

DEPOSIÇÃO DE CARBONO ORGÂNICO NA PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO DO RIO PARAGUAI DURANTE O HOLOCENO MÉDIO

Maria Angélica de Oliveira Bezerra^{1} & Antonio Aparecido Mozeto²*

¹Laboratório de Ecologia, Depto. de Ciências do Ambiente, Campus do Pantanal, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). Av. Rio Branco, 1270. CEP: 79304-020, Caixa Postal: 252. Corumbá, Mato Grosso do Sul, Brasil.

²Laboratório de Biogeoquímica Ambiental, Depto. de Química, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Av. Washington Luís, km 235. CEP: 13565-705, Caixa Postal: 676. São Carlos, São Paulo, Brasil.

*E-mail: maob@ceuc.ufms.br

RESUMO

A deposição de carbono, durante o Holoceno, na planície de inundação do rio Paraguai foi analisada em testemunhos obtidos das lagoas Negra e Castelo. Essas lagoas localizam-se na borda Oeste do Pantanal de Mato Grosso do Sul e registram, em seus sedimentos, a história ambiental do Pantanal desde o Pleistoceno Tardio. Testemunhos de sedimentos foram coletados nessas lagoas, sendo dois coletados por vibro-testemunhador (testemunhos longos) e dois por testemunhador de gravidade (testemunhos curtos). As idades dos sedimentos foram obtidas por análise de ¹⁴C (sedimentos holocênicos) e ²¹⁰Pb em sedimentos depositados nos últimos 100 anos. Análises de matéria orgânica (perda por queima a 550°C) e carbono orgânico (CHN Carlo Erba) evidenciam maior deposição de carbono orgânico no Holoceno Médio (6500 anos cal. A.P.) nos dois testemunhos analisados. No testemunho LN95/L1 (lagoa Negra) inicia a sedimentação lacustre em 11500 anos cal. A.P. após um período com forte influência do rio Paraguai. No testemunho LC95/L1 (lagoa Castelo) a análise do perfil sedimentar evidencia que a lagoa se mantém ligada diretamente ao rio até o presente. Uma transição abrupta de sedimentos arenosos e inorgânicos para sedimentos orgânicos na lagoa Castelo (início da sedimentação lacustre) ocorre em 6500 anos cal. A.P. Essas informações somadas às inversões de idade observadas nesse período sugerem que a deposição de matéria orgânica foi precedida por uma fase de maior hidrodinâmica por retorno da umidade. Esse sinal não é observado na lagoa Negra, reforçando a hipótese de construção dos diques marginais em período anterior. A lagoa Negra não secou totalmente, pelo menos por muito tempo, preservando matéria orgânica entre o início do Holoceno e Holoceno Médio.

Palavras-chave: carbono orgânico, matéria orgânica, sedimentos lacustres, Holoceno Médio, Pantanal.

ABSTRACT

ORGANIC CARBON DEPOSITION IN THE PARAGUAY RIVER FLOODPLAIN DURING THE MID-HOLOCENE. The deposition of organic carbon during the Holocene in the wetlands of Pantanal was analyzed through sediment cores obtained from the lakes Negra and Castelo, located on the west border of Pantanal, Mato Grosso do Sul state, Brazil. The sediments in these lakes hold information about the environmental history of Pantanal since the Late Pleistocene. The cores were collected with a vibro-coring device (two long cores) and with a gravity-coring device (two short cores). The sediments were dated either by ¹⁴C analysis (holocenic sediments) or ²¹⁰Pb analysis (sediments of the last 100 years). Loss-on-ignition analysis of organic matter and CHN Carlo Erba analysis of organic carbon suggested a greater deposition of organic carbon during mid-Holocene (6500 cal years B.P.) in all samples. According to the core from Negra lake, the sedimentation started at about 11500 cal years B.P., under strong influence of the Paraguay river. The sediment analysis of the core from Castelo Lake indicates that the lake remains linked to Paraguay river to the present days. An abrupt transition from sandy inorganic sediments to organic sediments (initiation of lacustrine sedimentation) in Castelo lake took place about 6500 cal years B.P. These facts, in addition to age inversions observed within this period, suggest that the deposition organic matter was preceded by an erosive period caused by an increment in humidity. This was not observed with Negra lake, reinforcing the hypothesis that marginal levees were constructed in an earlier period. The Negra lake has not dried up completely for a long time, thus preserving organic matter deposits of early to mid-Holocene.

Keywords: organic carbon, organic matter, lake sediments, mid-Holocene, Pantanal.

INTRODUÇÃO

O metabolismo da matéria orgânica em ecossistemas aquáticos dá lugar a um complexo ciclo do carbono que determina tanto as estruturas como o funcionamento dos ecossistemas aquáticos. A matéria orgânica entra nesses sistemas na forma de carbono orgânico dissolvido (COD) e particulado (COP) detrital e é originada da complexa mistura de lipídios, carboidratos, proteínas, e outros compostos produzidos por organismos que têm vivido nos lagos e em sua bacia de drenagem (Meyers & Lallier-Vergès 1999). A transformação bioquímica da matéria orgânica induzida pelo metabolismo microbiano é fundamental para a dinâmica dos ciclos de nutrientes e do fluxo de energia dos ecossistemas aquáticos (Wetzel 1980).

Durante o processo de deposição no fundo dos lagos, a matéria orgânica é retrabalhada por atividades microbianas e como resultado ocorre alteração na composição molecular original e perda da matéria orgânica (Meyers & Lallier-Vergès 1999). Durante o processo de sedimentação e incorporação nos sedimentos lacustres, as perdas de matéria orgânica podem ser expressivas (Meyers & Eadie 1993). Eadie *et al.* (1984) estimaram que 96% do carbono orgânico produzido na zona fótica do lago Michigan é reciclado antes de ser depositado no fundo do lago. O grau de degradação é determinado por uma série de condições físicas (morfometria, modelos de estratificação e temperatura) e químicas, na relação com a quantidade de entrada autóctones e alóctones de matéria orgânica (Wetzel 1980). O material orgânico não decomposto na coluna de água é incorporado aos sedimentos, onde pode ser preservado ou sujeito a degradação biológica (Håkanson & Jansson 1983).

As áreas de inundação podem acumular grande quantidade de matéria orgânica como resultado de alta produtividade primária associada a baixas taxas de decomposição e exportação. As características hidrológicas são importantes para a produtividade porque a água é o principal meio de transporte dos nutrientes para muitas áreas de inundação. Por outro lado, uma quantidade de carbono orgânico é removida do ecossistema por transporte pela água (Mitsch & Gosselink 1986). A acumulação de carbono orgânico é frequentemente maior em áreas de inundação fechadas que nas planícies de inundação de rios em razão da reduzida decomposição e exportação durante a inun-

dação (Brinson *et al.* 1981). As áreas de inundação hidrologicamente isoladas têm pouca exportação de matéria orgânica. Brinson *et al.* (1981) sugerem que alternâncias entre umidade e secura podem conduzir a elevada taxa de decomposição, enquanto condições anaeróbias, por causa da inundação constante, são as condições menos favoráveis para a decomposição.

O conteúdo de matéria orgânica de sedimentos lacustres fornece informações importantes para interpretar paleoambientes lacustres, histórias das mudanças climáticas e os efeitos do homem em ecossistemas locais e regionais (Meyers & Lallier-Vergès 1999). As variações nas taxas de acumulação de carbono, em sedimentos holocênicos de cinco lagos na região amazônica, foram interpretados como relacionadas a variações no nível de água e no clima regional (Turcq *et al.* 2002). Os autores observaram redução na acumulação de carbono durante o clima seco do início do Holoceno ao Holoceno Médio, e altas taxas de acumulação durante o clima mais úmido no Holoceno Tardio. Morozova & Smith (2003) analisaram o efeito das avulsões na deposição de sedimentos ricos em matéria orgânica na planície de inundação do rio Saskatchewan, e concluíram que o conteúdo de carbono total é inversamente relacionado ao tamanho dos grãos e à taxa de sedimentação, sugerindo que diluição por sedimentos clásticos é o maior fator que controla a quantidade de matéria orgânica nos sedimentos.

Este trabalho discute a sedimentação de matéria orgânica em testemunhos lacustres coletados em lagoas da planície de inundação do rio Paraguai. As interpretações paleoambientais foram baseadas na (a) granulometria (fração > 63µm), (b) concentração de matéria orgânica (%), (c) concentração de carbono orgânico total (COT) (%), e (d) taxa de acumulação utilizando as idades (¹⁴C e ²¹⁰Pb) e densidade dos sedimentos.

ÁREAS DE ESTUDO

O regime hidrológico do rio Paraguai é muito complexo, assim como a gênese de suas vazões, e está condicionado pelas variações na distribuição das chuvas, pela geologia, pelo pequeno gradiente de declividade e influenciado em alguns locais pelas ações antrópicas. O rio Paraguai possui declividade baixa, sempre inferior a 5cm/km, sendo nitidamente menor a montante de Porto Murtinho (Cadavid García 1981, Godoi Filho 1986). Nas enchentes, o rio Para-

guai joga água para as áreas de inundação e para as lagoas marginais, as quais funcionam como um sistema de passagem retardada de sedimentos, nutrientes e, fundamentalmente, água. Essas substâncias são retidas temporariamente no sistema, até retornarem para o rio por ocasião das recessões das cheias, funcionando como reservatórios reguladores na descarga do rio (Adámoli 1986, Carvalho 1986). As principais áreas que atuam como fontes de água e sedimento para o Pantanal são a Província Serrana, ao Norte; os planaltos residuais da Bodoquena, ao Sul; os planaltos de Taquari-Itiquira e Maraju-Campo Grande, a Leste, e do Urucum - Amolar, a Oeste (Cunha 1998).

O presente estudo foi desenvolvido nas lagoas Negra e Castelo, as quais pertencem a um complexo sistema de planície de inundação formado pelo transbordamento lateral do rio Paraguai, localizadas nos municípios de Corumbá e Ladário, região Sudoeste do estado de Mato Grosso do Sul, na bacia do Alto Paraguai, Pantanal Mato-grossense (Figura 1). As principais características dessas lagoas estão apresentadas na Tabela I. As lagoas localizam-se numa região de baixa declividade, com cotas em torno de 85m acima do nível do mar e circundada por planalto residual cuja altitude pode ultrapassar os mil metros. As lagoas estudadas estão entre as grandes lagoas localizadas

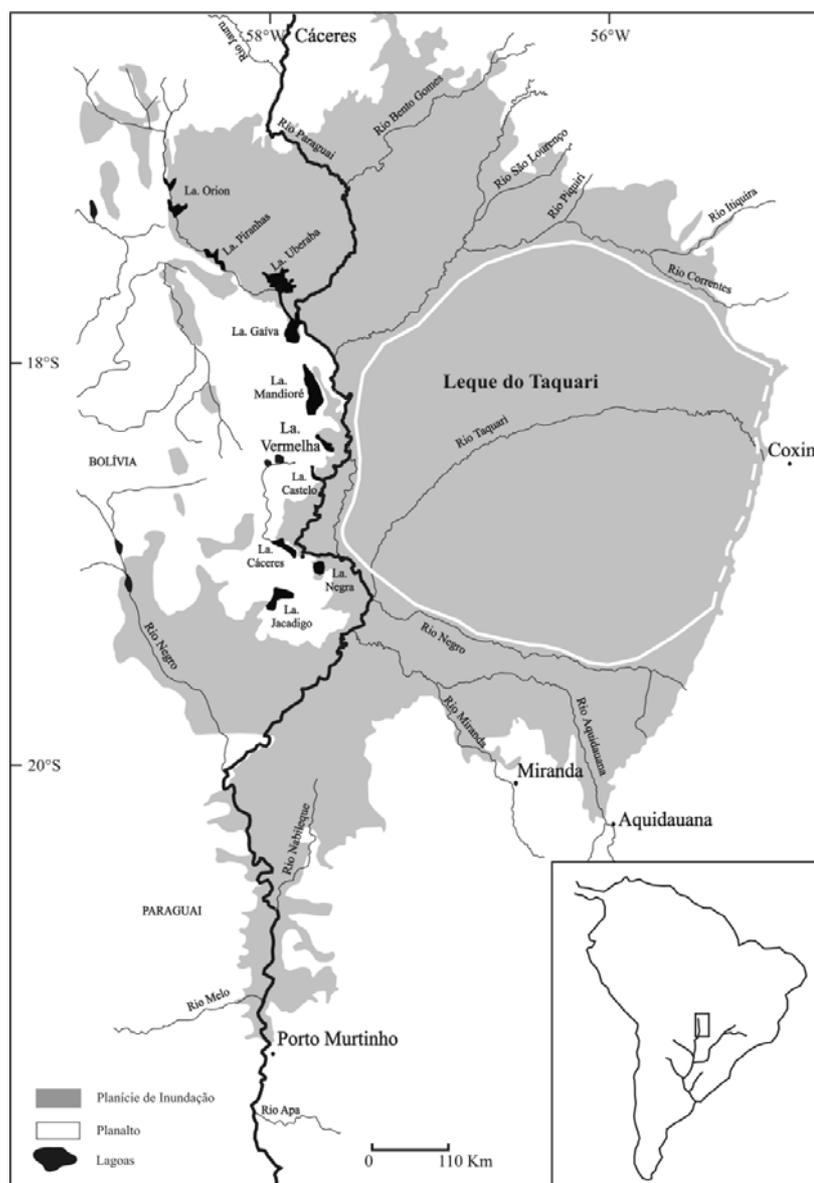


Figura 1. Localização do Pantanal e as grandes lagoas da borda Oeste, incluindo as lagoas Negra e Castelo. A linha branca evidencia o leque do Taquari, que ocupa 36% da área do Pantanal.

Figure 1. Geographical location of Pantanal and of the great lakes of the west border, including lakes Negra and Castelo. The white line delineates the alluvial fan of Taquari river, which covers 36% of the Pantanal basin.

Tabela I. Principais características das lagoas Negra e Castelo. O perímetro dessas lagoas é muito variável em função da intensidade da inundação.
 Table I. Main characteristics of lakes Negra and Castelo. The perimeter of these lakes varies according with the amount of flooding.

Características / Lagoas	Negra	Castelo
Localização geográfica	19°04'S, 57°31'W	18°32'S, 57°34'W
Área da lagoa (km ²) ^a	10,8	20,1
Comprimento máximo (km) ^a	4,1	14,8
Largura máxima (km) ^a	3,5	5,3
Profundidade máxima da água (m) ^a	2,3	7,3
pH	6,9 - 8,3 ^b	6,2 - 6,9 ^c
Condutividade elétrica (µS/cm, 25°C)	140 - 240 ^b	47 - 87 ^c

^aAs medidas foram tomadas em dezembro de 1995 (período de águas baixas), ^bBezerra (não publicado), ^cCalheiros & Hamilton (1998).

^aAll measures were taken in December 1995 (dry period), ^b(Bezerra, unpublished results) ^cCalheiros & Hamilton (1998).

na borda Oeste do Pantanal, na planície fluvial do rio Paraguai. São influenciadas diretamente pelo deságüe do leque aluvial do rio Taquari e, portanto, os sedimentos nelas depositados representam importantes registros da história holocênica do Pantanal (Figura 2). Segundo Assine (2005), a altitude do megaleque do Taquari varia de 190m na porção superior do leque a 85m na porção inferior, resultando em um baixo gradiente de 36cm/km. Por estarem localizadas nas áreas mais baixas do Pantanal, essas lagoas e as planícies de inundação em seu entorno são mantidas mais tempo alagadas, diferentemente das lagoas da Nhecolândia que, por estarem localizadas em uma porção mais alta da planície, secam em períodos de pouca chuva. O Taquari é um rio mutante e se caracteriza por freqüentes mudanças em seu curso (Assine & Soares 2004, Assine 2005). O Pantanal como vemos hoje representa a história das flutuações do clima pleistocênico e do Pleistoceno Tardio com flutuações climáticas variando entre árido ou semi-árido, quando rios torrenciais depositaram grandes leques aluviais arenosos (Valverde 1972, Tricart 1974, Braun 1977, Tricart 1982, Klammer 1982, Ab'Sáber 1988). Como resultado, o Pantanal consiste basicamente em leques aluviais de seus principais rios, em que o leque do Taquari é o mais importante e provavelmente o maior deste tipo no mundo, com superfície de 50.000km² (Braun 1977, Klammer 1982).

MATERIAL E MÉTODOS

COLETA DOS TESTEMUNHOS E AMOSTRAGEM

Os testemunhos LN95/L1 (lagoa Negra; 272cm) e LC95/L1 (lagoa Castelo; 350cm) foram coletados em dezembro de 1995 com vibro-testemunhador montado

sobre plataforma flutuante proposto por Martin *et al.* (1995). Com o objetivo de entender os processos de sedimentação nos últimos 100 anos foram coletados, no mesmo período e ambiente deposicional, os testemunhos LN95/C1 (lagoa Negra; 18cm) e LC95/C1 (lagoa Castelo; 25cm). Os testemunhos foram coletados utilizando-se tubos de acrílico de 50cm de comprimento e diâmetro de 7,5cm adaptados a testemunhador de gravidade proposto por Ambühl & Bühner (1975) e modificado por Esteves & Camargo (1982). Este procedimento de amostragem permitiu a coleta da coluna de sedimentos incluindo a interface sedimento-água. Em cada local de amostragem foram coletados quatro testemunhos, seccionados a cada centímetro e cujas camadas correspondentes foram homogeneizadas, obtendo-se massa suficiente para as análises. Depois da coleta os testemunhos longos (LN95/L1 e LC95/L1) foram transportados ao laboratório para serem descritos e amostrados integralmente a cada centímetro e os testemunhos curtos (LN95/C1 e LC95/C1) foram submetidos a esse procedimento ainda em campo.

CRONOLOGIA E ANÁLISES SEDIMENTOLÓGICAS E GEOQUÍMICAS

As idades dos testemunhos longos LN95/L1 (lagoa Negra) e LC95/L1 (lagoa Castelo) foram obtidas por método convencional de determinação da atividade de ¹⁴C por cintilação líquida, na Universidade de Waterloo (Environmental Isotope Laboratory) e por determinação da massa de ¹⁴C por espectrometria de massa por aceleração (AMS, Accelerator Mass Spectrometry), na Universidade de Toronto (IsoTrace Radiocarbon Laboratory). As idades foram calibradas em anos calendário antes do presente (anos cal. A.P.) usando CALIB 3.0

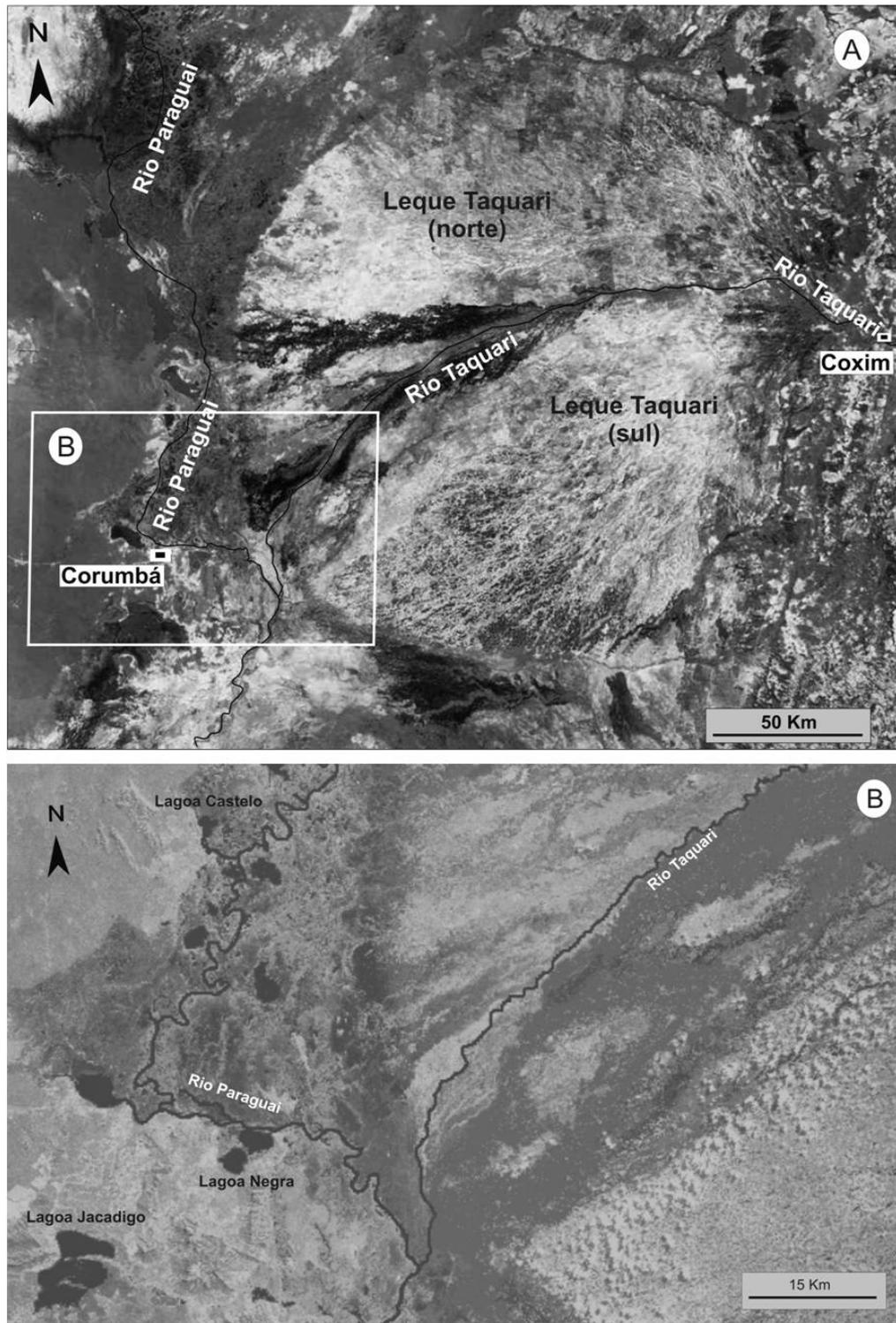


Figura 2. Localização das lagoas Negra e Castelo com relação ao leque do Taquari. (A) Leque do Taquari evidenciando as avulsões e localização das lagoas (Assine 2005, com modificações). (B) Detalhe das lagoas evidenciando o posicionamento das mesmas com relação ao rio Paraguai.

Figure 2. Location of the lakes Negra and Castelo in relation to the fan of Taquari river. (A) Alluvial fan of Taquari, displaying avulsions and lakes locations (adapted from Assine 2005). (B) Lakes detail, and location in relation to Paraguai river.

(Stuiver & Reimer 1993). O método de interpolação de dados spline cúbica (<http://www.srs1software.com>) foi utilizado para estimar idades interpoladas a partir das idades calibradas, permitindo construir um modelo idade-profundidade e obtenção das taxas de sedimen-

tação desses registros. A massa acumulada da coluna de sedimento, com 1cm^2 de base, pode ser calculada considerando que a densidade aparente foi medida continuamente, a cada centímetro, em todo o testemunho (Turcq *et al.* 2002).

A cronologia dos testemunhos curtos LN95/C1 (lagoa Negra) e LC95/C1 (lagoa Castelo), e que representam a sedimentação dos últimos 100 anos, foi determinada por meio da análise da distribuição vertical das atividades de ^{210}Pb e ^{226}Ra de amostras coletadas centimetricamente, como detalhado em Bezerra (1999). As idades e taxa de acumulação, em $\text{g.m}^{-2}\text{ano}^{-1}$, foram definidas utilizando-se o modelo matemático para o cálculo de datação baseado na taxa constante de suprimento de ^{210}Pb em excesso (CRS), proposto por Appleby & Oldfield (1978, 1983). Trabalhos anteriormente desenvolvidos em lagoas de área de inundação do rio Mogi-Guaçu, São Paulo, sugerem o modelo CRS como o mais indicado para esses sistemas (Simões-Filho 1993, Gatti 1997). Stevenson *et al.* (1990) e Appleby *et al.* (1998) estimaram incertezas de dois a quatro anos para idades de até 60 anos e entre três e 27 anos para idades entre 60 e 113 anos. Os cálculos de taxa de sedimentação foram realizados com base na variação da idade em anos do sedimento por centímetro de profundidade. Aplicou-se uma regressão linear da idade (anos) *versus* a profundidade (cm) de cada camada do sedimento para as porções da reta que obedecem aos critérios de linearidade.

Amostras selecionadas em diferentes profundidades de cada testemunho foram dispersas em água, mantidas em banho de ultra-som por aproximadamente 30min e peneiradas em peneira de $63\mu\text{m}$,

obtendo-se duas frações uma $> 63\mu\text{m}$ (fração areia) e outra $< 63\mu\text{m}$ (silte e argila; sedimentos finos). As duas frações foram desidratadas a 50°C até peso constante, obtendo-se o peso seco por fração em cada seção sedimentar. A porcentagem de matéria orgânica total (MOT) foi estimada determinando-se a perda de peso após queima a 550°C por quatro horas (Håkanson & Jansson 1983). Essa temperatura representa o limite para a completa queima de matéria orgânica que inicia ao redor de 200°C (Dean 1974). As análises elementares de COT foram realizadas em amostras depois de tratamento com ácido clorídrico a 10% (para eliminar possíveis interferências por carbono inorgânico) em um analisador de CHN Carlo Erba, com precisão analítica de 0,09%, na Universidade de Waterloo. A densidade aparente dos testemunhos longos foi determinada por desidratação de volume conhecido de amostra a 105°C por seis horas, obtendo-se massa seca por volume de sedimento úmido.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

REGISTROS SEDIMENTARES E TAXAS DE ACUMULAÇÃO DE CARBONO: Últimos 18000 anos

Os dois testemunhos longos apresentam uma idade de aproximadamente 20000 cal. A.P. As idades foram determinadas no COT dos sedimentos (doze

Tabela II. Idades de radiocarbono (anos A.P.) para os testemunhos LN95/L1 (lagoa Negra) e LC95/L1 (lagoa Castelo).
Table II. Radiocarbon dating (years B.P.) of the cores LN95/L1 (lake Negra) and LC95/L1 (lake Castelo).

Testemunho	Prof. (cm)	Nº do laboratório/ Método	Idade (anos A.P.)	Idade calibrada média (anos cal. A.P.)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Material datado
LN95/L1	21-30	WAT-4036 ^a	1060 ± 90	970	-26,3	COT
	60-70	WAT-2967 ^a	5190 ± 90	5960	-19,3	COT
	101-110	WAT-4037 ^a	7480 ± 160	8260	-25,0	COT
	125-135	WAT-2975 ^a	8770 ± 120	9850	-23,4	COT
	181-191	WAT-2976 ^a	10200 ± 190	11830	-23,4	COT
	243-254	TO-6178 ^b	14870 ± 160	17813	-22,9	COT
LC95/L1	21-30	WAT-4038 ^a	520 ± 70	560	-26,2	COT
	46-56	WAT-3039 ^a	3740 ± 70	4090	-26,3	COT
	80-90	WAT-3049 ^a	5230 ± 70	6041	-25,7	COT
	90-91	TO-7096 ^b	5580 ± 60	6380	-23,5	FM*
	100-101	TO-7097 ^b	5880 ± 60	6670	-28,5	FM*
	140-150	TO-6179 ^b	5060 ± 70	5780	-23,1	COT
	239-249	TO-6180 ^b	10300 ± 110	12150	-	COT
	336-346	TO-6181 ^b	17280 ± 150	18620	-	COT

Métodos de datação: ^aContagem por cintilação líquida, ^bEspectrometria de massa por aceleração, - = não disponível. * FM = Fragmentos de madeira.
Dating methods: ^aLiquid scintillation counting, ^bAccelerator mass spectrometry, - = unavailable. *FM = wood fragments.

amostras) e em dois fragmentos de madeira (Tabela II). As curvas construídas relacionando as idades radiocarbônicas com a profundidade apresentam boa correspondência especialmente para o topo dos testemunhos (Figura 3).

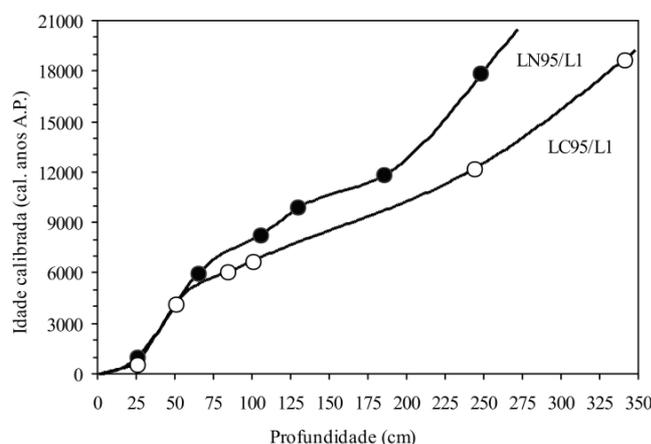


Figura 3. Idades radiocarbônicas versus profundidade obtidas para os testemunhos LN95/L1 (lagoa Negra) e LC95/L1 (lagoa Castelo). No testemunho LC95/L1 um modelo linear foi aplicado entre o topo do testemunho e a idade de 560 anos cal. A.P. e excluída do modelo a idade de 5780 anos cal. A.P.

Figure 3. Radiocarbon ages versus obtained depth for the cores profundidade LN95/L1 (lake Negra) and LC95/L1 (lake Castelo). A linear model was applied to LC95/L1 from the top of the core to the age of 560 years cal. B.P., excluding the age of 5780 years cal. B.P.

O testemunho LN95/L1 (Figura 4) apresenta uma unidade estratigráfica de sedimentos finos com intercalações de níveis menos orgânicos e mais compactados (silte/argila; 0-181cm) e duas unidades arenosas intercaladas por uma unidade de sedimentos finos (181-272cm). A primeira unidade apresenta intercalações de níveis menos orgânicos e mais compactados cinzento muito escuro a cinzento (7-60cm), cinzento (110-125cm), bruno a cinzento-brunado-claro com aumento gradativo da fração areia (165-181cm) e níveis mais orgânicos bruno-avermelhado-escuro (0 - 7cm) e cinzento-escuro (60-110cm e 125-165cm). A primeira unidade arenosa (181-210cm) é bruno-amarelada-claro e a segunda é cinzento-oliváceo (255-272cm). Os dois picos arenosos e inorgânicos, chegando a 78% (201-202cm) e 82% (271-272cm) de fração areia, na base do testemunho sugerem duas fases de maior hidrodinâmica com ação direta do rio sobre a lagoa ou sobre o local onde hoje está a lagoa. O intervalo entre os níveis arenosos (210-255cm) é constituído por sedimentos finos e inorgânicos cinzento-oliváceo com intercalações irregulares de areia, sugerindo menor influência do rio. As taxas de sedimentação, calculadas para todo o testemunho, variam entre 0,01 e 0,05cm.ano⁻¹. As taxas são mais

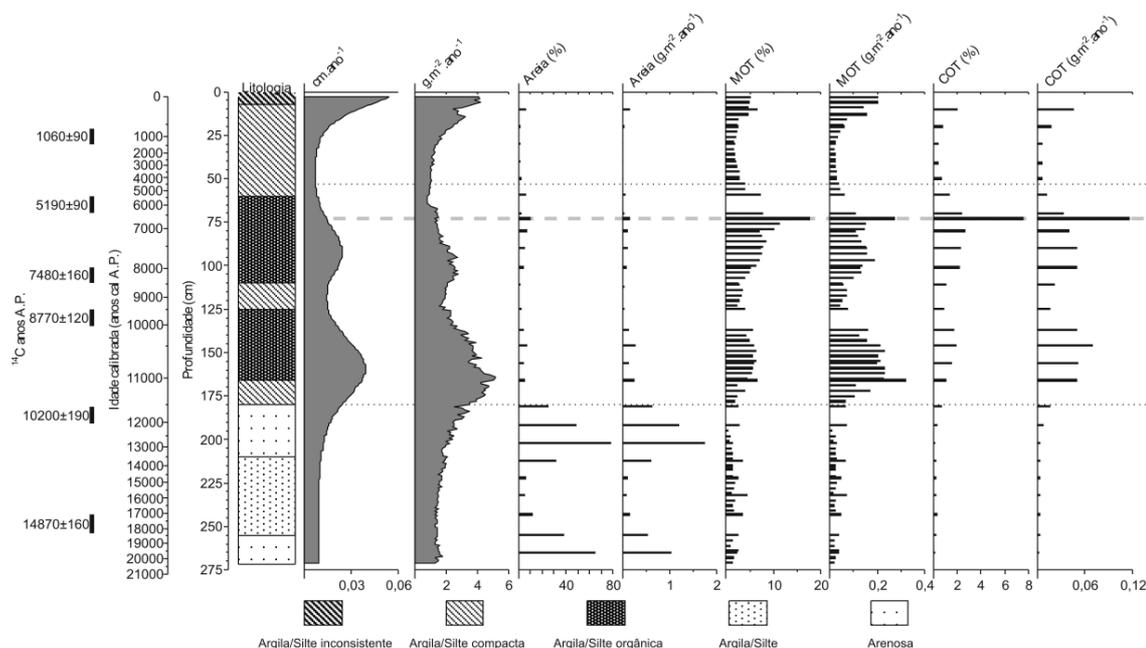


Figura 4. Idades dos sedimentos (¹⁴C), litologia, taxas de sedimentação (cm.ano⁻¹), taxas de acumulação de sedimentos (g.m⁻².ano⁻¹), granulometria (fração areia > 63µm), taxa de acumulação de fração areia (g.m⁻².ano⁻¹), concentração e fluxo de matéria orgânica total (MOT) e carbono orgânico total (COT) no testemunho LN95/L1, coletado na lagoa Negra. As cores foram definidas utilizando a carta de Munsell (Munsell Soil Color Charts 1994).

Figure 4. Sediment ages (¹⁴C), lithology, sedimentation rates (cm.year⁻¹), sediment accumulation rates (g.m⁻².year⁻¹), granulometry (sand fraction > 63µm), sand fraction accumulation rate (g.m⁻².year⁻¹), total organic matter flow and concentration (MOT) and total organic carbon (COT) in the core LN95/L1 (lake Negra). All colours were defined according with the standards of Munsell Soil Color Charts (1994).

elevadas entre 11500 e 10000 anos cal. A.P., 8000 e 6500 anos cal. A.P. e nos últimos 500 anos cal. A.P. (atingindo os maiores valores). As taxas de acumulação variam entre 0,8 e 5,1g.m⁻².ano⁻¹ com as maiores taxas observadas entre 11500 e 10000 anos cal. A.P. As concentrações de COT são muito baixas (COT < 0,3%; MOT < 4%) da base do testemunho até 11500 anos cal. A.P. Os sedimentos são mais orgânicos entre 11500 e 4500 anos cal. A.P., e as maiores concentrações de MOT (18%) e de COT (7,6%) foram obtidas em 6500 anos cal. A.P. a 73cm de profundidade. As taxas de acumulação de COT são muito baixas e variam entre 0,0 a 0,1g.m⁻².ano⁻¹ em todo o testemunho. O aumento na deposição de matéria orgânica entre 11500 e 4500 anos cal. A.P. corresponde ao período de maior taxa de sedimentação e deposição de sedimentos mais finos.

O testemunho LC95/L1 (Figura 5) apresenta sedimentos mais arenosos (16 a 91% de fração areia) que o testemunho LN95/L1 com uma unidade estratigráfica recente (0-20cm) preta, uma segunda unidade cinzenta muito escura e

compacta (20-90cm), uma terceira unidade mais orgânica preta (90-100cm), uma quarta unidade mais arenosa bruno-acinzentada muito escura a bruno e com redução drástica de matéria orgânica (100-140cm) e, uma quinta unidade com redução gradativa da fração areia, bruno a bruno-acinzentada (140-350cm). As taxas de sedimentação, calculadas para todo o testemunho, variam entre 0,01 e 0,04cm.ano⁻¹. As taxas são mais elevadas entre 11500 e 4500 anos cal. A.P. e nos últimos 500 anos cal. A.P. (atingindo os maiores valores). As taxas de acumulação variam entre 0,8 e 6,0g.m⁻².ano⁻¹, com as maiores taxas observadas entre 11500 e 6500 anos cal. A.P. As concentrações de COT no testemunho LC95/L1 são muito baixas (COT < 0,4%; MOT < 5%) da base do testemunho até 6500 anos cal. A.P. Uma mudança abrupta ocorre nesse período com os sedimentos apresentando as maiores concentrações de MOT (24%) e de COT (12%) em 6500 anos cal. A.P. As taxas de acumulação de COT são muito baixas e variam entre 0,0 e 0,1g.m⁻².ano⁻¹ em todo o testemunho. A deposição de matéria orgânica é

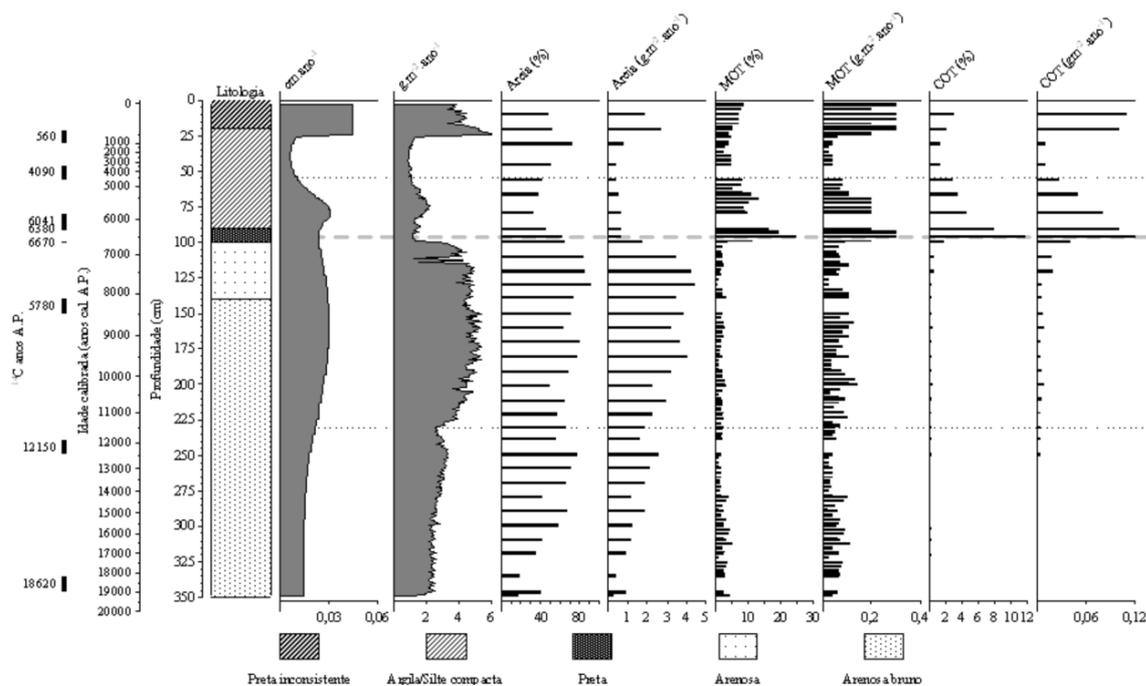


Figura 5. Idades dos sedimentos (¹⁴C), litologia, taxas de sedimentação (cm.ano⁻¹), taxas de acumulação de sedimentos (g.m⁻².ano⁻¹), granulometria (fração areia > 63 μm), taxa de acumulação de fração areia (g.m⁻².ano⁻¹), concentração e fluxo de matéria orgânica total (MOT) e carbono orgânico total (COT) no testemunho LC95/L1, coletado na lagoa Castelo.

Figure 5. Sediment ages (¹⁴C), lithology, sedimentation rates (cm.year⁻¹), sediment accumulation rates (g.m⁻².year⁻¹), granulometry (sand fraction > 63 μm), sand fraction accumulation rate (g.m⁻².year⁻¹), total organic matter flow and concentration (MOT) and total organic carbon (COT) in the core LC95/L1 (lake Castelo).

mais elevada entre 6500 e 4500 anos cal. A.P. e nos últimos 500 anos. As taxas de acumulação de COT analisadas nos testemunhos LN95/L1 e LC95/L1, com variação entre 0,0 a 0,1g.m⁻².ano⁻¹, são muito baixas se comparadas com taxas de 7 a 41g.m⁻².ano⁻¹, para média dos últimos 500 anos, obtidas em testemunhos lacustres de cinco lagos brasileiros estudados por Turcq *et al.* (2002).

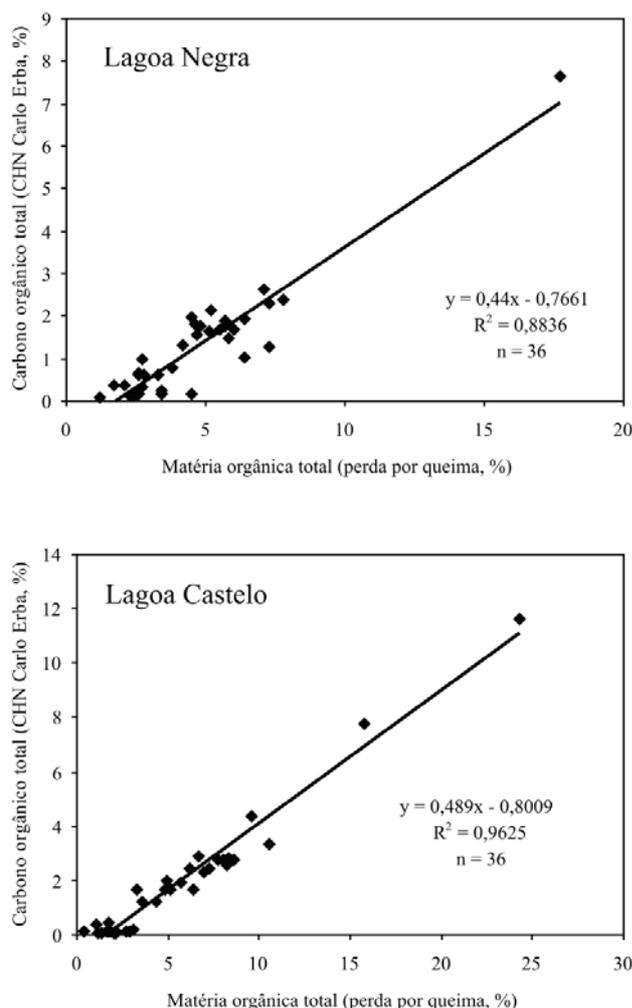


Figura 6. Conteúdo de matéria orgânica total (perda por queima, %) versus carbono orgânico total (CHN Carlo Erba, %) em amostras dos testemunhos sedimentares coletados nas lagoas Negra (LN95/C1 e LN95/L1) e Castelo (LC95/C1 e LC95/L1).

Figure 6. Total amount of organic matter (by loss-on-ignition %) versus total organic carbon (CHN Carlo Erba %) in the cores LN95/C1 and LN95/L1 (lake Negra) and LC95/C1 e LC95/L1 (lake Castelo).

As concentrações de MOT e COT (Figura 6) apresentaram coeficiente de correlação de 0,8836 para os testemunhos coletados na lagoa Negra (LN95/L1 e LN95/C1) e 0,9625 para os testemunhos coletados na lagoa Castelo (LC95/L1 e LC95/C1), sugerindo que os resultados obtidos para as concentrações de MOT

(obtidas por queima, %) e determinadas com maior resolução nos perfis sedimentares permite comparar o conteúdo de matéria orgânica de diferentes amostras (Morozova & Smith 2003). Segundo Meyers & Lallier-Vergès (1999), a matéria orgânica sedimentar contém aproximadamente 50% de carbono orgânico e, portanto, as concentrações de matéria orgânica determinada por perda de peso após queima são equivalentes a aproximadamente duas vezes os valores de carbono orgânico total.

REGISTROS SEDIMENTARES E TAXAS DE ACUMULAÇÃO DE CARBONO: Últimos 100 anos

As curvas de idade/profundidade e as taxas de sedimentação e de acumulação calculadas pelo modelo CRS, para os testemunhos curtos (últimos 100 anos), são mostrados nas Figuras 7, 8 e 9. O testemunho LN95/C1 (lagoa Negra; Figura 8) apresenta sedimentos finos (fração arenosa variando entre 0,9% e 7,7%) e com baixa concentração de matéria orgânica (COT < 1,8%; MOT < 6%). As taxas de sedimentação no testemunho LN95/C1 variaram entre 0,05 e 0,5cm.ano⁻¹ e as taxas de acumulação entre 0,2 a 57g.m⁻².ano⁻¹. O testemunho LC95/C1 (Lagoa Castelo; Figura 9) apresenta sedimentos mais arenosos (fração areia variando entre 45% e 63%) e com baixa concentração de matéria orgânica (COT < 2,9%; MOT < 8,6%). As taxas de sedimentação variaram entre 0,03 e 0,7cm.ano⁻¹ e as taxas de acumulação de 3,2 a 99g.m⁻².ano⁻¹.

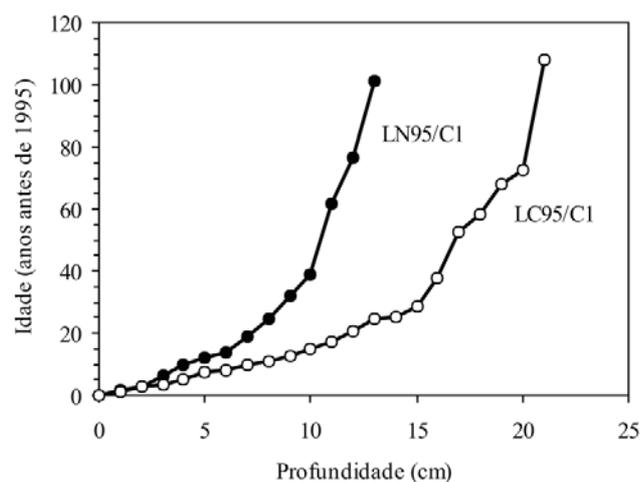


Figura 7. Idades calendário ²¹⁰Pb versus profundidade obtidas para os testemunhos LN95/C1 (lagoa Negra) e LC95/C1 (lagoa Castelo).

Figure 7. Calendar ages ²¹⁰Pb versus obtained depth for the cores LN95/C1 (lake Negra) and LC95/C1 (lake Castelo).

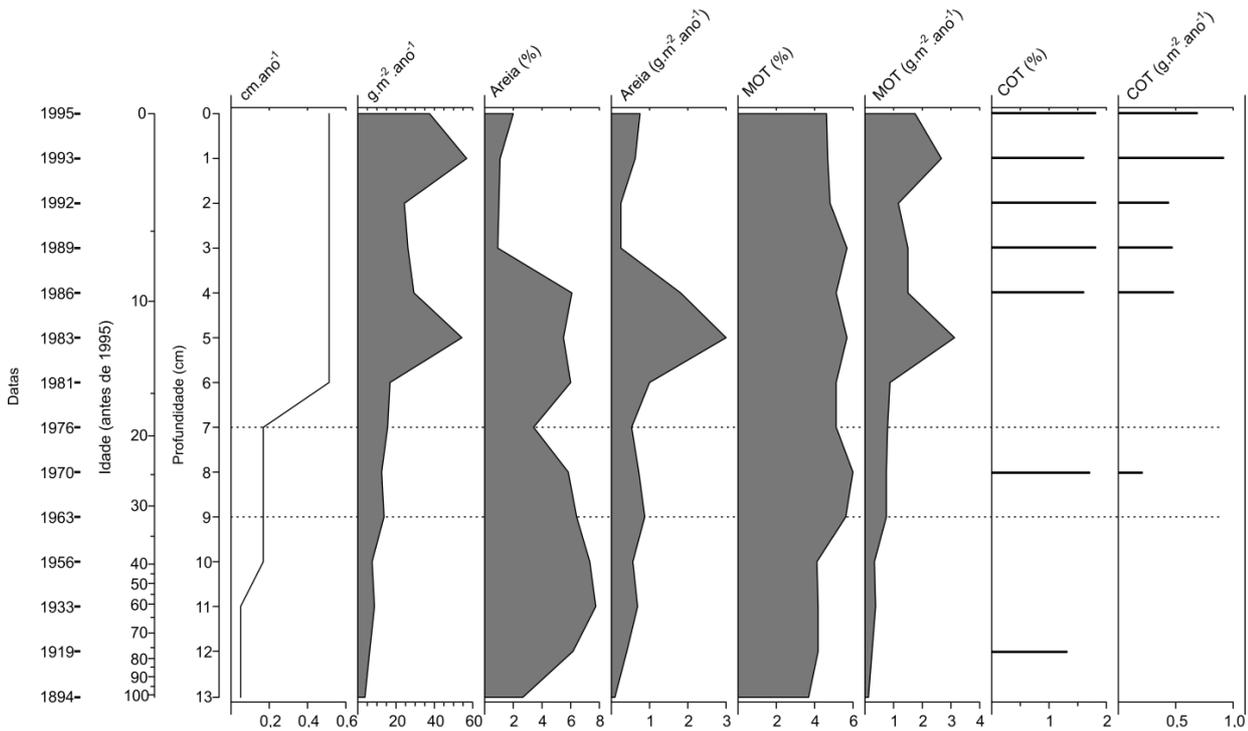


Figura 8. Idades dos sedimentos (Ano calendário ²¹⁰Pb), litologia, taxas de sedimentação (cm.ano⁻¹), taxas de acumulação de sedimentos (g.m⁻².ano⁻¹), granulometria (fração areia > 63 μm), taxa de acumulação de fração areia (g.m⁻².ano⁻¹), concentração e fluxo de matéria orgânica total (MOT) e carbono orgânico total (COT) no testemunho LN95/C1, coletado na lagoa Negra.

Figure 8 Sediment ages (Calendar ages ²¹⁰Pb), lithology, sedimentation rates (cm.year⁻¹), sediment accumulation rates (g.m⁻².year⁻¹), granulometry (sand fraction > 63 μm), sand fraction accumulation rate (g.m⁻².year⁻¹), total organic matter flow and concentration (MOT) and total organic carbon (COT) in the core LN95/C1 (lake Negra)

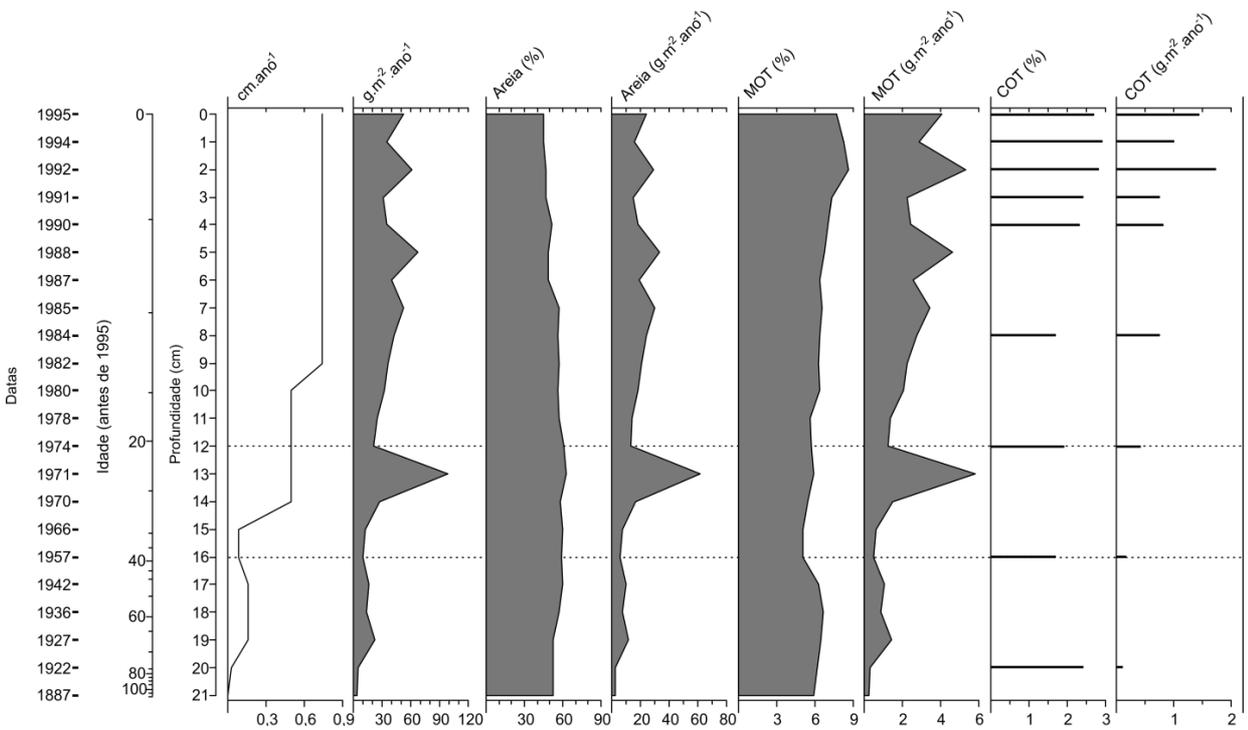


Figura 9. Idades dos sedimentos (Ano calendário ²¹⁰Pb), litologia, taxas de sedimentação (cm.ano⁻¹), taxas de acumulação de sedimentos (g.m⁻².ano⁻¹), granulometria (fração areia > 63 μm), taxa de acumulação de fração areia (g.m⁻².ano⁻¹), concentração e fluxo de matéria orgânica total (MOT) e carbono orgânico total (COT) no testemunho LC95/C1, coletado na lagoa Castelo.

Figure 9. Sediment ages (Calendar ages ²¹⁰Pb), lithology, sedimentation rates (cm.year⁻¹), sediment accumulation rates (g.m⁻².year⁻¹), granulometry (sand fraction > 63 μm), sand fraction accumulation rate (g.m⁻².year⁻¹), total organic matter flow and concentration (MOT) and total organic carbon (COT) in the core LC95/C1 (lake Castelo).

Os dados obtidos indicam que ocorreu um aumento nas taxas de sedimentação a partir de 1981-1982, atingindo os valores atuais de $0,5\text{cm.ano}^{-1}$ na lagoa Negra e $0,7\text{cm.ano}^{-1}$ na lagoa Castelo. A partir desse período aumentam as taxas de acumulação de MOT com dois picos em 1983 e 1993 na lagoa Negra e quatro picos em 1985, 1988, 1992 e 1995 na lagoa Castelo. Uma elevada taxa de acumulação de MOT, na lagoa Castelo em 1971, coincidindo com aumento na deposição de sedimentos mais grossos sugere um período com maior hidrodinâmica. Esse período possivelmente corresponde ao ano de 1974 quando ocorreu uma grande cheia no Pantanal. Essa grande cheia foi precedida por um longo período seco na região entre 1960-1973 (Figura 10), ocasionado por redução do regime pluviométrico (Galdino *et al.* 1997). Durante esse período o Pantanal foi intensamente ocupado especialmente com ampliação de pastos para criação de gado na planície e a expansão agrícola no planalto (Prance & Schaller 1982, Alho *et al.* 1988, Cunha 1998). O nível do rio Paraguai atingiu uma cota máxima de 2,7m entre 1964 e 1973. Em 1974, o Pantanal retorna a uma fase mais úmida, com aumento substancial no nível hidrométrico do rio Paraguai, atingindo uma cota máxima de 5,5m. Os solos desprotegidos pelo desmatamento são fortemente erodidos em razão do aumento das vazões dos rios e da intensificação das chuvas (Brasil 1997). O aumento nas taxas de acumulação, nesse período, não é visível na lagoa Negra possivelmente devido à construção de um dique-estrada (estrada da Codrasa), iniciado em 1974, entre a lagoa Negra e o rio Paraguai.

A partir de 1974 o Pantanal se mantém sempre com grandes cheias em que as cotas máximas estão acima de 4m. As maiores cheias, nesse período, foram observadas nos anos de 1988 (6,64m), 1995 (6,56m; ano em que foram coletados os testemunhos) e 1982 (6,52m) e estão relacionadas aos picos de acumulação de sedimentos observados nos testemunhos. Bezerra (1999), conclui que os picos de acumulação de sedimentos nessas lagoas estão geralmente associados a um período mais úmido precedido por fase seca. É possível inferir com base nessas informações que um período mais úmido, precedido por uma fase seca, na história paleoambiental do Pantanal tenha determinado aumentos nas taxas de sedimentação.

INTERPRETAÇÕES PALEOAMBIENTAIS E PALEOCLIMÁTICAS

No Pleistoceno Tardio, anterior a 11500 anos cal. A.P., os testemunhos LN95/L1 (lagoa Negra) e LC95/L1 (lagoa Castelo) apresentam sedimentos predominantemente arenosos e inorgânicos. Dois picos de sedimentos arenosos e inorgânicos no testemunho LN95/L1 sugerem fase de grande influência do rio Paraguai na lagoa Negra, ou no local onde ela se encontra atualmente. A deposição de sedimentos mais finos e com baixa deposição de COT entre os dois picos arenosos sugere uma fase com menor influência do rio no período de 18500 a 14000 anos cal. A.P., sendo possivelmente uma fase mais seca na lagoa. É provável que no Pleistoceno Tardio a lagoa Negra apresentasse um processo de sedimentação correspondente à situação atual da lagoa Castelo. Atualmente, a lagoa Castelo está ligada diretamente ao rio Paraguai por todo o período hidrológico, isolando-se somente em fases muito secas (Figura 2). A construção de um dique fluvial entre o rio e a lagoa, com aproximadamente 4,6m acima do leito do rio, possibilita esse isolamento quando as águas estão muito baixas. A lagoa tem uma forma alongada e apresenta uma topografia de fundo irregular, com áreas mais deprimidas, caracterizando uma variação de aproximadamente cinco metros de profundidade ao longo do canal principal. Por causa dessas características, a lagoa Castelo apresenta sedimentos predominantemente arenosos nos últimos 100 anos (45% a 63% de fração areia), diferentemente da lagoa Negra (0,9% a 7,7% de fração areia), que recebe as águas do rio Paraguai somente depois de atravessar extensa área de inundação (Figuras 8 e 9). Por outro lado, a Figura 2a mostra que a lagoa Negra está localizada no deságüe do leito principal do rio Taquari e em períodos mais úmidos (maior ação erosiva do rio) os sedimentos arenosos podem ter sido transportados diretamente para a lagoa. Esses dados são corroborados pela presença de dois canais fluviais, ligados à lagoa Negra e atualmente desconectados do rio (Figura 2b). O acelerado transporte de sedimentos arenosos (grãos de quartzo) antes de 11500 anos cal. A.P., especialmente evidenciado no testemunho coletado na lagoa Negra, sugere que nesse período ocorre o represamento da lagoa por meio da formação dos diques marginais. O isolamento dos sistemas lacus-

tres permite o estabelecimento das comunidades aquáticas tornando-os mais produtivos e com reduzida exportação de MOT pelas águas do rio, iniciando o processo de acumulação de matéria orgânica.

No testemunho coletado na lagoa Castelo, sedimentos arenosos e pouco orgânicos continuam a ser depositados até 6500 anos cal. A.P. A partir de 6500 anos cal. A.P. ocorre uma transição abrupta para sedimentação lacustre. A deposição de sedimentos lacustres é precedida por fase de maior hidrodinâmica, sugerida pelo aumento na deposição de sedimentos inorgânicos, com elevadas concentrações de fração areia (65% a 91%) e pela inversão de idades obtida na profundidade de 140-150cm (5060 ± 70 anos A.P.). A deposição desses sedimentos provavelmente ocorreu numa transição para período mais úmido e com aumento na descarga do rio (construção de diques marginais). Esse sinal não foi observado na lagoa Negra provavelmente por esta se encontrar mais isolada do rio e com diques fluviais construídos em período anterior. As diferenças observadas na qualidade do material sedimentado nas lagoas devem refletir a localização do canal ativo do rio Taquari com relação às lagoas. O rio Taquari é um

rio mutante em que as avulsões podem ocorrer rapidamente (10 anos) e a sucessão de eventos é bem documentada por imagem satélite (Padovani *et al.* 2001, Assine 2005). As lagoas estão localizadas nas bordas da porção mais ativa do leque aluvial e, portanto, a formação do leque influencia diretamente o processo de sedimentação nessas lagoas. A deposição de sedimentos arenosos e inorgânicos no final do Pleistoceno (antes de 11500 anos cal. A.P.) e aumento nas taxas de sedimentação e de acumulação entre 11500 e 6500 anos cal. A.P. nas lagoas Negra e Castelo devem representar importantes períodos de construção de lobos deposicionais do leque do Taquari por processos aluviais, associados a aumento na umidade, morfologia e posição das lagoas com relação ao rio. Segundo Soares *et al.* (2003), a intensa sedimentação dos lençóis de areia branca no leque do Taquari ocorreu durante o período de mais intensa formação dos lobos do leque, provavelmente associado à fase crítica de mudança de condições áridas para semi-úmida no início do Holoceno. Segundo esses autores, o clima no Pleistoceno Tardio era frio e seco, passando a frio e úmido no início do Holoceno. A umidificação é deduzida a partir do aumento

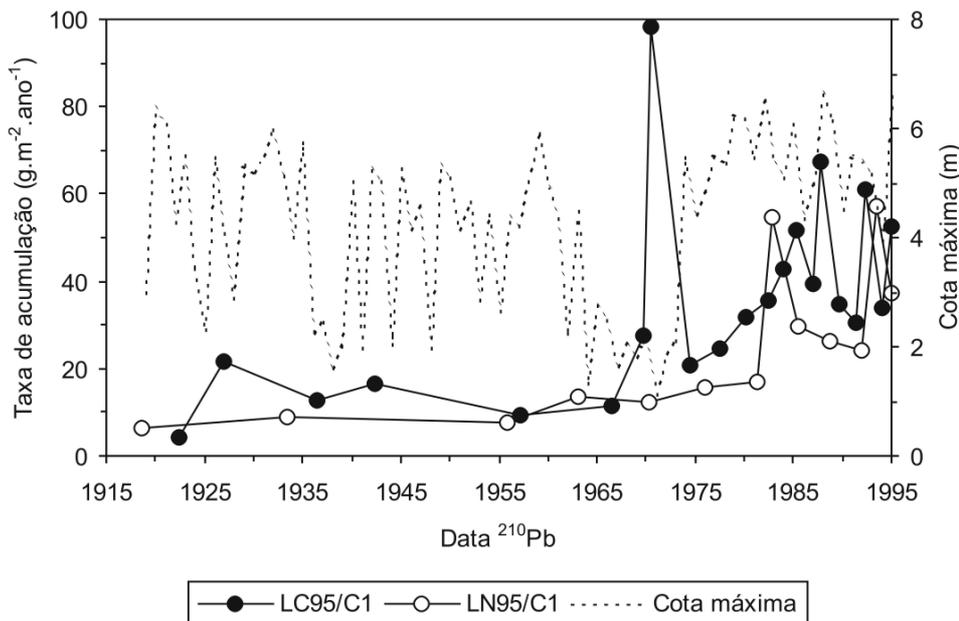


Figura 10. Taxas de acumulação de sedimentos nos testemunhos LN95/C1 (lagoa Negra) e LC95/C1 (lagoa Castelo) com relação a intensidade do pulso de inundação do rio Paraguai em Ladário-MS. Os dados de cotas fluviométricas referentes ao período de 1915 a 1995 são oriundos de uma régua instalada no 6º Distrito Naval da Marinha Brasileira.

Figure 10. Sediments accumulation rates of the cores LN95/C1 (lagoa Negra) and LC95/C1 (lagoa Castelo) according with the flooding pulses of Paraguai river in Ladário, Mato Grosso do Sul, Brazil. The data on the river water levels between 1915 and 1995 were obtained with a ruler at 6º Distrito Naval da Marinha Brasileira.

drástico no aporte sedimentar, o que implica erosão acentuada numa área fonte desprovida de vegetação de grande porte (período seco anterior).

A partir de 11500 anos cal. A.P. até o presente, os sedimentos depositados na lagoa Negra são finos e mais orgânicos, sugerindo menor ação do rio sobre a lagoa, com redução do volume de água comparado aos períodos de grande deposição de material fluvial na base do testemunho. Informações palinológicas (De Oliveira *et al.* 1999) indicam a presença de pólenes arbóreos e de plantas aquáticas (dominadas por Poaceae e Cyperaceae), sugerindo o estabelecimento da planície de inundação a partir desse período. O aumento da umidade na transição Pleistoceno-Holoceno e o transporte de sedimentos fluviais devem ter sido responsáveis pela construção dos diques marginais permitindo o estabelecimento das matas ciliares. A maior deposição de matéria orgânica ocorre entre 11500 e 4500 anos cal. A.P. (lagoa Negra) e entre 6500 e 4500 anos cal. A.P. (lagoa Castelo), com um pico bem marcado em 6500 anos cal. A.P. No período entre 4500 e 500 anos cal. A.P. ocorre redução na acumulação de COT, nos dois testemunhos, associada à deposição de sedimentos mais finos e a redução nas taxas de sedimentação sugerindo uma fase mais seca na lagoa. A partir de 500 anos cal. A.P. as taxas de acumulação de COT são mais elevadas nas duas lagoas.

As altas taxas de acumulação de COT observadas no início do Holoceno na lagoa Negra sugerem que a lagoa foi definida como um sistema mais fechado e com reduzida (ou nenhuma) influência do rio a partir desse período. No entanto, a preservação de matéria orgânica indica que a lagoa não esteve seca completamente (pelo menos por muito tempo). A lagoa atual é rasa e mantida pelas cheias do rio Paraguai e pelas chuvas locais em que as águas são transportadas principalmente por meio do córrego Banda Alta. A quase totalidade da vazão do rio Paraguai, onde está localizada a lagoa Negra, é formada pelos tributários do Norte da bacia, que são responsáveis por 70% do volume de água que vai sair do sistema em Porto Murinho (Adámoli 1986). É possível inferir que a lagoa se torna mais isolada do rio por causa da construção dos diques marginais, na fase anterior, e provavelmente redução das chuvas no Norte da bacia. Chuvas locais mantiveram a lagoa com água suficiente para evitar a oxidação da matéria orgânica. A matéria orgânica depositada na lagoa Negra torna-se gradativamente enriquecida em ^{13}C (-26‰ a -18‰),

com razão C/N entre 16 a 24 entre ~10.200 até ~5190 anos A.P. (Bezerra 1999). Portanto, a associação entre elevados valores da razão C/N e enriquecimento isotópico indica que as plantas vasculares foram as principais fontes de matéria orgânica. Os dados apresentados sugerem que a lagoa Negra se afastou gradativamente do rio Paraguai, tornando-se um sistema mais fechado, a exemplo do que ocorre atualmente com a lagoa do Jacadigo, também localizada na margem direita do rio Paraguai (Figuras 1 e 2). Segundo Bezerra (1999), a lagoa do Jacadigo recebe água do rio Paraguai somente em períodos de grandes cheias e depois de atravessar extensa área de inundação, apresentando sedimentos finos, orgânicos (12% a 22% de MOT), e enriquecidos em ^{13}C (-22‰ a -19‰).

No Holoceno Médio (~5190 ± 90 anos A.P.; testemunho LN95/L1), a deposição de sedimentos finos, com as maiores concentrações de matéria orgânica (8% de COT e 18% de MOT), enriquecidos em $^{13}\text{C}_{\text{org}}$ (-18‰) e com altos valores da razão C/N (16), foi interpretado por Bezerra (1999) como sedimentação lacustre com menor influência do rio. Esses dados são explicados em razão do maior tempo de residência da água e o estabelecimento de macrófitas aquáticas, dominados por Cyperaceae e Poaceae, como indicado pela análise de pólenes (De Oliveira *et al.* 1999). É comum, no rio Paraguai, o transporte de grandes ilhas flutuantes de vegetação aquática muitas vezes dominadas por Cyperaceae e Poaceae enriquecidas em ^{13}C (Bezerra 1999, Calheiros 2003). Na lagoa Castelo (LC95/L1), a mudança de sedimentos arenosos (80% a 91% de fração areia) e pouco orgânicos (< 3% de MOT) para depósitos de sedimentos orgânicos é muito brusca e somente a partir desse período inicia a sedimentação lacustre nesse testemunho.

A partir de 4500 anos cal. A.P. até o presente, os sedimentos tornam-se mais empobrecidos em ^{13}C e reduz a razão C/N (Bezerra 1999). Essas características apresentadas pelos sedimentos analisados nos testemunhos LN95/L1 e LC95/L1 sugerem maior contribuição fitoplanctônica. No entanto, as elevadas concentrações da fração areia depositadas na lagoa Castelo indicam que o rio continua jogando suas águas na lagoa, pelo menos nos períodos de águas altas, a exemplo do que ocorre atualmente. A influência do rio sobre a lagoa Negra, nesse período, se deu com menor intensidade, possivelmente, em razão de os diques já estarem estabelecidos.

Estudos geomorfológicos desenvolvidos no Pantanal por Ab'Sáber (1988) indicam que os ecossistemas aquáticos como estão definidos atualmente foram estabelecidos nos últimos 5000 anos. Bertaux *et al.* (2002) concluem que estalagmite começou a ser depositado em gruta de Bonito (Mato Grosso do Sul) em ~4000 anos A.P. por aumento de umidade. Turcq *et al.* (1987) observaram fase erosiva de âmbito regional, entre 5000 e 6000 anos A.P., em depósitos fluviais no Sudeste e Centro-Oeste brasileiro. Segundo esse autor, a fase erosiva, provavelmente relacionada a chuvas fortes e escoamento torrencial, foi observada na região de Bonito (MS) em aproximadamente 5000 anos A.P. Ferraz-Vicentini & Salgado-Labouriau (1996) observaram na região Centro-Oeste (Cromínia, Goiás) período úmido entre 6680 e 3500 anos A.P. Análise palinológica em amostras de turfa na região de Taquarussu, no estado de Mato Grosso do Sul, permitem inferir um clima seco para o Holoceno Médio e mais úmido desde o Holoceno Tardio até o presente (Parolin *et al.* 2006). Análises de espículas de esponja nas mesmas amostras indicam a existência de um período mais úmido entre 4610 e 4010 anos A.P. (Parolin *et al.* 2007).

Os estudos arqueológicos demonstram que somente a partir de ~5000 anos A.P. populações humanas ocuparam diques lacustres e fluviais da planície de inundação (Schmitz 1998, Peixoto 2003). Sítios arqueológicos foram localizados no entorno das lagoas Negra e Castelo, desenhando a morfometria atual das mesmas. Os dados reforçam que os sistemas lacustres definiram-se no Holoceno Médio, permitindo o estabelecimento de populações indígenas sobre os diques marginais das lagoas. A partir de então, as áreas de inundação foram importantes como habitats e fontes de recursos alimentares para essas populações, e trabalhos zooarqueológicos indicam como principais fontes protéicas diferentes espécies de peixes e moluscos aquáticos (Bezerra *et al.* 1997, Silva 2004). Esses sistemas apresentam maior disponibilidade de recursos ambientais, oferecendo condições favoráveis para a ocupação e expansão das populações indígenas no Pantanal. As populações atuais que habitam o Pantanal concentram-se nas margens das lagoas, a exemplo dos antigos ocupantes do Pantanal em período pré-colonial.

A área alagada no Pantanal pode variar entre 11.000 – 110.000km², indicando que, em média,

52% da área alagada podem ficar totalmente secos por alguns meses durante o período de águas baixas (Hamilton *et al.* 1996). Portanto, grande parte da matéria orgânica depositada durante o período seco fica exposta à oxidação favorecida pelas elevadas temperaturas locais. Por outro lado, as lagoas do Pantanal são rasas e o vento favorece freqüente resuspensão dos sedimentos de fundo, disponibilizando a matéria orgânica a processos oxidativos na coluna de água. As baixas taxas de acumulação de COT nas lagoas Negra e Castelo refletem o forte processo de oxidação da matéria orgânica na coluna de água (especialmente na lagoa Negra) e exportação de MOT para o rio (maior importância na lagoa Castelo). As áreas alagadas da lagoa Castelo são responsáveis por grande parte da produção de ilhas flutuantes de vegetação que são transportadas rio abaixo em períodos de enchente (Calheiros & Hamilton 1998).

CONCLUSÕES

A deposição de carbono nas lagoas do Pantanal reflete as oscilações climáticas desde o Pleistoceno Tardio. A transição Pleistoceno-Holoceno é marcada por depósito de sedimentos fluviais, sugerindo período com maior hidrodinâmica associado a aumento na umidade. É possível que esse período corresponda a uma fase mais ativa na construção do leque do Taquari, que, como conseqüência, leva à construção dos diques marginais. A maior deposição de carbono orgânico ocorre do início do Holoceno (11500 anos cal. A.P.) até o Holoceno Médio (4500 anos cal. A.P.) na lagoa Negra. Os sedimentos finos depositados na lagoa, nesse período, indicam que o rio Paraguai passa a ter menos influência sobre a lagoa, definindo o sistema lacustre. No entanto, sedimentos arenosos continuam a ser depositados na lagoa Castelo sugerindo que essa lagoa mantém uma forte ligação com o rio durante todo esse período. Em 6500 anos cal. A.P. ocorre um forte aumento na deposição de COT que é mais marcante na lagoa Castelo. Esse aumento está associado à redução nas taxas de acumulação de sedimentos e no fluxo de sedimentos arenosos. A transição para um nível mais orgânico se dá de forma abrupta na lagoa Castelo e é precedida por um período com maior hidrodinâmica, com elevadas taxas de sedimentação e deposição de sedi-

mentos predominantemente arenosos e inorgânicos. Esse sinal não é observado na lagoa Negra, reforçando a hipótese de construção dos diques marginais no início do Holoceno. Portanto, com o afastamento do rio no início do Holoceno começa a sedimentação lacustre na lagoa Negra, enquanto a lagoa Castelo passa a ser caracterizada como sistema lacustre a partir de 6500 anos cal. A.P.

A deposição de carbono orgânico aumenta quando as lagoas se tornam mais fechadas em razão da construção dos diques marginais e, portanto, com menor influência do rio. É provável que a construção dos diques marginais das lagoas Negra e Castelo tenham ocorrido em momentos diferentes por causa das avulsões do rio Taquari, intensificadas em períodos de maior hidrodinâmica. A deposição de carbono orgânico entre 11500 e 4500 anos cal. A.P. indica a definição de sistemas hídricos mais fechados. Esse fenômeno provavelmente ocorreu por redução do nível de água e menor interferência do rio, em resposta às mudanças climáticas (regionais e locais) e formação do leque do Taquari (com construção dos diques marginais).

As informações fornecidas pelos testemunhos lacustres, incluindo os sedimentos depositados nos últimos 100 anos, permitem concluir que a deposição de carbono nas lagoas do Pantanal está condicionada a: (a) variações no nível das lagoas como consequência das mudanças climáticas em níveis local e regional; (b) influência do rio, que pode interferir na deposição de matéria orgânica, trazendo material da bacia de drenagem, nos períodos cheios, ou exportando material na descida das águas; (c) morfometria das lagoas e posição com relação ao rio, e (d) mudanças no regime hidrológico, em que grandes cheias precedidas por fase seca podem aumentar significativamente a taxa de acumulação de sedimentos nessas lagoas.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem as importantes contribuições recebidas dos revisores anônimos e em especial ao Dr. Renato Campello Cordeiro pelas sugestões e auxílio na utilização do método de interpolação de dados spline cúbica. Os autores agradecem também ao professor Júlio Cesar Paro, pela elaboração do abstract, e ao biólogo Marcos da Costa Mendes pelo auxílio na elaboração das figuras. Este trabalho contou com o apoio da FAPESP (Fundação de Pesquisa do Estado de São Paulo) e CECITEC (Fundação de Pesquisa do Estado de Mato Grosso do Sul) para suporte financeiro. O CNPq e a CAPES financiaram bolsas de Iniciação Científica e de Doutorado, respectivamente. O Campus de Corumbá da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul e o Departamento de Química da Universidade federal de São Carlos forneceram apoio logístico e suporte durante as análises.

REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A.N. 1988. O Pantanal Mato-grossense e a teoria dos refúgios. *Revista Brasileira de Geografia*, 50 (2): 9-57.
- ADÁMOLI, J. 1986. A Dinâmica das Inundações no Pantanal. Pp: 51-61. *In: Anais do I Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-econômicos do Pantanal*. Corumbá, MS.
- ALHO, C.J.R.; LACHER, T.E. & GONÇALVES, H.C. 1988. Environmental degradation in the Pantanal ecosystem. *BioScience*, 38 (3): 164-171.
- AMBÜHL, H. & BÜHRER, H. 1975. Zur technik der Entnahme ungestörter gossproben von seesedimenten: ein verbessertes Bohrlot. *Schweiz. Z. Hydrol.*, 37: 175-186.
- APPLEBY, P.G. & OLDFIELD, F. 1983. The assessment of ²¹⁰Pb date from sites with varying sediment accumulation rates. *Hydrobiologia*, 103: 29-35.
- APPLEBY, P.G. & OLDFIELD, F. 1978. The calculation of ²¹⁰Pb date assuming a constante rate of supply of unsupported ²¹⁰Pb to the sediment. *Catena*, 5: 1-8.
- APPLEBY, P.G.; FLOWER, R.J.; MACKAY, A.W. & ROSE, N.L. 1998. Paleolimnological assessment of recent environmental change in Lake Baikal: sediment chronology. *Journal of Paleolimnology*, 20 (2): 119-133.
- ASSINE, L.M. 2005. River avulsions on the Taquari megafan, Pantanal wetland, Brazil. *Geomorphology*, 70: 357-371.
- ASSINE, M.L. & SOARES, P.C. 2004. Quaternary of the Pantanal, west-central Brazil. *Quaternary International*, 114: 23-34.
- BERTAUX, J.; SONDAG, F.; SANTOS, R.; SOUBIÈS, F.; CAUSSE, C.; PLAGNES, V. ; CORNEC, F.L. & SEIDEL, A. 2002. Paleoclimatic Record of speleothems in a tropical region: study of laminated sequences from a Holocene stalagmite in Central-West Brazil. *Quaternary International*, 89: 3-16.
- BEZERRA, M.A.O. 1999. *Uso de multi-traçadores na reconstrução do Holoceno no Pantanal Mato-grossense, Corumbá, MS*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais. Universidade de São Carlos, São Carlos, 254 p.
- BEZERRA, M.A.O.; CHAPARRO, M. & PEIXOTO, J.L.S. 1997. Moluscos dulceaquícolas do Pantanal do Abobral: uma abordagem arqueológica. *Revista Científica (Campo Grande)*, 4 (1): 10-17.
- BRASIL. 1997. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. *Plano de conservação da Bacia do Alto Paraguai - PCBAP/Projeto Pantanal, Programa Nacional do Meio Ambiente*. PNMA, Brasília. V.2, Tomo 2-B (Hidrossedimentologia do Alto Paraguai).

- BRAUN, E.H.G. 1977. Cone aluvial do Taquari, unidade geomórfica marcante na planície quaternária do Pantanal. *Revista Brasileira de Geografia*, 39 (4): 164-180.
- BRINSON, M.M.; LUGO, A.E. & BROWN, S. 1981. Primary productivity, decomposition and consumer activity in freshwater wetlands. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 12: 123-161.
- CADAVID GARCÍA, E.A. 1981. *Índices técnico-econômicos da região do Pantanal Mato-grossense*. EMBRAPA-UEPAE, Corumbá, MS. 81p.(Circular Técnica, 7).
- CALHEIROS, D.F. & HAMILTON, S.K. 1998. Limnological conditions associated with natural fish kills in the Pantanal Wetland of Brasil. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 26: 2189-2193.
- CALHEIROS, D.F. 2003. Influência do pulso de inundação na composição isotópica ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) das fontes primárias de energia na planície de inundação do rio Paraguai (Pantanal - MS). Tese de Doutorado, Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 164 p.
- CARVALHO, N.O. 1986. Hidrologia da Bacia do Alto Paraguai. Pp: 43-49. *In: Anais do I Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio Econômicos do Pantanal*. Corumbá, MS.
- CUNHA, S.B. 1998. O custo ambiental da hidrovia Paraguai-Paraná. *Ciência Hoje*, 23(135): 74-135.
- DE OLIVEIRA, P.E.; BEZERRA, M.A.O.; MOZETO, A.A. & ARAVENA, R. 1999. Vegetação e clima do Quaternário Tardio do Pantanal Sul-Mato-Grossense: Palinologia da lagoa Negra, Corumbá, MS. *In: Anais do VII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário*. Porto Seguro, BA.
- DEAN Jr, W.E. 1974. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: comparison with other methods. *Journal Sedimentary Petrology*, 44 (1): 242-248.
- EADIE, B.J.; CHAMBERS, R.L.; GARDNER, W.S. & BELL, G.L. 1984. Sediment trap studies in lake Michigan: resuspension and chemical fluxes in the southern basin. *Journal of Great Lakes Research*, 10: 307-321.
- ESTEVES, F.A. & CAMARGO, A.F.M. 1982. Caracterização de sedimentos de 17 reservatórios do estado de São Paulo com base no teor de feopigmentos, carbono orgânico e nitrogênio orgânico. *Ciência e Cultura*, 34 (5): 669-674.
- FERRAZ-VICENTINI, K.R. & SALGADO-LABOURIAU, M.L. 1996. Palynological analysis of a palm swamp in Central Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 9 (3/4): 207-219.
- GALDINO, S.; CLAKE, R.T.; PADOVANI, C.R.; SORIANO, B.M.A. & VIEIRA, L.M. 1997. Evolução do regime hidrológico na planície do baixo curso do rio taquari-Pantanal. Pp: 383-390. *In: Anais do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Vitória, ES.
- GATTI, L.V. 1997. *Distribuição de metais em testemunhos de sedimentos de duas lagoas marinhas do rio Mogi-Guaçu (E.E. de Jataí, Luiz Antônio, SP)*. Tese de Doutorado, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 146p.
- GODOI FILHO, J.D. 1986. Aspectos Geológicos do Pantanal Mato-grossense e de suas áreas de Influências. *In: Anais do I Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-econômicos do Pantanal*. Corumbá, MS. pp: 9-27
- HÅKANSON, L. & JANSSON, M. 1983. *Principles of lake sedimentology*. Springer-Verlag, Berlin. 316p.
- HAMILTON, S.K., SIPPEL, S.J. & MELACK, J.M. 1996. Inundation patterns in the Pantanal wetland of South America determined from passive microwave remote sensing. *Arch. Hydrobiol.*, 137 (1): 1-23.
- KLAMMER, G. 1982. Die Paläowüste des Pantanal von Mato Grosso und die pleistozäne klimageschichte der brasilianischen randtropen. *Z. Geomorph.*, 26(4): 393-416.
- MARTIN, L.; FLEXOR, J.M. & SUGUIO, K. 1995. Vibro-testemunhador leve: construção, utilização e potencialidades. *Revista do Instituto Geológico*, 16: (1/2): 59-66.
- MEYERS, P.A. & EADIE, B.J. 1993. Sources, degradation and recycling of organic matter associated with sinking particles in Lake Michigan. *Organic Geochemistry*, 20 (1): 47-56.
- MEYERS, P.A. & LALLIER-VERGÈS, E.L. 1999. Lacustrine sedimentary organic matter records of Late Quaternary paleoclimates. *Journal of Paleolimnology*, 21(3): 345-372.
- MITSCH, W.J. & GOSSELINK, J.G. 1986. *Wetlands*. Van Nostrand Reinhold Company, New York. 537p.
- MOROZOVA, G.S. & SMITH, N.D. 2003. Organic matter deposition in the Saskatchewan River floodplain (Cumberland Marshes, Canada): effects of progradational avulsions. *Sedimentary Geology*, 157: 15-29.
- MUNSELL SOIL COLOR COMPANY. 1994. *Munsell Soil Colour Charts*. Revised Edition, Macbeth Division of Kollmorgen Instruments Corporation, New York.
- PADOVANI, C.R.; PONTARA, R.C.P. & PEREIRA, J.G. 2001. Mudanças recentes de leito no baixo rio Taquari, no Pantanal Mato-grossense. *Boletim de Geociências da UFPR*, 49: 33-38.
- PAROLIN, M.; MEDEANIC, S. & STEVAUX, J.C. 2006. Registros palinológicos e mudanças ambientais durante o Holoceno de Taquarussu (MS). *Revista Brasileira de Paleontologia*, 1: 137-148.
- PAROLIN, M.; VOLKMER-RIBEIRO, C. & STEVAUX,

- J.C. 2007. Sponge spicules in peaty sediments as paleoenvironmental indicators of the Holocene in the upper Paraná river, Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 10: 17-26.
- PEIXOTO, J.L.S. 2003. *A Ocupação dos Povos Indígenas Pré-Coloniais nos Grandes Lagos do Pantanal Sul-Mato-Grossense*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em História. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul, 290 p.
- PRANCE, G.T. & SCHALLER, G.B. 1982. Preliminary study of some vegetation types of the Pantanal, Mato Grosso, Brazil. *Brittonia*, 34 (2): 228-251.
- SCHMITZ, P.I., ROGGE J.H., ROSA A.O. & BEBER M.V. 1998. *Aterros indígenas no Pantanal do Mato Grosso do Sul*. Instituto Anchieta de Pesquisas, Pesquisas Antropologia 54, São Leopoldo, Brasil, 271 p.
- SILVA, M.A.G. 2004. *Remanescentes faunísticos de sítios arqueológicos e reconstrução ambiental, Pantanal-MS*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 97 p.
- SIMÕES-FILHO, F.F.L. 1993. *A hidrodinâmica de particulados em planícies de inundação: Um estudo sobre as taxas de sedimentação de lagoas marginais do rio Mogi-Guaçu, Estação Ecológica de Jataí (Luiz Antonio - SP)*. Dissertação de Mestrado, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 109p.
- SOARES, A.P.; SOARES, P.C. & ASSINE, M.L. 2003. Areais e lagoas do Pantanal, Brasil: Herança paleoclimática?. *Revista Brasileira de Geociências*, 33(2): 211-224.
- STEVENSON, A.; JONES, V.J. & BATTARBEE, R.W. 1990. The cause of peat erosion: a palaeolimnological approach. *Net. Phytol.*, 114: 727-735.
- STUIVER, M. & REIMER, P.J. 1993. Extended ¹⁴C data base and revised calib 3.0 ¹⁴C Age calibration. *Radiocarbon*, 35: 215-230.
- TRICART, J. 1974. Existence de périodes sèches au quaternaire in Amazonie et dans les régions voisines. *Rev. Geomorph. Dyn.*, 23: 145-158.
- TRICART, J. 1982. El pantanal: Un ejemplo del impacto de la geomorfología sobre el medio ambiente. *Geografía*, 7 (13/14): 37-50.
- TURCQ, B.; ALBUQUERQUE, A.L.S.; CORDEIRO, R.C.; SIFEDDINE, A.; SIMÕES FILHO, F.F.L.; SOUZA, A.G.; ABRÃO, J.J.; OLIVEIRA, F.B.L.; SILVA, A.O. & CAPITÂNEO, J. 2002. Accumulation of organic carbon in five Brazilian lakes during the Holocene. *Sedimentary Geology*, 148: 319-342.
- TURCQ, B.; SUGUIO, K.; SOUBIÈS, F.; SERVANT, M. & PRESSINOTTI, M.M.N. 1987. Alguns terraços fluviais do sudeste e do centro-oeste brasileiro datados por radiocarbono: possíveis significados paleoclimáticos. Pp:379-392. *In: Anais do I Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário*. Porto Alegre, RS.
- VALVERDE, O. 1972. Fundamentos Geográficos do Planejamento do Município de Corumbá. *Revista Brasileira de Geografia*, 34 (1): 49-144.
- WETZEL, R.G. 1980. *Limnología*. Ediciones Omega, Barcelona. 679p.

Submetido em 02/06/2008.

Aceito em 11/08/2008.