

# Caracterização de biomarcadores nos sedimentos da Lagoa do Peri, Ilha de Santa Catarina, SC

RODRIGUES NETO, R. \* & MADUREIRA, L.A.S.\*\*

\*Oceanography Labs, Department of Earth Sciences, University of Liverpool, Inglaterra.

\*\*Departamento de Química, Campus Universitário Trindade, UFSC, SC, Brasil - CEP 88040 900.

E-mail: madureira@qmc.ufsc.br

**RESUMO: Caracterização de biomarcadores nos sedimentos da lagoa do Peri, ilha de Santa Catarina, SC.** A avaliação da origem e diagênese de alguns grupos de compostos orgânicos, denominados de biomarcadores, foi estudada a partir da análise dos sedimentos de dois testemunhos, com 45 e 70 cm de comprimento, coletados no fundo da lagoa do Peri. Os biomarcadores, associados a outros parâmetros como teor de oxigênio dissolvido e pH, são de grande importância para estudos de preservação da matéria orgânica. Além dos compostos orgânicos, foram analisados também os percentuais de C, N e H. A interpretação dos resultados foi feita com base nas razões C/N e H/C; razões entre as concentrações dos ácidos graxos de origem terrestre e aquática (RTA) e o Índice Preferencial de Carbono (IPC). A partir dos resultados obtidos, pode-se inferir que desde a interface sedimento-água até 50 cm de profundidade, a origem da matéria orgânica permanece praticamente inalterada, sendo predominantemente aquática ( $C/N < 10$  e  $RTA < 1$ ). Abaixo de 50 cm o teor de matéria orgânica é menor sem, no entanto, ocorrer predominância aquática ou terrestre ( $C/N > 10$  e  $RTA > 1$ ). Diversos biomarcadores foram encontrados, como os procedentes de plantas superiores e os derivados da ação microbiana. Como em vários outros sistemas lagunares, o sedimento da lagoa do Peri apresenta predominância de ácidos carboxílicos com número de átomos de carbono pares em relação aos ímpares. Apesar de ocorrerem alterações nas concentrações com a profundidade, não há nenhuma mudança significativa na distribuição entre os ácidos, pois o IPC é praticamente constante nos dois perfis analisados. Entretanto, foi observada uma diferença nas médias das concentrações nos dois testemunhos, possivelmente devido à diferença nos tamanhos dos grãos nos dois pontos amostrados.

**Palavras-chave:** biomarcadores, diagênese, cromatografia, lagoa do Peri.

**ABSTRACT: Characterisation of biomarkers in Peri lagoon sediments, Santa Catarina Island, SC.** The origin and early diagenesis of some groups of organic compounds known as biomarkers were studied at the Peri lagoon sediments. The abundance and distribution of these compounds, associated with other parameters such as dissolved oxygen and pH are of great importance for studies of organic carbon preservation. Two cores with 45 and 70 cm in length were collected and sectioned at several intervals. The percentage of total organic carbon, nitrogen, and hydrogen were analysed at the same depth intervals as the biomarkers. In order to evaluate the obtained results, some ratios were applied: C/N and H/C, ratios between the abundance of terrigenous and aquatic fatty acids (TAR), and the Carbon Preference Index (CPI). The results of these ratios showed that from the sediment-water interface to about 50 cm in depth, the organic matter origin remains practically unaffected, being mainly aquatic ( $C/N < 10$  and  $TAR < 1$ ). Below 50 cm, the organic matter amount is lower, having both aquatic and terrigenous origins ( $C/N > 10$  and  $TAR > 1$ ). Several biomarkers were identified, as those of terrigenous plants and those of microbial action. As in many other sedimentary deposits, here the sediments showed strong

predominance in abundance of even over odd chain-lengths for fatty acids. In spite of alteration in their concentration with depth, there is no significant change in distribution among them since the CPI remained constant. However, the average concentration of fatty acids in both cores showed distinct values, which may be associated with the difference of grain size between the two sites where the sediment cores were collected.

**Key-words:** biomarkers, diagenesis, chromatography, Peri lagoon.

---

## Introdução

Nos últimos quinze anos foram realizados diversos estudos referentes à formação geológica e ao ecossistema da lagoa do Peri, o que demonstra a importância da lagoa sob o ponto de vista econômico e ecológico (Lapoli *et al.*, 1993; NEMAR, 1999). Entretanto, até recentemente nenhum estudo havia sido feito sobre a composição lipídica da matéria orgânica que se encontra acumulada nos sedimentos da lagoa (Rodrigues Neto, 1998).

O presente trabalho teve por objetivo estudar a geoquímica orgânica de alguns grupos de compostos orgânicos, mais conhecidos como biomarcadores, presentes nos sedimentos da lagoa do Peri, considerada um ecossistema que se encontra pouco impactado por atividades antrópicas.

### Biomarcadores: correlações com as fontes aquática e terrestre

Em um ambiente sedimentar pode-se encontrar uma grande variedade de compostos orgânicos. Muitos são provenientes de vegetações próximas à área de deposição e podem ser carreados para uma lagoa através da ação dos ventos ou chuvas. Outros podem ser transportados por longas distâncias pelos rios. Muitos desses compostos, como os hidrocarbonetos e os ácidos graxos com número de átomos de carbono acima de C<sub>20</sub>, por exemplo, encontram-se bem preservados no sedimento. Outros compostos apresentam estruturas moleculares cujos esqueletos contêm modificações, como é o caso dos terpenóides, em decorrência dos processos bioquímicos existentes na coluna aquática e no sedimento, mas ainda assim é possível correlacioná-los com a fonte de origem. Os lipídios derivados do fitoplâncton e zooplâncton também são encontrados com grande abundância no sedimento. O grupo dos esteróis, por exemplo, que é um importante componente entre os grupos lipídicos presentes em organismos planctônicos, tem sido amplamente estudado em diversos ambientes aquáticos (Volkman, 1986; Venkatesan & Kaplan, 1990; Conte *et al.*, 1995). A distribuição dos esteróis em sedimentos pode ser usada na avaliação de mudanças na densidade e diversidade biológica de uma certa população de organismos (Laureillard & Saliot, 1993; Sicre *et al.*, 1993; 1994). Além disso, devido ao grande número de fontes e à grande diversidade estrutural desses compostos, a distribuição de alguns esteróis pode ser utilizada também como um critério para se distinguir fontes de matéria orgânica (Fernandes *et al.*, 1999).

Através da distribuição de certas classes de lipídios pode-se, portanto, inferir qual ou quais fontes naturais predominaram durante a época de deposição da matéria orgânica (Volkman *et al.*, 1987; Rieley *et al.*, 1991; Conte *et al.*, 1992; 1995), variações na produtividade primária com o tempo (McCaffrey *et al.*, 1991; Canuel & Martens, 1993; Madureira & Piccinini, 1999), atividades microbianas (Volkman *et al.*, 1980) e até a presença de poluentes (Venkatesan & Kaplan, 1990; Sanders *et al.*, 1993).

### Análise estratigráfica dos biomarcadores

Um ponto importante a ser considerado nesses estudos sobre compostos orgânicos em sedimentos é o fato dos diversos grupos de lipídios serem degradados ou modificados de maneira distinta quando incorporados ao sedimento (Self &

Jumars, 1988; Conte *et al.*, 1994; 1995; Madureira *et al.*, 1995). Este é o processo de diagênese da matéria orgânica, sendo definido como uma combinação dos processos biológicos (biodegradação), químicos (oxigênio, pH, etc) e físicos (pressão e temperatura) capazes de modificar a quantidade e a composição da matéria orgânica nos primeiros centímetros da colunar sedimentar (Henrichs, 1992). É importante, portanto, que se tenha em mente as possíveis limitações do uso quantitativo dos compostos orgânicos como indicadores de produtividade no passado (Henrichs, 1992). Por outro lado, o estudo estratigráfico permite acompanhar todas as possíveis modificações que um determinado composto ou grupo de compostos venham a ter com a profundidade e com o tempo, o que ajuda no entendimento das razões pelas quais existem as diferenças na preservação das diversas classes de biomarcadores. Em ambientes onde a matéria orgânica é rapidamente depositada, o processo de degradação é reduzido devido à rápida compactação e desaeração, e os biomarcadores, por conseguinte, são melhor preservados.

Diversos estudos já foram realizados em regiões costeiras, beneficiando-se da alta taxa de sedimentação, com o objetivo de se reconstruir historicamente a produtividade primária naquelas regiões (por exemplo, Volkman *et al.*, 1987; McCaffrey *et al.*, 1991). Portanto, os processos diagenéticos que causam as modificações na qualidade dos biomarcadores, podem ser minimizados em regiões com altas taxas de sedimentação, o que permite uma melhor preservação desses compostos, em particular aqueles funcionalizados como os álcoois e os esteróis.

---

## **Materiais e métodos**

### **Área de estudo**

A lagoa do Peri está localizada ao sul da ilha de Santa Catarina, situada a 27° 43'30" de latitude sul e 48°32'30" de longitude oeste, e drena uma área de 20,1 km<sup>2</sup> (Fig. 1). A Lagoa possui uma superfície de 5,2 km<sup>2</sup>, atinge profundidade de até 11 metros em sua parte leste e se constitui no maior manancial de água doce da ilha. Sua comunicação com o Oceano Atlântico se faz através de um canal de escoamento, ocorrendo um único direcionamento do fluxo. As oscilações da maré não afetam a Lagoa, que se encontra a aproximadamente 3 metros acima do nível do mar (Mossmann, 1983). A bacia da Lagoa é constituída geologicamente pelo complexo cristalino pré-cambriano e por depósitos sedimentares quaternários (Scheibe & Teixeira, 1970). Os sedimentos recentes são constituídos por areias, argilas e cascalhos. A origem desses materiais pode ser coluvial, marinha, fluvial e eólica (Dos Santos *et al.*, 1989). Nas baixas vertentes do leste encontram-se sedimentos retrabalhados pelo mar. Os sedimentos que formam a faixa da restinga são de origem marinha e eólica. Os sedimentos de origem fluvial são encontrados na foz do rio Cachoeira Grande e Ribeirão Grande, que constituem os principais tributários da bacia da Lagoa. Na porção ocidental da bacia existe uma vegetação bem conservada típica da floresta pluvial da encosta Atlântica; à leste existe uma faixa plana onde predomina a vegetação característica das restingas litorâneas (Dos Santos *et al.*, 1989).

O Parque da Lagoa do Peri, cujo plano diretor foi elaborado em 1978 pelo Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis com a colaboração de entidades como a FATMA (Fundação Meio Ambiente) e a UFSC, foi criado com o objetivo de fixar normas para o uso da Lagoa, proteger o manancial hídrico da bacia e também preservar o patrimônio natural representado pela fauna, flora e paisagem (Dos Santos *et al.*, 1989).

Alguns parâmetros hidrológicos sobre a lagoa do Peri foram obtidos junto ao Núcleo de Estudos dos Mar (NEMAR) da UFSC. Os dados são uma média dos valores mensais determinados ao longo do ano de 1999. O pH apresentou uma variação média de 6,7 a 7,7. A taxa de oxigênio dissolvido foi de 9,0 a 11,0 mg/L. Próximo ao ponto de coleta do testemunho T1, a taxa de oxigênio dissolvido foi de 8,3 mg/L, registrada a 9 m de profundidade (NEMAR, 1999).

predominance in abundance of even over odd chain-lengths for fatty acids. In spite of alteration in their concentration with depth, there is no significant change in distribution among them since the CPI remained constant. However, the average concentration of fatty acids in both cores showed distinct values, which may be associated with the difference of grain size between the two sites where the sediment cores were collected.

**Key-words:** biomarkers, diagenesis, chromatography, Peri lagoon.

## Introdução

Nos últimos quinze anos foram realizados diversos estudos referentes à formação geológica e ao ecossistema da lagoa do Peri, o que demonstra a importância da lagoa sob o ponto de vista econômico e ecológico (Lapoli *et al.*, 1993; NEMAR, 1999). Entretanto, até recentemente nenhum estudo havia sido feito sobre a composição lipídica da matéria orgânica que se encontra acumulada nos sedimentos da lagoa (Rodrigues Neto, 1998).

O presente trabalho teve por objetivo estudar a geoquímica orgânica de alguns grupos de compostos orgânicos, mais conhecidos como biomarcadores, presentes nos sedimentos da lagoa do Peri, considerada um ecossistema que se encontra pouco impactado por atividades antrópicas.

### Biomarcadores: correlações com as fontes aquática e terrestre

Em um ambiente sedimentar pode-se encontrar uma grande variedade de compostos orgânicos. Muitos são provenientes de vegetações próximas à área de deposição e podem ser carreados para uma lagoa através da ação dos ventos ou chuvas. Outros podem ser transportados por longas distâncias pelos rios. Muitos desses compostos, como os hidrocarbonetos e os ácidos graxos com número de átomos de carbono acima de  $C_{20}$ , por exemplo, encontram-se bem preservados no sedimento. Outros compostos apresentam estruturas moleculares cujos esqueletos contêm modificações, como é o caso dos terpenóides, em decorrência dos processos bioquímicos existentes na coluna aquática e no sedimento, mas ainda assim é possível correlacioná-los com a fonte de origem. Os lipídios derivados do fitoplâncton e zooplâncton também são encontrados com grande abundância no sedimento. O grupo dos esteróis, por exemplo, que é um importante componente entre os grupos lipídicos presentes em organismos planctônicos, tem sido amplamente estudado em diversos ambientes aquáticos (Volkman, 1986; Venkatesan & Kaplan, 1990; Conte *et al.*, 1995). A distribuição dos esteróis em sedimentos pode ser usada na avaliação de mudanças na densidade e diversidade biológica de uma certa população de organismos (Laureillard & Saliot, 1993; Sicre *et al.*, 1993; 1994). Além disso, devido ao grande número de fontes e à grande diversidade estrutural desses compostos, a distribuição de alguns esteróis pode ser utilizada também como um critério para se distinguir fontes de matéria orgânica (Fernandes *et al.*, 1999).

Através da distribuição de certas classes de lipídios pode-se, portanto, inferir qual ou quais fontes naturais predominaram durante a época de deposição da matéria orgânica (Volkman *et al.*, 1987; Rieley *et al.*, 1991; Conte *et al.*, 1992; 1995), variações na produtividade primária com o tempo (McCaffrey *et al.*, 1991; Canuel & Martens, 1993; Madureira & Piccinini, 1999), atividades microbianas (Volkman *et al.*, 1980) e até a presença de poluentes (Venkatesan & Kaplan, 1990; Sanders *et al.*, 1993).

### Análise estratigráfica dos biomarcadores

Um ponto importante a ser considerado nesses estudos sobre compostos orgânicos em sedimentos é o fato dos diversos grupos de lipídios serem degradados ou modificados de maneira distinta quando incorporados ao sedimento (Self &

Jumars, 1988; Conte *et al.*, 1994; 1995; Madureira *et al.*, 1995). Este é o processo de diagênese da matéria orgânica, sendo definido como uma combinação dos processos biológicos (biodegradação), químicos (oxigênio, pH, etc) e físicos (pressão e temperatura) capazes de modificar a quantidade e a composição da matéria orgânica nos primeiros centímetros da colunar sedimentar (Henrichs, 1992). É importante, portanto, que se tenha em mente as possíveis limitações do uso quantitativo dos compostos orgânicos como indicadores de produtividade no passado (Henrichs, 1992). Por outro lado, o estudo estratigráfico permite acompanhar todas as possíveis modificações que um determinado composto ou grupo de compostos venham a ter com a profundidade e com o tempo, o que ajuda no entendimento das razões pelas quais existem as diferenças na preservação das diversas classes de biomarcadores. Em ambientes onde a matéria orgânica é rapidamente depositada, o processo de degradação é reduzido devido à rápida compactação e desaeração, e os biomarcadores, por conseguinte, são melhor preservados.

Diversos estudos já foram realizados em regiões costeiras, beneficiando-se da alta taxa de sedimentação, com o objetivo de se reconstruir historicamente a produtividade primária naquelas regiões (por exemplo, Volkman *et al.*, 1987; McCaffrey *et al.*, 1991). Portanto, os processos diagenéticos que causam as modificações na qualidade dos biomarcadores, podem ser minimizados em regiões com altas taxas de sedimentação, o que permite uma melhor preservação desses compostos, em particular aqueles funcionalizados como os álcoois e os esteróis.

---

## **Materiais e métodos**

### **Área de estudo**

A lagoa do Peri está localizada ao sul da ilha de Santa Catarina, situada a 27° 43'30" de latitude sul e 48°32'30" de longitude oeste, e drena uma área de 20,1 km<sup>2</sup> (Fig. 1). A Lagoa possui uma superfície de 5,2 km<sup>2</sup>, atinge profundidade de até 11 metros em sua parte leste e se constitui no maior manancial de água doce da ilha. Sua comunicação com o Oceano Atlântico se faz através de um canal de escoamento, ocorrendo um único direcionamento do fluxo. As oscilações da maré não afetam a Lagoa, que se encontra a aproximadamente 3 metros acima do nível do mar (Mosimann, 1983). A bacia da Lagoa é constituída geologicamente pelo complexo cristalino pré-cambriano e por depósitos sedimentares quaternários (Scheibe & Teixeira, 1970). Os sedimentos recentes são constituídos por areias, argilas e cascalhos. A origem desses materiais pode ser coluvial, marinha, fluvial e eólica (Dos Santos *et al.*, 1989). Nas baixas vertentes do leste encontram-se sedimentos retrabalhados pelo mar. Os sedimentos que formam a faixa da restinga são de origem marinha e eólica. Os sedimentos de origem fluvial são encontrados na foz do rio Cachoeira Grande e Ribeirão Grande, que constituem os principais tributários da bacia da Lagoa. Na porção ocidental da bacia existe uma vegetação bem conservada típica da floresta pluvial da encosta Atlântica; à leste existe uma faixa plana onde predomina a vegetação característica das restingas litorâneas (Dos Santos *et al.*, 1989).

O Parque da Lagoa do Peri, cujo plano diretor foi elaborado em 1978 pelo Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis com a colaboração de entidades como a FATMA (Fundação Meio Ambiente) e a UFSC, foi criado com o objetivo de fixar normas para o uso da Lagoa, proteger o manancial hídrico da bacia e também preservar o patrimônio natural representado pela fauna, flora e paisagem (Dos Santos *et al.*, 1989).

Alguns parâmetros hidrológicos sobre a lagoa do Peri foram obtidos junto ao Núcleo de Estudos dos Mar (NEMAR) da UFSC. Os dados são uma média dos valores mensais determinados ao longo do ano de 1999. O pH apresentou uma variação média de 6,7 a 7,7. A taxa de oxigênio dissolvido foi de 9,0 a 11,0 mg/L. Próximo ao ponto de coleta do testemunho T1, a taxa de oxigênio dissolvido foi de 8,3 mg/L, registrada a 9 m de profundidade (NEMAR, 1999).

## Extração e análise dos sedimentos

No presente trabalho foram avaliados alguns grupos de compostos orgânicos procedentes de plantas terrestres e microalgas, os percentuais de carbono orgânico total (C), nitrogênio (N) e hidrogênio (H). Os resultados obtidos foram interpretados com base nas razões das concentrações dos ácidos graxos de origem terrestre e aquática (RTA) (Bourbonniere & Meyers, 1996), Índice Preferencial de Carbono (IPC) (Kevenvolden, 1966), razões C/N e H/C.

A coleta dos testemunhos provenientes da lagoa do Peri foi realizada com tubos de P.V.C. com 2,50 cm de diâmetro e 100 cm de comprimento. Como o fundo da lagoa é formado por uma região com amplo domínio de areia e uma menor na qual predomina as fácies silte e argila, optou-se por coletar um testemunho na região central da lagoa (T1), constituída basicamente por sedimentos lamosos, e um outro testemunho (T2) próximo à zona transicional areno-siltosa (Fig. 1). O objetivo

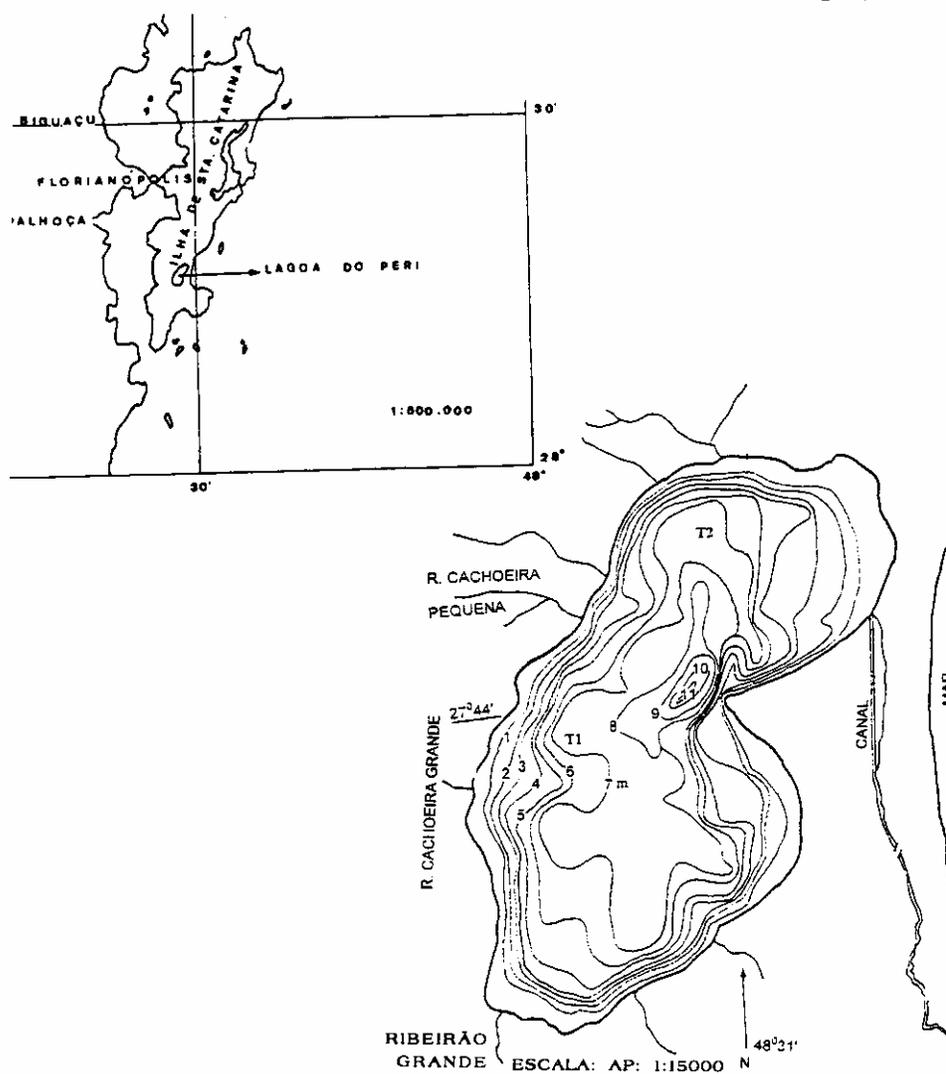


Figura 1: Localização da área de estudo e os pontos de coleta dos testemunhos T1 (45 cm de comprimento) e T2 (70 cm de comprimento) na lagoa do Peri, ilha de Santa Catarina, SC (Figura modificada de Mosimann, 1983).

das coletas nas duas regiões foi avaliar uma possível relação entre a granulometria do sedimento e o teor de biomarcadores acumulados. Entretanto, não foi possível avaliar a composição granulométrica ao longo dos dois perfis, apenas na superfície. Dados obtidos junto ao NEMAR indicam que a região próxima ao perfil T1 é constituída de 5,5 % de areia, 74,1 % de silte e 20,4 % de argila, enquanto que o perfil T2 encontra-se em uma região que contém 15,6 % de areia, 72,8 % de silte e 11,6 % de argila (NEMAR, 1999). Após as amostragens, os dois tubos foram imediatamente colocados em uma caixa de isopor contendo gelo seco e, no laboratório, mantidos em um freezer até a etapa do corte e extração. Os sedimentos foram fatiados em intervalos de 3 cm, ao longo dos primeiros 15 cm, e o restante em intervalos de 5 cm. Foram coletadas também amostras sedimentares da interface sedimento-água com o auxílio de um amostrador do tipo Van Veen de 0,75 L de capacidade, construído em cobre com revestimento "epóxi".

Cada fração seccionada foi liofilizada e uma alíquota de 15 mg foi retirada para as análises de C, N e H totais. As alíquotas foram tratadas com cerca de 0,2 mL de HCl 0,1 mol/L (usou-se esta solução diluída devido à pouca quantidade de carbonato existente nas amostras). As soluções foram homogeneizadas e aquecidas em um aquecedor automático a 60 °C até secura. Para as análises dos compostos orgânicos foram pesados cerca de 5g de sedimento de cada profundidade em tubos de ensaio. A esses tubos adicionou-se uma mistura de padrões internos (colestano e o hidrocarboneto C<sub>30</sub>). Os compostos orgânicos foram extraídos com o auxílio de um aparelho ultrassom adicionando-se uma mistura de diclorometano-metanol (1:1) e diclorometano (2x), sempre na proporção de uma parte de sedimento para três de solvente. O extrato obtido foi combinado e concentrado até próximo ao volume de 1 mL em um rotaevaporador, sendo posteriormente transferido para um tubo de ensaio e evaporado até secura sob fluxo de nitrogênio. Em seguida, adicionou-se cerca de 0,5 mL de tolueno a cada tubo procedendo-se então à esterificação dos ácidos livres com o uso da solução de cloreto de acetila a 5 % em metanol. Antes da análise por cromatografia gasosa ou cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas, as amostras foram silanizadas com BSTFA e depois concentradas até volume de 0,5 mL com diclorometano. Os resultados quantitativos foram obtidos com o auxílio dos padrões internos (Rodrigues Neto, 1998).

## Resultados e discussão

### Análise elementar

Os percentuais de C, N e H foram determinados apenas para o testemunho de maior comprimento (T2). O percentual de carbono orgânico encontra-se na faixa de 1,40 a 13,06 %, o de nitrogênio entre 0,09 e 1,40 % e o de hidrogênio varia entre 0,26 e 2,03 % (Fig. 2a, 2b e 2c). Os valores máximos de N e C foram encontrados na superfície, enquanto que os menores encontram-se a 70 cm de profundidade. Nota-se ainda que os valores são praticamente constantes até 55 cm, apresentando um brusco decréscimo após esta profundidade. Como o percentual de matéria orgânica no sedimento permanece acima de 10 % até 55 cm, este pode ser classificado como *sedimento orgânico* (Esteves, 1988), e do tipo copropel já que a razão C/N (conforme será discutido adiante) é menor ou em torno de 10 para os primeiros centímetros de profundidade (Cole, 1979). Este tipo de sedimento é uma mistura de material húmico, fragmentos de plantas, com uma maior quantidade de restos de algas, sendo a matéria orgânica deste predominantemente de origem autóctone. Quando comparados a outros ambientes, os percentuais de C, N e H na superfície foram, em média, superiores aos valores encontrados nas lagoas da Conceição (Bresciani, 1998) e do Ribeirão (Fritzen & Madureira, 1999) e no manguezal do Itacorubi (Souza-Sierra *et al.*, 1998), todos localizados na região da grande Florianópolis.

Ao contrário dos percentuais de C, N e H, os valores das razões C/N e H/C permanecem em torno de 9,7 e 0,15, respectivamente, até 55 cm e a partir deste ponto apresentam um significativo aumento, alcançando valores de 15,4 e 0,19, respectivamente, a 70 cm (Fig. 2d e 2e). As razões C/N e H/C são amplamente utilizadas para determinar a origem da matéria orgânica em que contribuições de plantas superiores, fitoplâncton e zooplâncton podem ser inferidas (Meyers & Ishiwatari, 1993; Hebbeln & Berner, 1993; Colombo *et al.*, 1996). Como exemplo, derivados de plantas superiores com um alto conteúdo de ligninas e carboidratos têm H/C entre 1,3 e 1,5, enquanto que derivados de plâncton, com uma grande quantidade de proteínas e lipídios, têm uma razão H/C entre 1,7 e 1,9. O principal motivo para esta diferença é que a matéria derivada de plantas superiores é mais rica em oxigênio e mais aromática do que a matéria aquática (Tissot & Welte, 1984). De forma análoga, pode-se dizer que a razão C/N indica a presença de celulose proveniente de plantas superiores em sedimentos. Plantas aquáticas não vasculares têm razão C/N tipicamente entre 4 e 10. Entretanto, as plantas terrestres vasculares que contêm celulose, podem apresentar uma razão superior a 20 (Meyers & Ishiwatari, 1993; Hebbeln & Berner, 1993).

No caso da lagoa do Peri, os valores calculados de H/C estão bem abaixo das médias descritas anteriormente, o que pode ser um indicativo do avançado estágio de degradação da matéria orgânica com perdas de substâncias de cadeias alifáticas e aromatização dos compostos cíclicos (Tissot & Welte, 1984).

A média dos valores da razão C/N determinados para a Lagoa foi inferior, por exemplo, à média dos valores encontrados no lago Haruna, no Japão, que é de 10,5 (Kawamura *et al.*, 1987). Entretanto, os valores são compatíveis com os que foram determinados para sedimentos de superfície na Baía Cape Lookout, EUA (Canuel & Martens, 1993) e na lagoa da Conceição (Bresclani, 1998). Por outro lado, a matéria orgânica particulada da lagoa do Infernã, SP, analisada por Albuquerque & Mozeto (1997), apresentou valores de C/N inferiores aos da lagoa do Peri.

### **Teor de umidade**

O teor de umidade dos sedimentos da lagoa do Peri apresenta um pequeno decréscimo com a profundidade em cada amostra. Isto pode ser observado na Fig. 2f, na qual, para os dois perfis, os valores decrescem em média de 90 % até 85 % a 40 cm de profundidade (T1) e até cerca de 63 % a 70 cm de profundidade para T2. Devido ao maior volume de água intersticial, a região mais próxima à interface é a que possui maior teor de oxigênio dissolvido sendo, portanto, o local onde ocorre a maior degradação de detrito orgânico. Isso pode ser observado pelo decréscimo nas concentrações dos biomarcadores, principalmente nos primeiros 15 cm de profundidade (Fig. 2g e 2h).

### **Identificação e distribuição dos compostos orgânicos nos sedimentos**

A identificação dos compostos orgânicos foi baseada no tempo de retenção de cada composto, tendo-se como referência os padrões adicionados, os espectros de massas de cada um dos compostos analisados, interpretação e comparação com espectros de massas encontrados na literatura e em softwares. Mesmo assim, não foi possível a identificação de todos os compostos presentes nas amostras analisadas.

Os ácidos graxos, na forma de ésteres, foram identificados através do fragmento de massas característico  $m/z$  74. Os hidroxiácidos apresentam fragmentos bastante característicos quando metilados e silanizados. O ácido  $\beta$ -hidroxihexadecanóico foi identificado pelos picos  $m/z$  73,  $m/z$  159,  $m/z$  175 e M-15, enquanto que o ácido 16-hidroxidecanóico foi identificado pelos picos  $m/z$  75,  $m/z$  146, M-15 e M-47 (Eglinton & Hunneman, 1968). Os álcoois foram identificados pelos intensos fragmentos a M-15 e pela presença do pico  $m/z$  75 (Fukushima *et al.*, 1996).

Um composto que geralmente é encontrado em sedimentos de ambientes lacustres e marinhos e que não foi detectado na lagoa do Peri é o fitol (Van Vleet & Quinn, 1979; Jeng & Chen, 1995; Fukushima *et al.*, 1996). Este composto é derivado da clorofila *a*, e a sua ausência confirma a rápida degradação da clorofila *a* formando feopigmentos.

Em relação aos poluentes, não há indícios da presença de hidrocarbonetos procedentes de combustível fóssil, pois na presença destes, os hidrocarbonetos lineares teriam uma distribuição linear, na qual a razão entre os compostos com número de átomos de carbono pares e ímpares é próximo a 1 (Farrington & Tripp, 1977). Em relação aos pesticidas e herbicidas ainda não podemos concluir nada, pois a técnica e os instrumentos empregados neste trabalho não foram específicos para estes compostos.

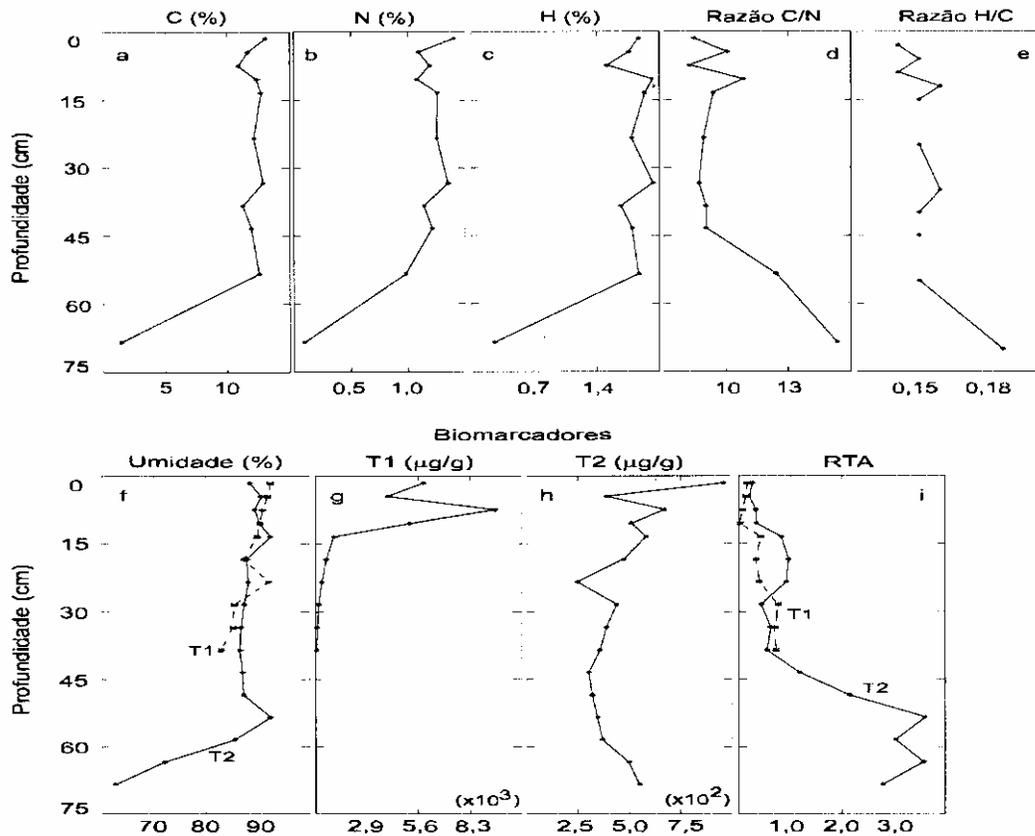
Em termos de distribuição, os ácidos graxos identificados na lagoa do Peri apresentam uma grande similaridade com os ácidos presentes em sedimentos de outros tipos de ambientes aquáticos, como estuários e oceanos (Van Vleet & Quinn, 1979; Madureira *et al.*, 1995). Há uma predominância de compostos com um número par de átomos de carbono e uma distribuição bimodal, com dois máximos nas faixas de  $C_{14}$  a  $C_{18}$  e  $C_{24}$  a  $C_{28}$  (Matsuda & Koyama, 1977). Os ácidos graxos com comprimento de cadeia maior do que 20 átomos de carbono são atribuídos à matéria orgânica predominantemente terrestre (Cranwell *et al.*, 1987), mas ácidos com 22 ou 24 átomos de carbono também são encontrados em algas, e podem formar até 25 % e 5 %, respectivamente, do total dos ácidos presentes nesses organismos (Volkman *et al.*, 1989; Bresciani, 1998). Já a origem dos ácidos de cadeia menor do que 20 átomos de carbono tem sido atribuída a microorganismos aquáticos, como as microalgas e bactérias (Volkman *et al.*, 1989).

A partir da análise dos ácidos nos dois perfis estudados, observaram-se diferenças nas concentrações com a profundidade (Fig. 2g e 2h). No testemunho T1 os ácidos  $C_{12}$ ,  $C_{14}$ ,  $C_{18}$  e  $C_{20}$ , de origem predominantemente aquática, e os ácidos  $C_{24}$ ,  $C_{26}$  e  $C_{28}$ , considerados de origem terrestre, apresentaram maiores concentrações na superfície (até cerca de 15 cm), e as menores concentrações nas camadas inferiores. Para o testemunho T2 as variações nas concentrações dos ácidos foram menos acentuadas, com um ligeiro decréscimo com a profundidade.

Canuel & Martens (1996) reportaram que taxas de degradação na superfície (0 - 2,5 cm) são substancialmente superiores àquelas abaixo da interface, o que leva a um decréscimo acentuado na concentração dos biomarcadores. Este mesmo comportamento foi observado também para sedimentos oceânicos (Madureira *et al.*, 1995). No entanto, seria de se esperar neste trabalho, uma diminuição contínua da quantidade desses compostos com o aumento da profundidade, mas isto não aconteceu. Após os primeiros 10 - 20 cm de profundidade, a quantidade de oxigênio dissolvido diminuiu devido à redução do volume de água intersticial, levando a uma redução na atividade microbiana. O aumento súbito das concentrações dos ácidos graxos abaixo da interface, como observado em T1, é mais difícil de ser explicado. É possível que este aumento ocorra devido à bioturbação por parte de organismos bentônicos. No caso do testemunho T2 ocorreu um aumento após os 50 cm de profundidade. O incremento foi devido principalmente aos ácidos terrestres. Este comportamento também foi observado para a razão C/N e para o RTA determinados neste testemunho (Fig. 2d e 2i).

Os valores das concentrações dos ácidos graxos em T1 são muito maiores do que os determinados em T2 (Fig. 2g e 2h). Nos primeiros 15 cm a concentração média em T1 foi de 5600  $\mu\text{g/g}$  de sedimento seco, enquanto em T2 o valor médio atingiu 620  $\mu\text{g/g}$  de sedimento seco. Isto talvez se deva ao fato do testemunho T1 ter sido coletado em uma região da lagoa mais próxima às cachoeiras, levando a um maior aporte de matéria orgânica. Outro fato importante é que, de um modo geral, a

média dos tamanhos dos grãos em T1 foi menor do que em T2, que foi coletado mais próximo à região arenosa da lagoa. O tamanho dos grãos afeta a distribuição da matéria orgânica, sendo que os menores grãos, em geral, são acompanhados de uma maior quantidade de material orgânico (Hebbeln & Berner, 1993; Jeng & Chen, 1995).



**Figura 2:** No topo estão as porcentagens de carbono orgânico (a), nitrogênio (b), hidrogênio (c), razão C/N (d) e razão H/C (e) determinados no testemunho T2. Abaixo encontram-se o teor de água intersticial nos sedimentos dos dois testemunhos, T1 e T2 (f), as variações das concentrações totais (µg/g de sedimento seco) dos biomarcadores (g e h) e a Razão Terrestre / Aquático (concentrações dos ácidos C<sub>24</sub> + C<sub>26</sub> + C<sub>28</sub>) / (concentrações dos ácidos C<sub>15</sub> + C<sub>17</sub> + C<sub>19</sub>) para os dois testemunhos, T1 e T2 (i).

Postula-se que, apesar da grande variação nas concentrações dos biomarcadores, os índices calculados com base na distribuição dos ácidos carboxílicos não são diferentes o suficiente para indicar mudanças na origem da matéria orgânica sedimentada, pois através dos valores de RTA dos ácidos livres e C/N do testemunho T2, pode-se notar a predominância da matéria orgânica aquática nos sedimentos até 45 cm de profundidade, em que C/N ≤ 10 e RTA < 1 (Fig. 2d e 2i). Somente abaixo de 50 cm foi que a razão C/N tornou-se maior do que 10 e menor do que 20, e RTA > 1. Este resultado sugere que a matéria orgânica seja de origem tanto aquática quanto terrestre. Os valores de RTA dos ácidos para o testemunho T1 também são menores do que um para todos os intervalos até 55 cm de profundidade, indicando que os compostos orgânicos têm origem predominantemente aquática.

Com base no testemunho T2, pode-se dizer que a matéria orgânica sedimentar da lagoa foi, no passado, mais rica em compostos de origem terrestre, devido ao aumento dos valores de RTA decorrente do aumento nas concentrações dos ácidos terrestres.

Para se calcular o Índice Preferencial de Carbono (IPC) dos ácidos carboxílicos, usou-se o fragmentograma de massas m/z 74. Este índice também confirma a presença de material terrestre, pois os valores de IPC são maiores do que 2. Além disso, como os valores calculados para os três pontos do testemunho T2 e para os dois pontos no testemunho T1 são próximos (entre 5,0 e 5,8), pode-se concluir que, apesar de existirem variações nas concentrações dos ácidos carboxílicos de cadeias longas (mais de 20 átomos de carbono) entre os dois pontos amostrados, a distribuição entre eles permanece praticamente invariável.

### **Comparação com a biodegradação de feopigmentos e proteínas**

Para avaliar a reatividade dos biomarcadores em relação a outros grupos de compostos orgânicos, foram escolhidos os feopigmentos e as proteínas solúveis, também analisados nos mesmos perfis sedimentares da lagoa do Peri (Rodrigues Neto, 1998). Esta avaliação foi feita através da comparação das concentrações dos três grupos nos intervalos 15 - 20, 35 - 40 e 65 - 70 cm com as concentrações determinadas na superfície (0 - 3 cm). A Tab.I mostra o percentual dos compostos nestas

**Tabela 1:** Percentuais das concentrações de feopigmentos, proteínas solúveis e biomarcadores nos intervalos das profundidades de 15 - 20, 35 - 40 e 65 - 70 cm em relação à superfície (0 - 3 cm) para os dois testemunhos analisados (T1 e T2).

| Intervalos de<br>Profundidade (cm) | Feopigmentos |        | Proteínas solúveis |        | Biomarcadores |        |
|------------------------------------|--------------|--------|--------------------|--------|---------------|--------|
|                                    | T1 (%)       | T2 (%) | T1 (%)             | T2 (%) | T1 (%)        | T2 (%) |
| 15 - 20                            | 57           | 62     | 80                 | 100    | 13            | 50     |
| 35 - 40                            | 11           | 8      | 46                 | 31     | 4             | 37     |
| 65 - 70                            | -            | 6      | -                  | 12     | -             | 36     |

profundidades em relação àquelas da superfície. No intervalo 15 - 20 cm observa-se que, em geral, os valores mais baixos de concentração em relação à superfície são dos biomarcadores (maior reatividade), seguido dos feopigmentos e proteínas solúveis. Esta ordem se altera quando observamos os resultados a 35 - 40 cm, que se torna: feopigmentos, biomarcadores e proteínas solúveis. Já para 65 - 70 cm, a ordem de degradação torna-se: feopigmentos > proteínas solúveis > biomarcadores. Colombo *et al.* (1996) também notaram que a ordem de reatividade de cada grupo se altera com a profundidade. Para os três grupos discutidos neste trabalho, eles apresentaram a seguinte ordem de reatividade na superfície: feopigmentos > biomarcadores > proteínas solúveis; enquanto que para sedimentos mais profundos, a ordem de reatividade concorda com a encontrada na lagoa do Peri, a 70 cm. Ainda, segundo os mesmos autores, essas mudanças indicam que os biomarcadores são importantes substratos perto da interface sedimento - água, enquanto que os outros dois grupos químicos constituem a principal fonte de energia em camadas de sedimentos mais profundas. Podemos inferir ainda que a degradação dessas classes químicas dependem do tipo de diagênese que ocorre em cada camada de sedimento. Na superfície, pode-se dizer que há uma quantidade maior de microorganismos e oxigênio dissolvido, favorecendo a degradação biológica e química (oxidação), enquanto que para camadas mais profundas, as condições físicas se alteram reduzindo o volume de água intersticial e, conseqüentemente, o teor de oxigênio dissolvido e a atividade microbiana.

## Outros biomarcadores

Os hidrocarbonetos considerados de cadeias longas e com número de átomos de carbono ímpar ( $C_{27}$ ,  $C_{29}$  e  $C_{31}$ ) são frequentemente usados como indicadores de aporte terrestre, pois são encontrados com grande abundância em folhas de plantas (Volkman *et al.*, 1980). Esses compostos também foram identificados nos dois testemunhos analisados, porém sempre em menores quantidades do que os ácidos de cadeias longas.

De forma análoga ao que foi observado por Cranwell *et al.* (1987), os ácidos iso e ante-iso pentadecanóico, constituintes de paredes celulares, e que são biomarcadores de bactérias, foram encontrados em maior abundância próximo à interface sedimento - água (até 10 cm) na lagoa do Peri.

Os hidroxiácidos estão presentes em uma grande variedade de microrganismos, tais como: bactérias, fungos e cianobactérias, mas a posição do grupo hidroxila pode indicar com mais precisão a origem desses compostos (Matsumoto *et al.*, 1988). No presente trabalho foram identificados cinco hidroxiácidos:  $\beta$ -hidroxipentadecanóico, 15-hidropentadecanóico, hidroxicosanóico, hidroxihexacosanóico e hidroxihexacosenóico. Os  $\beta$ -hidroxiácidos ainda são de origem desconhecida. Acredita-se, porém, que eles não sejam produzidos pela  $\beta$ -oxidação dos ácidos carboxílicos correspondentes (Cranwell, 1981).

Um dos hidroxiácidos quantificados por Matsumoto *et al.* (1988) em amostras de sedimentos de lagos da Antártica, e que também está presente nos sedimentos da lagoa do Peri, é o hidroxiácido  $C_{26}$ . Naqueles sedimentos, esse ácido foi predominante em quase todas as amostras analisadas, com concentrações entre 0,015 e 8,3  $\mu\text{g/g}$ , concordando com o que fora observado no testemunho T2. Esses autores também estudaram extratos de cianobactérias, que habitam alguns dos sedimentos óxidos daqueles lagos, e notaram que o hidroxiácido  $C_{26}$  também predominou, atingindo proporções de 50% dos hidroxiácidos totais analisados. Portanto, este ácido pode ser um bom indicador da presença de cianobactérias nos sedimentos da lagoa do Peri. Em nosso trabalho, também foi encontrado um hidroxiácido com o mesmo número de átomos de carbono, na profundidade de 3-6 cm, contendo, porém, duas insaturações. Tal composto não fora citado por aqueles autores.

Quatro ácidos dicarboxílicos foram identificados no testemunho T2. Eles contêm 9, 11, 16 e 18 átomos de carbono na cadeia principal. A origem desses ácidos é geralmente atribuída às plantas superiores, mais especificamente às camadas que protegem os tecidos das plantas, como a cutina e a suberina (Killops & Killops, 1993).

Baseado em trabalhos encontrados na literatura, outros compostos foram tentativamente identificados como hidroxiácidos e ácidos dicarboxílicos. Nos dois testemunhos foram detectados também alguns triterpanos do grupo dos hopanos, identificados através dos fragmentos característicos  $m/z$  149, 191 e 263. Tais compostos são considerados como biomarcadores de bactérias (Cranwell *et al.*, 1987).

## Conclusões

Com base nos índices calculados neste trabalho (RTA e C/N), pode-se inferir que a matéria orgânica sedimentada na lagoa do Peri seja considerada de origem predominantemente autóctone até 50 cm de profundidade, sendo que, a partir deste ponto, ocorre também uma forte influência do material de origem terrestre. Além disso, através de razões C/N, conclui-se que os sedimentos da lagoa, nos pontos analisados, podem ser caracterizados como do tipo copropel, e como seu teor de matéria orgânica é maior do que 10 %, este é classificado como orgânico. Outra razão, H/C, indica que os compostos presentes nos sedimentos da lagoa do Peri contêm um alto teor de núcleos aromáticos e de moléculas poliinsaturadas. Essas moléculas devem ser em sua maior parte ácidos húmicos e fúlvicos, já que os biomarcadores identificados quase não possuem insaturações.

Como em vários outros ambientes citados na literatura, os sedimentos da lagoa do Peri apresentaram predominância de ácidos carboxílicos com número de átomos de carbono pares e distribuição bimodal, com dois máximos nas faixas entre  $C_{14}$  -  $C_{18}$ , e  $C_{24}$  -  $C_{28}$ . Em relação aos ácidos graxos de cadeias longas, pode-se concluir que apesar de ocorrerem alterações nas concentrações com a profundidade, não houve nenhuma mudança significativa na distribuição entre eles. Já as irregularidades nas concentrações dos biomarcadores e no grau e ordem de degradação dos outros grupos de compostos orgânicos com a profundidade, podem ser devido às condições do ambiente na época em que eles foram depositados. Outro ponto importante é a diferença de concentração dos lipídios que existe entre os dois perfis, que talvez esteja associado ao tamanho dos grãos dos pontos amostrados.

Vários compostos orgânicos indicadores de bactérias foram encontrados nos sedimentos da lagoa do Peri, e uma maior concentração dos ácidos iso e anteiso no intervalo 9 - 12 cm, justamente onde há uma maior quantidade dos ácidos de cadeia menor que 18 átomos de carbono. Além disso, a presença do hidroxíácido  $C_{26}$  e dos  $\beta$ -hidroxíácidos indicam a presença de cianobactérias.

Os compostos orgânicos derivados de plantas superiores também estão presentes nos sedimentos analisados, indicando que, mesmo em pouca quantidade, em todo testemunho há contribuição de matéria orgânica de origem alóctone.

Não há indícios de poluição por combustível fóssil ou rejeitos urbanos, pois não foram detectados os compostos orgânicos característicos dessas fontes como os hidrocarbonetos saturados, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e alguns tipos característicos de esteróis.

---

## Agradecimentos

Aos soldados do Grupo de Busca e Salvamento de Florianópolis pela ajuda nas coletas dos sedimentos na lagoa do Peri. Ao professor Eduardo S. Sierra e equipe, do NEMAR, pelas informações sobre o ecossistema da lagoa do Peri. Aos técnicos da Central de Análises do Departamento de Química da UFSC pelas análises de C, N e H. Ao CNPq e CAPES.

---

## Referências citadas

- Albuquerque, A.L.S. & Mozeto, A.A. 1997. C:N:P ratios and stable carbon isotope compositions as indicators of organic matter sources in a riverine wetland system (Mogi-Guaçu River, São Paulo, Brazil). *Wetlands*, 17:1-9.
- Bourbonniere, R. & Meyers, P. A. 1996. Sedimentary geolipid records of historical changes in the watersheds and productivities of Lake Ontario and Erie. *Limnol. Oceanogr.*, 41:352-359.
- Bresciani, L.F.V. 1998. Avaliação da composição orgânica dos sedimentos de fundo da lagoa da Conceição, ilha de Santa Catarina, SC. Florianópolis, UFSC, 110p (Dissertação).
- Canuel, E.A. & Martens, C.S. 1993. Seasonal variations in the sources and alteration of organic matter associated with recently-deposited sediments. *Org. Geochem.*, 20:563-577.
- Canuel, E.A. & Martens, C.S. 1996. Reactivity of recently deposited organic matter: degradation of lipid compounds near the sediment-water interface. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 60:1793-1806.
- Cole, G.A. 1979. *Textbook of Limnology*. 2.ed. Mosby, St. Louis. 426p.
- Colombo, J.C., Silverberg, N. & Gearing, J.N. 1996. Biogeochemistry of organic matter

- in the Laurentian Trough, II. Bulk composition of the sediments and relative reactivity of major components during early diagenesis. *Mar. Chem.*, 51:295-314.
- Conte, M.H., Eglinton, G. & Madureira, L.A.S. 1992. Long-chain alkenone and alkyl alkenoates as paleotemperature indicators: their production, flux and early sedimentary diagenesis in the Eastern North Atlantic. *Org. Geochem.*, 19: 287-298.
- Conte, M.H., Madureira, L.A.S., Eglinton, G., Kenn, D. & Rendall, C. 1994. Millimeter-scale profiling of abyssal marine sediments: role of bioturbation in early sterol diagenesis. *Org. Geochem.*, 22:979-990.
- Conte, M.H., Eglinton, G. & Madureira, L.A.S. 1995. Origin and fate of biomarker compounds in the water column and sediments of the eastern North Atlantic. *Philos. Trans. Biol. Sci.*, 348:169-178.
- Cranwell, P.A. 1981. The stereochemistry of 2- and 3-hydroxy fatty acids in a recent lacustrine sediment. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 45:547-552.
- Cranwell, P.A., Eglinton, G. & Robinson, N. 1987. Lipids of aquatic organisms as potential contributors to lacustrine sediments - II. *Org. Geochem.*, 11:513-527.
- Dos Santos, G.F., Silva, J.T.N., Mendonça, M. & Veadó, R.W.V. 1989. Análise ambiental da Lagoa do Peri. *Geosul*, 8:101-123.
- Eglinton, G. & Hunneman, D.H. 1968. Gas chromatographic-mass spectrometric studies of long chain hydroxy acids - III. *Org. Mass Spectrom.*, 1:593-611.
- Esteves, F.A. 1988. Fundamentos de Limnologia. Interciência - FINEP, Rio de Janeiro. 545p.
- Farrington, J.W. & Tripp, B.W. 1977. Hydrocarbons in western North Atlantic surface sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 41:1627-1641.
- Fernandes, M.B., Sicre, M.A., Cardoso, J.N. & Macedo, S. J. 1999. Sedimentary 4-desmethyl sterols and n-alkanols in an eutrophic urban estuary, Capibaribe River, Brazil. *Sci. Total Environ.*, 231:1-16.
- Fritzen, M.B. & Madureira, L.A.S. 1999. Avaliação dos geolípídios presentes nos sedimentos da lagoa do Ribeirão, município de Paulo Lopes, SC. In: Congresso Brasileiro de Limnologia, 9, Florianópolis, 1999. Resumos...Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, p.31.
- Fukushima, K., Mochizuki, M., Hayashi, H., Ishikawa, R., Uemura, H., Ogura, K. & Tanaka, A. 1996. A long-chain anteiso compound series found in acidified freshwater lake sediments in Japan: lake Tazawa-ko. *Geochem. J.*, 30:111-130.
- Hebbeln, D. & Berner, H. 1993. Surface sediment distribution in the Fram Strait. *Deep-Sea Res.*, 40:1731-1745.
- Henrichs, S.M. 1992. Early diagenesis of organic matter in marine sediments: progress and perplexity. *Mar. Chem.*, 39:119-149.
- Jeng, W.L. & Chen, M.P. 1995. Grain size effect on bound lipids in sediments off northeastern Taiwan. *Org. Geochem.*, 23:301-310.
- Kawamura, K., Ishiwatari, R. & Ogura, K. 1987. Early diagenesis of organic matter in the water column and sediments; microbial degradation and resynthesis of lipids in Lake Haruna. *Org. Geochem.*, 11:251-64.
- Kevenvolden, K.A. 1966. Molecular distributions of normal fatty acids and paraffins in some lower cretaceous sediments. *Nature*, 209:573-577.
- Killops, S.D. & Killops, V.J. 1993. An introduction to organic geochemistry. Longman Scientific & Technical, New York.
- Lapoli, E.M., Moreira, J.C., Zardo, S.M. & Vieira, V.F. 1983. Carta dos Elementos do Meio Ambiente Parque da Lagoa do Peri. Florianópolis.
- Laureillard, J. & Saliot, A. 1993. Biomarkers in organic matter produced in estuaries: a case study of the Krka estuary (Adriatic Sea) using the sterol marker series. *Mar. Chem.*, 43:247-261.
- Madureira, L.A.S., Conte, M.H. & Eglinton, G. 1995. Early diagenesis of lipid biomarker compounds in North Atlantic sediments. *Paleoceanography*, 10:627-642.
- Madureira, L.A.S. & Piccinini, A. 1999. Lipids as indicators of paleoclimatic changes, II: terrestrial biomarkers. *Rev. Bras.Oceanogr.*, 47:1-11.

- Matsuda, H. & Koyama, T. 1977. Early diagenesis of fatty acids in lacustrine sediments - I. Identification and distribution of fatty acids in recent sediment from a freshwater lake. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 41:777-783.
- Matsumoto, G.I., Watanuki, K. & Torii, T. 1988. Hydroxy acids in Antarctic lake sediments and their geochemical significance. *Org. Geochem.*, 13:785-790.
- McCaffrey, M.A., Farrington, J.W. & Repeta, D.J. 1991. The organic geochemistry of Peru margin surface sediments, II, Paleoenvironmental implications of hydrocarbon and alcohol profiles. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 55:483-498.
- Meyers, P.A. & Ishiwatari, R. 1993. Lacustrine organic geochemistry - an overview of indicators of organic matter sources and diagenesis in lake sediments. *Org. Geochem.*, 20:867-900.
- Mosimann, R.M.S. 1983. Levantamento das bacillariophyceae (diatomáceas) da lagoa do Peri, ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. *Bol. Horto Bot. Insula*, 13:1-28.
- NEMAR, 1999. Diagnóstico ambiental e programa de monitoramento da lagoa do Peri, ilha de Santa Catarina, SC. In: Soriano-Sierra, E. (ed.) Núcleo de Estudos do Mar-UFSC, Florianópolis. 265p.
- Rieley, G., Coller, R.J., Jones, D.M. & Eglinton, G. 1991. The biogeochemistry of Ellesmere Lake, UK, I. Source correlation of leaf wax inputs to the sedimentary lipid record. *Org. Geochem.*, 17:901-912.
- Rodrigues Neto, R. 1998. Determinação de feopigmentos, proteínas solúveis e lipídios em sedimentos da lagoa do Peri, ilha de Santa Catarina, SC. Florianópolis, UFSC, 79p (Dissertação).
- Sanders, G., Jones, K.C. & Hamilton-Taylor, J. 1993. Concentrations and deposition fluxes of PAH and heavy metals in the dated sediments of a Rural English Lake. *Environ. Toxicol. Chem.*, 12:1567-1581.
- Scheibe, L.F. & Teixeira, V.H. 1970. Mapa Geológico da Ilha de Santa Catarina. Fundação Estadual do Meio Ambiente, Florianópolis.
- Self, R.F.L. & Jumars, P.A. 1988. Cross-phyletic patterns of particle selection by deposit feeders. *J. Mar. Res.*, 46:119-143.
- Sicre, M.A., Tian, R.C., Broyelle, I. & Sallot, A. 1993. Aquatic distribution of 4-desmethyl sterols in the Chang Jiang Estuary, China. *Mar. Chem.*, 42:11-24.
- Sicre, M.A., Tian, R.C. & Sallot, A. 1994. Distribution of sterols in the suspended particles of the Chang Jiang Estuary and adjacent East China Sea. *Org. Geochem.*, 21:1-10.
- Souza-Sierra, M., Giovanela, M. & Vieira, S.M. 1998. Composição elementar e propriedades espectroscópicas de compostos húmicos do manguezal de Itacorubi, ilha de Santa Catarina. In: Soriano-Sierra, E. & Ledo, B.S. (ed.) Ecologia e gerenciamento do manguezal de Itacorubi. UFSC. Florianópolis. 408p.
- Tissot, B.P. & Welte, D.H. 1984. Petroleum formation and occurrence. 2.ed. Springer-Verlag. 699p.
- Van Vleet, E.S. & Quinn, J.G. 1979. Diagenesis of marine lipids in ocean sediments. *Deep-Sea Res.*, 26: 1225- 1236.
- Venkatesan, M.I. & Kaplan, I.R. 1990. Sedimentary coprostanol as an index of sewage addition in Santa Monica Basin, Southern California. *Environ. Sci. Technol.*, 24:208-214.
- Volkman, J.K., Johns, R.B., Gillan, F.T. & Perry, G.J. 1980. Microbial lipids of an intertidal sediment - I. Fatty acids and hydrocarbons. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 44:1113-1143.
- Volkman, J.K. 1986. A review of sterol markers for marine and terrigenous organic matter. *Org. Geochem.*, 9:83-99.
- Volkman, J.K., Farrington, J.W. & Gagosian R.B. 1987. Marine and terrigenous lipids in coastal sediments from the Peru upwelling region at 15°S: Sterols and triterpene alcohols. *Org. Geochem.*, 11:463-477.
- Volkman, J.K., Jeffrey, S.W., Nichols, P.D., Rogers, G.I. & Garland, C.D. 1989. Fatty acid and lipid composition of ten species of microalgae used in mariculture. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 128:219-240.