

7.1.4 Megasequência Drifte

Definição do arcabouço sismoestratigráfico

Os modelos clássicos da Sismoestratigrafia (*Memoir # 26 da AAPG*) e da Estratigrafia de Sequências predizem que os tratos de sistemas comumente encontrados nas regiões de talude das bacias de margens continentais passivas são majoritariamente os de mar baixo – representado pelas “clinoformas das cunhas de mar baixo” – e o trato de mar alto – representado pelas “clinoformas das progradações de regressões normais”. Entre estes dois, de acordo com o modelo, ocorrem delgados depósitos do trato transgressivo. Estes modelos clássicos, todavia, pressupõem alto *input* sedimentar, possante o suficiente para construir progradações nos períodos de *stand still* tanto do trato de mar baixo tardio quanto do mar alto. No entanto, o avanço da exploração para hidrocarbonetos nas seções drifte de bacias de margens continentais passivas tem mostrado que esta situação é a exceção, ou seja, os modelos clássicos tornaram-se representantes de um caso particular e não uma regra geral. Como regra, o que se observa é a existência de margens continentais com linhas de costa desprovidas de forte sistema fluvial alimentador de sedimentos, e sim com pequenos sistemas fluviais que não tem força, ou tem pouca força de construir grandes progradações como as que ocorrem, por exemplo, na Foz do Amazonas (MOHRIAK, 2003). Como consequência, o registro sedimentar nos taludes é dominado por depósitos hemipelágicos, principalmente relacionados aos tratos de sistemas de mar alto e transgressivo. O trato de sistema de mar baixo, por sua vez, deixa depósitos arenosos no talude, normalmente sobrejacentes às superfícies erosivas, as quais são interpretadas como limites de sequências. A área estudada na Bacia do Ceará enquadra-se nesta característica, segundo a qual a deposição no talude é predominantemente hemipelágica, com refletores grosseiramente plano-paralelos. A análise de Estratigrafia de Sequências efetuada para a definição do arcabouço sismoestratigráfico da seção interpretada priorizou estas particularidades da bacia, em detrimento dos modelos clássicos.

Com base na compreensão geológica discutida acima, após a correlação dos poços com a sísmica buscou-se a identificação de características nas duas ferramentas que pudessem identificar limites de sequências. Nas linhas sísmicas foram identificadas feições erosivas de caráter regional e nos poços buscaram-se mudanças litológicas que implicassem mudanças de padrão nas curvas dos perfis sônico e de raios gama. Observou-se, nessas linhas, que as feições regionalmente mais marcantes, logo as mais apropriadas para rastreamento, são aquelas que truncam estratos (representados por sismofácies) subjacentes e que têm sobre si estratos que terminam em *onlap*. Nos poços, notou-se que essas feições estão sempre associadas à mudança de litologias, reveladas pela amostragem litológica e corroboradas pelas curvas dos perfis de raios gama, ou a mudanças nas características físicas da mesma litologia, revelada pelas curvas dos perfis sônico e densidade. Com base nessas premissas interpretaram-se as superfícies erosivas identificadas como limites de sequências.

A correlação poço-sísmica também teve o objetivo de transpor dos poços para a sísmica as informações sobre as idades dos estratos, visando a datação aproximada dos limites de sequências identificados. A carta estratigráfica da bacia de Condé et al. (2007) foi usada como referência para a datação dos limites de sequências. Essa etapa consistiu no enquadramento de cada um dos limites de sequências identificados entre duas idades marcadas no poço 1-CES-112 e a comparação desta com aquelas constantes na carta estratigráfica (Figura 32). A linha sísmica 0222-0479 (Figura 32) foi utilizada como base para o mapeamento de todos os horizontes, devido ao alto grau de controle na amarração poço X sísmica com o poço 1-CES-112.

No intervalo analisado, ou seja, a Sequência Transgressiva, não foi possível a individualização de todos os limites de sequências identificados na carta estratigráfica da bacia, no entanto, foi possível a identificação de pelo menos uma discordância não identificada na referida carta, a qual foi denominada de “discordância do intrapaleoceno” e discutida no próximo item.

Discordância do intrapaleoceno

No processo de estabelecimento do arcabouço sismoestratigráfico para a seção sedimentar analisada (Sequência Transgressiva) de acordo com o método discutido no item anterior foi identificado um limite de sequência não assinalado na carta estratigráfica de bacia. A definição da idade deste limite de sequência foi dada pela correlação do poço 1-CES-112 com a linha sísmica 0222-0479 a qual foi datada, em um primeiro momento, como consequência de um evento erosivo ocorrido durante o Paleoceno (Figura 32).

Na carta estratigráfica da bacia, a sequência sedimentar limitada pelas discordâncias denominadas de “intramaastrichtiano” e “Eoceno médio” tem uma duração de aproximadamente 10 Ma. A carta mostra que durante o Cenozoico todas as sequências deposicionais têm duração desta ordem de tempo, diferentes da seção do Cetáceo Superior o qual possui sequências com durações mais curtas. Também diferentes da Bacia do Ceará, outras bacias da Margem Equatorial Brasileira possuem no Cenozoico sequências temporalmente mais curtas (FIGUEIREDO et al., 2007; SOARES et al., 2007; TROSDTORF et al., 2007).

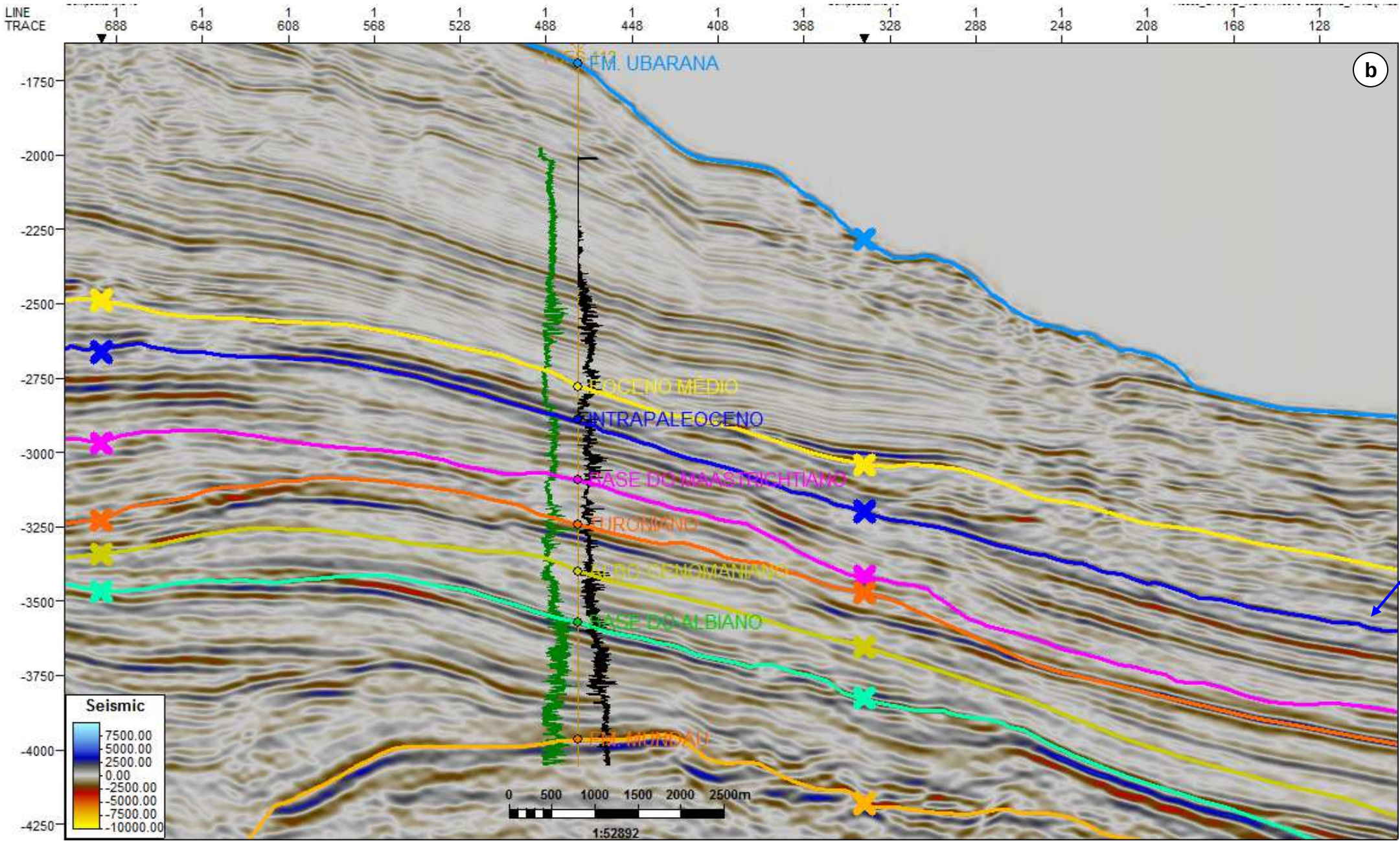
Esta característica mostrada na carta estratigráfica da Bacia do Ceará pode ter tido certa influência do tipo de dado utilizado na construção da mesma, ou seja, preferencialmente dados de águas rasas. Notadamente nas regiões plataformais os eventos erosivos são mais marcantes, portanto, em tese, mais fáceis de identificar, porém, existe uma situação sob a qual registros de eventos erosivos de certa idade podem ser completamente apagados por eventos erosivos mais jovens, este caso ocorre quando o evento mais jovem é muito mais conspicuo que o antigo provocando sua completa remoção do registro geológico. Condé et al. (2007) relata que a discordância do Eoceno médio é a mais conspicua da Bacia do Ceará, neste caso, esta discordância poderia, em regiões de águas rasas ter apagado os registros de outra discordância imediatamente mais velha.

Estas observações feitas acima tornam factível a inferência de que as longas sequências deposicionais do Cenozoico na Bacia do Ceará possam ser quebradas em sequências menores e, como tal, reforça a interpretação da idade paleocênica para o limite de sequência identificado neste trabalho. A fim de fazer uma datação o mais precisa quanto possível do referido limite de sequência buscou-se na curva de

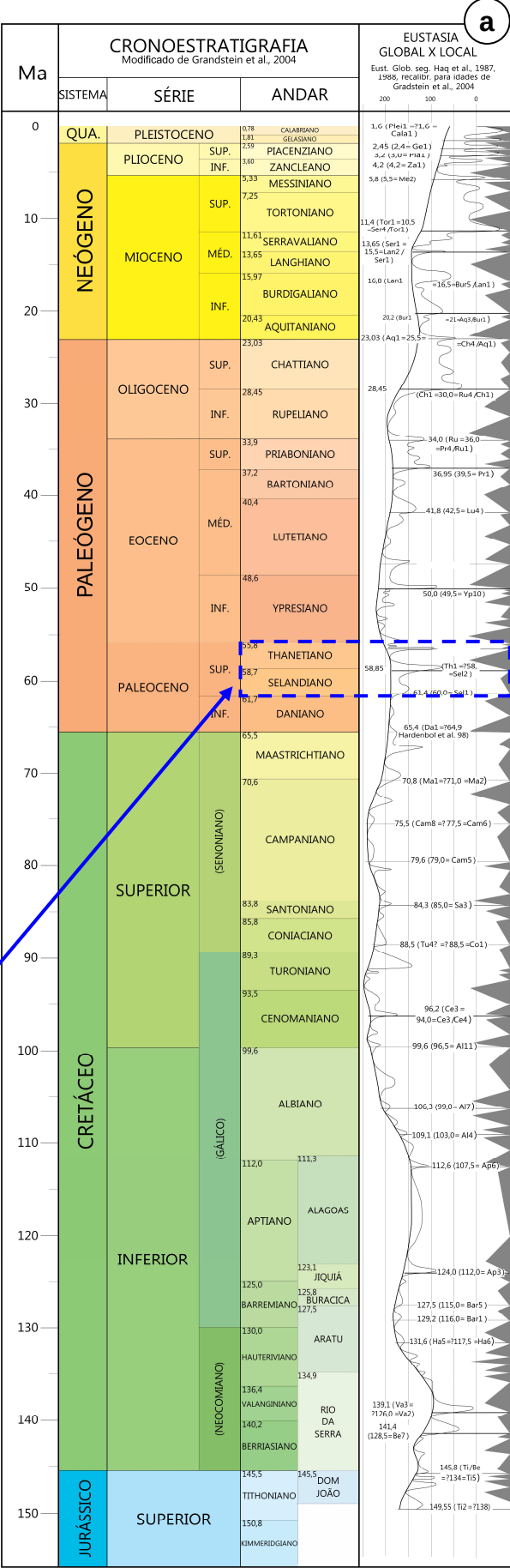
variação global do nível do mar de Haq et al. (1987) recalibrada para as idades de Gradstein et al. (2004) algum evento de grande amplitude de rebaixamento do nível do mar no Paleoceno. Foi observado que na passagem entre os andares Selandiano e Thanetiano ocorreu a maior queda do nível do mar no Paleoceno. Nas bacias vizinhas de Barreirinhas, Pará-Maranhão e Foz do Amazonas há um limite de sequência relacionado a este evento erosivo, assim sendo optou-se por datar o limite de sequências identificado neste trabalho de “intrapaleoceno” e posicioná-lo na passagem entre os andares Selandiano e Thanetiano.

Com a análise dos dados trabalhados nesta pesquisa e as consequentes interpretações propõe-se uma alteração na carta estratigráfica da Bacia do Ceará para que a mesma possa acomodar o limite de sequência proposto conforme a Figura 33. A discordância do intrapaleoceno também marca, de acordo com os resultados deste trabalho e diferentemente do proposto por Condé et al. (2007) o limite superior da Sequência Transgressiva. Outra característica da superfície erosiva que define este limite de sequências é que, na área estudada, erodiu grande parte do registro geológico do Paleoceno subjacente a ele, tornando desse modo para efeito de mapeamento sísmico a escolha do topo do Cretáceo como o melhor horizonte para representá-lo.

Figura 33 – Correlação da discordância encontrada na linha sísmica 0222-0479 com a curva de variação global do nível do mar



Legenda: (a) – verificou-se uma grande queda do nível do mar entre os andares Selandiano e Thanetiano na curva de variação do nível do mar de Haq et al. (1987) recalibrada com as idades de Gradstein et al. (2004); (b) – interpretação da discordância do intrapaleoceno na linha sísmica 0222-0479.
Fonte: A autora, 2016.



Construção sismoestratigráfica através da seção geológica dos marcadores litoestratigráficos e cronoestratigráficos nos poços

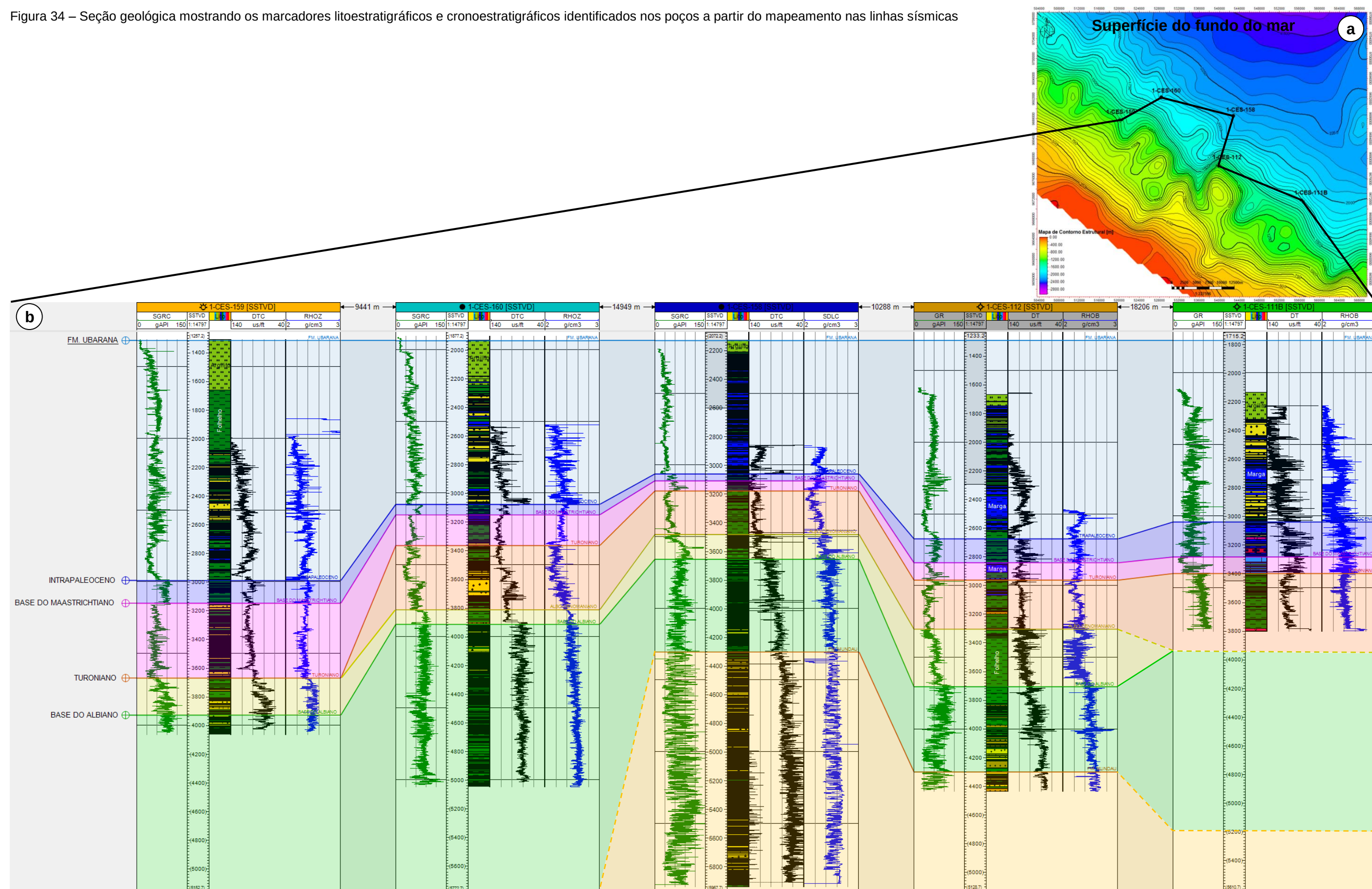
As idades do poço 1-CES-112, disponibilizadas pela ANP, foram utilizadas como ponto de partida para o mapeamento sísmico e então a identificação dessas idades nos outros poços, uma vez que todos já estavam amarrados com a sísmica. Essa construção sismoestratigráfica nos poços contribuiu para uma melhor compreensão do arcabouço lito e cronoestratigráfico da bacia em águas profundas como um todo e uma definição mais detalhada para os eventos de regressões forçadas que pontuaram a Sequência Transgressiva, alvo do presente estudo. As informações de lito e cronoestratigrafia obtidas então em todos os poços permitiram a construção de um painel estratigráfico grosseiramente *strike* como mostrado na Figura 34 e que mostra, em alguns casos, grande variação lateral de espessura das unidades individualizadas. Em bacias marinhas abertas, de margens continentais, não ocorrem variações tão abruptas de espessuras, logo, interpreta-se que estas sejam resultantes de processos erosivos os quais denudaram os intervalos que hoje mostram-se mais delgados e preservaram os mais espessos.

Os dois marcadores basais que representam unidades litoestratigráficas, quais sejam: da base para o topo, topo das formações Mundaú e Paracucu, as quais por sua vez, representam as megasequências rifte e transicionais de Condé et al. (2007). Note-se que o topo da Fm. Mundaú só foi marcado em dois poços (1-CES-112 e 1-CES-158). Em ambos os casos, a base desta sequência não foi alcançada. Dentre estes, a maior espessura atingida foi de 1.643 metros no 1-CES-158. Nos outros poços esta formação não foi atingida. Já o topo da Fm. Paracuru foi atingido em quatro dos cinco poços, e em dois deles foi completamente atravessada e atingiu a espessura de 1.135 metros no poço 1-CES-160.

Na Megasequência Drifte os marcadores representam unidades cronoestratigráficas e não litoestratigráficas como os anteriores. Começando da base para o topo tem-se a discordância da base do Albiano, a qual também é conhecida como discordância do *breakup*, e a qual, também, representa o topo da Fm. Paracuru (CONDÉ et al., 2007). A espessura máxima da Megasequência Drifte como um todo foi atingida no poço 1-CES-159, ou seja, 2600m.

Na seção sedimentar objeto de estudo desta pesquisa, que é a Sequência Transgressiva da Megasequência Drifte, foram individualizados quatro marcadores cronoestratigráficos além da discordância da base do Albiano, quais sejam, Albocenomaniano, Turoniano, base do Maastrichtiano e intrapaleoceno (o qual foi considerado para efeito de mapeamento sísmico como topo do Cretáceo, ou Cretáceo sísmico).

Figura 34 – Seção geológica mostrando os marcadores litoestratigráficos e cronoestratigráficos identificados nos poços a partir do mapeamento nas linhas sísmicas



Legenda: (a) – localização da seção mostrada em "b"; (b) – foi utilizado como *datum* o marcador da Fm. Ubarana. As linhas contínuas indicam limites interpretados, enquanto as linhas tracejadas indicam limites inferidos.
Fonte: A autora, 2016.

Padrões de Deposição

Em capítulo anterior foi reportado e discutido que a evolução tectono-sedimentar da fase drifte em bacias de margens passivas passa por duas fazes de longa duração, ou longo termo, bem marcadas, chamadas de sequências, quais sejam, Sequência Transgressiva seguida pela Sequência Regressiva. No caso da Sub-bacia de Mundaú, Condé et al. (2007) propõe que a primeira, a qual se iniciou logo após o *breakup* durou até o Campaniano médio a superior e a segunda, desde então até o presente. As linhas sísmicas 2D em águas profundas analisadas nessa pesquisa apontam para conclusões diferentes daquelas chegadas por Condé et al. (*op. cit.*) no que diz respeito à duração de cada uma das sequências supra-citadas. Também já foi exaustivamente pontuado anteriormente que os autores acima citados trabalharam principalmente com dados de águas rasas para propor seu modelo evolutivo para a Bacia do Ceará. Talvez este seja o principal motivo para as conclusões diferentes entre os trabalhos de Condé et al. (2007) e a presente pesquisa. De acordo com os dados que serão mostrados a seguir a Sequência Transgressiva que é o objeto de estudo desta pesquisa teria tido uma duração mais longa, indo até o Paleoceno.

Nas linhas sísmicas que mostram parte da plataforma, como é o caso da linha 0222-0470 (Figura 35), fica evidente a identificação de três pacotes sedimentares com padrões de deposição distintos em relação à geometria da plataforma. Esses pacotes são limitados pelas discordâncias da base do Albiano, do intrapaleoceno (particularmente discutida à frente), do Eoceno médio e o atual fundo do mar.

O primeiro é o padrão retrogradacional (verde claro) que também representa a Sequência Transgressiva e que apresenta como limite inferior a discordância da base do Albiano, ou discordância do *breakup*, e como limite superior a discordância do intrapaleoceno. O caráter de sismofácies predominantes nesta seção sedimentar é de refletores grosseiramente plano-paralelos com discreto espessamento em direção ao oceano. A terminação destes refletores contra a superfície basal pré-existente se dá em forma de *onlap*. Não foi executada nesta pesquisa nenhuma reconstrução deposicional-estrutural para se ter uma ideia mais precisa sobre a geometria da bacia durante a deposição da seção em discussão, porém, é nítido na Figura 35 que a configuração da bacia não obedecia ao clássico padrão *tri-partite*

(Plataforma-Talude-Bacia profunda) observado atualmente nas margens continentais passivas. O padrão mostrado na sísmica sugere uma configuração predominantemente “rampa irregular” para a geometria do fundo da bacia, entretanto, também é possível notar, desde já, uma influência da zona de falhas de charneira (seta preta na Figura 35), a qual, com a evolução tectono-sedimentar da Megasequência Drifte, teve o papel definidor da posição da atual quebra da plataforma.

Na ausência de reconstrução deposicional-estrutural para a melhor definição geométrica das seções sedimentares discutidas neste tópico, a horizontalização dos refletores sísmicos limítrofes poderiam ser uma ferramenta auxiliar. Entretanto os refletores mapeados são superfícies sismoestratigráficas que representam linhas de tempo diácronas em relação ao pacote sedimentar subjacente quando ocorrem discordâncias erosivas. Neste caso a horizontalização de tais refletores não refletiria a real geometria do pacote deposicional antes de ser erodido. Para evitar distorções e falsas conclusões optou-se por não usar a ferramenta da horizontalização de refletores.

O mapa de isópacas dessa sequência mostrou um aumento de espessura para a região noroeste (Figura 36) da área de estudo. Essa região está sob forte influência da Zona de Fratura Romanche, que apresenta um prolongamento em direção a Bacia do Ceará, como pode ser visto no mapa de magnetometria da área (Figura 37). A zona de fratura formou uma calha onde se depositou a maior parte dos sedimentos provenientes das quedas do nível do mar durante essa fase (Figura 38).

Sobrejacente à Sequência Transgressiva ocorre a Sequência Regressiva, a qual, neste trabalho tem seu início marcado no Paleoceno e não no Campaniano como definido por Condé et al. (2007). Também, diferentemente destes autores, foi possível nesta pesquisa dividir, a Sequência Regressiva, com base no padrão de sismofácies, em duas, uma de caráter progradante e outra de caráter agradante.

- a) no início da deposição do segmento progradante, no Paleoceno, já havia transcorrido aproximadamente 50 Ma desde o *breakup* e a geometria do fundo marinho da época sugerida pelo dado sísmico mostra a configuração de uma plataforma “rampada” (muito em função de processos erosivos), porém, distalmente escarpada na região da

zona de falhas de charneira. Este tipo particular de geometria definiu uma configuração na qual observam-se duas inflexões de ângulos do fundo marinho as quais foram denominadas neste trabalho de “quebra interna da plataforma” e “quebra externa da plataforma”. O dado sísmico, sem restauração deposicional-estrutural, sugere que os ângulos de inflexão foram muito semelhantes não permitindo nenhuma inferência sobre qual das duas quebras teria sido a mais importante.

Esta geometria particular do fundo marinho à época do início da deposição da Sequência Regressiva favoreceu preferencialmente a deposição no espaço entre as duas quebras de plataformas anteriormente definidas e obedeceu um padrão progradacional sem nenhum componente agradacional. No Mesoeoceno a deposição sedimentar progradante atingiu a “quebra externa da plataforma” à altura da zona de falhas de charneira invertendo a deposição de caráter progradacional para agradacional. No detalhe do dado sísmico é possível observar que o pacote sedimentar progradante sofreu alguns eventos de regressões forçadas antes de atingir a zona de charneira.

O padrão de sísmofácies observado no interior do pacote progradacional é de clinoformas deposicionais com os refletores apresentando terminações em truncamento erosivo contra a superfície superior e terminações em *downlap* contra a superfície inferior. Dessa forma, esse pacote pode ser caracterizado como uma frente de progradação oblíqua, que segundo Sangree e Widmier (1977), é característico de deltas fluviais com sedimentos costeiros associados e apresentam depósitos de alta energia.

- b) O início da deposição de caráter agradacional na plataforma foi definida neste trabalho como tendo ocorrida a partir da discordância do Eoceno médio (como definida por Condé et al., 2007). Este também é o ponto no tempo e no espaço em que a construção do pacote sedimentar da Megasequência Drifte atinge a geometria *tri-partite*, ou seja, uma plataforma larga e horizontalizada e rasa, um talude inclinado e uma bacia profunda também horizontalizada. O dado

sísmico analisado não permite maiores inferências sobre o segmento agradacional da Megasequência Drifte e nem é esse o foco deste trabalho.

O mapa de isópacas da Sequência Regressiva, que envolve o pacote sedimentar progradante e agradante, mostrou um aumento de espessura na região do sopé do talude (Figura 39), o que reforça a ideia de uma entrada sedimentar proveniente da plataforma em direção a águas profundas. Concluindo-se desse modo que na Sequência Regressiva a Zona de Fratura Romanche não controla mais o *setting* deposicional na área estudada.