

5. IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS SEQÜÊNCIAS DEPOSICIONAIS

Durante o Terciário ocorreu um importante episódio de produção carbonática nas porções externas da plataforma, da Bacia de Campos que tinham como principal característica a acumulação de grandes volumes de areia. Na margem leste brasileira grande parte do carbonato acumulado se desenvolveu sobre altos estruturais. Estes últimos correspondendo ao reflexo das feições remanescentes da fase *rift* Eocretácea, bem como decorrentes da tectônica de sal.

A área de estudo deste trabalho encontra-se ao sul da Bacia de Campos sobre o domínio estrutural correspondente ao Alto de Badejo. Desse modo, a tectônica de sal será avaliada com mais cuidado, já que a mesma tem uma maior influência nas partes mais profundas da bacia.

Na literatura existem vários exemplos sobre o modelo de desenvolvimento dos depósitos carbonáticos do Albiano da Bacia de Campos. No entanto, são pouco documentados os padrões de desenvolvimento e a arquitetura da plataforma carbonática terciária desta bacia.

O desenvolvimento deste trabalho esteve baseado na integração de dados sísmicos 2D com perfis elétricos, cuja análise foi complementada com estudos petrográficos e geoquímicos, para o Membro Siri, disponíveis na literatura. Cabe destacar que foi dada uma atenção especial ao impacto que a tectônica local e a subsidência diferencial exerce sobre a arquitetura deposicional no desenvolvimento dos carbonatos. A elaboração de um arcabouço estratigráfico de alta resolução requer antes de tudo um amplo entendimento dos controles geológicos e tectônicos regionais.

Os processos regionais têm grande repercussão local e por isso se faz necessário uma boa caracterização dos fatores controladores da evolução da bacia. No intervalo estudado, correspondente à plataforma carbonática gerada entre o Oligoceno e Mioceno (Membro Siri), foram identificadas três seqüências deposicionais de 3ª ordem, caracterizadas, desde a mais antiga até a mais nova, com base na análise de perfis elétricos e seções sísmicas.

5. 1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS E CARACTERIZAÇÃO REGIONAL DA ÁREA DE ESTUDO

Para esta análise se levou a cabo a interpretação regional da seção sísmica Y-Y' (Figura 24). Nesta interpretação, foram definidas de modo geral as superfícies que limitam as megasseqüências tectono-sedimentares e que caracterizam o processo evolutivo da Bacia de Campos. Também foram definidas as principais estruturas da fase *rift* e *post-rift*. Este arcabouço regional permitiu posicionar a análise de detalhe, no contexto geral da evolução da bacia, de modo que facilitasse o entendimento do desenvolvimento da plataforma carbonática terciária, objeto de estudo do presente trabalho (Figura 24).

A evolução tectônica da Bacia de Campos está associada ao *rifting* Mesozóico do Atlântico Sul, que resultou da quebra do supercontinente Pangea. Esta ruptura deu lugar à geração de várias bacias com grande similaridade no padrão de evolução tectono-estratigráfica. A evolução estratigráfica da bacia em questão exibe três estágios de desenvolvimento: *rift*, proto-oceânico e oceânico (Figura 24) (Asmus & Ponte, 1973 *apud* Mohriak *et al.*, 1990). Os depósitos lacustres da fase *rift* estão associados a blocos rotados de falha que resultaram da rápida subsidência crustal e o espalhamento de vulcanismo máfico cuja idade isotópica mostra 130 Ma (Cordani *et al.*, 1972 *in* Mohriak *et al.*, 1990).

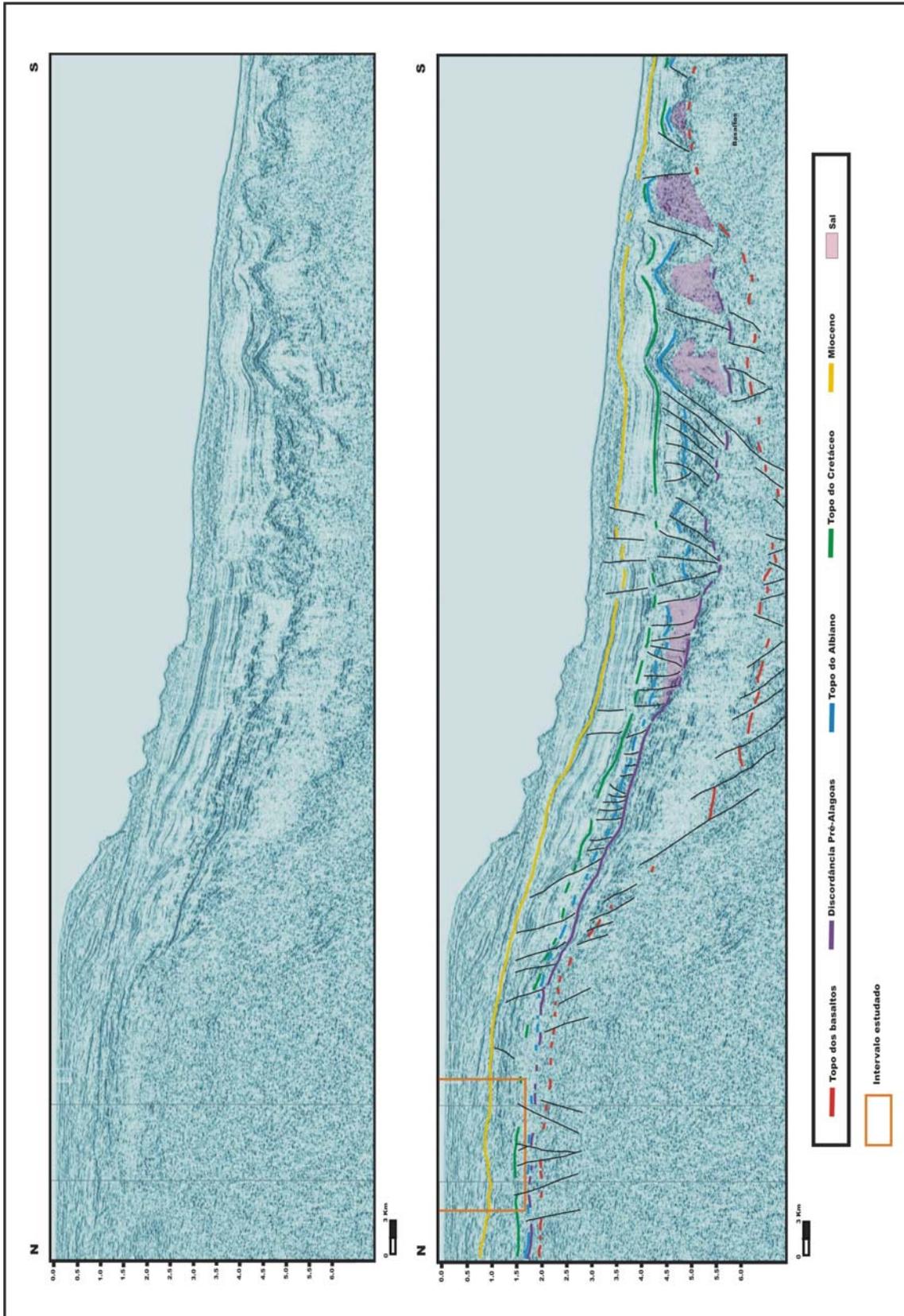


FIGURA 24. Interpretação regional da seção sísmica Y-Y'.

Este estágio *rift* gerou um expressivo sistema de *horst* e *grabens*, cuja importância reside nas estruturas remanescentes, tais como o Alto de Badejo, sobre o qual se desenvolveram os depósitos carbonáticos, tais como as coquinas da Formação Lagoa Feia e a sedimentação carbonática terciária objetivo do presente trabalho.

Na seção sísmica Y-Y' (Figura 24), observa-se nitidamente o topo dos basaltos e as falhas normais sintéticas e antitéticas correspondentes à fase *rift*. Observa-se também, uma abrupta quebra na borda da plataforma. Estruturas da fase *rift* com menos expressão são também observadas na plataforma continental. A figura 25 ilustra o mapa com as estruturas da fase *rift* na área de estudo.

Antes da deposição proto-oceânica ocorreu um grande evento erosivo regional que nivelou o relevo gerado no estágio *rift*. A evidência de tal evento pode ser observada na figura 24, correspondendo à discordância pré-Alagoas. O estágio transicional do Aptiano está caracterizado pela deposição de rochas evaporíticas, associadas ao primeiro influxo de água do mar através do *Walvis Ridge* (Leyden *et al.*, 1976 *apud* Mohriak *et al.*, 1990). Estas duas fases (continental e transicional) constituem os depósitos associados à Formação Lagoa Feia.

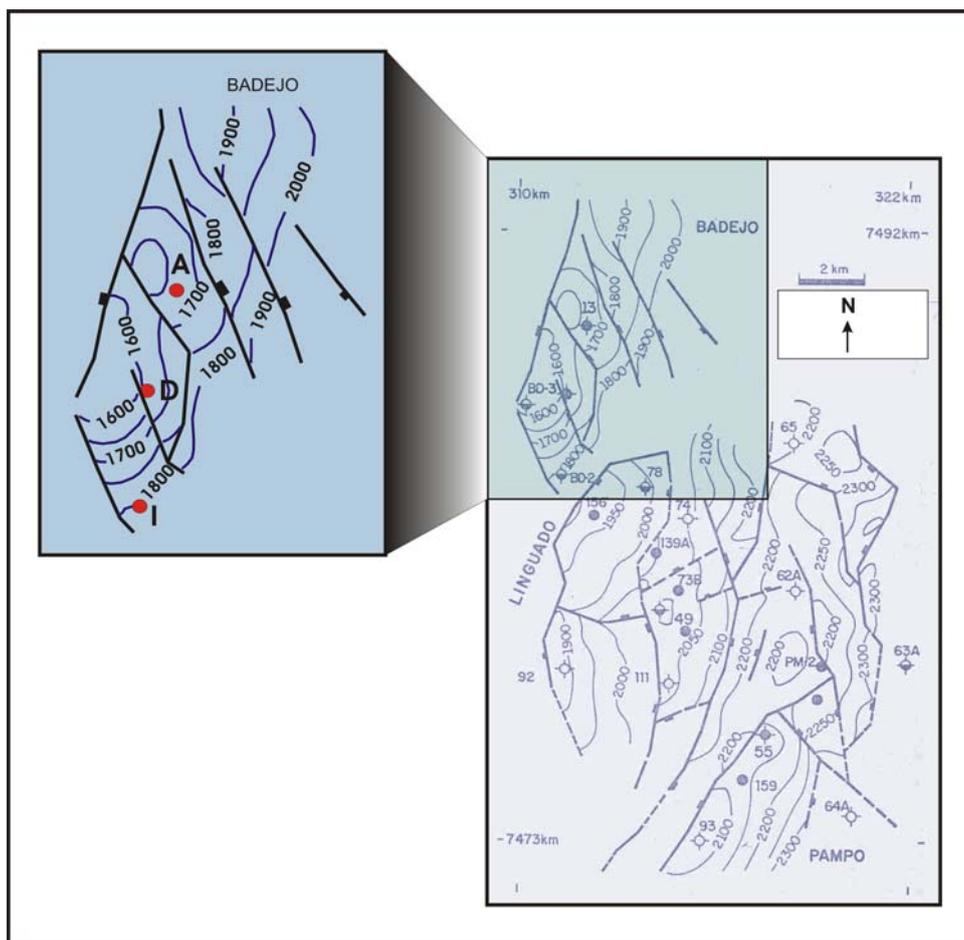


FIGURA 25. Mapa estrutural sísmico. Topo dos “folhelhos verdes” (horizonte próximo à base das coquinas Lagoa Feia no campo de Badejo). Em destaque as estruturas *rift* da área de estudo. Modificado de Baumgarten *et al.* (1988). A-D-I correspondem aos poços estudados neste trabalho.

A parte inferior do estágio oceânico está caracterizada por uma seção Albiano-Cenomaniano de calcarenitos e calcilutitos, muitas vezes com intercalações clásticas e dolomitização próxima à base da seqüência. A figura 24 ilustra o topo do Albiano. Vale a pena salientar que esta seção está estruturalmente associada a feições halocinéticas (diapiros de sal nas porções distais), com a subsequente geração de domos e minibacias, cuja expressão é claramente mais acentuada em águas profundas. As falhas lístricas de descolamento também afetam esta seção nas porções proximais da bacia, modificando os sedimentos carbonáticos do Albiano (Figura 24).

A seção marinha do Cretáceo Superior até o recente corresponde em geral a uma relativa estabilidade tectônica e subsidência continuada. A movimentação do sal está ainda presente e incrementa em intensidade para águas profundas (Lobo & Ferrades, 1983 *apud* Mohriak, 1990). Na seção Y-Y' não foi observada evidência de atividade halocinética na região da plataforma continental, correspondente à região de análise nesta pesquisa.

A seção terciária caracteriza-se em geral por uma grande mudança no estilo sedimentar. Sismicamente se observam seqüências progradantes em feições *offlap* (Figura 24). Este padrão progradante mantém-se durante a deposição dos sedimentos do Oligo-Mioceno e estão associados ao rejuvenescimento da Serra do Mar. Com relação às estruturas da bacia, vale a pena destacar que estas sofreram um processo de reativação tectônica (Cobbold *et al.*, 2001).

De acordo com a evidência *onshore* e *offshore*, do estudo empreendido nas bacias de Santos e Campos por Cobbold *et al.* (2001), a margem sudeste do Brasil foi reativada em três fases principais, separadas por intervalos de quiescência, segundo Meisling *et al.* (2001 *apud* Cobbold *et al.*, 2001). Estes estágios coincidem com a Orogenia Peruana (90-75 Ma), Incaica (50-40 Ma) e Quéchua (25-0 Ma), ocorrida durante períodos de rápida convergência na Margem Andina da América do Sul, conforme Pardo-Casas & Molnar (1987 *apud* Cobbold *et al.*, 2001). A deformação cinemática do Cenozóico no sudeste do Brasil é compatível com a mudança de direção da convergência da Margem Andina, a qual foi altamente oblíqua no Paleógeno, sendo esta obliquidade menor no Neógeno. (Pardo-Casas & Molnar 1987 *apud* Cobbold *et al.*, 2001). No Neocretáceo (110-70 Ma), a Bacia de Campos sofreu uma fase de subsidência acelerada. Em muitas localidades a tectônica de sal tornou-se ativa no Neoalbiano e Campaniano (100-80 Ma). O magmatismo alcalino apareceu no Eoconiaciano (90 Ma). Contudo, parece ter ocorrido uma fase de reativação no intervalo entre 90 e 80 Ma (Cobbold *et al.*, 2001).

O magmatismo alcalino continuou no Paleoceno e Eoceno (70-50 Ma). Na Bacia de Campos teve lugar um período de levantamento diferencial no Eoceno, marcando assim uma fase de reativação (50-40 Ma) (Cobbold *et al.*, 2001). Durante o Neógeno, houve um grande fornecimento de sedimentação clástica para a região *offshore* da Bacia de Campos. A reativação da fase Neógena, segundo Cobbold *et al.* (2001), continua até hoje.

Segundo Rangel (2005), na parte sul da Bacia de Campos em frente ao Alto de Cabo Frio, ocorrem rochas magmáticas extrusivas do Neopaleoceno, Eoceno e Mesoeoceno, constituídas principalmente por tufos, hialoclastitos, brechas e basaltos (Formação Emborê/Membro Cabo Frio), os quais geram cones e altos vulcânicos.

Em geral, os principais elementos estruturais da bacia são falhas sintéticas e antitéticas normais formadas durante a fase *rift*, grabens e *horst* formados pelo falhamento da fase *rift*, linhas de charneira associadas à flexura do embasamento, estruturas homoclinais, falhas lítricas de descolamento e estruturas *roll-over*, associadas com o falhamento lítrico (Ojeda, 1982 *apud* Mohriak *et al.*, 1990). Estes elementos estruturais estiveram sujeitos então a vários estágios de reativação desde o Neocretáceo, segundo o modelo de Cobbold *et al.* (2001).

5.2 CARACTERIZAÇÃO DAS SEQÜÊNCIAS IDENTIFICADAS A PARTIR DA ANÁLISE DE PERFIS ELÉTRICOS

No intervalo estudado (Membro Siri) foram identificadas três seqüências deposicionais. Com ajuda do sismograma sintético gerado entre a seção sísmica X-X' e o poço A (Figura 26) se levou a cabo a definição das superfícies que representariam os limites de seqüência. A projeção dos poços A, B e D nas linhas sísmicas, permitiu uma melhor definição das seqüências identificadas.

SISMOGRAMA SINTÉTICO

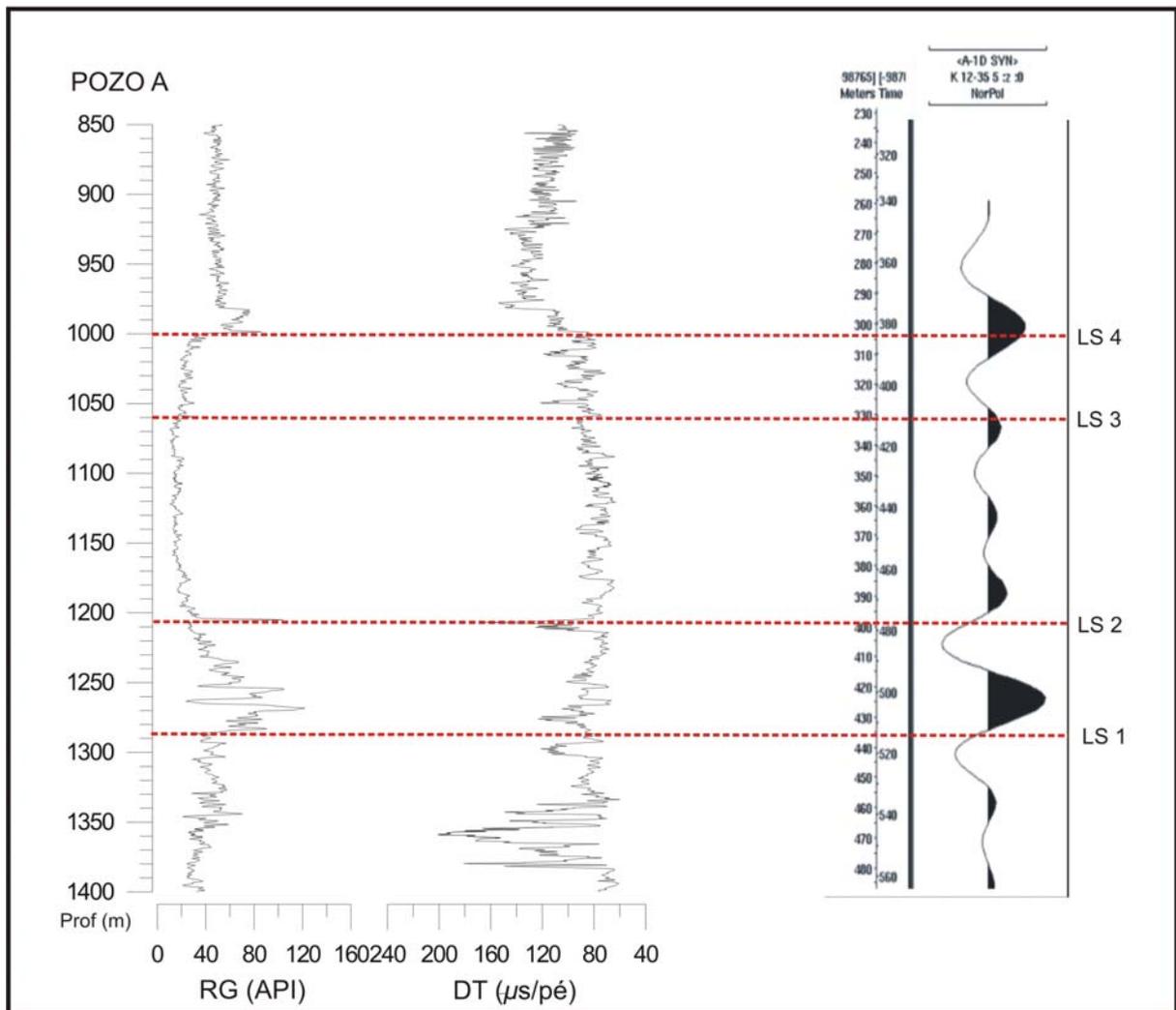


FIGURA 26. Sismograma sintético gerado entre o registro sônico do poço A e a seção sísmica X-X'.

A análise estratigráfica das seqüências, com base na análise da resposta de perfis elétricos, permitiu amarrar a litologia e o ambiente deposicional nas seções sísmicas, encerrando assim as fácies sísmicas, as propriedades da rocha e as propriedades sedimentológicas, dentro do contexto da análise de alta resolução. A Figura 27, mostra a distribuição dos poços analisados, a localização das duas linhas sísmicas interpretadas e as seções de correlação.

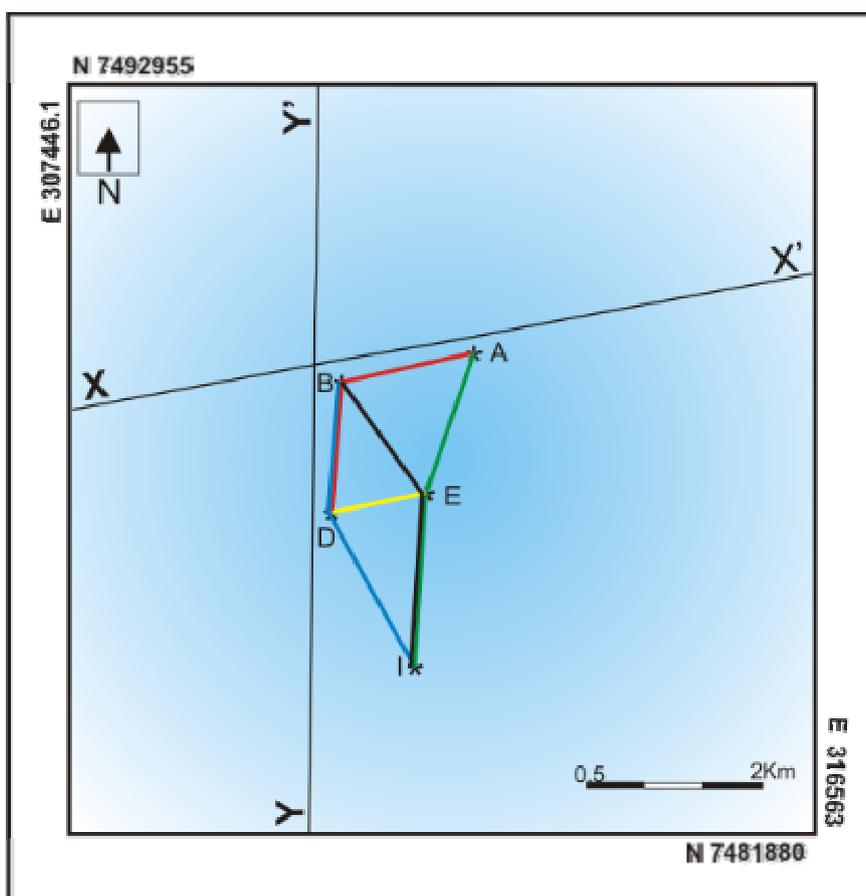


FIGURA 27. Ilustração da localização das linhas sísmicas, a distribuição dos poços e as seções de correlação.

Os cinco poços examinados (A, B, D, E, I) mostram a resposta dos perfis de radiatividade e resistividade, ilustrando os limites de seqüência, as seqüências, as parasseqüências e os tratos de sistema no intervalo estudado. Os limites de seqüência estão representados pela cor vermelha e a superfície de inundação máxima pela cor azul escuro (Figuras 28 a 32).

Os tratos de sistema foram identificados nos poços usando os padrões de empilhamento das parasseqüências. Vale ressaltar que os limites de seqüência apresentam diferentes respostas e expressões físicas, dependendo de onde estes são observados, das variações na taxa do aporte de sedimento e das mudanças do nível do mar ao longo da margem da bacia. Os limites de seqüência no intervalo estudado foram reconhecidos a partir das terminações dos refletores nas seções sísmicas (*onlap*, *downlap*, *truncamentos*, *toplap*) e com base nas mudanças na resposta dos perfis de poço.

5.2.1 Seqüência I

A seqüência I representa o início do desenvolvimento da sedimentação carbonática oligo-miocênica. Os limites inferior e superior estão representados nos perfis de poço pela cor vermelha e a superfície de inundação máxima pela cor azul escuro (Figura 28).

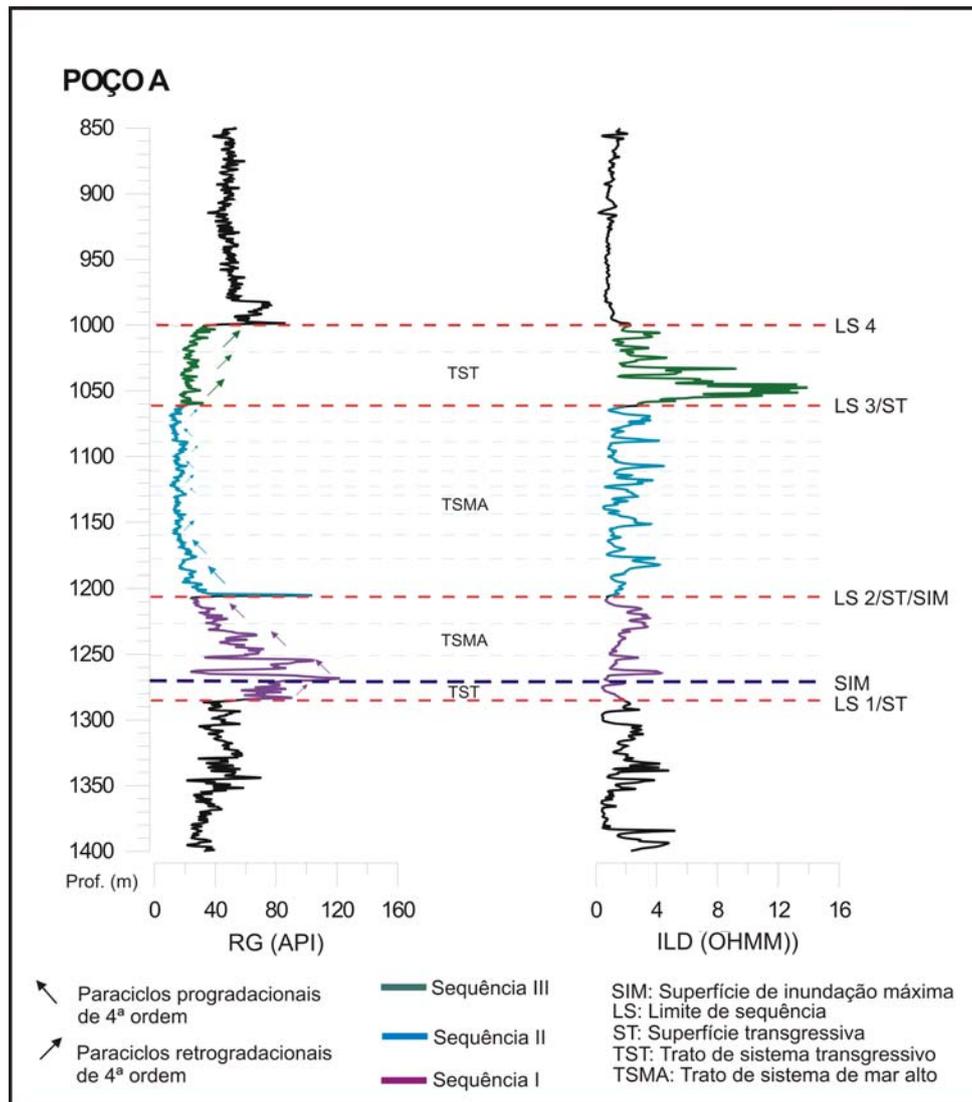


FIGURA 28. Poço A ilustrando os limites de seqüência e as unidades identificadas, com base no comportamento dos perfis de raios gama e resistividade.

O limite inferior LS1/ST, representa uma superfície transgressiva, definida a partir de uma abrupta quebra no perfil de raios gama.

A expressão deste limite na plataforma seria uma superfície de amalgamento entre o limite de seqüência e a superfície transgressiva (base da unidade I nos poços A, B, D, I). Vale salientar que no poço E não foi observado o trato de sistema transgressivo observado nos demais poços. Portanto, o limite inferior da unidade I no poço E seria a superfície de inundação máxima que estaria, por sua vez, se amalgamando com a superfície transgressiva e o limite de seqüência. (Figura 29).

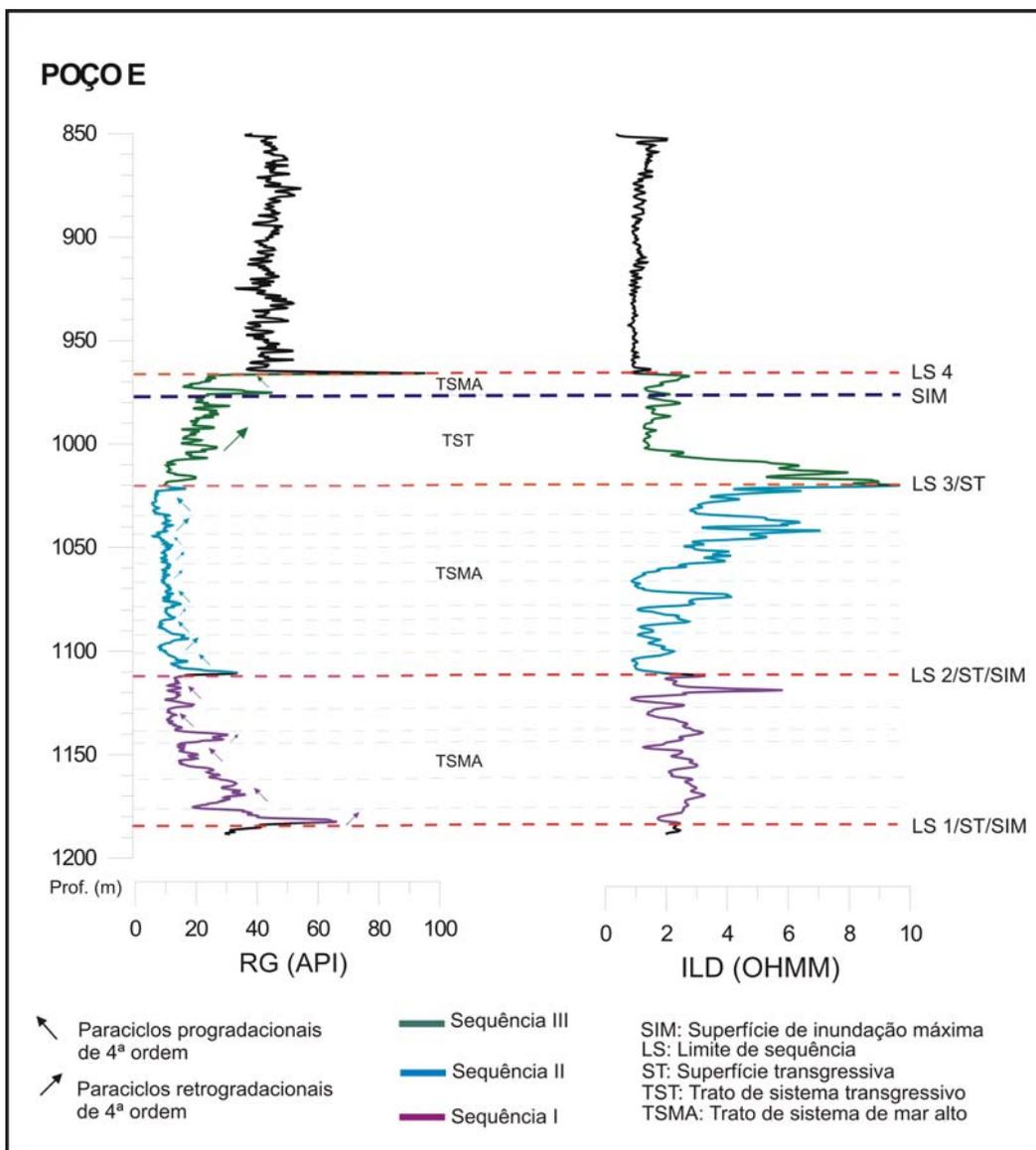


FIGURA 29. Poço E ilustrando a ausência do trato de sistema transgressivo na unidade I e a resposta dos perfis de raios gama e resistividade em cada uma das seqüências definidas.

Sobre esta superfície de inundação máxima, ter-se-ia o desenvolvimento do trato de sistema de mar alto. O último definido com base na caracterização de paraciclos progradacionais de 4ª ordem (ciclos de raseamento) cujas espessuras oscilam entre 10 e 20 metros, que por sua vez, indicariam elevações muito lentas do nível do mar, refletido no caráter pouco espesso de cada parassequência (Figuras 28, 29 e 30).

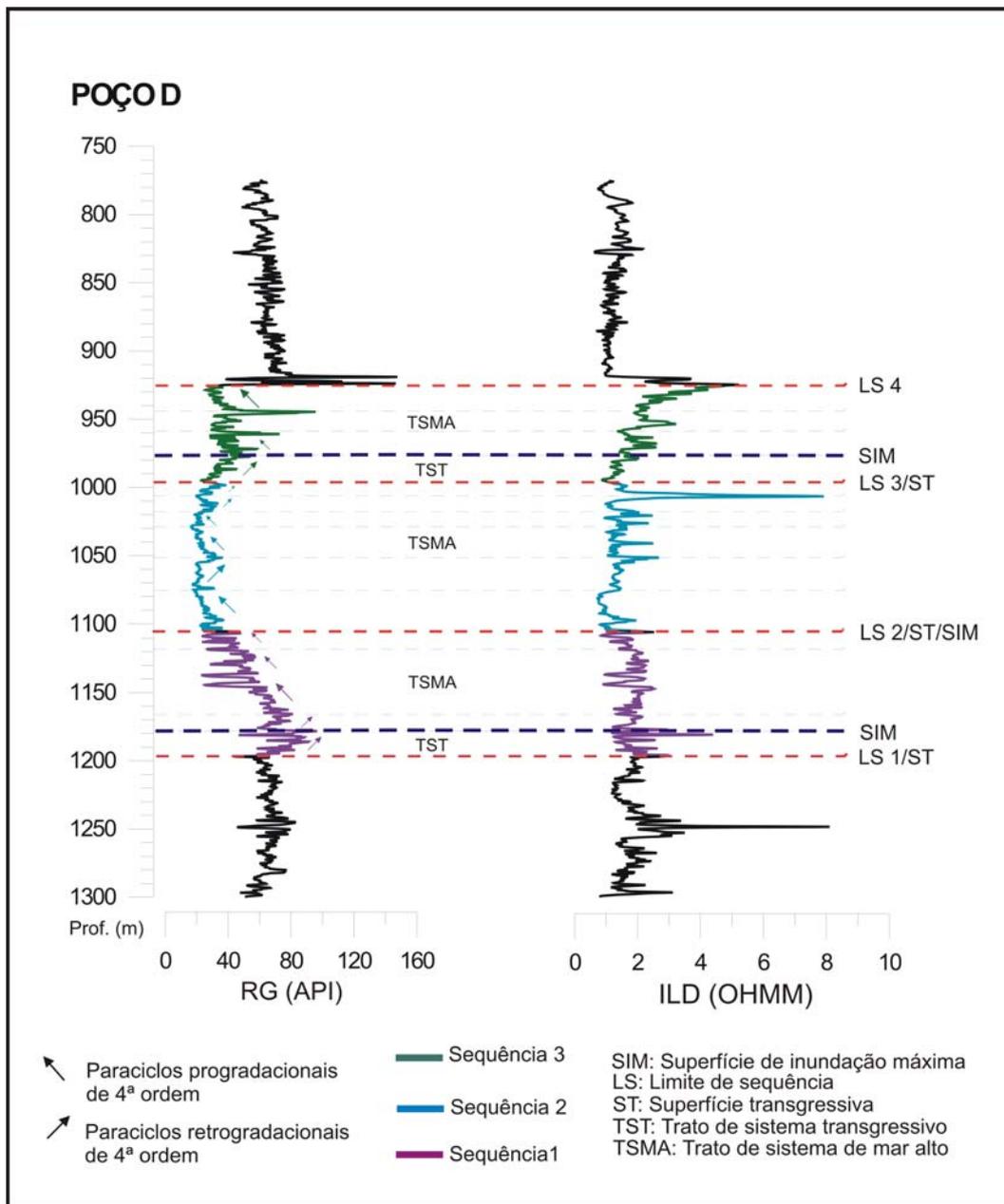


FIGURA 30. Poço D ilustrando as seqüências identificadas com base na resposta dos perfis de raios gama e resistividade.

Esta unidade, caracterizada pela relativa influência de sedimentação siliciclástica e flutuações do nível do mar de 4ª ordem, representa o começo do desenvolvimento da plataforma carbonática, sendo a produtividade de carbonato menor durante o trato de sistema transgressivo (fase *start-up*), que ocorre na base da unidade, e um pouco mais estável durante o subsequente trato de sistema de mar alto. O perfil de raios gama em geral exibe um padrão funil¹ nos poços A, D, E, I, sendo este padrão de comportamento menos expressivo no poço B (Figura 31).

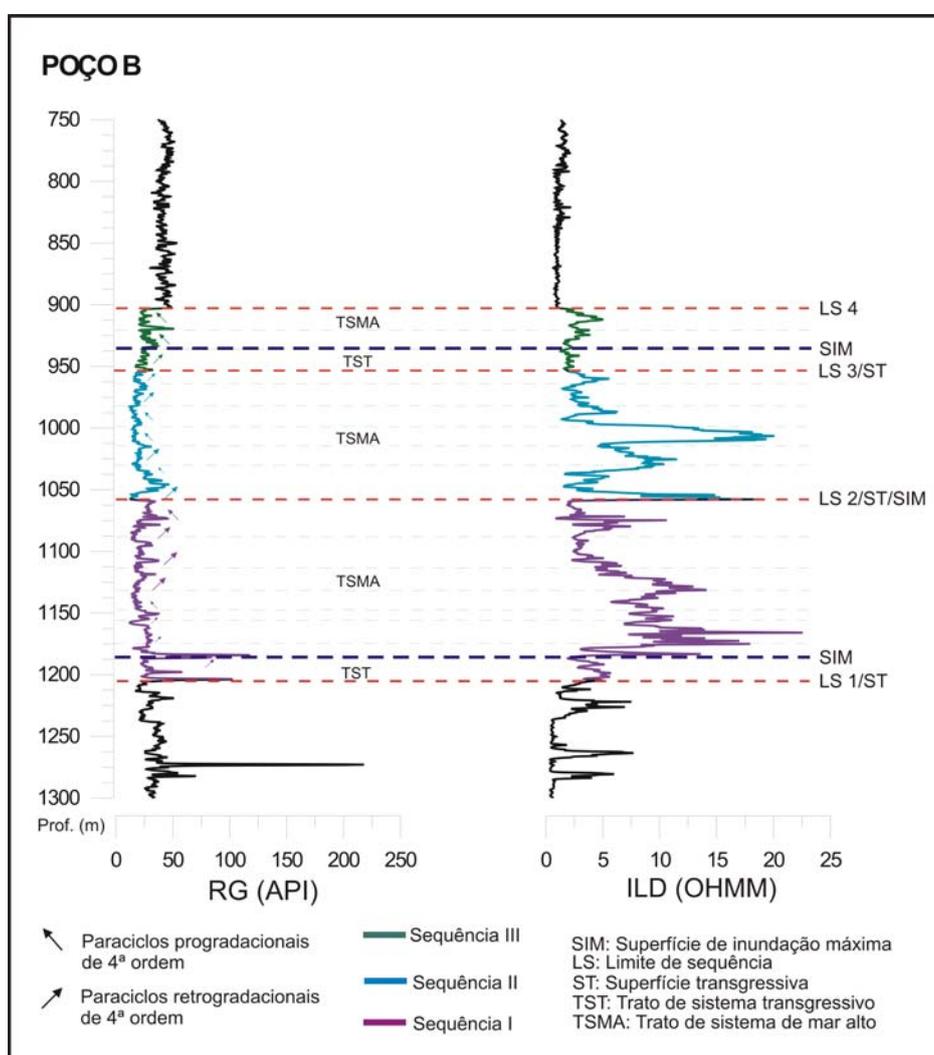


FIGURA 31. Poço B ilustrando o comportamento dos perfis de raios gama e resistividade nas seqüências definidas para o intervalo estudado.

1. Funil, diminuição gradual para cima no perfil de raios gama (Emery & Myers, 1996).

No poço 3-BD-3 de Rangel *et al.* (1994), que corresponde ao poço D na área de estudo (Figuras 4 e 30), se observa uma litologia dominada pela presença de argila (TST) na base desta seqüência, as quais apresentariam provavelmente uma gradação para calcilitos no topo da unidade (TSMA).

Os perfis nos poços A, D, E e I apresentam em geral uma baixa resistividade. O intervalo de aumento na resistividade no poço B poderia ser consequência de uma rocha com porosidade muito baixa (Figuras 28, 29 30, 31 e 32).

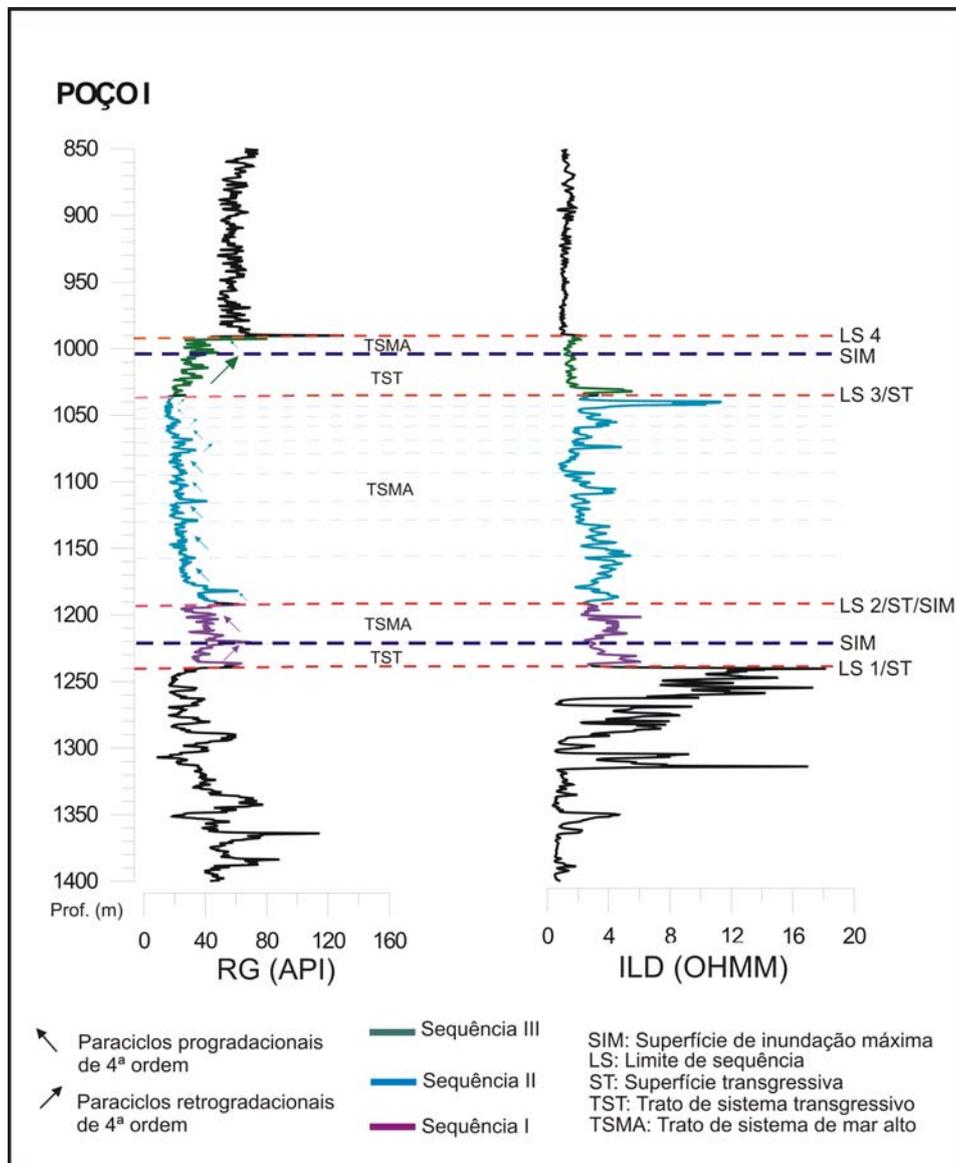


FIGURA 32. Poço I ilustrando o comportamento dos perfis de raios gama e resistividade em cada uma das seqüências definidas.

O topo da seqüência I está marcado por um pico na leitura do perfil de raios gama, o qual sugere um abrupto aprofundamento. Este limite correspondente a uma superfície de inundação máxima, seria correlato com o limite de seqüência. O trato de sistema transgressivo que precede tal superfície, não foi identificada na resposta dos perfis.

5.2.2 Seqüência II

Esta seqüência representa o Membro Siri propriamente dito, composto por calcarenito bioclástico creme segundo Rangel *et al.* (1994). A produção de carbonato que nesta unidade é maior que a sedimentação siliciclástica é refletida no comportamento do perfil de radioatividade para os cinco poços estudados. O limite de seqüência inferior (LS2/ST/SIM) foi posicionado, num pico radiativo. Tais aumentos estão geralmente associados às superfícies de inundação máxima que precedem os tratos de sistema de mar alto.

Acima desta superfície tem-se então o desenvolvimento da plataforma carbonática franca. A expressão nos perfis de poço apresenta um padrão bem homogêneo, caracterizado por uma tendência *bow trend*² (Figuras 28, 29, 30, 31 e 32). A baixa radioatividade registrada nesta unidade responde a um comportamento relativamente constante do nível do mar com curtos afogamentos, definidos com base na identificação de várias unidades de 4ª ordem (parasseqüências). Estes paraciclos descrevem nos poços um padrão progradacional que começa na base da unidade. No centro da curva observa-se um incipiente padrão agradacional tornando-se retrogradacional para o topo, marcado por um novo pico de aumento na radioatividade que corresponderia ao limite superior da seqüência II (LS3/ST). Este limite (superfície transgressiva) seria a superfície correlata ao limite de seqüência.

2. *Bow trend* diminuição gradual e posterior aumento no perfil de raios gama (Emery & Myers, 1996).

As parasseqüências identificadas apresentam espessuras que oscilam entre 10 e 25 metros, sendo que para o topo, estas tendem a apresentar um pequeno afinamento causado pela diminuição na produção de carbonato como conseqüência do reduzido espaço de acomodação presente na fase final de progradação do trato de sistema de mar alto interpretado para esta unidade.

Cabe ressaltar que os poços E e B apresentam, um aumento no registro de resistividade podendo corresponder, portanto a intervalos com presença de óleo (Figuras 29 e 31). A resistividade nos poços A, D e I não segue um padrão constante de aumento ou diminuição no registro, sugerindo, dessa forma, algum tipo de heterogeneidade na distribuição da porosidade (Figuras 28, 30 e 32). O trato de sistema de mar alto tem como característica principal em sistemas carbonáticos o desenvolvimento da denominada fase *keep-up*, durante a qual ocorre um excesso na produção carbonática, que por sua vez excederia o espaço de acomodação, (Schlager, 1992 *apud* Wright & Burchette, 1996).

5.2.3 Seqüência III

A seqüência III, nos poços examinados apresenta uma espessura que oscila entre 60 m e 100 m. Esta unidade apresenta um padrão muito bem definido nos poços analisados, identificável na curva de raios gama e caracterizada por uma tendência sino³ na parte inferior da unidade (Figuras 29, 30, 31 e 32). O poço A (Figura 28) apresenta mais claramente esta tendência ao longo de toda a unidade. A interpretação da resposta do perfil de raios gama sugere um período de aprofundamento significativo durante o desenvolvimento da unidade III. O limite inferior (LS3/ST), é definido a partir de uma quebra abrupta nos perfis geofísicos de raios gama e resistividade e marca, por sua vez, a superfície sobre a qual se desenvolveria o trato de sistema transgressivo.

3. Sino, aumento gradual para cima no perfil de raios gama (Emery & Myers, 1996).

O domínio deste trato de sistema (TST) teria como consequência o enfraquecimento da produção carbonática e o aumento na deposição de material siliciclástico. Nos poços E, D, B e I (Figuras 29, 30, 31 e 32) observa-se um pico de aumento no perfil de radioatividade sugerindo a presença de uma superfície de inundação máxima ausente no poço A, provavelmente como resultado de processos erosivos (Figura 28). Sobre esta superfície ter-se-ia uma pequena fase de trato de sistema de mar alto de 4ª ordem com espessuras que oscilam entre 15 e 50 metros.

Segundo as observações realizadas no perfil de raios gama, a seqüência III, estaria representando a entrada de material siliciclástico no sistema carbonático. Como consequência ocorreria o desenvolvimento de uma plataforma mista, cujo domínio de material pelítico provocaria o enfraquecimento na produção de sedimento carbonático. Os paraciclos, nos quais foi subdividida a unidade III, descrevem em geral um padrão de empilhamento retrogradacional, exceto no topo da unidade onde tem-se a presença de um pequeno ciclo de progradação (trato de sistema de mar alto).

Esta etapa de transgressão, na base da unidade, corresponderia à fase *catch-up* descrita por Schlager (1992 *apud* Wright & Burchette, 1996), associado a uma produção de carbonato menor se comparada com a fase *keep-up*, caracterizada por superprodução de sedimento carbonático. Tal fase transgressiva marcaria, portanto, o começo do afogamento da plataforma carbonática oligo-miocênica.

Waisman (2002), em sua proposta, apresenta dois mapas de percentagem de folhelhos e margas para a seqüência denominada MIO-1, que neste trabalho corresponderia à seqüência III. Cabe destacar que nos poços analisados pelo referido autor, o conteúdo de folhelho prevalece em relação à percentagem de margas, a qual é muito baixa nesta seqüência. Este dado confirma a relativa abundância de material siliciclástico na unidade III.

O topo da unidade (LS4) está representado por uma quebra abrupta nos perfis geofísicos de raios gama e resistividade. Esta quebra tem grande significância regional devido à ocorrência do afogamento da plataforma carbonática e ao estabelecimento de uma progradação de material siliciclástico para a bacia a partir do Neomioceno (Campbell, 2005). O perfil de resistividade mostra uma configuração muito heterogênea, sendo em alguns poços alta e em outros baixa, confirmando a ocorrência de sedimentação mista na seqüência.

5.3 CARACTERIZAÇÃO DAS SEQÜÊNCIAS IDENTIFICADAS A PARTIR DA CORRELAÇÃO DE PERFIS ELÉTRICOS E MAPAS DE ISÓPACAS

A correlação dos poços deu lugar ao estabelecimento de um arcabouço estratigráfico inicial, que facilitou a visualização e estimacão do comportamento lateral das unidades identificadas. Esta correlação permitiu também a geração dos mapas de isópacas para cada seqüência identificada, podendo-se inferir de um modo geral a geometria da plataforma carbonática.

5.3.1 Seqüência I

O mapa de isópacas da figura 33 ilustra a geometria presente nesta seqüência, caracterizada por uma diminuição gradativa para o sudeste nos poços A, D E, I. No poço B (Figura 31), esta seqüência se apresenta com uma espessura maior se comparada com os demais poços. Esta diferença estaria associada à ação de processos erosivos e/ou não deposição na parte sudeste da área de estudo. Tal erosão e/ou não deposição é confirmada pelo truncamento da seqüência I pela seqüência II e, que por sua vez, suporta o critério para o reconhecimento do limite superior da seqüência. O diferente padrão que exhibe o poço B com relação aos demais poços, é melhor observada no perfil de radioatividade, referida anteriormente na análise dos perfis elétricos (Figura 31).

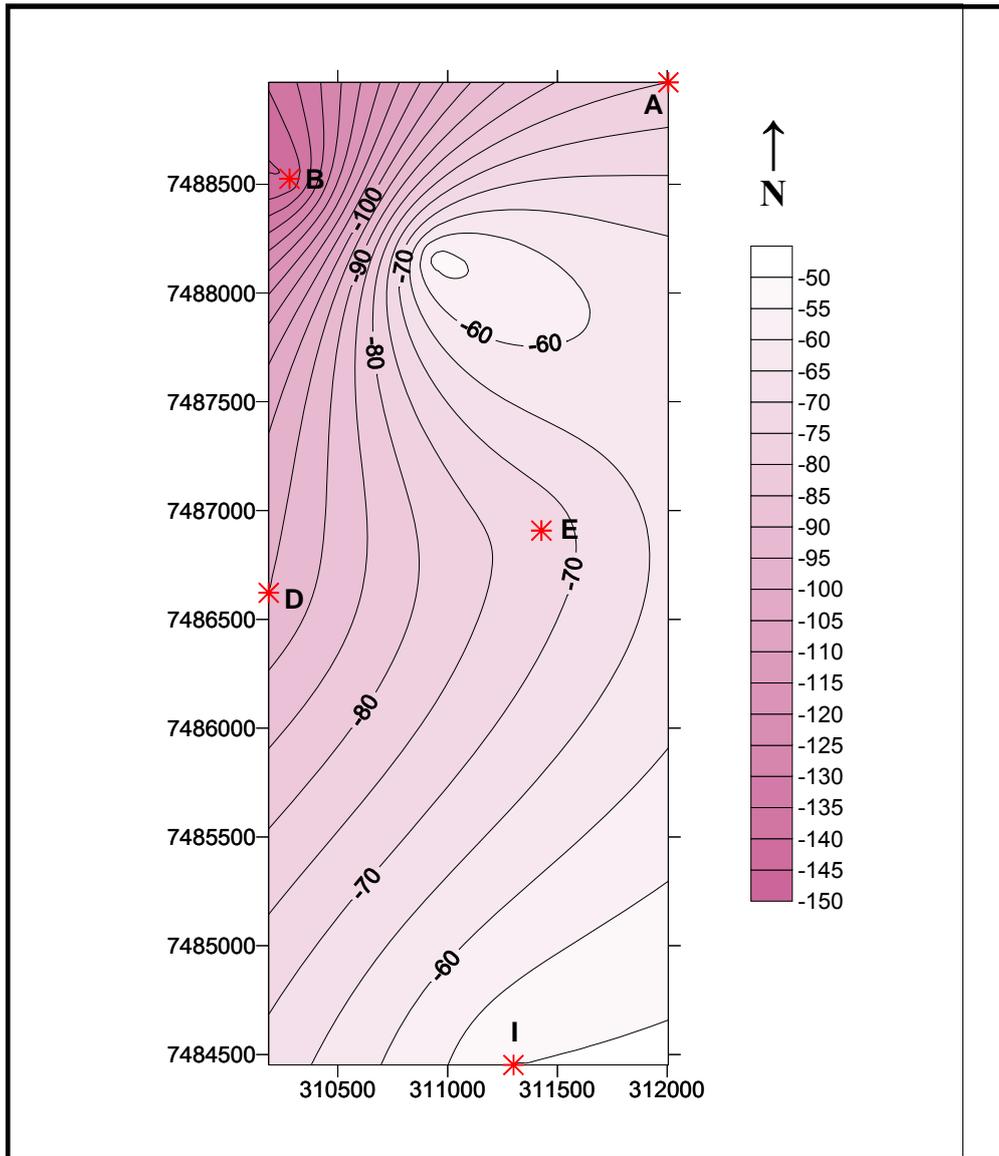


FIGURA 33. Mapa de isópacas da seqüência I, mostrando o espessamento no poço B.

A correlação dos poços B-D-I mostra o espessamento da seqüência I na parte noroeste da área de estudo e o afinamento para o sudeste (Figura 34). Observa-se que tal afinamento é bem marcado pela ausência (erosão ou não deposição) das parasseqüências posicionadas no topo da seqüência (poços D e I). A maior espessura presente para o noroeste também poderia estar associada a algum tipo de isolamento, com menor influência de material siliciclástico, o que permitiu um maior desenvolvimento da sedimentação carbonática para o topo da unidade na região do poço B.

CORRELAÇÃO DOS POÇOS B-D-I

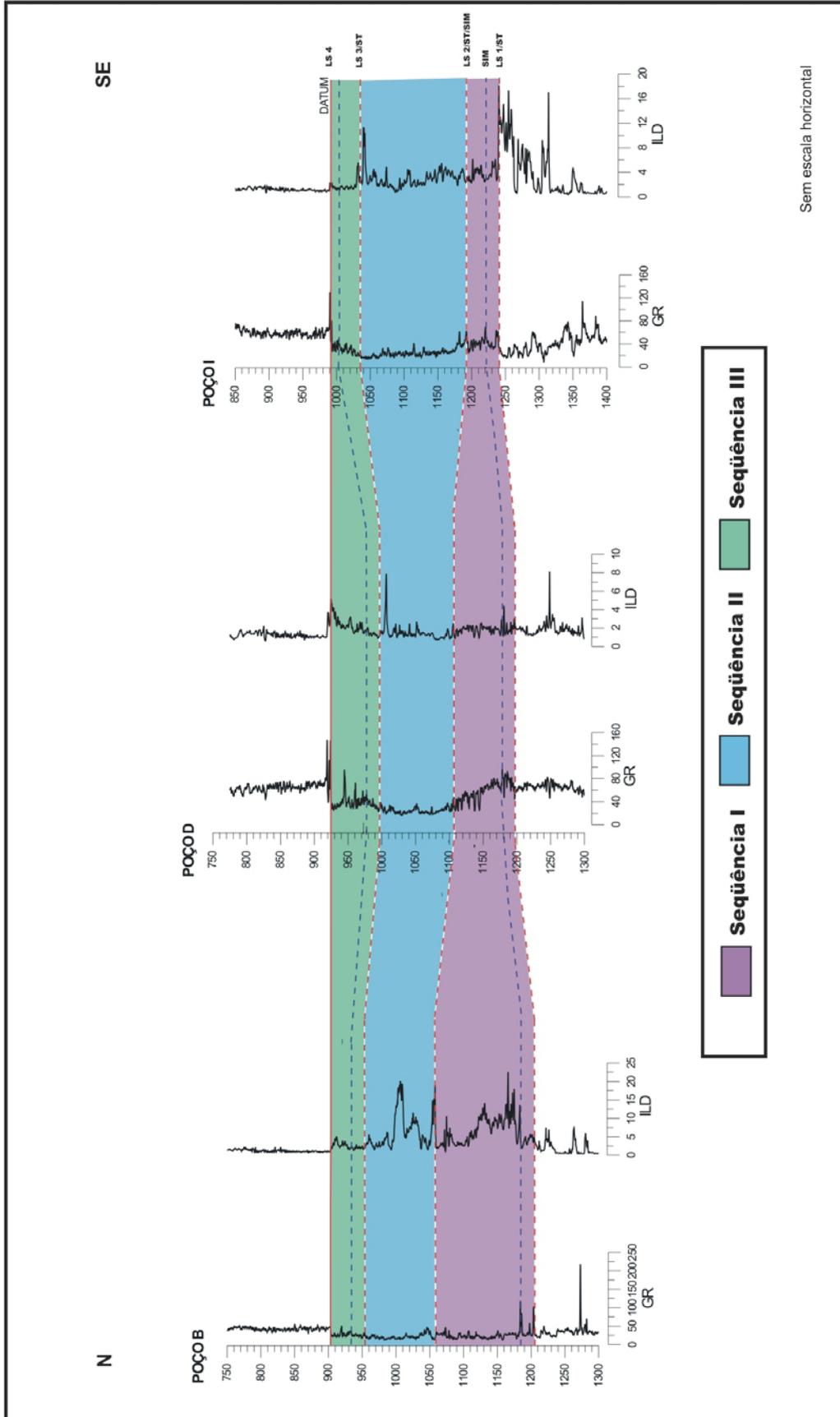


FIGURA 34. Correlação dos poços B-D-I, mostrando o espessamento da seqüência I para o norte da área de estudo.

5.3.2 Seqüência II

O mapa de isópacas da figura 35 permite visualizar a geometria da seqüência II, a qual tem uma espessura aproximada de 100 metros. Cabe destacar o relativo aumento que a unidade em questão apresenta para o norte e para o sul da área de estudo (poços A e I). O espessamento da seqüência entre os poços A e B, foi observado nas seções sísmicas.

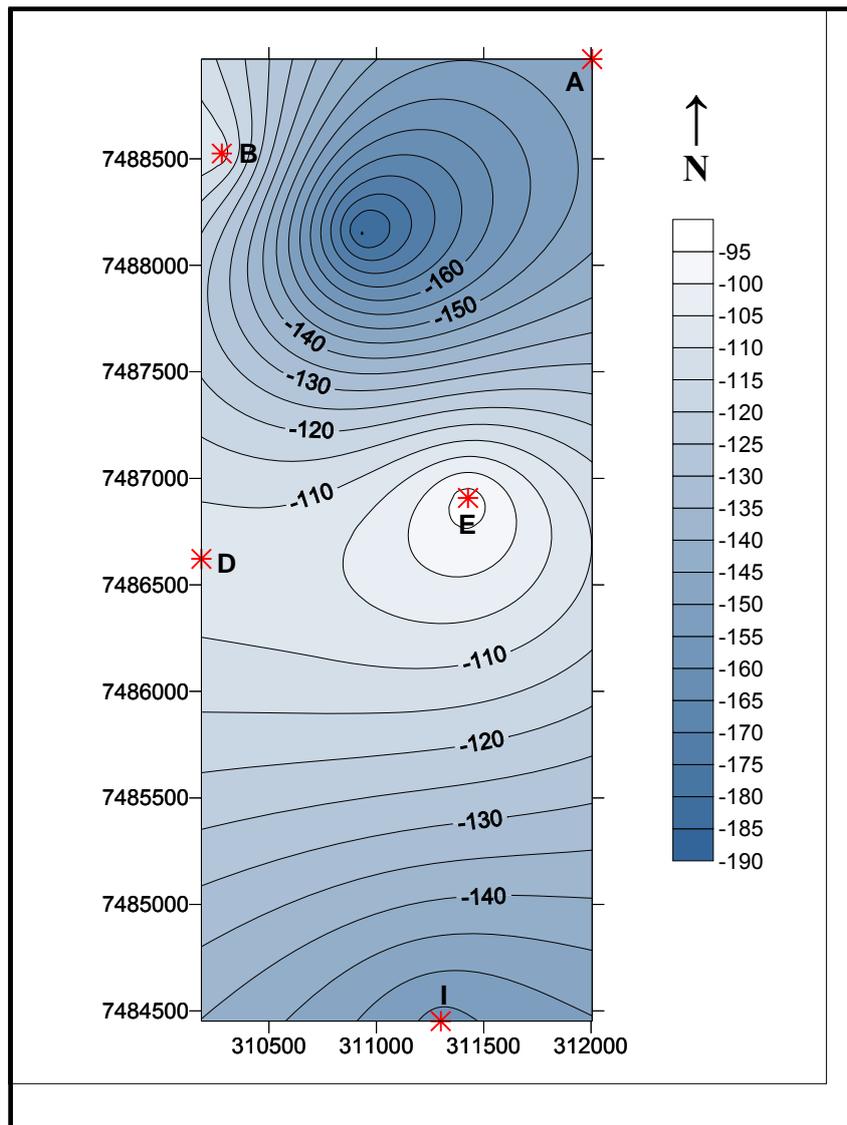


FIGURA 35. Mapa de isópacas da seqüência II, mostrando o espessamento nos poços A e I.

A correlação dos poços D-B-A na direção NE-SW, ilustra o padrão geral do comportamento dos perfis elétricos para esta seqüência (Figura 36).

CORRELAÇÃO DOS POÇOS D-B-A

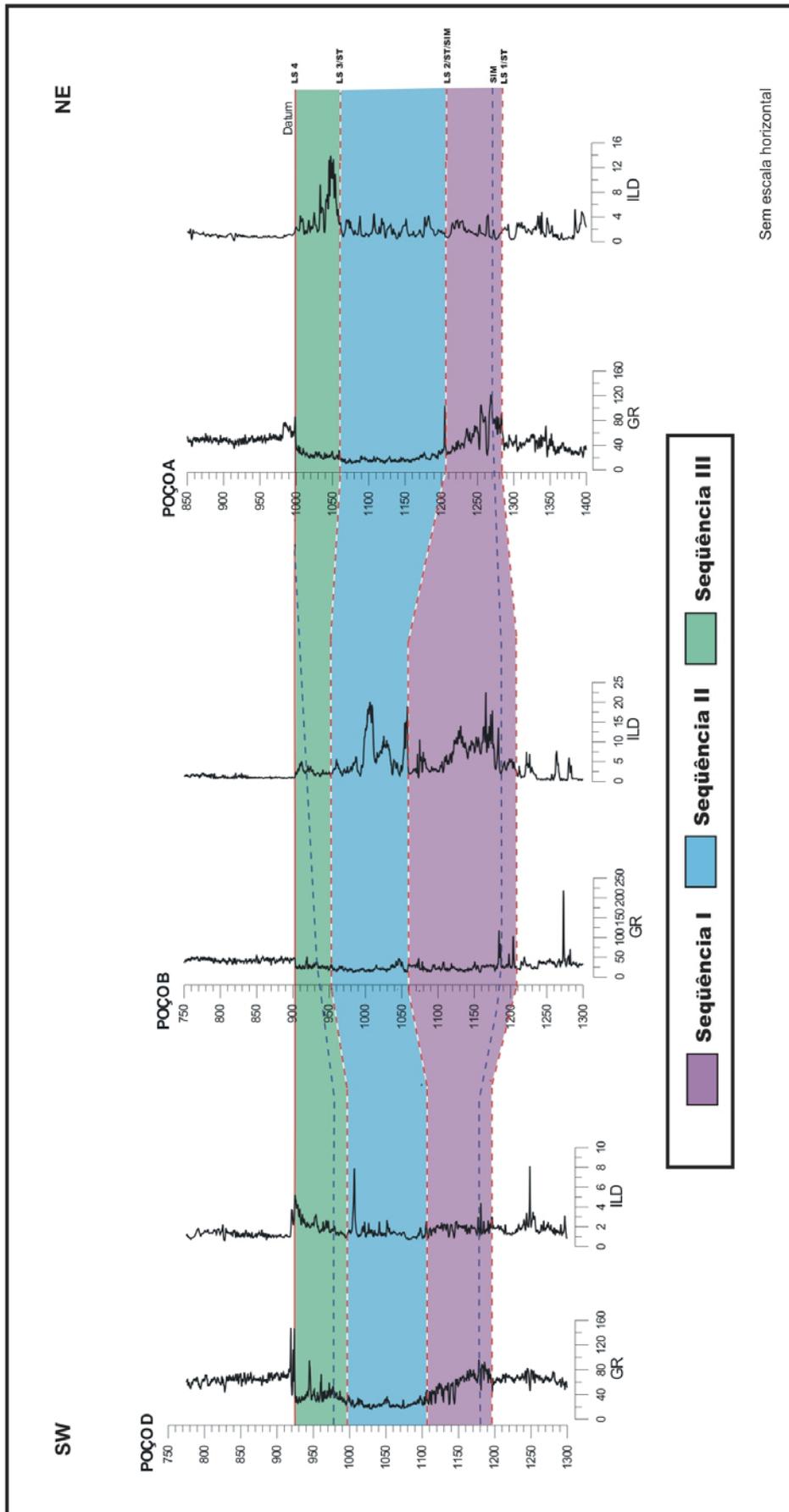


FIGURA 36. Correlação dos poços D-B-A, mostrando espessamento da seqüência II no poço A.

O mapa de isópacas apresentado permite também destacar a menor espessura da seqüência na parte central da área de estudo, sendo este fato atribuído a diferentes fatores. Um destes estaria associado ao controle exercido pela morfologia do substrato, onde se levou a cabo a geração da plataforma carbonática.

O mapa de espessura ilustra, em geral, um maior desenvolvimento da plataforma carbonática para o nordeste. A correlação dos poços A-E-I em direção norte-sul ilustra melhor a diferença na espessura da seqüência II, tendo como destaque o poço E, localizado na parte central da área de estudo (Figura 37).

A Figura 38 mostra um desenho esquemático do comportamento da plataforma, com base no mapa de isópacas e na correlação dos poços A-E-I (Figuras 35 e 37).

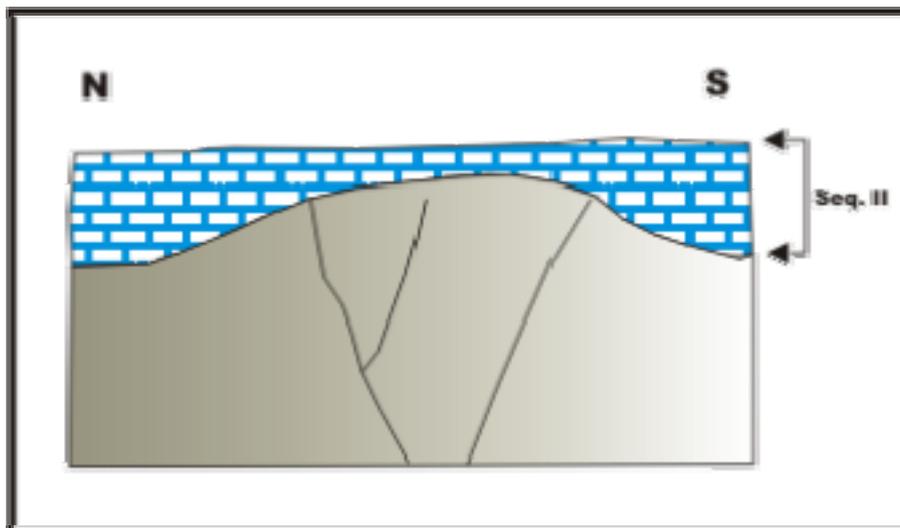


FIGURA 38. Ilustração do desenvolvimento da plataforma carbonática nas porções norte sul da área de estudo (seqüência II).

5.3.3 Seqüência III

A correlação dos poços mostra uma espessura mais ou menos constante para a seqüência III. O mapa de isópacas realizado para esta unidade demonstra um incipiente afinamento para o sul da área (Figura 39).

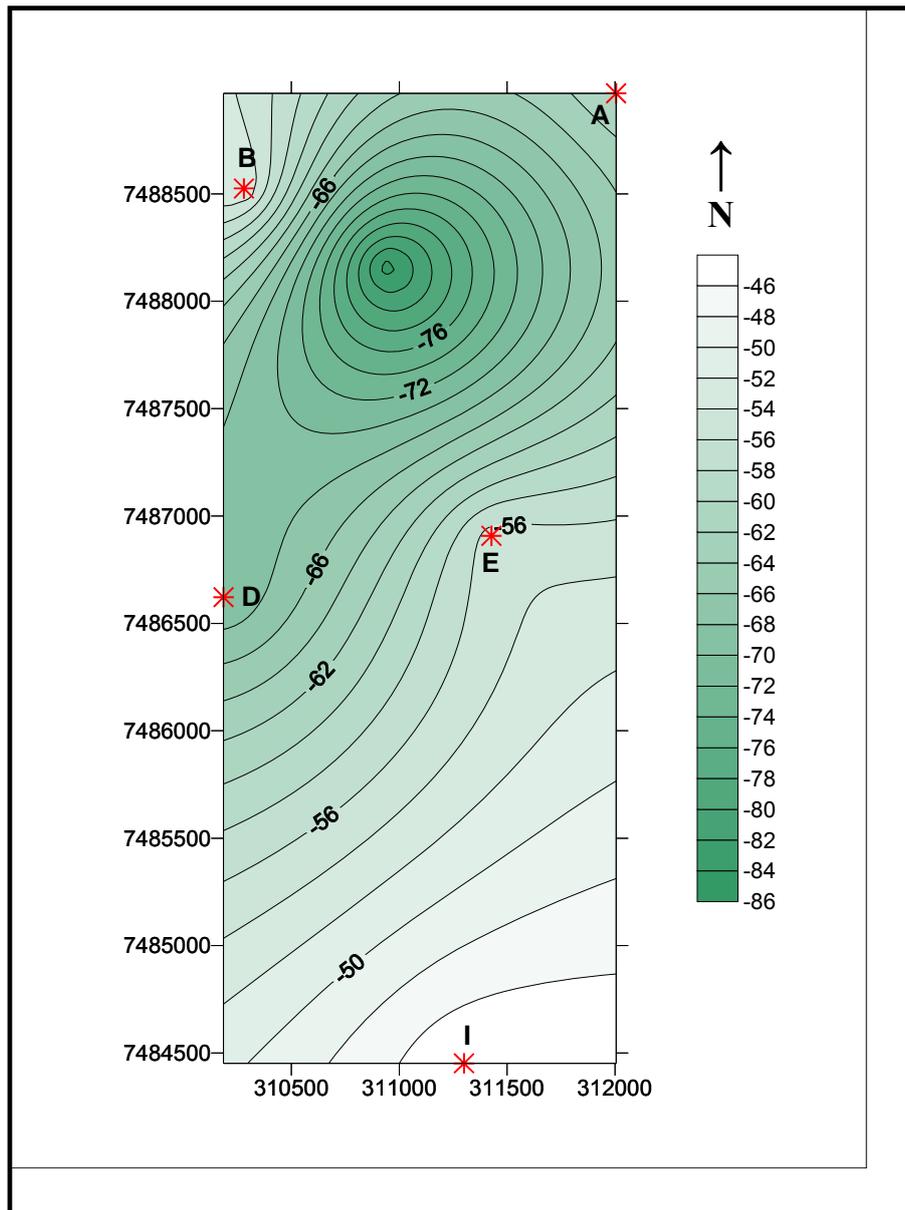


FIGURA 39. Mapa de isópacas da unidade III, mostrando o afinamento para o sul da área.

A correlação dos poços B-E-I em direção NW-SE, mostra o comportamento dos perfis elétricos para esta unidade (Figura 40).

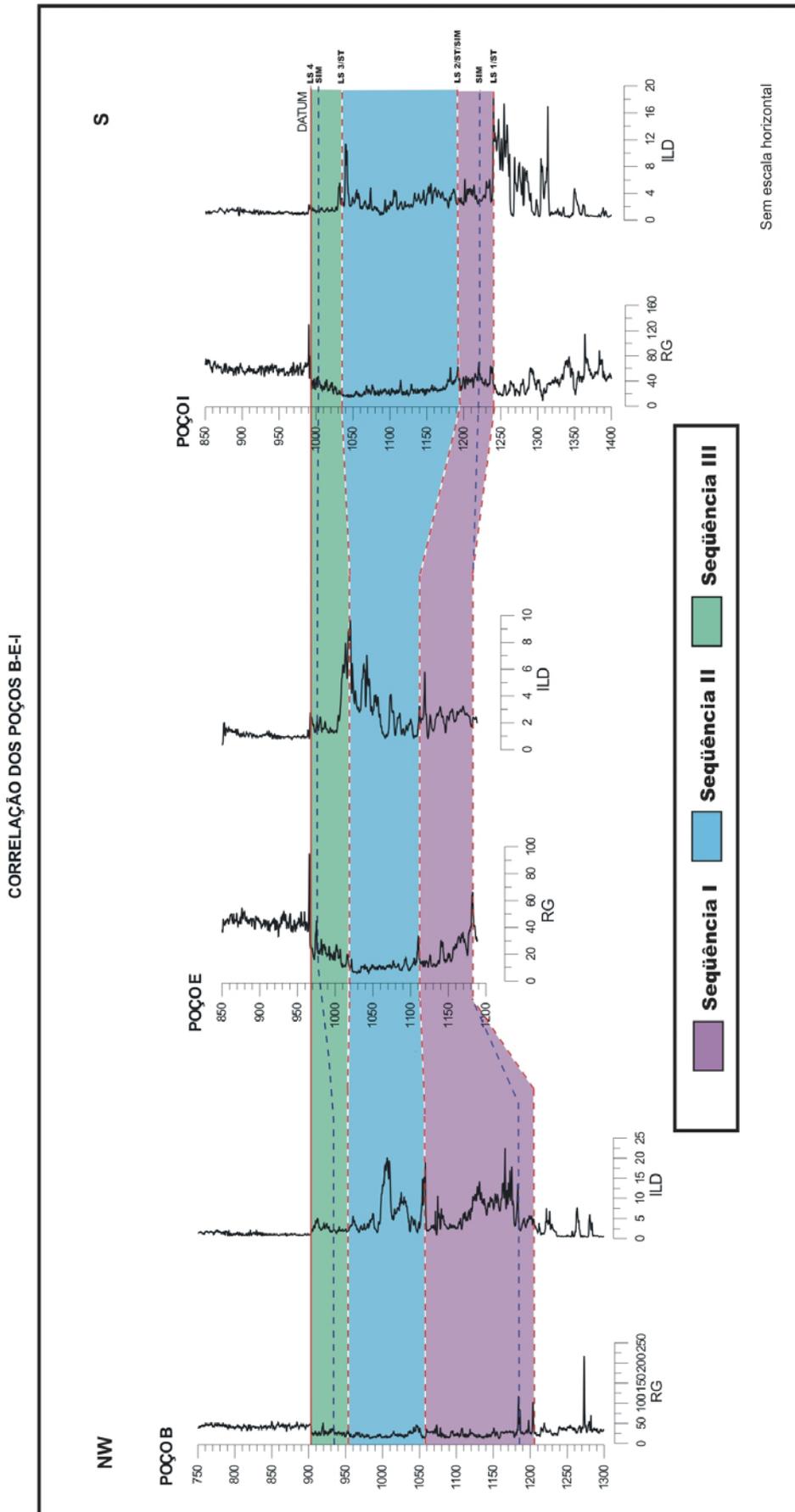


FIGURA 40. Correlação dos poços B-E-I, mostrando a homogeneidade na espessura da seqüência III.

A curva do perfil de raios gama nesta unidade tem como característica comum em todos os poços analisados um aumento de radiatividade da base para o topo, o que significa uma mudança de uma plataforma nitidamente carbonática para uma plataforma mista (siliciclástico-carbonática).

Esta seqüência apresenta um limite superior muito bem definido nos cinco poços, que serviu de *datum* para a correlação dos poços e que ao mesmo tempo marca o afogamento final da plataforma carbonática. Segundo Waisman (2002) este limite corresponderia a uma superfície de inundação máxima, associada a uma seqüência de uma ordem menor.

A deposição efetiva da plataforma carbonática cessou no Mesomioceno a Neomioceno com a deposição de sedimento dominada pelo influxo de quartzo-arenito e argila (Campbell, 2005). Esta progradação, nitidamente identificável nas seções sísmicas, foi confirmada na Bacia de Guiana por Wong *et al.* (1998 *apud* Campbell, 2005) e Worman (2000 *apud* Campbell, 2005), confirmando a progradação da borda da plataforma desde o Neomioceno. O mesmo fenômeno é também conhecido na Foz do Amazonas e nas bacias da margem brasileira, segundo Ojeda (1982 *apud* Campbell, 2005).

A mesma progradação neógena (Mioceno Superior) é também observada, nas bacias de Campos (Guardado *et al.*, 1989) e Santos (Ojeda, 1982 *apud* Campbell, 2005), marcando assim um evento de grande significância regional. Esta ocorrência pôde ter sido o resultado da diminuição do espaço de acomodação *offshore*. No entanto, estudos regionais mostram um preenchimento das bacias *foreland* que se desenvolveram durante o evento Incaico (49-37 Ma). O aumento dos processos de denudação dos Andes como consequência da ativação da tectônica Andina (Golonka, 2002, *apud* Campbell, 2005), resultaram num preenchimento das bacias *foreland* e o desenvolvimento do sistema de drenagem transcontinental. Com relação à bacia de Campos, estes eventos de progradação teriam maior relação com o rejuvenescimento da Serra do Mar.

5.4 CARACTERIZAÇÃO DAS SEQÜÊNCIAS IDENTIFICADAS A PARTIR DA INTERPRETAÇÃO DE SEÇÕES SÍSMICAS 2D

As margens das plataformas carbonáticas exibem em geral altas taxas de crescimento (Schlager, 1981, Bosscher e Schlager, 1993 *apud* Campbell, 2005). Este alto potencial de desenvolvimento tem como resultado uma relativa estabilidade na posição da margem da plataforma durante períodos de constante e rápida agradação, segundo Schlager (1998 *apud* Campbell, 2005).

A estratigrafia de seqüências clássica assume que os sistemas deposicionais carbonáticos respondem de uma maneira similar aos sistemas siliciclásticos, Sarg (1988 *apud* Campbell, 2005). No entanto, agora está bem estabelecido que as margens carbonáticas têm o potencial de crescer com a elevação do nível do mar.

A classificação morfológica das plataformas carbonáticas de Wilson (1975), apresenta uma subdivisão para plataformas com borda (*rimmed shelf*) correspondente a uma região lagunar, um banco e uma região para a bacia. Esta subdivisão foi usada neste trabalho para caracterizar cada uma das porções da plataforma carbonática no intervalo estudado.(Figuras 12 A, 41 e 42).

Esta pesquisa pretende mostrar o comportamento de uma plataforma mista (siliciclástico-carbonática) isolada, com relação aos ciclos de 3ª ordem, e como esta condição influencia na geometria dos refletores da plataforma, tanto em direção à bacia como para o continente (margens *windward* e *leeward*, respectivamente).

Durante o Terciário uma extensa produção de carbonato marinho de água rasa tomou lugar na Bacia de Campos, a qual se desenvolveu na plataforma continental externa. O substrato sobre o qual se desenvolveu este sistema carbonático constitui hoje o reflexo dos altos estruturais gerados na fase *rift*

entre a África e América do Sul. As figuras 41 e 42 ilustram o esquema das seqüências, mapeáveis sobre toda a área de estudo e identificáveis tanto nos poços como nas seções sísmicas.

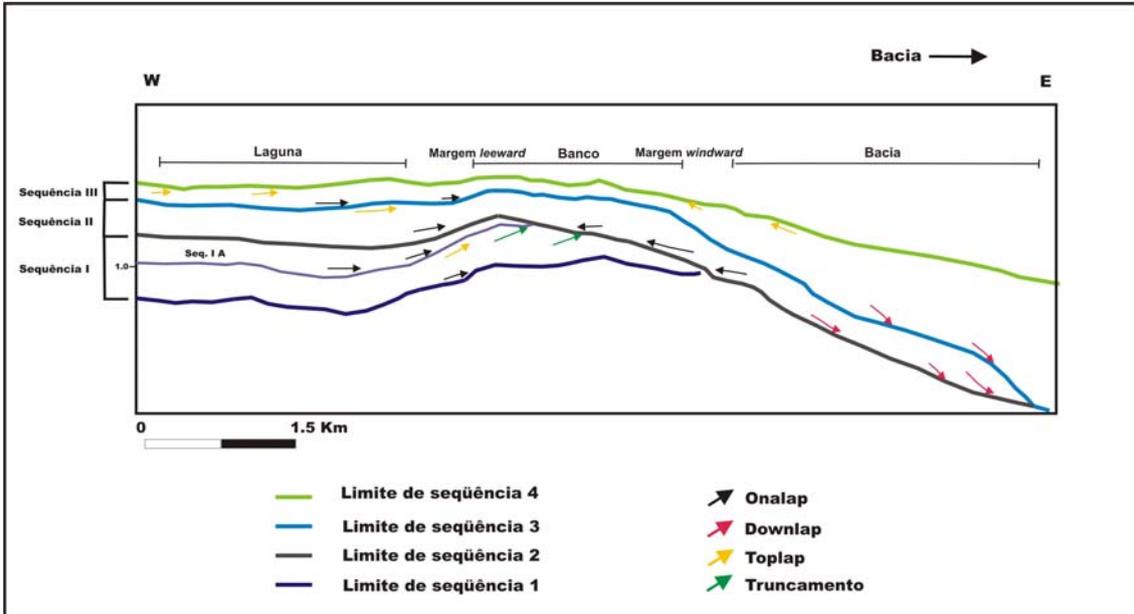


FIGURA 41. Diagrama esquemático das seqüências observadas ao longo do intervalo estudado (seção sísmica X-X').

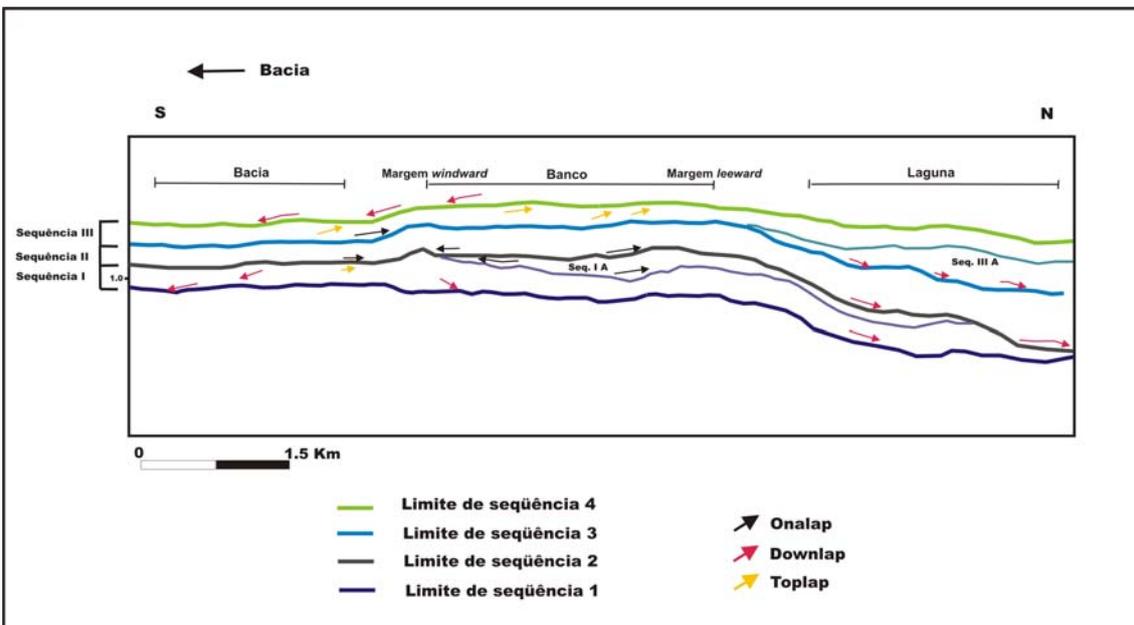


FIGURA 42. Diagrama esquemático das seqüências observadas ao longo do intervalo estudado (seção sísmica Y-Y').

A partir da correlação das reflexões características de cada seqüência com a resposta dos dados de poço, constatou-se que os intervalos com maior conteúdo de carbonato, mostravam em geral uma refletividade muito alta devida ao grande contraste de velocidade e densidade presente nestas rochas. A amplitude e continuidade das reflexões foram usadas através do dado sísmico, como indicação do conteúdo de carbonato nos locais onde não se tinham poços.

Uma descrição detalhada foi feita para as três unidades correspondentes à deposição carbonática terciária, já que corresponde ao intervalo com dados de poço. Vale salientar que o dado sísmico permitiu a identificação de mais três seqüências, depositadas anteriormente aos sedimentos carbonáticos. Os limites de seqüência que separam as unidades pré-siri são claramente identificáveis nas linhas sísmicas (X-X' e Y-Y'), já que as terminações dos refletores exibem truncamentos sob o limite e *onlaps* e *downlaps* acima deste.

Estas unidades poderiam corresponder aos depósitos de leques costeiros, de plataforma e talude, que foram instalados a partir do Maastrichtiano (Rangel *et al.*, 1994).

5.4.1 Seqüência I

Segundo o observado nos poços e na literatura (Rangel *et al.*, 1994) a seqüência I corresponderia a uma mistura de carbonatos e material siliciclástico, depositados durante o Oligoceno superior segundo Waisman (2002).

O seu limite inferior (LS1) sobre as linhas sísmicas está caracterizado pela presença de *downlaps* e *onlaps* acima desta superfície (Figuras 43 e 44). No intervalo analisado considera-se este limite como uma superfície de amalgamento entre um limite de seqüência (LS), e a superfície transgressiva (ST), sobre a qual toma lugar a instalação do trato de sistema transgressivo na base da unidade. A seção sísmica X-X' e o sismograma sintético mostram que o LS1 está representado por um refletor de amplitude negativa que apresenta, por sua vez, um truncamento para leste da área de estudo (Figuras 26, 41 e 43).

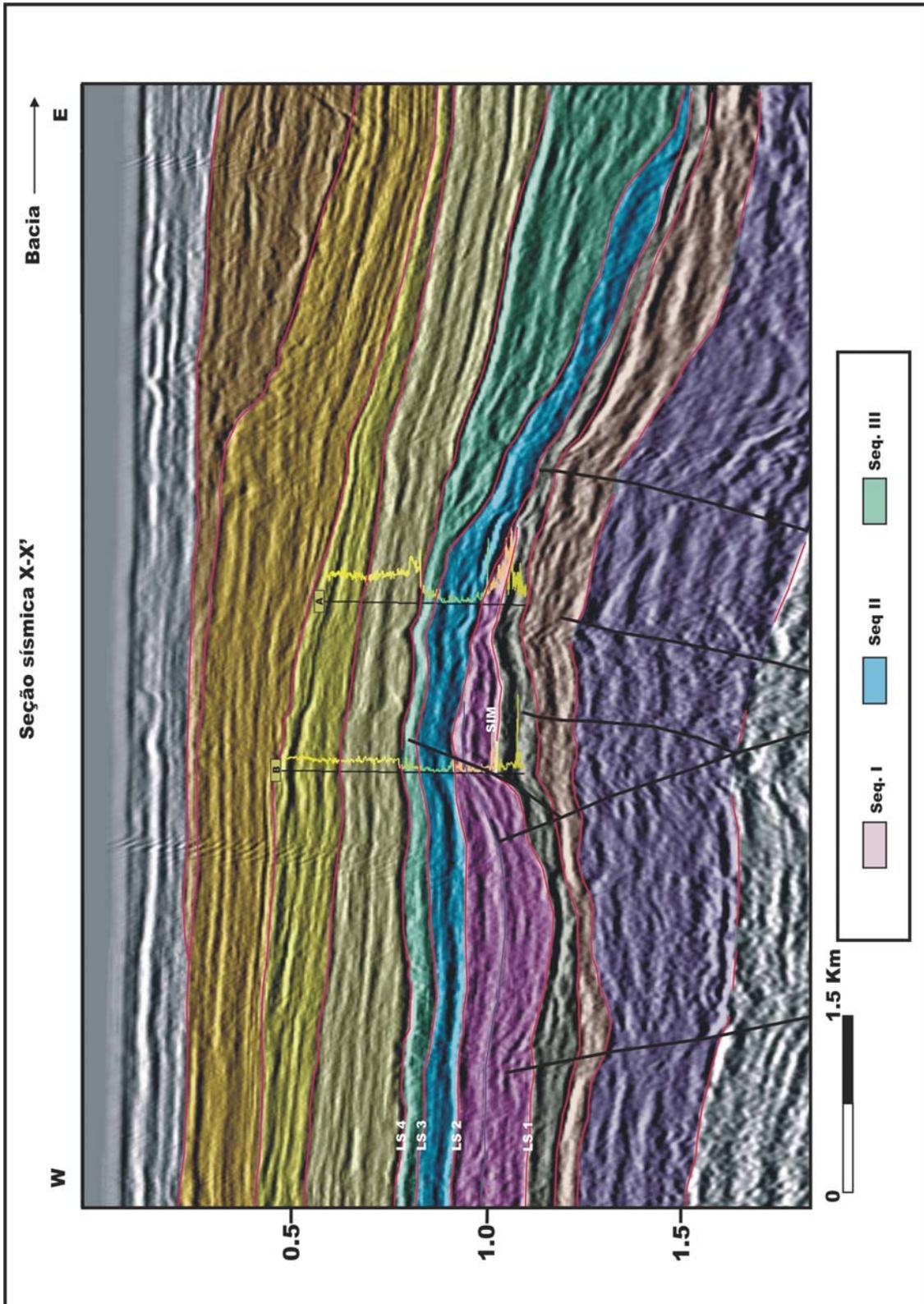


FIGURA 43. Seção sísmica X-X' mostrando os limites de seqüência e as seqüências deposicionais no intervalo estudado.

Na análise dos poços foi possível diferenciar uma superfície de inundação máxima (SIM) separando o trato de sistema transgressivo do trato de sistema de mar alto. A análise da seção sísmica X-X' confirma a presença da SIM, sendo esta também amalgamada e truncada em direção à bacia, com o limite de seqüência e a superfície transgressiva (Figura 43).

Na seção sísmica Y-Y' a superfície de inundação máxima (SIM) não apresenta truncamentos e amalgamentos muito claros, sendo esta por sua vez claramente identificada pela presença de um refletor de amplitude positiva marcando a inundação (Figuras 26 e 44).

Durante o mapeamento do limite de seqüência 1 (LS1) não foram observadas feições muito fortes de exposição e/ou erosão, apenas sulcos incipientes vistos na seção Y-Y' (Figura 44). O truncamento e perda desta superfície (LS1) para leste pode ser consequência de eventos erosivos durante a instalação das seqüências sobrejacentes.

Conforme as observações efetuadas no mapa de isópacas da figura 33, a geometria externa desta seqüência exhibe uma forma em cunha, sendo a mesma mais espessa para o noroeste, e mais fina para o sudeste da área de estudo. Internamente, a unidade está caracterizada por refletores descontínuos devido à diferencia de refletividade (as rochas carbonáticas exibem mais alta refletividade) com relação às rochas siliciclásticas que nesta unidade se torna maior se comparada com a produtividade de sedimento carbonático. Vale salientar que como se trata de um banco isolado, os refletores apresentam comportamentos diferentes tanto nas margens para a o continente (*leeward*) como para a bacia (*windward*).

As características morfológicas dos refletores documentam em geral um evento de progradação para esta seqüência, indicado pelo padrão sigmoidal observado. Eberli & Ginsburg (1987, 1989 *apud* Pomar, 1993), distinguem dois tipos de sigmóides em depósitos de intraplataforma progradacional, num estudo no Banco das Bahamas: simples e complexo-obliquo. Os últimos são

bem desenvolvidos e mostram um padrão de reflexão interno complicado. Da configuração do padrão complexo-obliquo, estes autores identificaram e interpretaram vários tipos de fácies sísmicas, duas delas identificadas na seqüência I:

- Sinal caótico até ausência de reflexão, na margem *windward* e/ou *leeward* (acumulações recifais ou sedimentos esqueletais): A feição caótica pode ser observada na seção sísmica Y-Y' (*strike*), correspondente a duas acumulações lenticulares de origem orgânica, presentes nas margens norte e sul do banco. Estas bioacumulações exibem um padrão de acreção vertical, que se adapta às elevações graduais do nível do mar. Tal padrão de acreção foi reportado para acumulações recifais por Kendall (1981 *apud* Fontaine *et al.*, 1987). Na seção sísmica X-X' (*dip*) também se identificou uma construção orgânica local na margem oeste do banco, inferido com base no caráter caótico das reflexões internas com relação ao padrão dos refletores adjacentes, e que corresponderia à mesma bioconstrução presente na porção central da seção Y-Y' (Figuras 45 e 46). Segundo Fontaine *et al.* (1987), as construções recifais estão sísmicamente caracterizadas por uma geometria *mound shape* e com *onlaps* circundando tais reflexões. O desenvolvimento deste tipo de bioconstruções é controlado principalmente pelas mudanças relativas do nível do mar e pelo substrato sobre o qual se desenvolvem. A seção sísmica norte-sul ilustra melhor os refletores *onlap* ao redor destas bioconstruções (Figuras 44 e 46).

- Reflexões sub-horizontais (sedimentos lagunares): Este caráter sub-horizontal nos refletores pode-se perceber nas duas seções sísmicas interpretadas. Na porção norte da linha sísmica Y-Y' (*strike*), se nota um comportamento progradante sub-subhorizontal, coincidente com as progradações sub-horizontais mais incipientes observadas na seção X-X' (*dip*) na porção oeste da plataforma. Seguindo o critério estabelecido pelos autores acima referidos, este comportamento sugere a presença de fácies lagunar,

compostas, provavelmente por margas e calcilutitos (Waisman, 2002), afetados pela entrada de material siliciclástico vindo do continente (Figuras 45 e 46).

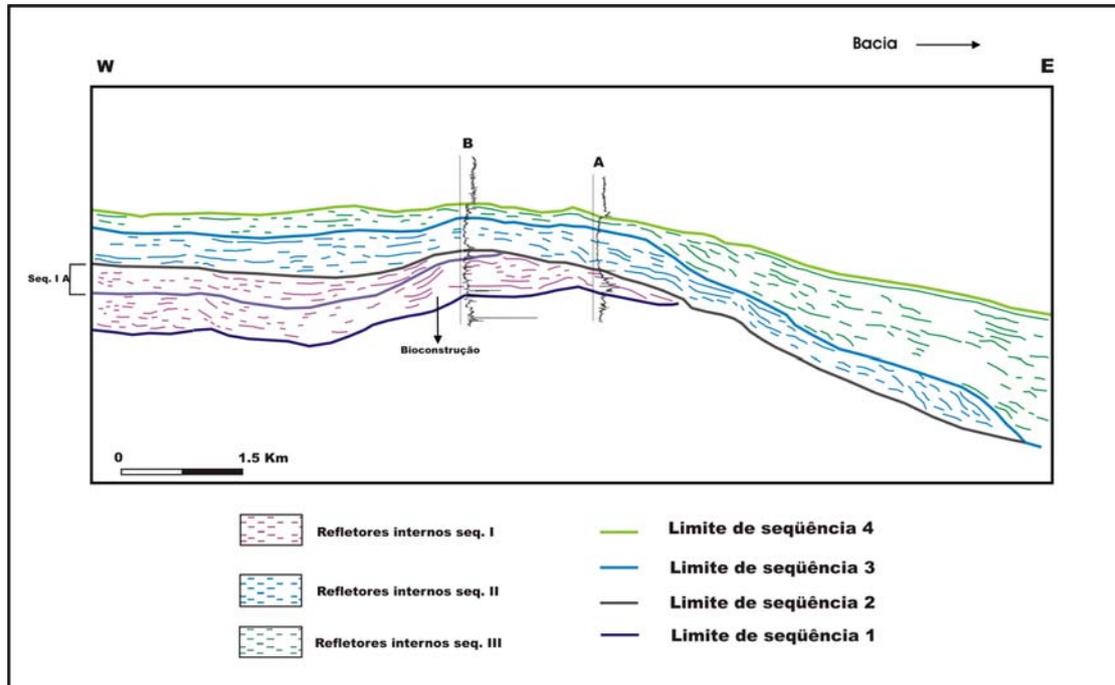


FIGURA 45. Diagrama esquemático da seção sísmica X-X' mostrando o comportamento dos refletores internos para cada uma das seqüências identificadas.

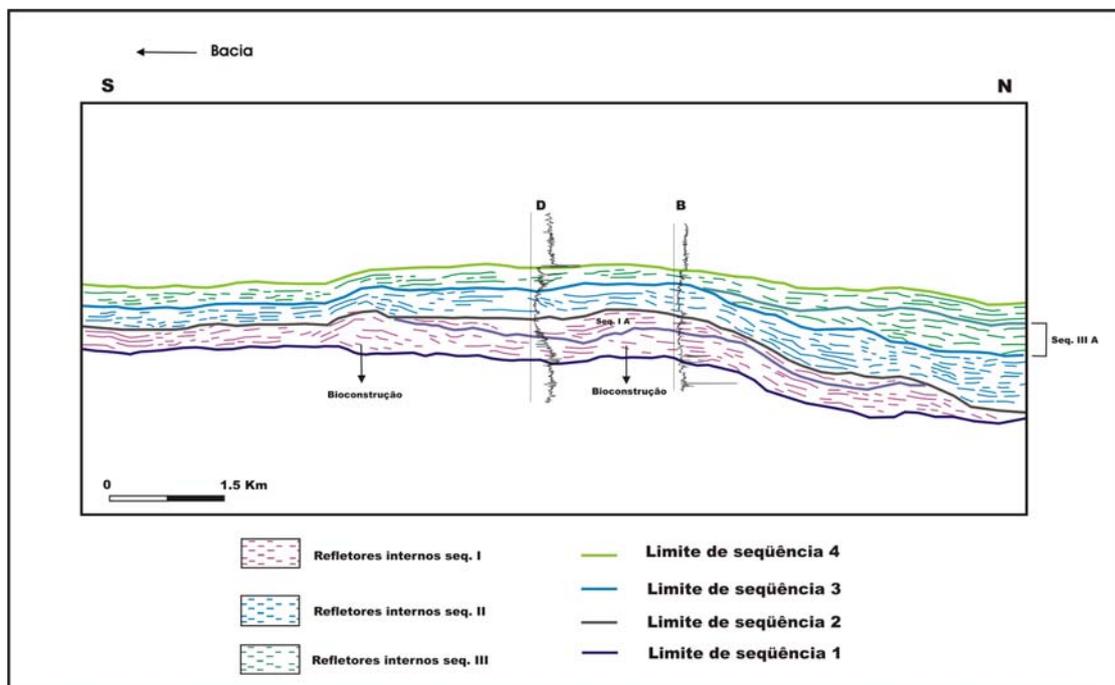


FIGURA 46. Diagrama esquemático da Seção sísmica Y-Y' mostrando o comportamento dos refletores internos para cada uma das seqüências identificadas.

Segundo Fontaine *et al.* (1987), nas zonas de baixa energia, (laguna) se depositam estratos horizontais contínuos, tais como folhelhos e calcários. Em tais circunstâncias as reflexões sísmicas apresentam-se contínuas, paralelas e horizontais, com pequenas mudanças na amplitude, freqüência e fase. Este modelo valida a interpretação feita para a existência de uma fácies lagunar nas regiões norte e oeste das seções Y-Y' e X-X', respectivamente.

As flutuações do nível do mar de alta freqüência e baixa amplitude seriam então o mecanismo básico no controle do crescimento orgânico dos carbonatos e das margens progradacionais no início do desenvolvimento da sedimentação carbonática terciária na bacia. Cabe ressaltar que no intervalo examinado não foram observadas feições associadas a tratos de sistema de mar baixo.

Na linha sísmica X-X' a seqüência I apresenta um acunhamento da margem do banco para a bacia, provavelmente como efeito de processos erosivos. Vale salientar que a porção leste da linha sísmica X-X' (*dip*) mostra um ângulo relativamente maior em direção à bacia (Figura 43). Pode-se inferir, portanto, que o caráter assimétrico no começo do desenvolvimento da plataforma carbonática neste estágio, estaria influenciado em direção à bacia por processos tectônicos locais e regionais, e em direção ao continente pela entrada de material siliciclástico.

Na seção sísmica Y-Y', a seqüência I exibe refletores internos subparalelos descontínuos no meio das bioconstruções, que poderiam corresponder a sedimentos depositados em condições de baixa energia devido ao confinamento imposto pelo desenvolvimento destas construções orgânicas locais nas margens do banco. Estas acumulações apresentam-se circundadas por refletores *onlaps*, correspondentes aos depósitos mistos interpretados para esta unidade como já foi mencionado anteriormente (Figuras 47 e 48).

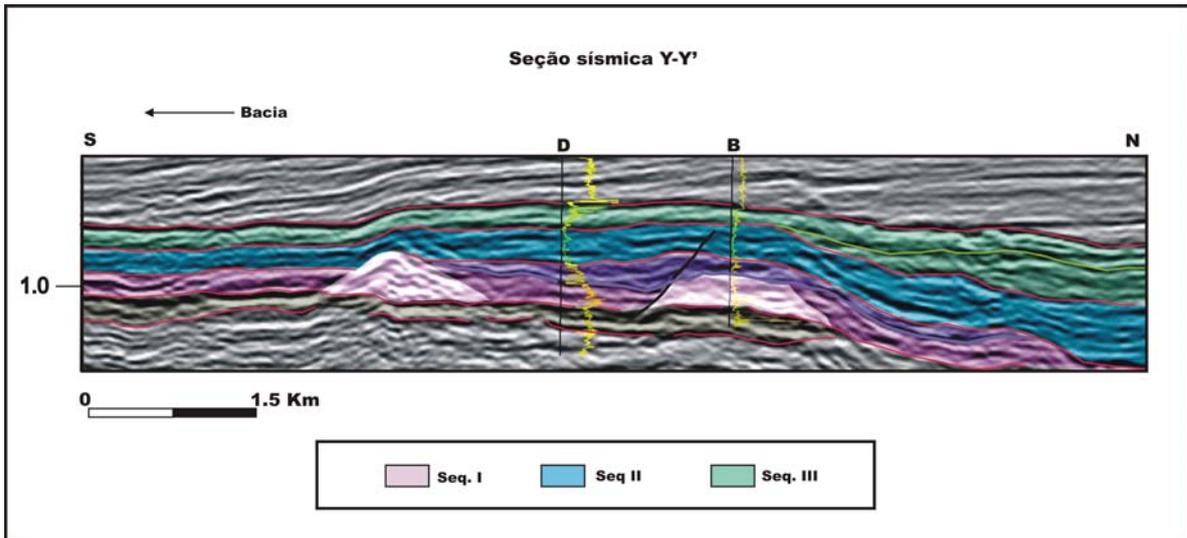


FIGURA 47. Seção sísmica Y-Y', mostrando em destaque as bioconstruções da seqüência I nas margens norte e sul do banco carbonático.

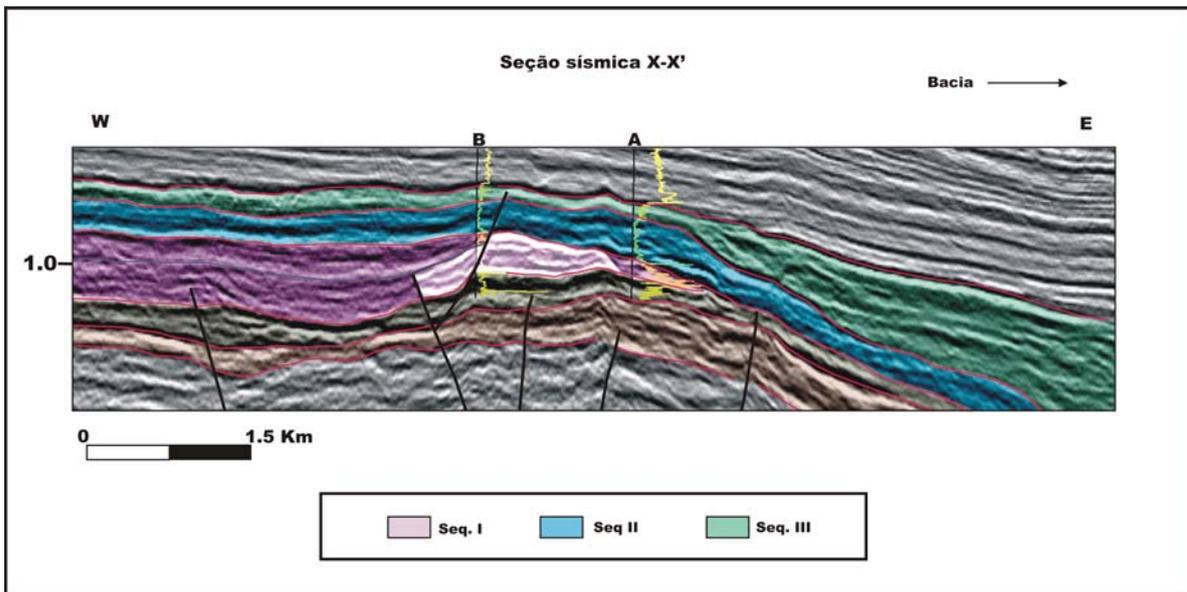


FIGURA 48. Seção sísmica X-X', mostrando em destaque a bioconstrução da seqüência I na margem oeste do banco carbonático.

Em geral, as características morfológicas dos refletores reconhecidos neste intervalo, sugerem o começo do desenvolvimento de um banco carbonático com uma ligeira assimetria e com geração concomitante de acumulações orgânicas locais nas margens do mesmo (*leeward* e *windward*).

A espessura do trato de sistema transgressivo (TST) interpretado na base desta unidade é muito pequena (20 m), refletindo assim uma baixa produção de sedimento carbonático (fase *start-up*), inibida por sua vez pela entrada de material siliciclástico. Uma alta taxa de produção é observada nas acumulações orgânicas isoladas, durante a fase transgressiva e que se mantiveram durante o trato de sistema de mar alto. Estas bioconstruções estariam provavelmente favorecidas por condições de alta energia e circulação durante as fases de transgressão e de mar alto (Figuras 47 e 48).

Vale a pena ressaltar que as geometrias de reflexão sísmica *backstepping* na fase transgressiva, não são muito evidentes. A seção Y-Y' mostra incipientes refletores *onlap*, para o continente, associados a retrogradações produzidas durante a elevação do nível do mar, durante o trato de sistema transgressivo (TST) (Figura 44).

O trato de sistema transgressivo culmina com a superfície de inundação máxima, a qual se forma justo antes do declínio da taxa de desenvolvimento da acomodação. Neste estágio a taxa de incremento da acomodação diminui e as condições regressivas começam a se desenvolver, suscitando assim, a geração de clinofórmias progradantes *downlap* sobre a superfície de inundação máxima. Estas feições *downlap* sobre a superfície de inundação SIM interpretada para a unidade I não são muito evidentes no intervalo estudado. O trato de sistema de mar alto na unidade I apresenta espessuras que oscilam entre 40 e 80 m.

Os sedimentos do trato de sistema de mar alto compreenderiam as primeiras manifestações de sedimentação carbonática mais estável no sistema carbonático (calclutitos a calcarenitos cimentados; Waisman, 2002). Na seção sísmica Y-Y', a geometria dos refletores mostra um padrão progradante sub-horizontal para a bacia, como foi referido anteriormente na descrição das fácies sísmicas. Na seção sísmica X-X', os refletores apresentam truncamentos em direção à bacia, e em direção ao continente as progradações são muito incipientes (Figuras 43 e 44).

A acresção vertical das bioconstruções locais continua se desenvolvendo durante este período, estimulando a permanência de fácies lagunares restritas em direção ao continente (Figuras 47 e 48).

No topo do trato de sistema de mar alto (unidade I) foi identificada mais uma unidade (seqüência I A) de uma ordem maior (4ª ordem). O limite inferior não apresenta grande extensão e foi demarcado com base na presença de *onlaps* e truncamentos, de caráter local. A seqüência I A não apresenta grande continuidade lateral e os refletores internos revelam uma incipiente progradação, produto do limitado espaço de acomodação na parte final do trato de sistema de mar alto (TSMA) (Figuras 43 e 44).

A interpretação estrutural dos dados sísmicos 2D mostra evidência de uma falha afetando a seqüência I e as unidades que jazem acima desta. Esta estrutura parece ter afetado a acumulação orgânica da porção oeste da seção X-X', sendo esta, portanto interpretada como uma falha normal (Figuras 43 e 48).

As seções sísmicas também permitem inferir que a margem leste do banco (seção sísmica X-X') constituiu uma zona muito suscetível a processos de reativação, devido ao gradiente relativamente alto observado, em função do substrato onde se desenvolveu o sistema carbonático, associado à altos estruturais remanescentes da fase *rift*. As porções norte e oeste das seções Y-Y' e X-X', respectivamente, também parecem ter sido influenciadas por processos de subsidência, durante o estabelecimento da seqüência I.

5.4.2 Seqüência II

Esta seqüência compreende os sedimentos carbonáticos mais proeminentes do Membro Siri (Formação Emborê). Segundo Rangel *et al.* (1994), estes depósitos estão constituídos por calcarenito bioclástico de coloração creme claro. Waisman (2002) em seu estudo posicionou os testemunhos analisados do poço C (poço A, neste trabalho) dentro da biozona N-540 (Neo-Oligoceno) e identificou a presença de quatro microfácies carbonáticas com base na descrição de lamina: *Bindstones* com predomínio de algas vermelhas, *bindstones* com predominância de algas vermelhas cimentados, *rudstone* bioclástico e *rudstone* bioclástico cimentados.

O trato de sistema de mar alto interpretado para esta seqüência inclui aproximadamente entre 80 e 140 metros de calcário. Os principais organismos associados à produção carbonática, segundo as observações realizadas nas lamina do poço A por Waisman (2002) incluem algas vermelhas, foraminíferos e cracas.

Conforme as observações feitas nas linhas sísmicas, o limite entre as seqüências I e II é marcado por uma superfície que separa refletores mais descontínuos no topo da unidade I de refletores mais contínuos e paralelos na base da unidade II (Figuras 45 e 46). Os limites inferior (LS2) e superior (LS3), foram identificados nos poços a partir de quebras abruptas na resposta dos perfis elétricos. A projeção do perfil de raios gama (poços A-B-D) nas seções sísmicas, permitiu uma melhor definição e caracterização dos limites de seqüência com base na identificação das terminações dos refletores. O limite inferior (LS2), sobre as seções sísmicas, está caracterizado pela presença de *downlaps* e *onlaps* acima do limite de seqüência (Figuras 43 e 44).

Na seção sísmica X-X' se observou refletores em *onlap* em direção ao continente, indicando por sua vez um padrão de empilhamento retrogradacional

(*backsteep*), ocorrido numa fase de trato de sistema transgressivo não identificado nos poços (Figura 43). Cabe destacar que não foram observadas evidências da presença de tratos de sistema de mar baixo para esta unidade. No intervalo estudado, o LS2 corresponderia a uma superfície de amalgamento entre o limite de seqüência, uma superfície de inundação máxima (SIM) e uma superfície transgressiva. O limite superior (LS3) é reconhecido sobre as seções sísmicas pela presença de *onlaps* e *downlaps* acima do limite. O limite de seqüência 3 é relativamente plano e está representado por um refletor de baixa amplitude positiva (Figuras 43 e 44).

Conforme as observações realizadas no mapa de isópacas, a seqüência II representa a formação de uma plataforma carbonática com melhor desenvolvimento nas porções nordeste e sul da área de estudo (Figura 35). Internamente, esta unidade exhibe refletores mais contínuos do que aqueles observados na seqüência I (Figuras 45 e 46).

A porção da plataforma para a bacia exhibe um alto gradiente (seção X-X'), realçado por uma forte progradação observada acima das retrogradações presentes na base da unidade e confirmando, por sua vez, o controle tectônico do substrato onde se gerou a plataforma (Figura 43). A porção sul da seção Y-Y' ao contrário da seção X-X' se apresenta mais uniforme (baixo gradiente) em direção à bacia. Desse modo a morfologia da plataforma mostra um padrão assimétrico (Figura 44). Esta assimetria é controlada, por sua vez, pelo potencial de desenvolvimento lateral da plataforma, tanto em direção à bacia como em direção ao continente. Neste caso, a direção de progradação conduziria à geração de bancos coalescentes num substrato afetado tectonicamente (Figuras 35, 37 e 38). A seção sísmica X-X' mostra por sua vez um maior desenvolvimento do banco carbonático na direção leste do intervalo estudado (Figura 43).

Acima das retrogradações observadas na base da unidade, tem-se o desenvolvimento do trato de sistema de mar alto (TSMA), e constitui a etapa onde a produção de sedimento é mais eficiente, originando em conseqüência,

a denominada fase *keep-up* (Schlager, 1992 *apud* Wright e Burchette, 1996). Este estágio está caracterizado por uma superprodução de sedimentos e, portanto, existe uma maior tendência no desenvolvimento lateral da plataforma que se traduz por uma predominância dos processos de progradação. Durante o trato de sistema de mar alto (TSMA) a elevação do nível do mar decresce e a produção de sedimento se torna mais do que suficiente para manter o crescimento vertical da plataforma. Sob estas condições a plataforma passa de um padrão de empilhamento agradacional na parte inicial do TSMA para um padrão progradacional na parte final.

Na seção sísmica Y-Y' observa-se que na projeção dos poços B e D os refletores apresentam, em geral, uma configuração interna paralela a subparalela e cujo comportamento permite inferir um padrão de empilhamento agradacional (Figura 49). Na mesma seção observa-se que o padrão de empilhamento se torna progradacional em direção ao continente. (Figura 44). Na linha sísmica leste-oeste (X-X'), a variação lateral no padrão de empilhamento (de agradacional para progradacional) é evidenciado lateralmente se compararmos a geometria dos refletores internos. Observa-se uma ligeira agradação, se tornando fortemente progradacional para a bacia (poço A) (Figura 50). Em direção ao continente (seção X-X') observa-se que a progradação em geral perde continuidade e os refletores passam lateralmente a exibir uma configuração mais subparalela, confirmando assim a presença de uma fácies restrita *backreef* (Figuras 43 e 45).

Vale salientar que o padrão de empilhamento agradacional observado na projeção do poço B na seção sísmica Y-Y', coincide com o padrão agradacional na projeção do mesmo poço (poço B) na seção sísmica X-X'.

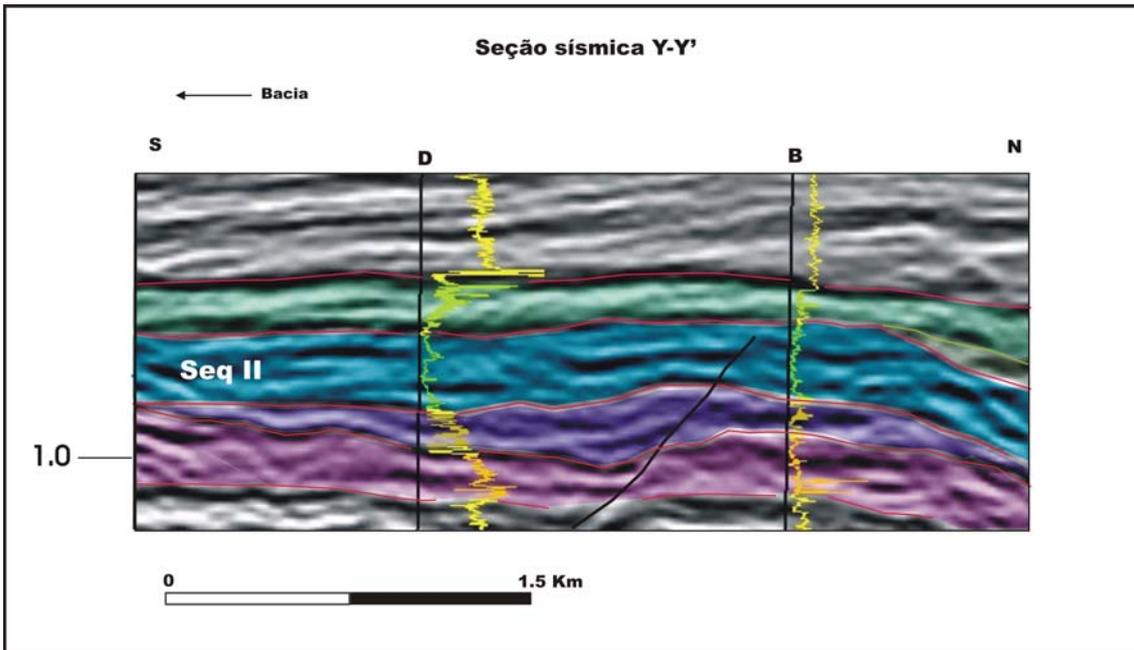


FIGURA 49. Detalhe do padrão de empilhamento agradacional, da seqüência II, entre os poços D e B.

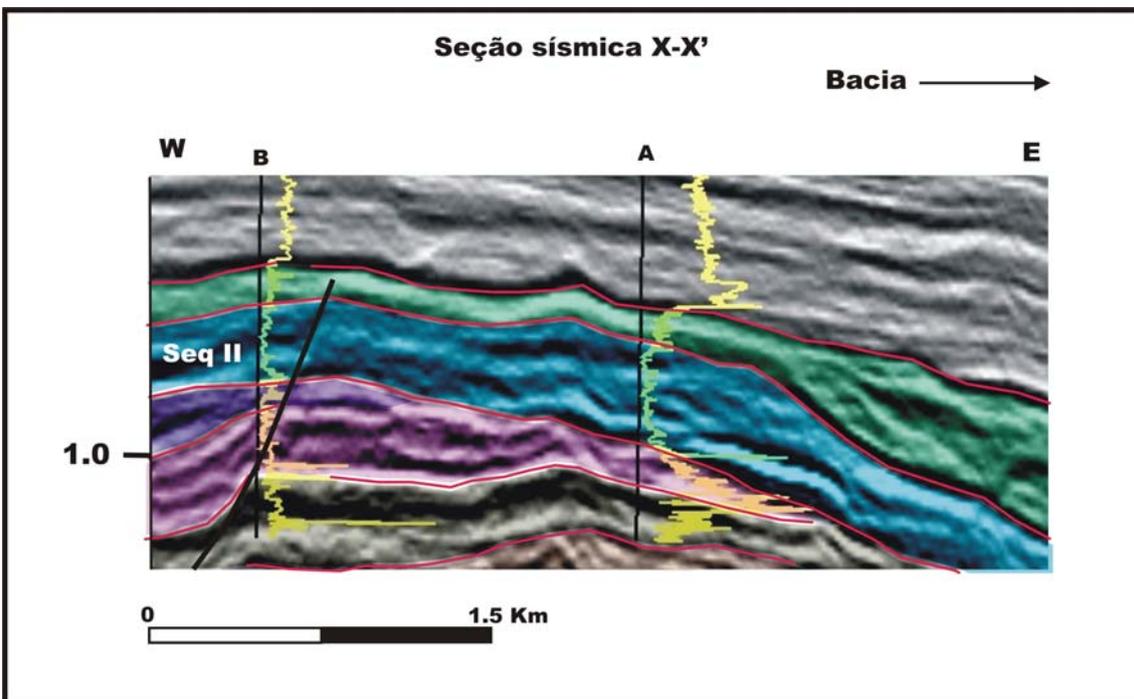


FIGURA 50. Destaque da variação lateral de agradacional para progradacional no padrão de empilhamento entre os poços B e A, na seqüência II.

Segundo Eberli *et al.* (2004), as plataformas carbonáticas mostram uma tendência a apresentar processos agradacionais e processos de máxima progradação, durante o trato de sistema de mar alto.

O nível relativo do mar apresenta uma diminuição durante o trato de sistema de mar alto, sendo então dominantes os processos de progradação na plataforma. Neste estágio, os ciclos de inundação de pequena escala se tornam menos pronunciados, sendo então as superfícies de exposição subaérea mais evidentes. Waisman (2002), reportou na descrição das lâminas do poço A, a presença de porosidade intergranular, realçada por dissolução de grãos e ausência de cimentação expressiva para o topo da unidade 2 (entre profundidades de 1063,4 e 1065,4 metros). Vale a pena ressaltar que na resolução das seções sísmicas não se notaram feições muito fortes associadas aos processos de carstificação. A figura 51, mostra no detalhe uma superfície serrilhada associada a uma superfície cárstica entre as parassequências da unidade II.

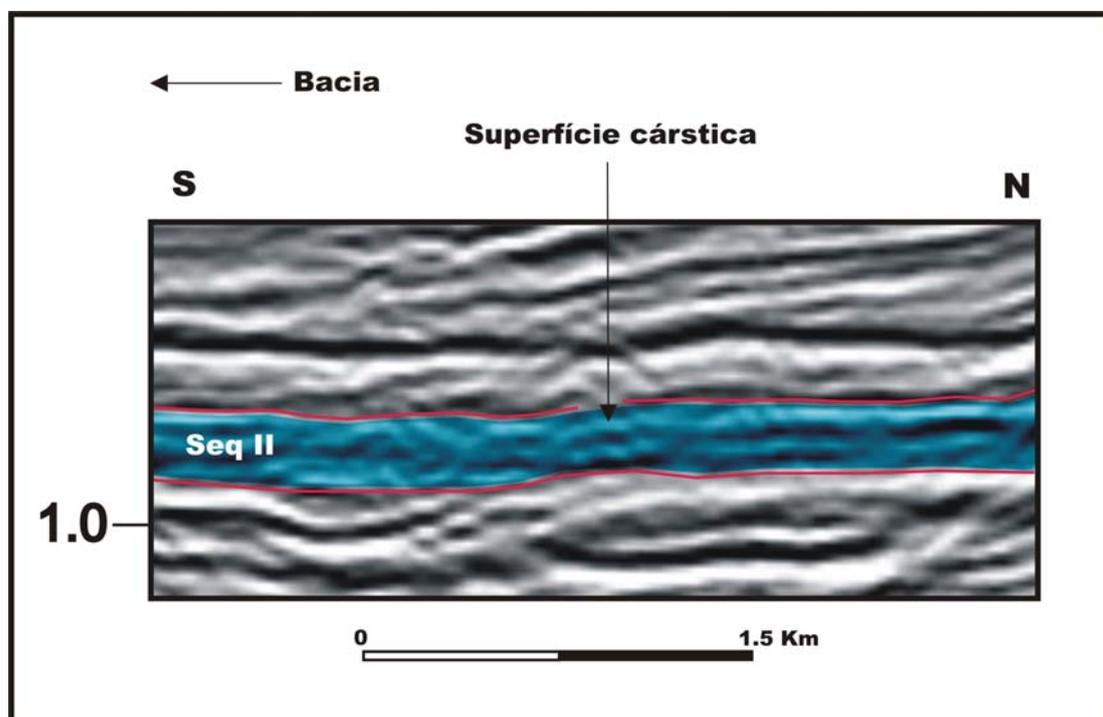


FIGURA 51. Detalhe de uma superfície serrilhada (carst) entre as parassequências da unidade II (linha sísmica Y-Y').

Cabe destacar que na porção sul da linha sísmica Y-Y', observa-se que as reflexões sobrepostas ao banco carbonático da unidade I exibem um efeito *pull-up* na seqüência II, que pode ser facilmente confundido com reflexões caóticas geradas por bioconstruções (Figura 44).

Baseado na descrição de amostras de calha, Waisman (2002) reportou também uma porcentagem menor de arenitos, folhelhos e margas para esta unidade, confirmando assim a constituição de uma plataforma mista, com maior predominância no conteúdo de material carbonático. O modelo de fácies sísmicas, apresentado por Eberli & Ginsburg (1987, 1989 *apud* Pomar, 1993) para o Banco das Bahamas, foi usado para caracterizar a configuração dos refletores da seqüência II:

- Reflexões inclinadas:

Esta feição corresponde às sigmóides do trato de sistema de mar alto observado acima do trato de sistema transgressivo presente na porção leste (*windward*) da linha sísmica X-X' (Figuras 43 e 45). Na margem do banco para o continente (*leeward*) da seção Y-Y', também é observado um padrão progradacional, correspondente aos depósitos adjacentes às fácies lagunares *backreef* (Figuras 44 e 46).

Segundo Fontaine *et al.* (1987), as zonas de alta energia (plataforma externa) podem ser contínuas ou descontínuas, e podem criar por sua vez uma barreira que isola a região paleogeográfica. A localização mais favorável para a formação de tais barreiras é normalmente a margem do banco. Estas zonas hidrodinâmicas de alta energia são muito importantes na prospecção de hidrocarbonetos devido ao fato que elas possuem boas propriedades para serem rochas reservatório. Seguindo o modelo de Fontaine *et al.* (1987), a região de alta energia na seqüência II, corresponderia no intervalo estudado à margem leste do banco, onde se encontra a projeção do poço A na seção sísmica X-X'.

Esta região mostra um padrão retrogradacional na base e para o topo, exhibe um padrão progradacional, composto provavelmente por areias bioclásticas (*graisntone* ou *packstone*) (Figura 50).

- Reflexões sub-horizontais (sedimentos lagunares):

A região para o continente da seção sísmica X-X', exhibe uma geometria estratal paralela a subparalela e corresponde às fácies lagunares da plataforma (*backreef*) (Figuras 43 e 45). A progradação observada na seção Y-Y', na margem do banco em direção ao continente (região *leeward*) apresenta mudanças laterais, indicadas pela passagem de refletores mais inclinados para uma geometria mais paralela na porção mais profunda da região lagunar (Figuras 44 e 46).

5.4.3 Seqüência III

Esta seqüência representa o ultimo pulso da sedimentação carbonática Oligo-Mioceno no intervalo estudado. O limite inferior (LS3) foi interpretado nos poços como uma superfície de amalgamento entre uma superfície transgressiva e um limite de seqüência. Esta superfície (LS3) é reconhecida pela presença de refletores *onlaps* e *downlap* acima do limite. As terminações *onlap* estão associadas ao *backsteep* gerado durante o trato de sistema transgressivo (Figura 43 e 44) presente na base da unidade. Conforme a análise das seções sísmicas, as terminações *downlap* estariam associadas à superfície de inundação máxima (SIM), sobre a qual teria-se o trato de sistema de mar alto. Estes *downlap*, encontram-se para leste da seção X-X' (*dip*) (Figura 43). A deposição efetiva de carbonatos teria seu fim entre o Mesomioceno e Neomioceno (Campbell, 2005). O limite superior da unidade III (LS4), constitui uma discordância de grande significância regional, que marca o afogamento da plataforma carbonática oligo-miocênica e sobre a qual ocorre um grande processo de progradação dominada pelo influxo de quartzos arenitos e argila, vindos do continente (Campbell, 2005).

Waisman (2002) interpreta este limite como uma superfície de inundação máxima (SIM), relacionada a uma seqüência de uma ordem menor (Figuras 43 e 44). Na descrição de amostras de calha, Waisman (2002) reporta a presença de calcarenitos, calcilitos, folhelhos e margas, para esta unidade. O mapa de isópacas indica uma geometria externa em forma de lâmina (*sheet*), com acunhamento para o sul.

A seqüência III representa um estágio de produção carbonática inibida por um aumento gradual de material siliciclástico. A análise dos poços e o reconhecimento da geometria estratal desta seqüência sobre as seções sísmicas permitem inferir uma seqüência mista. Assim durante o trato de sistema transgressivo presente na base da unidade, os carbonatos estariam presentes na margem do banco para a bacia, e os sedimentos siliciclásticos estariam ocupando a porção para o continente (*leeward*).

No trato de sistema de mar alto desenvolvido para o topo da seqüência os carbonatos começam provavelmente a se interdigitar com os sedimentos siliciclásticos, sendo a quantidade dos últimos provavelmente maior devido ao padrão fortemente sigmoidal exposto pelos refletores internos na região leste da seção X-X' (Figura 43).

Pode-se inferir que durante a deposição da unidade III a sedimentação carbonática teria cessado localmente por fluxos rápidos de material siliciclástico. Estes fluxos teriam inibido os processos fotossintéticos (neste caso a fotossíntese das algas vermelhas, principal elemento orgânico na produção de carbonato do Terciário no intervalo estudado) ao longo da seqüência. Neste caso, a produção carbonática não foi restabelecida e sofreu por sua vez um afogamento e posterior soterramento por parte do material siliciclástico vindo do continente.

As progradações siliciclásticas vindas do continente são facilmente identificáveis nas linhas sísmicas devido ao padrão fortemente sigmoidal exibido pelos refletores e às terminações *downlap* muito evidentes sobre o limite de seqüência 4 (LS4) nas duas seções (Figuras 43 e 44). Este limite de seqüência teria sofrido curtos períodos de exposição subaérea, antes do afogamento que marcaria o fim da produção carbonática conforme as observações realizadas na seção sísmica X-X', que mostra uma incipiente superfície serrilhada associada a processos de carstificação (Figura 52).

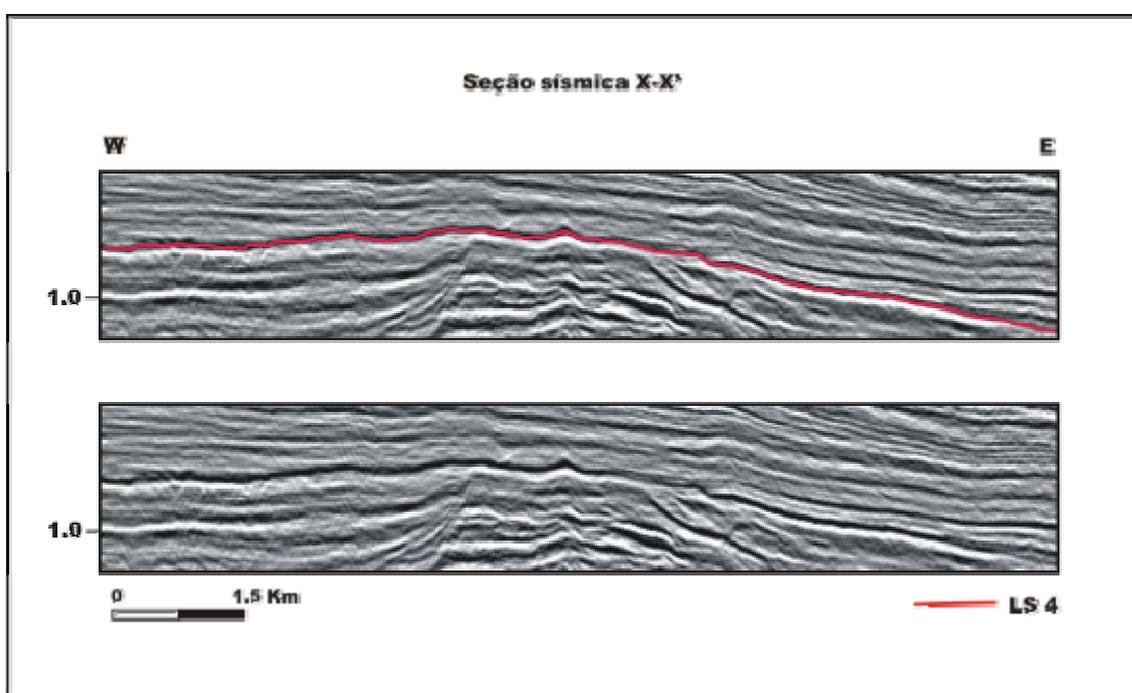


FIGURA 52. Incipiente superfície serrilhada no LS4, associada a processos de carstificação.

5.5 CORRELAÇÃO DOS RESULTADOS COM DADOS DE ESTRATIGRAFIA QUÍMICA, PUBLICADOS PARA O MEMBRO SIRI, BACIA DE CAMPOS

Albertão *et al.* (2005) apresentaram uma publicação sobre a aplicação da estratigrafia química em rochas carbonáticas da Bacia de Campos. O poço apresentado pelos autores corresponde ao perfil de raios gama do poço E, desta dissertação.

Na publicação de Albertão *et al.* (2005) foram analisadas 321 amostras obtidas a partir de 300 m de rocha correspondente aos calcários do Membro Siri. Com base numa técnica analítica de alta resolução (ICP –OES), foram determinados 24 elementos entre maiores, traços e terras raras. A variação espectral dos elementos definiu quatro seqüências quimioestratigráficas maiores (Figura 53).

Vale a pena ressaltar o alto teor de CaO presente nos calcários do Membro Siri associado as baixas percentagens em Si, Al, Fe, K, Ti e Zr. Dentro das rochas carbonáticas do Membro Siri, Albertão *et al.* (2005) reconheceram três seqüências quimioestratigráficas (P1, P2 e P3), definidas a partir das variações do conteúdo de elementos detritais como: Si, Al, Fe, K, P e Zr, e também nos elementos relacionados aos carbonatos como Ca, Sr, Mn, e Mg. Este detalhamento estratigráfico permitiu propor um zoneamento detalhado do reservatório. A divisão quimioestratigráfica apresentada no trabalho de Albertão *et al.* (2005) foi correlacionada com as unidades I, II e III definidas a partir da análise dos poços e das seções sísmicas nesta dissertação (Figura 53).

O limite de seqüência 1 (LS1) identificado para a área de estudo coincide com o limite entre a seqüências P1 e P2 proposto por Albertão *et al.* (2005). A seqüência I (seqüência P2), se caracteriza por um comportamento homogêneo entre as percentagens de Al₂O₃ e TiO₂, com uma pequena tendência a diminuir para o topo. A relativa concordância entre estes dois elementos (Al e Ti), poderia estar associada a quantidades moderadas de material argiloso na seqüência I.

As curvas de SiO₂, Fe₂O₃ e K₂O apresentam um comportamento similar, refletido nas baixas percentagens para estes três elementos (Si, Fe e K). O limite de seqüência 2 (LS2), não coincide com o limite de seqüências entre P2 e P3 de Albertão *et al.* (2005), mas vale a pena ressaltar que os perfis geoquímicos apresentam uma quebra, refletida numa pequena queda nas percentagens de Al₂O₃ e TiO₂ (elementos ligados à fase argilosa). A seqüência

II, apresenta um relativo aumento dos elementos ligados à fase carbonatada (MgO e CaO) (Figura 53).

O limite de seqüência 3 (LS3), mostra uma significativa quebra em todos os perfis geoquímicos. Na seqüência III, o teor de Al_2O_3 , TiO_2 , apresenta um pico de aumento significativo no trato de sistema transgressivo. A superfície de inundação máxima separando o trato de sistema transgressivo do trato de sistema de mar alto coincide com uma queda nas percentagens dos elementos acima referidos (Al_2O e TiO_2), indicando a diminuição no conteúdo de material argiloso no trato de sistema de mar alto presente no topo da seqüência III (Figura 53).

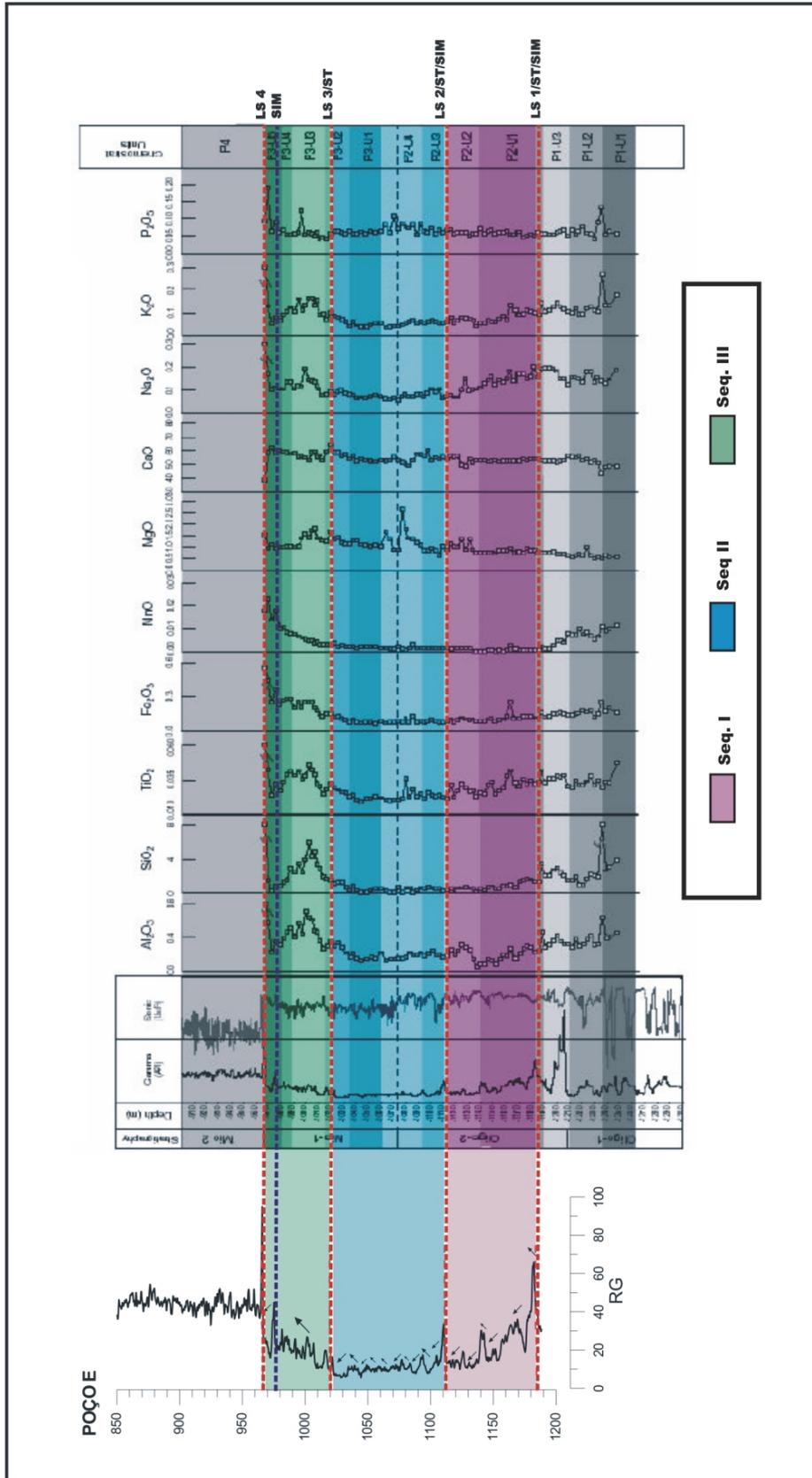


FIGURA 53. Poço E ilustrando a correlação das seqüências definidas na área de estudo com os perfis geoquímicos definidos por Albertão et al (2005). O poço E neste trabalho de pesquisa corresponde ao mesmo poço da tabela apresentada por Albertão et al. (2005).