R. J.; Strasser, A.; Tucker, M. E.; Winker, C. *Towards the Standardization of Sequence Stratigraphy. Papers in the Earth and Atmospheric Sciences*, 238, 2009.

Chang, H. K.; Assine, M. L.; Corrêa, F. S.; Tinen, J. S.; Vidal, A. C.; Koike, L. *Sistemas petrolíferos e modelos de acumulação de hidrocarbonetos na Bacia de Santos*. *Revista Brasileira de Geociências*, 38(2-suplemento): 29-46, jun. 2008.

Chang, H.K. and R.O. Kowsmann, 1985, *Thermal Subsidence of Santos and Sergipe- Alagoas Basins, Brazil--Application to Hydrocarbon Exploration: AAPG Meeting Abstract*, v. 69/2, 1 pg.

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

Christie-Blick N. & Driscoll N.W. 1995. *Sequence stratigraphy*. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 23: 451- 478.

Christie-Blick, N. *Onlap, offlap, and the origin of unconformity- bounded depositional sequences*, *Marine Geology* 97, p. 35–56, 1991.

Córdoba V.C. 2001. *A evolução da plataforma carbonática Jandaíra durante o Neocretáceo na Bacia Potiguar: Análise paleoambiental, diagenética e estratigráfica. Tese de doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 239 p.*

Della Fávera J.C. (Ed.) 2001. *Fundamentos de estratigrafia moderna. Rio de Janeiro, 264 p.*

Demercian, L. S. *A halocinese na evolução do sul da bacia de Santos do Aptiano ao Cretáceo superior. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 201 p., 1996.*

Emery D. & Myers K. (Eds.) 1996. *Sequence Stratigraphy. Oxford: Blackwell Scientific Company, 297 p.*

Galloway, w.e. 1989 a- *Genetic Stratigraphic Sequences in Basin Analysis I: Architecture and Genesis of Flooding-Surface bounded Depositional Units. American Association Petroleum Geologists Bulletin, V.73, n.2, p.125-142.*

Gamboa, L. A. P.; Machado, M. A. P.; Silveira, D. P.; Freitas, J. T. R.; Silva, S. R. P. 2008. *Evaporitos estratificados no Atlântico Sul. In: Mohriak, W., Szatmari, P., Anjos, S. M. C. (eds). Sal- Geologia e Tectônica: exemplos de bacias brasileiras. Petrobras, p. 340-359.*

Holz M. 1998. *Um breve histórico de conceitos fundamentais da estratigrafia moderna: seqüências deposicionais e seus fatores controladores. Pesquisas, 25: 3-26.*

Jorham Contreras, Rainer Zühlke a, Scott Bowmanb, Thilo Bechstädt a,c *Seismic stratigraphy and subsidence analysis of the southern Brazilian margin (Campos, Santos and Pelotas basins) , Marine and Petroleum Geology 271964-1967, 2010.*

Küchle J., Holz M., Brito A. F., Bedregal R. P. 2005. *Análise estratigráfica de bacias rifte: aplicação de conceitos genéticos nas Bacias de Camamu-Almada e Jequitinhonha. Bol. Geoc. PETROBRAS, 13: 227-244.*

Macedo, J. M. *Evolução tectônica da Bacia de Santos e áreas continentais adjacentes. Boletim de Geociências da Perobras, Rio de Janeiro, 3(3): 159-173, jul./set. 1989.*

Mitchum R.M., Jr. 1977. *Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 11: glossary of terms used in seismic stratigraphy. In: C.E. Payton (Ed.). Seismic stratigraphy: Applications to hidrocarbon exploration. AAPG, Memoir # 26, p. 205-212.*

Mitchum R.M., Jr., Vail P.R., Thompson III S. 1977a. *Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 2: the depositional sequence as a basic unit for stratigraphy analysis. In: C.E. Payton (Ed.). Seismic stratigraphy: Applications to hidrocarbon exploration. AAPG, Memoir # 26, p. 53-62.*

Mitchum R.M., Jr., Vail P.R., Sangree J.B. 1977b. *Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 6: stratigraphic interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences. In: C.E. Payton (Ed.). Seismic stratigraphy: Applications to hidrocarbon exploration. AAPG, Memoir # 26, p. 117-133.*

Mohriak, W. U. *Bacias sedimentares da Margem Continental Brasileira*. In: Bizzi, L. A.; Schobbenhaus, C.; Vidotti, R. M.; Gonçalves, J. H. (eds.). *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*. CPRM, Brasília, 2003.

Mohriak, W. U. & Magalhães, J. M. *Estratigrafia e evolução estrutural da área norte da Bacia de Santos*. *Atas do Simpósio de Geologia do Sudeste, Rio de Janeiro*, p. 19-26, 1993.

Mohriak, W. U. & Paula, O. B. *Major tectonic features in the southeastern Brazilian margin*. *9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society, Salvador, Brazil*, 2005.

Moraes, J. J. & Toledo, J. B. *A exploração de petróleo na Bacia de Santos*. *Atas do Simpósio de Geologia do Sudeste, Rio de Janeiro*, p. 27-32, 1993.

Moreira, J. L. P. & Carminatti, M. *Sistemas deposicionais de talude e de bacia no Eoceno da Bacia de Santos*. *Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro*, 12(1): 73-87, nov. 2003/maio 2004.

Moreira, J. L. P.; Madeira, C. V.; Gil, J. A.; Machado, M. A. P. *Bacia de Santos*. *Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro*, 15(2): 531-549, maio/nov. 2007.

Ojeda H.A. 1991. *Curso de sismoestratigrafia: texto preliminar. 4a versão*. Rio de Janeiro: Petrobras/ Sedes, 351p.

Pereira, M. J.; Barbosa, C. M.; Agra, J.; Gomes, J. B.; Aranha, L. G. F.; Saito, M.; Ramos, M. A.; Carvalho, M. D.; Stamato, M.; Bagni, O. *Estratigrafia da Bacia de Santos: Análise das sequências, sistemas deposicionais e revisão litoestratigráfica*. *Anais do XXXIV Congresso Brasileiro de Geologia, Goiânia, v. 1, p. 65-79, 1986*.

Pereira, M. J. & Feijó, F. J. *Bacia de Santos*. *Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro*, 8(1): 219-234, jan./mar. 1994.

Pereira, M. J. & Macedo, J. M. *A Bacia de Santos: perspectivas de uma nova província petrolífera na plataforma continental sudeste brasileira*. *Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro*, 4(1): 3-11, jan./mar. 1990.

Posamentier H.W. 2005. *Ruminations on sequence terminology with specific reference to "sequence" and sequence y types*. In: AAPG – Hedberg Conference, *Sequence stratigraphic and allostratigraphic: principles and concepts*. AAPG, p. 39-41. Disponível em: <http://www.aapg.gov>.

Posamentier H.W., Jervey M.T., Vail P.R. 1988. *Eustatic controls on clastic deposition I: conceptual framework*. In: C.K. Wilgus, B.S. Hastings, C.G.S.C. Kendal, H.W. Posamentier, C.A. Ross, J.C. Van Wagoner (Eds.). *Sea – level change: an integrated approach*. SEMP, Sp. Pb. # 42, p.109-124.

Posamentier H.W. & Vail P.R. 1988. *Eustatic controls on clastic deposition II: sequence and systems tract models*. In: C.K. Wilgus, B.S. Hastings, C.G.S. C. Kendal, H.W. Posamentier, C.A. Ross, J.C. Van Wagoner (Eds.). *Sea – level change: an integrated approach*. SEMP Sp. Pb. # 42, p.125-154.

Posamentier H.W. & James D.P. 1993. An overview of sequence-stratigraphic concepts: uses and abuses. In: H.W. Posamentier, C.P. Sommenhayen, B.U. Haq, G.P. Allen (Eds.) *Sequence stratigraphy and facies associations*. Sp. Pb. Int. Ass. Sediment., 18: p.3-18.

Prosser S. 1993. Rift-related linked depositional systems and their seismic expression. In: G. D.

Williams & A. Dobb (Eds.) *Tectonics and Seismic Sequence Stratigraphy*. Geological Society Special Publication, 71: 35-66.

Raposo, J. M. *Interpretação sismoestratigráfica da seção terciária da porção centro-norte da Bacia de Santos*. 2014. X f. Monografia – Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

Salvador A. 2005a. Review of the concept of and recommended terminology for unconformity-related units. In: AAPG – Hedberg Conference, *Sequence stratigraphic and allostratigraphic: principles and concepts*. AAPG, p. 46-47. Disponível em: <http://www.aapg.gov>. Acesso em: 14/08/2006.

Salvador A. 2005b. The correlative conformities. In: AAPG – Hedberg Conference, *Sequence stratigraphic and allostratigraphic: principles and concepts*. AAPG, p. 48-49. Disponível em: <http://www.aapg.gov>. Acesso em: 14/08/2006.

Severiano Ribeiro, H. J. P. *Estratigrafia de seqüências: fundamentos e aplicações*. São Leopoldo, RS: Editora da Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 428 p., 2001.

Vail, P.R., Todd, R.G. & Sangree, J.B., 1977b. *Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level, Part 5: Chronostratigraphy Significance of Seismic Reflections*. In: Payton, C. E. (ed.). *Seismic Stratigraphy Applications to Hydrocarbon Exploration*. Tulsa, AAPG Memoir 26, p. 99-116.

Van Wagoner J.C., Posamentier H.W., Mitchum R.M., Jr., Vail P.R., Sarg J.F., Loutit T.S., Hardenbol J. 1988. An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions. In: C.K.Wilgus, B.S.Hastings, C.G.S.C.Kendal, H.W. Posamentier, C.A.Ross, J.C.Van Wagoner (Eds.) *Sea – level change: an integrated approach*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, AAPG, Memoir # 42, p. 39-45.

Zalán, P. V. & Oliveira, J. A. B. *Origem e evolução estrutural do Sistema de Riftes Cenozoicos do Sudeste do Brasil*. Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, 13(2): 269-300, maio/nov. 2005.

Zalán, P.V.; Severino, M.C.G.; Rigoti, C.A.; Magnavita, L. P.; Bach, J. A. *An entirely new 3D-view of the crustal and mantle structure of a South Atlantic passive margin – Santos, Campos and Espírito Santo Basins, Brazil*. American Association of Petroleum Geology, Annual Convention and Exhibition, Houston, 12 p, 2011.