

APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE INFRAVERMELHO NA IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA NOS SEDIMENTOS DE FUNDO DA PLATAFORMA CONTINENTAL DO AMAZONAS

E.A.R. de Lima¹, G.W. Siqueira², W.N. de Lima¹, A.S. Mendes²

1. Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa nº 1, Campus Universitário do Guamá, CEP 66075-110, Belém, PA

2. Departamento de Química, Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa nº 1, Campus Universitário do Guamá, CEP 66075-110, Belém, PA

ABSTRACT

This study was performed in the Amazon Continental Shelf between the mouth of the Pará River (PA) and the Orange Cape (AP). Infrared spectra (IR) show sharp absorption bands in the region among 4000 – 3400 cm⁻¹ that are relative to the O-H of the hydroxyl groups; bands among 1034 - 470 cm⁻¹ are relative to the clay minerals. This analytical method employed was good to characterize the organic matter present in the samples, which presented bands not very pronounced in the interval of 2925 – 2850 cm⁻¹ characterizing the occurrence of methyl (-CH₃) and methylene (-CH₂-) groups of the humic substances. Besides characterizing the chemical nature of the organic matter, the spectra of IV exhibited absorption bands in the region of 1430 – 1402 cm⁻¹ that are related to the composition of calcareous sands of foraminifers, echinoderms and mollusks skeletal fragments present in the studied area.

RESUMO

Este estudo foi realizado na Plataforma Continental do Amazonas, entre a foz do rio Pará (PA) e o Cabo Orange (AP). Os espectros de infravermelho (IV) mostram nítidas bandas de absorção na região entre 4000 – 3400 cm⁻¹ que são relativas às ligações O-H de grupos hidroxila; as bandas localizadas entre 1034 – 470 cm⁻¹ são relativas às ligações Si-O e Al-OH dos argilominerais. Esse método analítico serviu para caracterizar a matéria orgânica presente nas amostras, que apresentaram bandas pouco pronunciadas no intervalo de 2925 – 2850 cm⁻¹ caracterizando a ocorrência de grupos metil (-CH₃) e metileno (-CH₂-) das substâncias húmicas. Além de caracterizar a natureza química da matéria orgânica, os espectros de IV exibiram bandas de absorção na região de 1430 – 1402cm⁻¹ que estão relacionadas aos carbonatos de areias calcárias de fragmentos de esqueletos de foraminíferos, equinodermas e moluscos presentes na área estudada.

INTRODUÇÃO

A Plataforma Continental do Amazonas (PCA) destaca-se por apresentar em sua área uma forte influência fluvial proveniente principalmente das descargas dos rios Amazonas e Pará, os quais possuem, segundo Oltman (1968), vazões estimadas em cerca de 1,75 x 10⁵ m³.s⁻¹ e 10⁴m³.s⁻¹, respectivamente. Essa plataforma sofre influência de componentes hidrodinâmicos de grande competência. A componente predominante é a descarga do rio Amazonas que em época de vazão máxima,

somada à do Tocantins, pode atingir 3,74 x 10⁵ m³/s (Figueiredo & Nittrouer, 1992).

Segundo Patchineelam (1999), a matéria orgânica (MO) terrestre associada aos sedimentos transportados pelo rio Amazonas é biologicamente refratária. Para o autor, ainda, as partículas sedimentares, após entrarem na plataforma continental, se misturam com a matéria orgânica lábil e são depositadas no fundo, onde uma variedade de reações geoquímicas acontece.

A eficiência da matéria orgânica (MO) em adsorver metais (essenciais e não-essenciais) depende basicamente de suas propriedades complexantes. Há uma tendência desses constituintes químicos associarem-se fortemente por reações de formação de quelatos. As substâncias húmicas representam um papel importante no transporte e fixação de metais nos sedimentos (Aiken *et al.* 1985)

O objetivo deste trabalho é identificar e caracterizar a natureza química da matéria orgânica através da espectroscopia na região do infravermelho (IV) e avaliar a distribuição espacial de carbono orgânico e nitrogênio orgânico, e estabelecer a razão C/N para esses sedimentos da Plataforma Continental do Amazonas.

MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de sedimentos de fundo foram coletadas a bordo do NOc “Antares” da Marinha de Guerra do Brasil, durante as operações Norte II (13 a 23 de outubro de 1997) e Norte III (30 de abril a 29 de junho de 1999), nos períodos de descargas mínima e máxima do sistema amazônico, respectivamente. Os pontos de coleta foram determinados através do GPS (Global Positioning System).

As amostras de sedimentos superficiais, localizadas a isóbatas de até 40 m de profundidade (Figura 1), foram coletadas (~1kg) mediante o uso de um testemunhador do tipo “box corer” e amostrador “Van Veen” em 16 pontos na plataforma continental. As amostras foram acondicionadas em frascos de polietileno, codificadas e preservadas em “freezer” a uma temperatura de -20 °C.

O carbono orgânico foi analisado de acordo com Gaudette *et al.* (1974), que utiliza o método dicromatométrico em meio sulfúrico. O nitrogênio orgânico foi determinado pelo procedimento de Kjeldahl, que é baseado na digestão com uma mistura de reagentes (H₂SO₄, CuSO₄ e Na₂SO₄) convertendo as formas orgânicas de nitrogênio em amônia. A amônia é removida por arraste, absorvida em solução e submetida à titulação por volumetria de neutralização (EMBRAPA, 1979).

Para a utilização das técnicas de IV foi utilizado 0,2 g de KBr e 0,0013 g da amostra pulverizada e confeccionou-se uma partilha por prensagem com 7 toneladas de pressão a vácuo, objetivando a remoção da umidade e auxiliando a prensagem. Para obtenção dos espectros foi utilizado um espectrofotômetro Perkin Elmer, modelo FT-IR 1760X pertencente ao Laboratório

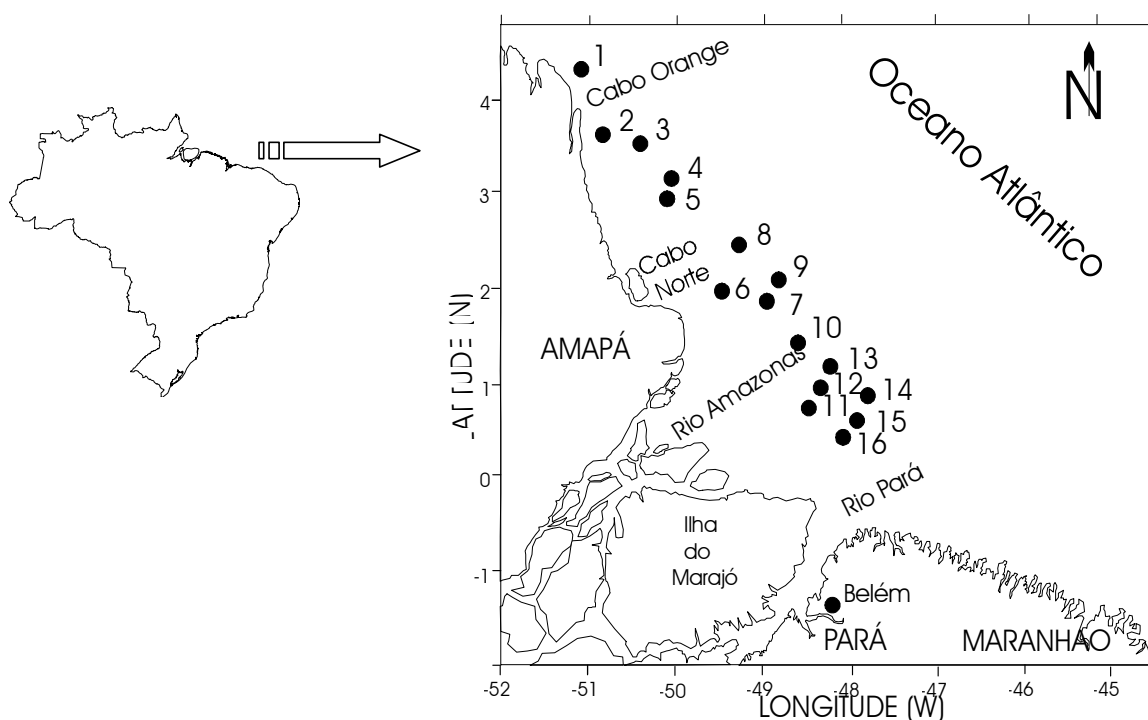


Figura 1 - Mapa mostrando a região de estudo com os pontos das coletas de sedimentos.

Tabela 1 - Resultados de carbono e nitrogênio na forma orgânica, matéria orgânica, razão C/N e % de carbonato nas estações de amostragem.

Amostras	Codificação no mapa	Profundidade (m)	C _{org} (%)	MO (%)	N _{org} (%)	Razão C/N	Carbonato
NII 57	8	13	0,15	0,26	0,06	2,50	0,68
NII 60	9	22	0,14	0,24	0,05	2,80	2,75
NII 74	10	37	0,16	0,28	0,10	1,60	2,32
NII 78	11	26	0,18	0,31	0,10	1,80	1,26
NII 79	12	22	0,23	0,40	0,09	2,55	2,23
NII 80	13	37	0,33	0,57	0,11	3,00	1,79
NII 97	14	16	0,27	0,47	0,07	3,86	4,91
NII 98	15	22	0,27	0,47	0,05	5,40	3,45
NII 99	16	21	0,15	0,26	0,05	3,00	2,50
NIII 01	1	14	0,11	0,20	0,05	2,20	2,43
NIII 17	2	10	0,23	0,40	0,21	1,09	2,57
NIII 19	3	14	0,22	0,38	0,13	1,69	2,75
NIII 31	4	31	0,35	0,61	0,13	2,69	2,82
NIII 32	5	45	0,28	0,49	0,11	2,54	7,14
NIII 37	6	36	0,12	0,21	0,06	2,00	2,80
NIII 51	7	21	0,3	0,51	0,18	1,67	2,59
Média	-	-	0,22	0,38	0,10	2,52	2,81
Mínimo	-	-	0,11	0,20	0,05	1,09	0,68
Máximo	-	-	0,35	0,61	0,21	5,40	7,14
Desvio da Média	-	-	0,065	0,111	0,037	0,706	0,884
Desvio Padrão	-	-	0,076	0,132	0,048	1,028	1,471

de Infravermelho do Centro de Geociências/UFPA.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com relação aos teores de C_{org}, N_{org}, MO e razão C/N, os gradientes entre os valores foram fracamente acentuados, revelando uma maior homogeneidade entre os pontos.

Os valores mais altos para N_{org} foram 0,21% e 0,18% referente às amostras NIII 17 e NIII 51 (Tabela 1). Os valores mais elevados encontrados para o C_{org} foram 0,35 % e 0,33 %, e para MO 0,61% e 0,57%, referentes às estações NIII 31 e NII 80, respectivamente. Os valores mais baixos foram 0,14% e 0,06% para o C_{org}, 0,24 % e 0,11% para a MO nas estações NIII 37 e NII 60, respectivamente (Tabela 1). A Figura 4 mostra o gráfico de dispersão de carbono orgânico, matéria orgânica e nitrogênio orgânico nas amostras estudadas.

Apesar de períodos de descargas hídrica e sedimentar diferente observou-se que não houve uma diferença tão expressiva nas concentrações de matéria orgânica, onde se notou que o teor máximo para este parâmetro teve valores de 0,61%, para o período de descarga máxima, enquanto que para o período de descarga mínima os valores não ultrapassaram 0,57 %.

Os valores obtidos para C_{org}, neste estudo, estão bem próximos daqueles realizados por Zhu *et al.* (2002), utilizando datação por Pb²¹⁰ com a qual observaram que a porcentagem de C_{org} variou de 0,45 % a 0,65 % na área costeira do Amapá e dentro do intervalo determinado por Siqueira (2003) de 0,09 % a 2,25 % de C_{org} em estudo realizado na Plataforma Continental do Amazonas. Essas comparações vêm valorizar mais ainda os métodos utilizados e as análises realizadas neste trabalho.

Os teores encontrados de matéria orgânica em parte dessa plataforma assumiram

um padrão bastante homogêneo. Esses valores podem estar associados à penetração da água marinha (empobrecida em carbono orgânico dissolvido) pelo fundo da plataforma continental em relação à água predominantemente de origem fluvial, principalmente pelo sistema de dispersão do Amazonas (enriquecida em carbono orgânico dissolvido).

A Figura 2 mostra o estudo das correlações estatísticas realizado entre $C_{org} - N_{org}$ (0,50) onde revela que existe uma quantidade de nitrogênio orgânico ligado aos substratos orgânicos de origem terrígena e outra quantidade ligada a microfauna presente no sedimento, ou seja, existem fontes independentes de N_{org} para a plataforma. Esses estudos e outras discussões podem ser verificados com maiores detalhes em trabalhos de Siqueira (2000), Siqueira (2003) e Lima (2003).

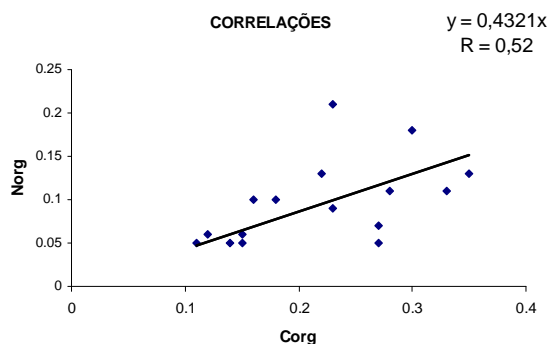


Figura 2 - Gráfico de correlações estatísticas entre C_{org} e N_{org} .

Os sedimentos marinhos geralmente têm um baixo conteúdo de matéria orgânica; além disso, as partículas orgânicas lábeis no fundo do oceano são oxidadas por O_2 na água do mar antes de serem agrupadas a superfície dos sedimentos (Song & Muller, 1999). Em tese, isso justifica os baixos valores encontrados para esse parâmetro nessa região. A Tabela 2 mostra o tratamento estatístico simplificado dos parâmetros físico-químicos para a área de estudo.

Este material orgânico pode ter origem alóctone ou autóctone, ou mesmo uma combinação de ambas. Sua distribuição é afetada por muitas variáveis, como profundidade da coluna de água, hidrodinâmica local, diâmetros das partículas (Sommaruga & Daniel Conde, 1990), produtividade primária e outros. De acordo com Barcellos (2000), o conhecimento

Tabela 2 - Tratamento estatístico dos parâmetros ambientais coletados.

	T (°C)	S (ups)	pH	OD (mL/L)	MES mg/L	Saturação OD (%)
Mínimo	26,13	4,85	7,83	2,05	0,00	44,66
Máximo	28,90	36,55	8,41	5,92	220,00	118,88
Média	27,85	30,04	8,09	4,31	65,83	89,59
D. Média	0,54	6,59	0,11	0,67	74,44	12,90
D. Padrão	0,68	8,57	0,13	0,92	90,20	17,99

MES - Material em suspensão
OD - oxigênio dissolvido

da matéria orgânica permite a avaliação das áreas de circulação mais efetiva e tendências do meio quanto ao potencial redox, fornecendo parâmetros fundamentais para o estudo de ecossistemas bentônicos.

Geralmente, o nitrogênio total contido na matéria orgânica, varia conforme o tipo de organismo. De acordo com Braga *et al.* (2000) e Siqueira (2003), os organismos autótrofos necessitam de nitrogênio na forma inorgânica: íons amônia por um lado, nitrito e nitrato ou ainda nitrogênio molecular de outro lado, em alguns casos, nitrogênio orgânico. Para Braga *et al.* (2000), em sistemas costeiros e estuarinos, as variações de concentração ou mesmo a sobrecarga de nitrogênio constituem um importante fator para evolução dos ecossistemas.

A Tabela 1 e a Figura 3 mostram os valores da razão C/N nas amostras coletadas que variaram de 1,10 a 5,4 com teor médio 2,43. As estações NII 97, 98 e 99 foram as que apresentaram uma maior razão C/N com valores de 3,86, 5,4 e 3, respectivamente. Esses pontos estão localizados bem próximos à foz do rio Pará, recebendo sedimentação direta desse rio

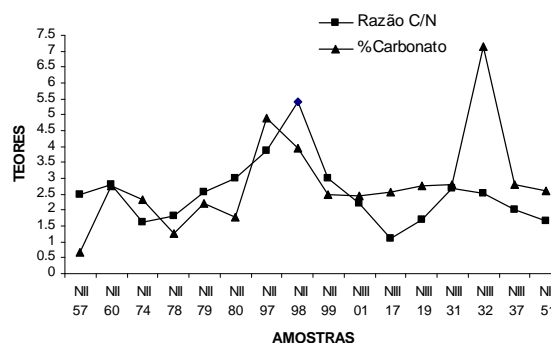


Figura 3 - Gráfico de dispersão envolvendo razão C/N e percentual de carbonatos.

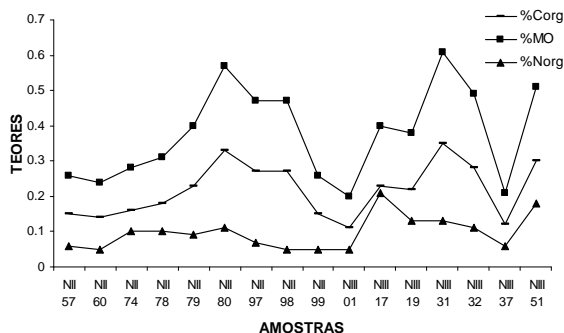


Figura 4 - Gráfico de dispersão envolvendo percentuais de carbono orgânico, matéria orgânica e nitrogênio orgânico.

sofrendo uma maior influência de material terrígeno originado pelo intemperismo. Pereira (2000) obteve razões C/N variando de 9,64 até 68,3 nos sedimentos em suspensão, derivados do rio Amazonas, transportados para o oceano e associou esse material com material húmico presente na matéria orgânica oriunda de lixiviações e drenagem de solos amazônicos típicos, tais como podzólicos e latossólicos na PCA. Em trabalho realizado por Siqueira (2003) nesta plataforma, os valores da razão C/N oscilaram entre 6,34 a 43,03, com valor médio de 10,09 para a região da plataforma de estudada. Ainda para este autor, o material orgânico depositado sobre a matriz sedimentar não provém, em princípio, da comunidade planctônica residente, podendo existir outras fontes de detritos orgânicos para o sistema, como exemplo, material de origem terrígena provenientes dos rios Amazonas, Pará e outros rios ao longo da costa.

As baixas razões C/N obtidas podem ser resultantes da deposição e ressuspensão do material particulado, na coluna d'água, disponibilizando, com isso, as reações de oxidação e degradação da MO. De acordo com Mahiques *et al.* (1998), os valores da relação C/N acima de 24 podem ser resultantes como grandes estimativas de influência continental para matéria orgânica nos sedimentos. Para Magliocca & Kutner (1964), o índice determinado da razão C/N acima de 10 implica num aumento de restos parcialmente destruídos de vegetação, com altos conteúdos em celulose e lignina. Segundo Meyers (1994) *apud* Carreiras (2000), razões C/N típicas de fitoplâncton marinho apresenta valores de 4 a 10.

A Figura 5 mostra os espectros de IV na

tentativa de caracterização da matéria orgânica associada aos sedimentos. Os espectros foram selecionados de acordo com os maiores teores de matéria orgânica e de carbonato.

As bandas fracas e nem sempre nítidas (Figura 5) às proximidades de 2925 -2850 cm^{-1} referem-se aos grupos metil ($-\text{CH}_3$) e metileno ($-\text{CH}_2-$) de cadeias alifáticas (Stevenson, 1974) que são característicos de material húmico e, portanto, dizem respeito à matéria orgânica presente no sedimento. A banda nas proximidades de 1638 cm^{-1} refere-se a H_2O dos argilominerais.

De acordo com os espectros de IV nota-se que essa MO é formada por substância húmicas (SH), que são os constituintes orgânicos mais abundantes em sedimentos. Essas SH podem ser originadas por organismos que vivem na coluna de água (p. ex. plâncton), quanto também da MO que entra no sistema através dos rios (p. ex. rio Amazonas) e do intemperismo dos solos adjacentes. Leenheer (1980) observou a predominância desses tipos de solos em áreas da floresta amazônica (equatorial, quente e úmida) ao longo das margens do curso do Amazonas, pela notável presença de material húmico nessas águas fluviais.

Embora com registros entre 852 - 835 cm^{-1} e um registro em 874 cm^{-1} relativos ao íon carbonato, destaca-se, nessa figura, as bandas registradas mais ou menos intensamente (conforme o teor de carbonato presente na amostra de sedimento) em 1430 - 1402 cm^{-1} , que são bem representativas da ocorrência de carbonato (Marel & Beutelspacher, 1976 e Gadsden, 1975).

A Figura 3 mostra a dispersão do carbonato entre as amostras. Destacaram-se com os maiores percentuais de carbonato (expressos em termos de CaCO_3) as amostras das estações NII 97 com 7,14% e estação NIII 51 com 4,91% sugerindo sedimentação biogênica. A tabela 1 apresenta os valores obtidos da determinação do carbonato biodetrítico.

Os conteúdos de CaCO_3 encontrados em parte da PCA estudada foram baixos, apresentando o menor teor de 0,68% na estação

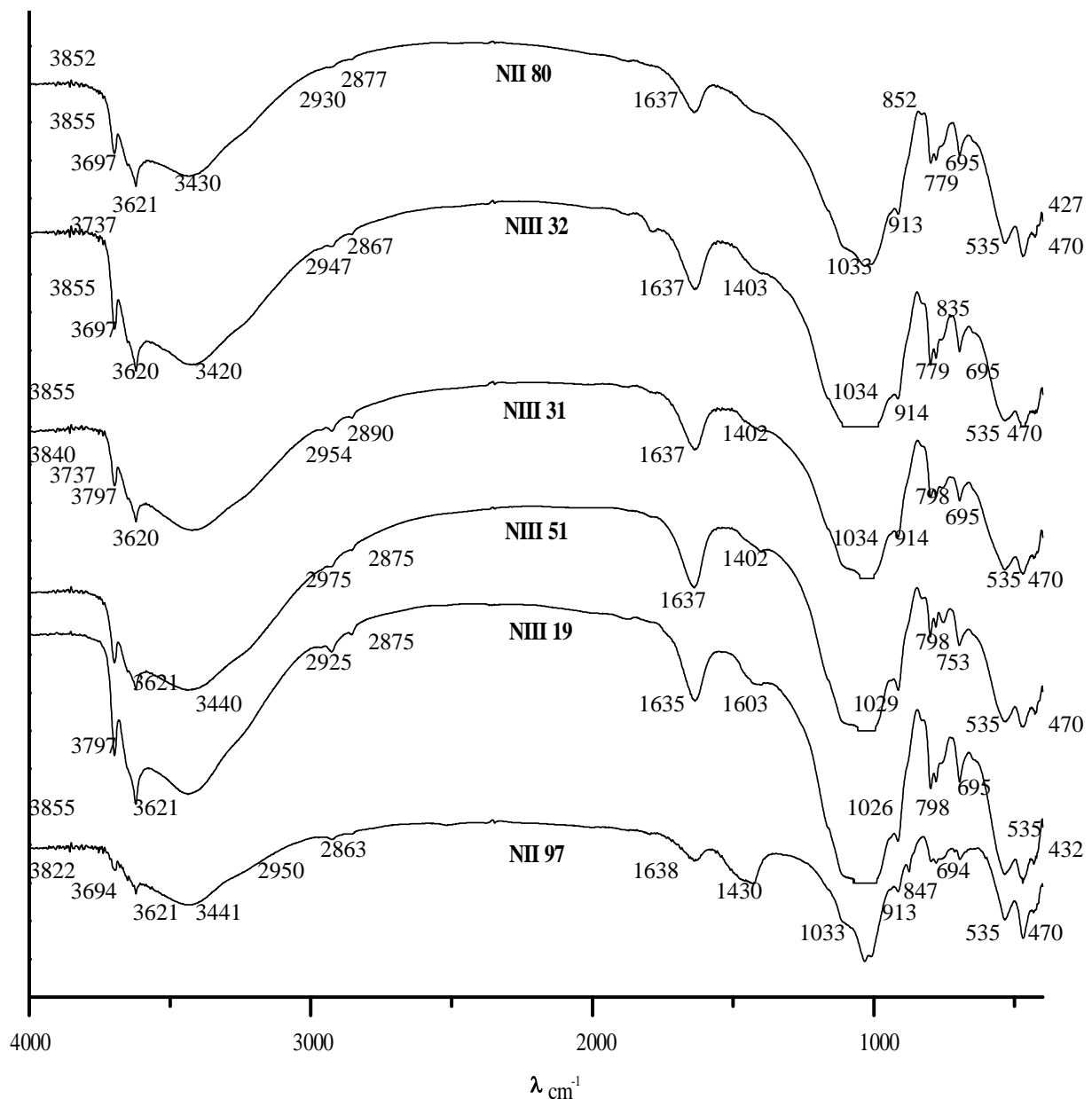


Figura 5 - Espectros de IV para as amostras estudadas (sedimentos pelíticos da Plataforma Continental do Amazonas). Prensagem em KBr.

NIII 01, que coincide bastante com a zona de ocorrência de sedimentos lamosos (silte/argila), na plataforma continental interna. A questão da profundidade implica no conteúdo total de carbonato pelo fato de existir uma zona de afloramento de carbonato biogênico na plataforma continental externa e que de acordo com a as correntes de maré parte do carbonato é transferido para áreas mais próximas à costa (no caso plataforma interna e média).

Observa-se que, embora com teores pouco pronunciados, sempre é possível o registro da banda, intensificando-se na ordem das amostras NII 80, NIII 32, NIII 31, NIII 51, NIII 19, NII 97.

CONCLUSÕES

O baixo teor de matéria orgânica (MO) encontrada para os sedimentos se deve ao fato de que essa MO sofre intenso processo de mineralização que ocorre devido a uma razoável taxa de oxigênio dissolvido (OD) no ambiente (máximo em 5,92 mL/L).

Os baixos valores numéricos para a razão C/N (mínimo em 1,09) mostram concentrações elevadas de componentes orgânicos nitrogenados nessa matéria orgânica, o que caracteriza e revela que parte desse nitrogênio está associado às substâncias húmicas

identificadas, e outra parte associada a microfauna que possa existir nos sedimentos da PCA. O estudo das correlações estatísticas feitas entre $C_{org} - N_{org}$ (0,52) valida ainda mais essa hipótese.

Mesmo com amostras coletadas em períodos de descarga diferentes (um de vazão máxima e um de vazão mínima) observou-se que a quantidade de material orgânico não é função das descargas sedimentar e hídrica, mesmo assim, notou-se que em período de máxima vazão a quantidade de material orgânico chega a 0,61%, enquanto que em descarga mínima o valor não ultrapassa a 0,57%. Isso evidencia um padrão de distribuição bem homogêneo em toda a

plataforma.

Os espectros de infravermelho permitiram identificar a ocorrência de grupos metil e metileno, que são característicos de polímeros naturais (material húmico), embora com baixos conteúdos de matéria orgânica nesses sedimentos.

Os teores de carbonato encontrados em parte da PCA são derivados dos processos físicos relacionados com as correntes de maré, que atuam como agente de transporte do material biodetrítico, localizado nas plataformas externa e intermediária, que é conduzido para a plataforma mais interna.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIKEN, G.R.; McKNIGHT, D; WERSHAW, R.L.; MacCARTHY, R. (1985) Humic substances in soil, sediments and water. Geochemistry, isolation and characterization. John Willey & Sons, New York. 691 p.
- BARCELLOS, R.L. (2000) Processo sedimentar atual e a distribuição da matéria orgânica sedimentar (C, N e S) do Canal de São Sebastião (SP) e plataforma continental adjacente. Dissertação de Mestrado. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 187 p.
- CARREIRAS, R.S. (2000) Investigação sobre o acréscimo da estocagem de carbono em ambientes fertilizados pela ação antropogênica: A baía de Guanabara como modelo. Tese de Doutorado. PUC, RJ, 201 p.
- BRAGA, E.S.; BONETTI, C.V; BURONE, L.; BONETTI FILHO, J. (2000) Eutrophication and bacterial pollution caused by industrial and domestic wastes at the Baixada Santista Estuarine System—Brazil. Mar. Pollut. Bull. **40**: 165-173.
- EMBRAPA (1979) Manual de Análise de Solo. Rio de Janeiro. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. 119 p.
- FIGUEIREDO, A.G. & NITTROUER, C.A. (1992) Distribuição de caráter de eco de 3,5 kHz na Plataforma Continental do Amazonas. Xxxvii Congresso Brasileiro de Geologia . SBG/SP, Anais, p: 201-202.
- GAUDETTE, H. E.; FLIGHT, W. R.; TONER, L; FOLGER, D. W. (1974) An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. J. Sediment. Petrol. **44**: 249-253.
- GADSDEN, J.A. (1975) Infrared spectra of minerals and related inorganic compounds. Butterworths, Chinchester. 277 p.
- LEENHEER, J. A. (1980). Origin and nature of humic substances in the waters of the Amazon River basin. Acta Amazônica **10**: 513-526.
- LIMA, E.A.R. (2003). Avaliação geoquímica da ocorrência de metais pesados selecionados em sedimentos pelíticos da plataforma continental do Amazonas no trecho compreendido entre a foz do rio Pará e o Cabo Orange. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará, Belém, 112 p.
- MAGLIOCCA, A. & KUTNER, A.S. 1964. Conteúdo orgânico dos sedimentos de fundo de Cananéia, São Paulo. Contribuições Avulsas do Inst. Oceanogr., SP, **7**: 1-15.
- MAHIQUES, M.M. (1998) Caracterização da matéria orgânica sedimentar da Plataforma Continental Interna e Média entre a Baía da Guanabara (RJ) e São Francisco do Sul (SC). Dissertação de Livre-Docência. Instituto Oceanográfico. Universidade de São Paulo, São Paulo, 86 p.

- MAREL, H.V. & BEUTELSPACHER, H. (1976) Atlas of infrared spectroscopy of clay minerals and their admixtures. Amsterdam, Elsevier. 209 p.
- MEYERS, P.A. (1994). Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. *Chemical Geology*, **144**: 289-302.
- OLTMAN, R.E. (1968) Reconnaissance investigations of the discharge and water quality of the Amazon. Technical Report Circular, v. 552.
- PATCHINEELAM, S.R. (1999) Especificação de elementos-traço, fósforo e piritização nos sedimentos a noroeste da Plataforma Continental Amazônica. VI Simpósio de Geologia da Amazônia (SBG/NO). Manaus, Brasil, Anais, p: 72-73.
- PEREIRA, S.B. (2000). Aspectos geoquímicos do material particulado da pluma estuarina do rio Amazonas: Fatores que controlam as interações com as águas oceânicas. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará, Belém, 130 p.
- SONG, Y.& MULLER, G. (1999) Sediment-Water interactions in anoxic Freshwater sediments. Springer-Verlag Berlin Heildeberg. 111p.
- STEVENSON, F.J. (1974) Humus Chemistry: genesis, composition, reactions. Wiley-Interscience, New York.
- SIQUEIRA, G.W. (2000). Estudo dos teores e biodisponibilidade de metais pesados (Cr, Co, Cu, Zn, Ni, Fe e Mn) em sedimentos da Plataforma Continental do Amapá entre os cabos Orange e Norte (AP). Dissertação de Mestrado. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 130 p.
- SIQUEIRA, G.W. (2003). Estudos dos teores de metais pesados e elementos em sedimentos de superficiais do Sistema Estuarino de Santos (Baixada Santista/São Paulo) e Plataforma Continental do Amazonas (Margem Continental Norte do Brasil). Tese de Doutorado. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 386 p.
- SOMMARUGA, R. & DANIEL CONDE, A. (1990). Distribución de la materia orgânica em los sedimentos recientes de la Laguna de Rocha (Rocha, Uruguay). *Rev. Atlântica* **12**: 35-44.
- ZHU, Z.; ALLER, R.C.; MAK, J. 2002. Stable carbon isotope cycling in mobile coastal muds of Amapá, Brazil. *Continental Shelf Res.* **22**: 2065 –2079.