

### **II.5.1.5 - Geologia e Geomorfologia**

Neste item, são caracterizados os aspectos geológicos e geomorfológicos da Bacia de Campos em especial aqueles pertinentes à área onde serão desenvolvidas as atividades de produção de óleo e gás da FPU P-53, no Campo de Marlim Leste.

Em escalas regional e local foram caracterizados os aspectos estruturais, estratigráficos e fisiográficos mais relevantes, com as respectivas implicações no empreendimento alvo deste EIA.

As informações aqui apresentadas foram sintetizadas principalmente a partir de dados secundários pesquisados em diversos trabalhos e estudos realizados na costa sudeste brasileira, tanto pela Petrobras quanto por outras instituições, através de projetos que envolvem universidades, empresas e governo. Dentre estes, destacam-se projetos como o REMAC, o LEPLAC, o REVIZEE e outros de menor dimensão.

De forma complementar, foram contempladas também informações baseadas na aquisição de dados primários pela Petrobras durante levantamentos realizados na Bacia de Campos e especialmente aqueles destinados tecnicamente ao estudo do Campo de Marlim Leste, onde será instalado o FPU P-53.

#### *A Bacia de Campos*

A Bacia de Campos localiza-se na porção sudeste da costa brasileira, entre os paralelos 21° e 24°S, e ocupa uma área de cerca de 100.000 km<sup>2</sup> até a cota batimétrica de 3.400 m (Figura II.5.1.5-1). Trata-se da bacia mais produtiva dentre as bacias petrolíferas da costa brasileira, encontrando-se separada das bacias adjacentes por altos estruturais orientados transversalmente à margem continental. O Alto de Vitória corresponde ao seu limite norte, separando-a da Bacia do Espírito Santo, e o Alto de Cabo Frio a separa da Bacia de Santos, ao sul.

No mapa de elementos estruturais da Bacia de Campos, esquematicamente ilustrado na Figura II.5.1.5-2, destacam-se os principais elementos que condicionaram o preenchimento sedimentar da bacia. Observam-se três feições

positivas, das quais o Alto Regional de Badejo é a mais importante, tendo influenciado a sedimentação na região da plataforma média e externa, da porção meridional da bacia. Outras estruturas positivas, denominadas Alto Central e Alto Externo, são ainda alvo de estudos para um melhor conhecimento de sua influência no condicionamento do preenchimento sedimentar da bacia.

A estratigrafia da Bacia de Campos, assim como das demais bacias da margem continental brasileira, se divide em três seqüências distintas: uma seqüência inferior clástica, de ambiente continental flúvio-lacustre, uma seqüência intermediária transicional caracterizada por sedimentos de origem evaporítica, e uma seqüência superior, depositada em ambiente francamente marinho (Asmus & Ponte, 1973 *apud* Asmus & Ferrari, 1978). Estas megasseqüências geocronológicas podem ser visualizadas na Figura II.5.1.5-3 juntamente com informações referentes à litologia e à bioestratigrafia de cada formação.



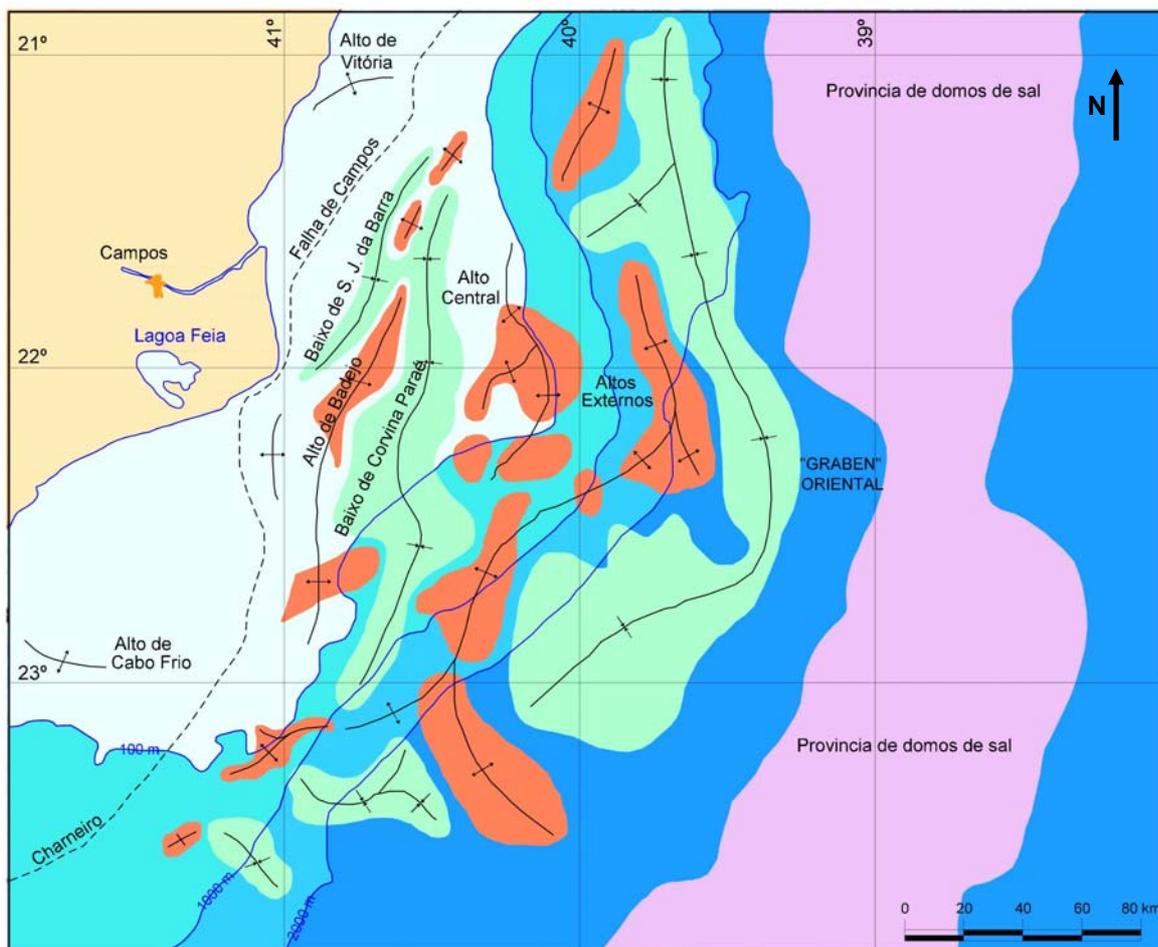
Fonte: Editora Brasil Energia Ltda - 08/99 \*\* ESQUEMÁTICO \*\*

**LEGENDA**

- Bacias sedimentares
- Áreas não sedimentares
- Espelho d'água
- Limite estadual
- Capital
- Sede municipal



**Figura II.5.1.5-1 - Mapa de localização da Bacia de Campos.**



LEGENDA:

- Baixos ↔
- Altos ↔

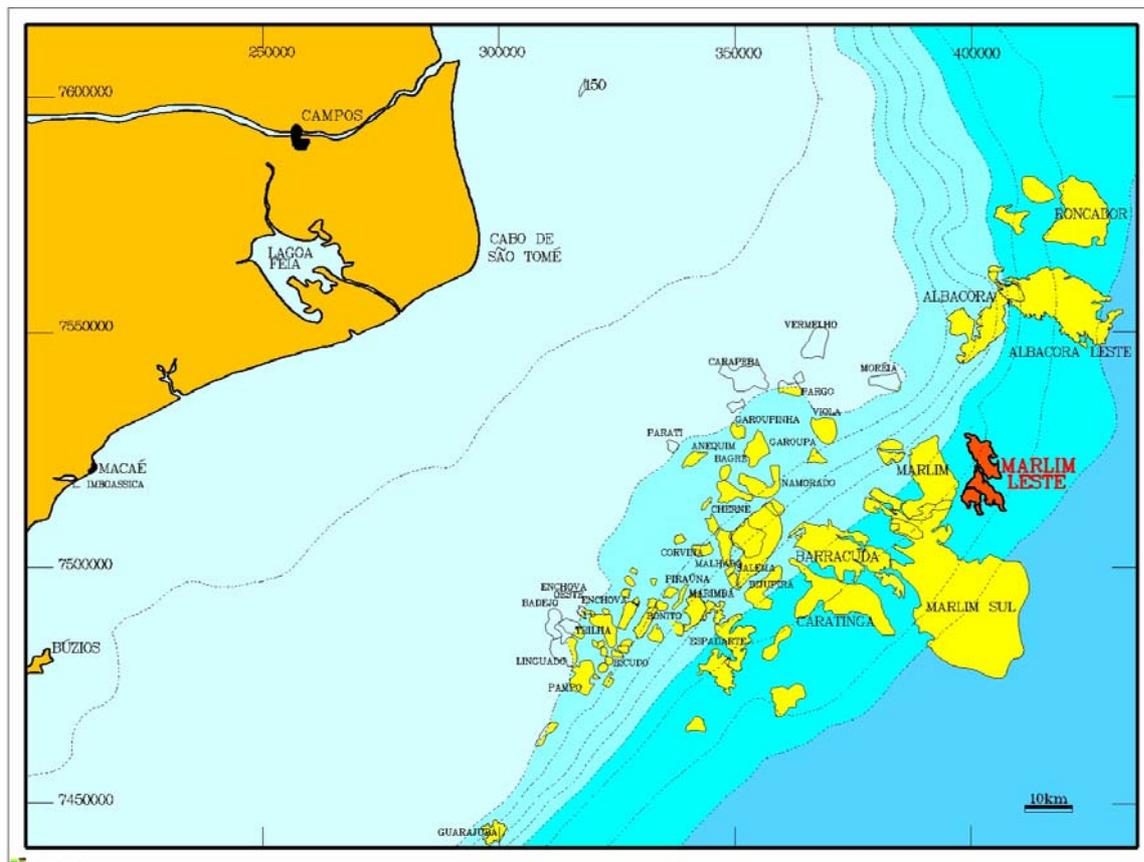
**Figura II.5.1.5-2 - Mapa regional de elementos estruturais da Bacia de Campos.**

Fonte: PETROBRAS in Schlumberger, 1998.



### Características estratigráficas e estruturais do Campo de Marlim Leste

O Campo de Marlim Leste situa-se na parte central da área de campos de petróleo da Bacia de Campos a, aproximadamente, 110km a sudeste do Cabo de São Tomé, na costa norte do estado do Rio de Janeiro (Figura II.5.1.5-4). Encontra-se situado em uma concessão que ocupa uma área de aproximadamente 333km<sup>2</sup>, sob lâmina d'água que varia entre 800 e 2000m.

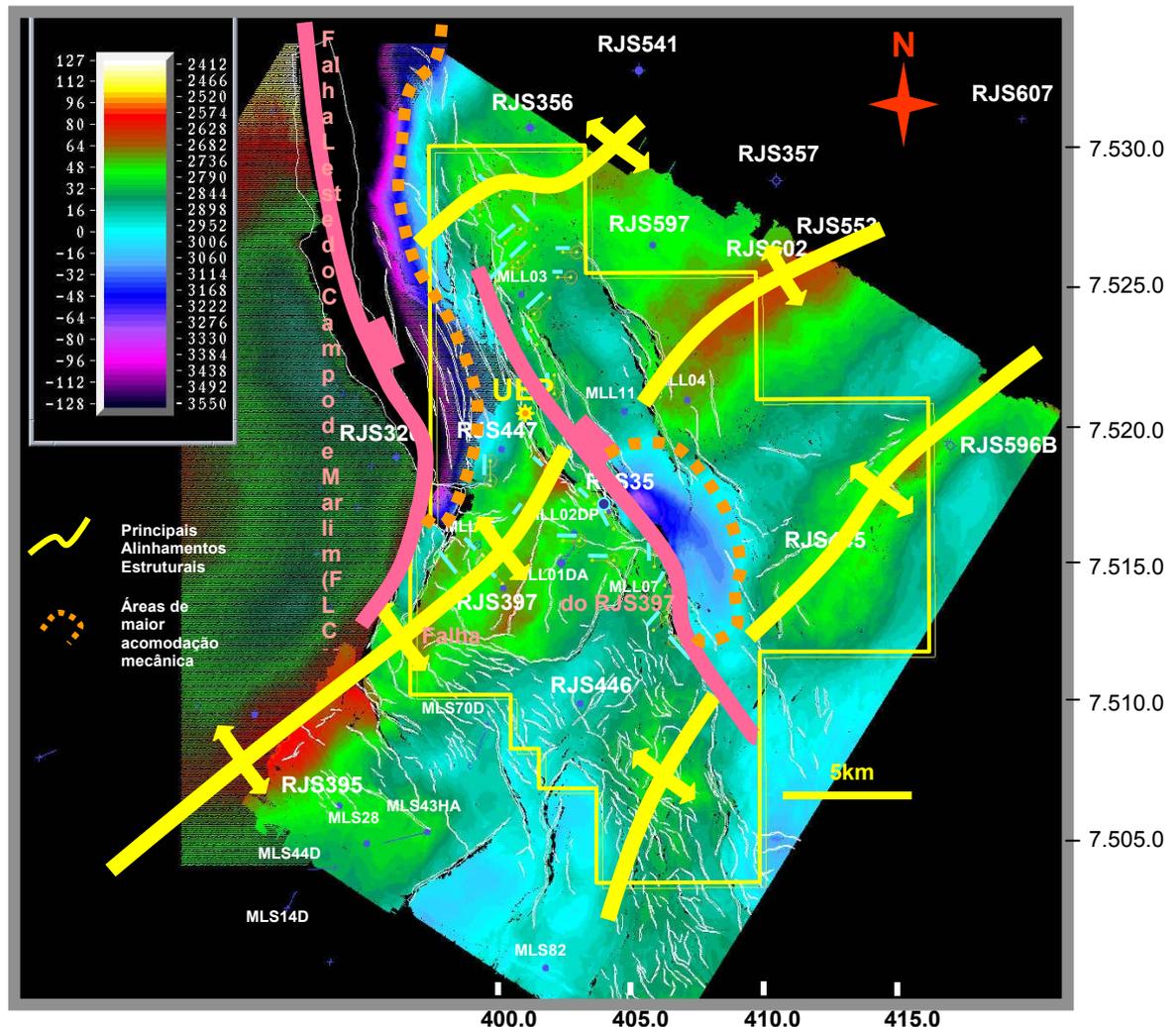


**Figura II.5.1.5-4 - Localização do Campo de Marlim Leste.** Fonte: PETROBRAS, 2004.

Separado do Campo de Marlim por um expressivo falhamento NW-SE, o Campo de Marlim Leste ocupa as porções mais altas de três arqueamentos estruturais regionais de direção NE-SW, seccionados transversalmente pela Falha de Marlim Leste, sub paralela à Falha Leste de Marlim (Figura II.5.1.5-5). Estes elementos estruturais se expressam do Cretáceo até horizontes mais jovens, como o topo de reservatórios do Mioceno. O Campo de Marlim Leste compreende reservatórios datados do Mioceno ao Cretáceo Superior, sendo o intervalo dos

arenitos turbidíticos da Fm. Carapebús (Gr. Campos), do Oligo-Mioceno, o detentor da quase totalidade das reservas estimadas para o campo.

A caracterização estratigráfica e estrutural descrita a seguir é baseada em dados primários adquiridos pela PETROBRAS destinados tecnicamente ao estudo do Campo de Marlim Leste, onde será instalada a P-53 (PETROBRAS, 2004).



**Figura II.5.1.5-5 - Mapa dos principais elementos estruturais na área.**

Fonte: PETROBRAS, 2004.

**a) Estratigrafia dos reservatórios**

Os principais intervalos produtores do Campo de Marlim Leste são de idade oligomiocênica. Litoestratigraficamente, são constituídos por arenitos terciários

que ocorrem dentro do Grupo Campos, cuja origem é atribuída a depósitos turbidíticos carregados por correntes de alta energia. As areias que ocorrem dentro do Grupo Campos pertencem à Formação Carapebus, enquanto que os folhelhos são conhecidos como Formação Ubatuba.

A principal zona produtora é a zona MRL200, subdividida em MRL201, 202 e 203, constituídas pelo Arenito Marlim do Oligo-Mioceno. As zonas MRL300 e MRL400, também oligo-miocênicas, representam zonas mais delgadas e não possuem acumulação de hidrocarbonetos. Estes reservatórios estão representados por turbiditos silicilásticos, canalizados com orientação preferencial NNW-SSE determinada por controle estrutural de falhas e halocinese. São constituídas principalmente de arenito arcoseano fino a médio, inconsolidado, baixos teores de cimento calcítico (menos que 1%) e de matriz argilosa (menos que 2%). Apresentam altos valores de porosidade (>30%) quase essencialmente de origem primária.

Seguindo a disposição temporal, da mais antiga para a mais nova, o Quadro II.5.1.5-1, a seguir, apresenta uma descrição sucinta de cada zona produtora:

**Quadro II.5.1.5-1 - Descrição das zonas produtoras do Campo de Marlim Leste.**

| ZONAS DE PRODUÇÃO | DESCRIÇÃO   |
|-------------------|---|
| MRL400            | Apenas 1,9m de arenito. Sua geometria deposicional configura-se como lobos de talude podendo haver contribuição de fácies distais de depósitos de <i>crevasse</i> .   |
| MRL300            | Associada a depósitos de extravasamento ou porções interiores de canais. É delgada, com espessuras inferiores a 6m e bastante descontínua.  |
| MRL203            | Suas maiores espessuras estão nas canalizações associadas à Falha de Marlim Leste. Está relacionada ao interior de canais turbidíticos escavados por correntes de alta densidade, junto aos seus talwegues. Sua maior espessura é de 36,7m.   |
| MRL202            | Ocupa o interior de canais, na região do bloco alto da Falha de Marlim Leste. Em seu bloco baixo, tem tendência a constituir depósitos espalhados, reconhecidos sob a forma de <i>crevasses</i> e lobos de talude. A maior expressão, em termos de espessura, como evento espalhado é de 45m e como evento confinado 52m. |
| MRL201            | É a mais abrangente em termos de distribuição areal e atinge maiores espessuras na região sul do campo, onde chega próximo a 40m. Além de constituir os depósitos mais superiores dos canais turbidíticos, configura-se também como depósitos de extravasamento e lobos laterais e frontais do sistema.                   |

Em geral, as diferentes zonas MRL200 são separadas entre si por camadas semi-contínuas de folhelhos e margas. Nas zonas mais confinadas, no interior dos canais, os arenitos apresentam geometria sigmoidal, que, recobertos pelos níveis de folhelho, se individualizam como corpos areníticos.

Os reservatórios do Mioceno são compostos pelos chamados arenitos Albacora, pouco consolidados, moderadamente selecionados e com granulometria fina a grossa. Sua maior expressão se faz à leste da Falha de Marlim Leste, onde é possível delimitar canais, lobos frontais, lobos de extravasamento e crevasses, porém sua baixa densidade não permite uma avaliação do potencial produtor.

Sem perspectivas de aproveitamento comercial, os reservatórios do Eoceno e Cretáceo representam camadas delgadas de arenitos com hidrocarbonetos com pouca continuidade lateral. Arenitos Corvina, do Eoceno Médio e Arenitos Enchova, do Eoceno Inferior apresentam sismofácies de talude com incisões de canais turbidíticos de pequeno porte, bastante esparsas.

Os reservatórios cretácicos são compostos preferencialmente por arenitos bem selecionados e de granulação média e não apresentam interesse econômico.

A Figura II.5.1.5-6 e a Figura II.5.1.5-7 mostram seções geológicas estruturais e estratigráficas, respectivamente, contendo os principais reservatórios do campo e seqüências estratigráficas, os mais representativos marcos estratigráficos do intervalo oligomiocênico, o contato óleo-água e os principais falhamentos.

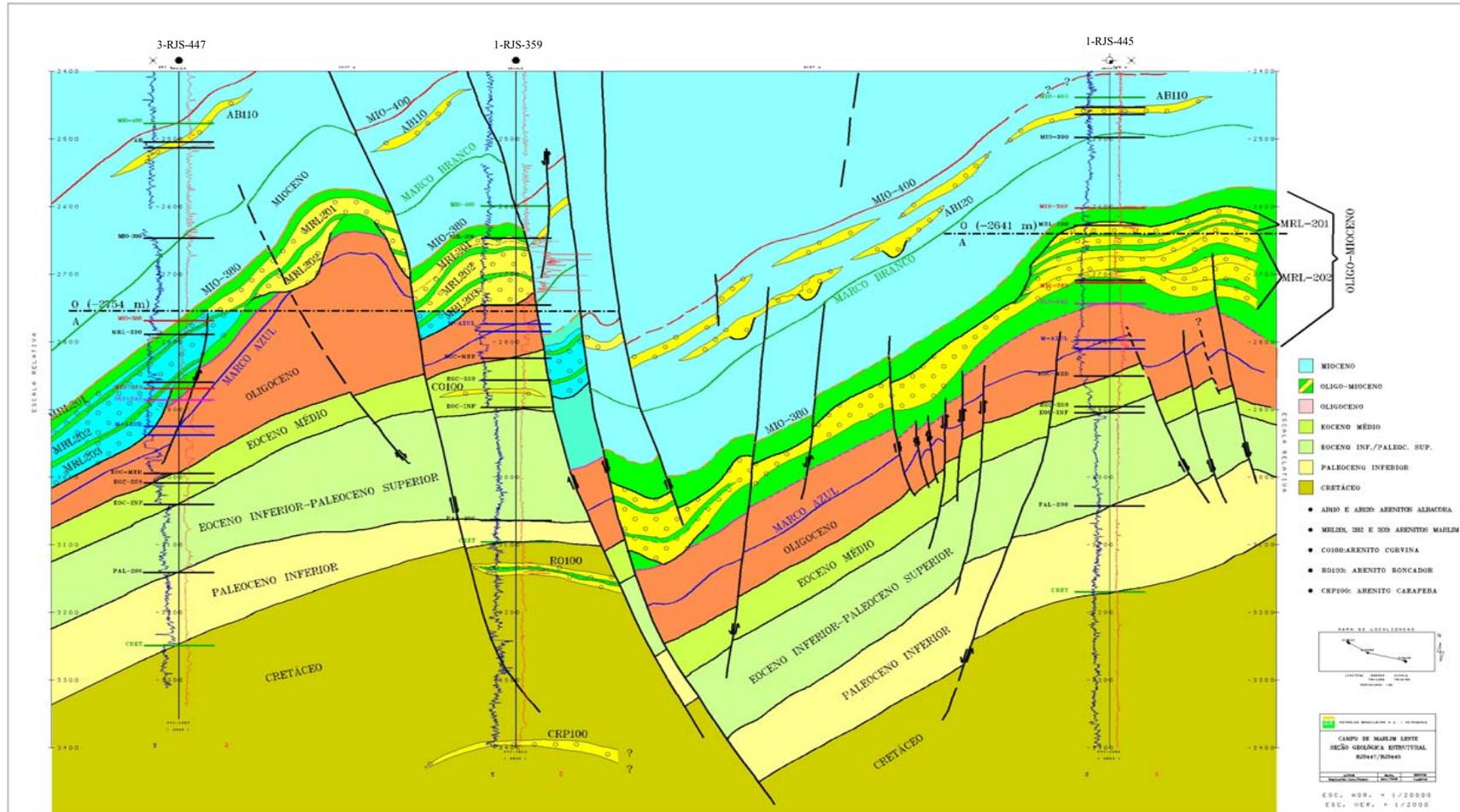
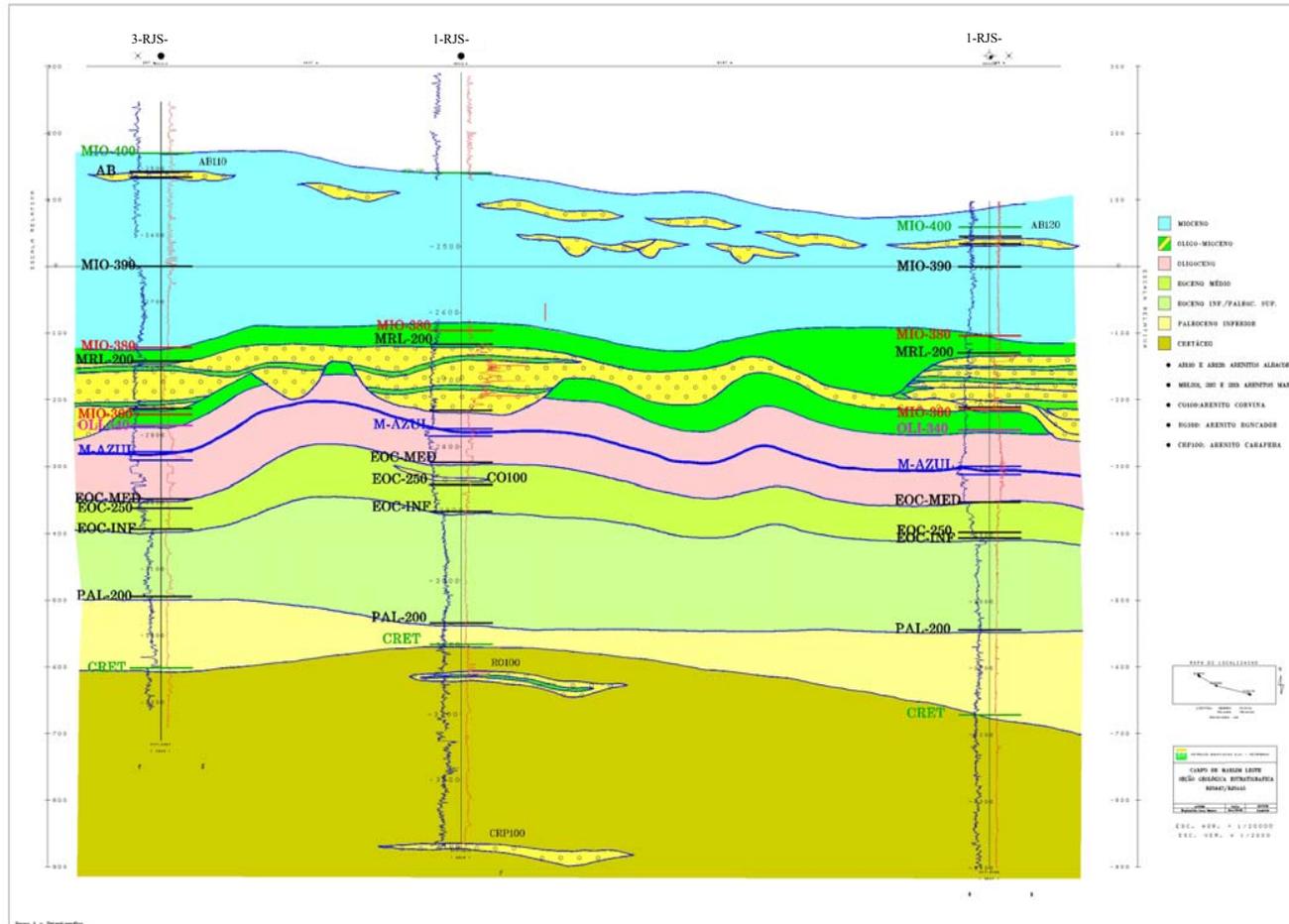


Figura II.5.1.5-6 - Seção geológica estrutural dos principais reservatórios do Campo de Marlim Leste (Fonte: PETROBRAS, 2004).



**Figura II.5.1.5-7 - Seção geológica estratigráfica dos principais reservatórios do Campo de Marlim Leste (Fonte: PETROBRAS, 2004).**

### *b) Geologia estrutural*

O Campo de Marlim Leste encontra-se em uma área de elevada complexidade tectono-sedimentar. Elementos geológicos estruturais e/ou deposicionais controlam o sistema permo-poroso do campo.

A estrutura mais proeminente presente na região é uma falha normal denominada Falha de Marlim Leste (FML), que secciona a área transversalmente na direção NW-SE, individualizando um bloco alto a oeste (Figura II.5.1.5-5). A Falha de Marlim Leste concentra as maiores acomodações mecânicas em regiões pouco extensas na qual rejeito de cerca de 400m é estimado ao nível dos Arenitos Marlim. Nesta região de grande rejeito vertical verifica-se o crescimento da seção sedimentar no bloco baixo e o favorecimento à nucleação de falhas lítricas. Em relativamente curto espaço, cerca de 5km a partir do ponto de rejeito máximo, toda a acomodação mecânica passa a ser distribuída em centenas de pequenas falhas normais (sintéticas ou antitéticas) que rompem a estrutura anticlinal proeminente no extremo norte do polígono de concessão.

A Falha de Marlim Leste parece possuir forte relação genética com a Falha Leste do Campo de Marlim (FLCM). O padrão échelon, na direção NW-SE, apresenta grandes rejeitos verticais e, localmente, a alternância entre blocos alto e baixo ao longo de uma mesma falha podem induzir a uma interpretação que indique que o par de falhas seja um segmento de uma zona de transferência em escala regional. Entretanto, falhas em “xis” são bastante freqüentes o que evidencia a preponderância de ação gravitacional no processo de deformação rúptil.

Pode-se supor que a FML exerceu papel fundamental na história deposicional dos turbiditos canalizados registrados em seu bloco alto. Na sua evolução, o abatimento na área do seu bloco baixo pode ter atuado como captador de canalizações provenientes de NW, que ao se aproximarem da FML eram desviadas para S-SE.

A junção de falhas partindo da FML, com rumo S-SW, e da FLCM, com rumo E-SE, apresenta configuração semicircular que lhe impôs nome informal de “Falha

Redonda”. É importante como limitadora de compartimento estrutural, já que interrompe a comunicação entre reservatórios de um mesmo canal turbidítico.

Em uma escala mais regional, são observados três alinhamentos NE-SW, sub-paralelos entre si e muito bem definidos nos mapas estruturais (Figura II.5.1.5-5). Ao longo desses alinhamentos são comuns as incidências de estruturas dômicas com fechamentos quaquaversais perfeitos ou contra-falha.

As direções principais, NW-SE, dos falhamentos presentes na área são observados nas Figuras II.5.1.5-8 e 9 que são, respectivamente, os mapas de topo e base da zona MRL200 (oligomiocênica).

O desenvolvimento das grandes estruturas presentes no polígono de concessão de Marlim Leste tiveram seu ponto de partida com a halocinese que se iniciou no Albiano e foi a grande responsável pela moldagem de todo o pacote sedimentar sobreposto à camada de sal da Fm. Lagoa Feia.



**Figura II.5.1.5-8 - Mapa estrutural do topo do reservatório oligomiocênico (Fonte: PETROBRAS, 2004). (A3)**

**Figura II.5.1.5-8 - Mapa estrutural do topo do reservatório oligomiocênico (Fonte: PETROBRAS, 2004). (A3)**

**Figura II.5.1.5-9 - Mapa estrutural da base do reservatório oligomiocênico (Fonte: PETROBRAS, 2004). (A3)**

**Figura II.5.1.5-9 - Mapa estrutural da base do reservatório oligomiocênico (Fonte: PETROBRAS, 2004). (A3)**

### *Aspectos fisiográficos regionais*

O setor leste da margem continental brasileira representa uma típica margem do tipo Atlântico, apresentando formas de relevo com influência de atividades tectono-magmáticas que são sobrepostas localmente pelas feições originadas por processos sedimentares. Além das feições clássicas de uma margem passiva, tais como plataforma, talude e sopé continental, apresenta também um relevo complexo, notado nas bruscas quebras de gradiente, na presença de platôs marginais, bancos e montes submarinos.

#### *a) Domínios geomorfológicos continentais*

Segundo o Mapa de Domínios Geomorfológicos do Estado do Rio de Janeiro (CPRM, 2000), na região continental adjacente ao Campo de Marlim Leste, são identificados dois grandes domínios morfoestruturais: a Unidade Morfoestrutural Cinturão Orogênico do Atlântico e a Unidade Morfoestrutural Bacias Sedimentares Cenozóicas (Figura II.5.1.5-10).

O Escudo Atlântico, ou Cinturão Orogênico do Atlântico é constituído por um conjunto diversificado de rochas graníticas e gnáissicas, submetidas a diversos eventos orogenéticos ao longo do Pré-Cambriano (Almeida *et al.*, 1976; Heilbron *et al.*, 1995; Heilbron *et al.*, 2000) representando uma das importantes feições geotectônicas da fachada atlântica brasileira, que se estende de Santa Catarina até o Norte da Bahia, compondo-se de diversas faixas de dobramento, dentre as quais destaca-se a Faixa Ribeira que abrange todo o estado do Rio de Janeiro.

Esta unidade é subdividida em domínios morfoesculturais, sendo observados na região de estudo os seguintes:

- Maciços Costeiros e Interiores

Compreende um conjunto de maciços montanhosos relativamente alinhados sob direção WSW-ENE, desde o Maciço da Juatinga ao Maciço da Região dos Lagos, estando situado em meio às baías e baixadas litorâneas. Foram inseridos também nessa unidade os maciços ou os alinhamentos serranos situados em

posição de contrafortes da escarpa da Serra do Mar, tais como os maciços de Suruí e Conceição de Macabu. Ainda inserem-se nessa unidade maciços isolados no Norte Fluminense, tais como os de morro do Coco e de Bom Jesus do Itabapoana.

- Maciços Alcalinos Intrusivos

É composto por um conjunto de maciços montanhosos de rochas alcalinas geradas num período de atividade vulcânica entre o final do Cretáceo e o início do Terciário, decorrente da abertura do Oceano Atlântico (Almeida, 1976). Esse magmatismo gerou uma série de corpos alcalinos que intrudiram o embasamento cristalino de idade pré-cambriana, compondo o alinhamento magmático de Cabo Frio (Almeida, 1992 *apud* CPRM, 2000; Sichel *et al.*, 1997), com direção aproximada WNW-ESE. No Estado do Rio de Janeiro, esse alinhamento estende-se do Maciço do Itatiaia à Ilha de Cabo Frio.

**Figura II.5.1.5-10 - Domínios geomorfológicos. (A3)**

**Figura II.5.1.5-10 - Domínios geomorfológicos. (A3)**

Esses maciços intrusivos têm, em geral, uma forma dômica, muitas vezes assemelhando-se a vulcões extintos, parcialmente ou bastante erodidos, demonstrando uma drenagem radial e centrífuga.

Apresentam-se também por blocos montanhosos escarpados, com vertentes íngremes, freqüentemente recobertas por colúvios e depósitos de tálus. Os gradientes são elevados a muito elevados e os topos são aguçados, arredondados ou em cristas anelares, apresentando altas densidades de drenagem com padrão radial e centrífugo a dendrítico.

- Superfícies Aplainadas nas Baixadas Litorâneas

São representadas por extensas zonas colinosas, localizadas a leste da Baía de Guanabara e compreendidas entre as planícies costeiras e baixadas fluvio-marinhas e a escarpa da Serra do Mar, apresentando topografia uniforme e topos nivelados de baixa amplitude de relevo devido a processos de aplainamento gerados durante o Terciário Superior.

Essa unidade morfoescultural é composta por duas unidades geomorfológicas denominadas de Superfície Aplainada da Região dos Lagos e Superfície Aplainada do Litoral Leste Fluminense, a primeira apresentando cotas que variam de 50 a 120m de altitude e a segunda de 40 a 100m de altitude.

- Escarpas Serranas

Compreende um conjunto de escarpas montanhosas festonadas, fortemente alinhadas sob direção WSW-ENE, compostas pelas serras do Mar e da Mantiqueira.

A escarpa da Serra da Mantiqueira abrange um pequeno trecho do território fluminense, junto ao médio vale do rio Paraíba do Sul, entre o Maciço alcalino intrusivo do Itatiaia, na divisa com o Estado de São Paulo, e a Garganta de Passa-Vinte, estendendo-se, a partir daí, em território mineiro.

A escarpa da Serra do Mar prolonga-se em grande extensão no território fluminense, com diversas configurações morfológicas, desde a Serra da Bocaina,

na divisa com o Estado de São Paulo, até a Serra do Imbé, próximo ao Norte do Estado.

Neste cenário, destaca-se a Unidade Geomorfológica Escarpas das Serras de Macaé, Macabu e Imbé, que consistem no último trecho escarpado da cadeia montanhosa da Serra do Mar em território fluminense, que se sucedem à leste da Serra dos Órgãos, alçados por tectônica a mais de 1.000m de altitude, sendo que alguns picos atingem quase 2.000m.

O segundo grande domínio geomorfológico do Estado do Rio de Janeiro, representado pelas Bacias Sedimentares Cenozóicas, consistem numa das mais importantes feições geotectônicas resultantes da tectônica extensional pós-cretácica no Sudeste Brasileiro.

Compreende um conjunto de bacias tafrogênicas continentais: bacias de São Paulo e Taubaté (SP); bacias de Resende, Volta Redonda, Macacu e Itaboraí (RJ).

Esta unidade morfoestrutural é composta de três domínios morfoesculturais distintos, sendo todos eles observados na parte continental adjacente à região de estudos, apresentando as seguintes denominações e características:

- Tabuleiros de Bacias Sedimentares Eo-Cenozóicas

Este domínio morfoescultural compreende um conjunto de tabuleiros e colinas tabulares presentes nas bacias tafrogênicas continentais que ocorrem no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul e no Graben da Guanabara e nos afloramentos do Grupo Barreiras que ocorrem no Norte do Estado. Na região é representado por duas unidades geomorfológicas.

A primeira é a Unidade Geomorfológica Tabuleiros de Quissamã, composta por uma superfície de tabuleiros pouco dissecados, embasados por sedimentos do Grupo Barreiras, correlacionados ao Terciário Superior (Mioceno/Plioceno) e Pleistoceno Inferior (Bigarella, 1975). Esses tabuleiros situam-se entre a planície fluviolagunar do baixo curso do rio Macabu, a norte, e os feixes de cordões arenosos de Jurubatiba, a sul.

A segunda unidade geomorfológica corresponde à Unidade Geomorfológica Tabuleiros de São Francisco de Itabapoana, que representam extensas

superfícies tabulares embasadas por sedimentos do Grupo Barreiras, pouco dissecadas por uma rede de drenagem que converge diretamente para o oceano, produzindo vales em “U”.

Tais vales são caracterizados por bordas íngremes dos tabuleiros e de fundo chato, recobertos por sedimentação fluvial ou fluvio-lagunar recente. Esses tabuleiros situam-se entre a depressão interplanáltica com alinhamentos serranos do norte-noroeste fluminense, a oeste; a Baixada Campista, a sul; e a porção norte dos feixes de cordões arenosos do rio Paraíba do Sul, a leste.

- Planícies Fluvio-Marinhas (baixadas)

Esta unidade é composta por um conjunto de baixadas aluviais, planícies fluvio-marinhas e fluvio-lagunares, que preenchem extensas áreas deprimidas localizadas próximo ao litoral, tais como as baixadas de Sepetiba, da Guanabara e Campista. Também compreendem os baixos cursos dos principais canais que deságuam diretamente no oceano, como os rios São João, Macaé e Itabapoana. Essas baixadas são caracterizadas por uma sedimentação de interface entre ambientes continentais e marinhos ou transicionais.

- Planícies Costeiras

Compreende uma sucessão de feixes de restingas resultantes do empilhamento de cristas de cordões litorâneos por ação marinha em linha de costa progradante. Esses feixes de cordões arenosos, freqüentes no litoral norte fluminense, possuem idade pleistocênica, sendo originados após a penúltima transgressão (Martin *et al.*, 1997) e preservados do último máximo transgressivo; ou idade holocênica, associados à planície deltaica do rio Paraíba do Sul.

Caracteriza-se por um microrrelevo muito suave, marcado pela alternância de cristas arenosas paralelas entre si (antigas linhas de praia) com depressões embrejadas intercordões. No topo dessas cristas arenosas pode ocorrer algum retrabalhamento do material por ação eólica, resultando na formação de campos de dunas.

### *b) A costa*

A costa leste do Brasil estende-se de Salvador a Cabo Frio (Silveira, 1964 *apud* Muehe, 1998). Apresenta costas altas, costões rochosos e o relevo tabuliforme do Grupo Barreiras.

Ao sul do rio Doce, esta feição possui uma largura menor, com ocasionais afloramentos do embasamento cristalino. Terraços ornamentados por cordões litorâneos regressivos, pleistocênicos e holocênicos, são retrabalhados por ventos, originando campos de dunas.

Na região estudada, a costa sofre uma abrupta mudança em sua orientação, passando de um alinhamento N-S ao norte do Cabo de São Tomé para NE-SW, até Cabo Frio, ao sul do qual assume direção E-W.

De acordo com Muehe (1998), a linha de costa na região divide-se em dois macrocompartimentos da região oriental: macrocompartimento Embaiamento de Tubarão, que se estende do rio Doce ao rio Itabapoana (19º 40'S a 21º 19'S) e Bacia de Campos, entre o rio Itabapoana e Cabo Frio (21º 18'S a 23º S).

A linha de costa do Embaiamento de Tubarão é a área de menor largura da margem continental entre o Banco de Abrolhos e a Bacia de Campos, sendo, em grande parte, caracterizada pelo relevo associado ao Grupo Barreiras, embora esta feição seja substituída em algumas áreas por afloramentos do embasamento cristalino, como em Vitória e em Setiba-Guarapari. Sua extensão para o interior também é reduzida, não ultrapassando os 10 km.

A principal feição associada ao macrocompartimento Bacia de Campos é a planície costeira do rio Paraíba do Sul, associada a um alargamento da plataforma continental interna.

Em direção ao sul desta área, o Grupo Barreiras se alarga e se interioriza a medida em que a planície de cristas praias do Paraíba do Sul se amplia, desaparecendo totalmente a partir da extremidade meridional desta planície e sendo substituído pelo embasamento cristalino pré-cambriano.

A planície costeira do Paraíba do Sul é constituída por dois conjuntos de cristas de praia. O conjunto da margem norte do rio é formado por cristas de idade holocênica. O conjunto da margem sul é de idade pleistocênica e estende-se até as proximidades de Macaé, sendo precedido por um estreito cordão litorâneo

holocênico. Um conjunto de pequenas lagoas se localiza à retaguarda do cordão arenoso atual. Uma importante planície de cristas praias também se desenvolve a jusante da foz do rio São João.

Rochas intrusivas alcalinas de idade cretácica formam elevações que se destacam na paisagem, tais como o Morro de São João, na margem esquerda do rio homônimo, e a Ilha de Cabo Frio, limite sul deste macrocompartimento. O Cabo Frio representa também o limite entre as bacias de Campos e Santos.

- A plataforma continental

A plataforma continental corresponde a uma faixa rasa com configuração de terraço, sendo seu limite externo definido pela quebra da plataforma que se encontra a aproximadamente 180 metros.

Apresenta relevo suave e monótono, raramente excedendo 20m, e declividade média em torno de 0,5 grau. Na Figura II.5.1.5-11, a seguir, pode-se visualizar o relevo suave que representa a plataforma continental.

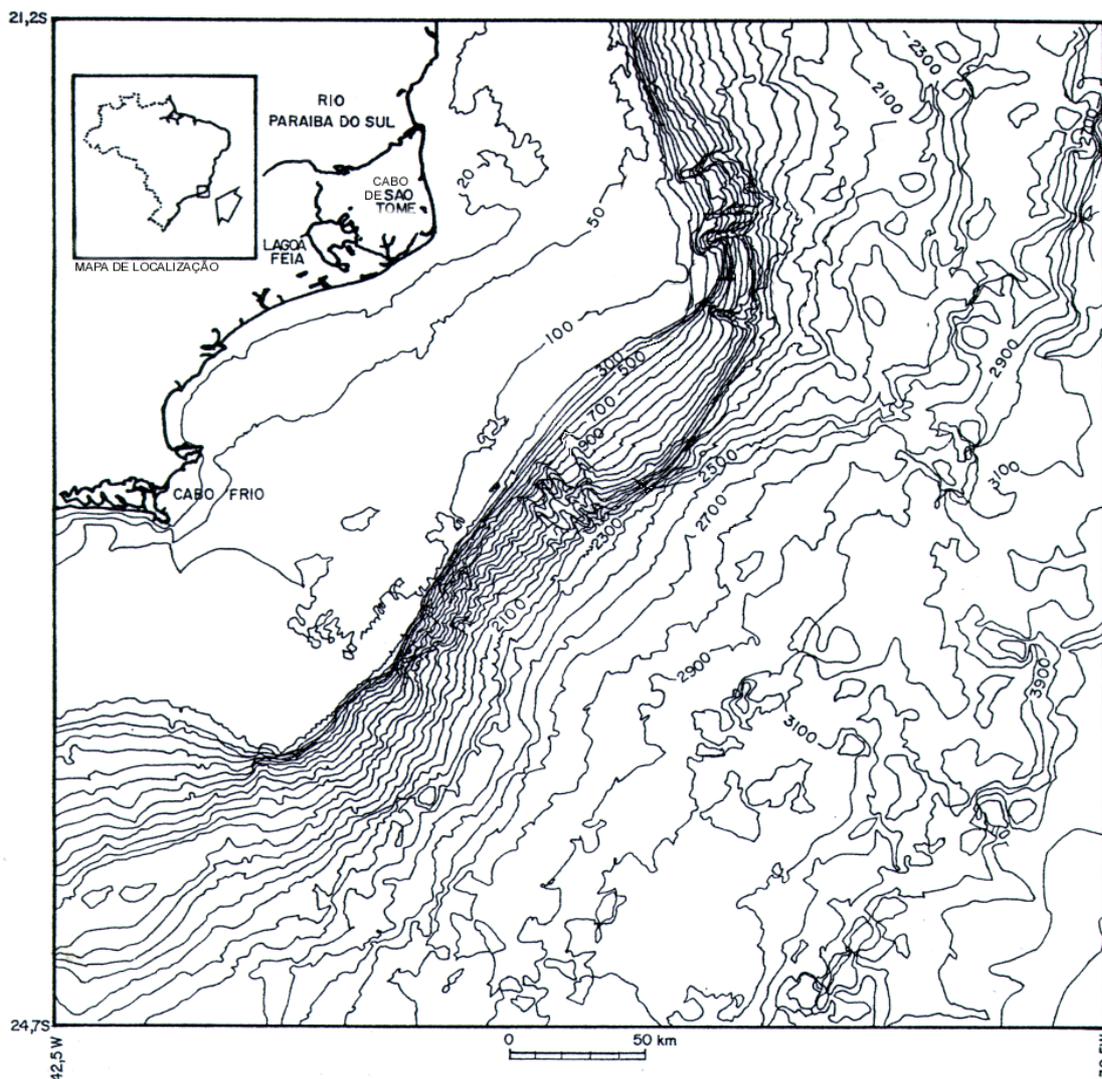
A plataforma continental brasileira foi influenciada pelas variações eustáticas ocorridas ao longo do Pleistoceno Superior e do Holoceno. Estas flutuações do nível do mar determinaram os processos que moldaram sua topografia atual.

Sua largura é bastante variável. Ao largo de Caravelas, na Bahia, alcança 246 km e logo ao sul de Regência, no Espírito Santo, decresce para um mínimo de 48 km (REVIZEE, 1996), voltando a se alargar em direção ao Cabo de São Tomé (100 km). Ao largo do Cabo Frio, aproxima-se novamente da costa, chegando a cerca de 50 km (Muehe, 1998).

Observa-se que a plataforma continental acompanha a mudança de orientação da linha de costa. Sua porção mais interna forma um suave arco na direção norte-sul, estreitando-se até que a isóbata de 50 m chegue a 27 km ao largo de Vitória. Daí para o sul, a plataforma vai se alargando em direção à Bacia de Campos.

A passagem da plataforma para o talude é caracterizada por um incremento abrupto no gradiente, em torno dos 130 m de profundidade, região denominada quebra da plataforma.

Na região compreendida entre Itabapoana e as imediações de Cabo Frio, a plataforma continental é caracterizada por uma topografia relativamente suave, com gradiente de 1:1.200. Alguns pequenos desníveis batimétricos suaves (10m), ocorrem relacionados às bordas de depósitos deltaicos pretéritos do rio Paraíba do Sul. Ao largo de Cabo Frio ocorre outro desnível com 45m na plataforma interna, de caráter erosivo, suavizando-se em direção às maiores profundidades.



**Figura II.5.1.5-11 - Mapa batimétrico esquemático da Bacia de Campos.**

Fonte: modificado de Viana et al., 1988.

As isóbatas em geral são sinuosas com direção preferencial NE-SW (Brehme, 1984) e acompanham os contornos da linha de costa. Ao norte do Cabo de São Tomé as isóbatas são modeladas pelo complexo deltaico do rio Paraíba do Sul.

Considerando a isóbata de 100 metros, as maiores larguras alcançam aproximadamente 120 Km e ocorrem ao longo de quase toda a plataforma. Em contraste, ao longo de Cabo Frio a isóbata de 100m apresenta-se a menos de 7 km da costa.

A plataforma continental encontra-se recoberta por uma sedimentação terrígena e exibe feições deposicionais do tipo bancos e ondas de areias (sand waves), além de escarpas arenosas. Estas últimas estão localizadas entre 30-60m e 90-100m de profundidades e foram interpretadas por Kowsman & Costa (1979) e Alves *et al.* (1980) como sendo paleolinhas de costa, construídas no período de estabilização do nível do mar durante o Holoceno.

Entre a foz do rio Itabapoana e o Cabo de São Tomé, conforme interpretações de perfis sísmicos de 3,5 kHz realizados, tanto por Kowsmann e Costa, (1979), como por Brehme (1984), foi identificada uma série de paleocanais. Esses canais são estreitos, possuem aproximadamente 200m de largura e as profundidades relativas às suas bordas variam de 10 a 20m (Brehme, 1984). Nessa região também é notada a presença de cânions que se estendem desde a quebra da plataforma até a base do talude continental. Esses cânions foram esculpidos pelo rio Paraíba do Sul durante os períodos de exposição subaérea da plataforma, com o nível de mar mais baixo, associado às diversas fases de migração de sua foz ao longo do Cabo de São Tomé, no sentido sul-norte.

### *c) Talude continental*

O talude continental da margem sudeste brasileira possui gradiente médio entre 1° 50' e 3°. Estende-se até a profundidade de 2900 m e, a partir daí, dá lugar ao Platô de São Paulo que é caracterizado por um relevo irregular ocasionado pela movimentação de camadas de sal em subsuperfície (halocinese) e tem limite externo a uma profundidade aproximada de 3000m. De uma maneira geral, o sopé do talude acompanha paralelamente a quebra da plataforma continental, com apenas uma descontinuidade, ao longo da Cadeia Vitória-Trindade (Alves *et al.*, 1980).

Na porção setentrional da bacia, ao norte da foz do rio Itabapoana, o talude é estreito e abrupto, apresentando um relevo entrecortado por ravinas e pequenos vales erosivos. Ao sul da foz do mesmo rio, o talude apresenta-se largo e pouco inclinado, com espessa acumulação sedimentar bem estratificada.

Na região ao largo da Baixada Campista, o talude é recortado em toda a sua extensão por inúmeros cânions. Dentre esses, destaca-se um profundo vale submarino denominado Cânion Almirante Câmara. Ainda nesta região, um pouco mais para o sul, ocorre um outro cânion de dimensões semelhantes, denominado Cânion São Tomé. Este conjunto de cânions e ravinamentos é denominado Grupo Nordeste de Cânions.

Numa região mais para o sul da Bacia, aproximadamente entre as latitudes de Macaé e Búzios, o talude continental apresenta-se novamente recortado por um conjunto de cânions e ravinamentos, referido na literatura como Grupo Sudeste de Cânions. Segundo Gorini *et al.* (1999), essas ravinas são frutos de deslizamentos submarinos esporádicos, condicionados por falhamentos NW-SE. Ainda segundo os mesmos autores, o talude continental entre o Grupo Sudeste de Cânions e o Cânion São Tomé é o mais regular de toda a área estudada, e o menos erodido. Na Figura II.5.1.5-11, apresentada anteriormente, pode-se observar que se trata exatamente da área onde serão desenvolvidas as atividades de produção e escoamento de óleo e gás no Campo de Marlim Leste.

### *Caracterização fisiográfica local*

Conforme mencionado anteriormente, o Campo de Marlim Leste situa-se em uma região da bacia onde o talude continental intermediário apresenta um relevo plano e contínuo, sem a presença de feições fisiográficas marcantes, como cânions ou ravinamentos (Figuras II.5.1.5-12 e 13). Na área do *ring fence* de Marlim Leste o talude mergulha para SE com declividades que variam de 0 a 32 graus. No local de instalação da P-53, numa lâmina d'água de 1080 metros, as declividades variam de 2 a 3 graus.

### *Faciologia dos sedimentos de fundo*

Em seus estudos sobre as características da margem continental brasileira na Bacia de Campos, Viana *et al.* (1998) descreveram os sedimentos do assoalho marinho separando as diversas regiões fisiográficas, possibilitando a representação das principais províncias faciológicas, conforme demonstrado na Figura II.5.1.5-12.

Na região da plataforma continental foram descritas areias siliciclásticas e bioclásticas que ocupam as porções interna e média da plataforma. Acumulações de lamas derivadas de descargas do rio Paraíba do Sul são encontradas como pequenas “manchas” espalhadas pela plataforma interna, ou ainda como grandes acumulações nas regiões de Búzios e Cabo Frio, onde a energia das correntes é próxima de zero (Viana *et al.*, 1998). Na plataforma externa, identificaram-se sedimentos da fração areia, siliciclástica e secundariamente carbonática (derivada de algas verdes e vermelhas) com até 20 m de espessura, com um baixo a moderado teor de minerais pesados.

Essas areias recobrem ciclicamente seqüências de carbonatos, de 10 a 20 m de espessura, caracteristicamente depositados em condições muito rasas, com feições típicas de “shallowing upwards”, formando típicos bancos carbonáticos de borda de plataforma (Viana, 1998).

Na região do talude, esses autores descreveram sedimentos constituídos por areias finas a grossas, sendo mais finas na porção sul da Bacia, e mais limpas e mais grossas ao norte do Cânion São Tomé. Ao sul deste mesmo cânion, ocorrem camadas decimétricas de areias finas, limpas, associadas a desembocaduras de ravinamentos incipientes. Camadas de areias mais lamosas espalham-se por uma área maior, formando acumulações tabulares de lentes superimpostas, que podem alcançar até 10 m de espessura.

Na porção do talude médio, entre 550 e 1200m, foi caracterizada uma camada de areias finas, laminada, litificada e ferruginosa que, juntamente com construções coralíneas, capeiam um pacote de lama siltosa e/ou arenosa, laminada, de dezenas de metros de espessura, que localmente encontra-se desestruturada por processos de fluxos de massa (Caddah *et al.*, 1994 *apud* Viana *et al.*, 1998). Esta superfície ferruginosa litificada tem espessura em torno

de 10 cm, constituindo-se de areias finas, siltosa, siliciclástica ou bioclástica. Datações radiométricas calcularam idades holocênicas para esta superfície litificada, na região do talude médio.

**Figura II.5.1.5-12 - Mapa fisiográfico e faciológico regional da Bacia de Campos (Fonte: PETROBRAS). (A3)**

**Figura II.5.1.5-12 - Mapa fisiográfico e faciológico regional da Bacia de Campos (Fonte: PETROBRAS). (A3)**

Na região do Campo de Marlim Leste, na área da P-53, o solo é constituído por uma camada de sedimentos lamosos, argila e silte, (Figura II.5.1.5-13) com espessura variando entre 1,5 e 8m. Esta camada recobre sedimentos de lama heterogênea que caracterizam depósitos desorganizados compostos, principalmente, por sedimentos dobrados e brechas, além de clastos de lama, oriundos de processos de deslizamentos ocorridos no passado geológico (Hercos *et al.*, 2004).

Ocorrem ainda, na porção noroeste do *ring fence*, sobre o substrato lamoso, pequenas e esparsas elevações, que são formadas, predominantemente, por lama com sedimentos carbonáticos associados. Os carbonatos, produzidos pela ação de organismos, são constituídos pela acumulação de detritos (cascalho bioclástico) ou por esqueletos “in situ”, e compõem um arcabouço rígido e poroso, que é preenchido e recoberto por lama. Estas formações variam em diâmetro e altura e podem ser divididas em formações de grande porte (diâmetros maiores que 50 m e alturas de até 15 m) e de pequeno porte (diâmetros variando entre 2 e 50 m e alturas de até 2 m). No entorno da P-53 há uma predominância de formações de pequeno porte, com diâmetros inferiores a 50 m. Estas formações encontram-se esparsamente distribuídas, ocorrendo isoladamente ou em grupos. A densidade destas formações diminui para leste e sudeste, e aumenta significativamente nas direções noroeste e oeste, conforme pode ser visto na Figura 5.1.5-14) (Hercos *et al.*, 2004).

#### *Aspectos geotécnicos e de movimentos de massa na região do talude*

Segundo Stow (1989 *apud* Esteves, 1996), movimentos de massa caracterizam processos de ressedimentação que envolvem o deslocamento de sedimentos de águas rasas para águas mais profundas, sendo originados por forças gravitacionais. Sob essa denominação estariam tanto as correntes de turbidez quanto os fluxos de detritos e até mesmo grandes desmoronamentos submarinos.

Esteves (1996) descreve os deslizamentos e fluxos de massa como processos contínuos, numa escala de tempo geológico, enfatizando ainda que a

inicialização da instabilidade dos sedimentos pode estar ligada a diversos fatores sin e pós-deposicionais.

a) Processos sedimentares antigos e recentes

Segundo Wright (1991 *apud* Viana, 1998) e Carminatti e Scarton (1991 *apud* Viana, 1998), os grandes processos hidrodinâmicos do Atlântico Sul não sofreram modificações significativas desde o período Oligoceno/Mioceno. Com isso, os processos sedimentares observados no Quaternário podem, genericamente, ser extrapolados para períodos pretéritos, assumindo-se sua atuação para todo o Cenozóico.

**Figura II.5.1.5-13 - Mapa batimétrico e faciológico da área do ring fence do Campo de Marlim Leste. (Fonte: PETROBRAS) (A3)**

**Figura II.5.1.5-13 - Mapa batimétrico e faciológico da área do ring fence do Campo de Marlim Leste. (Fonte: PETROBRAS) (A3)**

**Figura II.5.1.5-14 - Mapa batimétrico e faciológico da área do ring fence do Campo de Marlim Leste com as ocorrências de depósitos carbonáticos (Fonte: PETROBRAS) (A3)**

**Figura II.5.1.5-14 - Mapa batimétrico e faciológico da área do ring fence do Campo de Marlim Leste com as ocorrências de depósitos carbonáticos (Fonte: PETROBRAS) (A3)**

Na Bacia de Campos, o transporte de sedimentos de fundo na plataforma externa é relacionado à influência de diversos fatores hidrológicos, resultando em deslocamentos tanto paralelos quanto perpendiculares às isóbatas. Os dados registrados por Viana *et al.* (1997) caracterizam a maior ocorrência destes últimos, evidenciando fluxos que predominantemente cruzam o talude, perpendicularmente. Dessa forma, o deslocamento de sedimentos para o talude superior ocorre preferencialmente através de fluxos de gravidade de baixa densidade, com os materiais sendo carreados em suspensão.

Os dados geológicos e oceanográficos sugerem uma contínua e significativa transferência de sedimentos da plataforma para o talude nos dias atuais. Sugerem também que diferentes correntes termohalinas (massas d'água) exerceram grande influência nos processos sedimentares atuantes no ambiente do talude continental durante o Quaternário Superior.

Os diversos processos hidrodinâmicos que transferem sedimentos da plataforma para o talude proporcionaram a formação de depósitos de diferentes morfologias, tais como corpos de forma lobada, associados à desembocadura de ravinas que cortam a região da quebra da plataforma, e acumulações planas, na forma de lençóis espalhados ao longo das escarpas da base da quebra da plataforma.

Segundo Esteves (1996), os movimentos de massa podem ser deflagrados por instabilidades ligadas a diferentes fatores, tais como alta taxa de sedimentação, acúmulo de gás nos poros dos sedimentos, gradiente excessivo, bioturbação, diápiros de sal ou de lama etc.

Na área do Campo de Marlim Leste o mapa batimétrico reflete uma regularidade planar do assoalho oceânico tal que não se pode inferir a presença de qualquer dos fatores acima mencionados, na área de execução do empreendimento. A presença de uma camada holocênica, pré-adensada e proveniente de um movimento de massa pretérito que expôs camadas mais antigas e consolidadas que foram posteriormente recobertas por sedimentos recentes, recobrindo todo o talude nesta região, indica que não ocorreram movimentos sedimentares do tipo escorregamento nos últimos 12.000 anos, estando o talude inativo durante todo este período. A camada holocênica não pode ser utilizada como evidência de movimentação lenta ou por fluência,

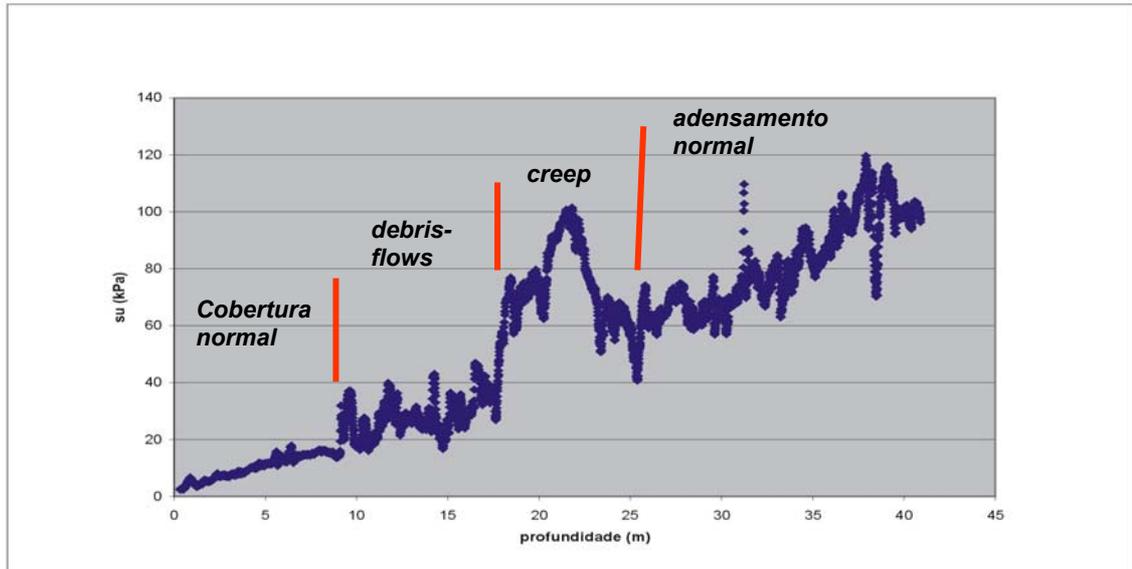
denominada na prática por rastejamento. Entretanto, conforme Costa *et al* (1994), esses movimentos encontram-se congelados no momento geológico atual para o talude médio da Bacia de Campos com declividades inferiores a 5 graus.

b) Condições locais de estabilidade e resistência do piso marinho

Estudos realizados pela Petrobras visando atestar as condições de estabilidade geológica e geotécnica da região em estudo confirmaram um cenário estável. Em pontos próximos à locação da P-53 foram realizadas investigações geotécnicas, em campanha realizada com o navio M/S Bucentaur, constituídas de ensaios *in situ* de resistência do solo e amostragens.

A estabilidade do talude foi analisada a partir do furo com situação geotécnicamente menos favorável (Figura II.5.1.5-15). Este apresenta uma camada de sedimentos de cobertura de 8,5m (potencialmente instável) que se encontra, porém, ancorado entre sedimentos deformados de resistência elevada, não estando, portanto, propenso à instabilidade. Foi ainda realizado um modelo de estabilidade, modelo de talude infinito (Poulos, 1988), que resultou num fator de segurança de 7.45 (muito seguro). Na ausência de outros fatores de risco, tais como cânions, falhamentos etc, pode-se concluir que o fundo marinho na área da locação da plataforma da P-53 não apresenta riscos quanto à estabilidade.

Os parâmetros de resistência do solo indicaram, também, uma camada superficial de resistência mecânica suficiente para assentamento de estruturas submarinas.



**Figura II.5.1.5-15** - Perfil geotécnico do furo mais instável, mostrando camadas com diferentes comportamentos de resistência não drenada.

Fonte: PETROBRAS.