



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO - UFRJ
CCMN – INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

**CORRELAÇÃO ROCHA – PERFIL EM TESTEMUNHO
CONTÍNUO DA BACIA DE TAUBATÉ**

Leonardo Loureiro Penha

Orientadores: Prof. Dr. Cláudio Limeira Mello (UFRJ)
Prof. Dr. Adalberto da Silva (UFF)

Rio de Janeiro, março de 2005.

CORRELAÇÃO ROCHA – PERFIL EM TESTEMUNHO CONTÍNUO DA BACIA DE TAUBATÉ

Leonardo Loureiro Penha

Monografia submetida ao Curso de Graduação em Geologia da UFRJ, como requisito obrigatório da disciplina Estágio de Campo IV. Tema vinculado ao Programa de Capacitação em Recursos Humanos em Geologia do Petróleo da Pós-Graduação em Geologia e Geofísica Marinha, da Universidade Federal Fluminense (PRH 11), apoiado pela Agência Nacional do Petróleo (ANP).

Resumo

Este trabalho faz parte do projeto de “Determinação das áreas-fontes para as argilas esmectíticas das bacias tafrogênicas do Rift Continental do Sudeste do Brasil” (LAGEMAR/ CENPES – PETROBRÁS).

A Bacia de Taubaté está localizada na porção leste do Estado de São Paulo, ocupando o segmento central do Rift Continental do Sudeste do Brasil - *RCSB* (RICCOMINI, 1989), entre as cidades de Queluz e Itaquaquetuba (SP).

Para a realização deste estudo, foi efetuada uma sondagem de 220 m com testemunhagem contínua e perfilagem na mineradora Aligra-Indústria e Comércio de Argila Ltda. (Taubaté/SP), tendo como objetivo identificar as litofácies presentes e compará-las aos dados de perfilagem geofísica de poço. As rochas amostradas são típicas da Formação Tremembé, originalmente definida por ALMEIDA (1958), que corresponde, na concepção de RICCOMINI (1989), a um sistema lacustre do tipo ‘playa-lake’, de idade oligocênica, desenvolvido na porção central da Bacia de Taubaté e, de forma mais restrita, na Bacia de São Paulo.

Na indústria do petróleo, a correlação rocha–perfil é amplamente utilizada. Neste trabalho, pretende-se utilizar integradamente a aquisição geofísica de poço e a amostragem contínua de rochas em subsuperfície, visando estabelecer um quadro evolutivo local para o Oligoceno da Bacia de Taubaté.

A testemunhagem contínua da porção superior do espesso pacote argiloso da Formação Tremembé permitiu a classificação e análise da sucessão faciológica desta parte da bacia, e a definição de intervalos com assinaturas geofísicas particulares.

A análise do conjunto de perfis geofísicos adquirido (Raios Gama, Resistividade por Indução e Sônico) indica uma melhor resposta dos dois primeiros perfis para a identificação dos pacotes pelíticos devido à pouca variabilidade da velocidade sônica.

A integração da descrição geológica e de perfis permitiu o estabelecimento de alguns padrões ou assinaturas geofísicas para as principais fácies ocorrentes:

Argilito maciço: RG variável e Resistividade mais alta que as fácies 2, 3, 4 e 6.

Folhelho: RG mais baixo que o folhelho pirobetuminoso e Resistividade mais alta que o folhelho pirobetuminoso.

Folhelho pirobetuminoso: RG alto (maior que todas as outras fácies) e Resistividade baixa (menor que todas as outras fácies).

Argilito siltoso: RG mais baixo que o folhelho e Resistividade mais alta que o folhelho.

Argilito maciço a laminado calcífero: RG baixo (menor que todas as outras fácies) e Resistividade alta (maior que todas as outras fácies).

Em termos de evolução da bacia, é importante notar a ocorrência de estruturas típicas de exposição (gretas de contração) e de rochas papiráceas (pirobetuminosas), típicas de ambiente anóxico e de baixa energia, indicando variações eventuais da lâmina d'água desse paleo-lago durante a Época oligocênica que são identificáveis nos perfis geofísicos.

Os resultados obtidos por este estudo fornecem subsídios relevantes à identificação de áreas fontes para os sedimentos das bacias marginais adjacentes ao RCSB (Bacias de Campos e Santos), bem como contribui no entendimento da gênese de pacotes argilosos semelhantes já identificados na Bacia de Campos. A aplicação destas informações na exploração e desenvolvimento podem auxiliar a exploração e desenvolvimento nesta bacia marginal.

Agradecimentos

O autor deseja expressar aqui os mais sinceros agradecimentos a inúmeras pessoas e instituições pelo grande apoio recebido, tornando possível a realização deste trabalho.

Expresso minha gratidão ao orientador Prof. Dr. Cláudio Limeira Mello, por toda presteza e ajuda e ao amigo Prof. Dr. Adalberto da Silva, pelo auxílio recebido durante todas as fases do trabalho aqui apresentado.

Aos professores Dr. Cleverson G. Silva (ex-coordenador) e Dr. André Luíz Ferrari, coordenador do Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo (PRH-11, LAGEMAR/UFF), pela concessão de bolsa de graduação, que possibilitou o custeio de minhas despesas durante este período de dedicação aos estudos.

Ao projeto “Determinação das áreas-fontes para as argilas esmectíticas das bacias tafrogênicas do Rift continental do sudeste do Brasil” (LAGEMAR/CENPES – PETROBRÁS), coordenado pelo Prof. Dr. André Luiz Ferrari, pois sem o apoio do qual, este trabalho não poderia ter sido realizado.

A Aligra-Indústria e Comércio de Argila Ltda., por toda receptividade e pela permissão de executar as sondagens na sua área de mineração.

Ao Prof. Dr. Alberto G. Figueiredo Jr. por seus ensinamentos na hora de descrever os testemunhos.

Meus sinceros agradecimentos a todos meus amigos de graduação, em especial, Henrique (tiozão), Ricardo (zé-lele), Mário (marito), Erick (bonecão de Olinda), Fábio (foc), Rafael (garoto-tchuca), Romário, Camilo, Leonardo Molinari, Patrícia (pequenina), Diogo, Régis, Fagner (skol), Robertinho (duende), Anderson (Augustinho), Bruno, Rodrigo (Hormer Simpson), Rodrigo (thunder), Luis (nareba), Bruno (Ronaldão) e Zaque (zacolino) e especialmente ao Mauro (perverso) por sua grande contribuição durante a descrição.

Aos amigos do LAGEMAR-UFF, Alexandre, David, Zeca, Nuno, Marcão, Luis, Ricardo, Helber, Maite, Érica e Beatriz, pela amizade e apoio durante as etapas desta monografia.

O meu muito obrigado aos professores e funcionários do departamento de Geologia da UFRJ e ao departamento de Geologia e Geofísica Marinha do LAGEMAR-UFF, em especial aos professores e doutores Júlio César Mendes, Isabel Ludka e André Luiz Ferrari.

Dedico este trabalho,

À minha filha Aline e aos meus pais, Hélio Monteiro Penha e Arlene Loureiro Penha, pela força e motivação dada. As minhas irmãs Carla e Luciana pelos incentivos. Ao meu padrinho Marcus Aguiar Gorini pela ajuda e grande sabedoria. À minha namorada e companheira Juliana pela paciência, ajuda e compreensão. Dedico ainda a cada familiar e amigo que, direta ou indiretamente, me apoiaram nesta etapa da minha vida e a Deus.

Índice

1	Introdução	1
2	Objetivo	2
3	Localização.....	2
4	Contexto Geológico Regional.....	3
4.1	Unidades Litoestratigráficas	4
4.1.1	Unidades Cristalinas	4
4.1.1.1	Complexos Costeiros.....	5
4.1.1.2	Complexo Paraíba do Sul.....	5
4.1.1.3	Grupo Açungui.....	6
4.1.1.4	Grupo São Roque.....	6
4.1.1.5	Rochas Granitóides.....	7
4.1.2	Manifestações ígneas mesozóico-cenozóicas	7
4.1.3	Sedimentos terciários da bacia de Taubaté	7
5	Geologia local.....	11
6	Perfilagem Geofísica de Poço.....	12
7	Metodologia	13
8	Resultados Obtidos	23
9	Conclusões.....	36
10	Bibliografia	37

Anexo I: Principais assinaturas geofísicas e variações da lâmina d' água em um testemunho contínuo na Bacia de Taubaté

Índice de Figuras

Figura 01: Localização da área de estudo.....	3
Figura 02: Contexto geológico regional do Rift continental do sudeste do Brasil (RCSB)	4
Figura 03: Fases de evolução tectônica do <i>Rift</i> Continental do Sudeste do Brasil (Riccomini, 1989).	8
Figura 04: Coluna estratigráfica das bacias do segmento central do <i>Rift</i> Continental do Sudeste do Brasil e as fases tectônicas associadas	10
Figura 05: Contato discordante entre a Formação Tremembé (argilito maciço e folhelho) e o pacote coluvionar.....	12
Figura 06: Desenho esquemático de perfilagem geofísica de poço em bacia sedimentar da margem continental emersa.	13
Figura 07: Base da sonda de perfuração com BOP.	14
Figura 08: Manobra para retirada do barrilete de testemunhagem.	15
Figura 09: Retirada do barrilete do poço.	15
Figura 10: Extrusão do testemunho	16
Figura 11: Testemunhos acondicionados em caixas duplas de 1 m de comprimento com placas metálicas de identificação.	16
Figura 12: Bancada com os testemunhos prontos para descrição.	17
Figura 13: Trailer de sondagem da Perfil Master	18
Figura 14: Descida do equipamento de perfilagem no poço. Na imagem, vemos a cabeça do conjunto GR-Indução	18
Figura 15: Operação de perfilagem com registro digital e acompanhamento 'real time' no monitor.....	19
Figura 16: Ferramenta de Raios Gama (HYDRO – LOG).....	20
Figura 17: Ferramenta de Eletro – indução (HYDRO-LOG).....	22
Figura 18: Ferramenta Sônica (HYDRO – LOG).....	23
Figura 19: Argilito maciço com aspecto brechado em razão das gretas de contração	24
Figura 20: Argilito maciço com nódulos de CaCO_3	24
Figura 21: Argilito maciço com ostracodito fino laminado, intercalado com intraclasto de argila	25
Figura 22: Folhelho com fóssil de peixe e ostracodes	26
Figura 23: Folhelho com nível rico em ostracodes (ostracodito)	26
Figura 24: Folhelho rico em ostracodes por vezes definindo a laminação	27
Figura 25: Folhelho com ostracodes esparsos e laminações ricas em ostracodes e camadas finas de areia muito fina	27
Figura 26: Folhelho com corpos irregulares de areia muito fina (Amf) possivelmente deformados por carga e ostracode.....	28
Figura 27: Folhelho pirobetuminoso (papiroáceo) rico em matéria orgânica, ocorrem zonas esbranquiçadas em razão do CaCO_3	29
Figura 28: Folhelho pirobetuminoso escuro com fósseis de (insetos) e coprólitos	29
Figura 29: Folhelho pirobetuminoso, idem anterior	30
Figura 30: Folhelho pirobetuminoso com falhas normais e dobras (sismo?) e CaCO_3	30
Figura 31: Argilito maciço siltoso com concreções de CaCO_3	31
Figura 32: Argilito fracamente laminado com gretas de contração preenchidas por argila e camada fina de siltito laminado	32
Perfil de RG-Indução Perfil de RG-Sônico	33
Figura 33: Perfis obtidos de GR-Indução (com SP gerado a partir da aquisição de indução) e GR- Sônico. Observe a monotonia do registro sônico para o pacote pelítico.	33

1 Introdução

A Bacia de Taubaté faz parte do Rift Continental do Sudeste do Brasil (RCSB, RICCOMINI, 1989), tendo sido relacionada à fase tardia do evento de ativação tectônica da Plataforma Sul Americana, associada à fragmentação do Gondwana e formação do Oceano Atlântico Sul. Este evento, denominado inicialmente de Reativação Wealdeniana, teria sido responsável pelos derrames basálticos Juro-Cretácicos da Formação Serra Geral, pela implantação das bacias marginais e, como efeito tardio, já no Cenozóico, pela “formação da antéclise do Rio Paraíba do Sul e de seu graben mediano” (ALMEIDA 1967,1969). ALMEIDA (1976) englobou as bacias tafrogênicas associadas, de Curitiba, São Paulo, Taubaté, Resende, e o Graben da Guanabara no Sistema de Rifts da Serra do Mar. SCHOBENHAUS *et al.* (1984) denominaram de Evento Sul-Atlântico às atividades tectono-magmáticas que acompanharam e se seguiram à separação dos continentes Africano e Sul-americano.

O Rift Continental do Sudeste do Brasil pode ser dividido em três segmentos (RICCOMINI *et al.*,2000a). O segmento ocidental engloba a Bacia de Curitiba, a área de ocorrência da Formação Alexandra, os grábens de Guaraqueçaba, Sete Barras e Cananéia, e a área de ocorrência da Formação Pariqüera Açú; o segmento central compreende as bacias de São Paulo, Taubaté, Resende, Volta Redonda, além das ocorrências menores de Bonfim e do Cafundó; o segmento oriental encerra o Gráben da Guanabara, que aloja as bacias de Macacu, Itaboraí e o Gráben de Barra de São João.

A Bacia de Taubaté corresponde a uma bacia assimétrica, formada internamente por regiões deprimidas e elevadas. As primeiras correspondem às sub-bacias de Jacaré, Eugênio de Melo, Taubaté e Pindamonhangaba, separadas entre si pelos altos do rio Putins, Caçapava, rio Una e Aparecida. Os sedimentos que preenchem essa depressão são de origem continental, caracterizados por depósitos de leques aluviais, planícies aluviais e fluviais, além de depósitos pelíticos de ambiente lacustre, com a presença de fósseis característicos de ambiente continental e de idade cenozóica (Eoceno-Recente). A sedimentação é sintectônica, com depósitos sedimentares de granulometria grossa nas bordas falhadas da bacia, além de depósitos arenosos e argilosos, na parte central da bacia, ligados a ambientes de sedimentação fluvio-lacustres (APPI *et al.*, 1986; CHANG *et al.*, 1989; RICCOMINI, 1989). Dados geofísicos provenientes de sísmica de reflexão e gravimetria estimam uma espessura máxima em torno de 800-900 metros de profundidade (FERNANDES, 1993).

Dentre o grande acervo de trabalhos voltados para a origem e evolução das bacias cenozóicas, nota-se a carência de dados de subsuperfície, os quais são ferramentas muito importantes para o entendimento das bacias. Este trabalho apresenta a importância da utilização da perfilagem de poço no auxílio à descrição de testemunhos, a partir da aplicação da correlação rocha x perfil, e assim propor um quadro evolutivo local para o Oligoceno na Bacia de Taubaté.

2 Objetivo

O objetivo deste trabalho foi a descrição das litofácies de 220m de testemunhos contínuos de rocha em um poço na Bacia de Taubaté, na região homônima e compará-lo aos resultados da interpretação da perfilagem geofísica de poço.

A utilização da perfilagem geofísica de poço é de fundamental importância, não só na correlação de poços, mas como uma ferramenta de auxílio na própria descrição dos testemunhos, a medida que se têm o conhecimento das propriedades físicas das rochas.

3 Localização

A área em foco está situada no município de Taubaté, Estado de São Paulo (vide figura 01), na área da mineradora Aligra-Indústria e Comércio de Argila Ltda. A operação foi executada pela GEOSOL-Geologia e Sondagens Ltda., utilizando uma sonda rotativa com barrilete de 2 metros e diâmetro de 100mm.

A Bacia de Taubaté é uma feição deprimida entre as serras do Mar e da Mantiqueira, servindo de calha para o curso médio do Rio Paraíba do Sul. Ocupando uma área de aproximadamente 2.400 km², a bacia possui 170 quilômetros de comprimento e uma largura que varia de 10 a 25 quilômetros, sendo alongada segundo a direção ENE.

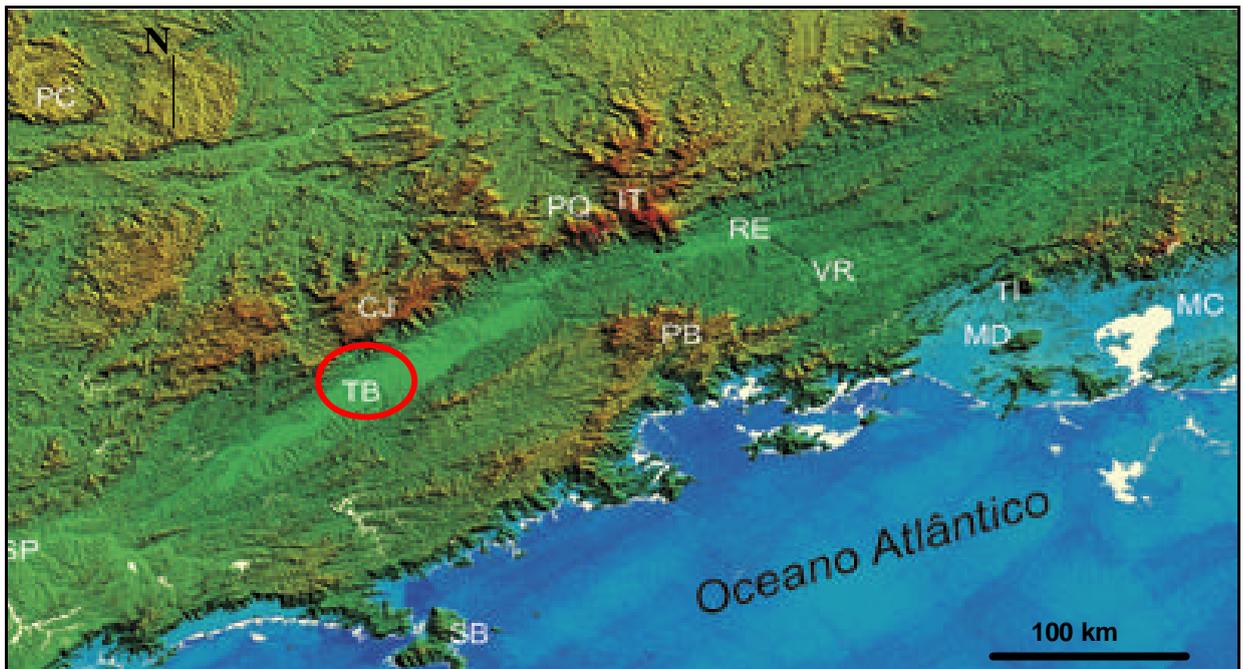


Figura 01: Localização da área de estudo

Com destaque das bacias sedimentares de São Paulo (SP), Taubeté (TB), Rezende (RE), Volta Redonda (VR) e Macacu (MC), além dos Planaltos da Bocaina (PB), na Serra do Mar, e de Campos do Jordão (CJ), na Serra da Mantiqueira, além dos maciços alcalinos de Poços de Caldas (PC), Passa Quatro (PQ), Itatiaia (IT), São Sebastião (SB), Tinguá (TI) e Mendanha (MD). Riccomini *et al.*; 2004.

As principais vias de acesso são as rodovias dos Trabalhadores e Presidente Dutra (BR-116) e aquelas que, a partir destas, servem às cidades do litoral paulista e serranias adjacentes. A região é servida ainda pela antiga Estrada de Ferro Central do Brasil (EFGB), que liga as cidades do Rio de Janeiro e São Paulo.

4 Contexto Geológico Regional

O embasamento do *RCSB* é representado por rochas metamórficas e ígneas do Cinturão de Dobramentos Ribeira (HASUI *et al.*, 1975), possuindo evolução complexa e idades que vão desde o Arqueano até o Proterozóico Superior (vide figura 02).



Figura 02: Contexto geológico regional do Rift continental do sudeste do Brasil (RCSB)

(1) embasamento pré-cambriano; 2) rochas sedimentares paleozóicas da Bacia do Paraná; 3) rochas vulcânicas toleíticas eocretáceas da Formação Serra Geral; 4) rochas relacionadas ao magmatismo alcalino mesozóico-cenozóico; 5) bacias cenozóicas do Rift (1- Bacia de Itaboraí, 2- Gráben de Barra de São João, 3- Bacia do Macacu, 4- Bacia de Volta Redonda, 5- Bacia de Resende, 6- Bacia de Taubaté, 7- Bacia de São Paulo, 8- Gráben de Sete Barras, 9- Formação Pariçüera-Açu, 10- Formação Alexandra e Gráben de Guaraqueçatuba, 11- Bacia de Curitiba, 12- Gráben de Cananéia); 6) Zonas de cisalhamento pré-cambrianas, em partes reativadas durante o Mesozóico e Cenozóico. Fontes: modificado de Melo *et al.* (1985 a), Riccomini *et al.* (1996) e Ferrari & Silva (1997), em Riccomini *et al.* (2004).

4.1 Unidades Litoestratigráficas

4.1.1 Unidades Cristalinas

No Pré-Cambriano, pode-se distinguir os seguintes conjuntos de rochas:

- rochas metamórficas de fácies granulito e anfibolito, e dioritos associados ao Complexo Paraíba do Sul atribuídos ao Pré-Cambriano médio (ciclo Transamazônico);
- rochas metamórficas e granitóides associados dos Grupos São Roque e Grupo Açungui e cataclasitos do Pré-Cambriano superior e eo-Paleozóico (ciclo Brasileiro).

Essas rochas dispõem-se em grandes blocos, separados por falhas transcorrentes de idade neo-proterozóica até o cambro-ordoviciano. Esses blocos agrupam-se em unidades maiores, denominadas compartimentos, que possuem características estratigráficas e estruturais próprias.

A partir do Jurássico Superior, no contexto da assim denominada Reativação Wealdeniana (ALMEIDA 1967, 1969), a região sofreu duas fases de magmatismo.

A primeira fase desenvolveu-se entre o Jurássico superior e o Cretáceo inferior e foi de caráter básico e intermediário, sendo responsável por inúmeros diques e *sills*. A segunda fase seguiu-se à primeira, tendo-se desenvolvido até o Terciário e teve caráter alcalino, estando representada por diques e pelos maciços de Ilha Bela, Itatiaia e Passa Quatro.

4.1.1.1 Complexo Costeiro

O Complexo Costeiro estende-se pela porção costeira, sendo limitado a norte pela falha de Cubatão e a sul pela linha de costa (ALMEIDA & HASUI, 1984).

Constitui-se basicamente de gnaisses diversos, migmatitos e granitos, assim como associações máfico-ultramáficas, granulitos e intercalações de metassedimentos. A abundância de migmatitos é marcante, sendo considerados como resultado de processos de migmatização e granitização ocorridos em vários ciclos (Jequié, Transamazônico e Brasileiro). A foliação principal orienta-se, de modo geral, paralela a costa. As datações são quase sempre referidas ao ciclo Brasileiro, certamente devido ao rejuvenescimento isotópico, porém as rochas do complexo teriam se originado no Arqueano, sendo retrabalhadas nos ciclos posteriores (FERNANDES, 1993).

4.1.1.2 Complexo Paraíba do Sul

O Complexo Paraíba do Sul corresponde às rochas existentes entre as falhas de Camanducaia e Jundiuvira. São gnaisses e migmatitos diversos, bandados e oftalmíticos, com diferentes graus de migmatização, além de intercalações de metassedimentos e injeções de granitóides. Este complexo possui sua origem no Proterozóico Inferior, sendo posteriormente retrabalhado no Ciclo Brasileiro (SANTORO *et al.*, 1991).

4.1.1.3 Grupo Açungui

Constitui uma faixa alongada, mais ou menos paralela à costa, que se estende desde o Paraná até o Rio de Janeiro, delimitada a sul pela falha de Cubatão e o lineamento do Além-Paraíba, e a norte pelas falhas de Taxaquara, Monteiro Lobato e Jundiuvira. A divisão estratigráfica desta unidade mostra-se difícil, pela passagem transicional entre os metassedimentos de fácies xisto verde e as rochas gnássico-migmatíticas de fácies anfíbolito, passagem esta atribuída à feldspatização progressiva (IPT, 1981). Estes dois conjuntos distintos de rochas foram caracterizados como complexos por HASUI & SADOWSKI (1976), sendo que o Complexo Embu é caracterizado pelos migmatitos e gnaisses migmatizados, e o Complexo Pilar pelos metassedimentos.

O substrato da bacia de Taubaté é representado predominantemente pelo Complexo Embu, constituído principalmente por migmatitos homogêneos, oftalmíticos, neolíticos e facoidais, com intercalações de metassedimentos referidos ao Complexo Pilar, além de corpos metabásicos. É assumida uma idade mais nova que 1,0 Ga. para a sedimentação do Grupo Açungui.

4.1.14 Grupo São Roque

O Grupo São Roque é representado por metassedimentos descritos a norte e oeste de São Paulo, numa faixa orientada segundo E-W, sendo limitado a norte pelas falhas de Itu e Jundiuvira, a sul pela falha de Taxaquara e a leste-nordeste pela cunha formada pela falha de Monteiro Lobato e Jundiuvira. Constitui-se de metapelitos, metapsamitos, rochas carbonáticas, metabasitos e uma seqüência migmatítica com estruturas diversas. Idades radiométricas mostram valores ao redor de 640 Ma. para os metassedimentos e as rochas graníticas intrudidas nestas seqüências, resultando numa idade brasileira (IPT, 1981).

4.1.1.5 Rochas granitóides

O embasamento cristalino é constituído, além das seqüências descritas acima, por uma grande quantidade de rochas granitóides. São identificadas várias suítes e, dependendo de sua estruturação interna e à maior ou menor relação, temporal ou geográfica, com as grandes estruturas que compartimentam a região, são classificados como sin-, tardi- ou pós-tectônicos (SANTORO *et al.*, 1991).

Este extensivo magmatismo está associado, em sua maior parte, às rochas supra-crustais do Proterozóico Superior, e, em menor parte, às rochas mais antigas. Idades radiométricas apontam para valores entre 650 a 640 Ma. para as suítes sin-tectônicas e um intervalo de 560 a 540 Ma. para as suítes pós-tectônicas.

4.1.2 Manifestações ígneas mesozóico-cenozóicas

A porção sudeste da plataforma Sul-americana apresenta uma grande atividade tectono-magmática a partir do Jurássico Inferior, processos estes que culminaram com a ruptura desta porção do continente gondwânico e a conseqüente formação do EBRIS (*East Brazilian Rift System*, CHANG *et al.*, 1992).

As manifestações ígneas deste período mudaram de características durante o tempo, passando do vulcanismo basáltico da Formação Serra Geral, na Bacia do Paraná, para o magmatismo alcalino, que perdurou desde o Jurássico até o Eoceno.

4.1.3 Sedimentos terciários da bacia de Taubaté

O vale do rio Paraíba forma um corredor relativamente retilíneo, orientado segundo NE e preenchido por sedimentos terciários.

Formação Tremembé

A Formação Tremembé, junto com as demais formações de idade eocênica-oligocênica (Grupo Taubaté, vide figura 04) foram formadas sob um contexto tectônico extensional NNW-SSE (vide figura 03), provavelmente em virtude do basculamento termomecânico da Bacia de Santos (RICCOMINI 1989).

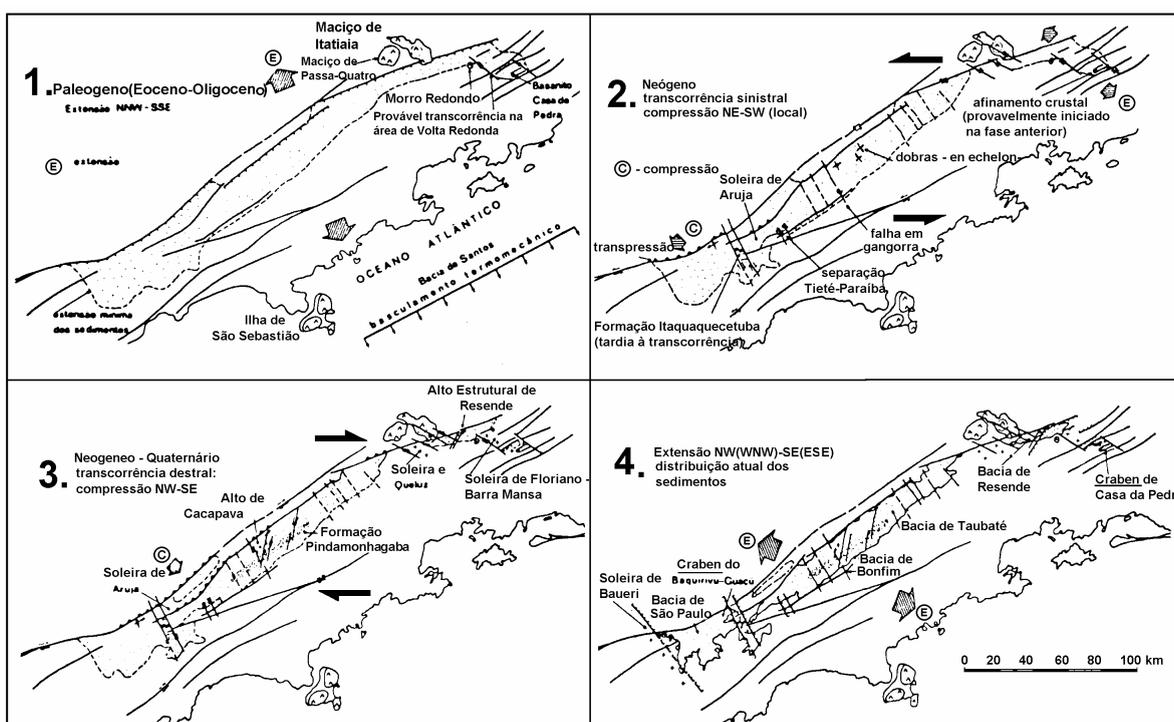


Figura 03: Fases de evolução tectônica do Rift Continental do Sudeste do Brasil (Riccomini, 1989).

A Formação Tremembé, originalmente definida por ALMEIDA (1958), corresponde, na concepção de RICCOMINI (1989), a um sistema lacustre do tipo 'playa-lake', de idade oligocênica, desenvolvido na porção central da Bacia de Taubaté e, de forma mais restrita, na Bacia de São Paulo, ambas integrantes do Rift Continental do Sudeste do Brasil (RCSB).

RICCOMINI (1989), baseado na análise de fácies e sistemas deposicionais, apresentou uma revisão litoestratigráfica dos depósitos das Bacias de Taubaté, São Paulo, Resende e Volta Redonda do RCSB, onde a Formação Tremembé está estratigraficamente situada na porção intermediária do Grupo Taubaté, esta representativa de um sistema de leques aluviais associados à planície aluvial de rios entrelaçados (braided).

RICCOMINI (1989) reconheceu cinco litofácies principais na Formação Tremembé:

- fácies de argilitos verdes maciços, freqüentemente fossilíferos (presença de moldes de ostracodes e restos de aves) e, localizadamente, com gretas de contração e concreções carbonáticas de dimensões até decimétricas;
- fácies de dolomitos com textura microesparítica, coloração verde acinzentada a branca, restrita a porção central da Bacia de Taubaté, onde ocorrem como camadas tabulares e contínuas, de espessuras decimétricas, intercaladas nos argilitos maciços;
- fácies de ritmitos formados pela alternância de lâminas ou camadas centimétricas de folhelhos e margas. Os folhelhos são de cor castanha a cinza escuro, laminados, localizadamente papiráceos, fossilíferos (presença de restos de peixes, coprólitos e impressões de plantas) e pirobotuminosos. As margas, por sua vez, são ricas em ostracodes;
- fácies de arenitos com estratificação cruzada sigmoidal, granodecrescência ascendente de areia média, ocasionalmente areia grossa ou grânulos, até silte, forma de lobos, presença de laminações cavalgantes (climbing ripples), estando bem desenvolvida unicamente na borda norte da Bacia de Taubaté;
- fácies de arenitos grossos, arcoseanos, conglomeráticos, localizadamente conglomerados polimíticos. Desenvolvem-se como camadas tabulares de grande persistência lateral, espessuras decimétricas a métricas e base erosiva. Apresentam gradação normal de arenitos grossos com seixos de argila na base, até arenitos finos quartzosos, com laminação cavalgantes (climbing ripples); para o topo ocorrem siltitos bioturbados e argilitos com gretas de contração. Estes sedimentos intercalam-se nos argilitos verdes maciços na porção central da Bacia de Taubaté.

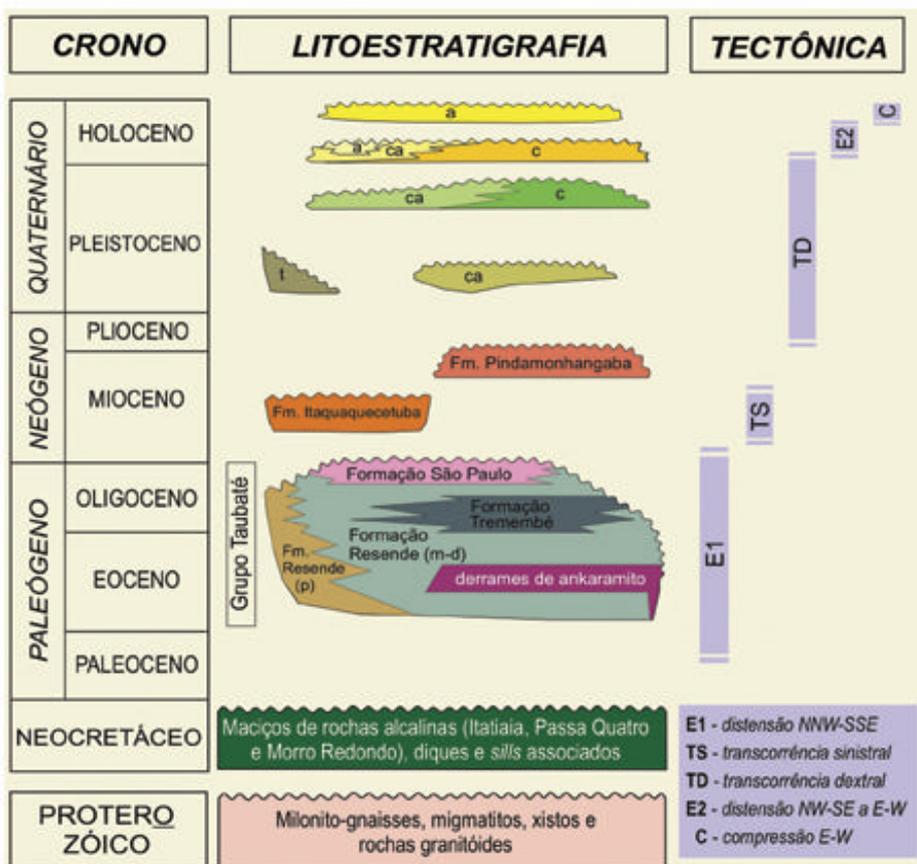


Figura 04: Coluna estratigráfica das bacias do segmento central do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil e as fases tectônicas associadas

Letras: p leques aluviais proximais; m-d – leques aluviais medianos a distais associados à planície aluvial de rios entrelaçados; t depósitos de tálus; c- depósitos colúvio-aluviais; a- depósitos aluviais. Fontes: modificado de Riccomini (1989), Mancini (1995), Salvador & Riccomini (1995), Riccomini *et al.* (1996) em Riccomini *et al.* (2004).

RICCOMINI (1989) atribui ao aumento da profundidade da lâmina de água do lago a passagem sucessiva de dolomitos para argilitos verdes e folhelhos pirobetuminosos. Dessa forma, os dolomitos representam os períodos de maior salinidade do lago. A diminuição na concentração de sais permitiu a decantação por floculação dos argilitos verdes, os quais gradam para os folhelhos pirobetuminosos, com restos de peixes e vegetais.

Os arenitos com estratificações cruzadas sigmoidais, presentes na borda norte da Bacia de Taubaté, marcam a chegada de leques aluviais diretamente no lago, formando depósitos do tipo leque deltáico. O fato desta fácies estar bem caracterizada em posição estratigráfica aparentemente de topo em relação ao sistema lacustre, sugere que o delta estava colmatando o lago.

RICCOMINI (1989) apontou para os arenitos grossos da porção central da Bacia de Taubaté uma origem ligada a processos tipo *sheet-flood*, ocasionados por enchentes esporádicas, depositando corpos de inunditos nas bordas do lago.

A Formação Tremembé apresenta rico conteúdo fossilífero, existindo referências a restos de folhas e troncos de angiospermas, espículas de esponjas, tubos de vermes, gastrópodes, ostracodes, crustáceos, insetos (lepdóptera), peixes, aves, répteis (crocodilianos e quelônios) e mamíferos (quirópteros, taxodontídeos, roedores) (MEZZALIRA 1989). O conteúdo polínico de amostras da Formação Tremembé, atravessados pela sondagem de nº 42 do Conselho Nacional do Petróleo (CNP), levou LIMA *et al.* (1985) a indicarem idade oligocênica a esta unidade.

Os sedimentos enfeixados na Formação Tremembé contêm argilominerais esmectíticos, com aproveitamento industrial, sendo seus principais depósitos explorados economicamente já há algumas décadas. Estas argilas são empregadas no descoramento de óleos vegetais, na recuperação de óleos lubrificantes, em fundição e como agente higroscópico em fertilizantes.

5 Geologia local

As rochas do local compõem-se, basicamente de argilitos maciços acinzentados a esverdeados, por vezes com laminações proeminentes, caracterizando um típico folhelho. Os argilitos maciços são lavrados pela Mineradora Aligra–Indústria e Comércio de Argila Ltda., sendo posteriormente utilizados na indústria de clarificantes de óleos. Foi também observado em corte na Mineradora Aligra–Indústria e Comércio de Argila Ltda. (vide Figura 05) um pacote de folhelho intercalado com camadas de calcário centimétricas em direção ao topo do afloramento, capeadas por um pacote coluvionar arenoso, em um contato discordante, mostrando seleção incipiente .



Figura 05: Contato discordante entre a Formação Tremembé (argilito maciço e folhelho) e o pacote coluvionar

6 Perfilagem Geofísica de Poço

Os métodos geofísicos têm sido utilizados para identificar ou descobrir feições geológicas em subsuperfície. A prospecção geofísica se constitui num processo indireto de investigação geológica, pois permite identificar em subsuperfície, interfaces entre materiais de propriedades físicas diferentes (elétricas, radioativas e acústicas). Foi com o nascimento da indústria petrolífera, a pouco mais de um século, que a prospecção geofísica teve seu grande impulso, com o surgimento de novos equipamentos de medição indireta das propriedades físicas das rochas.

Na indústria petrolífera, o uso da perfilagem geofísica de poço (vide figura 06) é de fundamental importância, principalmente na avaliação de formação, isto é, avaliar a capacidade produtiva e dimensionar as reservas de óleo e gás de uma determinada jazida petrolífera, como também obter informações geológicas acerca das formações atravessadas pelo poço: litologia (tipo de rocha), espessura, porosidade, prováveis fluidos existentes nos poros e suas saturações, dentre outros parâmetros.

Com base nessas informações, pode-se aplicar esse conhecimento na correlação estrutural e estratigráfica entre poços vizinhos, formar bancos de dados das propriedades petrofísicas e fazer correlação rocha x perfil como no presente trabalho .

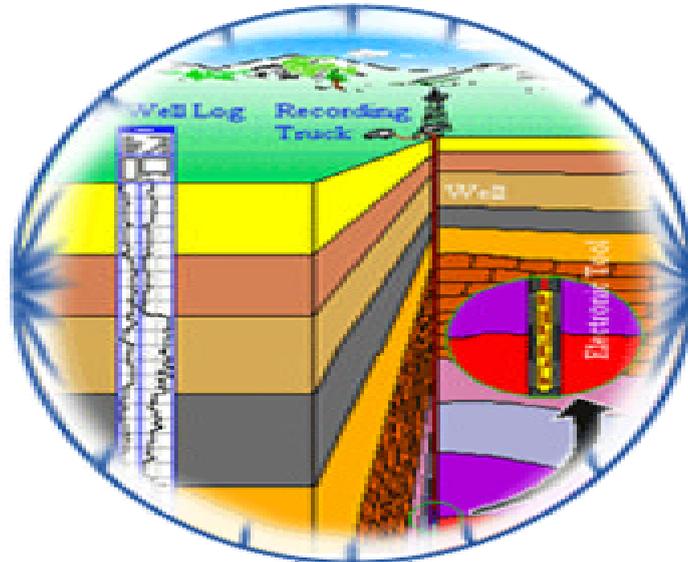


Figura 06: Desenho esquemático de perfilagem geofísica de poço em bacia sedimentar da margem continental emersa.

SBGF, 2004

7 Metodologia

Para a realização do trabalho foi efetuada uma sondagem rotativa pela GEOSOL-Geologia e Sondagens Ltda., utilizando uma sonda rotativa com barrilete de 2 metros e diâmetro de 100 mm. A testemunhagem contínua de rochas da Formação Tremembé alcançou 220 m de profundidade, atravessando principalmente argilitos e folhelhos e não ocorrendo nenhum nível tipicamente arenoso com maior representatividade. Em razão das características das rochas foi usado um fluido para perfurar a base de água com incorporação de sólidos da formação. Foi utilizado um BOP Guiberson, tipo “H-1” Hydraulic (vide figura 07), com pressão de trabalho de 2.000 psi, adequado às especificações de segurança para a bacia e profundidade atingida, com revestimento de superfície de aço sem costura de 8” (2.430psi) e (2.740 psi).



Figura 07: Base da sonda de perfuração com BOP.

A operação de sondagem foi realizada por uma equipe com quatro pessoas (um supervisor e três operadores), com avanço de dois metros seguidos de manobra para retirada do testemunho (vide figura 08). O barrilete era sacado do poço e apoiado no plano inclinado na lateral da plataforma e o testemunho era extrudado por bombeamento na cabeça do barrilete (vide figuras 09 e 10).



Figura 08: Manobra para retirada do barrilete de testemunhagem.



Figura 09: Retirada do barrilete do poço.



Figura 10: Extrusão do testemunho

Os testemunhos retirados foram acondicionados em caixas de madeira com capacidade para 2 metros (vide figura 11). A recuperação obtida foi muito boa (acima de 90%), chegando a 100% nas fácies mais laminadas e cimentadas e maiores perdas nos folhelhos pirobotuminosos.



Figura 11: Testemunhos acondicionados em caixas duplas de 1 m de comprimento com placas metálicas de identificação.

Após o término da sondagem, os testemunhos foram preparados (limpos e postos em calhas de tubo de PVC) no Banco de Amostras de Rochas e Sedimentos do LAGEMAR-UFF e descritos e fotografados, num total de 113 caixas.



Figura 12: Bancada com os testemunhos prontos para descrição.

A perfilagem geofísica a cabo foi realizada após o término da perfuração pela empresa Perfil Master Ltda. (vide figuras 13, 14 e 15), especializada em perfilagem para poços profundos de exploração de água subterrânea, utilizando ferramentas com um padrão diferenciado em relação àqueles utilizadas na indústria do petróleo, com tecnologia relativamente antiga, mas que vem demonstrando a sua qualidade em aquisições na área de prospecção hidrogeológica; ressalta-se, inclusive, que, no caso do perfil GR (Raios Gama), a ferramenta já está calibrada no padrão dado pela API. Foram utilizadas sondas de pequeno diâmetro da Scintrex, em duas corridas sucessivas com aquisição de Raios Gama convencional – Indução e Raios Gama convencional – Sônico, com registro de seção repetida para verificar a repetibilidade das ferramentas. O registro dos perfis é totalmente digital, com acompanhamento em tempo real no ‘display’, saída gráfica impressa e gravação em formato LAS.



Figura 13: Trailer de sondagem da Perfil Master

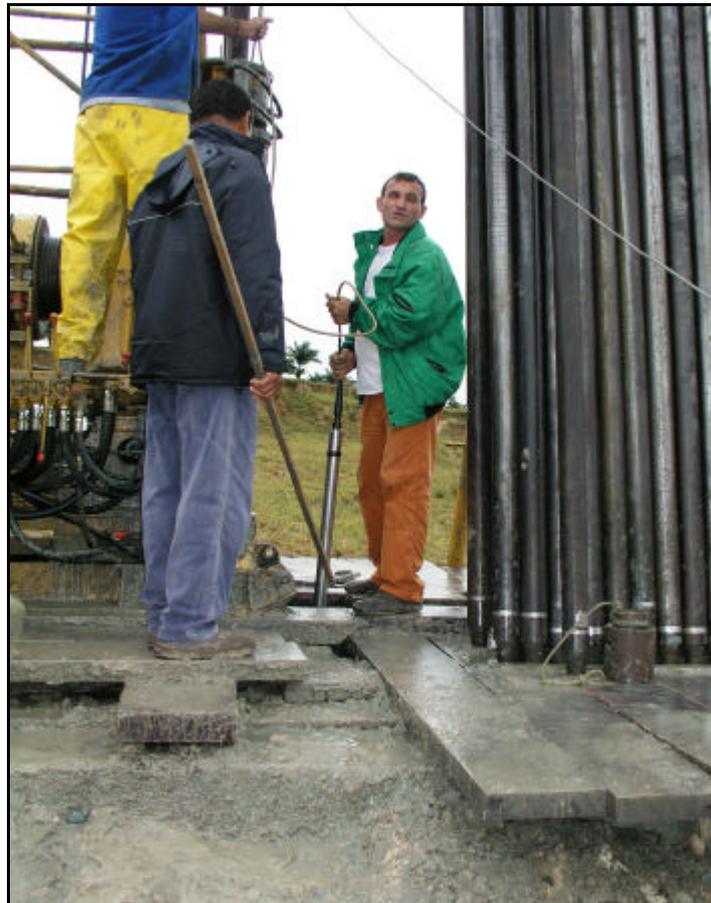


Figura 14: Descida do equipamento de perfilagem no poço. Na imagem, vemos a cabeça do conjunto GR-Indução



Figura 15: Operação de perfilagem com registro digital e acompanhamento 'real time' no monitor

Os métodos usados na perfilagem geofísica de poço foram: Raios Gama, Perfil de Indução e Sônico, descritos sucintamente a seguir:

Raios Gama: A investigação radiométrica se baseia na emissão de partículas α (prótons), β (elétrons) e γ (raios gama) derivada de elementos instáveis que emitem radioatividade através do decaimento radioativo. São eles o Urânio (na forma de seus isótopos U^{234} , U^{235} e U^{238}), o Tório (Th^{232}) e o K^{40} . Esses elementos são os principais responsáveis pela radioatividade natural terrestre. Das três radiações naturais apenas a Gama, devido à sua alta capacidade de penetração em materiais densos, é detectada pelos equipamentos convencionais de perfilagem radioativa (vide figura 16). A amplitude de um pulso radioativo, proveniente das rochas, atravessando a lama do poço até ser medido pelo detector de radiação, é função da energia (ou velocidade) do fóton que nele penetra. A intensidade, ou a quantidade da radiação, está relacionada com o número de fótons detectados por unidade de tempo.

Uma das formas de detecção da radiatividade é a cintilometria, que se baseia no fenômeno físico, em que as partículas radioativas, ao passar por um cristal sintético (iodeto de sódio ativado por Tálcio, por exemplo), emite uma cintilação (fótons de luz) que, embora imperceptíveis aos nossos olhos, é detectado por uma célula fotoelétrica que a transforma em impulsos elétricos, que são amplificados por um fotomultiplicador, registrados num amperímetro e convertidos em choques por segundo (cps). Os cintilômetros (contagem total), portáteis ou não, e, os gamaespectrômetros (além da contagem total, discriminam os elementos radioativos) se baseiam nesses princípios.

Seus principais usos são o cálculo percentual da argilosidade, a identificação de mineralizações radioativas, variação granulométricas das camadas, e correlação entre poços.



Figura 16: Ferramenta de Raios Gama (HYDRO – LOG)

Perfil de Indução: Os sistemas de perfilagem que utilizam eletrodos necessitam de um meio relativamente condutivo (lama) para proporcionar um razoável acoplamento elétrico entre os eletrodos e as rochas. Eles não podem ser usados em poços perfurados com lama muito condutiva (salgada – situação em que o sistema entra em curto-circuito) ou isolante (base de óleo, gás, ar ou água muito doce – situação na qual as correntes não penetram nas rochas). Sabe-se que o campo elétrico sofre distorções, na dependência do contraste resistividade lama/rochas.

Foi introduzido na indústria de petróleo o perfil de indução, cujo princípio físico tem por base o acoplamento eletromagnético (indutivo) entre os sensores e as rochas, princípio este capaz de minimizar o efeito da lama/poço. Por outro lado, o campo eletromagnético não é distorcido, penetrando, indistintamente, no meio lama e rochas independente do contraste resistivo.

Simplificadamente, uma ferramenta de indução (vide figura 17) se compõe de duas bobinas. Uma primária (transmissora) usada para energizar as rochas circunvizinhas ao poço e uma secundária (receptora) para detectar os sinais provenientes do poço/rochas. A bobina transmissora é alimentada por uma corrente alternada, de intensidade e frequência (20KHz) constantes. O campo magnético primário (emitido pela bobina transmissora) tem um formato toroidal e flui coaxialmente ao poço (perpendicularmente ao eixo da bobina), varrendo as rochas defronte a ela. Ao penetrar nas rochas, este campo primário induz nos fluidos condutores que existem dentro dos poros uma corrente elétrica que, por sua vez, desenvolve seu próprio campo magnético secundário. A intensidade deste campo secundário é diretamente proporcional à condutividade elétrica das rochas. Quanto menor a condutividade da rocha, menor o campo secundário criado, e vice-versa. É esse campo secundário que nos interessa medir.

Seus principais usos são a diferenciação litológicas e o cálculo da resistividade das rochas (R_o).



Figura 17: Ferramenta de Eletro – indução (HYDRO-LOG)

Sônico: O perfil Sônico ou acústico foi desenvolvido, inicialmente, com o intuito de prestar apoio à pesquisa sísmica exploratória. O perfil sônico consiste no registro do menor tempo decorrido entre o momento em que um pulso sonoro compressional é emitido por um transmissor, até sua chegada a dois receptores vizinhos e distintos. A diferença entre os dois tempos de chegada ou de trânsito (transmissor – receptor e transmissor – receptor longe) é chamada de Dt . Ambos os receptores encontram-se posicionados no mesmo mandril (vide figura 18) em que se encontra o transmissor, a uma distância fisicamente calculada de um pé (30 cm). O tempo de trânsito Dt , que é registrado segundo convenção do API em microssegundos/pé ($\mu s/pé$), guarda uma relação direta com a porosidade da rocha. Quanto maior o Dt , maior a separação entre os grãos, portanto, maior a porosidade. Eventualmente, tempos elevados podem representar fraturas, desmoronamentos ou presença de gás no poço.

Seus principais usos são o cálculo das porosidades total e efetiva das rochas e o cálculo da velocidade compressional.



Figura 18: Ferramenta Sônica (HYDRO – LOG)

8 Resultados Obtidos

Com as descrições dos testemunhos realizadas, foi possível determinar fácies características e assim comparar com as assinaturas da perfilagem geofísica de poço. Foram descritas as seguintes fácies (em ordem de representatividade):

Fácies 1: Argilito Maciço (vide figuras 19, 20 e 21) onde geralmente encontra-se gretas de contração preenchidas por argila, arenito fino e ostracodes dispersos, fósseis (coprólitos e peixes), bioturbações causadas por raízes e microorganismo e predominância de concreções de CaCO_3 irregulares (calcretes). É verificada unidade de solo (cutans e pedons), denotando paleossolos. Também são verificadas lentes de areia muito finas, interpretadas como produtos de enxurradas.



Figura 19: Argilito maciço com aspecto brechado em razão das gretas de contração

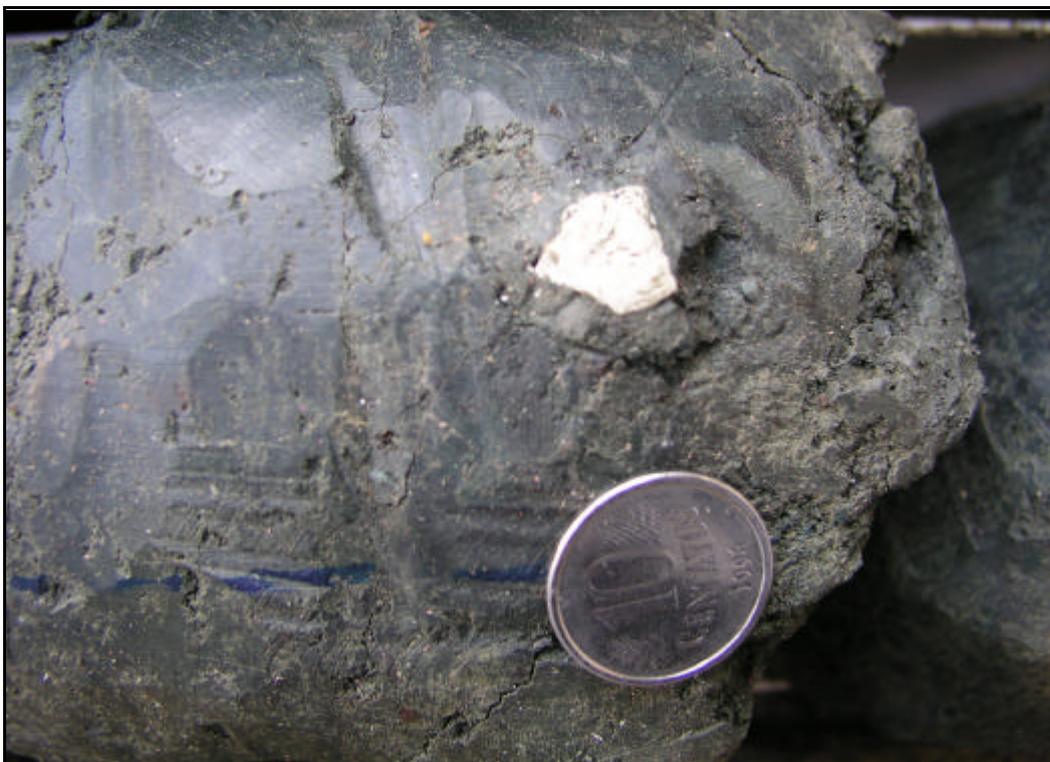


Figura 20: Argilito maciço com nódulos de CaCO_3



Figura 21: Argilito maciço com ostracodito fino laminado, intercalado com intraclasto de argila

Fácies 2: Folhelho (vide figuras 22, 23, 24, 25 e 26) em que se observou, em determinados níveis, uma grande concentração de ostracodes, definindo a laminação. Em alguns níveis é verificada uma laminação por vezes “grossa” incipiente, podendo ser uma deposição em lago raso. Apresenta uma menor quantidade de gretas de contração preenchidas por argilito maciço e arenito muito fino (Amf), uma grande quantidade de fósseis (lenho, peixe e concha), concreções de CaCO_3 e bioturbações indistintas (possivelmente insetos e raízes de pequenas plantas). Pode representar um rápido rebaixamento do páleo-lago.



Figura 22: Folhelho com fósil de peixe e ostracodes



Figura 23: Folhelho com nível rico em ostracodes (ostracodito)



Figura 24: Folhelho rico em ostracodes por vezes definindo a laminação



Figura 25: Folhelho com ostracodes esparsos e laminações ricas em ostracodes e camadas finas de areia muito fina



Figura 26: Folhelho com corpos irregulares de areia muito fina (Amf) possivelmente deformados por carga e ostracode

Fácies 3: Folhelho Pirobetuminoso rico em matéria orgânica (M.O.), determinado através de escala visual. Trata-se de material extremamente leve, onde, em alguns níveis, é observado variação na cor, ocorrendo níveis mais escuros, possivelmente com maior teor de M.O. (vide figuras 27, 28, 29 e 30). Foram observados também níveis de ostracodito denotando mortandade de ostracodes, concreções de CaCO_3 e fósseis de peixe, lenho e coprólito. Foi também observadas estruturas rúpteis e dúcteis (sismo ?) denotando atividade tectônica. Possivelmente essa fácies representa um período de maior lâmina d'água no paleo-lago Tremembé.



Figura 27: Folhelho pirobetuminoso (papiiráceo) rico em matéria orgânica, ocorrem zonas esbranquiçadas em razão do CaCO_3



Figura 28: Folhelho pirobetuminoso escuro com fósseis de (insetos) e coprólitos



Figura 29: Folhelho pirobetuminoso, idem anterior



Figura 30: Folhelho pirobetuminoso com falhas normais e dobras (sismo?) e CaCO_3

Fácies 4: **Argilito Siltoso Maciço** a laminado (vide figura 31) com ostracodes e concreções de CaCO_3 (calcretes). Possíveis enxurradas em lâmina d'água baixa. Por vezes a concentração de ostracodes é tamanha (*Boom* de ostracode) que forma ostracoditos.



Figura 31: Argilito maciço siltoso com concreções de CaCO_3

Fácies 5: **Argilito Maciço Calcífero** a laminado com forte reação ao HCl. Possivelmente representa períodos de menor lâmina d'água, como também períodos de maior salinidade nesse paleo-lago Tremembé.

Fácies 6: **Argilito pouco físsil** com pouca representatividade em relação às outras fácies.



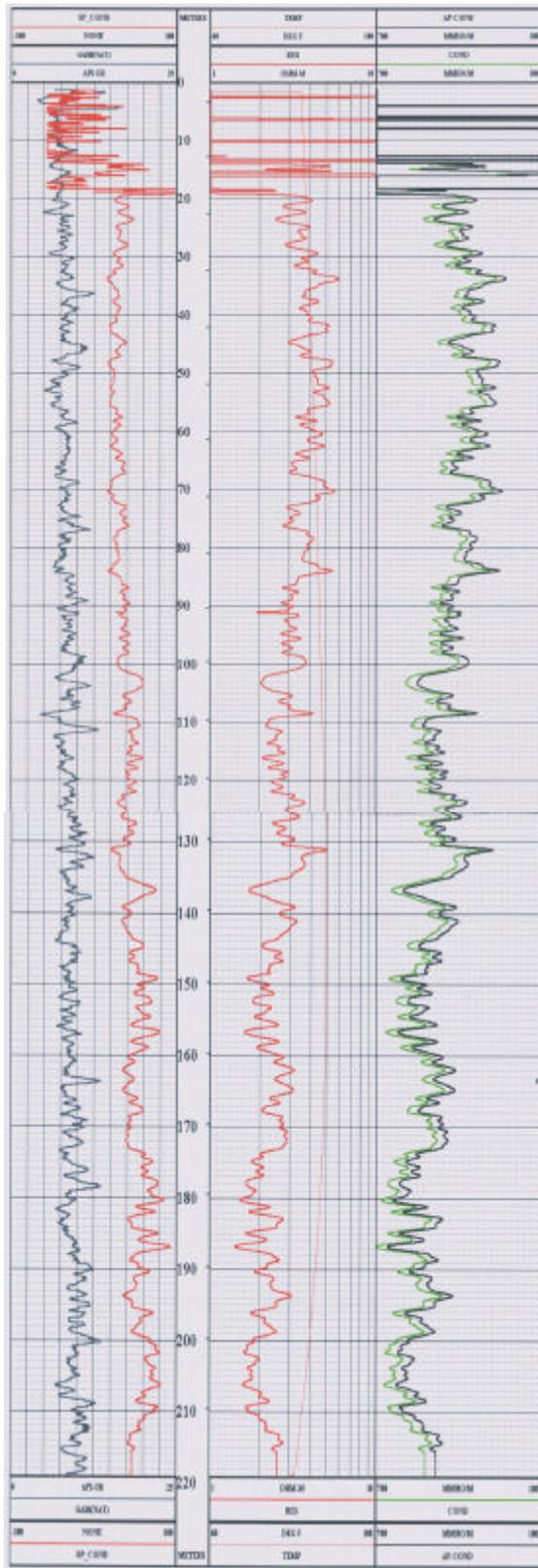
Figura 32: Argilito fracamente laminado com gretas de contração preenchidas por argila e camada fina de siltito laminado

Fácies 7: Colúvio caracterizado por um pacote argilo-arenoso com cores avermelhadas e rosadas (oxidadas), se estendendo do topo do poço até uma profundidade de aproximadamente 3,50 m, fazendo contato na base com o folhelho.

A análise do conjunto de perfis geofísicos adquirido (Raios Gama, Resistividade e Sônico) indica uma melhor resposta dos dois primeiros perfis para a identificação de pacotes pelíticos e pouca variação na sua velocidade sônica, onde o traço do perfil foi bastante monótono ao contrário dos métodos de Raios Gama e Resistividade que mostraram picos demonstrando diferenças na passagem de uma fácies para outra (vide figura 33). É interessante destacar de uma forma geral, que as argilas que dominam esse pacote de 220 m se caracterizam por baixa emissão gama.

As principais assinaturas geofísicas e sua correlação geológica estão indicadas nos perfis interpretados (vide anexo I). Foi construída nesse mesmo gráfico uma coluna, a partir de rochas contendo estruturas típicas de exposição (gretas de contração) e de rochas papiráceas (pirobetuminosas), onde mostrou-se variações eventuais da lamina d'água desse paleo-lago.

Perfil de RG-Indução



Perfil de RG-Sônico

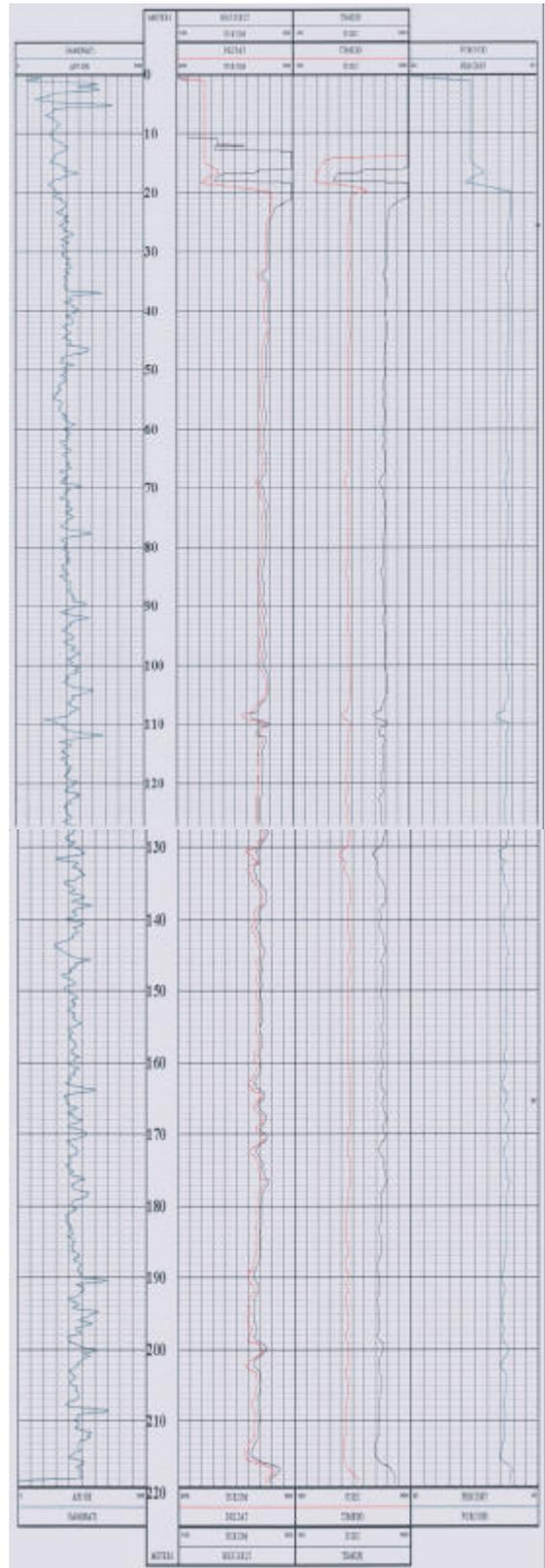


Figura 33: Perfis obtidos de GR-Indução (com SP gerado a partir da aquisição de indução) e GR-Sônico. Observe a monotonia do registro sônico para o pacote pelítico.

As escalas utilizadas nas curvas foram: SP COND (-100 a 100), GAMA (NAT) (0 a 25), TEMP (60 a 100), RES (1 a 10), AP-COND (700 a 100), COND (700 a 100) no perfil de RG-Indução e GAMA (NAT) (0 a 25), BHC-DELT (100 a 900), DELTA T (200 a 900), TIME (F) (100 a 800), TIME (N) (100 a 800) e POR (SON) (20 a 60) no perfil de RG-Sônico.

A integração da descrição geológica e de perfis permitiu o estabelecimento de alguns padrões ou assinaturas geofísicas para as principais fácies ocorrentes:

Argilito maciço: RG variável e Resistividade mais alta que as fácies 2, 3, 4 e 6.

Folhelho: RG mais baixo que o folhelho pirobetuminoso e Resistividade mais alta folhelho pirobetuminoso.

Folhelho pirobetuminoso: RG alto (maior que todas as outras fácies) e Resistividade baixa (menor que todas as outras fácies).

Argilito siltoso: RG mais baixo que o folhelho e Resistividade mais alta que o folhelho.

Argilito maciço a laminado calcífero: RG baixo (menor que todas as outras fácies) e Resistividade alta (maior que todas as outras fácies).

Os perfis foram analisados através da correlação de formas básicas (sino, funil e serrilhado) convencionalmente utilizadas na interpretação geofísica de poço.

No intervalo de 137 a 135 m, foi caracterizada a forma de sino (na curva de raios gama), onde percebeu-se uma grânulo crescência ascendente, onde folhelhos pirobetuminosos passam a folhelhos e estes são acrescidos de material siltoso, possivelmente fruto de enxurradas, durante um período de exposição do paleo-lago.

No intervalo 90 a 85 m, foi caracterizada a forma de sino (na curva de raios gama), onde folhelhos pirobetuminosos gradaram para argilitos calcíferos, evidenciando uma das diversas oscilações do nível d'água neste paleo-lago.

No intervalo de 37 a 20 m, onde a forma de sino (na curva de raios gama), foi caracterizada, foi observada uma granocrescência ascendente (*coarsening upward*), onde o folhelho foi sendo enriquecido em carbonato, fazendo o traço do RG diminuir.

No intervalo de 20 a 16 m, onde a forma de funil (na curva de raios gama), foi caracterizada, mesmo com valores de RG baixo, foi possível observar uma granodecrescência ascendente (*fining upward*), onde argilito calcífero, argilito maciço e folhelho, gradavam para o folhelho pirobetuminoso rico em matéria orgânica (maiores emissões de RG).

Em termos de evolução da bacia, é importante notar a ocorrência de estruturas típicas de exposição (gretas de contração) e de rochas papiráceas (pirobetuminosas), típicas de ambiente anóxico e de baixa energia em diversos intervalos, que indicam variações eventuais da lâmina d'água desse paleo-lago durante a Época oligocênica, e que estão representadas na coluna formada por rochas de ambiente raso e profundo (vide anexo I).

No intervalo de 218 a 201 são verificados períodos de grande aridez, com predomínio de rochas gretadas, e períodos em que o paleo-lago teve condições de gerar folhelhos pirobetuminosos. No perfil de raios gama assinaturas características são observadas com picos nos folhelhos e folhelhos pirobetuminosos, em razão da concentração possivelmente de urânio, oriundos do arrasamento das rochas adjacentes ao paleo-lago.

No intervalo de 182-166 m é talvez o período de maior aridez, com apenas um intervalo mostrando o paleo-lago com condições de acomodação (lâmina d'água para formar folhelho) e predominando argilito gretado, denotando a exposição desse paleo-lago. São verificadas formas de caixa no perfil de raios gama e um aumento na resistividade desse intervalo.

Na profundidade de 138 a 131 m é caracterizada como um período de máxima exposição e raseamento do lago, formando níveis de concreção que precedem grandes inundações. No perfil de raios gama é verificada a forma de sino (*coarsening upward*), com o gama baixo na região da concreção e um pico na resistividade em razão da grande coesão e densidade do material da concreção.

No intervalo 90 a 80 m predominou o folhelho pirobetuminoso (afogamento do lago), possivelmente como produto de um período de maior calma tectônica. Presença de argilito siltoso, associado a regimes de maior precipitação e argilito calcífero resultante de processos intempéricos, por sedimentos bioclástico (ostracodes) e por flutuações do nível freático. No perfil de raios gama a assinatura tende a ter uma menor amplitude e uma maior frequência em razão do maior selecionamento do material.

O intervalo de 35 a 20 m é caracterizado por um período gradual de aumento da lâmina d'água, com emersões episódicas. No perfil de raios gama a assinatura em forma de sino mostra uma granocrescência ascendente e as resistividades mais altas indicam possivelmente a influência de águas meteóricas.

No intervalo 20 a 15 m observa-se um aprofundamento da lâmina d'água gerando folhelhos pirobetuminosos. Períodos de exposição e de pequena lâmina d'água, propiciaram a precipitação ou enriquecimento do argilito em carbonato de cálcio. No perfil de raios gama, a assinatura caracterizando a forma de funil (*fining upward*) indica um aporte de sedimentos retrabalhados até a base do argilito siltoso, evidenciando períodos de raseamento do lago.

É interessante dizer que em todos os intervalos mencionados, as variações da lâmina d'água no paleo-lago devem estar intimamente ligada à tectônica e também possivelmente aos ciclos de Milankovitch através de mudanças climáticas no decorrer da Época oligocênica.

9 Conclusões

A integração dos dados obtidos durante o desenvolvimento deste estudo possibilita destacar:

I Que a utilização de ferramentas geofísicas, como a perfilagem geofísica de poço, associada à descrição faciológica de testemunhos possibilita o maior entendimento das estruturas de subsuperfície, fundamentais para o conhecimento da evolução estratigráfica e estrutural de uma bacia sedimentar.

II Os resultados da correlação rocha – perfil foram satisfatórios, mostrando que o uso de ferramentas de perfilagem, mesmo sendo essas para a prospecção de água subterrânea, mas em bom estado de conservação e devidamente calibradas, e em pacotes monótonos de sedimentos pelíticos, pode apresentar resultados significativos, acrescentando informações de subsuperfície ao quadro evolutivo local da Formação Tremembé, na Bacia de Taubaté.

III Foram individualizadas sete fácies, onde seis fácies (argilito maciço, folhelho, folhelho pirobotuminoso, argilito siltoso, argilito maciço a laminado calcífero e argilito fracamente laminado) possuem assinaturas geofísicas características. A sétima fácies, por ser mais superficial, e recoberta pelo revestimento do poço (da ordem de 18 m de profundidade) não pôde ser caracterizada adequadamente (exceto pelo RG).

IV Que dos métodos geofísicos usados na perfilagem geofísica de poço (Raios Gama, Indução, Sônico) em um pacote de 220 m de sedimento pelíticos, o método sônico forneceu no perfil uma curva ou traço mostrando pouca variabilidade da velocidade sônica, ao contrário dos métodos de raios gama e resistividade que mostraram picos demonstrando diferenças ou uma melhor resposta na passagem de uma fácies para outra. É interessante observar intervalos onde o traço do perfil de raios gama demonstra as principais formas de interpretação geofísica de poço, como a forma de sino (*coarsening upward*), funil (*fining upward*) e serrilhado.

V A partir da integração dos dados obtidos pela descrição dos testemunhos e pela interpretação dos perfis geofísicos de poço, conseguiu-se determinar, mesmo que localmente, a evolução sedimentar deste trecho da bacia. Rochas contendo estruturas típicas de exposição (gretas de contração) e rochas papiráceas (pirobetuminosas) típicas de ambiente anóxico e de baixa energia indicam variações da lâmina d' água desse páleo-lago durante a época oligocênica.

VI Os resultados obtidos por este estudo fornecem subsídios relevantes à identificação de áreas – fontes para os sedimentos das bacias marginais adjacentes ao *RCSB* (Campos e Santos), bem como contribui no entendimento da gênese de pacotes argilosos semelhantes já identificados na Bacia de Campos.

10 Bibliografia

- ALMEIDA, F. F. M. 1958. Vale do Paraíba. *In*: Relatório Anual do Diretor do Ano de 1957. DNPM. Geol. Miner.; p.90-91. Rio de Janeiro.
- ALMEIDA, F. F. M. 1967. Origem e Evolução da Plataforma Brasileira. Bol. DGM/DNPM, 246, 36p. Rio de Janeiro.
- ALMEIDA, F. F. M. 1969. Diferenciação Tectônica da plataforma Brasileira. *In*: 23º Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador. Anais, 1:29-46.
- ALMEIDA, F. F. M. 1976. The System of Continental Rifts Bordeing the Santos Basin. *And. Acad. Bras. Ci.*, Rio de Janeiro, 58(suplemento):15-26.
- ALMEIDA, F. F. M. & HASUI, Y. 1984. Pré-Cambriano do Brasil. São Paulo, Edgard Blücher, 378 p.
- APPI, C. J.; FREITAS, E. L.; CASTRO, J. C. 1986. Faciologia e Estratigrafia da Bacia de Taubaté. Comunicação Técnica. Rel. Interno CENPES/PETROBRAS (Inédito).
- CHANG, H. K.; APPI, C. J.; RICCOMINI, C.; CASTRO, J. C.; ARAI, M.; FREITAS, E. L. & NETO, E. V. S. 1989. Geologia da Bacia de Taubaté. 1º Simp. Reg. Sudeste, Rio de Janeiro, SBG, Boletim de Resumos, p.10.
- CHANG, H. K.; KOWSMANN, R. O.; & FIGUEIREDO, A. M. F.; BENDER, A. A.1992. Tectonic and Stratigraphy of East Brazilian Rift System: an overview. *Tectonophysics*, 213 p. (1/2):97-138.
- FERNANDES, C. E. de M. 1984. Fundamentos de Prospecção Geofísica. 1ª ed. Rio de Janeiro. Interciência, 190 p.

- FERNANDES, F. L. 1993. Arcabouço Estrutural e Evolução da Bacia de Taubaté – SP. Ouro Preto, 147 p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto.
- FERRARI, A. L. 2001. Evolução Tectônica do Graben da Guanabara. São Paulo. 412 p. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- INSTITUTO de PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 1981. Mapa Geológico do Estado de São Paulo, 1:500.000, Nota Explicativa. São Paulo, IPT. 126 p. (Série Monografia nº 6.
- HASUI, Y., CARNEIRO, C. D. R. & COIMBRA, A. M. 1975. The Ribeira Folded Belt. Rev. Bras. Geoc., São Paulo, 5(4):257-266.
- HASUI, Y. & SADOWISK, G. R. 1976. Evolução Geológica do Pré-Cambriano na Região Sudeste do Estado de São Paulo. Rev. Bras. Geoc.; 6(3):182-200.
- HYDROLOG - Serviços de Perfilagem Ltda., 2004. <http://www.hydrolog.com.br>. Acessado em dezembro de 2004.
- LIMA, M. R. & AMADOR, E. S. 1985. Análise Palinológica dos Sedimentos da Formação Resende, Terciário do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. Série Geologia, Seção de Paleontologia e Estratigrafia, DNPM, 27(2):371-378.
- MEZZALIRA, S. 1989. Os Fósseis do Estado de São Paulo. IGG. Série Pesquisa, 155 p.
- RICCOMINI, C. 1989. O Rift Continental do Sudeste do Brasil. São Paulo, 256 p. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- RICCOMINI, C.; SANT'ANNA, L. G.; COIMBRA, A. M. 1996. Argilominerais do Paleolago Tremembé e Sistemas Depositionais Relacionados. Rev. Bras. Geoc., São Paulo, 26(3):169-82.
- RICCOMINI, C.; GIANNINI, P. C. F.; MANCINI, F. 2000. Rios e Processos Aluviais. In: W. TEXEIRA; M. C. M. TOLEDO; T. R. FAIRCHILD; F. TAIOLI (eds). Decifrando a Terra. Oficina de Textos, São Paulo, p. 191-214.
- RICCOMINI, C.; SANT'ANNA, L. G.; FERRARI, A. L. 2004. Evolução Geológica do Rift Continental do Sudeste do Brasil. In: MANTESO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; NEVES, B. B. B. Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Marques de Almeida. Beca, São Paulo, p. 384-405.
- SAAD, A. R. 1990. Potencial Econômico da Bacia de Taubaté (Cenozóico do Estado de São Paulo, Brasil) nas regiões de Jacareí, Taubaté, Tremembé e Pindamonhangaba. São Paulo, 173 p. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

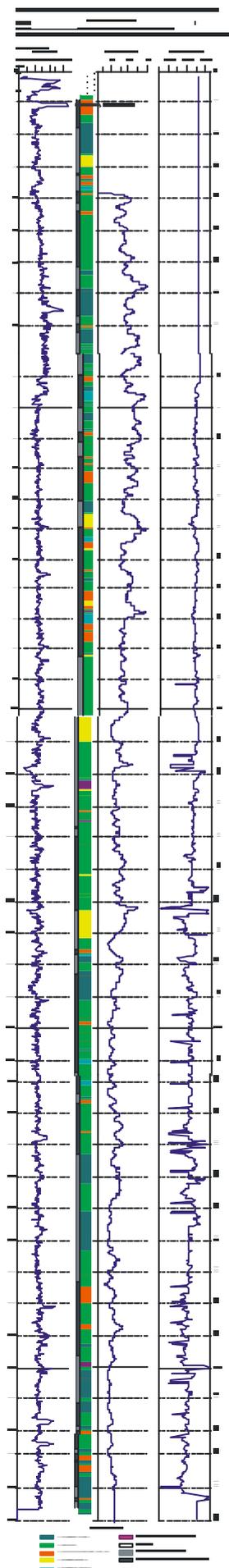
- SANT'ANNA, L. G. 1999. Geologia, Mineralogia e Gênese das Esmeclitas dos Depósitos Paleogênicos do Rift Continental do Sudeste do Brasil. São Paulo, 239 p. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- SANTORO, E.; ENS, H.H. & NAGATA, N. 1991. Geologia das Folhas Jacareí, Tremembé, Taubaté e Pindamonhangaba – SP, Parte 1: Embasamento Setentrional da Bacia de Taubaté. Atas, SBG/SP-RJ; 2º Simp. Geol. Sudeste. P. 481-489.
- SHOBBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; DERZE, G. R.; ASMUS, H. E. 1984. Geologia do Brasil. Brasília, MME/DNPM, 501 p.
- SBGF, 2004. www.sbgf.org/geofisica/geofisica.html. Consultado em junho de 2004.
- THOMAS, J. E. 2001. Fundamentos de engenharia de Petróleo. 2ª ed. Rio de Janeiro. Interciência:PETROBRAS, 271 p.

Anexo I: Principais assinaturas geofísicas e variações da lâmina d' água em um testemunho contínuo na Bacia de Taubaté

CORRELAÇÃO ROCHA - PERFIL EM TESTEMUNHOS DA BACIA DE TAUBATÉ

Fm. Tremembé

Perfis de Raio Gama, Indução e Sônico



LEGENDA

- | | |
|---|--|
|  Argilito maciço |  Argilito fracamente laminado |
|  Folhelho |  Colúvio |
|  Folhelho pirobetuminoso |  Raso (rochas gretadas) |
|  Argilito siltoso |  Profundo (rochas pirobetuminosas) |
|  Argilito calcífero | |