

Evolução estratigráfica, arcabouço estrutural e potencial remanescente das unidades produtoras da Bacia de Talara (noroeste do Peru) na área do Lote X

Stratigraphic evolution, structural framework and remaining potential of Talara Basin production units (NW Peru) in Block X area

José Alfredo Borges Daudt¹, Eloy Gerardo Pozo², Kevin Michael Torres², Juan Leyva Ore² (in memorian)

resumo

Esse artigo apresenta a evolução estratigráfica da seção sedimentar Mesozoica-Cenozoica presente na área do Lote X, Bacia de Talara, noroeste do Peru. Também aborda, de forma sucinta, o arcabouço estrutural e o potencial remanescente para a produção de petróleo nessa concessão. Um breve histórico da Bacia de Talara é apresentado na introdução, resgatando a devida importância dessa bacia para a indústria do petróleo na América do Sul.

A Bacia de Talara é uma bacia do tipo antearco, com complexo desenvolvimento estratigráfico e estrutural. O Lote X está situado em uma área proximal, onde eventos erosivos e de passagem de sedimentos foram constantes durante toda a evolução da bacia. Favorecido por uma imensa carga de sedimentos e uma subsidência significativa, um espesso pacote foi depositado na área, principalmente durante o Ypresiano e Lutetiano. Falhas normais compartimentaram os reservatórios presentes no lote, segundo a interpretação utilizada até hoje. Alguns autores levantam

a hipótese de existência de movimentações transcorrentes, embora com poucas evidências de campo.

O modelo estratigráfico apresentado nesse artigo está baseado em observações e interpretações de perfis elétricos e afloramentos, considerando os paradigmas da Estratigrafia de Sequências. Preferiu-se utilizar uma abordagem mais “neutra” para a hierarquização das sequências, em vez de atrelar as ordens a escalas rígidas de tempo. As variações ambientais mais significativas constituíram os limites entre sequências de baixa frequência e as variações ambientais mais sutis, limites entre sequências de alta frequência.

Mesmo após de mais 100 anos de história produtiva, o Lote X ainda apresenta um promissor potencial exploratório. Vários projetos de recuperação secundária e perfuração de poços a curto espaçamento estão sendo implementados desde 2003, mostrando resultados alentadores.

Palavras-chave: Bacia de Talara | Estratigrafia de Sequências | modelo estratigráfico | modelo deposicional

¹ Petrobras America Inc. jose.daudt@yahoo.com

² Petrobras Energia Peru. eloy.pozo@petrobras.com; kevin.torres@petrobras.com

abstract

This article presents the stratigraphic evolution of the Mesozoic-Cenozoic sedimentary section in the Talara Basin (NW Peru) in the Block X area. Furthermore it comments on the structural framework and the remaining hydrocarbon potential in this concession. A brief review of the Talara Basin history is introduced, highlighting the importance of this basin for the Latin-American Oil Industry.

Talara is a forearc basin with complex stratigraphic and structural development. The Block X area is located in a proximal position within the basin where erosive and by-pass events were frequent during the whole basin evolution. A thick load of sediments, favored by a significant subsidence, was deposited in this area, especially during Ypresian and Lutetian. Extensional tectonics, represented by normal faults, compartmentalized the reservoirs in Block X, based on the interpretation considered until now. However, the hypothesis of transcurrent movements was also brought into the discussion by some authors, although this had very little surface and subsurface evidence to support it.

The presented stratigraphic model is based on observations and interpretations of well logs and outcrops, considering the sequence stratigraphic paradigms. The interpreted sequences hierarchical framework was approached in a more "neutral" way to avoid rigid time scales commonly adopted by the industry. Thus, the model is made of low frequency sequences with boundaries defined by the most important paleo-ambiental shifts, and high frequency sequences where boundaries were defined considering more subtle variations.

Regarding the remaining potential, the Block X area is still forecasting a good exploration and exploitation potential, even considering more than 100 years of productive history. Several secondary recovery projects and shorter-acreage drilling programs have been implemented since 2003, with excellent results.

(Expanded abstract available at the end of the paper).

Keywords: *Talara Basin / sequence stratigraphy / stratigraphic model / depositional model*

introdução: um pouco de história

A Bacia de Talara constitui uma das mais importantes províncias petrolíferas da América do Sul. Embora seja difícil a comprovação de valores exatos, estima-se que a produção acumulada, até o presente momento, pode ter atingido mais de 2 bboe. A história da descoberta e uso do petróleo na Bacia de Talara é retratada no livro 1.000 años de Petróleo en el Perú, editado pela companhia Unipetro em 2005, do qual extraímos a maioria dos fatos marcantes descritos a seguir. Outras referências interessantes também são mencionadas.

A ocorrência de petróleo aflorando em superfície foi o principal motivo que levou os desbravadores a perfurar o primeiro poço em 1863, pouco mais de um ano depois do famoso poço do Coronel Drake nos Estados Unidos, considerado o marco inicial da indústria petrolífera. No entanto, bem antes da chegada dos conquistadores espanhóis, as culturas indígenas de Tallan e Capullana já utilizavam o ouro negro como maquiagem em rituais religiosos e para mumificar seus mortos (Iddins e Olsson, 1928; Travis, 1953).

No século XVII, a coroa espanhola declara os afloramentos de petróleo de Talara como "propriedade do Rei". Os primeiros *royalties* sobre a extração foram aplicados no ano de 1742, fixados em 20% sobre as exportações feitas por arrendatários indicados pela própria monarquia. A concessão para a exploração e exportação do petróleo aflorante passou pelas mãos de vários arrendatários até chegar a Don José Antonio de la Quintana, último dos beneficiários do período imperial. Por volta de 1830, ocorre a primeira tentativa de perfuração de um poço de petróleo na região, chegando a atingir uma profundidade de 10m, com produção entre 1 a 5 bopd. Finalmente, em 1863, o engenheiro E. A. Prentice, empregado da fábrica de gás de Lima, perfura o que se considera ser o primeiro poço de petróleo da América do Sul. Deste ponto em diante, o capital americano começa a ser investido em Talara, motivando o rápido crescimento da indústria. Em 1871, foi fundada a Companhia Peruana de Refino de Petróleo que, no seu auge, chegou a perfurar 450 poços em 55 anos de operação. Em 1891, já havia 14 empresas petrolíferas atuando na região.

Em 1916, entra em operação a primeira refinaria da América, localizada, ainda hoje, na cidade de Talara. Nesse mesmo período, também surge uma companhia que marcaria época, tanto pelas suas

atividades exploratórias como de refino: a International Petroleum Company (IPC), precursora da Exxon. Em 1924, a IPC amplia a refinaria de Talara, passando a processar 20.000 boed. Inúmeros geólogos vieram dos Estados Unidos para trabalhar em Talara, uma vez que, devido à complexidade geológica, a IPC considerava a área como uma bacia-escola.

A participação mais ativa do governo peruano ocorre somente no ano de 1939, com a criação da Empresa Petrolera Fiscal (EPF), através de um decreto do presidente Oscar Benavides. Uma associação entre a empresa americana Douglas Oil Company, da Califórnia, e a Compañía Peruana del Pacífico marca o início das descobertas em direção ao mar através da perfuração de poços direcionais, cujas plataformas eram posicionadas na praia. Entretanto, o primeiro poço perfurado totalmente na plataforma peruana ocorreu em 1959 através das companhias Belco Petroleum Company e Peruvian Pacific Petroleum Company. Outro fato marcante na década de 1950 foram as constantes visitas do escritor americano Ernest Hemingway à região de Talara, onde pescava marlins de quase 200kg. Conta a lenda que ele arquitetou toda a história do seu clássico *O Velho e o Mar* a beira de alguma enseada talarenha (Daudt, 2007a).

Regimes autoritários também fizeram parte da história de Talara: em 1968 as tropas militares do exército peruano entram nas instalações da IPC, retomando para o país a posse das concessões outorgadas. Um ano depois, é criada a empresa *Petróleos del Perú* (Petroperu), com responsabilidade de explorar, refinar, comercializar e desenvolver a indústria de derivados de petróleo no país.

No ano de 1983, durante o primeiro governo do Presidente Alan García, inicia o projeto Laguna-Zapotal, com a perfuração de mais de 100 poços por ano, financiado pelo Banco Mundial. Esse período marca a primeira passagem da companhia petrolífera argentina Perez Companc como prestadora de serviço na Bacia de Talara, com forte fiscalização do governo. Nessa época, também foi criado o “canón petrolero”, uma espécie de *royalty* no valor de 12.5% sobre o rendimento da venda de petróleo, destinado aos departamentos (similares aos estados brasileiros) de Piúra e Tumbes.

Uma nova tendência estatizante ocorre em 1985, quando o governo decide renegociar os contratos de concessão com Occidental e Belco Petroleum. Belco decide acionar o seguro contra riscos políticos, o que gera uma demanda judicial da seguradora AIG contra o governo peruano. Entretanto, em 1991, o Presidente

Fujimori, com fortes políticas neoliberais, provoca uma onda de privatização onde as concessões em poder do governo passam a companhias privadas como Graña y Montero Petrolera, Petro-Tech Peruana, Rio Bravo, Mercantile Perú Oil y Gas e Perez Companc. Nesse momento, a Perez Companc retorna ao país como operadora de uma área em produção e, não mais, como prestadora de serviço. Em 1993, o governo outorga a concessão do Lote IX a uma empresa nacional formada dentro de uma universidade, a Unipetro, visando proporcionar treinamento e capacitação técnica para jovens geólogos e engenheiros.

Em 2002, ao adquirir o controle acionário da companhia argentina Perez Companc, a Petrobras começa a operar oficialmente o Lote X, uma concessão de aproximadamente 460km² localizada a norte da cidade de Talara. Embora fosse um ativo complexo em termos de geologia (grande compartimentação estrutural e estratigráfica, baixa porosidade e permeabilidade, etc) e engenharia (condições mecânicas de alguns poços, necessidade de estimulação por fraturamento hidráulico, antiguidade das linhas de produção, etc), o Lote X combina condições favoráveis de óleo de alto grau API com proximidade das facilidades produtivas, incluindo a refinaria de Talara. O Lote X, em termos econômicos, apresenta baixa produtividade por poço, mas, no conjunto, o ativo apresenta indicadores excelentes.

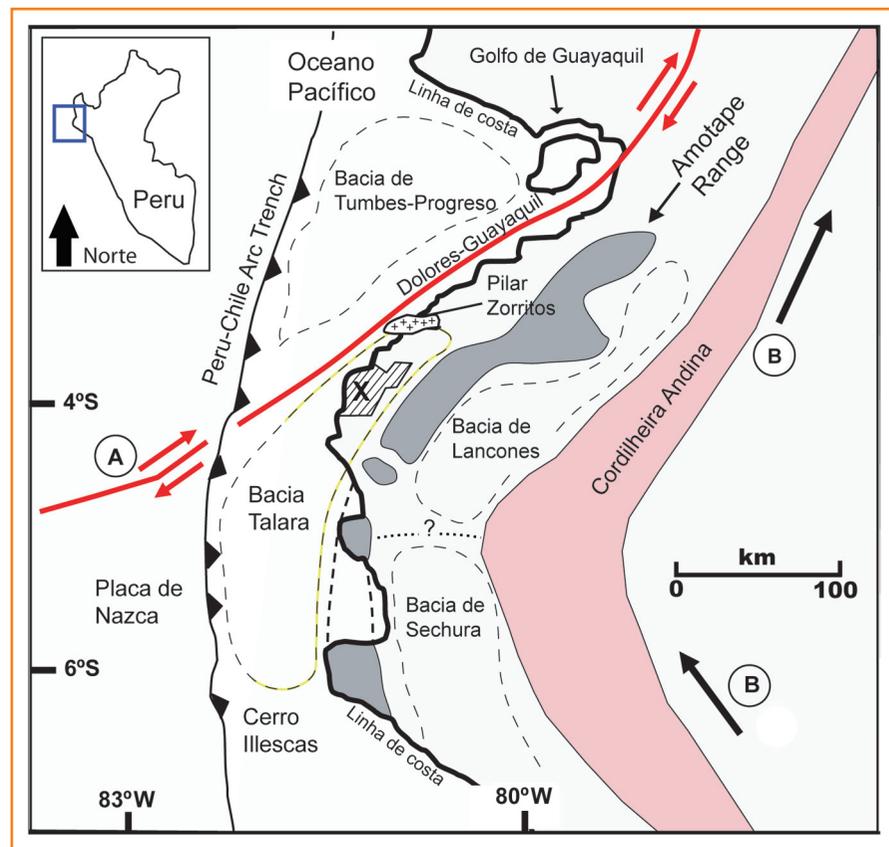
Hoje, a Petrobras conta com 161 empregados no Peru, sendo: 81 localizados no escritório central em Lima; 20 no escritório administrativo de Talara e 59 na cidade de El Alto, a grande maioria destes em funções operativas. A produção diária é em torno de 14.000 boed, distribuída entre 17 campos internos ao Lote X. As atividades no Lote X tendem a aumentar em decorrência dos projetos de injeção secundária. Atualmente, cinco projetos de injeção de água (Verdún Carrizo, Verdún Laguna, Echinocyamus Bloco B1, Helico Reventones, Echinocyamus Blocos 589) e dois de injeção de gás (Echinocyamus-Hélico Bloco Central e Mogollón Zapotal) estão em curso no Lote X. A expectativa é que estes projetos incrementem o fator de recuperação entre 2% e 5.5%.

O objetivo deste artigo, além de registrar os eventos mais importantes da história de Talara, é apresentar a evolução estratigráfica da Bacia de Talara na região do Lote X, com base em uma nova interpretação da arquitetura das sequências deposicionais. Também são discutidos alguns aspectos relativos ao arcabouço estrutural e ao potencial remanescente para a produção de petróleo no lote.

geologia regional da Bacia de Talara

Figura 1
Localização da Bacia de Talara no Peru, incluindo os principais elementos tectônicos e o Lote X: A – Sistema de falhas Dolores-Guayaquil; B – Orientações principais sudeste-noroeste e sudoeste-nordeste do cinturão andino. Figura modificada de Fildani et al. (2005).

Figure 1
Talara Basin location in Peru, including the main tectonic elements and the Block X area: A – Dolores-Guayaquil megashear; B – Main tectonic trends SE-NW and SW-NE observed in Andean belt. Figure modified from Fildani et al. (2005).



A Bacia de Talara está localizada no extremo noroeste do Peru, entre os departamentos de Piúra e Tumbes. Esta bacia foi originada pela subducção da placa oceânica sob a crosta continental sulamericana, em um processo iniciado no Aptiano. Sua extensão longitudinal aproximada é de 220km e transversal de 50km, ocupando uma superfície de 14.500km², dos quais 2/3 estão localizados na atual região marinha (fig. 1). Seu limite oeste é a zona de subducção da Placa de Nazca sob a placa Sulamericana; a leste, as montanhas Amotape (embasamento Paleozoico aflorante) e a norte, uma zona soerguida do embasamento, conhecida como Pilar de Zorritos. Este limite norte coincide com a borda Sul da megaestrutura Falha Dolores-Guayaquil, cujo complexo arranjo estrutural compreende desde falhas transcorrentes a falhas normais de baixo e alto ângulo (Pindell e Tabbutt, 1995; Higley, 2002). O limite sul é controverso: Fildani et al. (2005) mencionam a Silla de Paita, um alto estrutural que representaria

o limite da bacia nessa direção; outros geocientistas peruanos consideram o limite sul como sendo as Islas Lobos, um alto estrutural situado mais a sul da Silla de Paita. Isto poderá se confirmar pela perfuração dos poços do campo de San Pedro (unidade produtora no Paleozoico), aproximadamente na divisão entre a Bacia de Talara e a Bacia de Trujillo.

Em um contexto predominantemente convergente (Ingersoll e Busby, 1995), Talara pode ser classificada como uma bacia "contraída" (*contracted*) do tipo antearco (Dickinson e Seely, 1979; Dickinson, 1995). No entanto, Kingston (1994) opta pelo termo bacia de declive da fossa ("*trench-slope basin*"), por não considerar Talara como uma típica bacia de antearco, pois não reconhece claramente nenhum arco vulcânico associado. A província de Talara resulta da atividade tectônica ocorrida no Paleógeno, seguindo, em grande parte, estruturas geradas já no Paleozoico (Zuñiga-Rivero et al., 1998). Estas estruturas pretéritas condicionaram a subdivisão de grandes bacias em áreas menores, onde a sedimentação do Cretáceo e Paleógeno se desenvolveram. Provavelmente, isto também ocorreu nas áreas das bacias de Progresso, Sechura e Salaverry (Higley, 2002). O entendimento genético da Bacia de Talara poderia ser facilitado pelas modelagens de bacia. No entanto, estudos quantitativos sobre subsidência em bacias antearco são raros, pois os parâmetros limites para o modelamento são difíceis de determinar (Dickinson, 1995). Uma destas limitações reside na dificuldade de caracterizar com precisão os controles batimétricos para a inferência da profundidade da bacia durante suas distintas etapas evolutivas.

A posição da Bacia de Talara coincide, ainda, com a região onde a Cordilheira dos Andes muda de direção sudeste-noroeste para sudoeste-nordeste, em uma estrutura conhecida como Deflexão de Huanabamba ou, localmente, como Cordilheira Real. Esta configuração tectônica acompanha a megaestrutura conhecida como Falha Dolores-Guayaquil, um sistema de falhas do tipo *strike-slip* dextral resultante do efeito da subducção oblíqua da Placa de Nazca sob a crosta continental sulamericana (Pardo-Casas e Molnar, 1987). Associados a estas megaestruturas de orientação nordeste observa-se a existência de vários outros sistemas do mesmo tipo, porém, de direção noroeste e com vergência sinistral. Tankard (2002) interpreta estes sistemas como antitéticos do sistema principal Dolores-Guayaquil, ressaltando que ambos são responsáveis pela intensa compartimentalização interna da bacia.

O registro sedimentar em Talara compreende sedimentos de idade cretácica até os sedimentos pleistocênicos da Formação Tablazo, que colmatam a fase de preenchimento da bacia. A espessura da pilha sedimentar atinge valores na ordem de 9.000/10.000m em algumas áreas da bacia. Na área do Lote X, a espessura máxima pode atingir a 6.000m. O intervalo entre o Ypresiano e o Lutetiano (Eo a Mesoeoceno) mostra as maiores taxas de deposição, correspondendo a cerca de 70% do total da pilha sedimentar.

evolução estratigráfica nas proximidades do Lote X e sua relação com as unidades litoestratigráficas tradicionais

O objetivo deste ponto é fazer uma revisão da evolução estratigráfica da Bacia de Talara com ênfase nas proximidades do Lote X, onde a Petrobras atua. Como referência geográfica, serão mencionados os nomes das áreas informais ou campos que são utilizados para a distribuição da produção por área no Lote X (fig. 2). A evolução estratigráfica apresentada nesse trabalho considera, de maneira geral, o sentido norte-nordeste para sul-sudoeste como o principal eixo deposicional da bacia, embora aportes no sentido leste para oeste também sejam reconhecidos (Seranne, 1987; Carozzi e Palomino, 1993; Fildani, 2004; Daudt e Scherer, 2006). O Lote X, por situar-se em uma posição de borda da bacia, representa um local onde eventuais aportes do leste são encontrados com mais frequência. Em direção oeste, é provável que os sedimentos provenientes do leste durante o Paleógeno e Neógeno sejam transportados até a zona axial da bacia, resultando em divergência dos fluxos para a direção sul (fig. 3)

A correlação regional entre essas unidades litoestratigráficas nem sempre é fácil, pois existem inúmeros problemas de nomenclatura estratigráfica. Não existe uma comissão peruana de código estratigráfico, o que, muitas vezes, faz com que a nomenclatura e hierarquização utilizadas não sejam compatíveis com as normas consagradas. Este problema gera uma mescla nas escalas de observação, o que dificulta bastante o

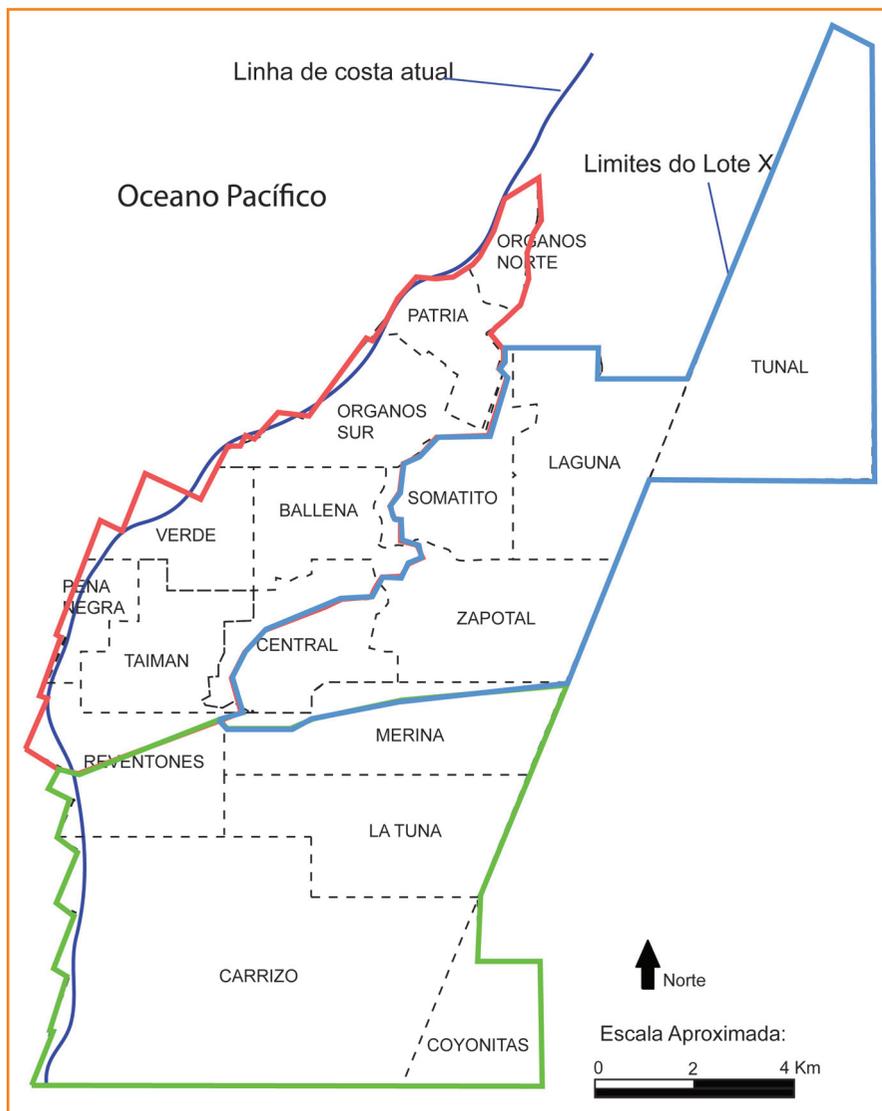


Figura 2 – Nome informal dos jazimentos internos do Lote X, utilizados para a distribuição da produção por área. As diferentes cores representam as grandes áreas utilizadas como guias para o gerenciamento da concessão: Costa, Leste e Sul.

Figure 2 – Informal names of the Block X area fields that are used for production distribution. The colors represent the division used for management purposes: Coast, East and South.

entendimento da evolução estratigráfica da bacia como um todo, principalmente nas áreas onde a Petrobras não tem acesso aos dados e informações disponíveis.

Com relação à construção do arcabouço estratigráfico proposto nesse trabalho, optou-se por hierarquizar as sequências interpretadas de forma mais “neutra”, sem incorporar esquemas rígidos de hierarquia. Termos como “baixa” e “alta frequência” foram empregados para hierarquizar as sequências identificadas. Foram utilizados aspectos diagnósticos para determinar a importância das superfícies estratigráficas e, conseqüentemente, a importância

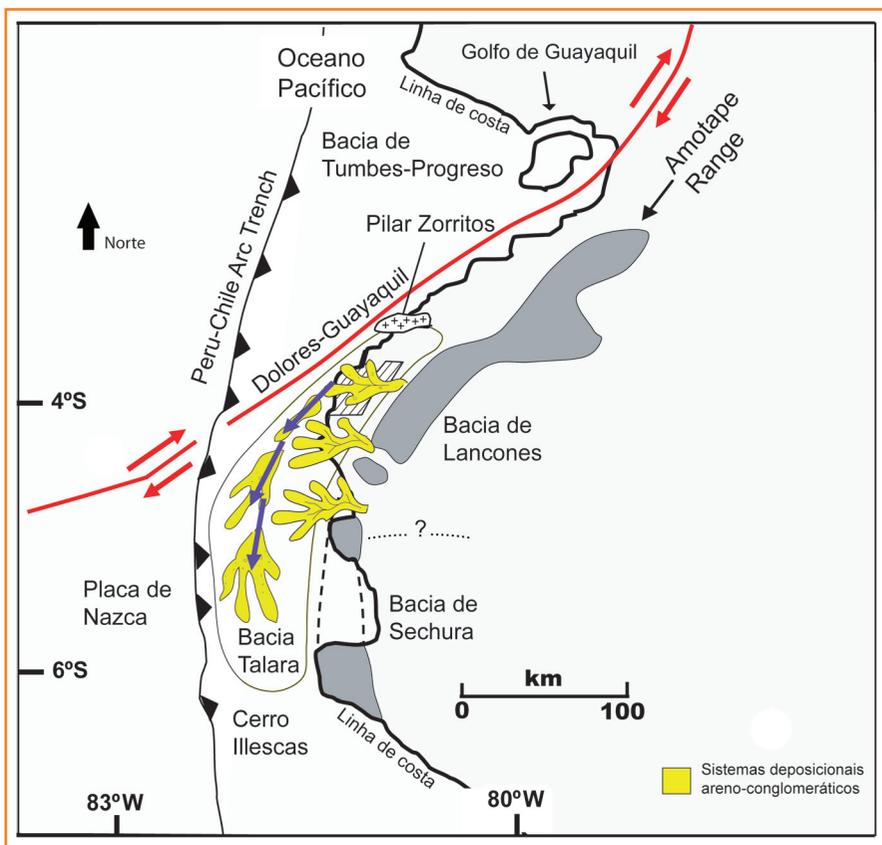


Figura 3
Modelo regional esquemático da dinâmica da redistribuição dos sedimentos terciários que aportam do leste à Bacia de Talara.

Figure 3
Regional schematic model showing the sediment redistribution dynamics during the Tertiary.

(hierarquia) das sequências que destas resultam. O primeiro aspecto foi a relação estratigráfica entre duas unidades contíguas e a natureza e magnitude relativa da mudança paleoambiental entre estas. O segundo, que serve de pano de fundo para o primeiro, é a definição de que uma sequência de baixa frequência corresponderia, aproximadamente, a um lapso de tempo de uma idade, mesmo considerando as limitações observadas nas datações pelo método bioestratigráfico. Uma exceção foi a sequência K1 (Cretáceo), onde a sedimentação do Aptiano e do Albiano foi considerada na mesma sequência, pois não representava uma mudança muito significativa em termos de paleoambiente. A outra exceção foi no intervalo do Ypresiano, onde foi necessária a subdivisão em duas sequências de baixa frequência, pois a variação paleoambiental observada justificava esta compartimentalização. Uma discussão ampliada da arquitetura e características das sequências do Cretáceo e Cenozoico serão apresentadas posteriormente.

A opção por um modelo de hierarquia mais “neutro” mostrou-se extremamente adequada, principalmente, devido ao contexto geológico do Lote X, onde o controle cronoestratigráfico é difícil por dois motivos principais: a) poucos poços com análises bioestratigráficas e b) o Lote X está localizado em uma posição muito

proximal da bacia, sujeita a um significativo aporte sedimentar predominantemente areno-conglomerático. Desta forma, a caracterização de hierarquias baseadas na duração dos ciclos é praticamente impossível. A alternativa de hierarquizar as sequências com base na magnitude das mudanças do nível de base também ficaria comprometida pela complexa interrelação dos mecanismos genéticos, situação típica de bacias de antearco. Contudo, o modelo de sequências de alta e baixa frequência assume uma origem alogênica para estes eventos, resultado de uma combinação entre o aporte sedimentar (importância alta), a subsidência (importância média a alta) e a variação do nível eustático (importância média a baixa). Catuneanu (2006) e Catuneanu *et al.* (2010) também mostraram-se favoráveis a este tipo de abordagem, ressaltando-se as particularidades de cada área de estudo.

Os eventos identificados foram ainda analisados com relação aos tratos de sistemas que compõem cada uma das sequências, em alta e em baixa frequência. Dessa forma, as sequências poderiam ser compostas por trato de regressão forçada (TRF), trato de nível baixo (TNB), trato transgressivo (TT) e trato de nível alto (TNA), com as respectivas superfícies limitrofes. A interpretação de TRF ficou de forma especulativa para algumas sequências devido à falta de dados de suporte como: sísmica de boa qualidade e uma visão mais regional no sentido da direção de aporte para as diferentes unidades. A interpretação também é dificultada, pois nas áreas muito proximais em uma bacia, o TRF, se presente, tende a ser caracterizado por superfícies de *by-pass*, sem a preservação dos depósitos correspondentes ao referido trato.

embasamento

O embasamento da Bacia de Talara é da Era Paleozoica, sendo interpretado como um elemento alóctone que foi incorporado durante o início da formação do sistema Andino (Mourier *et al.*, 1988; Tankard, 2002). Intrusões graníticas, provavelmente paleozoicas, foram reconhecidas, embora ocorra a possibilidade de ditas intrusões serem mais jovens que o Paleozoico, provavelmente do Jurássico ou Triássico.

seção mesozoica

Com relação à pilha sedimentar, as seções triássica e jurássica não foram reconhecidas na Bacia de Talara.

bacia, embora ainda sem comprovação por correlação rocha-petróleo, caracterizando o sistema petrolífero hipotético Muerto-Pananga (Perupetro, 2001).

seção sedimentar cenozoica

A análise da evolução estratigráfica da área do Lote X permitiu a construção de um arcabouço de

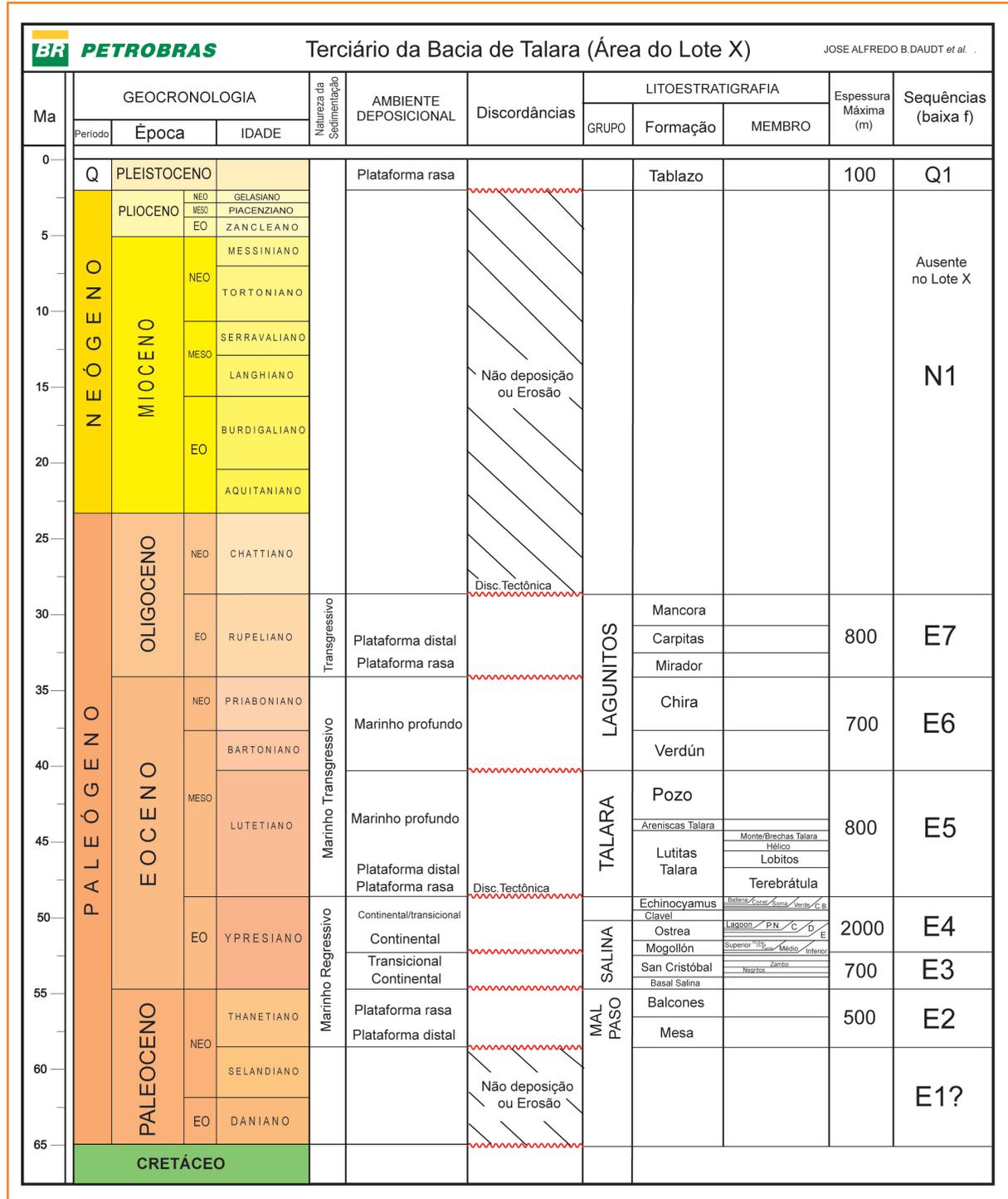
seqüências deposicionais para o intervalo cenozoico, que pode ser visualizado na figura 5. Foram interpretadas nove seqüências de baixa frequência (E1 a Q1), algumas delas sendo compostas por várias seqüências de alta frequência (o detalhamento das seqüências E2 a E7 pode ser visto na figura 6). Um ponto merece ser enfatizado: duas discordâncias reconhecidas – topo da seqüência E4 e topo da seqüência E7 – têm sua

Figura 5

Coluna simplificada da seção cenozoica da Bacia de Talara na área do Lote X, caracterizando as seqüências deposicionais interpretadas (identificadas de E1 a Q1). Os períodos de não deposição ou erosão e os valores de espessuras máximas são relativos especificamente ao Lote X.

Figure 5

Simplified lithostratigraphic column of cenozoic section in the Talara Basin in Block X area, characterizing the interval's depositional sequences (named from E1 to Q1). The thicknesses correspond to maximum values registered in Block X.



LITOESTRATIGRAFIA			Espessura Máxima (m)	Sequências (baixa f)	Sequências (alta f)	Observações		
GRUPO	Formação	MEMBRO						
LAGUNITOS	Mancora		150	E7	TNA	E7		
	Carpitas				TT			
	Mirador				TNB			
	Chira		300	E6	TNA	E6.2		
	Verdún				TT			
				TNB	E6.1			
TALARA	Pozo		800	E5	TNA	E5.5		
	Areniscas Talara	Monte/Brechas Talara			TT	E5.4		
		Hélico				E5.3		
	Lutitas Talara	Lobitos				E5.2		
		Terebrátula				TNB	E5.1	
	Echinocyamus	Ballena / Const. / Soma / Verde / C.B.						E4.4
	Clavel					TNA	E4.3	
SALINA	Ostrea	Lagoon / P.N. / C. / D. / E.	2000	E4	TNA	E4.2		
	Mogollón	Superior / Médio / Inferior			TRF/TNB	E4.1		
	San Cristóbal	Zambo	1000	E3	TNA	E3.2		
		Negritos			TT	E3.1		
	Basal Salina				TRF/TNB	E3.1		
MAL PASO	Balcones		800	E2	TRF/TNB	E2		
	Mesa					?		

Figura 6

Detalhe das sequências de baixa frequência E2 a E7 e suas subdivisões em sequências de alta frequência.

Figure 6

Detail of the lower frequency sequences E2 to E7 and their subdivisions into higher frequency sequences.

gênese diretamente associada a eventos tectônicos andinos (exemplos em Pardo-Casas e Molnar, 1987; Pindell e Tabutt, 1995), enquanto as demais são resultado de combinações entre aporte sedimentar, subsidência e variações do nível eustático. A discordância do topo da sequência E4 corresponde, aproximadamente, aos eventos distensivos que provocaram a termo-subsidência de Talara e consequente aprofundamento da zona do Lote X. A discordância do topo da sequência E7 é gerada a partir de um soerguimento da região de Talara e migração do depocentro para a Bacia de Tumbes-Progresso. Este evento deve ter sido coincidente com a orogênese Aymara (Pindell e Tabutt, 1995), que ocorreu no Tortoniano. É provável que grande parte da sedimentação correspondente ao Mioceno Inferior/Médio, se ocorreu no Lote X, tenha sido erodida pelo referido evento no Tortoniano e depositada em áreas *offshore* ao lote.

sequência de baixa frequência E1

Como não foram encontradas referências sobre o tema, a existência de uma sequência na base do

Paleoceno (idades Daniano e Selandiano) é especulativa (não ocorre no Lote X, mas pode acontecer em outras áreas da bacia). Parte da incerteza reside na pouca representatividade das análises bioestratigráficas disponíveis, o que dificulta a composição de um arcabouço cronoestratigráfico.

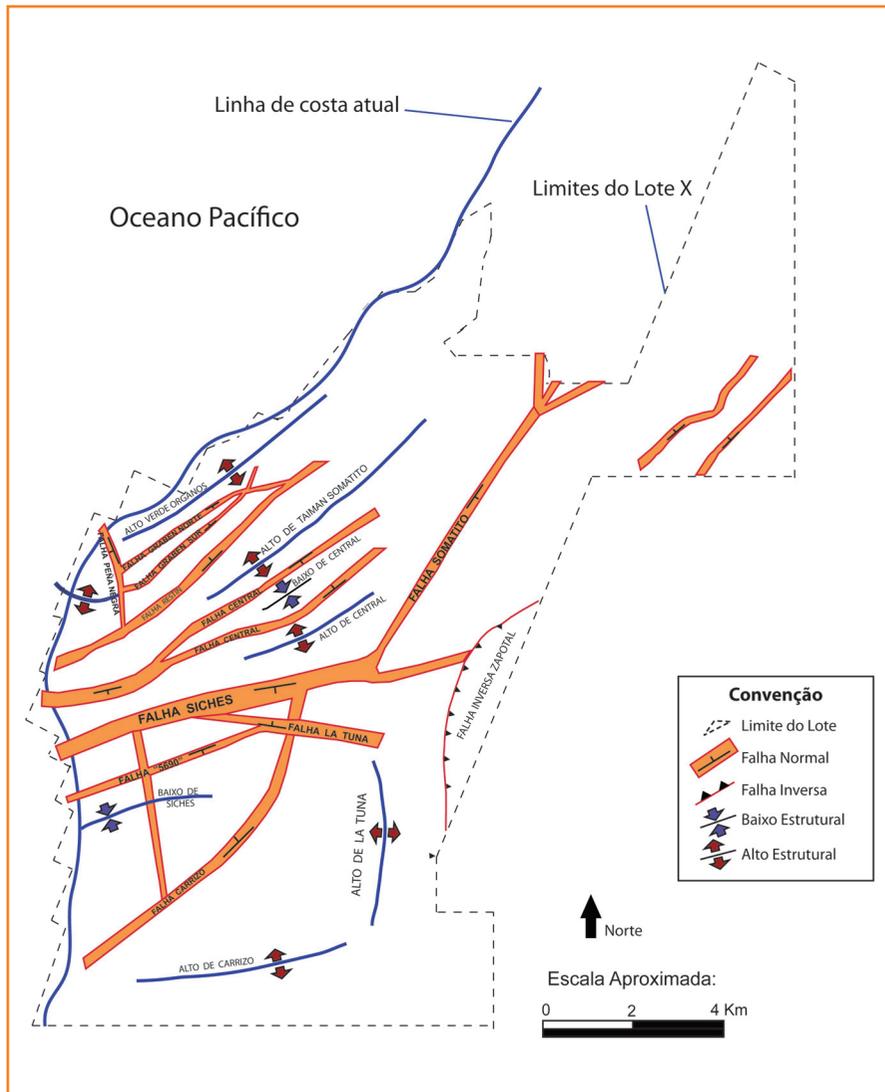
sequência de baixa frequência E2

A sequência E2 marca o início do registro cenozoico na área do Lote X, com sedimentos paleocênicos que ficam restritos à área noroeste do Lote X, atingindo espessuras na ordem de 500m. Com base nos poços perfurados na zona costeira do Lote X, é possível supor que o aporte sedimentar correspondente ao Grupo Mal Paso tenha seguido a direção regional de sedimentação, em uma posição mais *offshore* em relação à atual linha de costa. Em direção leste, na área do Lote X, a conformação inicial do alto de Verde-Órganos (fig. 7) parece ter servido de um anteparo que evitou qualquer deposição mais significativa de eventuais fácies laterais ao eixo deposicional principal, uma vez que o Grupo Mal Paso apresenta-se

em *onlap* contra o alto mencionado. Pozo (1988), através de um estudo por foraminíferos, identifica que ambas as unidades foram depositadas em ambiente marinho. O autor também caracteriza que a Formação Mesa é composta por arenitos e arenitos conglomeráticos depositados em batimetrias maiores que 200m (nerítico distal), enquanto a Formação Balcones é representada por folhelhos depositados em ambiente de plataforma rasa (batimetria menor que 200m, nerítico proximal). Estratigraficamente, a interpretação do *onlap* destas unidades contra um paleoalto incipiente sugere a existência de um limite de sequência abaixo destes depósitos com a subsequente sedimentação de TRF/TNB, colocando a unidade Balcones como parte final do TNB, quando ainda ocorre uma progradação dos sistemas deposicionais. A escassez de dados não permite considerações mais detalhadas.

Figura 7
Mapa estrutural aproximadamente ao topo da sequência E3, mostrando os principais elementos estruturais do Lote X.

Figure 7
Structural map approximately on top of the E3 sequence showing the main structural elements in Block X.



sequência de baixa frequência E3

A sequência E3 tem espessura máxima de 700m no Lote X. Inicia com depósitos fluviais grossos e de geometria canalizada, típicos de vales incisos referidos como Formação Basal Salina (fig. 8), provavelmente depositados durante estágios de TRF ou TNB. A geometria dos depósitos desta unidade no Lote X sugere que a direção da sedimentação se dá no sentido leste-oeste. A unidade é gradualmente transgredida pelo sistema marinho da Formação São Cristobal até o ponto da máxima inundação (Membro Zambo, Pozo, 2002). O intervalo seguinte, claramente progradante e regressivo, compreende os depósitos marinhos plataformais de regime de nível alto da parte superior da Formação San Cristobal, o qual aflora nas cercanias do povoado de Negritos (Daudt, 2007a). A seção estudada corresponde a um intervalo de intensa progradação durante um regime de nível alto, compondo ciclos que, provavelmente, correspondem a eventos de quarta ordem (fig. 9). Um desses ciclos menores foi considerado como candidato a uma sequência de alta frequência no intervalo TNA da sequência E3. Dessa forma, a sequência E3 seria composta pelas sequências de alta frequência E3.1 e E3.2 (fig. 6).

sequência de baixa frequência E4

A sequência E4, cujas espessuras máximas no Lote X atingem valores na ordem de 2.000m, marca o aparecimento dos depósitos flúvio-deltaicos da Formação Mogollón, que se depositaram segundo eixos principais nordeste-sudoeste (Carozzi e Palomino, 1993) com localizadas entradas de orientação leste-oeste (Seranne, 1987; fig. 10), com parte dos sedimentos sendo depositados durante um TRF e parte, durante um TNB. Depois de um curto intervalo transgressivo, a sequência E4 culmina com depósitos de TNA correspondentes as Formações Ostrea, Clavel e Echinocyamus. Para o mesmo intervalo de tempo de deposição da unidade Ostrea, na porção sul da bacia, são encontrados sedimentos finos referidos como Formação Pale Greda, provável sedimentação distal ao sistema arenoso da Formação Ostrea.

Nos afloramentos, a seção proximal da Formação Mogollón está bem caracterizada nos afloramentos de Quebrada Mogollón (33km do Lote X), Quebrada El Salado (28km do Lote X), Quebrada Viejo (30km do Lote X) e Quebrada Angustura (35km do Lote X). Na Quebrada Angustura, são encontrados depósitos do tipo leques aluviais e fluviais do tipo entrelaçados

compostos por multieventos (fig. 11). A distribuição dessa unidade na área sugere um aporte leste-oeste, contrastando com o modelo regional proposto por Carozzi e Palomino (1993). Bons afloramentos da Formação Ostrea são encontrados nas quebradas Mogollón e El Salado.

Considerando a alta frequência, a unidade Mogollón Inferior mostra padrões agradacionais dentro de uma tendência geral transgressiva (Daudt *et al.*, 2001), constituindo a sequência de alta frequência E4.1. Os espessos pacotes de folhelhos de Mogollón Médio, que são encontrados nas áreas de Taiman, Peña Negra e Reventones, foram interpretados como correspondentes a uma inundação regional da sequência E4.1. Em direção leste, a correlação destes folhelhos torna-se mais difícil porque diminui o potencial de preservação da unidade. Sobre Mogollón Médio, ocorre a deposição de arenitos e conglomerados do Membro Fuente, candidato a um limite de sequência de alta frequência (Sequência E4.2), cuja inundação ocorre, aproximadamente, ao nível do marcador Ostrea e da Formação Ostrea. Um espesso pacote de sedimentos plataformais com evidências de ação de onda e localmente com ação de maré constitui o TNA da sequência E4.2. A tendência prográdacional do intervalo TNA da sequência E4.2 resulta no surgimento de depósitos praias do Membro Peña Negra, que apresentam reduzida influência de maré (Maya *et al.*, 2009). Estes depósitos são conhecidos como Formação Pariñas Inferior (Leyva, 1983), na área centro-sul

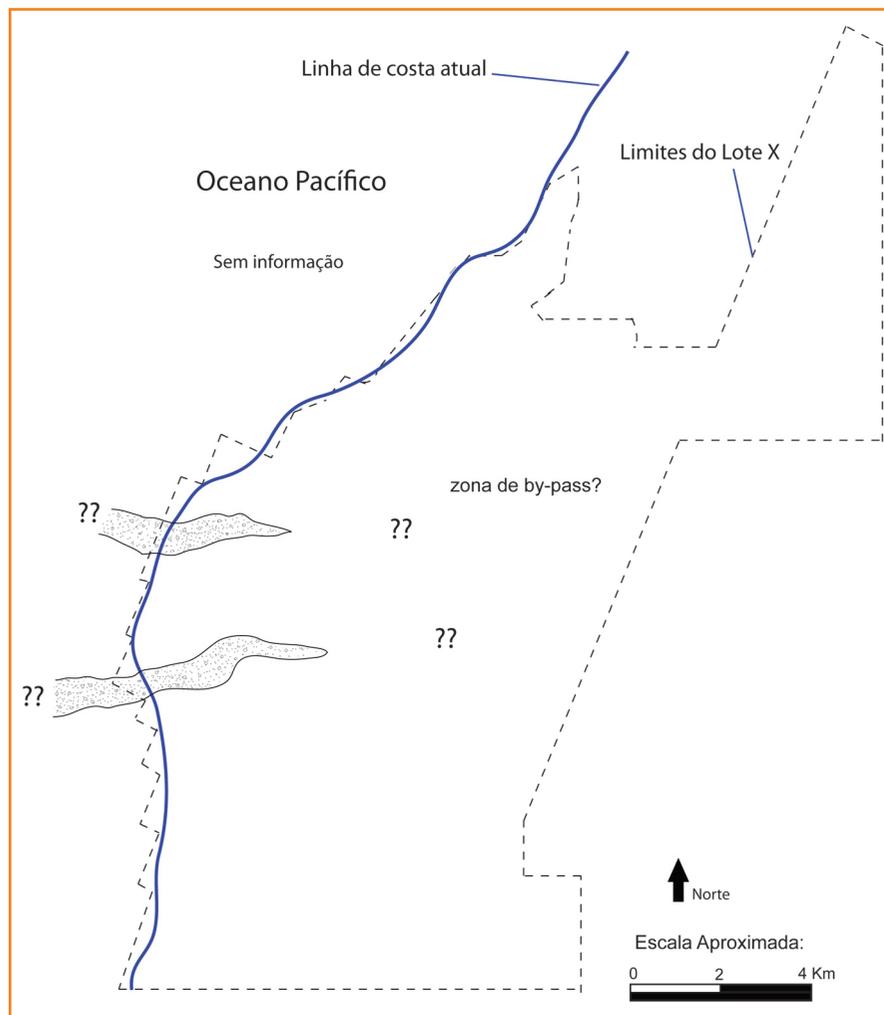


Figura 8

Mapa de distribuição da unidade Basal Salina no Lote X. Apesar da pouca informação, a geometria externa sugere depósitos do tipo vale inciso com aporte do leste.

Figure 8

Map of the Basal Salina distribution in Block X area. Although with very limited information, the external geometry suggests incised valley-type deposits with eastward input.



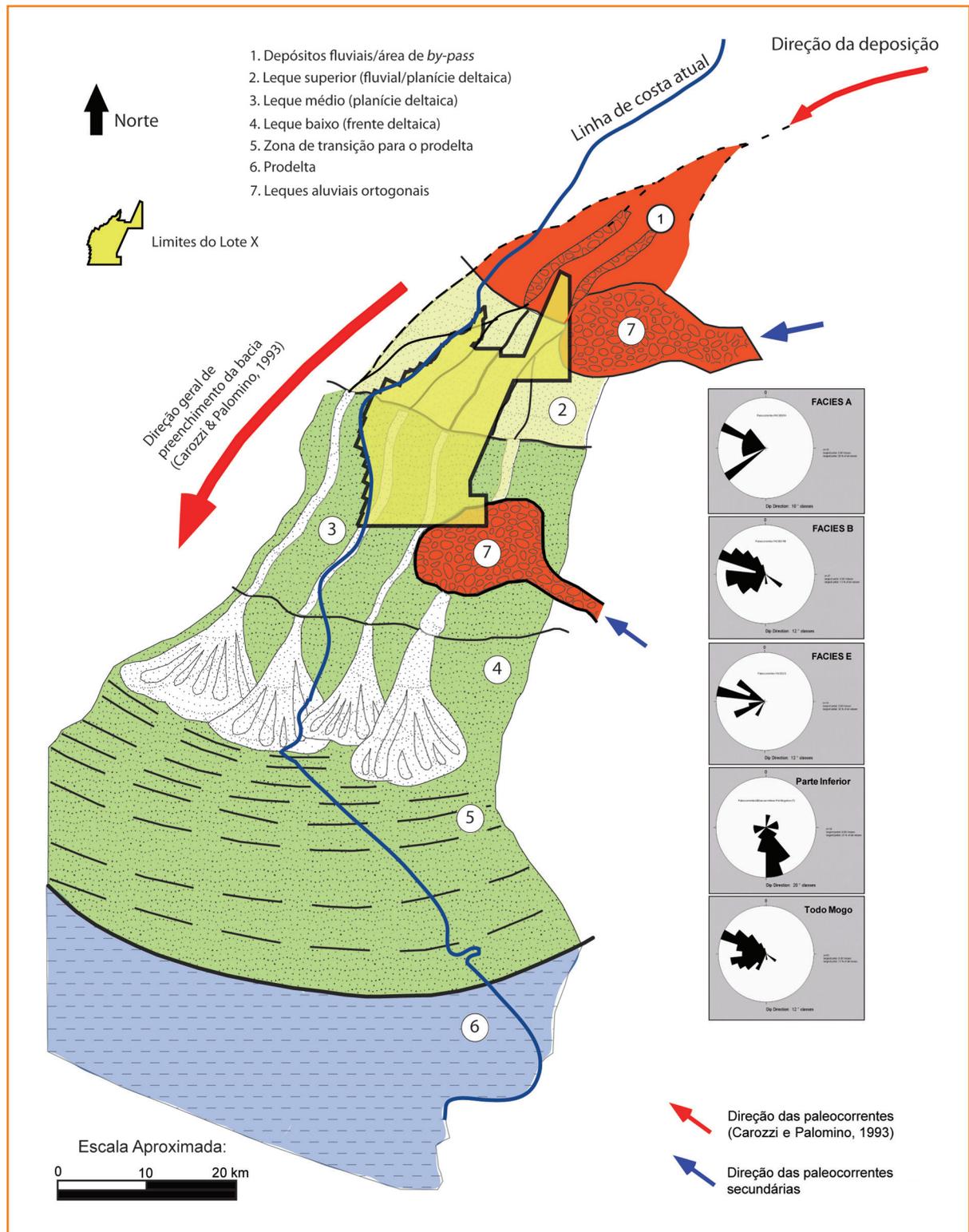
Figura 9 – Afloramento Punta Negritos, Formação San Cristóbal, mostrando uma impressionante ciclicidade de alta frequência, resultado da intensa progradação durante um período de nível de base alto.

Figure 9 – Punta Negritos outcrop, San Cristóbal Formation, showing impressive high frequency cyclicality resulted from an intense progradation during a high base level period.

Figura 10

Modelo deposicional ao tempo da deposição da Formação Mogollón (modificado de Carozzi e Palomino, 1993). Aportes secundários, ortogonais ao eixo deposicional principal da bacia, foram reconhecidos por Seranne (1987). Medidas de paleocorrentes nas diferentes fácies identificadas nos leques aluviais proximais também estão indicadas nessa figura.

Figure 10
Depositional model of the Mogollón Formation (modified from Carozzi e Palomino, 1993). Secondary inputs, orthogonal to the main depositional axis, were recognized by Seranne (1987). Paleocurrent measures in different facies within alluvial fans are also indicated in this figure.



da bacia. Esse mesmo intervalo estratigráfico torna-se muito mais argiloso em direção ao sul da bacia, nas proximidades das acumulações de Lobitos e Jabonilla, sendo reconhecidos como Formação Pale Greda. O intervalo Mogollón-Ostrea-Pale Greda, como um todo, é denominado de ciclo Salina-Pale Greda por González

(1973). Na área do Lote X, não se costuma fazer referência à unidade Pale Greda, exatamente devido a essa complexidade estratigráfica de escala regional.

González (1973) foi o primeiro a caracterizar a discordância no topo do ciclo Mogollón-Ostrea-Pale Greda, que representa o início do ciclo Chacra,



Figura 11 – Fotomosaico do afloramento Quebrada Angustura, Formação Mogollón. Observar os corpos de geometria lenticular representando canais multiepisódicos com extremo caráter erosivo, resultando em amalgamação de ciclos de diferentes portes.

Figure 11 – Angustura Outcrop, Mogollón Formation. Observe the lenticular geometry representing multi-episodic channels with extreme erosive behavior, which results in multi-scale amalgamation.

composto por depósitos marinhos marginais da Formação Clavel (a norte da bacia, área do Lote X), que se tornam mais profundos em direção ao sul (denominados de Formação Chivo) e marcam o início da sequência de alta frequência E4.3. Ainda na porção sul da bacia, depósitos arenosos flúvio-deltaicos da Formação Pariñas são encontrados sotopostos aos folhelhos da Formação Chivo, sendo aproximadamente cronocorrelatos aos folhelhos e siltitos da Formação Clavel a norte. Interpreta-se que o aporte sedimentar Pariñas tenha ocorrido no sentido leste para oeste, perpendicular ao eixo principal da bacia.

Após um pequeno intervalo transgressivo, normalmente localizado dentro da própria unidade Clavel, encontra-se o intervalo de TNA da E4.3, abrangendo os arenitos deltaicos da parte inferior da Formação Echinocyamus (Daudt e Scherer, 2006; Daudt, 2009). Esse intervalo deltaico é interrompido pelos arenitos e conglomerados fluviiais da unidade Echinocyamus, de aporte sedimentar proveniente do leste (fig. 12), caracterizando um novo limite de sequência de alta frequência, base da sequência E4.4. Somente uma pequena parte do TNA da sequência E4.4 ficou preservada, devido ao evento tectônico regional que é interpretado no topo da Formação Echinocyamus, gerando um novo limite de sequência com uma forte conotação tectônica na sua gênese. Um excelente afloramento correspondente à Formação Echinocyamus é o da localidade Cabo Blanco, onde é possível encontrar depósitos fluvio-deltaicos compostos por arenitos grossos intercalados com siltitos e arenitos finos com intensa bioturbação (fig. 13).

A variabilidade do sistema Clavel-Echinocyamus no sentido norte-sul poderia ser o reflexo de eventos de basculamento que causariam mudanças laterais na acomodação, facilitando o estabelecimento de um ou outro sistema deposicional. É possível que um destes

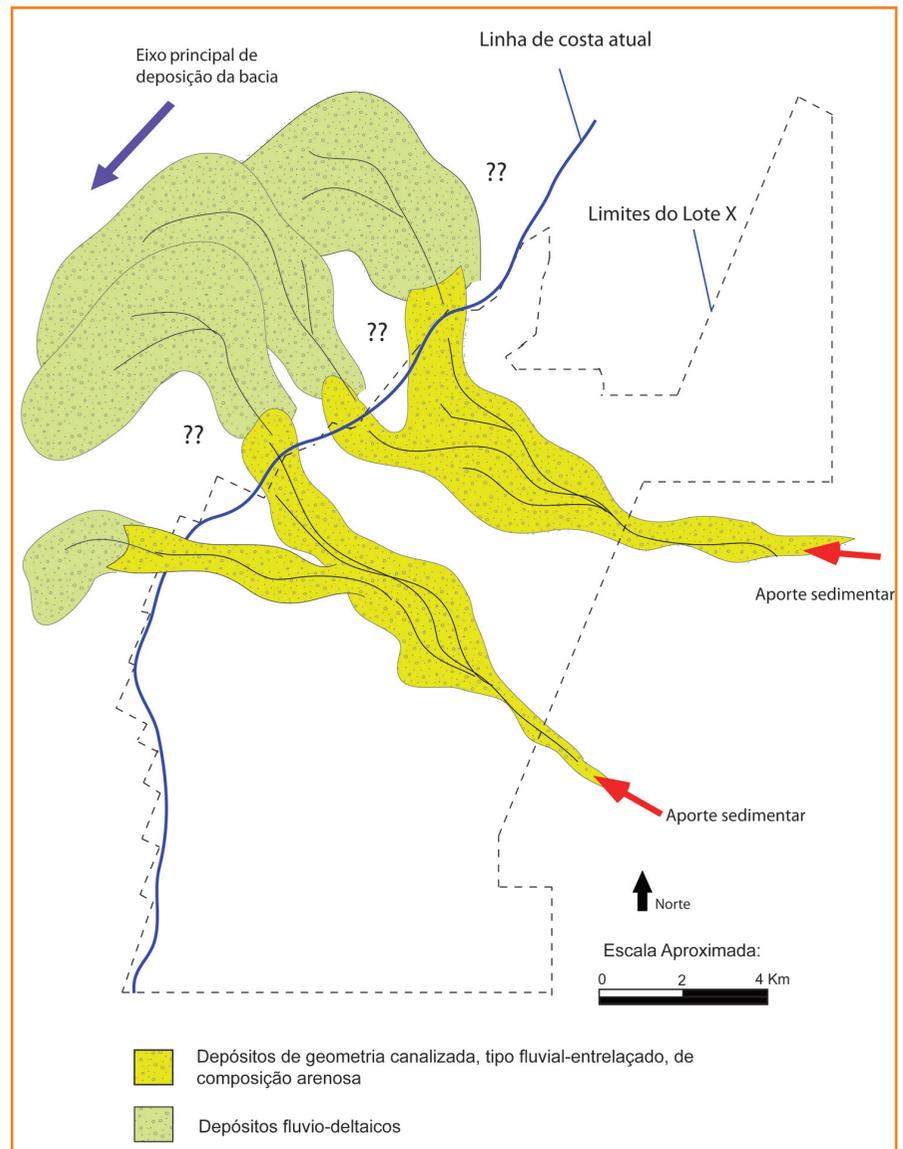


Figura 12 – Modelo deposicional da seção fluvial da Formação Echinocyamus na área do Lote X (modificado de Daudt e Scherer, 2006).

Figure 12 – Depositional model for the fluvial interval of the Echinocyamus Formation in Block X area (modified from Daudt and Scherer, 2006).



Figura 13

Afloramento El Nuro, Formação Echinocyamus. Cerca de 80m de exposição de depósitos fluvio-deltaicos compostos por ciclos que, individualmente, não ultrapassam a 3m de espessura. Alguns níveis intensamente bioturbados também estão presentes.

Figure 13

El Nuro Outcrop, Echinocyamus Formation. Around 80m of rock are exposed. The reservoirs are fluvio-deltaic compounded by individual cycles up to 3m thick. Some levels show intense bioturbation.

basculamentos tenha provocado um soerguimento mais intenso na parte norte na região do Lote X, causando erosão e o surgimento da discordância ao topo da Formação Echinocyamus.

sequência de baixa frequência E5

A sequência E5 é representada pela sedimentação do ciclo Talara, que inicia com depósitos litorâneos rasos das unidades Terebrátula e Basal Quemada. A intensificação da subsidência tectônica provoca um aprofundamento significativo com rápido incremento da acomodação, sem que os sistemas sedimentares logrem acompanhar este processo. Como resultado, a sequência E5 é predominantemente composta por folhelhos com esporádicos eventos turbidíticos, correspondentes aos membros Hélico e Areniscas Talara, além dos depósitos gravitacionais da unidade Brechas Talara. Todos são interpretados como pertencentes a sequências de alta frequência. Como consequência desse arranjo, a sequência E5 ficou composta por cinco sequências de alta frequência, denominadas E5.1 a E5.5 (fig. 6).

A ocorrência de turbiditos no Lote X inicia com sistemas fortemente canalizados, de orientação predominantemente leste-oeste, com composição areno-conglomerática, conhecidos como Membro Hélico (fig. 14). Nos afloramentos, foram reconhecidos corpos com geometrias externas lenticulares, de dimensão métrica, que representam depósitos originados a partir de correntes de turbidez de alta densidade em posição axial ao aporte. Corpos de geometria mais tabular, de menor expressão vertical,

provavelmente representem zonas deposicionais fora do eixo principal de deposição (fig. 15).

Outros sistemas marinhos profundos, do Grupo Talara, incluem as Brechas Talara e as Areniscas Talara. A unidade Brechas Talara está composta por depósitos desorganizados, resultados de processos gravitacionais do tipo *slumps*, característicos de regiões de talude ou sopé de talude (Picarelli *et al.*, 2003; Fildani *et al.*, 2005; figs. 16 e 17). A origem destes depósitos, únicos na coluna de Talara, está relacionada a movimentos tectônicos de curta duração, que provocaram o colapso de partes da plataforma. Estão distribuídos de forma muito localizada no Lote X, nas áreas de Zapotal, Merina e parte de La Tuna. Seranne (1987) interpreta essa seção como resultado de erosão de áreas altas, geradas pelas estruturas inversas ocorridas na zona de costa durante o Eoceno Médio.

A unidade Areniscas Talara representa um sistema turbidítico típico de transição lobo-canal, com alguma amalgamação de depósitos predominantemente arenosos. Boas exposições de intervalos típicos da sequência de Bouma são encontradas no afloramento de Quebrada Oveja (fig. 18). A direção de aporte, nesse caso, parece ser mais orientada nordeste-sudoeste.

sequência de baixa frequência E6

A sequência E6 se inicia com a discordância erosiva da base da Formação Verdún, início do TNB que compõe a mesma. A unidade está caracterizada por depósitos turbidíticos areno-conglomeráticos, cuja direção principal de aporte é norte-nordeste para sul, na área de Laguna e nordeste para sudoeste, na área de Carrizo

(Picarelli *et al.*, 2001; Picarelli *et al.*, 2003; Daudt *et al.*, 2004; Daudt, 2005, fig. 19). Em Laguna, o primeiro pulso de sedimentação parece ter sido causado pela reativação do sistema de falhas Somatito, disparando fluxos de detritos lamosos ortogonalmente à direção principal de aporte (Daudt, 2004). Conseqüentemente, a deposição dos sedimentos carregados pelos fluxos turbídicos subsequentes foi parcialmente controlada por este sistema de falhas. Para o mesmo intervalo de tempo, na parte sul do Lote X, os fluxos turbídicos tiveram uma deflexão para a direção sudoeste, provavelmente com algum controle tectônico.

Os pacotes de folhelho marinho profundo, que são encontrados acima da Formação Verdún, são denominados de Formação Chira. Estes folhelhos representam um intervalo significativo de TT/TNA, onde, em algum ponto, está situada a superfície de inundação máxima para a seqüência de baixa frequência. Arenitos isolados na parte superior da seção podem ser interpretados como depósitos de TNA da seqüência E6.

Com relação à composição do arcabouço de alta frequência, a unidade Verdún foi subdividida em dois ciclos principais: Verdún Inferior e Verdún Superior (Picarelli *et al.*, 2003; Daudt *et al.*, 2003.), constituindo, respectivamente, as seqüências E6.1 e E6.2 (fig. 20). Cada uma dessas seqüências mostra uma arquitetura interna diferenciada: a inferior mostra predomínio de canais amalgamados, resultados da deposição a partir de fluxos turbídicos de alta densidade e, ocasionalmente, fluxos de detritos lamosos; a segunda mostra uma arquitetura de canais mais amplos, com frequentes depósitos heterolíticos, típicos de um sistema de canal-*levee*.

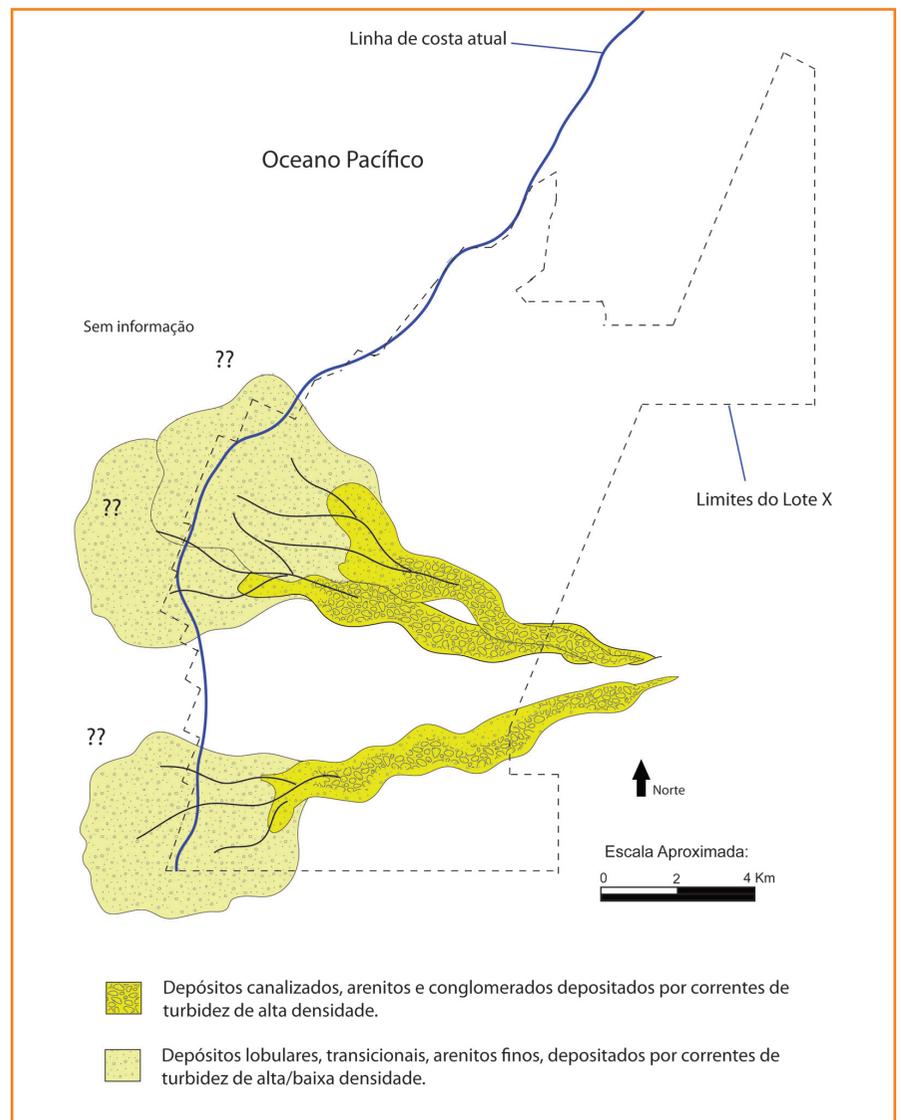


Figura 14
Modelo esquemático da distribuição espacial do Membro Hélico na área do Lote X.

Figure 14
Schematic model of the Hélico Member in Block X area.

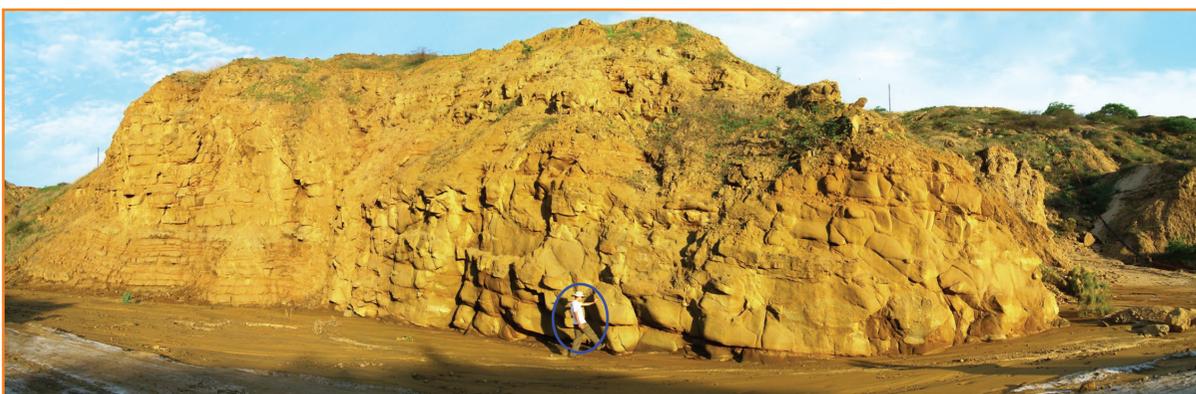


Figura 15 – Fotomosaico do afloramento a sul da Quebrada Taiman, Membro Hélico, Formação Lutitas Talara. Observar as geometrias externas lenticulares na porção central do afloramento, onde os corpos sedimentares atingem a dimensão métrica. No lado direito, a aparência externa sugere depósitos deslocados do eixo principal de deposição, em multieventos de dimensão centimétrica a métrica.

Figure 15 – Outcrop located south of the Quebrada Taiman, Hélico Member, Lutitas Talara Formation. Note lenticular external geometries in the outcrop central portion where the sedimentary bodies are metric-scale thick. On the right side, the external pattern suggests presence of out-of-axis deposits, in multi-events metric to centimetric thick.

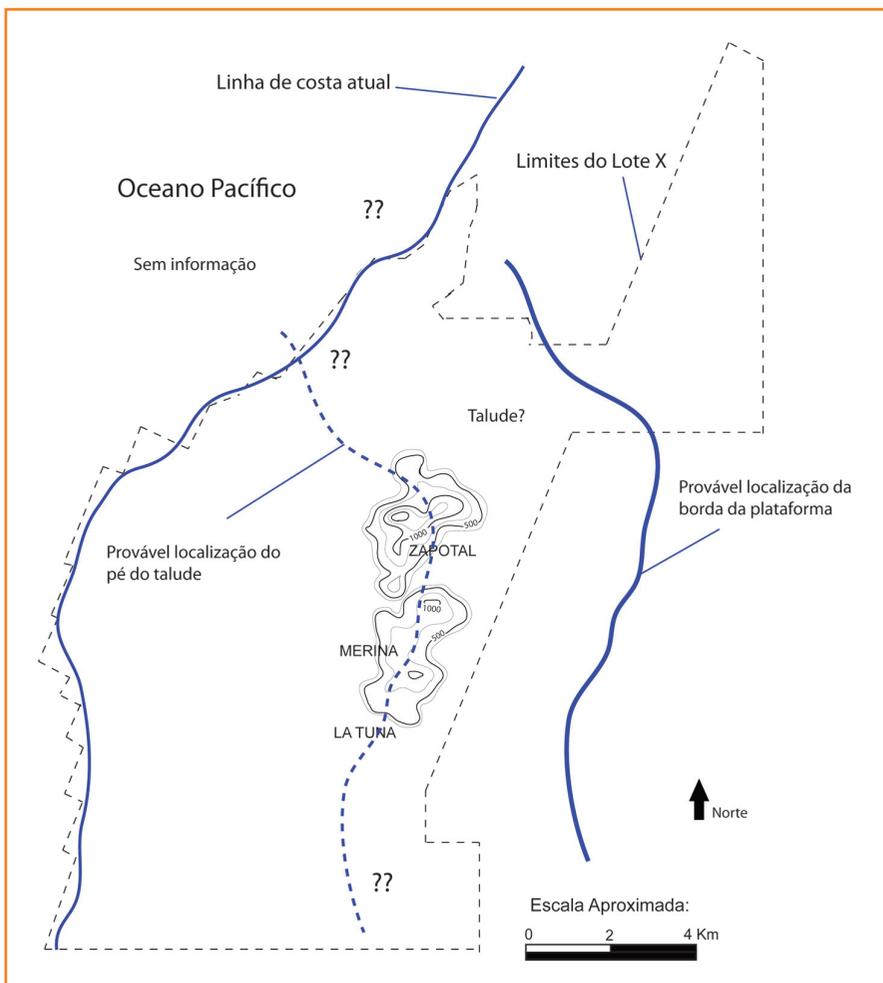


Figura 16
Modelo deposicional da unidade Brechas Talara na área do Lote X. As Brechas Talara representam depósitos gerados por processos gravitacionais do tipo *slump*, que caracterizam zonas de talude (modificado de Picarelli et al., 2003; Fildani et al., 2005).

Figure 16
Depositional model of the Brechas Talara unit in Block X area. The Brechas Talara represents deposits generated from slump-type gravitational flows that are typical of a slope context (modified from Picarelli et al., 2003; Fildani et al., 2005).



Figura 17 – Afloramento Quebrada Oveja, unidade Brechas Talara. Observar as imensas estruturas de *slump* que indicam proximidade do talude.

Figure 17 – Quebrada Oveja Outcrop, Brechas Talara unit. Note the large slump structures that are typical of a slope zone.

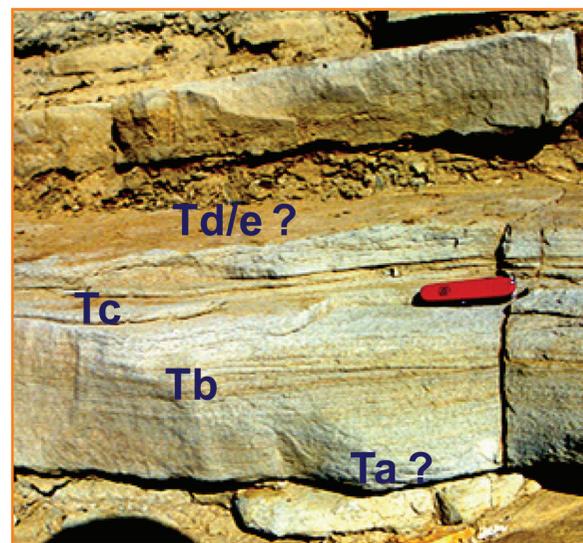


Figura 18 – Afloramento Quebrada Oveja, unidade Areniscas Talara, com boa preservação dos intervalos Tb, Tc e Td/e da Sequência de Bouma.

Figure 18 – Quebrada Oveja Outcrop, Areniscas Talara unit, with good preservation of Tb, Tc and Td/e of Bouma Sequence.

A Formação Verdún aflora nas proximidades do Lote X, nas áreas de Lobitos, Mancora e no próprio lote, na área de Carrizo. Um excelente exemplo de afloramento pode ser visto na figura 21. Nesse afloramento, é possível interpretar a evolução de um fluxo turbidítico de alta densidade desde a sua fase inicial, com predomínio de estruturas de tração e sedimentos conglomeráticos até seu estágio de deposição por suspensão, onde espetaculares estruturas de escape de fluidos são encontradas.

sequência de baixa frequência E7

A sequência E7 se inicia com uma importante discordância que marca uma significativa mudança no paleoambiente. Condições transicionais marinho raso são estabelecidas com a deposição dos arenitos grossos a médios da Formação Mirador, os quais contrastam com o ambiente marinho profundo da unidade subjacente: os folhelhos da Formação Chira. A unidade Carpitás mostra um aprofundamento gradual do sistema que corresponde a um TT/TNA, finalizando a sequência E7 com um TNA correspondente à Formação Mancora. Essa última unidade, ao contrário do que se esperaria para um TNA, mostra uma baixa razão arenito/folhelho, denotando um estágio de bacia faminta.

Ao norte do Lote X, na localidade de Mancora, se encontra um dos poucos afloramentos da Formação

Mirador, expondo cerca de 300m de rocha (fig. 22). A base do afloramento mostra sedimentação continental, que vai se transformando gradualmente em marinho raso, com variável influência de maré e bioturbação. O intervalo termina com espessos pacotes de folhelhos de borda de plataforma, provável início do intervalo TT, preconizando o aprofundamento maior que ocorre durante a deposição da Formação Carpitás.

sequência de baixa frequência N1

O intervalo correspondente à sequência N1 não foi reconhecido no Lote X. Entretanto, sabe-se que na Bacia de Tumbes-Progresso, situada a noroeste da Bacia de Talara (fig. 2), a pilha sedimentar correspondente à seção miocênica está na ordem de 6.000m (dados da página web da Perupetro), sugerindo uma mudança do depocentro durante essa época. De forma especulativa, supõe-se que, no Mioceno, algum volume de sedimento possa ter sido depositado em zonas *offshore* de Talara, nas proximidades da fossa tectônica.

sequência de baixa frequência Q1

A sequência Q1 está representada por depósitos marinhos rasos, que registram os últimos eventos transgressivos ocorridos no Pleistoceno. Constituem uma fisiografia escalonada na forma de três terraços, denominados de Tablazo Mancora, Tablazo Talara e Tablazo Lobitos (Bosworth, 1922; Zúñiga e Rivero, 1998). Litologicamente, são arenitos finos a grossos, muito friáveis, ricos em bioclásticos, principalmente gasterópodos, lamelibrânquios e pelecípodos (Torres, 2009). Fácies conglomeráticas são encontradas no Tablazo Lobitos e, de um modo geral, observa-se uma forte ação de maré nas frações mais finas em todas as três unidades. Em quase 70% da área do Lote X, os sedimentos do Paleógeno e possíveis sedimentos do Neógeno estão cobertos por quase 100m de depósitos, correspondentes à Formação Tablazo.

compartimentalização estrutural do Lote X

Em termos regionais, a Bacia de Talara apresenta quatro altos estruturais importantes, definidos, aparentemente, por extensos sistemas de falhas normais que

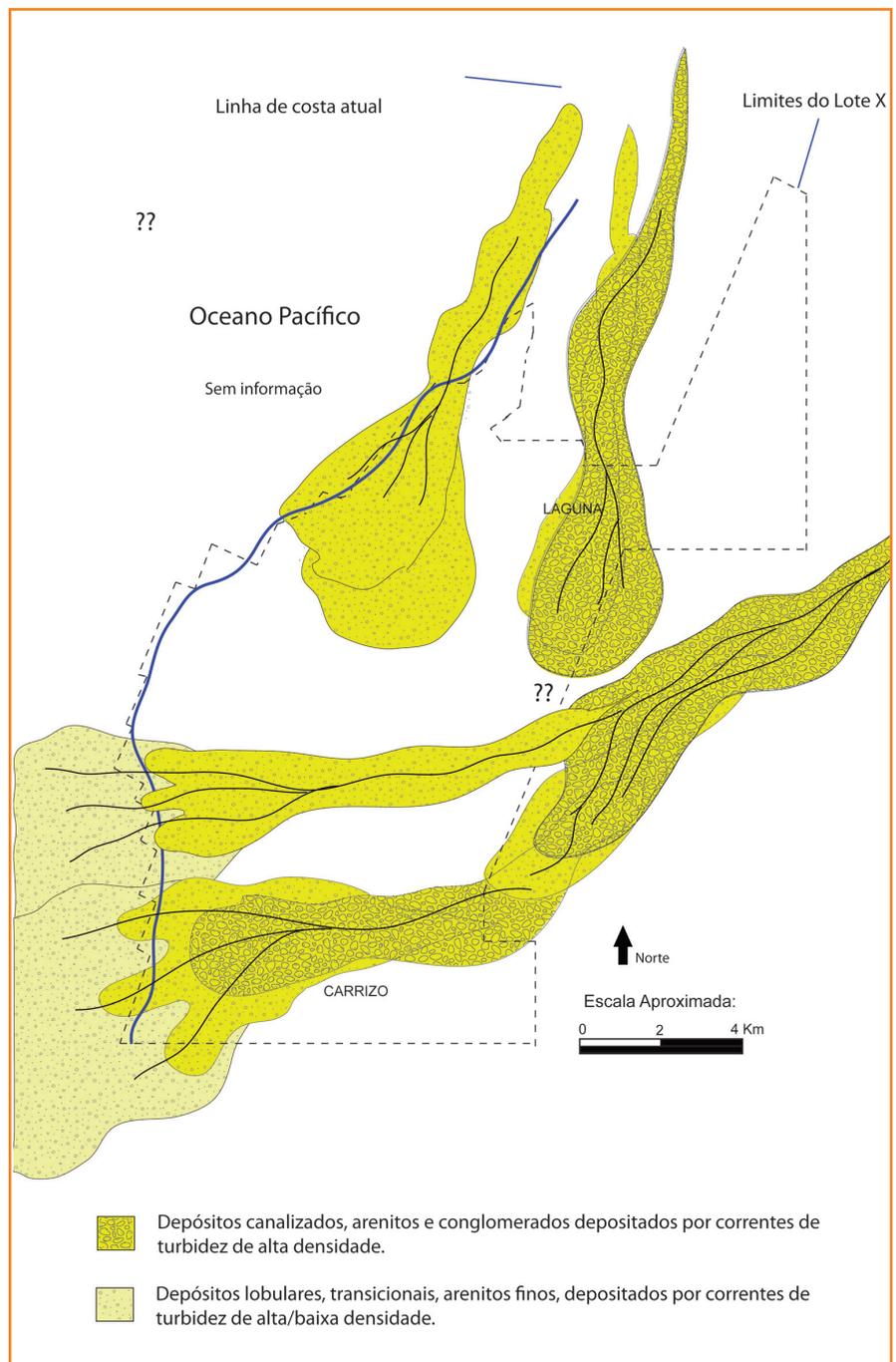


Figura 19
Mapa esquemático da distribuição dos reservatórios da Formação Verdún na área do Lote X.

Figure 19
Schematic map of the distribution of the Verdun reservoirs in the Block X area.

eventualmente são interceptados por falhas menores de orientação ortogonal (Seranne, 1987). Em uma imagem de satélite, a figura 23 mostra os lineamentos mais importantes que conformam estas áreas altas, locais onde a produção de petróleo é mais significativa. Os lineamentos reconhecidos nessa figura, alguns deles representando pequenas cordilheiras oceânicas na porção marinha e zonas de fraturas e falhas no continente, têm direção principal sudoeste-nordeste, sofrendo influência da direção oblíqua de subducção da Placa de Nazca sob a crosta sulamericana.

Figura 20

Exemplo de perfil elétrico no intervalo correspondente à Formação Verdún no campo de Laguna, com a definição dos dois limites de sequência de alta frequência (base do intervalo Verdún Inferior e base de Verdún Superior). Figura modificada de Daudt (2004).

Figure 20

Example of electrical log in the Verdun Formation in the Laguna Field, with the definition of two high-frequency sequence boundaries (base of Lower Verdun and base of Upper Verdun). Figure modified from Daudt (2004).

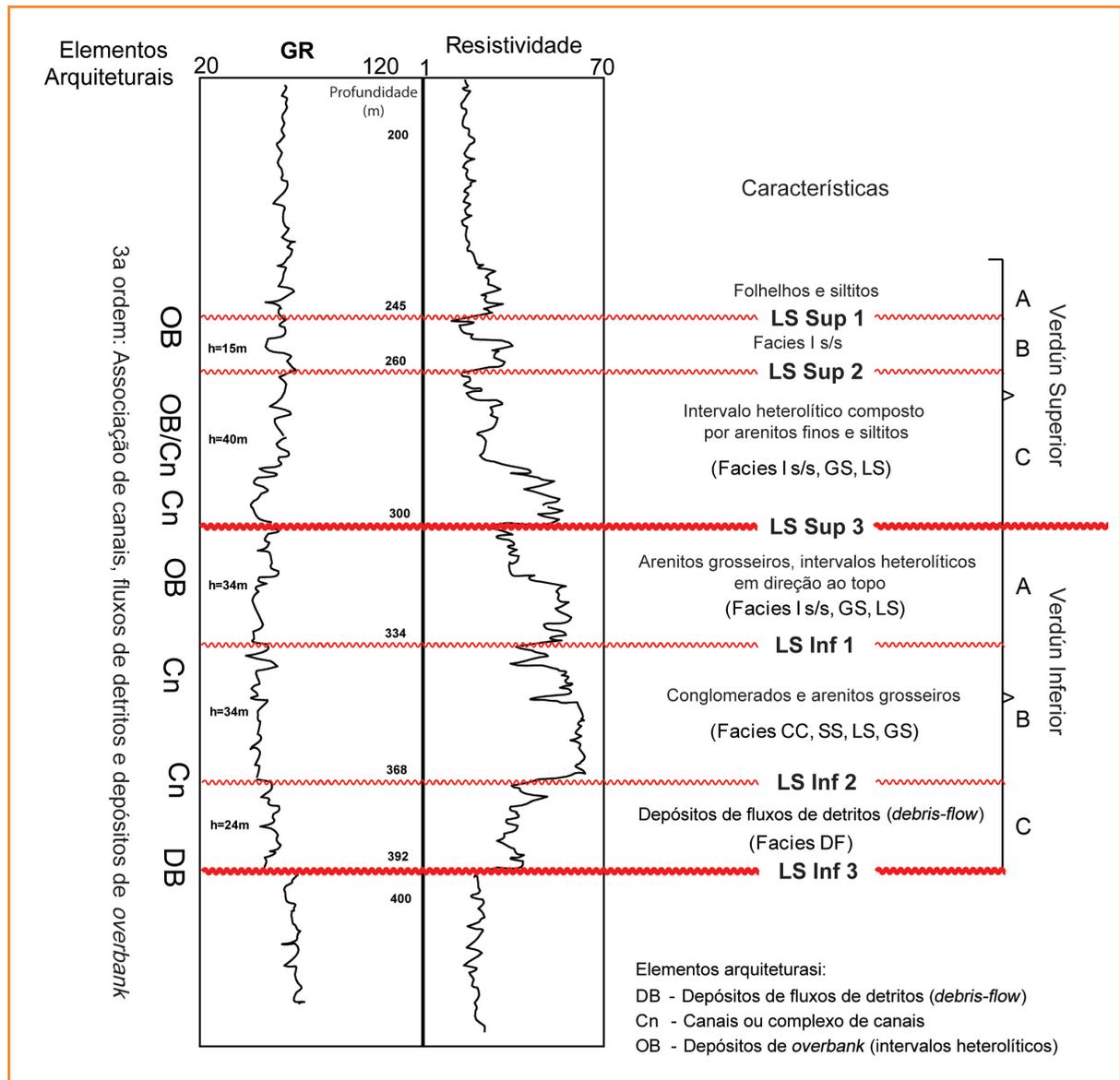
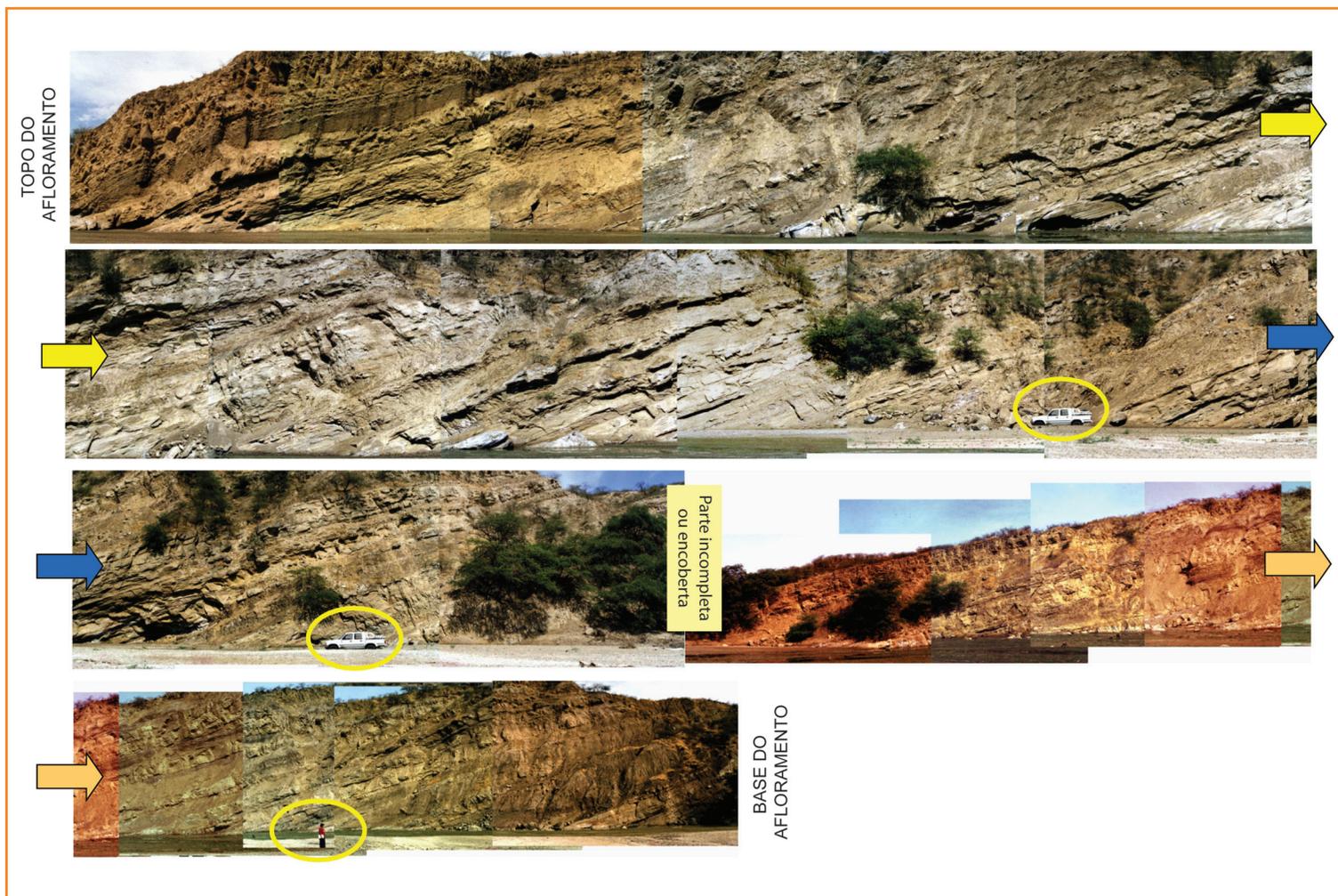


Figura 21 – Afloramento da Formação Verdún, localidade de Lobitos. A parte inferior mostra estruturas de tração em conglomerados, correspondendo ao intervalo S1 de Lowe (1982). O intervalo superior mostra estruturas de escape de fluidos em uma seção mais arenosa, sugerindo uma rápida deposição por suspensão. Um evento de *by-pass* pode ser inferido à altura da linha pontilhada, uma vez que o intervalo arenoso com estrutura de tração e/ou carpete de tração está ausente nesse afloramento (Daudt, 2004).

Figure 21 – Verdun Formation, outcrop located in the Lobitos area. The lower part shows traction structures in conglomerates, corresponding to the S1 interval of Lowe (1982). The upper part shows dewatering structures in a sandier section, suggesting rapid deposition from suspension. A *by-pass* event may be inferred close to the dashed line as the sandy interval with traction and/or carpet traction is absent in this outcrop (Daudt, 2004).



Segundo Tankard (2002), muitos desses lineamentos podem ter um componente de movimento transcorrente, do tipo *strike-slip*. O autor ainda argumenta que essa dinâmica transcorrente, além de ter sido de extrema importância para a formação de algumas bacias da costa peruana, teria compartimentado internamente as mesmas. Os exemplos seriam as bacias de Talara, Tumbes e Lancones, além da formação do Golfo de Guayaquil no Equador. O reconhecimento de blocos rotacionados de forma transtensional seria uma das evidências dos movimentos *strike-slip*. Seranne (1987), em uma excelente revisão sobre a bacia, já havia sugerido essa hipótese para explicar as inversões de mergulho e as variações de rejeito ao longo dessas falhas. O mesmo autor menciona que as falhas maiores e de maior ângulo seriam falhas transcorrentes, relacionadas à Falha Dolores-Guayaquil.

Com relação específica ao Lote X, o estilo de interpretação utilizado até agora mostra um predomínio de tectônica distensiva, baseada em correlações entre as unidades tradicionais, conformando altos e

baixos de diferentes dimensões. As grandes falhas identificadas nesse modelo são as falhas de Somatito, Siches, Restin e Carrizo (ver figura 7), além do sistema de falhas que provoca a repetição de várias unidades na área da costa.

Apesar desse estilo de interpretação ter se perpetuado por vários anos, Tankard (2002) sugere que a construção de um arcabouço estrutural em Talara, com base somente em correlações litológicas, pode não ser suficiente para explicar as fortes variações faciológicas, de espessura e de estratigrafia constantemente reconhecidas. Uma das ferramentas que o autor julga importante na caracterização de um modelo de transcorrência na bacia é a cuidadosa interpretação sísmica. Infelizmente, a sísmica disponível no Lote X ainda não apresenta uma qualidade que permita a realização de tal estudo. Além disso, especificamente na área do Lote X, não é possível a realização de trabalhos de geologia de superfície, uma vez que grande parte da área está coberta por sedimentos pliocênicos da Formação Tablazo.

Figura 22

Afloramento da Formação Mirador, localidade de Quebrada Seca, Mancora. Cerca de 300m de rocha estão expostos neste afloramento, mostrando a passagem gradual de um sistema fluvial para um sistema marinho raso mediano.

Figure 22

Mirador Formation, outcrop located in the Quebrada Seca, Mancora. About 300 meters of section are exposed showing the gradual transition from a fluvial system to a shallow-water marine realm.

Figura 23

Imagem de satélite mostrando as principais estruturas da Bacia de Talara. O Lote X está representado pela área colorida.

Figure 23

Satellite image showing the main structures in the Talara Basin. Block X area is represented by the colored area.



Contudo, foram identificadas feições transpressivas e transtensivas na área de Negritos, cerca de 20km a sul do Lote X. Isto pode ser um indicativo de que uma dinâmica similar possa ter ocorrido também no Lote X, uma vez que estas estruturas representam respostas a uma tectônica regional e não a eventos localizados de pequena magnitude. Definitivamente, no caso de as transcorrências serem mais comuns no Lote X do que se supõe, um novo paradigma estrutural poderia ser criado.

Um dos rasgos estruturais mais impressionantes do Lote X é a discordância tectônica ao topo da Formação Echinocyamus. Este evento ocorreu a aproximadamente 48 Ma (Poza, 2002), sendo coincidente com a mudança no ângulo de convergência entre a Placa de Nazca e a Placa Sulamericana e, também, o início de uma fase distensiva importante (fig. 24). Pardo-Casas e Molnar (1987) sugerem que, após essa

mudança de ângulo, a velocidade de convergência na região do Peru era maior que a observada na costa do Chile ou Equador. Esse efeito pode explicar o rápido aprofundamento observado após esse evento tectônico, registrado através da deposição dos sedimentos de águas profundas do Grupo Talara. Na literatura, esse evento é conhecido como a fase Incaica, descrita por Steinmann (1929). A partir dessas mudanças de ângulo, também se inicia um processo de diminuição da taxa de subsidência, notório para os últimos 15 Ma. Segundo Hampel (2002), nas proximidades do litoral peruano, a velocidade de convergência entre a Placa de Nazca e o continente sulamericano é, hoje, cerca de 60% da velocidade estimada para o tempo 10 Ma.

Outra feição estrutural interessante no Lote X é o aparecimento de unidades repetidas na zona de costa, fruto de uma etapa compressiva de sentido noroeste para sudeste, ocorrida, provavelmente, no

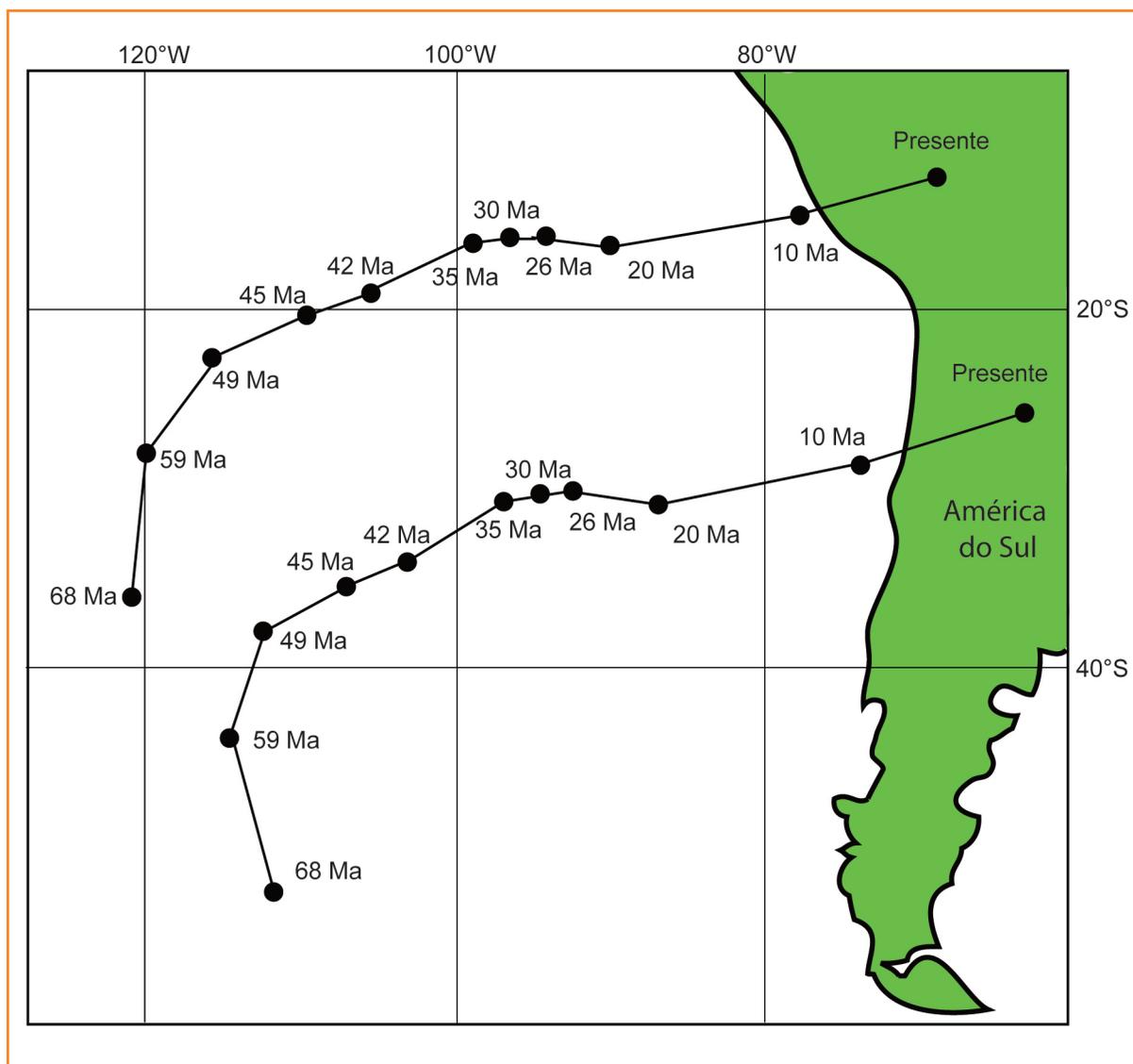


Figura 24
Evolução da migração de dois pontos na Placa de Nazca, formados a 68 Ma até o presente, considerando diferentes tempos relacionados a anomalias magnéticas. Observar que o ângulo de convergência das placas permanece aproximadamente o mesmo desde 49 Ma, quando ocorre a geração da discordância tectônica interpretada no topo da Formação Echinocyamus. Modificado de Pardo-Casas e Molnar (1987).

Figure 24
Modeling showing the migration of two points in the Nazca Plate formed 68 million years ago up to the present, considering different times related to magnetic anomalies. Note the convergent angle between the Nazca Plate and South America remains approximately the same since 49 million years ago, when the tectonic unconformity at the top of Echinocyamus Formation was generated. Modified from Pardo-Casas and Molnar (1987).

início do Oligoceno. A repetição se dá através de planos de falhas inversas que mergulham em direção noroeste. A estruturação reconhecida nessa área do lote permite a perfuração de poços com a presença de até quatro repetições das unidades reservatório.

Referências adicionais sobre a complexidade estrutural do Lote X incluem Leyva e Daudt (2003) e Grosso *et al.*, (2005).

potencial petrolífero

No ano de 2010, o Lote X cumpre 100 anos de produção, com um total de 4.935 poços espalhados pelos seus 460km² de área. Diariamente, são extraídos cerca de 15.000 bbls de petróleo, equivalente de

quase 2.600 poços ativos, cujas profundidades finais variam entre 500m e 2.800m. A produção acumulada atinge 450 milhões de boe, com reservas remanescentes na ordem de 120 milhões de boe.

Mudanças externas sempre afetaram a curva produtiva do Lote X. A figura 25 mostra os principais eventos que impactaram a história do Lote X. Os grandes feitos positivos estão sempre relacionados à introdução de novas tecnologias e/ou a tomada de decisões estratégicas inovadoras. O fato mais importante dessa natureza foi a decisão de explorar os horizontes profundos no final da década de 1950, coincidindo com a introdução do fraturamento hidráulico. Isto representou uma quebra importante de paradigma, pois viabilizou a exploração de reservatórios de baixa porosidade e permeabilidade. Outro fato significativo ocorreu na década de 1980, com a massiva perfuração de poços e o início dos projetos

de injeção de água pela companhia Occidental (Oxy). Fatos negativos importantes referem-se ao fenômeno El Niño, ocorrido de forma drástica nos anos de 1983 e 1997. A entrada da petroleira argentina Perez Companac no lote ocorreu em 1996 e o gráfico ilustra o início efetivo das operações da Petrobras, ocorrido no ano de 2003. Ressalta-se o constante aumento da curva produtiva após 2005, fruto de uma campanha agressiva de perfuração de poços a curto espaçamento e a retomada dos projetos de injeção (Groba *et al.*, 2005).

Para efeito prático de segregação de produção, a coluna sedimentar do Lote X foi dividida em quatro níveis produtores: Rasos, Intermediários, Mogollón e Profundos (fig. 26). Os níveis Profundos devem incluir, ainda, a Formação Amotape, unidade embasamento do Lote X, composta por quartzitos e calcários metamorfisados do Paleozoico. Devido ao seu caráter metamórfico, a unidade não foi abordada nesse trabalho. Observar que, por tratar-se de uma divisão baseada em litoestratigrafia, nem sempre o limite das unidades produtivas coincide com os limites do modelo de seqüências apresentado nesse trabalho.

Para o gerenciamento do Lote X, outra divisão informal foi estabelecida, simplificando o mapa das acumulações da figura 2. Com isso, surgem as grandes áreas da Costa, do Leste e do Sul, compartimentos

onde surgem vários estudos técnicos de alternativas do negócio (Etanco, Etaneste e Etansul). Ações importantes também foram tomadas com relação ao uso de tecnologias modernas na rotina diária de trabalho, tais como, a construção de modelos estáticos que incorporam análise de fácies, estratigrafia de alta resolução e ferramentas de geoestatística (Daudt *et al.*, 2006; Rejas *et al.*, 2006; Daudt, 2007b; Laverde *et al.*, 2009; Maya *et al.*, 2009). A curva de aprendizagem também passa pelo lado da engenharia, que começou a basear as previsões de produção em modelos dinâmicos provenientes dos simuladores.

Como parte da construção dos modelos estáticos, iniciam-se estudos da complexidade diagenética das principais unidades, com o objetivo de efetuar uma calibração mais precisa das propriedades petrofísicas desses reservatórios. A Formação Echinocyamus foi a primeira unidade a ser estudada, integrando conceitos de sedimentologia e Estratigrafia de Sequências de alta resolução (Daudt, 2009). Embora muitas incertezas ainda persistam na definição da continuidade e conectividade no espaço entre poços pela ausência da sísmica, os primeiros passos já foram dados.

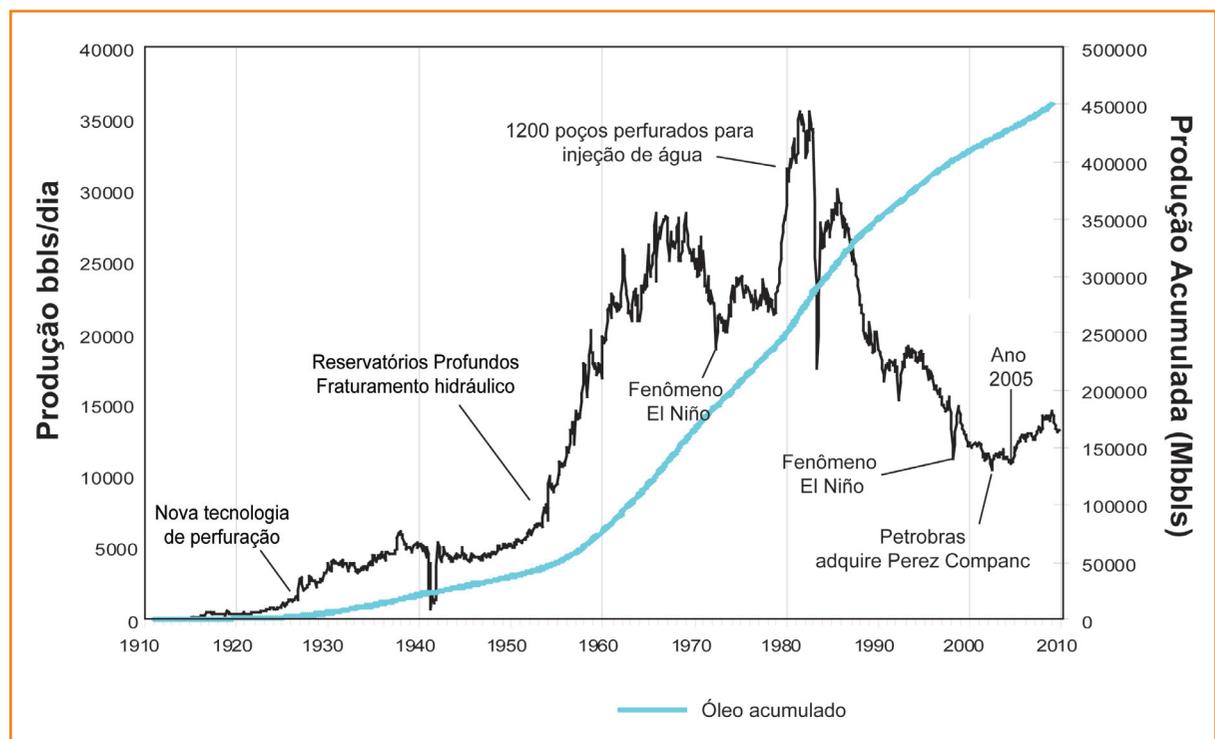
Os resultados de todos estes estudos estão mostrando que o potencial futuro para o desenvolvimento de reservas passa pela continuidade da perfuração de poços *infill*, principalmente na zona de costa para reservatórios rasos e intermediários (Flores *et al.*, 2006).

Figura 25

História produtiva do Lote X, Bacia de Talara, salientando alguns eventos importantes. Observar a reversão da tendência de queda na produção a partir de 2005.

Figure 25

Production records of Block X area, Talara Basin, emphasizing some important events. Note the change in the production trend since 2005.



LITOESTRATIGRAFIA		Sequências (baixa f)	Níveis Produtivos
GRUPO	Formação		
LAGUNITOS	Mancora	T7	Nível Rasos
	Carpitas		
	Mirador		
	Chira	T6	
	Verdún		
TALARA	Pozo	T5	Nível Intermediários
	Areniscas Talara		
	Lutitas Talara		
SALINA	Echinocyamus Clavel	T4	Nível Mogollón
	Ostrea		
	Mogollón		
	San Cristóbal	T3	Nível Profundo
	Basal Salina		
MAL PASO	Balcones	T2	
	Mesa		

Figura 26 – Divisão informal objetivando a segregação da produção. Os chamados “reservatórios profundos” ainda incluem a Formação Amotape, embasamento metamórfico da bacia (não abordado nesse trabalho).

Figure 26 – Informal division for production segregation. The deep reservoirs group also includes the Amotape Formation, a metamorphic basement that has not been discussed in this article.

A unidade Mogollón também poderá ser perfurada em espaçamento menor, se houver viabilidade econômica. Os projetos de injeção de água e gás nas diferentes unidades rasas, intermediárias e Mogollón representam o grande passo ao futuro para a manutenção e incremento da curva produtiva do Lote X (Groba *et al.*, 2005; Graviria *et al.*, 2006). Os resultados desse conjunto de esforços já podem ser vistos na curva de produção do lote, através da reversão de uma tendência de queda iniciada no ano de 2005.

conclusões

a) O arcabouço de sequências apresentado constitui uma nova maneira de abordar a questão estratigráfica do Lote X. No entanto, uma compreensão mais abrangente em escala de bacia ainda é necessária para incorporar de maneira efetiva as vantagens da análise estratigráfica, baseada nos paradigmas da Estratigrafia de Sequências.

b) A questão tectônica é extremamente complexa na Bacia de Talara e, por consequência, no Lote X. As hipóteses de existência de uma dinâmica transcorrente mais significativa, levantadas por Seranne (1987) e Tankard (2002), ainda carecem de comprovação com estudos de campo. No entanto, evidências de blocos rotacionados, estruturas em flor positiva e negativa em um mesmo plano de falha com componente vertical, já foram identificadas no afloramento de Negritos (Daudt *et al.*, 2008). Especificamente na área do Lote X, o reconhecimento de feições similares em superfície está comprometido pela existência de uma cobertura Plio-pleistocênica da Formação Tablazo. Adicionalmente, a sísmica do Lote X ainda não apresenta a qualidade necessária para permitir a interpretação de movimentações transcorrentes que, se realmente existem, poderiam explicar muitas das anomalias estratigráficas, estruturais e produtivas que são observadas no lote.

c) A complexidade diagenética, embora não abordada nesse artigo, também constitui um grande desafio no entendimento das variações de qualidade de reservatório. Recomenda-se uma completa avaliação diagenética das unidades Mogollón, Ostre e Hélico, principais unidades a sofrerem injeção, integrando uma análise estratigráfica de detalhe com objetivos preditivos.

agradecimentos

O amadurecimento do modelo estratigráfico aqui apresentado é fruto da rotina diária de geólogos de uma companhia de petróleo, cujo *input* principal são perfis elétricos. Entretanto, no caso de Talara, existe um componente importante para combinar que são

os afloramentos, de excelente preservação devido ao clima árido da área. Inúmeras visitas aos afloramentos foram realizadas, tendo um constante apoio gerencial de Pedro Grijalba (Gerente Geral) e de Seferino Yesquén (Gerente de Reservatório). Antes disso, Daniel Favoretti, Ricardo Savini e André Picarelli já haviam sido grandes facilitadores para estas empreitadas de campo.

Também foram importantes as discussões sob sol escaldante, *in loco*, com Guilherme Raja Gabaglia, Eduardo Borges Rodrigues, Claiton Scherer, Denis Marchal, Santiago Grosso, Pilar Stifano, Antonio Benedicto, Morgan Sullivan e Octavian Catuneanu. Toda essa “aglutinação” de conhecimento também resultou em um programa de treinamento interno da Petrobras, o curso de campo de Talara, que seguramente contribuirá para o desenvolvimento técnico de forma corporativa em um futuro próximo.

Finalmente, um agradecimento especial ao Claiton Scherer, ao Eduardo Rodrigues e aos revisores da Petrobras, pela criteriosa revisão e sugestões de melhoria ao texto. Finalmente, ao saudoso Juan Leyva, falecido em 2006, o nosso reconhecimento pelo seu “companheirismo geológico” presente em todas as horas, traduzido aqui na forma de co-autoria *in memoriam*.

referências bibliográficas

AGAPITO, S. F. **Geocronologia de las rocas igneas y basamento metamorfoico del Peru**. Relatório Ingemet, 1978, 78p.

BOSWORTH, T. **Geology of the Tertiary and Quaternary periods in the north-west part of Peru, with and account of the Paleontology**. MacMillan and Co., 1922, p. 435.

CAROZZI, A. V.; PALOMINO, R. The Talara forearc basin, NW Peru: depositional models for oil producing Cenozoic clastic systems. **Journal of Petroleum Geology**, v. 16, p. 5-32. 1993.

CATUNEANU, O. **Principles of sequence stratigraphy**. Amsterdam: Elsevier, 2006. 375p.

CATUNEANU, O.; BATTACHARYA, J.; BLUM, M. D.; DALRYMPLE, R. W.; ERIKSSON, P. G.; FIELDING, C. R.; FISHER, W. L.; GALLOWAY, W. E.; GIANOLLA, P.; GIBLING, M. R.; GILES, K. A.; HOLDBROOK, J. M.;

JORDAN, R.; KENDALL, C. G.; MACURDA, B.; MARTINSEN, O. J.; MIAL, A. D.; NUMMEDAL, D.; POSAMEN-TIER, H. W.; PRATT, B. R.; SHANLEY, K. W.; STEEL, R. J.; STRASSER, A.; TUCKER, M. E. Sequence Stratigraphy: common ground after three decades of development. **First Break**, v. 28, p. 21-34, 2010.

DAUDT, J.; STIFANO, P.; CASTILLO, J.; SAVINI, R.; OSTOS, M. Sequence stratigraphy approach in Talara Basin, Perú: integrated analysis of the Mogollón-Chira cycle. In: INTERNATIONAL MEETING OF SEDIMENTOLOGISTS, 21., 2001, Davos, Switzerland. **Abstracts...** Davos, Switzerland, 2001.

DAUDT, J.; LEYVA, J.; LLOYD, D.; CAVERO, F. Evaluating the links between sedimentary processes and production rate in a fault-controlled turbidite system: example of Laguna Field, Talara Basin, Perú. In: LATIN AMERICAN CONGRESS OF SEDIMENTOLOGY, 3., Belém, Brazil. 2003. **Proceedings...** Belém, 2003.

DAUDT, J. Depositional setting, sedimentary processes, and pinch-out geometries in a fault-controlled deep-water turbidite system: an example from the Verdún Formation, Laguna Field, Talara Basin, Northwest Perú. **Boletín de la Sociedad Geológica del Perú**, v. 97, p. 51-66, 2004.

DAUDT, J.; GROSSO, S.; SULLIVAN, M. Sea-level changes and tectonic influence in the deposition of the Cabo Blanco Member: example of an estuarine fluvio-deltaic system in Talara Forearc basin (NW Peru). **Boletín de la Sociedad Geológica del Perú**, v. 97, p. 67-80, 2004.

DAUDT, J. Revisión conceptual sobre el patrón diagenético y potencial de las areniscas volcanoclásticas como reservorios de Petróleo. **Boletín de la Sociedad Geológica del Perú**, v. 100, p. 49-61, 2005.

DAUDT, J.; SCHERER, C. M. Arquitetura de fácies e evolução estratigráfica dos reservatórios flúvio-deltaicos da Formação Echinocyamus (Eoceno Inferior) na área do Lote 10 (Bacia de Talara, Noroeste do Peru). **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 14, p. 27-45, 2006.

DAUDT, J.; REJAS, J.; GABRIEL, E.; GALLOSO, J.; HUAPAYA, C.; GROBA, C. Integration of sedimentology and stratigraphy in a 3D static model: example of the Echinocyamus Formation in Block X, Talara basin. In: SPE APPLIED TECHNOLOGY WORKSHOP: OPPORTUNITIES

- IN MATURE OIL FIELDS, 2006, Lima, Peru. **Abstracts...** Peru, 2006.
- DAUDT, J. **Talara Basin (Northwestern Peru):** more than 100 Years of oil production, good food, and wonderful outcrops. In: INTERNATIONAL ASSOCIATION OF SEDIMENTOLOGISTS NEWSLETTER, 211, Blackwell Publishing, 2007a.
- DAUDT, J. **Caracterização Estática de Reservatórios Siliciclásticos: Integração da Sedimentologia e Estratigrafia com Técnicas de Geoestatística.** 2007. 172 f. Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007b.
- DAUDT, J. **Definição de unidades de fluxo genéticas em reservatórios clásticos com base em heterogeneidades deposicionais e diagenéticas: o caso da Formação Echinocyamus, Eoceno Inferior, Bacia de Talara, Peru.** 2009. 218 f. PhD Thesis (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil, 2009.
- DICKINSON, W. R.; SEELY, D. R. Structure and stratigraphy of forearc regions. **AAPG Bulletin**, v. 63, n. 1, p. 2-31, 1979.
- DICKINSON, W. **Forearc basins.** In: BUSBY, C. J.; INGERSOLL, R. V. (Eds.). *Tectonics of Sedimentary Basins.* Oxford: Blackwell-Science Publication. p. 221-262, 1995.
- FILDANI, A. **Analysis of two arc-associated basins and onset of their deep-water stages: Magallanes basin, Chile, and Talara basin, Peru.** 2004. 325 f. Tese (Doutorado em Geociências), Stanford University, Stanford, USA. 2004.
- FILDANI, A.; HANSON, A.; CHEN, Z.; MONDOWAN, J. M.; GRAHAM, S. e ARRIOLA, P. R. Geochemical characteristics of oil and source rocks and implications for petroleum systems, Talara Basin, northwest Peru. **AAPG Bulletin**, v. 89, n. 11, p. 1519-1545, 2005.
- FLORES, J. G.; GAVIRIA, W.; LORENZON, J.; ALVAREZ, J. L.; PRESSER, A. New life for a mature oil province via a massive infill drilling program. **Society of Petroleum Engineers**, paper number 104034, 2006.
- GAVIRIA, W.; FLORES, J. G.; LORENZON, J.; ALVAREZ, J. L.; PRESSER, A. New life for a mature oil province via the integration of improved oil recovery methods. **Society of Petroleum Engineers**, paper number 104041, 2006.
- GONZALEZ, G. Modelos Depositacionales en el Eoceno del Noroeste del Perú. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE GEOLOGÍA, 2., Caracas, Venezuela, 1973. **Anales...** Venezuela, 1973.
- GROBA, C.; GALLOSO, J.; REJAS, J.; LEYVA, J.; TOLEDO, R.; DAUDT, J. Analisis del potencial por recuperación secundaria de la formación Echinocyamus, Lote X, Cuenca Talara, Perú. In: INGEPEP, 5., 2005, Lima, Peru. **Anales...** Lima, Peru, 2005.
- GROSSO, S.; MARCHAL, D. e DAUDT, J. 2005. Integración Afloramiento-subsuelo: relación entre la complejidad estructural y el comportamiento productivo de los reservorios del Lote X, Cuenca Talara, Perú. In: INGEPEP, 5., 2005, Lima, Peru. **Anales...** Lima, Peru, 2005.
- HAMPEL, A. The migration history of the Nazca Ridge along the Peruvian active margin: a re-evaluation. **Earth Planet Science Letters**, v. 203, p. 665-679, 2002.
- HIGLEY, D., 2002, Assessment of Undiscovered Oil and Gas Resources of the Cretaceous-Tertiary Total Petroleum System, Talara Basin Province, Peru. In: INGEPEP, 5., 2005, Lima, Peru. **Anales...** Lima, Peru, 2005.
- IDDINGS, A.; OLSSON, A. Geology of Northwest Peru. **AAPG Bulletin**, v. 12, n. 1, p. 139, 1928.
- INGERSOLL, R. V.; BUSBY, C. J. **Tectonics of Sedimentary Basins.** In: Busby & Ingersoll (Eds.). Blackwell-Science Publication, p. 1-51, 1995. Chapter 1.
- KINGSTON, J. **Undiscovered petroleum of southern South America:** U.S. Geological Survey Open-File Report 94-559. 1994. 443p.
- LAVERDE, F.; DAUDT, J.; MAYA, L.; CARRILLO, G.; POZO, G.; TORRES, K. Facies Analisis and Preliminar High-resolution Stratigraphy of the Eocene Mogollon, Ostrea, and Helico Units in Block X, Talara Basin, Peru. In: SIMPÓSIO BOLIVARIANO DE EXPLORACIÓN PETROLERA DE CUENCAS SUBANDINAS, 10., Cartagena, Colombia, 2009. **Proceedings...** Cartagena, Colombia, 2009.
- LEYVA, J.; DAUDT, J. Tectonic influence in trap generation during the Lower Eocene, Talara forearc basin,

- NW Peru: a case study in Mogollon Formation. In: SIMPOSIUM BOLIVARIANO OF PETROLEUM GEOLOGY, 7., Cartagena, Colômbia, 2003. **Proceedings...** Cartagena, Colombia, 2003.
- LEYVA, J. Correlación Estratigráfica del Miembro Peña Negra y La Fm Pariñas Inferior, Cuenca Talara- Perú. In: CONGRESO PERUANO DE GEOLOGÍA. **Anales...** Perú, 1983.
- LOWE, D. Sediment gravity flows: II. Depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 52, p. 279-297, 1982.
- MAYA, L.; CARRILLO, G.; LAVERDE, F.; DAUDT, J.; TORRES, K. e POZO, G. Caracterización del Miembro Peña Negra – Formación Ostrea, Parte Sur del Lote X, Cuenca Talara, Peru. In: SIMPOSIO BOLIVARIANO DE EXPLORACIÓN PETROLERA DE CUENCAS SUBANDINAS, 10., 2009. **Anales...** Cartagena, Colombia, 2009.
- MOURIER, T.; MEGARD, F.; L. RIVERA, L.; ARGUEDAS, A. P. L'évolution mésozoïque des Andes de Huancabamba (nord Pérou-sud Ecuateur) et l'hypothèse de l'accrétion du bloc Amotape-Tahuin. **Bulletin de la Societe Geologique de France**, v. 4, p. 69-79, 1988.
- PARDO-CASAS, F.; MOLNAR, P. Relative motion of the Nazca (Farallon) and South America plates since late Cretaceous time. **Tectonics**, v. 6, n. 3, p. 233-248, 1987.
- PICARELLI, A.T.; POZO, G.; DAUDT, J.; LEYVA, J.; ARRIOLA, P.; ARISPE, A. 2003. Upper-Eocene fault-controlled deep water systems in the Talara forearc basin, NW Perú: sand-transport paths, sand-body geometry and exploration and development opportunities. In: AAPG ANNUAL CONFERENCE AND EXHIBITION, 2003, Salt Lake City, USA. **Abstracts...** Salt Lake City, USA, 2003.
- PICARELLI, A. T.; DAUDT, J.; SAVINI, R. Sand-transport paths and sand-body geometry for the Eocene Verdún Formation, Talara Basin, NW Peru. In: STANFORD PROJECT ON DEEP-WATER DEPOSITIONAL SYSTEM ANNUAL MEETING, 2001, Stanford, USA. **Abstracts...** Standford, 2001.
- PINDELL, J. L.; TABUTT, K. D. Mesozoic-Cenozoic Andean paleogeography and regional controls on hydrocarbon systems. In : Tankard, A. J.; Suarez Soruco, R.; Welsink, H. J. (Eds.). Petroleum basins of South America. **AAPG Memoir**, v. 62, p. 101-128, 1995.
- POZO, G. **Estudio Bioestratigráfico del Paleoceno - Maestrichtiano en el Nor Oeste del Perú**. Informe técnico Petroperu, Operaciones Nor-Oeste, 1988, 17p.
- POZO, G. **Bioestratigrafía de alta resolución y su aplicación en la identificación de secuencias de tercer orden, Lote X, Cuenca Talara, Perú**. In: CONGRESO PERUANO DE GEOLOGÍA, 12., Lima, Perú, 2002.
- PERUPETRO. **Estudios de Investigación Geoquímica del Potencial de Hidrocarburos: lotes del Zócalo y de Tierra**. 2001.
- REJAS, J. C.; DAUDT, J.; LÓPEZ, C. H.; GROBA, C. **Static and Dynamic Models for Secondary Recovery Projects: example from the Echinocyamus Formation in the Block B1, Somatito Field, Talara Basin, NW Perú**. In: CONGRESO PERUANO DE GEOLOGÍA, 13., Lima, Perú, 2006.
- SERANNE, M. **Informe Geológico sobre la Evolución Tectónica y Sedimentaria de la Cuenca Talara**. Relatório Petroperu. Instituto Frances de Estudios Andinos, 2 v., 1987. 60p.
- STEINMANN, G. **Geologie von Peru**. Karl Winter, Heidelberg, 1929, 448p.
- TANKARD, A. **Tectonic framework of basin evolution in Peru**. Relatório Público Perupetro. Perupetro, Lima, 2002. 46p.
- TORRES, K. **Evolución Diagenética e Identificación de Petrofacies a partir de los Análisis de Muestras de Canaleta: Mbo Terebratula, Lote X, Talara, Perú**. 2009. 87 f. Monografía (Graduação) – Universidad Nacional de San Agustín, Peru, 2009.
- TRAVIS, R. B. La Brea-Pariñas oil field, Northwestern Peru. **AAPG Bulletin**, v. 37, n. 9, p. 2093-2118, 1953.
- UNIPETRO. **Mil años de petróleo en el Perú: Apuntes para la historia**. 2. ed., 2005. 68p.
- ZÚÑIGA-RIVERO, F.; KEELING, J. A.; HAY-ROE, H. Peru onshore-deepwater basins should have large potential. **Oil and Gas Journal**, v. 96, p. 88-95, 1998.

expanded abstract

This article presents the stratigraphic evolution of the Cretaceous-Tertiary sedimentary section in the Talara Basin (NW Peru) in the Block X area. Furthermore, it comments on the concession structural framework, emphasizing the main structural features as well as the relationship between them and the regional tectonic. The remaining hydrocarbon potential in this concession is also addressed, discussing several projects to improve its productivity. A brief review of the Talara Basin history is introduced, highlighting the importance of this basin for the Latin-American Oil Industry.

Talara is a forearc basin with complex stratigraphic and structural development. The Block X area is located in a proximal position within the basin where erosive and by-pass events were frequent during the whole basin evolution. A large amount of sediments, favored by a significant subsidence, was deposited in this area, especially during Ypresian and Lutetian. Extensional tectonics, represented by normal faults, compartmentalized the reservoirs in Block X, based on the interpretation considered until now. However, the hypothesis of transcurrent movements was also brought into the discussion by some authors, although this had very little surface and subsurface evidence to support it.

The presented stratigraphic model is based on observations and interpretations of well logs and outcrops, considering the sequence stratigraphic paradigms. The interpreted sequences hierarchical framework was approached in a more "neutral" way to avoid rigid time scales commonly adopted by the industry. Thus, the model is made of low frequency sequences with boundaries defined by the most important paleo-ambiental shifts, and high frequency sequences where boundaries were defined considering more subtle variations.

The basin sedimentary filling in Block X is made up of intervals that range from Cretaceous to Pleistocene. In Cretaceous, three low frequency sequences were interpreted. Limited data suggest that the evolution is from a mixed carbonate-siliciclastic environment in Aptian to a more restricted environment during the Albian. Lithostratigraphically, this restricted sedimentation corresponds to the Muerto Formation, one of the possible basin source rocks. During the Upper Cretaceous, alluvial fans and fluvial streams facilitated sand and conglomerate deposition of the Copa Sombrero and Tablonas formations. These proximal

systems in Block X were rapidly transgressed by distal platform shales of the Redondo Formation.

In the Tertiary section, nine low frequency sequences were interpreted, some of them composed of several higher frequency events. Only two sequence boundaries (top of E4 and top of E7) were interpreted as tectonic driven due to their association to Andean events described in literature. All other sequences are caused by a combination of sediment supply, subsidence, and eustatic changes. Sequence E4 seems to be the most important interval in the Block X area in terms of gross thickness and reservoir potential. The deposits range from proximal alluvial fans to fluvial and shallow marine. Four other higher frequency events were also recognized during the E4 sequence. Similar complexity is also observed in the E5 sequence that is made of 5 higher frequency events. In this sequence, the sedimentation started in shallow marine environments that gradually become deeper as the tectonic subsidence increased. Turbidites were deposited as main reservoirs during this time. All other sequences were described in the text.

Regarding the tectonic framework, the Block X area is located in one of the four regional highs recognized in several published articles. These structural highs are defined by extensive Northeastern-Southwestern faults. Transcurrent movements are interpreted by Tankard (2002) as associated components of the basin dynamics. Rotated blocks in a transtensional fashion would be, according to Seranne (1987), evidence of strike-slip movements. Predominant distensive style has been applied in the tectonic framework interpretation in the Block X area. However, new outcrop evidence suggests that transpressive and transtensive features are also present in the Talara Basin, which could lead to a new interpretation paradigm.

After more than 100 years of history, the Block X area is still forecasting a great future. The daily production is around 15,000 boe from more than 2,600 active wells in an area of 460km². Estimates indicate that the remaining potential recoverable volume could reach almost 120 MMboe. Several secondary recovery projects and shorter-acreage drilling programs have been implemented since 2003, with excellent results.