

SEDIMENTAÇÃO ORGÂNICA NA LAGOA BREJO DO ESPINHO, CABO FRIO (RJ): COMPOSIÇÃO E IMPLICAÇÕES PALEOCLIMÁTICAS

David Sousa Barbosa¹; Anna Paola Alves dos Anjos²; Ana Luiza Spadano Albuquerque³; Abdelfettah Sifeddine⁴.

¹M.Sc. em Geoquímica Ambiental, Departamento de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense, Outeiro de São João Batista s/n - 5º andar – Centro – Niterói – RJ – cep 24020.007

Phone: +55 21 2717-4189. e-mail: geodavid@vm.uff.br

²M.Sc. em Geoquímica Ambiental, Departamento de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense, Outeiro de São João Batista s/n - 5º andar – Centro – Niterói – RJ – cep 24020.007

Phone: +55 21 2717-4189. e-mail: annapaola15@hotmail.com

³D.Sc. em Geoquímica Ambiental, Departamento de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense, Outeiro de São João Batista s/n - 5º andar – Centro – Niterói – RJ – cep 24020.007

Phone: +55 21 2717-4189. e-mail: analuipa@uol.com.br

⁴D. Sc. em , Departamento de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense, Outeiro de São João Batista s/n - 5º andar – Centro – Niterói – RJ – cep 24020.007

Phone: +55 21 2717-4189. e-mail: sife@ms.microlink.com.br

RESUMO

Este estudo faz parte do Projeto Paleotropico (Paleoambientes e Variabilidade Climática Tropical) e objetiva avaliar as mudanças climáticas ocorridas durante o Holoceno na região de Cabo Frio (RJ), através do estudo qualitativo e quantitativo da sedimentação orgânica da Lagoa Brejo do Espinho. Um único testemunho (2,43m) foi coletado em outubro de 2001. De acordo com os marcadores utilizados: petrografia orgânica, carbono orgânico total, nitrogênio total, e isótopos estáveis de carbono e nitrogênio, foi possível identificar 5 fases de mudanças paleoambientais, definidas como fácies ambientais. A fácies I indicou um ambiente com comunicação direta com o mar; A fácies II, um ambiente aberto com forte influência de tempestades, responsáveis pelos depósitos de areias grossas; A fácies III indicou uma fase de diminuição da influência direta marinha; A fácies IV indicou uma fase de laguna isolada da influência direta do mar, com o nível relativo do mar baixo. A fácies V indicou o início de uma fase mais árida determinada pela formação de carbonato dolomítico, sugerindo um fortalecimento da ressurgência. Após 800 anos, a sedimentação carbonática retornou a forma calcita/aragonita, indicando uma diminuição relativa da aridez regional. Essas mudanças paleoambientais refletiram, pelo menos parcialmente, as condições de intensificação/enfraquecimento da ressurgência local.

ABSTRACT

This studies concern to Paleotropic Project that focus on the record of climatic changes in Cabo Frio region, based on analyses of organic sedimentation in Brejo do Espinho coastal lagoon. One long core (2,43m) was collected in 2001 and organic petrography, organic carbon and nitrogen contents and stable isotopes were performed. Our results allows us to the identification of 5 paleoenvironmental phases. The phase I marks an open lagoon with direct communication with sea; The phase II still indicates an open lagoon with strong influence of storms; Phase III marks a decrease in sea influence; Phase IV marks the complete isolation of lagoon from sea; the last phase (V) indicated an arid phase with dolomite formation, suggesting the possibility of enhancement of regional upwelling. After 800 years before present, the carbonatic sedimentation became calcite/aragonite predominant, possibly indicating a decrease of regional aridity.

Palavras-Chave: paleoclima; sedimentação orgânica; lagoas costeiras.

1. INTRODUÇÃO

Na pesquisa paleoclimática e paleoambiental, os registros de sedimentos lacustres constituem importantes arquivos-chave por proverem dados de alta resolução, os quais integram informações que abrangem complexas mudanças ambientais locais e regionais de ambientes terrestres e limnológicos. As reconstituições paleoambientais baseadas em multi-marcadores permitem que as interações entre os ambientes locais e regionais sejam melhor compreendidas (BRAUER e NEGENDANK, 2002).

A paleogeografia dos sistemas lagunares da costa leste fluminense se relaciona às flutuações do nível do mar no Holoceno, durante o qual o nível se elevou progressivamente até o nível médio atual que foi alcançado por volta de 7.000 anos A.P. (MARTIN *et al.*, 1997). Subseqüentemente, três importantes episódios de transgressão marinha ocorreram (7.000-5.100; 3.900-3.600; e 2.700-2.500

anos A.P.) intercalados por três períodos de regressão (5.100-3.900; 3.600-2.700; e após 2.500 anos A.P.) (Figura 1).

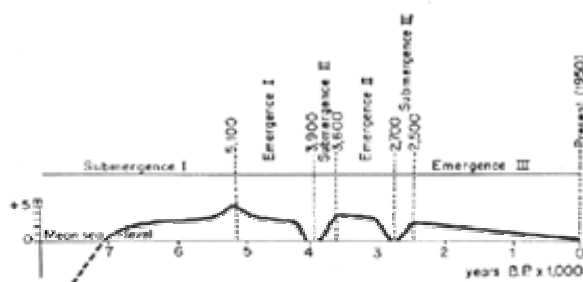


Figura 1: Curva da relativa variação do nível do mar mostrando os episódios de emergência e submergência nos últimos 7.000 anos na costa brasileira (MARTIN, 1987).

Essa região possui duas características peculiares, um contraste climático que proporciona dois setores distintos a uma reduzida distância: a oeste, apresentando um clima tropical úmido, e a leste um clima semi-árido; e um afastamento progressivo das elevações do relevo à medida que se caminha em direção leste da linha de costa. Um outro fator importante constitui o chamado “enclave climático” existente na região de Cabo Frio. Essa anomalia climática é determinada pelo fenômeno oceanográfico da ressurgência – que é do tipo intermitente - intensificado por fortes ventos de nordeste, que contribuem para o afloramento de águas oceânicas frias e proporciona condições climáticas peculiares que alteram a paisagem local, promovendo o aumento na evaporação regional e conferindo um clima particularmente seco aquela região. Um fator topográfico explica porque este fenômeno é mais intenso na região de Cabo Frio. Nesse ponto, a costa brasileira muda da direção norte-sul para leste-oeste, inflexão que provoca uma zona de divergência entre a costa e a Corrente do Brasil.

O presente trabalho faz parte do Projeto Paleotropic (Paleoambientes e Variabilidade Climática Tropical) e objetiva avaliar as mudanças climáticas ocorridas durante o Holoceno na região de Cabo Frio (Rio de Janeiro) através do estudo qualitativo e quantitativo da sedimentação orgânica da Lagoa Brejo do Espinho.

2 ÁREA DE ESTUDO

A Lagoa Brejo do Espinho (Figura 2) é localizada na Região dos Lagos, na parte leste da linha de costa, a 108 Km do Rio de Janeiro e à sudoeste da Lagoa de Araruama sob as coordenadas 22°56' S e 42°14' O. Sua superfície total é de cerca de 1 km² e sua profundidade entre 1 e 1,5m, podendo permanecer sem água durante as longas estiagens. É alimentada exclusivamente pela precipitação e percolação de águas providas da Lagoa de Araruama pela restinga interna (ORTEGA, 1996). Está separada do mar por uma restinga externa e da Lagoa de Araruama por uma interna. O seu fundo apresenta nos primeiros centímetros de sedimento, uma camada algal (“tapete”) de cianofíceas.

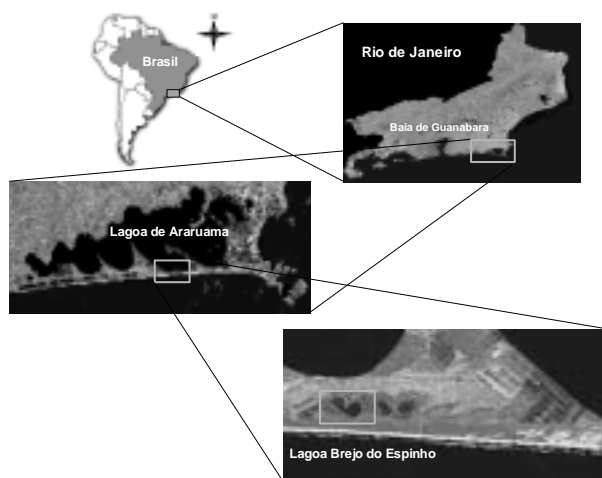


Figura 2: Localização da área de estudo

4 METODOLOGIA

Após abertura do testemunho coletado na Lagoa Brejo do Espinho (LBE 01/02 - 2,43m), sub-amostras foram separadas para a confecção de lâminas palinofácies para a análise petrográfica orgânica, a qual consiste no estudo microscópico da fração refratária da matéria orgânica, a fim de se identificar a origem deste material como também seu estado de preservação. Tanto o tratamento das amostras quanto a preparação das lâminas palinofácies foram realizados segundo metodologia descrita em SI-FEDDINE *et al.* (1996) e ALBUQUERQUE (1998).

A contagem das partículas orgânicas foi realizada através do método que normatiza a área relativa das partículas. Desta forma, utilizou-se uma lente ocular quadrícula, na qual se contou o número de “quadrats” ocupado por cada partícula. Utilizou-se como lente inferior de tamanho, 1/2 “quadrat”, ou seja, partículas menores que 1/2 “quadrat” foram desconsideradas na contagem. O esforço de contagem foi de 500 “quadrats” para cada lâmina.

Os conteúdos de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) foram determinados em amostras previamente descarboxiladas (HCl 1N por 24 horas) em analisador automático CHN no Laboratório de Formações Superficiais do IRD-França. Os resultados obtidos foram expressos em termos de porcentagem.

As análises isotópicas foram realizadas pelo Laboratório de Isótopos Ambientais (“Environmental Isotope Laboratory”) da Universidade de Waterloo (Canadá). As amostras de sedimentos foram descarboxiladas antes de serem analisadas por espectrometria de massa.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores demonstram uma relativa constância na fonte de sedimentos para a lagoa, tendo sido marcada essencialmente pela deposição de um material orgânico intercalado com areias, denotando a clara presença do mar.

A observação da matéria orgânica ao microscópio possibilitou a identificação de 7 frações orgânicas: matéria orgânica amorfa amarelada (MOA); matéria orgânica amorfa avermelhada (MOV); fragmento ligno-celulósico opaco (LCO); fragmento ligno-celulósico translúcido (LCT); fragmento ligno-celulósico geleificado (LCG); fragmento ligno-celulósico degradado (LCD); e carvão (CV). Assim, foi possível estabelecer uma relação quantitativa entre estas frações (Figura 4).

Os resultados obtidos a partir das análises dos parâmetros geoquímicos e petrográficos do testemunho LBE 01/02 (Figuras 3 e 4) permitiram identificar 5 fases paleoambientais. Uma síntese dessas diferentes fases, definidas como fácies ambientais é mostrada na Tabela 1.

Tabela 1 – Média de valores de Densidade (g/cm^3), Teor de Água (%); COT (%); $\delta^{13}\text{C}$ ($^{\circ}/_{\text{oo}}$); $\delta^{15}\text{N}$ ($^{\circ}/_{\text{oo}}$); e Razão C/N, por fácies ambientais identificadas no testemunho LBE 01/02.

Fácies	Idade (A.P.)	n	D _a (g/cm^3)	Teor H ₂ O (%)	COT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	C/N	Condição Ambiental
I	7450-6900	8	1,6126,25	54,956,9	23,864,44	-25,821,41	15,296,50	20,291,42	Mar transgressivo; Sedimento argiloso-argiloso
II	6900-6704	2	1,6880,14	46,232,31	21,7902,69	-14,932,21	1,181,14	3,2783,21	Mar transgressivo; Sedimento arenoso (grossa); Mar regressivo
III	6704-448	6	1,5561,23	55,5761,30	22,886,69	-14,861,21	1,859,69	25,251,29	Sedimento argiloso-arenoso; Lagoa isolada do mar
IV	488-223	11	1,6880,11	51,378,99	26,497,14	-20,751,27	1,481,39	22,886,61	Sedimento argiloso-arenoso-carbonático; Lagoa isolada do mar
V	223-0	15	1,7486,11	74,237,67	31,796,62	-18,276,31	1,241,55	17,589,39	Sedimento carbonático-arenoso; Lagoa isolada do mar

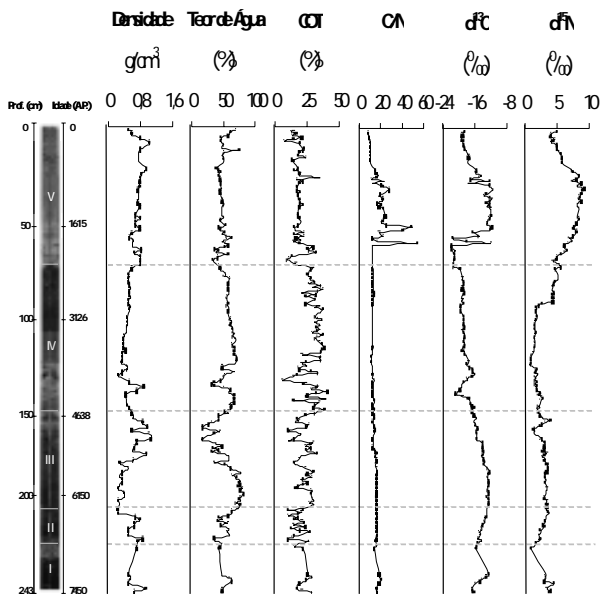


Figura 3: Densidade aparente (g/cm^3); Teor de Água (%); COT (%); Razão C/N e Composições isotópicas ($^{\circ}/_{\text{oo}}$) do Carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e Nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) do testemunho LBE 01/02.

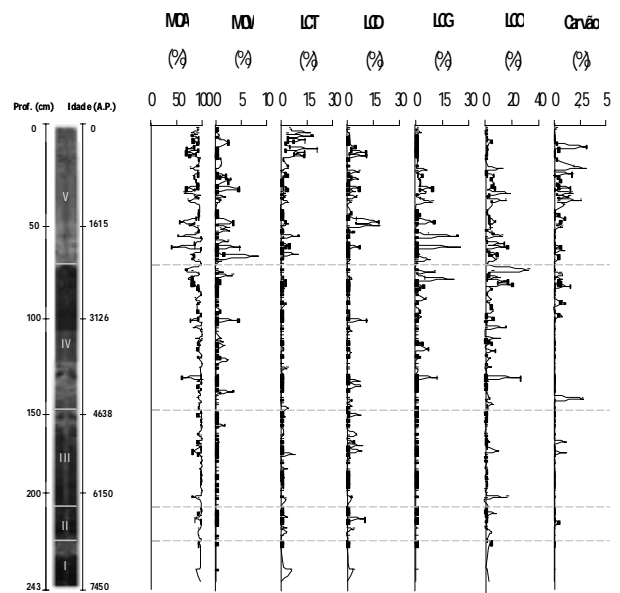


Figura 4: Perfil percentual das frações orgânicas remanescentes identificadas para o testemunho LBE 01/02.

A Fácies Ambiental I, situada entre 7.450 anos A.P. e 6.900 anos A.P. (243,0 cm - 230,5 cm de profundidade), foi caracterizada pela deposição de um sedimento argiloso bastante orgânico com intercalações arenosas que denotam a presença transgressiva do mar nesta antiga lagoa costeira, ou seja, neste período a LBE apresentava uma direta ligação com o mar. O fenômeno de ressurgência pode, neste caso, pode ter sido atuante e ter influenciado a deposição desse material orgânico, no entanto os registros da LBE não nos permitem fazer qualquer inferência mais direta a esse respeito, uma vez que durante essa fase a lagoa encontrava-se ligada ao mar. Nesta fase, a LBE apresentou em termos médios, valores de densidade aparente que sugerem uma contribuição mineral prevalescente na sedimentação.

Os valores de razão C/N e $\delta^{13}\text{C}$ indicam que a fonte principal de sedimentos parece ser oriunda de uma produção algal (autóctone) com forte contribuição de fontes de CO_2 oriundas de CO_3 . Em termos de $\delta^{15}\text{N}$, os valores denotam uma utilização mais acentuada deste elemento como supridor fotossintético. O conteúdo orgânico expresso pelas variações nas concentrações percentuais de COT, apresentou média de 23,8%, sugerindo a deposição de sedimento argiloso-orgânico nesta fase do testemunho.

A Fácies Ambiental II, período em que o mar estava ainda presente, entre 6.900 anos A.P. e 6.724 anos A.P. (230,5 cm - 219,0 cm) apresenta um sedimento composto de areia grossa com fragmentos de conchas, deposição que evidencia um ambiente lagunar com plena e direta influência do nível do mar transgressivo, no entanto, com possíveis eventos de tempestade, os quais provocaram as intercalações de areia grossa. Nesta época, o nível relativo do mar devia estar situado alguns metros acima do nível atual e a barreira externa ainda não havia sido formada. Conforme descrito anteriormente, também durante esta fase não é possível fazer qualquer inferência sobre o esta-

do da ressurgência, uma vez que a sedimentação lagunar encontrava-se plenamente controlada pela comunicação direta com o mar.

Nesta fácies, apesar de uma deposição mais arenosa e grossa em quase todo o intervalo, as médias dos valores mantiveram-se bem próximos, em comparação a fácies anterior, com exceção da razão C/N cuja média foi a que mais decresceu denotando uma elevação na contribuição de sedimentos oriundos da produção autóctone, especialmente a fitoplanctônica.

A Fácies Ambiental III, entre 6.724 anos A.P. e 4.486 anos A.P. (219,0 cm – 147,0 cm), constitui o primeiro momento de isolamento da lagoa. Apresenta um sedimento composto de argila orgânica arenosa a muito orgânica com fragmentos de conchas, denotando ainda a presença transgressiva do mar, o qual controlava a sedimentação lagunar. No entanto, nesta fase parece ter iniciado a formação do cordão arenoso que isolou o complexo lagunar unido (Araruama, Vermelha e Brejo do Espinho) da influência direta do mar. As intercalações arenosas observadas nesta fácies indicam episódios de intensa lavagem, que provavelmente acompanhou a construção da barreira arenosa. O nível de 181 cm, o qual equivale a cerca de 5.575 anos cal AP, possivelmente marca a construção da barreira que isolou as lagoas (ainda juntas) da influência direta do mar. Assim, nessa época, o local estava ocupado por um cordão arenoso que separava um único e prolongado sistema lagunar formado pela união das lagoas de Araruama, Vermelha e Brejo do Espinho da influência direta do mar.

Os valores apresentados nesta fase parecem refletir o momento de transição em que a lagoa começou a perder seu contato direto com o mar, e dessa forma, a deposição sedimentar iniciou uma nova fase de relativa mudança na qualidade da matéria orgânica, a qual, pelo menos de forma direta, não mais sofreu com a influência marinha. Entretanto, essa influência marinha ainda que menos intensa, foi mantida por algum tempo, onde a origem da produção continuou sendo autóctone e algal. A disponibilização de nitrogênio, nesta fase teve um breve acréscimo e a concentração percentual de COT decresceu, mas não tão acentuadamente em relação a fácies anterior.

A variação observada nos parâmetros físico-químicos, desta fase, em outras palavras, sugere este momento, como reflexo de uma provável e leve alteração diagenética da matéria orgânica, podendo também ser o resultado da ressuspensão e redeposição do material sedimentar no fundo, processo que é comum em lagoas costeiras, como também da utilização de um CO₂ isotopicamente pesado (oriundo de carbonatos) durante a fotossíntese algal.

A análise petrográfica da matéria orgânica desta fácies revelou uma matéria orgânica de origem eminentemente autóctone (80 a 100%), representada exclusivamente por material algal.

A Fácies Ambiental IV, entre 4.486 anos A.P. e 2.220 anos A.P. (147,0 cm - 70,0 cm), representa o período de total isolamento da lagoa, sem contato direto com o mar. Apresenta um sedimento essencialmente composto por argilas orgânicas intercaladas por camadas carbonáticas com ou sem fragmentos de conchas. Em termos de fonte

de matéria orgânica, os valores constantes da razão C/N, com média de 12,7, demonstraram que a produção algal continuou sendo a principal fonte. No entanto, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ nesta fase, estiveram mais leves (-21‰ e -16‰), indicando, possivelmente uma mistura nas fontes do CO₂ fixado, ou seja, nesta fase é possível que algum CO₂ de equilíbrio atmosférico tenha sido também fixado pela comunidade algal ou ocorrido a fixação de um CO₂ oriundo da degradação da matéria orgânica. Este fato corrobora a existência de um ambiente lagunar isolado do mar, no qual a ação do vento proporcionava a difusão de algum CO₂ atmosférico. Em termos de $\delta^{15}\text{N}$, essa fase foi marcada pelos menores valores isotópicos (próximos de 1‰), o que pode indicar a possibilidade do início da formação de um tapete algal constituído por cianobactérias fixadoras de nitrogênio.

As variáveis sedimentológicas de densidade e teor de água denotam uma deposição predominantemente orgânica, cujos valores médios foram 0,48 g/cm³ e 58,87%, respectivamente.

Durante esta fase, a LBE apesar de encontrar-se isolada da influência direta do mar, parece ter sofrido momentos de maior ou menor influência das demais lagoas do complexo, como Araruama, por exemplo. No entanto, eventos extremos como o que foi marcado pela presença de uma concreção carbonática entre 128,5 e 132,5 cm, ou seja, entre 4.100 e 3.980 anos AP, demonstraram que a LBE deveria ser isolada das demais lagoas em eventos de extrema aridez regional, o qual seria provocado pela intensificação da ressurgência de Cabo Frio. Além deste evento extremo, esta fase marca uma grande variabilidade ambiental, como sucessão de eventos mais e menos áridos, os quais, possivelmente, se devem a intensificações e enfraquecimentos desta ressurgência.

A Fácies Ambiental V, situada entre 2.200 anos cal A.P. (70 cm) e hoje constitui a fase de total isolamento da lagoa. Foi caracterizada por uma sedimentação essencialmente carbonática, marcada por laminações orgânicas e finalmente recoberto por um tapete algal vivo. Segundo ORTEGA (1996) e confirmado por ALVES (em preparação), estudando testemunhos na mesma lagoa, foi observado a formação de uma camada dolomítica (100% dolomita) entre cerca de 70 e 30 cm (2.000 a 800 anos cal A.P.) do perfil. Esta camada dolomítica foi, possivelmente, a responsável pelas mudanças nos valores da razão C/N e das composições isotópicas do carbono e nitrogênio. Neste sentido, uma vez que a dolomita é mais resistente ao ataque ácido do que a calcita e aragonita. É provável que o aumento na razão C/N, com média de 17,5, observado nesta porção do perfil, como também os valores mais pesados do $\delta^{13}\text{C}$, com média de $-16,2\text{‰}$, se devam a um remanescente de carbonato (dolomita, neste caso) nos sedimentos analisados. Foi possível também observar variações na composição isotópica do nitrogênio, com média de $6,8\text{‰}$, o que a princípio, não poderiam ser explicados pela simples presença do remanescente dolomítico. No entanto, segundo Vasconcelos & McKenzie (1997), estudando a formação de dolomita na Lagoa Vermelha, concluíram que a precipitação de dolomita depende da atividade de bactérias sulfato-redutoras. Neste

sentido, é possível explicar o aumento nos valores de $\delta^{15}\text{N}$ na porção dolomítica do perfil pela ocorrência de denitrificação, a qual ocorria antes da sulfato-redução. Após a camada dolomítica, a participação da calcita e aragonita voltam a aumentar no perfil sedimentar (ORTEGA, 1996), produzindo valores de razão C/N e de $\delta^{13}\text{C}$ compatíveis com os níveis anteriores à dolomita.

Em termos de interpretação paleoambiental, a Fácies Ambiental V representa condições ambientais mais áridas que a fácies anterior, podendo considerar a porção entre 70 e 30 cm (cerca de 2.000 a 800 anos cal A.P.), representado pela porção dolomítica do perfil, como uma fase de aridez extrema dentro desta fase. Em termos de atividade da ressurgência, é possível estimar que a ressurgência tenha sido mais forte na fase V que na fase IV, quando apresentou grande variabilidade interanual. Além disto, entre 2.000 e 800 anos AP, a ressurgência foi, provavelmente, mais forte que atualmente, tendo atingido talvez uma de suas maiores intensidades.

6 CONCLUSÕES

As análises dos parâmetros utilizados no estudo da sedimentação da Lagoa Brejo do Espinho mostraram claramente a existência de um gradiente físico-químico que responde a um gradiente climático provocado pela ação da ressurgência no litoral de Cabo Frio. Tendo sido possível, também demonstrar que ocorreram mudanças significativas na sedimentação dos ambientes, as quais, provavelmente, se devem a mudanças no impacto da ressurgência na região, que por sua vez são climaticamente controlados. A variação relativa desse fenômeno ao longo dos 7.450 anos A.P. implicou, dessa forma, no processo deposicional, que se encontra refletido no sedimento lacustre analisado.

Não foi reconhecida nenhuma fase a qual pudesse estar caracterizada por alguma grande mudança na fonte fornecedora de matéria orgânica, que foi mantida predominantemente pela matéria orgânica amorfa amarelada (MOA), a qual consistiu de uma produção essencial algal.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela bolsa de Estudo. Ao IRD (França) pela viabilização das análises geoquímicas. Ao Departamento de Geoquímica da Universidade Federal Fluminense, local de desenvolvimento da pesquisa e aos Professores Doutores Ana Luiza S. Albuquerque e Abdel-fettah Sifeddine, meus orientadores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, A. L. S. (1998) Paleoambientes Holocênicos do Lago Dom Helvécio (Parque Florestal do Rio Doce, Minas Gerais). Niterói. Tese de Doutorado – Universidade Federal Fluminense.

BRAUER, A. & NEGENDANK, J. F. W. (2002) The value of annually laminated lake sediments in Palaeoenvironment reconstruction. *Quaternary International*.

MARTIN, L.; BERTAUX, J.; CORREGE, T.; LEDRU, M. P.; MOURGUIART, P.; SIFEDDINE, A.;

SOUBIES, F.; WIRRMANN, D.; SUGUIO, K. & TURQ, B. (1997) Astronomical Forcing of Constrating Rainfall Changes in Tropical South America between 12,400 and 8800 cal yr B.P. *Quaternary Research*.

MARTIN, L.; SUGUIO, K.; FLEXOR, J. M.; DOMINGUEZ, J. M. L. & BITTENCOURT, A. C. S. P. (1987) Quaternary evolution of the central part of the Brazilian coast, the role of relative sea-level variation and shoreline drift. *UNESCO Reports in Marine Science*.

ORTEGA, L. A. T. (1996) Variations paléohydrologiques et paléoclimatiques d'une région d'upwelling au cours de L'Holocène: en registrement dans les lagunes côtières de Cabo Frio (Etat de Rio de Janeiro, Brésil). Tese de Doutorado, L'Universite Pierre et Marie Curie (Paris VI).

SIFEDDINE, A.; BERTRAND, P.; LALLIER-VÉRGES, E.; PATIENCE, A. J. (1996) Lacustrine organic fluxes and paleoclimatic variations during the last 15 ka: Lac du Bouchet (Massif Central, France). *Quaternary Science Reviews*.

VASCONCELOS & MCKENZIE (1997) Microbial remediation of modern dolomite precipitation and diagenesis under anoxic conditions, Lagoa Vermelha, Rio de Janeiro, Brazil. *Journal of sedimentary Research*.