



CARACTERIZAÇÃO PALINOFACIOLÓGICA DE UMA SUCESSÃO SEDIMENTAR OLIGOCÊNICA DA FORMAÇÃO TREMEMBÉ, BACIA DE TAUBATÉ

Palinofaciological characterization of a sedimentary succession of the Oligocene Tremembe
Formation, Taubate basin

Renata Brenand Alvarenga das Chagas¹; João Graciano Mendonça Filho²

¹UFRJ, Departamento de Geologia, CCMN/IGEO, Cidade Universitária

Ilha do Fundão, 21949-900, Rio de Janeiro, RJ-Brasil. E-mail: renata.brenand@yahoo.com.br

²DEGEO/IGEO/UFRJ, Ilha do Fundão, 21949-900, RJ-Brasil. E-mail: graciano@geologia.ufrj.br

Resumo:

A bacia de Taubaté, de idade Cenozóica (Eoceno-recente) está localizada na porção leste do Estado de São Paulo e pertence ao “Rift Continental do Sudeste do Brasil” (RCSB). A Formação Tremembé (Oligoceno) corresponde a um pacote rochoso composto predominantemente por rochas microclásticas (argilitos, siltitos e folhelhos) aceitas como o registro de um sistema lacustre. O objetivo deste trabalho é a caracterização organofaciológica de uma seqüência sedimentar oligocênica, pertencente à Formação Tremembé. Para tanto, foram utilizadas 30 amostras de uma sucessão sedimentar de aproximadamente 600 m visando caracterizar a associação de componentes do querogênio através de técnicas de microscopia (luz branca transmitida e luz azul/ultravioleta incidente) e geoquímica orgânica (Carbono Orgânico Total-COT). Na sucessão sedimentar estudada observou-se o predomínio de componentes orgânicos particulados do Grupo Palinomorfo, em relação à matéria orgânica total, seguido por componentes da Matéria Orgânica Amorfa (MOA) e do Grupo Fitoclasto. O Grupo Palinomorfo é dominado por algas lacustres de água doce dos gêneros *Pediastrum* e *Botryococcus*. Os resultados das análises geoquímicas indicaram teores de COT e Enxofre (ST) apresentando valores de até 44,0% e 1,4% respectivamente. A partir da integração dos resultados obtidos, a sucessão sedimentar analisada apresentou uma variação desde um ambiente lacustre de água doce com regime oxidante até um ambiente lacustre salino restrito com regime de oxigênio disóxico-anóxico.

Palavra-chave: Fácies Orgânica, Formação Tremembé, bacia de Taubaté, Oligoceno

Abstract

The Taubaté basin, of Cenozoic age (early-Eocene) is located in east São Paulo estate. Such basin belongs to the "Southeast Brazilian Continental Rift" (SBCR). The Tremembé Formation (Oligocene) is related to a rock package predominantly composed of microclastics rocks (claystone, siltstones, shales) accepted as a lacustrine system register. The main objective in this article is the organofaciological characterization of an oligocene sedimentary sequence, belonging to the Tremembé Formation. For such, 30 samples of a approximately 600m deep sedimentary succession were used, aiming to characterize the kerogen components association through microscope techniques (transmitted white light and incident blue/ultralight light), and the organic geochemical (Total Organic Carbon-TOC). In the studied sedimentary succession was observed the predominance of particulate organic components from the Palynomorph Group, in relation to the total organic material, followed by components from the Amorphous Organic Matter (AOM) and from the Phytoclasts Group. The Palynomorph Group is dominated by fresh water lacustrine algae from the *Pediastrum* and *Botryococcus* genre. The geochemical analysis results indicates grades of TOC and Sulfur (TS), presenting values up to 44,0% and 1,4%, respectively. From the integration of these results the analyzed sedimentary succession, in accord with the organofaciological parameters, represents a variation of a fresh water lacustrine ambient with oxidant regime to a restrained saline lacustrine ambient with an oxygen disóxic-anóxic regime.

Key - words: Organic facies; Tremembe Formation; Taubate basin, Oligocene

1. INTRODUÇÃO

A caracterização organofaciológica da matéria orgânica utiliza a integração dos resultados de técnicas microscópicas (Palinofácies) e de geoquímica orgânica (por exemplo, Carbono Orgânico Total – COT). O conceito de Palinofácies foi introduzido por Combaz (1964), como sendo “o estudo palinológico da associação total de matéria orgânica contida em um sedimento após a remoção da matriz sedimentar (mineral) pela acidificação com HCl (ácido clorídrico) e HF (ácido fluorídrico).”

A análise de palinofácies é o estudo palinológico de ambientes deposicionais e do potencial de rochas geradoras de hidrocarbonetos baseado na associação total de componentes da matéria orgânica particulada. Esta análise compreende o exame qualitativo e quantitativo do querogênio, integrando todos os aspectos dos componentes da matéria orgânica (identificação dos componentes particulados individuais, determinação de suas proporções relativas e seu estado de preservação) (Tyson, 1995).

Neste trabalho foram realizadas análises de Palinofácies associadas a técnicas de Geoquímica Orgânica (Fácies Orgânica) com o objetivo principal de estudar a faciologia orgânica das rochas de um testemunho de idade oligocênica da bacia de Taubaté, Formação Tremembé, caracterizando o paleoambiente neste sistema deposicional.

A bacia de Taubaté está localizada a nordeste do Estado de São Paulo (Figura 01) e apresenta 170 km de comprimento na direção NNW-SSE e aproximadamente 20 km de largura, distribuída em uma espessura sedimentar média de 800 m (Fernandes, 1993).

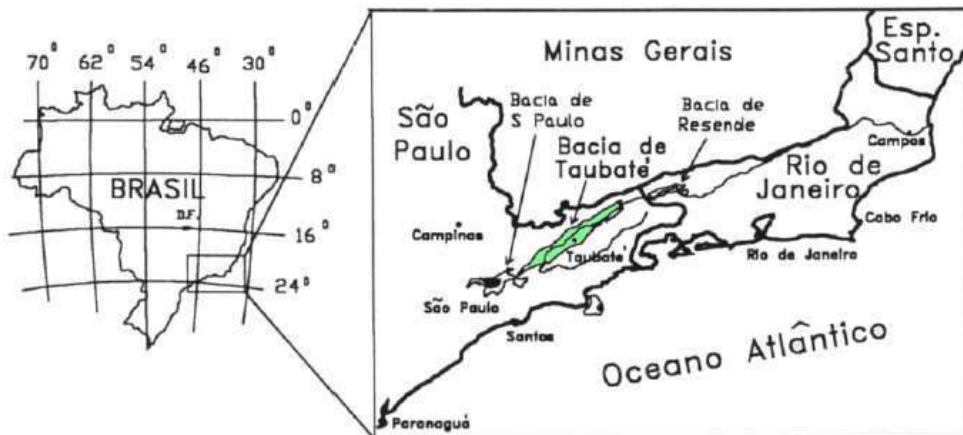


Figura 01 – Localização da bacia de Taubaté (Fernandes, 1993)

2. CONTEXTO GEOLÓGICO

A bacia de Taubaté faz parte de um conjunto de bacias tafrogênicas pertencentes ao "Rift Continental do Sudeste do Brasil" (RCSB) cuja origem está relacionada à tectônica distensiva de idade terciária. A sedimentação é tipicamente continental, com depósitos sedimentares de granulometria grossa nas bordas falhadas da bacia, além de depósitos arenosos e argilosos na sua parte central, ligados a ambientes de sedimentação flúvio-lacustres (Riccomini, 1989).

A Formação Tremembé, pertencente ao Grupo Taubaté, de idade oligocênica (Figura 02), é formada predominantemente por uma sucessão sedimentar de rochas essencialmente microclásticas (siltitos, argilitos e folhelhos) ricas em matéria orgânica e representa um sistema lacustre fechado, oligomítico e eutrófico desenvolvido em clima semi-árido (Torres-Ribeiro, 2004). A Formação Tremembé é composta por argilitos maciços, folhelhos papiráceos, ritmitos (intercalação de margal/calcário e folhelho), arenitos e calcários, possui geometria tabular irregular, com espessura máxima conhecida de cerca de 400 m e, geograficamente, está restrita às subbacias de Roseira, Quiririm e São José dos Campos (Fernandes, 1993; Molinari, 2003). De acordo com Riccomini (1989) a bacia de Taubaté

corresponde 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. Já de acordo com Torres-Ribeiro (2004), ao contrário dos modelos propostos por outros autores, a Formação Tremembé não pode ser classificada como um sistema deposicional do tipo *playa-lake*, pois não foram encontrados registros associados a depósitos evaporíticos, mesmo apresentando camadas de calcário, sendo estas associadas a ambiente de clima semi-árido.

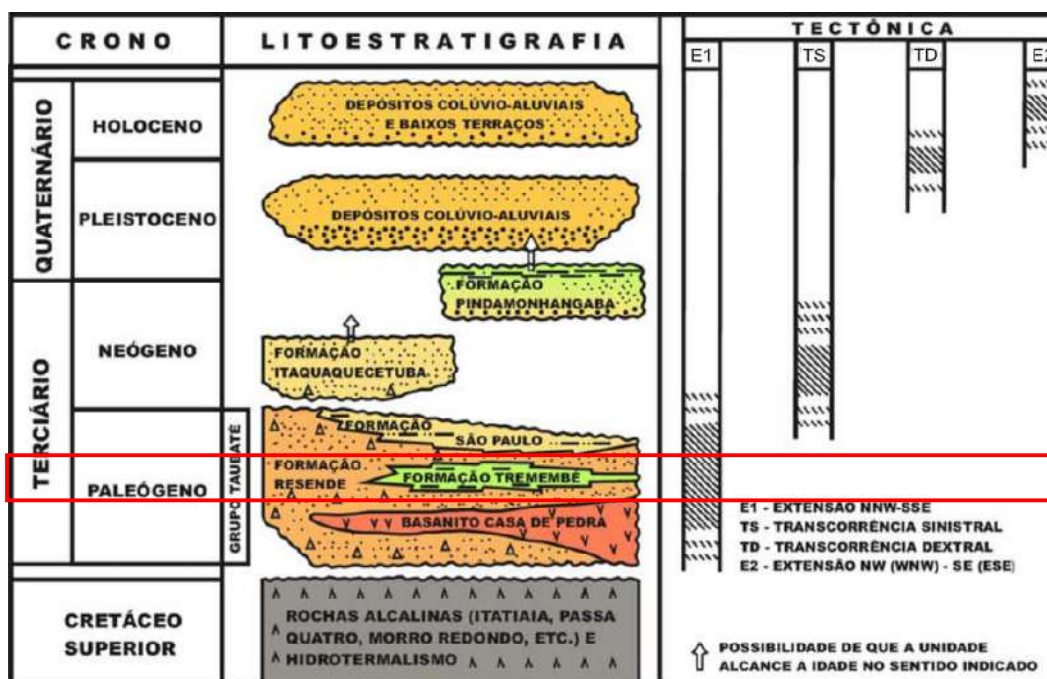


Figura 02 Quadro litoestratigráfico do segmento central do RCSB. Em destaque o Grupo Taubaté, Formação Tremembé (Torres-Ribeiro, 2004).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Para este trabalho foi realizado o estudo da faciologia orgânica (Palinofácies e Geoquímica Orgânica) em amostras da Formação Tremembé. Para tanto foram utilizadas amostras de um testemunho de sondagem Pinda 1-SP que se encontra localizado a noroeste da bacia de Taubaté e a nordeste da cidade de Pindamonhangaba-SP (Figura 03). O intervalo analisado apresenta uma espessura com aproximadamente 600 m. Um total de trinta amostras da Formação Tremembé foram coletadas, de 20 em 20 m, atingindo profundidade de até 515 m.

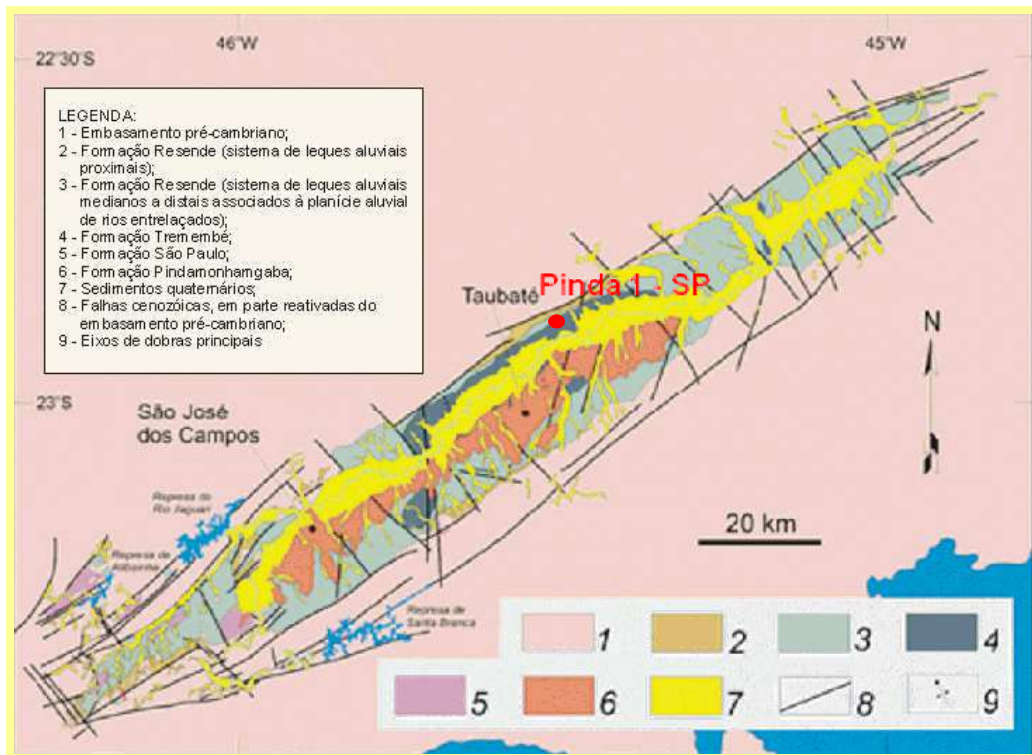


Figura 03 Localização aproximada do poço Pinda 1-SP, bacia de Taubaté (Riccomini *et al.*, 2004)

3.1 Preparação de Lâminas Organopalinológicas

A preparação do material para análise de palinofácies foi realizada utilizando-se os procedimentos palinológicos padrões não oxidativos descritos por Tyson (1995), Mendonça Filho (1999) e Mendonça Filho *et al.* (2008). As amostras foram fragmentadas e aproximadamente 20g a 40g de material foi separado para obtenção de um concentrado de querogênio. A primeira etapa do processamento químico consistiu na acidificação da amostra com o ácido clorídrico (37%) para eliminação da fração carbonática. Na segunda etapa do processamento utilizou-se ácido fluorídrico (40%) para eliminação da fração silicosa. A amostra foi novamente acidificada com HCl (10%), para eliminação dos possíveis fluorsilicatos formados durante as etapas anteriores. Utilizou-se o cloreto de zinco ($ZnCl_2$) para separação por flotação da fração orgânica. Após esse processamento foram confeccionadas lâminas organopalinológicas com o resíduo orgânico.

3.2 Análise de Palinofácies

A análise de palinofácies envolveu o exame quantitativo (contagem de 300 a 500 partículas) e qualitativo (identificação das partículas) dos grupos e subgrupos de componentes do querogênio através da utilização de técnicas de microscopia sob luz branca transmitida e luz azul/ultravioleta incidente (fluorescência). Tal contagem obedeceu à classificação dos grupos e subgrupos da matéria orgânica proposta por Tyson (1995), Mendonça Filho (1999) e Mendonça Filho *et al.* (2002; 2008). Após a contagem dos componentes orgânicos particulados, os valores absolutos foram recalculados para valores percentuais e normalizados a 100%, e confeccionados diagramas binários para uma melhor visualização dos resultados.

3.3 Análises Geoquímicas

A análise de Carbono Orgânico Total (COT) foi obtida através do forno de indução do determinador de carbono WR-12 LECO. O analisador SC-144DR LECO é um instrumento de quantificação simultânea de Carbono e Enxofre através de um detector de infravermelho. Os resultados de COT expressam a quantidade de matéria orgânica presente nos sedimentos.

3.4 Tratamento Estatístico

A partir da análise quantitativa dos componentes orgânicos particulados foi realizado o tratamento estatístico dos dados. Esses dados foram recalculados para valores percentuais e submetidos a análise de agrupamento (análise *cluster*), entre os grupos e subgrupos do querogênio (coeficiente de correlação 1-Pearson-*r* / Modo R) e para a observação de similaridades entre as amostras (Modo Q) utilizando o programa Statistic Basic versão 6.0 (Valentim, 2000).

4. RESULTADOS

4.1 Palinofácies

A partir da análise organocomposicional ao longo do testemunho, observou-se os três principais grupos da matéria orgânica (Fitoclasto, Matéria Orgânica Amorfa-MOA e Palinomorfo) com predominância do Grupo Palinomorfo, representado pelas algas Chlorococcales, do gênero *Botryococcus*. Essas colônias apresentam-se bem formadas, com uma coloração variando de castanho claro a escuro em luz branca transmitida e coloração amarela intensa sob fluorescência (Quadro 1; Figura 04 – 1a e 1b). Algumas amostras apresentam essas algas em estado amorfizado, com coloração castanho escuro sob luz branca transmitida e laranja sob fluorescência.

Elementos do gênero *Pediastrum* é outro subgrupo de maior ocorrência no Grupo Palinomorfo, que sob luz branca transmitida apresentam-se translúcidas e sob fluorescência tem colorações variando de amarelo a amarelo-esverdeado (Quadro 01; Figura 04 – 2a e 2b). Essas algas, em algumas amostras, encontram-se amorfizadas, translúcidas sob luz branca transmitida e coloração esverdeada sob fluorescência, com aspecto “menos denso” (mais fina). Os demais subgrupos do Grupo Palinomorfo apresentam baixa ocorrência, representados pelos esporomorfos (esporos e grãos de pólen). Foi registrada também a presença de *Azolla* (uma mássula de esporos de pteridófitas aquáticas) (Quadro 01; Figura 04 - 3a à 10b).

O Grupo MOA, oriunda de ataque microbiológico, provavelmente derivado de bactérias, fitoplâncton e agregados orgânicos degradados, podendo formar grumos ou ser finamente dispersa. Sob luz branca transmitida, apresenta-se em grumos com coloração variando de marrom a amarelo escuro e sob fluorescência, na maioria das vezes, encontra-se mais fina com coloração amarelo esverdeado. Às vezes a partícula encontra-se com aspecto mais denso e coloração amarelo-laranjada (Quadro 01; Figura 05 – 1a à 2b).

O Grupo Fitoclasto é menos abundante em relação aos demais grupos encontrados. Esse grupo corresponde aos fragmentos de tecidos derivados de vegetais superiores. No geral, o fitoclasto do tipo não opaco é o de maior representatividade. Também foi registrado a ocorrência de fitoclasto em estado amorfizado (Quadro 01; Figura 05 – 3a à 5b). Os outros componentes do grupo como as membranas (tecido não-celular de forma irregular e aparência degradada, com intensa fluorescência) e as cutículas (camada mais externa da epiderme foliar com coloração de amarelo pálido a marrom claro sob luz branca transmitida e amarelo intenso sob fluorescência) ocorrem em baixos percentuais.

Quadro 01 Valores percentuais dos principais grupos e subgrupos do querogênio.

Amostra	Prof. (m)	Fito*	MOA*	Palino*	Palinomorfos		
					Espor.**	Botry.**	Pedi.**
P37	23,50	7,9	6,0	86,1	51,1	7,3	27,7
P73	40,80	0,0	2,0	98,0	1,2	7,9	88,9
P115	59,20	23,5	38,7	37,8	11,6	25,0	1,2
P140	78,50	3,3	3,9	92,8	3,6	4,7	84,5
P164	97,30	49,2	40,5	10,3	5,2	4,6	0,5
P187	115,65	4,7	28,1	67,3	12,0	42,1	13,2
P208	134,80	11,1	27,3	61,6	13,6	43,2	4,8
P227	154,00	15,5	24,7	59,8	10,2	9,2	40,4
P243	171,28	3,7	0,0	96,3	8,7	3,4	84,2
P254 A	188,80	31,8	58,1	10,1	4,1	5,5	0,5
P266	205,98	5,7	79,4	14,9	3,6	8,7	2,7
P273	220,00	5,6	0,0	94,4	4,4	86,8	3,2
P288	241,90	14,0	47,2	38,8	6,7	5,9	26,1
P305	260,10	7,1	75,1	17,8	4,0	12,0	1,8
P326	280,60	5,7	89,9	4,5	0,3	4,2	0,0
P344	298,40	1,3	40,8	58,0	2,9	1,9	53,2
P364	318,65	28,6	1,8	69,6	44,5	8,0	17,1
P381	335,65	3,3	66,2	30,5	7,7	9,3	13,5
P416	371,10	13,9	0,0	86,1	2,4	49,6	34,0
P432	388,40	16,8	0,0	83,2	23,9	44,7	14,7
P443	406,90	4,0	8,5	87,5	0,0	87,2	0,3
P450	418,00	93,1	0,0	6,9	6,9	0,0	0,0
P453	421,65	92,0	0,0	8,0	8,0	0,0	0,0
P459	438,05	51,6	1,0	47,4	9,2	19,1	19,1
P476	455,5	81,7	0,0	18,3	14,0	2,4	1,8
P492	472,15	92,5	0,0	7,5	1,2	6,3	0,0
P512	490,55	56,0	13,8	30,2	0,3	28,1	1,8

* Valor percentual dos 3 principais grupos da matéria orgânica em relação a matéria orgânica total.

** Valor percentual dos subgrupos dos palinomorfos em relação ao Grupo Palinomorfo total.

(Fito = Fitoclasto; MOA = Matéria Orgânica Amorfa; Palino = Palinomorfo; Espor. = Esporomorfos; Botry. = Botryococcus; Pedi. = *Pediastrum*)

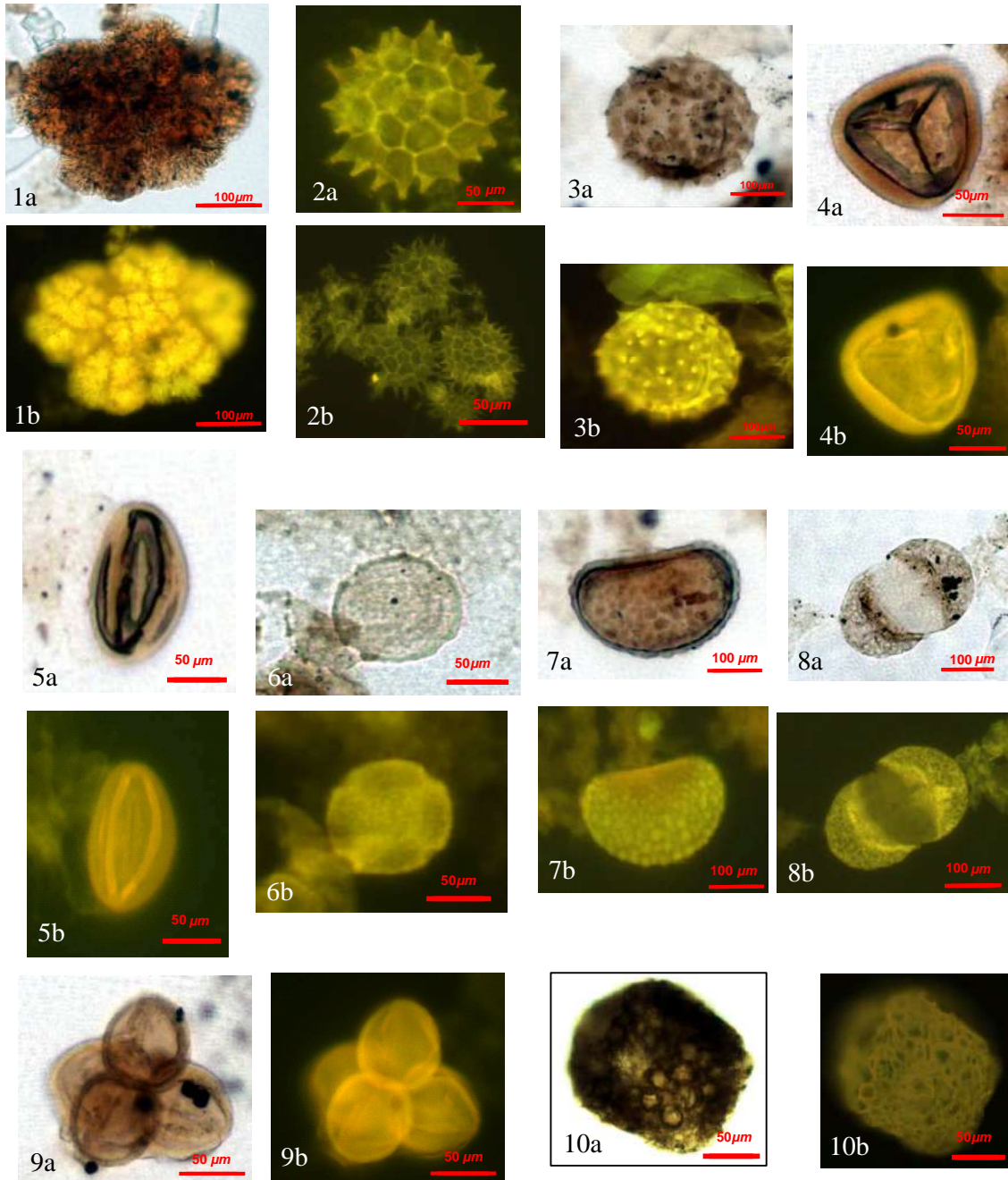


Figura 04 (1a) *Botryococcus* sob luz branca transmitida e (1b) fluorescência - amostra P273; (2a) *Pediastrum* sob fluorescência - amostra P 243; (2b) *Pediastrum* sob fluorescência - amostra P243; (3a) Esporo com ornamentação sob luz branca transmitida e (3b) fluorescência - amostra P37; (4a) *Polypodiaceoisorites sp.* sob luz branca transmitida e (4b) fluorescência - amostra P115; (5a) *Rhoipites sp.* sob luz branca transmitida e (5b) fluorescência - amostra P164; (6a) *Ulmodeipites krempii* sob luz branca transmitida e (6b) fluorescência - P227; (7a) *Verrucatosporites sp.* sob luz branca transmitida e (7b) fluorescência - amostra P115; (8a) Grão de Pólen bissacado sob luz branca transmitida e (8b) fluorescência - amostra P37; (9a) *Rhoipites sp.* (em tétrade) sob luz branca transmitida e (9b) fluorescência - amostra P164; (10a) *Azolla sp.* sob luz branca transmitida e (10b) fluorescência - amostra P432.

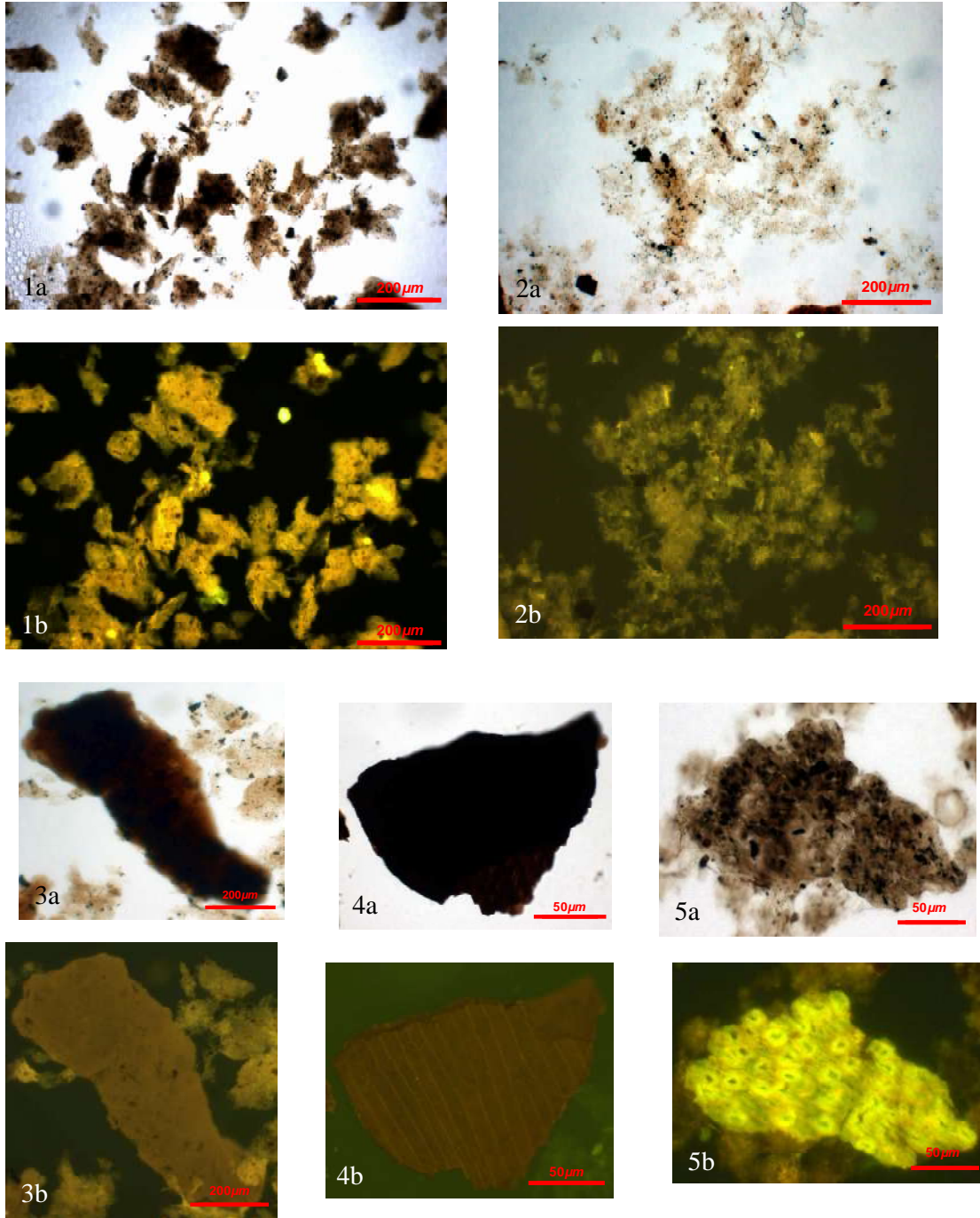


Figura 05 (1a) Matéria Orgânica Amorfa mais densa sob luz branca transmitida e (1b) fluorescência - amostra P326; (2a) MOA mais fina sob luz branca transmitida e (2b) fluorescência - amostra P288; (3a) Fitoclasto Amorfizado sob luz branca transmitida e (3b) fluorescência - amostra P512; (4a) Fitoclasto não opaco bioestruturado sob luz branca transmitida e (4b) fluorescência - amostra P450; (5a) Cutícula com estômatos preservados sob luz branca transmitida e (5b) fluorescência - amostra P254-A.

4.2 COT

O material analisado apresentou teores muito variados de Carbono Orgânico Total (COT) desde 0,18 a 44,00%, que reflete tanto a elevada quantidade de matéria orgânica depositada quanto o elevado grau de preservação. O Enxofre Total (ST) alcançou valores de até 3,05% (Quadro 02).

Quadro 02 Valores percentuais de COT e ST.

Amostra	Prof. (m)	COT %	ST %	RI%
P-37	23,50	0,18	1,07	84
P-73	40,80	1,03	0,05	84
P-115	59,20	7,8	0,35	72
P-140	78,50	4,16	0,10	79
P-164	97,30	7,41	1,06	80
P-187	115,65	5,34	0,24	80
P-208	134,80	5,14	3,05	74
P-227	154,00	3,30	0,81	75
P-243	171,28	2,05	0,21	81
P-254 A	188,80	9,05	0,69	79
P-266	205,98	6,62	0,80	80
P-273	220,00	0,37	0,05	84
P-288	241,90	5,68	0,69	76
P-305	260,10	5,04	0,84	59
P-326	280,60	13,4	1,41	84
P-344	298,40	0,60	-	85
P-364	318,65	0,46	0,68	74
P-381	335,65	1,88	0,20	86
P-416	371,10	0,81	0,02	84
P-432	388,40	0,19	-	86
P-443	406,90	1,29	-	85
P-450	418,00	44,0	0,85	80
P-453	421,65	33,10	0,53	83
P-459	438,05	2,22	0,89	82
P-476	455,50	0,80	0,38	81
P-492	472,15	12,70	0,71	82
P-512	490,55	14,0	0,51	88

4.3 Análise de Agrupamento Hierárquica

De acordo com o tratamento estatístico Modo-R (Quadro 03; Figura 07a), as amostras foram organizadas em quatro agrupamentos segundo o maior grau de similaridade dos componentes da matéria orgânica em relação ao “critério origem”: O agrupamento **A** representa a matéria orgânica retrabalhada pela ação bacteriana (MOA e fitoclasto amorfizado); o agrupamento **B** corresponde aos componentes lacustres (algas de água doce); o

agrupamento C corresponde aos componentes flúvio-lacustre (esporomorfos, membrana, cutícula e fitoclasto não opaco) e o agrupamento D representa os componentes lenhosos, principalmente os fitoclastos opacos.

Quadro 03 Descrição do tratamento estatístico Modo-R

Associação	Descrição
A	MOA e fitoclasto amorfizado
B	algas de água doce
C	esporomorfos, membrana, cutícula e fitoclasto não opaco
D	componentes lenhosos

O Modo-Q (Figura 07b) subdividiu as amostras em seis associações de palinofácies de acordo com a abundância dos grupos e subgrupos da matéria orgânica.

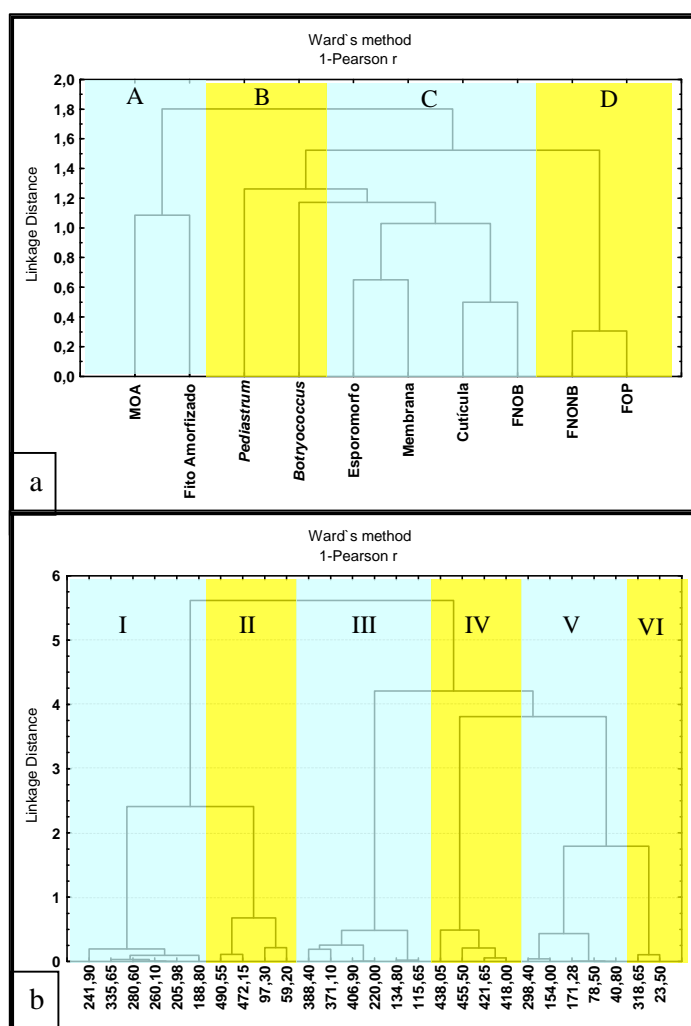


Figura 07 Dendrogramas representando os métodos de análise de agrupamento Modo-R (Figura 7a) e Modo-Q (Figura 7b).

A **Associação de Palinofácies I** (Figura 07b) corresponde ao predomínio do Grupo Matéria Orgânica Amorfa (MOA), tendo em média 69,31% do total da matéria orgânica. O Grupo Fitoclasto e o Grupo Palinomorfo apresentaram moderado percentual (10-20%). A elevada ocorrência do material amorfizado relacionado a valores elevados de COT podem indicar um ambiente restrito, estagnado. Esta associação é representada pelas amostras com profundidade de 335,65m; 280,60m; 260,10m; 241,90m; 205,98m e 188,80m correspondendo aos intervalos 5 e 6 (Quadro 04, Figura 08).

Na **Associação de Palinofácies II** (Figura 07b) predomina o Grupo Fitoclasto, essencialmente o subgrupo fitoclasto amorfizado (partículas que exibem aspecto de matéria amorfa com contorno difuso, irregular, fluorescência relativamente alta e coloração entre amarelo e laranja (Mendonça Filho *et al.*, 2008), tendo em média 52%. A alta intensidade de fluorescência destes componentes pode estar relacionada a um ambiente alcalino, variando de salino a hipersalino, que por sua vez, indica uma elevada atividade bacteriana. Também foi registrado 23,25% do Grupo MOA e a alga do gênero *Botryococcus* apresentou 16%. Os demais grupos e subgrupos da matéria orgânica ocorrem em baixo percentual (5%). Nesta associação estão inseridos as amostras com profundidade de 490,55m; 472,15m; 97,30m e 59,20m correspondendo aos intervalos 1 e 8 (Quadro 04, Figura 08).

A **Associação de Palinofácies III** (Figura 07b) mostra a predominância do Grupo Palinomorfo, principalmente algas do gênero *Botryococcus* (58,93%). O subgrupo dos esporomorfos está representado, essencialmente pelos grãos de pólen. Segundo Tyson (1995) espécies do gênero *Botryococcus* são oligotróficas e eurihalinas. E diz também que se a lâmina d'água diminui, em função do aumento da taxa de evaporação, aumenta a salinidade e conseqüentemente a concentração do *Botryococcus* pode aumentar e sua relativa flutuação também. Esta associação está representada pelas amostras com profundidade 406,90m;

388,40m; 371,10m; 220,00m; 134,80m e 115,65m estando relacionado com os intervalos 4, 6 e 7 (Quadro 04, Figura 8).

A **Associação de Palinofácies IV** (Figura 7b) apresenta o predomínio do Grupo Fitoclasto, principalmente os subgrupos fitoclasto não opaco e opaco (73,37%). Os fitoclastos amorfizados ocorrem em baixo percentual (2,53%), juntamente com o Grupo MOA (0,25%) e Grupo Palinomorfo (20%). Esta associação está representada pelas amostras com profundidade 455,50m; 438,05m; 421,65m e 418,00m relacionadas aos intervalos 2 e 3 (Quadro 04, Figura 08).

A **Associação de Palinofácies V** (Figura 07b) corresponde essencialmente ao Grupo Palinomorfo com o predomínio de algas do gênero *Pediastrum* (70,24%). Os demais grupos e subgrupos da matéria orgânica ocorrem com moderados percentuais (5-15%). Espécies do gênero *Pediastrum* são eutróficas e estenohalinas e parecem ser mais abundantes em lago tropical e subtropical permanentes de baixa salinidade (Esteves, 1988; Tyson, 1995). As mudanças do estado do lago de oligotrófico para eutrófico resultam, usualmente, na diminuição da razão *Botryococcus* /*Pediastrum*. Essa associação é representada pelas amostras com profundidade de 298,40m; 171,28m; 154,00m; 78,50m e 40,80m sendo associadas aos intervalos 5, 7 e 8 (Quadro 04, Figura 08).

Na **Associação de Palinofácies VI** (Figura 07b) há o predomínio do Grupo Palinomorfo, essencialmente os esporomorfos (47,8%), sendo representados pelas amostras com profundidade 318,65m e 23,50m e foram associados aos intervalos 5 e 8 (Quadro 04, Figura 08). Esta associação também apresenta um moderado percentual de ocorrência de algas do gênero *Pediastrum* (22,4%) e do Grupo Fitoclasto (18,25%).

Quadro 04 Relação entre dados organofaciológicos e organogeoquímicos de cada amostra da Formação Tremembé, bacia de Taubaté.

Amostra	Prof. (m)	Fito Total	MOA Total	Palino Total	COT	Ass. Palino.	Intervalo
P37	23,50	7,9	6,0	86,1	0,18	VI	8
P73	40,80	0,0	2,0	98,0	1,03	V	
P115	59,20	23,5	38,7	37,8	7,79	II	
P140	78,50	3,3	3,9	92,8	4,16	V	
P164	97,30	49,2	40,5	10,3	7,41	II	
média		16,8	18,2	65,0	4,11		
P187	115,65	4,7	28,1	67,3	5,34	III	7
P208	134,80	11,1	27,3	61,6	5,14	III	
P227	154,00	15,5	24,7	59,8	3,30	V	
P243	171,28	3,7	0,0	96,3	2,05	V	
média		16,8	23,1	60,1	4,6		
P254 A	188,80	31,8	58,1	10,1	9,05	I	6
P266	205,98	5,7	79,4	14,9	6,62	I	
P273	220,00	5,6	0,0	94,4	0,37	III	
P288	241,90	14,0	47,2	38,8	5,68	I	
P305	260,10	7,1	75,1	17,8	5,04	I	
P326	280,60	5,7	89,9	4,5	13,40	I	
média		11,6	58,3	30,1	6,69		
P344	298,40	1,3	40,8	58,0	0,60	V	5
P364	318,65	28,6	1,8	69,6	0,46	VI	
P381	335,65	3,3	66,2	30,5	1,88	I	
média		11,1	36,2	52,7	1,0		
P416	371,10	13,9	0,0	86,1	0,81	III	4
P432	388,40	16,8	0,0	83,2	0,19	III	
P443	406,90	4,0	8,5	87,5	1,29	III	
média		11,5	2,8	85,6	0,8		
P450	418,00	93,1	0,0	6,9	44,00	IV	3
P453	421,65	92,0	0,0	8,0	33,10	IV	
média		92,5	0,0	7,5	38,5		
P459	438,05	51,6	1,0	47,4	2,22	IV	2
P476	455,50	81,7	0,0	18,3	0,80	IV	
média		66,6	0,5	32,8	1,5		
P492	472,15	92,5	0,0	7,5	12,70	II	1
P512	490,55	56,0	13,8	30,2	14,00	II	
média		74,3	6,9	18,9	13,3		

(Fito total = Fitoclasto Total; MOA = Matéria Orgânica Amorfa Total; Palino Total = Palinomorfo Total; COT = Carbono Orgânico Total; Ass. Palino = Associação de Palinofácies)

Para a interpretação, o testemunho analisado foi subdividido em oito intervalos, a partir das associações geradas de acordo com o agrupamento Modo-Q, tendo em vista a variação dos grupos e subgrupos da matéria orgânica, resultando assim, em uma possível interpretação para a variação do nível do lago da base para o topo (Figura 08).

O **Intervalo 1 (490,55 - 472,15 m)** é composto pela **Associação de Palinofácies II** (Figura 07b; Quadro 04). A alta abundância dos fitoclastos amorfizados, ocorrendo juntamente com baixa percentagem de ocorrência de algas de água doce, indicam um ambiente mais calmo, após um período de alto fluxo fluvial com a deposição dos fitoclastos.

Este material amorfizado associado a elevados valores de COT também evidencia um ambiente estagnado. A ocorrência de algas do gênero *Botryococcus* indica, que em determinado momento, esse ambiente deposicional apresentou alta luminosidade e alta salinidade, pois essas algas são eurihalinas e traduzem uma condição de nível baixo da lâmina d'água.

O **Intervalo 2 (455,50 - 438,05 m)** está relacionado com a **Associação de Palinofácies IV** (Figura 07b, Quadro 04). Em relação ao intervalo anterior, o aumento na percentagem do Grupo Fitoclasto está associado, principalmente, ao transporte fluvial ou pelo vento, tornando o ambiente mais oxidante, juntamente com um aumento do aporte sedimentar, indicando uma possível agitação da água, diminuição da luminosidade e, conseqüentemente, uma baixa ocorrência das algas do gênero *Botryococcus*. O aumento no percentual do Grupo Palinomorfo, especialmente o subgrupo *Pediastrum*, também pode estar relacionado com a diminuição da salinidade, pulso do aumento de aporte fluvial e pluvial, seguido de um período de calma, tranquilidade e estratificação luminosa na coluna d'água, podendo-se dizer que ocorreu um aumento na quantidade de nutrientes, fazendo com que essa alga reproduzisse. O aumento no percentual dos esporomorfos, principalmente os esporos, pode reforçar a idéia de que o clima estava se tornando mais úmido em relação ao intervalo anterior, ressaltando assim, a contribuição terrestre. As cutículas bem preservadas, principalmente, com estômatos preservados, também indicam clima mais úmido e proximidade da área fonte. As amostras deste intervalo apresentam valores de COT em média 1,5%, indicando que nesses ambientes oxidantes o que predomina são os fitoclastos. Na passagem do intervalo 1 para o intervalo 2 ocorre um ligeiro aumento da espessura da lâmina d'água tornando-se, conseqüentemente, um ambiente mais distal, indicado pela diminuição no percentual dos fitoclastos em direção ao topo do intervalo e aumento do *Pediastrum* em relação ao intervalo anterior (maior quantidade de nutrientes, algas de água doce de propriedades estenohalinas).

O **Intervalo 3 (421,65 - 418,00 m)** também corresponde a **Associação de Palinofácies IV** (Figura 07b; Quadro 04). Neste intervalo encontrou-se um considerável percentual do subgrupo dos esporomorfos, representado pelos esporos ornamentados. O material deste intervalo encontra-se carbonizados, que pode indicar a deposição em um ambiente estagnado, ou seja, sem indícios de aportes de rios e, conseqüentemente, ter sofrido uma lenta decomposição. Portanto, este intervalo pode estar relacionado a um ambiente pantanoso (turfeira), uma vez que apresenta alta concentração de matéria orgânica e elevados valores de COT (33,10 e 44,0%) . A diversidade de material palinológico pode ser considerada indicativa da variabilidade proximal-distal da área fonte, ou seja, a presença de esporos ornamentados indica deposição em clima úmido e também expressam a característica de ambiente deposicional mais proximal em relação a esporos sem ornamentação e grãos de pólen. Na passagem do Intervalo 2 para o Intervalo 3 pode-se dizer que a contribuição fluvial foi mínima, não havendo uma variação significativa na espessura da lâmina d'água.

O **Intervalo 4 (406,90 - 371,10 m)** está representado pela **Associação de Palinofácies III** (Figura 07b, Quadro 04). Neste intervalo ocorre o predomínio de algas do gênero *Botryococcus*. A MOA e os fitoclastos apresentam um baixo percentual (2,83 e 11,56%, respectivamente). A predominância de *Botryococcus* pode ser indício de um ambiente de águas mais calmas, sem perturbação, sem vento, alta taxa de evaporação e conseqüente diminuição da lâmina d'água. Com isso tem-se alta luminosidade e alta salinidade (organismos eurihalinos). Há indícios de uma sedimentação lacustre com uma quantidade de esporomorfos. Esses esporomorfos, principalmente os esporos, indicam área fonte mais proximal em relação à deposição de grãos de pólen e algas de água doce. Além disso, a presença de *Azolla* também pode ser um indicativo de ambiente de deposição mais úmido e proximidade da área fonte. Na passagem do Intervalo 3 para o Intervalo 4, evidencia-se uma

diminuição da espessura da lâmina d'água, em função da ocorrência de grande concentração de *Botryococcus*.

O **Intervalo 5 (335,65 - 298,40 m)** é constituído pela **Associação de Palinofácies I, VI e V** (Figura 07b, Quadro 04). A presença de MOA na base deste intervalo indica ambiente de baixa energia e coluna d'água anóxica. O considerável aumento do subgrupo esporomorfo indica que pode ter ocorrido o transporte dos mesmos ou pelo aumento no aporte sedimentar ou pelo vento ou pela chuva. Com isso a coluna d'água começa a oxigenar, ocorre aumento de nutrientes causando maior ocorrência de algas de água doce (*Pediastrum*) e conseqüente diminuição do *Botryococcus*, indicando um aumento da lâmina d'água. Portanto, pode-se dizer que ocorreu uma mudança no estado trófico do lago, que passou de oligotrófico para eutrófico. Na passagem do Intervalo 4 para o Intervalo 5 ocorreu um aumento da espessura da lâmina d'água em função da biomassa "autóctone".

O **Intervalo 6 (280,60 - 188,80 m)** está representado pelas **Associações de Palinofácies I e III** (Figura 07b, Quadro 04). A grande abundância da MOA indica ambientes com condições redutoras no ambiente, coluna d'água anóxica e alta produtividade primária. Como no intervalo anterior, a elevada abundância de MOA é característica de áreas com alta preservação de matéria orgânica com intenso retrabalhamento microbiológico em função das condições redutoras, especialmente em áreas de alta produtividade primária (valores de COT variando de 5,04 a 13,40%). Ocorreu uma diminuição na quantidade de esporomorfos, indicando diminuição da deposição dos mesmos, tanto pelo rio como pelo vento, dando idéia de um ambiente mais árido. Em relação a análise dos intervalos anteriores, o intervalo 6 apresenta uma intercalação entre MOA e *Botryococcus*, podendo-se dizer que houve uma diminuição na espessura da lâmina d'água, onde o ambiente deposicional tornou-se hipersalino novamente. Na passagem do Intervalo 5 para o Intervalo 6 tem-se um aumento na espessura da lâmina d'água.

O Intervalo 7 (171,28 - 115,65 m) compreende as **Associação de Palinofácies V e III** (Figura 07b, Quadro 04). Em função da alta concentração de algas do gênero *Pediastrum* na base deste intervalo ocorreu um aumento na produtividade primária e um conseqüente aumento na espessura da lâmina d'água, acarretando na diminuição da luminosidade e clima mais úmido. Com isso, a decomposição da matéria orgânica resulta numa diminuição da quantidade do oxigênio presente, tendendo para um ambiente deposicional anóxico. A alga do gênero *Pediastrum* encontrou-se em estado amorfizado, com aspecto de MOA menos densa. O aumento na quantidade de esporomorfos também indica um ambiente mais úmido. Em direção ao topo, há uma diminuição na ocorrência de *Pediastrum* em relação a de *Botryococcus*, tendo uma maior ocorrência de *Botryococcus* no topo, evidenciado pelo aumento da taxa de evaporação. Com isso ocorreu a diminuição da lâmina d'água e o aumento da luminosidade e salinidade, indicando que o ambiente tornou-se mais árido. Na passagem do Intervalo 6 para o Intervalo 7 tem-se uma conseqüente diminuição na espessura da lâmina d'água.

O Intervalo 8 (97,30 - 23,50 m) está representado pelas **Associações de Palinofácies V, II e IV** (Figura 07b, Quadro 04). Nesse intervalo registrou-se baixo percentual de esporomorfos (14,52%) e a intercalação de fitoclasto amorfizado com algas do gênero *Pediastrum*. Como dito nos intervalos anteriores, os fitoclastos amorfizados indicam período de ambiente deposicional com baixa energia. A alga do gênero *Pediastrum* indica a ocorrência de aporte sedimentar seguido de período de calmaria. A presença dos esporomorfos, principalmente grãos de pólen, carregados pelo vento ou pelo rio, indicam que o ambiente está mais distal. Na passagem do Intervalo 7 para o Intervalo 8 houve uma intercalação na espessura da lâmina d'água, estando mais elevada em determinados momentos.

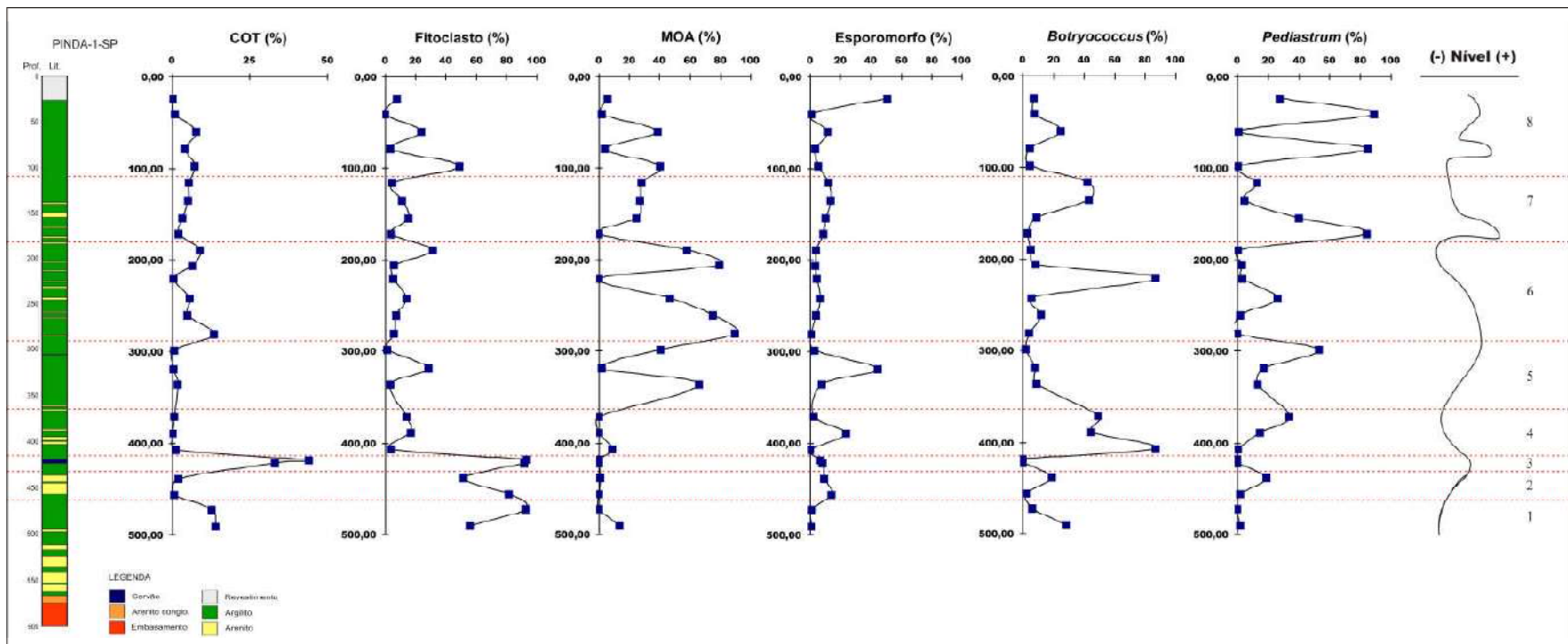


Figura 08 Gráfico de Palinofácies e dados geoquímicos dos principais grupos e subgrupos do querogênio.

5. CONCLUSÃO

A variação de algas dos gêneros *Pediastrum* e *Botryococcus* refletiu na flutuação do nível do lago. Algas *Botryococcus* são abundantes quando a lâmina d'água está baixa e com isso as condições ambientais foram provavelmente de menor energia deposicional, mais salinas, clima mais árido, maiores taxas de evaporação, maior luminosidade. Entretanto, com a re-expansão do lago, as algas *Pediastrum* tornaram-se a forma mais abundante devido à diminuição da salinidade, ambiente deposicional de maior energia, clima mais úmido, aumento dos nutrientes, aumento da produtividade primária. Tais condições também foram evidenciadas devido à ocorrência do Grupo Matéria Orgânica Amorfa e do Grupo Palinomorfo, essencialmente os esporomorfos. A elevada abundância do material amorfizado, associado a altos valores de carbono orgânico, evidenciaram ambientes estagnados, e sob elevada fluorescência indicaram ambientes mais salinos. A ocorrência do subgrupo esporomorfo indicou clima mais úmido e determinou a relação proximal-distal da área fonte.

A partir das análises organofaciológica e organogeoquímica, a deposição da sucessão sedimentar analisada da Formação Tremembé, na bacia de Taubaté, representa uma variação desde paleoambiente lacustre de água doce, com regime oxidante, até um ambiente salino restrito com regime de oxigênio disóxico-anóxico.

6. AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Projeto CT-Petro/Finep 21.01.0347-00, coordenado pelo Prof. Carlos Jorge Abreu IGEO/UFRJ, pelas amostras cedidas; à CNPq-Pibic pela ajuda financeira e ao Laboratório de Palinofácies & Fácies Orgânica (LAFO).

7. BIBLIOGRAFIA

- Combaz, A. 1964. Les Palynofacies. *Revue de Micropaléontologie*, 7 : 205-18.
- Esteves, F. A. 1988. Brasil : *Fundamentos de Limnologia*. Editora Interciência. Rio de Janeiro, 575p.
- Fernandes, F.L. 1993. *Arcabouço estrutural e evolução da bacia de Taubaté – SP*. Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Dissertação de Mestrado, 147p.
- Jones, R. W. 1987. Organic Facies. In: Brooks, J. & Welts, D. (eds.). *Advances in Organic Geochemistry*, Academic Press, 2: 1-90.
- Mendonça Filho, J. G. 1999. *Aplicação de estudos de palinofácies e fácies orgânica em rochas do Paleozóico da Bacia do Paraná, Sul do Brasil*. Tese de Doutorado em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2 volumes, 338 p.
- Mendonça Filho, J.G; Carvalho, M.A. & Menezes, T.R. 2002. Palinofácies. In: *Unisinos ed. Técnicas e procedimentos de trabalho com fósseis e formas modernas comparativas*. São Leopoldo, p. 20-24.
- Mendonça Filho, J. G. ; Menezes, T. R. ; Mendonça, J. O. ; Oliveira, A. D. ; Carvalho, M. A. ; Santanna, A. J. ; Souza, J. T. 2008. Palinofácies. In: Carvalho, I.S (ed.). No prelo. (Org.). *Paleontologia*. Rio de Janeiro.
- Molinari, L. 2003. Interpretação sismoestratigráfica da Bacia de Taubaté – SP. Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Monografia Final de Conclusão de Curso, 68p.
- Riccomini, C. 1989. O Rift Continental do Sudeste do Brasil. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 256p.

- Riccomini, C.; Sant'Anna, L.G.; Ferrari, A.L. 2004. Evolução Geológica do Rift Continental do Sudeste do Brasil. *In* Mantesse-Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, C.D.R.; Brito-Neves, B.B. (org) *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Editora Beca, p. 386-405.
- Torres-Ribeiro, M. 2004. *Fácies Microclásticas de um Sistema Lacustre oligocênico do Sudeste do Brasil (Formação Tremembé, Bacia de Taubaté)*. Dissertação de Mestrado em Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 122p.
- Tyson, R. V. 1993. *Palynofacies Analysis*. Kluwer Academic Publishers, p. 153-191.
- Tyson, R. V. 1995. *Sedimentary Organic Matter. Organic facies and palynofacies*. Chapman & Hall. Londres, 615 p.
- Valentin, J. L. 2000. *Ecologia Numérica*. Editora Interciência, p. 117